



PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMA 2018. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: “Meža apsaimniekošanas risku izmaiņu prognozes un to mazināšana”

IZPILDĪTĀIS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀIS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”

Līguma Nr. 5.5-5.1_002t_101_15_57

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀIS: DR. Āris Jansons, LVMI Silava vadošais pētnieks

Salaspils, 2018

Kopsavilkums

Pētījumi kontrolētā temperatūras režīmā liecina, ka nākotnes klimats būs priedes augšanai labvēlīgs un var sagaidīt lielāku šīs koku sugas pieaugumu. Nepalielināsies sala bojājumu risks parastās priedes stādījumos, kas ierīkoti, izmantojot no Latvijas priežu sēklu plantāciju sēklām audzētu stādus. Temperatūras paaugstināšana neietekmēja melnalkšņiem pieaugumu, liecinot par šīs koku sugas audzēšanas perspektīvām klimata pārmaiņu kontekstā. Citā vērtētajām lapu koku sugām (bērzs, apšu hibrīds) nepieciešamas papildus analīze pilnībā kontrolētos apstākļos meteoroloģisko faktoru mijiedarbības ietekmes uz pieaugumu raksturošanai.

Veikta paredzētā introducēto koku sugu (Klinškalnu priedes, sarkanā ozola), kā arī lapegles stādījumu ierīkošana. Izmantojot paraugkoku datus, iegūti koeficienti lapegles augšanas gaitas prognozēšanai Latvijā, par piemērotākajiem atzīstot Čapmana-Ričarda, Slobodas, Hosfelda un Stranda modeļus.

Analizējot pieaugumu urbumu datus no parastās priedes audzēm uz auglīgām minerālaugsnēm (aptuveni atbilst damaksnim) Somijā, Igaunijā, Lietuvā, Polijā un Vācijā, konstatēta nozīmīga notiekošo klimata pārmaiņu ietekme uz koku gadskārtu platumu (pieaugumu). Tā fiksēta gan veicot salīdzinājumu starp novērojumu vietām (valstīm), gan katras audzes ietvaros, vērtējot gadskārtu platumu būtiski ietekmējošos faktorus laika gaitā (mainoties klimatam). Teritorijās, kur klimats siltāks, nekā Latvijā (Lietuva, Polija un Vācija), priedes gadskārtu platumu izteikti ietekmēja gan nokrišņi un ūdens deficīts vasarā, gan ziemas temperatūra (visticamāk – ietekmējot sakņu attīstību un barības vielu patēriņu ziemas periodā). Rekomendējama turpmāka šo faktoru padziļināta izpēte, izstrādājot metodiku jūtības pret tiem vērtēšanai meža selekcijā.

Analizējot vēja bojājumus būtiski ietekmējošos faktorus, konstatēts, ka mistraudzes nav vēja noturīgākas par tīraudzēm, tātad to izveide vēja noturības paaugstināšanai nav pamatota. Vienlaikus konstatēts, ka egles piemistrojums valdaudzē būtiski pazemina audzes vēja noturību, tādēļ nav rekomendējams. Vēja noturības paaugstināšanai ir būtiska savlaicīga audžu retināšana.

Veicot pārbaudes iepriekšējā analīzē neizmantotos meža masīvos, konstatēts, ka egļu bruņuts faktiski bojātajām audzēm modeļa prognozētā bojājuma varbūtība ir statistiski būtiski ($p < 0.05$) augstāka, nekā faktiski nebojātajām audzēm. Tātad ir spēkā iepriekš konstatētā sakarība, ka meža masīva līmenī lielākai tuvāko audžu daudzveidībai ir pozitīva ietekme, samazinot bruņuts invāzijai atbilstošu egļu audžu bojājumu iespējamību.

Apkopojot iepriekšējo divu un šīs sezonas rezultātus par egļu mizgraužu (astņozobu un sešzobu) augšanu un attīstību klimata kamerā, secināms, ka klimata pārmaiņu ietekmē gaisa temperatūrai paaugstinoties par $2,3^{\circ}\text{C}$, abu dendrofāgo kukaiņu loma mežsaimniecībā saglabāsies. Nedaudz pieaugs plēsēju un parazītoīdu ietekme uz šīm dendrofāgo kukaiņu sugām, īpaši – mizgraužu pēcsavairošanās populācijās. Klimata pārmaiņām turpinoties (gaisa temperatūrai paaugstinoties par $4,5^{\circ}\text{C}$) abu mizgraužu attīstība zem egļu mizas būtiski paātrināsies: sagaidāms, ka astņozobu mizgrauzis spēs attīstīt līdz 2,5 - 3, bet gados ar augstāku populācijas blīvumu – pat līdz 3,5 vai pat 4 paaudzēm sezonā. Plēsēju ietekme uz šo mizgrauzi būs neliela, bet parazītoīdu ietekme saglabāsies tikai pēcsavairošanās periodā, tādēļ būs nepieciešama atbilstoša mežistrādes plānošana (paredzot ļoti strauju skujkoku ciršanas atliku savākšanu gada siltajā periodā) un lai palielinātu parazītoīdu ietekmi mizgraužu savairošanās gados, būs pastiprināti feromoni to piesaistei.

Sagatavota meža audzēšanas risku izpētes un meža apsaimniekošanas rekomendāciju sagatavošanas ceĶa karte, ietverot gan jauna empīriskā materiāla ieguvu un analīzi, izmantošanu

modeļu izstrādē un pilnveidošanā, gan eksperimentālo objektu sēriju ierīkošanu jaunas informācijas ieguvei ilgtermiņā.

Pētījuma rezultāti ietverti 2 publikācijās, par tiem ziņots 2 starptautiskās konferencēs, kā arī 2 semināros meža īpašniekiem Latvijā.

Summary

Study in controlled temperature have shown that the future climate will be beneficial for pine growth and larger height increment can be expected. The risk of freezing damage will not increase plantations established using seeds from Latvian seed orchards. The increase in temperature did not affect the height increment of black alders, indicating the growth prospects for this species of trees in the context of climate change. Other evaluated broadleaved tree species (birch, hybrid aspen) require additional analysis in fully controlled conditions to characterize the effect of the interaction of meteorological factors on their growth.

The planned trials of introduced tree species (lodgepole pines, red oak), as well as plantations for larch has been carried out. Using sample tree data, factors have been obtained to forecast the growth rate of larch in Latvia, demonstrating, that the models of Chapman-Richards, Sloboda, Hosfelda and Stranda as the most appropriate.

The analysis of increment core data from conventional pine stands on fertile mineral soils (approximately equivalent to the *Hylocomiosa* forest type) in Finland, Estonia, Lithuania, Poland and Germany showed significant impacts of ongoing climate change on the tree ring width (annual increment). It is recorded in a comparison between observation sites (countries) and within each stand, assessing factors that have a significant impact on the tree ring width over time (as the climate is changing). In areas where the climate is warmer than in Latvia (Lithuania, Poland and Germany), the tree ring width was strongly affected by both rainfall and water deficit in summer and winter temperatures. A further in-depth study of these factors is recommended for the development of a methodology for assessing sensitivities against them in forest tree breeding.

The analysis of factors that significantly influence wind damages has shown that mixed stands are not more stable than the pure (single-species) stands therefore creation of tree species mixture within the stand can not be justified with the aim to increase wind resistance. Admixture of Norway spruce in the dominant layer of the stand has significant negative impact on its wind resistance, therefore is not advisable. Timely thinning of stands is essential for improving wind resistance.

Analysis based on the independent dataset confirmed the previous conclusion, that use of mixture of stands of different tree species at the forest landscape level have a positive influence, reducing the probability of *Physokermes piceae* damages in Norway spruce stands.

By compiling the results of the previous two and this season on growth and development of spruce bark beetles (*Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus*) in the climate chamber, it is concluded that the impact of climate change on air temperature rises by 2.3 °C will maintain the significant negative role of both dendrophagous insects in forestry. The effects of predators and parasitoides on these species of dendrophagous insects will be slightly increased. As climate change continues (increasing air temperature by 4.5 °C), the development of the *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* will accelerate significantly: it is expected that the

Ips typographus will be able to develop up to 2.5-3 generations, and in years of higher population density up to 3.5 or up to 4 generations per season. The impact of predators on this dendrophagous insect will be limited, but the effects of parasitoides will only remain in the post-outbreak periods. Therefore an appropriate planning of logging will be needed (with a very rapid collection of conifer logging residues during the warm period of the year) and actions aiming to increase the impact of parasitoides in the years of rising *Ips typographus* population will be required.

Road map for further studies related with risk assessment, minimization and adaptation to reap the benefits of the predicted climate changes in forestry has been prepared. It includes both the extraction and analysis of new empirical material, the use in the design and development of models and the establishment of pilot test sites for the long-term acquisition of new information. The results of the study are included in 2 publications, reported at 2 international conferences, as well as 2 seminars for forest owners in Latvia.

Saturs

1. Paaugstinātas temperatūras ietekme uz koku salcietību un augšanu.....	5
2. Stādījumu ierīkošana un kopšana	13
3. Priežu dendrohronoloģiskā analīze.....	19
4. Mistrojuma ietekmes uz egļu bruņuts sastopamību un vētru bojājumiem	28
5. Egļu astoņzobu mizgrauža izlidošana un attīstība kontrolētos apstākļos.....	35
6. Epiģenētiskā efekta ietekmes analīze	63
7. Iegūto rezultātu publicēšana	65
8. Ceļa karte turpmākiem pētījumiem	66
9. Seminārs.....	78
Literatūra.....	78

1. Paaugstinātas temperatūras ietekme uz koku salcietību un augšanu

Paaugstinātā temperatūrā audzētā stādmateriāla salcietības pārbaudes.

Koku sezonālā augšanas ritma izmaiņas nākotnes klimatā: priedes (2) un bērza sēkļu plantāciju pēcnācēju audzēšana 2. sezonu, kā arī melnalkšņa un apses – 1. sezonu – neizmainītā un paaugstinātas temperatūras režīmā, sezonālās augšanas dinamikas raksturošana.

Veikta visa paredzētā priedes (2. gads), bērza (2. gads) (1.1.att.), kā arī melnalkšņa (1. gads) un hibrīdās apses (1. gads) materiāla izvietošana Meža pētīšanas stacijas (MPS) siltumnīcās (paaugstinātā un neizmainītā temperatūrā) un uz lauka, audzēšanas agrotehnisko apstākļu kontrole (sensoru izvietošana, pārbaudes), uzmērīšana.



1.1. attēls. Priedes un bērza audzēšana kontrolētā temperatūras režīmā.

Pētījumā priedei ietverti divu priedes sēkļu plantāciju (Dravas un Klīve) pēcnācēji, stādi audzēti Mazsilu kokaudzētavā. Pirmajā gadā pētījuma materiāla audzēšana veikta trijos apstākļos: neizmainītā (tagadnes) temperatūrā, laistot; paaugstinātā (nākotnes) temperatūrā, laistot un kontroles (lauka) apstākļos (detalizēta informācija pētījuma 2017. gada starpatskaitē). Dendrochronoloģijas analīžu rezultāti liecina, ka koku pieaugumu un ar to saistītās pazīmes, t.sk. salcietību, var ietekmēt ne tikai kārtējā, bet arī iepriekšējā gada meteoroloģiskie apstākļi (skatīt pētījuma “Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām” 2013. un 2014. gada starpatskaites). Tādēļ daļai no 2017. gada kokiem (kur materiāla apjoms bija pietiekams) veikta audzēšana tādos pat 3 meteoroloģisko apstākļu režīmos arī otru gadu (1.1. tab.).

Atsevišķiem Dravu sēkļu plantācijas pēcnācējiem konstatēti augsta dzinumi un šādi koki izdalīti atsevišķā grupā. Vidējais augstums priedēm 2018. gada 13. septembrī, pirms salcietības testu uzsākšanas 56,6 cm (1.2. att.).

Priežu stādu grupas.

Sēklu plantācija	Meteoroloģija		Augusta dzinumi	Saīsinājums
	2017. gadā (no)	2018. gadā (uz)		
Dravas	Tagadnes	Tagadni	nav	DTTn
Dravas	Nākotnes	Tagadni	nav	DNTn
Dravas	Uz lauka	Tagadni	nav	DaTn
Klīves	Tagadnes	Tagadni	nav	KTTn
Klīves	Nākotnes	Tagadni	nav	KNTn
Klīves	Uz lauka	Tagadni	nav	KaTn
Dravas	Tagadnes	Nākotni	nav	DTNn
Dravas	Nākotnes	Nākotni	nav	DNNn
Dravas	Uz lauka	Nākotni	nav	DaNn
Klīves	Tagadnes	Nākotni	nav	KTNn
Klīves	Nākotnes	Nākotni	nav	KNNn
Klīves	Uz lauka	Nākotni	nav	KaNn
Dravas	Nākotnes	Nākotni	ir	DNNi
Dravas	Tagadnes	Nākotni	ir	DTNi
Dravas	Nākotnes	Tagadni	ir	DNTi
Dravas	Tagadnes	Tagadni	ir	DTTi



1.2.attēls. Priedes pirms salcietības pārbaudes, saldēšanas kamerā.

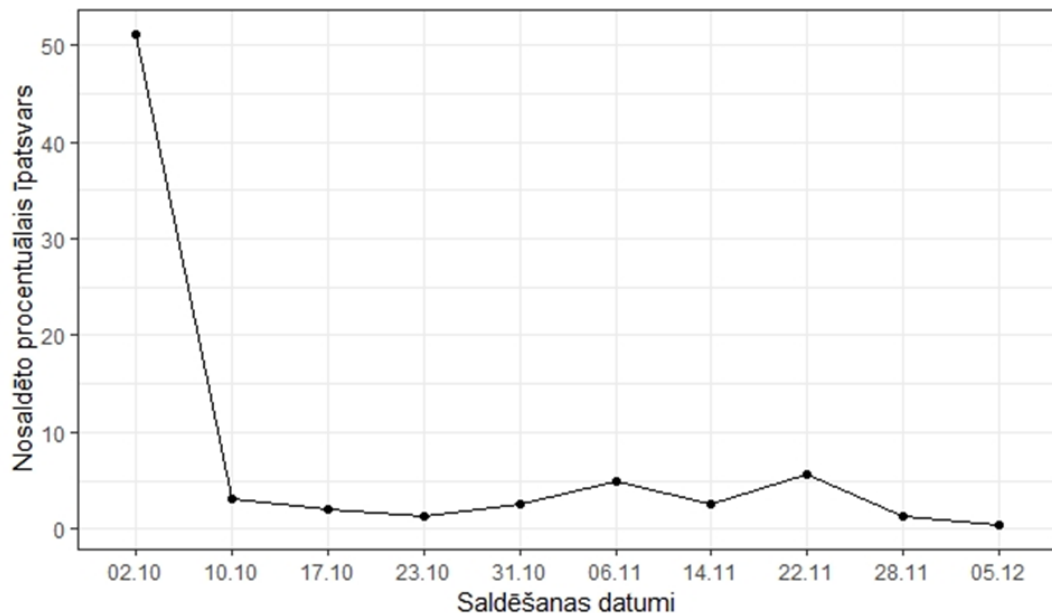
Līdzīgi priedei pārbaudīti arī lapu koki: bērza stādi, hibrīdās apses stādi un melnalkšņa stādi. Bērzi tika turēti tagadnes un nākotnes klimatā pirmajā gadā, otrajā gadā tika mainīts klimats uz nākotni, tagadni vai lauka. Bērzu vidējais augstums pirms salcietības testiem 185 cm. Hibrīdās apses tika audzētas vienu gadu nākotnes un tagadnes klimatā. Hibrīdo apšu sākuma augstums 81 cm, augstums pirms salcietības testiem – 256cm. Melnalkšņi tika turēti tādos pašos apstākļos, kā hibrīdās apses un to vidējais augstums pirms salcietības testiem 228cm. Rudens sākumā (25.09.2018.) uzsākta stādu transportēšana uz LVMI “Silava” klimatmāju, kur dažu dienu laikā pēc atvešanas tika veiktas pirmās salcietības pārbaudes, stādus īslaicīgi ievietojot saldēšanas kamerā. Saldēšanas sākumā stādus ievietoja +5,0°C temperatūrā, kas graduāli pazemināta ik pa trim grādiem katru stundu, sasniedzot -10,0°C. Šāda temperatūra uzturēta divas stundas un tad graduāli paaugstināta (pa trim grādiem katru stundu) līdz +5,0°C. Šāds salcietības testēšanas režīms pielietots koku grupām pa 8 kokiem no varianta.

Pēc saldēšanas stādi izturēti divas nedēļas vidēji +15°C temperatūrā un pēc tam novērtēti sala bojājumi: mērīts kopējais virszemes daļas garums un dzīvās vasas garums priedei un aprēķināts dzīvās daļas īpatsvars. Novērtētas atšķirības dzīvās daļas īpatsvarā priedei starp eksperimenta grupām, kā arī starp sēklu plantācijām (1.3. att.). Pēc mērījumu pabeigšanas stādi tika transportēti uz MPS Kalsnava kokaudzētavas siltumnīcu. Lapu kokiem sala bojājumu apjomu ziemā novērtēt nav iespējams, tādēļ tie pēc testu veikšanas aizvesti atpakaļ uz MPS kokaudzētavas siltumnīcu un mērījumi tiks veikti pavasarī, sākoties veģetācijas sezonai.



1.3.attēls. Priedes pēc salcietības pārbaudes.

Bojājumu īpatsvars priedēm atšķīrās starp datumiem, kad tika veikts saldēšanas tests un sēklu plantācijām. Priedes stādiem pirmajā nedēļā, kad veica testus vēl nebija izstrādājusies salcietība, taču no 10.10.2018., kad tika veikta otrā salcietības pārbaude, izdzīvoja jau 97% no tā datuma saldētajām priedēm, un turpmākajos datumos izdzīvojušo koku apjoms svārstījās no 94% līdz 99% (1.4.att).

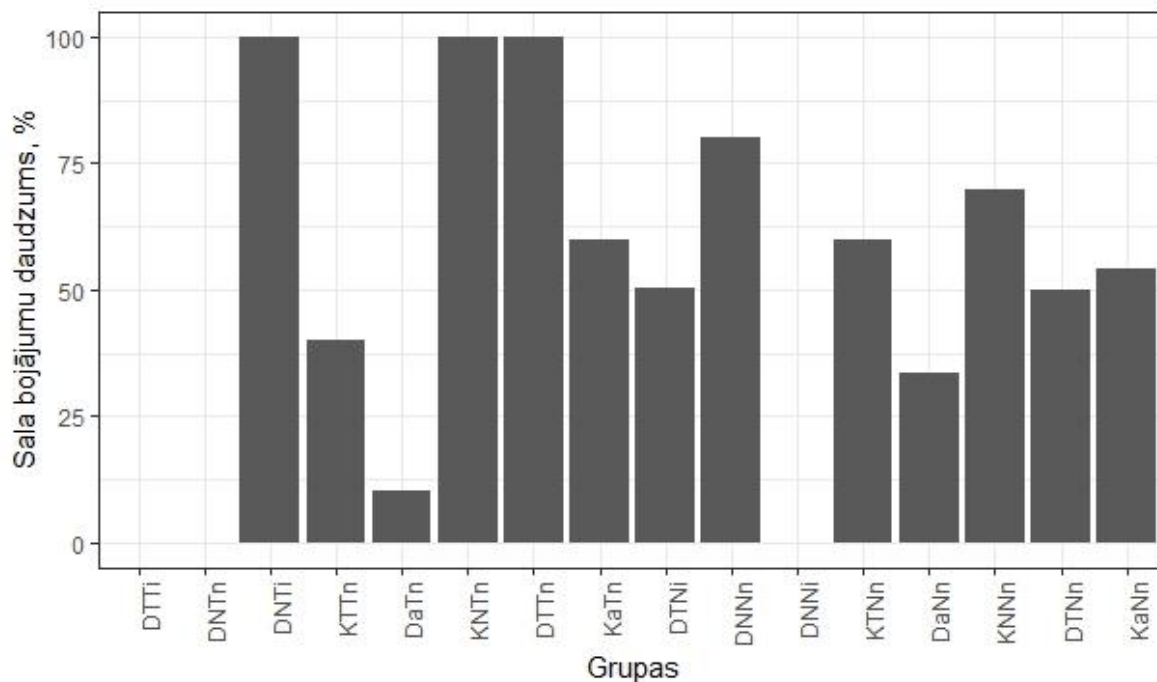


1.4.attēls. Sala bojāto priedes stādu īpatsvars.

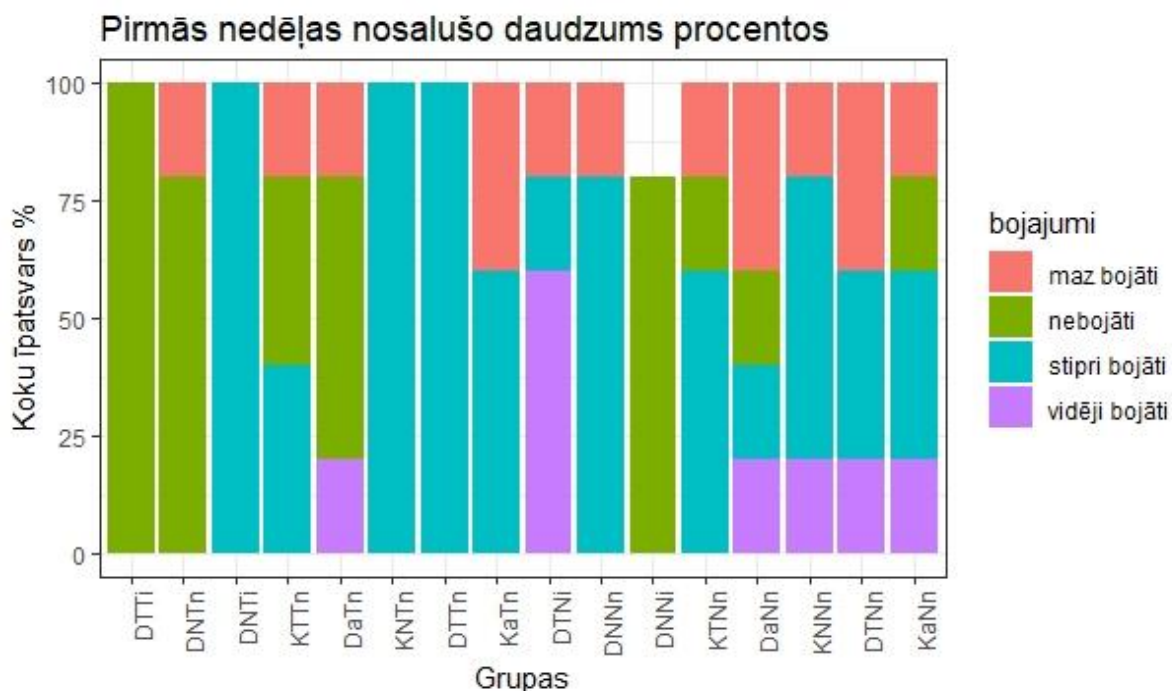
MPS kokaudzētavā izvietoto termosensoru dati liecina, ka laikā starp 1. un 2. testu salnas nebija; un pēc otrā testa viss materiāls tika pārvietots siltumnīcā un tajā nodrošināts, ka nav temperatūra zem +5°C. Tātad konstatētā salcietības iestāšanās nav atbildes reakcija uz

temperatūru, bet gan uz fotoperiodu. Netika gūts apstiprinājums 2016. gada rezultātiem (atspoguļoti šī pētījuma 2016. gada starpatskaitē), ka priedes no kūdras augsnēm atsevišķos gadījumos uzrāda augstāku salcietību nekā pārējās. Kopumā iegūtais rezultāts liecina, ka temperatūras paaugstināšanās nepalielinās sala bojājumu risku parastās priedes stādījumos, kas ierīkoti, izmantojot no Latvijas priežu sēkļu plantāciju sēklām audzētu stādus.

Priedēm bojājumu īpatsvars starp izcelsmes vietām, tagadnē, nākotnē augošajām un priedēm ar augsta dzinumiem, bija dažāds, tomēr nebija iespējams konstatēt kādu izteiktu, statistiski būtisku likumsakarību, kas būtu saistīta ar temperatūras režīmu veģetācijas periodā 1. vai 2. eksperimenta gadā (1.5., 1.6. att.).



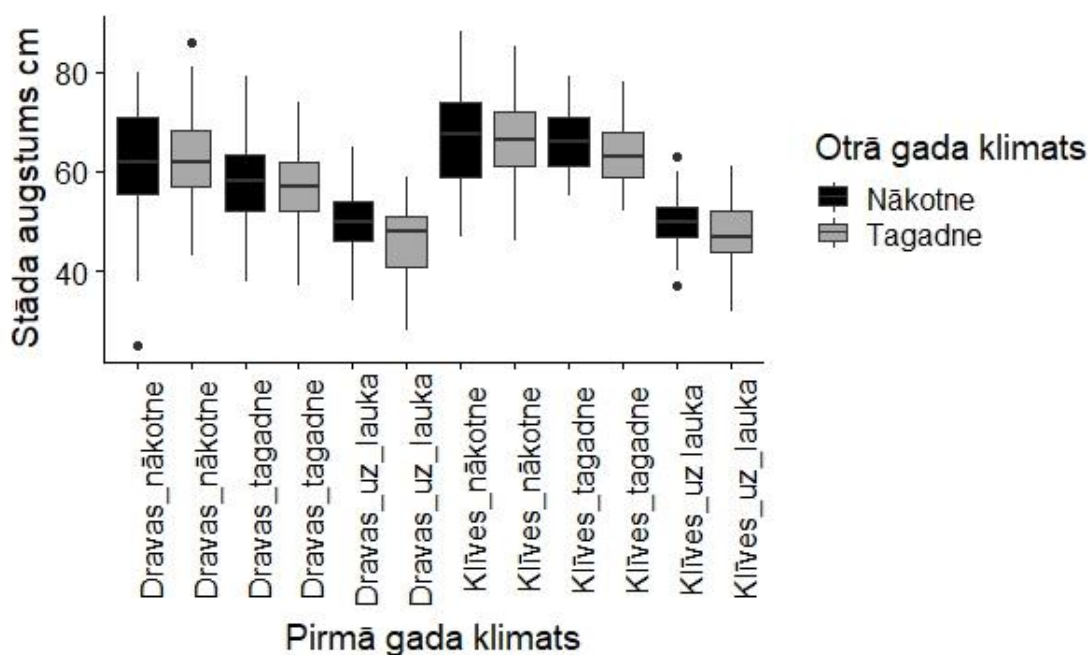
1.5.attēls. Nosalušo priežu īpatsvars katrā grupā



1.6.attēls. Pirmajā nedēļā nosaldēto koku bojājumi īpatsvars procentos.

Kopumā priedes salcietības veidošanos lielā mērā noteikusi ģenētika un tā ir atbildes reakcijas uz fotoperiodu. Tas liecina, ka veģetācijas pierodam kļūstot garākam un salam iestājoties vēlāk, nav sagaidāma izteikta sala bojājumu apjoma palielināšanās jaunajos stādījumos. Tāpat šādu negatīvu ietekmi neradīs ilgāks periods ar relatīvi augstu gaisa temperatūru – līdz decembra sākumam eksperimentālais materiāls tika turēts apstākļos, kur gaisa temperatūra >5°C, tomēr tas nerādīja salcietības zudumu. Augusta dzinumiem, kuru sastopamība nākotnē varētu palielināties, nebija ietekmes uz sala bojājumiem

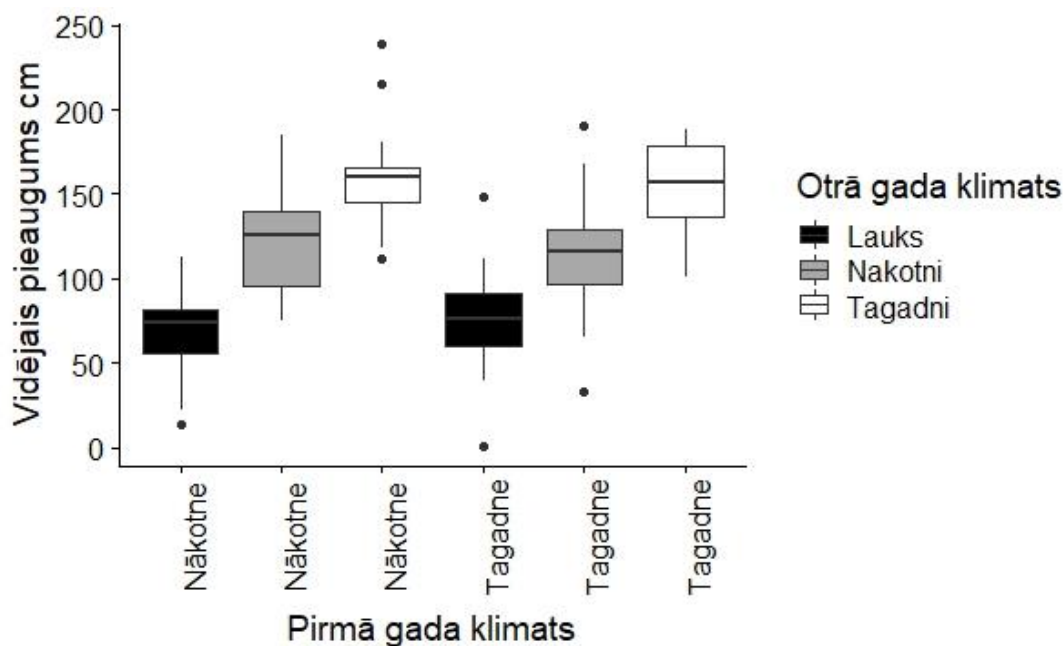
Mazākais augstums bija pirmajā gadā uz lauka audzētajiem kokiem, neatkarīgi no otrā gada klimata. Tas apliecina iepriekšējā gada apstākļu, kad galotnes pumpurā formējas nākamā gada dzinuma aizmetņi, noteicošo lomu, determinējot kārtējā gada augstuma pieaugumu. Labvēlīgāki kārtējā gada apstākļi (nākotne) spēja tikai nedaudz paaugstināt augstuma pieaugumu (1.7. att.). Atšķirības starp sēkļu plantāciju pēcnācējiem bija lielākas nekā starp 2 audzēšanas režīmiem siltumnīcā. Eksperimentā ar priedes stādiem atspoguļojas tā pati sakarība, kas konstatēta, retrospektīvi analizējot pieaugušu priežu pieaugumu saikni ar meteoroloģiskajiem apstākļiem (skatīt pētījuma “Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām” 2013. un 2014. gada starpatskaites): nākotnes klimats būs priedes augšanai labvēlīgs un var sagaidīt lielāku šīs koku sugas pieaugumu.



1.7. attēls. Priedes stādu vidējais augstums katrā audzētajā klimatā.

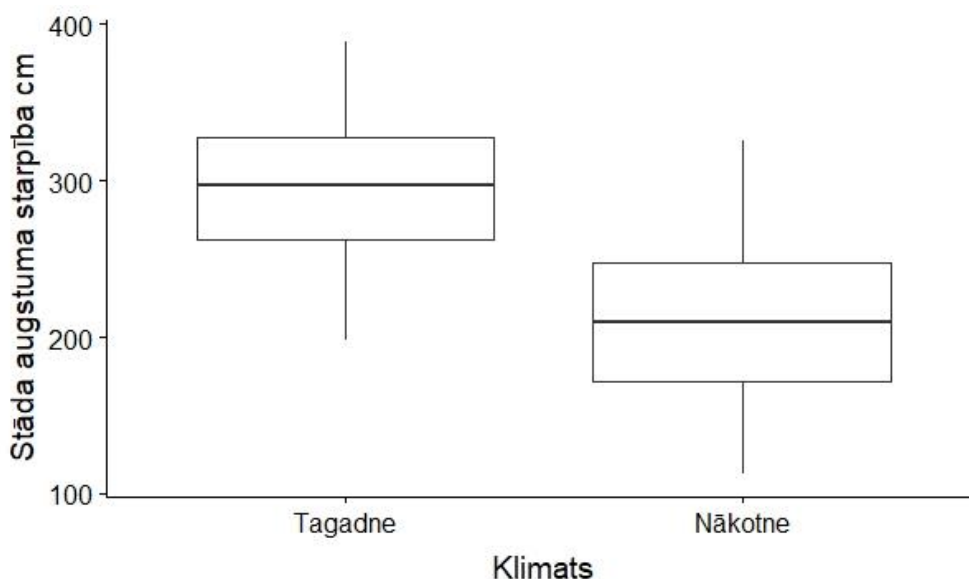
Bērzam pirmā gada apstākļiem nav bijusi ietekme uz koku augšanu nākamajā gadā. Nākotnes klimatam (temperatūrai) kaut vienā no augšanas gadiem ir bijusi pozitīva ietekme uz bērza augšanu (salīdzinājumā ar lauku), tomēr lielākos augstumus uzrāda koki, kas otrajā audzēšanas gadā bijuši tagadnes klimatā t.i. esošajā temperatūras režīmā, bet papildus laistīti. Acīm redzot, nokrišņu apjoms bijis determinējošais, lai nodrošinātu spēju formēt tik lielu augstuma pieaugumu (1.8.att.). Tas varētu radīt bažas, vai nākotnē prognozētie biežākie garie sausie periodi neatstās negatīvu ietekmi uz bērziem jaunaudzes vecumā. Tomēr iepriekš veiktu (skatīt pētījuma “Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām” 2012. gada starpatskaiti)

pētījumu rezultāti, eksperimentējot ar nokrišņu režīmu, neliecina par šādu risku, vismaz ne realizējoties šobrīd (RCP 8.5) prognozētajām klimata pārmaiņām. Pieejamā infrastruktūras vismaz tuvākos 2 gadus nerada iespējas kompleksi analizēt vairāku meteoroloģisko faktoru ietekmi, kas varētu ļaut nonākt pie detalizētākiem secinājumiem. Tomēr šāda analīze būtu nepieciešama, lai novērtētu, piemēram, vai nokrišņu apjomam (optimumam) pozitīva ietekme varētu būt laikā, kad koks nobriest un uzkrāj rezerves barības vielas ziemošanai un nākošajam pavasarim, jaunās lapotnes un jauno dzinumu veidošanās sākumfāzes nodrošināšanai un kā to ietekmē temperatūras režīms šajā periodā.



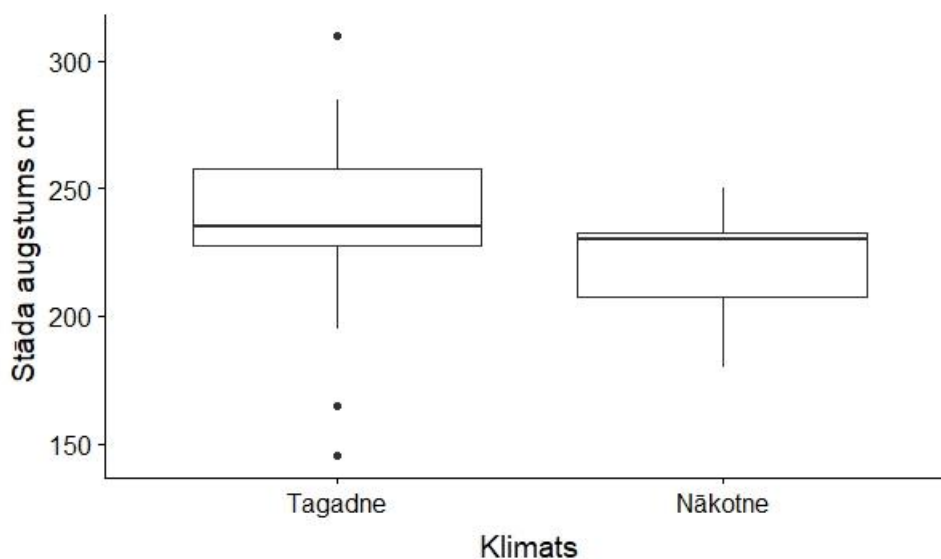
1.8.attēls. Bērzu stādu vidējais pieaugums otrajā sezonā.

Hibrīdajām apsēm, līdzīgi kā bērzam, labvēlīgāki izrādījās tagadnes klimata (saglabāta temperatūra, kas šogad vasarā un rudenī tāpat bija augsta un papildu laistīšana) režīms, nodrošinot statistiski būtiski augstāku pieaugumu, nekā augstākā temperatūrā (nākotne – 1.8. att.).



1.9.attēls. Apšu stādu vidējais pieaugums.

Populus ģints koki ir jūtīgi pret mitruma deficītu, tādēļ šāds rezultāts nav pārsteidzošs. Melnalkšņiem pieaugums vērtētajos apstākļos nozīmīgi neatšķīrās, liecinot par šīs koku sugas audzēšanas perspektīvām klimata pārmaiņu kontekstā (1.9. att.).



1.10.attēls. Melnalkšņu stādu vidējais pieaugums.

Kopsavilkums

Pētījuma ietvaros tika veiktas priedes, bērza un melnalkšņa salciētības pārbaudes, audzējot koku stādus dažādos, kontrolētos temperatūras režīmos. Secināts, ka nākotnē veģetācijas pierodam kļūstot garākam un salam iestājoties vēlāk, nav sagaidāma izteikta sala bojājumu apjoma palielināšanās jaunajos stādījumos arī tad, ja kokiem biežāk veidosies augsta dzinumi. Kopumā nākotnes klimats būs priedes augšanai labvēlīgs, un var sagaidīt lielāku šīs koku sugas pieaugumu. Augstākai gaisa temperatūra nebija nozīmīgas ietekmes uz melnalkšņa pieaugumu, liecinot par liecinot par šīs koku sugas audzēšanas perspektīvām klimata pārmaiņu kontekstā, savukārt hibrīdajām apsēm un bērzam labvēlīgāki bija tagadnes klimata apstākļi. Bērzam un hibrīdajai apsei šāds rezultāts, visticamāk, saistīts ar nokrišņu apjoma būtisko ietekmi, determinējot spēju formēt lielu augstuma pieaugumu. Šī saistība varētu radīt bažas, vai nākotnē prognozētie biežākie garie sausie periodi neatstās negatīvu ietekmi uz bērziem jaunaudzēs vecumā. Būtu lietderīgi turpināt šo pētījumu pēc atbilstošas infrastruktūras pieejamības nodrošināšanas, lai kompleksi novērtētu vairāku meteoroloģisku faktoru ietekmi.

2. Stādījumu ierīkošana un kopšana

Lapegles (1 ha), sarkanā ozola tīraudzes un mistrojuma (6 ha), kā arī dižskābarža mežeņu (2 ha) un Klinškalnu priedes pēcnācēju pārbaužu (4 ha) stādījumu ierīkošana. Ierīkoto stādījumu uzmērīšana, kopšana. Liepu un kļavu audžu parauglaukumu kopšana. Lapegļu audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde, t.sk., izmantojot paraugkoku stuburu analīzes.

Veikta lapegles un sarkanā ozola stādījumu ierīkošana. Papildus informācijas iegūšanai stādījums ierīkots kā šo koku sugu tīraudzes un mistrojumi ar egli, saglabājot tādu pašu kopējo biezumu ($2000 \text{ koku ha}^{-1}$) kā tīraudzes stādījumā un piemistrojumam izmantojot 500, 1000 un $1500 \text{ egles ha}^{-1}$. Izmantota rindu mistrojuma shēma.

Veikta Klinškalnu priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumu ierīkošana MPS Jelgavas meža novada (MN) teritorijā, veikta stādījumu genotipu identifikācija, izmantojot svītru kodu marķējumu, shēmas pārbaude, nodrošināta atkārtota apstrāde pret smecernieka bojājumiem.

Dižskābarža mežeņu stādījums sagatavots 2 ha platībā MPS Jelgavas MN teritorijā.

Nodrošināta sarkanā ozola un lapegles stādāmā materiāla audzēšana nākamā gada stādījumiem: veikta tā inventarizācija – sarkanais ozols 2000 gab., lapegle 1700 gab. (2.1. att.).



2.1. attēls. Sarkanā ozola un lapegles stādi nākamā gada eksperimentiem MPS Kalsnavas MN kokaudzētavā.

Veikta plānotā pagājušā gadā ierīkoto stādījumu apsekošana, kopšana. Nodrošināta kopšanas uzraudzība dižskābarža eksperimentā MPS Kalsnavas MN (2.2. att.)



2.2. attēls. Dižskābarža stādījuma zem audzes vainaga klāja kopšana MPS Kalsnavas MN.

Veikta visu ierīkoto eksperimentu apsekošana, MPS platībās ierīkoto objektu kopšana, pārējos objektos – saskaņošana ar LVM atbildīgajām personām un kopšana (2.1. tab.).

2.1. tabula

Kv.apg.-kv.-nog.	Liepu biežums parauglaukumos							2018/19 kopšana
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
103-179-3	k	lg	1300	1800	800			nepieciešama – izpildīta
107-332-6/7	k	800	1300					-
312-111-15	800	800	lg	k	1300	1800	1300	-
401-33-4	800	k	lg	1300	1800	k		nepieciešama – izpildīta
405-185-13	800	k	1300					-
501-303-15	800	800	1300	800	1300	800	800	-
501-446-10	k	1300	800	1800	lg			-
506-116-36	800	k						-
608-109-6	800	1300	k	1300				-
803-213-6	800	800	k					nepieciešama – izpildīta
803-219-4	800							-
803-224-19	lg	1300	800	1300	k	800	800	nepieciešama – izpildīta
803-228-32	800	1300						nepieciešama – izpildīta

k-kontrole, nekopts; lg-kontrole, liepa saglabātas grupās

Veikta lapegļu audžu augšanas gaitas modeļu izstrāde, ierīkojot parauglaukumus un izvēloties paraugkokus pēc tādas pat pieejas, kāda pielietota iepriekš (skatīt šī pētījuma 2017. gada starpatskaiti), izstrādājot dižskābarža augšanas gaitas modeļus, kā arī citos pētījumos (vadītājs J. Donis) papildinot priedes, egles un bērza augšanas gaitas modeļus. Iegūtie rezultāti vienkārši integrējami esošajos augšanas gaitas modelēšanas rīkos.

Stumbra analīzēm izmantoti 32 I Krafta klases koki sešpadsmit stādījumos (lapagles tīraudzēs) Kalsnavas, Šķēdes un Auces MPS teritorijās, kas auga mezotrofos apstākļos: damaksnī (2 audzes) un vērī (14 audzes). Virsvalda koki izvēlēti, lai samazinātu iespējamās konkurences ietekmi uz augstuma pieaugumu (Brunner and Nigh, 2000). Paraugkoku vecums bija 43–119 gadi (2.2. tab.).

2.2. tabula

Paraugkoku vecuma un augstuma diapazons.				
MPS meža novads		Vecums, gadi	Augstums, m	Koku skaits
Auce	Min.	49	24	17
	Maks.	110	38	
Kalsnava	Min.	43	26	2
	Maks.	44	28	
Šķēde	Min.	44	27.5	13
	Maks.	119	32	

Paraugkoki nogāzti, zāgējumu veicot maksimāli zemu (sakņu kakla līmenī). Nogāztie stumbri atzaroti, un sākot no pirmās zāgējuma vietas (0,2); 0,5; 1,0; 1,3; 2,0, un katru nākamo divu m augstumā ievākti četrus centimetrus biezi stumbra diski. Šķēdē augušajām lapeglēm, stumbra diski ievākti ik pēc 0,5 m. Ņemot vērā, ka gāšanas procesā galotne bieži tiek lauza, koku augstums (ar 0,2 m precizitāti) uzmērīts pirms nozāgēšanas izmantojot “Vertex” (Haglöf Inc.) sistēmu.

Laboratorijā no stumbra diskiem izzāgēti ca. četrus cm plati segmenti (paraugi), kas saturēja divus pretējos rādījumus, izvairoties no reakcijas koksnes. Paraugi fiksēti un to virsma slīpēta ar dažāda raupjuma slīppapīru; gala slīpējums veikts ar P400 (pēc ISO 6344) raupjuma slīppapīru. Katram paraugam saskaitot gadskārtas noteikts tā kambiālais vecums. Gadskārtu platums mērīts un to skaits noteikts izmantojot LINTAB 5 mērgaldu un TSAP programmatūru (RinnTECH, Heidelberga, Vācija).

Lai pārliecinātos par noteiktā vecuma atbilstību faktiskajam, gadskārtu mērījumu sērijas salīdzinātas savstarpēji (šķērsdatētas), un paraugu kambiālais vecums koriģēts pēc nepieciešamības. Ņemot vērā, ka izmantotā stumbra analīzes metode neparāda koka patieso augstumu attiecīgajā vecumā, faktiskais koku augstums (konkrētā vecumā) aproksimēts balstoties uz stumbra ripu augstumu un vecumu starpību. Aprēķinam izmantota Carmean (1972) pieeja:

$$h = H_1 + 0,5 \frac{H_1 - H_0}{t_0 - t_1}, \quad (1)$$

kur H – koka faktiskais augstums, H_0 , H_1 , t_0 , t_1 attiecīgi secīgu ripu augstums un kambiālais vecums.

Faktisko augstumu un vecuma sērijas, kas iegūtas balstoties uz koksnes paraugiem, papildinātas ar koku augstumu un pārveidotas tā, lai raksturotu augstuma un vecuma izmaiņas, proti viens ieraksts saturēja informāciju par h_0 un h_1 , kas attiecīgi ir koka augstums (metros) vecumā t_0 un t_1 (gados). Vidējais \pm standartklūda vecums, kad paraugkoki sasniedz krūšaugstumu bija $4,1 \pm 1,6$ gadi.

Augstuma pieauguma gaitas raksturošanai veidoti nelineāri, balstoties uz algebriskās diferences pieejas transformēti, pieauguma modeļi, kas ir neatkarīgi no audzes auglības un raksturo pieauguma veidošanos dažādās audzēs (Cieszewski and Baily, 2000; Sharma et al., 2011). Testēti biežāk izmantotie modeļi, proti, Čapmana-Ričardsa, Hosfelda, Hosfelda I, Kinga-Prodana, Slobodas, Stranda, Korfa, un Log-loģistiskais (2.3. tab.).

Modeļi iestrādāti augstuma pieaugumam virs 1,3 m, lai mazinātu kļūdas, kas saistīti ar augšanu agrīnā vecumā. Lai arī dati no viena koka un audzes ir savstarpēji atkarīgi, jaukta tipa modeļi, kas ņem vērā šādas saistības, bet ir pretrunā ar algebriskās diferences pieejas pieauguma modelēšanu (Cieszewski and Strub, 2018), netika izmantoti, lai novērstu kļūdas, kas ir saistītas ar variantu atdalīšanu modelēšanas gaitā. Modelēšanā izmantota fiksēto faktoru nelineāra regresija. Izveidoto modeļu precizitāti un efektivitāti raksturoja veicot grafisku analīzi, ar statistiskajiem rādītājiem, kā arī balstoties uz bioloģiskās realitātes principiem (Goelz and Burk, 1992). Izmantoti precizitātes rādītāji bija vidējā kļūda (MR), MakNemaras pseido- R^2 (pseudo R^2), vidējā kvadrātiskā kļūda (RMSE), Akaika un Baja informācijas kritēriji (attiecīgi AIC un BIC), kā arī atlikumu standartkļūda (RSE). Datu analīze veikta programmā R, v. 3.5.1 (R Core Team, 2018) izmantojot “nls” funkciju.

Izmantotie vispārinātās algebriskās diferences modeļi pēc Sharma et al. (2011)

Bāzes modelis	Vispārinātās algebriskas diferences pieejas modelis
Capmana- Ričardsa : $h = a_1[1 - \exp(-a_2 t)]^{a_3}$, Audzes specifiskie parametri: a_1, a_3	$h_1 = h_0 \left(\frac{1 - \exp(-b_1 t_1)}{1 - \exp(-b_1 t_0)} \right)^X$, kur: $X = b_2 + \frac{b_3}{(0.5(\psi + \sqrt{\psi^2 + 4b_3\phi}))}$, kur $\phi = \ln(h_0) - b_2\phi$, un $\phi = \ln(1 - \exp(-b_1 t_0))$
Hosfelda: $h = \frac{a_1}{1 + a_2 t^{-a_3}}$ Audzes specifiskie parametri: a_1, a_2	$h_1 = \frac{b_1 + \frac{h_0 - b_1}{1 - b_2 h_0 t_0^{-b_3}}}{1 + \frac{t_1^{-b_3} b_2 (h_0 - b_1)}{1 - b_2 h_0 t_0^{-b_3}}}$
Hosfelda I: $h = \frac{t^2}{a_1 + a_2 t + a_3 t^2}$ Audzes specifiskie parametri: a_2, a_3	$h_1 = \frac{t_1^2}{b_1(1 + t_1^2) + \frac{t_1(1 + b_2 t_1)(t_0^2(1 - b_1 h_0) - b_1 h_0)}{t_0 h_0(1 + b_2 t_0)}}$
Kinga-Prodana: $h = \frac{t^{a_1}}{a_2 + a_3 t^{a_1}}$ Audzes specifiskie parametri: a_2, a_3	$h_1 = \frac{t_1^{b_1}}{b_2 + b_3 \left(\frac{t_0^{b_1}}{h_0} - b_2 \right) + \left(\frac{t_0^{b_1}}{h_0} - b_2 \right) \frac{b_1}{b_3 + t_0^{b_1}} t_1^{b_1}}$
Log-logistiskais: $h = \frac{a_1}{1 + a_2 \exp(-a_3 \log(t))}$ Audzes specifiskie parametri: a_1, a_3	$h_1 = \frac{b_1 + X}{1 + \frac{b_2}{X \exp(b_3 \log(t_1))}}$, kur $X = 0.5(h_0 - b_1 + ((h_0 - b_1)^2 + 4b_2 \exp(b_3 \log(t_0)) h_0)^{0.5})$
Slobodas: $h = a_1 \exp \left[-a_2 \exp \left(\frac{a_3}{(a_4 - 1)t^{(a_4 - 1)}} \right) \right]$ Audzes specifiskie parametri: a_2	$h_1 = b_1 \left(\frac{h_0}{b_1} \right)^{\exp \left(\frac{b_2}{(b_3 - 1)t_1^{b_3 - 1}} - \frac{b_2}{(b_3 - 1)t_0^{b_3 - 1}} \right)}$
Stranda: $h = \left(\frac{t}{a_1 + a_2 t} \right)^{a_3}$ Audzes specifiskie parametri: a_1, a_2	$h_1 = \left[\frac{t_1}{\left(\frac{t_0 \left(h_0^{\frac{1}{b_3} - b_1} \right)}{1 + b_2 t_0} \right) + t_1 \left(b_1 + b_2 \left(\frac{t_0 \left(h_0^{\frac{1}{b_3} - b_1} \right)}{1 + b_2 t_0} \right) \right)} \right]^{b_3}$
Korfa: $h = a_1 \exp(-a_2 t^{-a_3})$ Audzes specifiskie parametri: a_1, a_2	$h_1 = \exp(X) * \exp \left(- \left(\frac{b_1 + b_2}{X} \right) * t_1^{-b_3} \right)$, kur $X = 0.5 * t_0^{-b_3} * \left((\beta) + \text{sqrt} \left(4 * b_3 * t_0^{b_3} + (-\beta)^2 \right) \right)$, kur $\beta = b_1 + (t_0^{b_3}) * \log(h_1)$

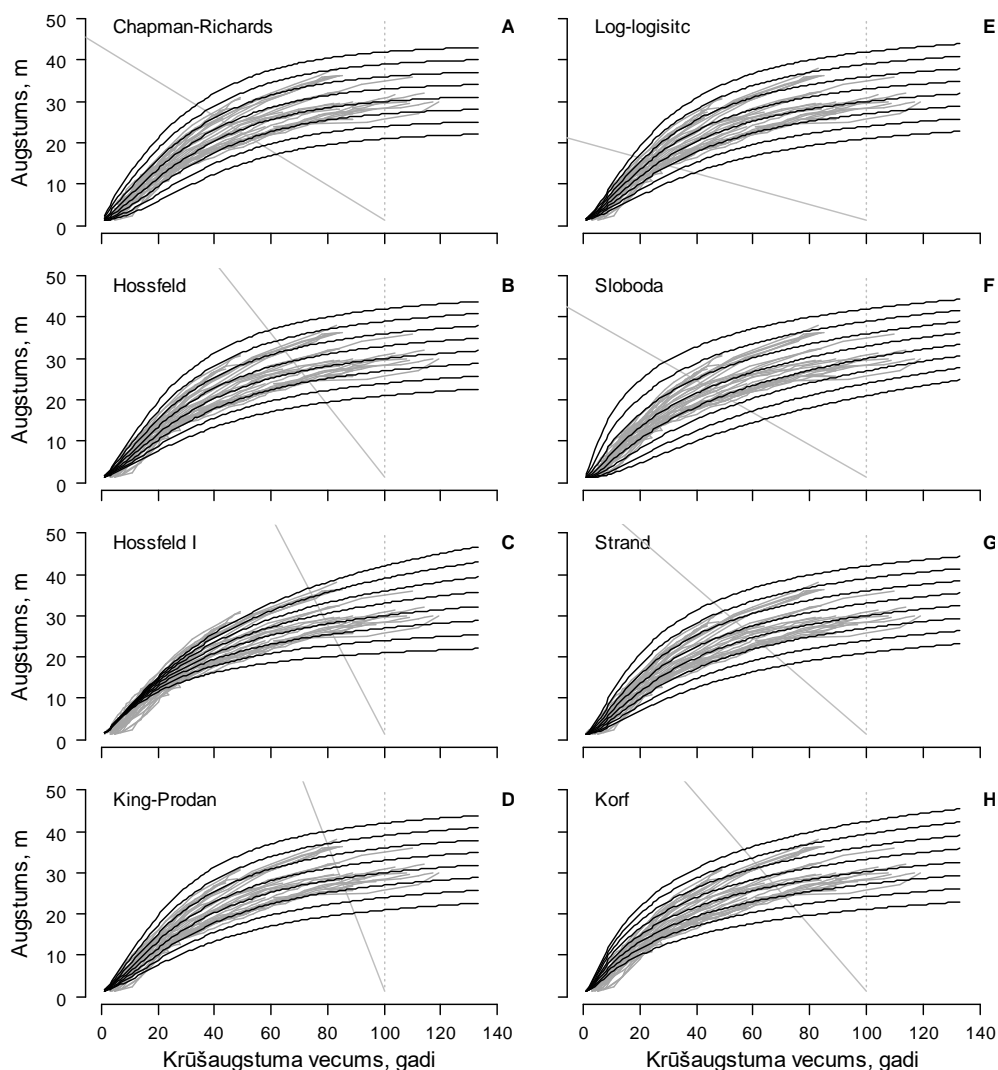
Izveidotie modeļi (2.3. att.) uzrādīja atšķirīgu atbilstību bioloģiskās realitātes principam (Goelz and Burk, 1992), kā arī atšķirīgus precizitātes rādītājus (2.4. tab.).

2.4. tabula

Modeļu parametri, to precizitāte (t-vērtības), kā arī modeļu kopējās precizitātes (PMSE, MR un RSE) un efektivitātes rādītāji

		Čapmana- Ričards	Slobodas	Stranda	Log-loģistiskais	Hosfelda	Kinga-Prodana	Hosfelda I	Korfa
Parametri	b1	0.033	56.635	0.152	7.409	68.531	1.479	3.993	0.152
	b2	-3.730	0.490	0.014	5288.542	-5.852	-5.852	-4.201	25.449
	b3	17.906	0.943	2.280	-1.474	1.479	401.038	-	0.541
Parametru t- vērtības	t _{b1}	27.0	11.1	8.1	0.6	4.9	48.1	12.2	6.9
	t _{b2}	2.9	15.7	3.0	2.3	2.2	2.2	9.0	25.4
	t _{b3}	4.0	24.5	20.1	47.9	48.1	3.8	-	32.7
	RMSE	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.67	0.51
	MR	0.36	0.35	0.35	0.36	0.36	0.36	0.45	0.36
	AIC	1353	1365	1366	1415	1417	1417	1836	1335
	BIC	1372	1384	1385	1434	1436	1436	1851	1354
	pseudoR ²	0.996	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.994	0.995
	RSE	0.514	0.518	0.518	0.532	0.533	0.533	0.674	0.509

Izstrādātie modeļi kopumā uzrādīja līdzīgu precizitāti (kļūdas) izņemot Hosfelda I modeli, kam kļūdu rādītāji bija augstāki. Hosfelda I modelis uzrādīja arī dzīvā zemāku efektivitāti, par ko liecināja uzskatāmi augtākas AIC un BIC vērtības. Neatkarīgi no tipa, determinācijas koeficienti visos gadījumos bija augsti (pseudoR² > 0.99). Parametru precizitāte bija apmierinoša, jo $t > 2$, kā arī parametri bija būtiski (nav parādīts), izņemot b1 parametru log-loģistiskajā modelī. Konstatētās parametru vērtības bija salīdzināmas ar citu autoru publicētajām (cf. Sharma et al., 2011), apliecinot izstrādāto modeļu ticamību.



2.3. attēls. Lapegles augstuma pieauguma nelineārie algebriskās diferences modeļi (melnās līnijas) un empīriskie stumbru analīzes dati (pelēkās līnijas). Modeļi parādīti virsaugstuma bonitātēm 100 gadu vecumā ar trīs metru soli intervālā no 21 līdz 42 m augstumam.

Balstoties uz modelēto virsaugstuma bonitāšu līknēm (2.4. att.), Čapmana-Ričardsa un Slobodas modeļi visvairāk atbilda bioloģiskās realitātes principam (Goelz and Burk, 1992), jo tikai šie modeļi aptvēra empīrisko datu izkliedi neatkarīgi no vecuma. Attiecīgi, šie modeļi uzrādīja zemas kļūdas un augstu efektivitāti (2.4. tab.). Tomēr Slobodas modelis bija pārlietu optimistisks prognozējot augstāko virsaugstuma bonitāšu augšanas gaitu. Pārējie modeļi uzrādīja izteiktas neprecizitāti jaunaudzēs vecumā (< 20 gadi). Ņemot vērā, ka modeļi izstrādāti virsaugstuma, proti dominējošo koku augstumam (Cieszewski and Baily, 2000), neprecizitātes agrīnā vecumā varētu būt skaidrojamas ar jauno kociņu konkurenci ar lakstaugu stāvu, kas raksturīgs auglīgākajos tipos, tādējādi bremsējot koku augšanu. Kā visneprecīzākais no analizētajiem modeļiem minams divu parametru Hosfelda I modelis, kas uzkrītoši kļūdaini prognozēja koku augšanu visā empīrisko datu vecuma diapazonā (2.3. att.). Lai arī Korfa modelis parādīja augstāko efektivitāti (zemāko AIC un BIC vērtību), tas bija izteikti neprecīzs jaunaudzēs vecumā (<40 gadi). Pārējie modeļi parādīja atbilstību empīriskajiem datiem, ja neskaita neprecizitātes, kas saistītas ar sējeņu ieaugšanos. Ņemot vērā, ka lapegle agrīnā vecumā ir saulmīlis, šīm neprecizitātēm var būt otršķirīga loma.

Neatkarīgi no modeļa (2.3. att.), galvenokārt jaunākajiem kokiem novērotas novirzes no prognozētās augšanas gaitas pēdējo 20–30 gadu laikā. šādas anomālijas iepriekš novērotas arī dižskābardim (*Fagus sylvatica* L.). Lai arī dižskābardim šādas atšķirības saistītas ar labākā

stādmateriāla atlasi no introducētajiem genotipiem, lapegles gadījumā novērotais primārā pieauguma uzlabojums varētu būt saistāms arīdžan ar klimata izmaiņām un attiecīgi augšanas apstākļu uzlabojumu. Par augšanas apstākļu uzlabojumu liecina arīdžan vecāko koku pieaugums dažu pēdējo gadu laikā, kad ir veidojies pozitīvs papildpieaugums. Līdz ar to izstrādāto modeļu prognozes vērtējamās kā konservatīvas. Balstoties uz modeļu precizitāti un reālismu, Čapmana-Ričardsa, Slobodas, Hoffelda un Stranda modeļi var tikt ieteikti lapegles augšanas gaitas prognozēšanai Latvijā.

Kopsavilkums

Pētījuma ietvaros veikta lapegļu audžu atlasē, paraugkoku izvēlē un paraugu ievākšana augšanas gaitas modeļu izstrādei. Balstoties uz modeļu precizitāti un reālismu, Čapmana-Ričardsa, Slobodas, Hoffelda un Stranda modeļi var tikt ieteikti lapegles augšanas gaitas prognozēšanai Latvijā. Iegūtie rezultāti vienkārši integrējami esošajos augšanas gaitas modelēšanas rīkos, t.sk. nodoti pētījuma “Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana” realizācijai, integrējot tos kopējā augšanas gaitas modeļu izstrādei izmantotā datu kopā.

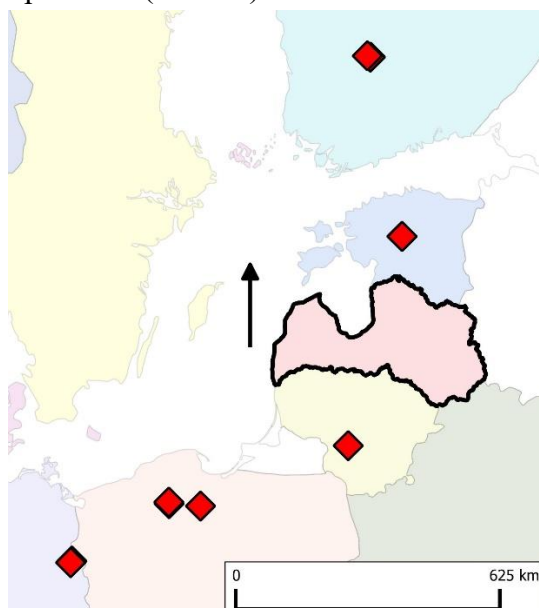
Pētījuma ietvaros tika veikta plānotā lapegles, sarkanā ozola tīraudzes un mistrojuma stādījumu ierīkošana. Izveidots Klinškalnu priedes pēcnācēju pārbaužu stādījums, kas nodrošinās iespējas Latvijas klimatiskajos apstākļos vērtēt Zviedrijā selekcionētu šīs koku sugas genotipu augšanas gaitu.

Veikta visu ierīkoto eksperimentu apsekošana, MPS platībās ierīkoto objektu kopšana, pārējos objektos – saskaņošana ar LVM atbildīgajām personām un kopšana. Šajā pētījuma etapā nav veikta atkārtot uzmērīšana, to plānojot 5 gadus pēc ierīkšanas.

3. Priežu dendrohronoloģiskā analīze

Caurmēra pieaugumu ietekmējošo faktoru izmaiņas nākotnes klimatā: Somijā, Polijā, Igaunijā augošu priežu dendrohronoloģiskā analīze.

Saskaņā ar 2017. gadā definēto metodiku un teritorijām (skatīt šī pētījuma 2017. gada starpatskaiti), veikta paraugu ievākšana Somijas dienvidu daļā (sadarbībā ar LUKE), Igaunijas centrālajā daļā (sadarbībā ar EMU) un Polijas ziemeļu daļā (sadarbībā ar IBL). Kopumā pētījuma materiāls ievākts 16 parastās priedes audzēs (> 80% no krājas), kas izkārtotas transektē gar Baltijas jūras austrumu piekrasti (3.1. att.).



3.1. attēls. Analizēto priedes audžu izvietojums

Šāds pētāmo audžu izvietojums izvēlēts, lai aptvertu klimatiskos apstākļus, kādi ir bijuši, kā arī ir prognozēti Latvijā globālo klimata pārmaiņu kontekstā (IPCC, 2013). Pētītās audzes auga nabadzīgos sausieņu augšanas apstākļos, kas ir salīdzināmi ar mētrāju (*Vacciniosa*). Ģeogrāfiskais augstums visās audzēs bija salīdzināms neliels (< 450 m v.j.l.). Paraugoto koku vecums bija robežās no 70 līdz 120 gadiem. Katrā audzē no 14 līdz 30 virsvalda (I–II Krafta klase) kokiem ar Preslera svārpstu no pretējam stumbra pusēm 1,3 m augstumā ievākti divi 5 mm plati koksnes paraugi.

Laboratorijā koksnes paraugi fiksēti un to virsma slīpēta, izmantojot slīppapīru ar trīs raupjumiem (120 240 un 400). Gadskārtu platums mērīts manuāli, izmantojot LINTAB 5 mērgaldu. Mērījumu precizitāte – 0,01 mm.

Mērījumu sēriju kvalitāte pārbaudīta veicot grafisku un statistisku šķērsdatēšanu, izmantojot datorprogrammu COFECHA (Grissino-Mayer, 2001). Mērījumu rindu kopu (koki no vienas audzes) raksturošanai noteikti gadskārtu platumu vidēji rādītāji, un aprēķināti vidējā jutības, signāla stipruma (SNR), EPS un autokorelācijas indeksi (Wigley et al., 1984). Pēc datu kvalitātes pārbaudes pieauguma ikgadējās mainības raksturošanai katrai audzei izveidota atlikumu hronoloģija: veikta divkārtšā detrendēšana izmantojot negatīvi eksponenciālo un trešās kārtas kubisko modeli, kā arī noņemta iepriekšējās augšanas ietekme (izmantojot autoregresīvu funkciju).

Augšanas ritmu līdzība starp pētītajām audzēm raksturota izmantojot galveno komponentu analīzi. Par pamatu ņemtas hronoloģiju vērtības (mērījumi) laika posmā no 1952. gada līdz 2017. gadam; hronoloģijas uzskatītas par paraugiem.

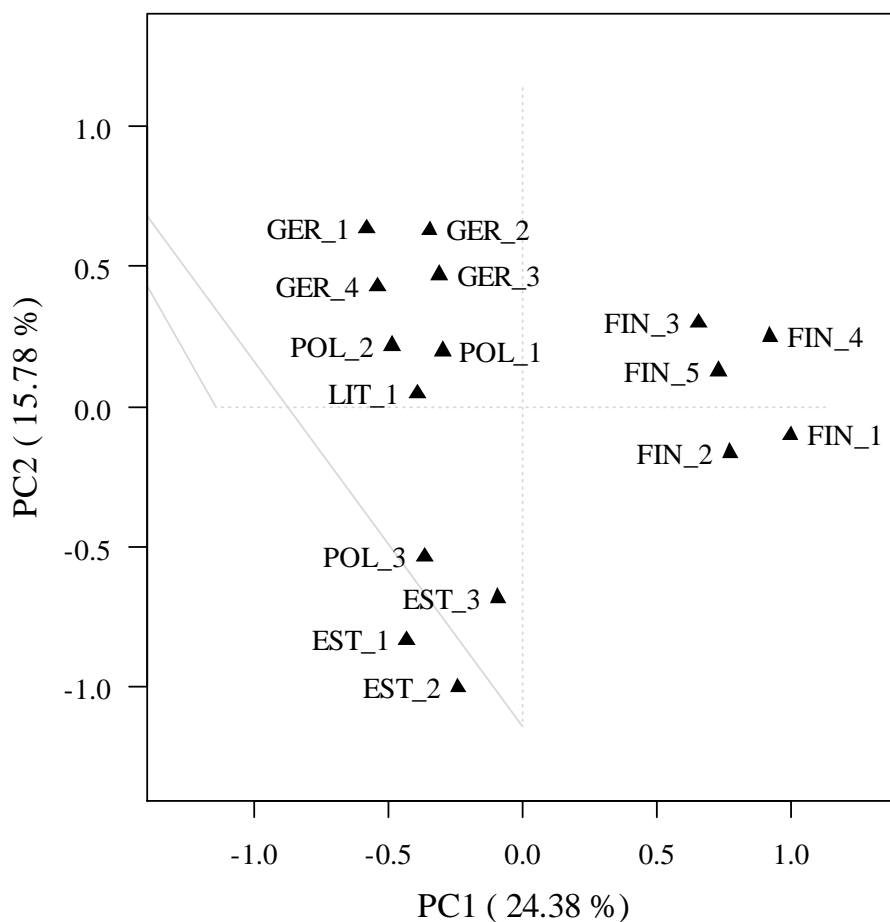
3.1. tabula

Pētīto parastās priedes audžu gadskārtu platuma sēriju un hronoloģiju statistiskie rādītāji.

Audze	Šķērsdatēto koku skaits	Vidējais gadskārtu platums, mm	Standart-novirze, mm	Vidējā jutība	Autokorelācijas koeficients	Starpsēriju korelācija	EPS	Signāla stiprums
EST_1	26	1,28	0,54	0,19	0,76	0,52	0,96	25,4
EST_2	28	1,85	0,83	0,20	0,81	0,53	0,97	28,3
EST_3	28	1,55	0,90	0,18	0,87	0,41	0,95	18,5
FIN_1	29	1,24	0,53	0,18	0,80	0,58	0,97	27,8
FIN_2	28	1,44	0,51	0,18	0,76	0,48	0,96	21,5
FIN_3	29	1,37	0,70	0,20	0,84	0,50	0,96	26,2
FIN_4	26	0,93	0,38	0,19	0,78	0,54	0,97	28,4
FIN_5	26	1,53	0,54	0,17	0,78	0,48	0,95	19,4
GER_1	29	1,95	0,75	0,23	0,70	0,58	0,97	33,8
GER_2	29	1,80	0,70	0,21	0,70	0,39	0,95	17,8
GER_3	12	1,32	0,60	0,25	0,66	0,32	0,84	5,2
GER_4	30	1,72	0,81	0,24	0,69	0,43	0,96	22,1
LIT_1	12	2,03	0,92	0,21	0,70	0,37	0,87	6,6
POL_1	30	1,59	0,98	0,21	0,81	0,49	0,97	28,0
POL_2	28	1,73	0,95	0,22	0,82	0,59	0,98	38,8
POL_3	30	1,02	0,46	0,25	0,69	0,51	0,97	29,7

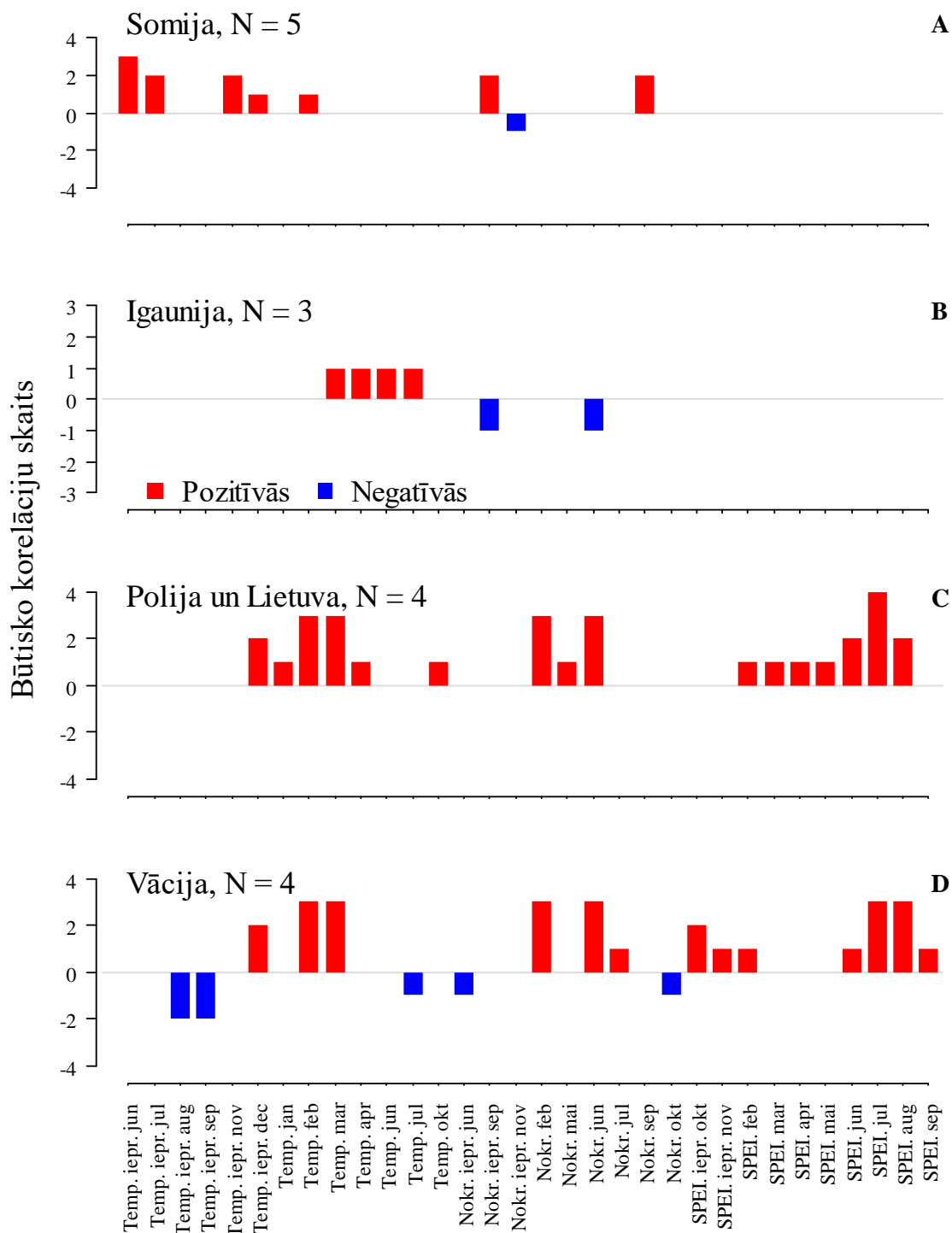
Radiālā pieauguma mainības saistības ar meteoroloģiskajiem faktoriem raksturojot Pīrsona korelācijas analīzi; korelācijas koeficientu būtiskums noteikts izmantojot būsrapa metodi (Zang, Biondi, 2013). Analīze veikta gan kopējam periodam (1952.–2017. gads), gan arī slīdošiem 30 gadu intervāliem šajā periodā, lai raksturotu saistību izmaiņas laikā. Datu analīze veikta programmā R v. 3.5.2 (R Core Team, 2018) izmantojot analīzes paketes “bootRes” (Zang, Biondi, 2013) un dplR (Bunn, 2008). Pētītās datu kopas (gadskārtu platumu mērījumu sērijas no audzes) uzrādīja vidēju jutību (ca. 0,20, cf. Speer, 2010), kā arī $EPS > 0,85$ (3.1. tab.), norādot uz to reprezentativitāti vides un augšanas mainības saistību raksturošanai (Speer, 2010; Wigley et al., 1984). Novērota augsta gadskārtu platumu autokorelācija ($\geq 0,66$; 3.1. tab.), kas norāda uz būtisku iepriekšējās augšanas ietekmi uz gadskārtas platumu, kas ir tipiski mērenā klimata augošiem kokiem. Veicot ikgadējās mainības analīzi, šis efekts, kas var samazināt meteoroloģisko faktoru ietekmes izpausmi pieaugumā, ir ņemts vērā un tā ietekme samazināta standartizācijas procesā.

Gadskārtu platuma ikgadējās mainības ritmi kopumā bija specifiski konkrētam reģionam. Pirmā galvenā variēšanas komponente uzskatāmi nodalīja Somijas audzes (3.2. att.), kas skaidrojams ar krasi atšķirīgiem klimatiskajiem apstākļiem un valsts atrašanās boreālo mežu zonā. Otrā komponente uzskatāmi nodalīja Igaunijas audzes, tomēr vērojama komponentes vērtību pārklāšanās ar Polijas audzēm, norādot uz kopīgu reakciju uz meteoroloģisko faktoru mainību, esamību, un reģionālām augšanas iezīmēm. Šādas iezīmes, iespējams, saistāmas ar meteoroloģisko faktoru ekstrēmu ietekmi. Pieauguma ritms Lietuvas audzē bija līdzīgs Polijas audzēm.



3.2. attēls. Pētīto parastās priedes audžu gadskārtu platuma ikgadējās variēšanas pirmās divas galvenās komponentes (PC). Skaitļi iekavās norāda izskaidrotās variācijas īpatsvaru.

Priedes gadskārtu platuma ikgadējās mainības saistībām ar meteoroloģiskajiem faktoriem novērotas izteiktas reģionāla iezīmes (3.3. att.), ko var prognozēt, ievācot datus no tika atšķirīgos klimatiskajos apstākļos esošām audzēm (Speer, 2010). Pieaugums Somijā visbiežāk bija saistīts ar apstākļiem vasarā pirms gadskārtas veidošanās, norādot uz barības vielu saistību ar ksiloģenēzi (Hansen, Beck, 1994). Pozitīvās saistības ar vasaras temperatūru (3.3. att.) norādīja uz limitejošu veģetācijas sezonas un pieejamā siltuma daudzuma ietekmi (Salminen et al., 2009).



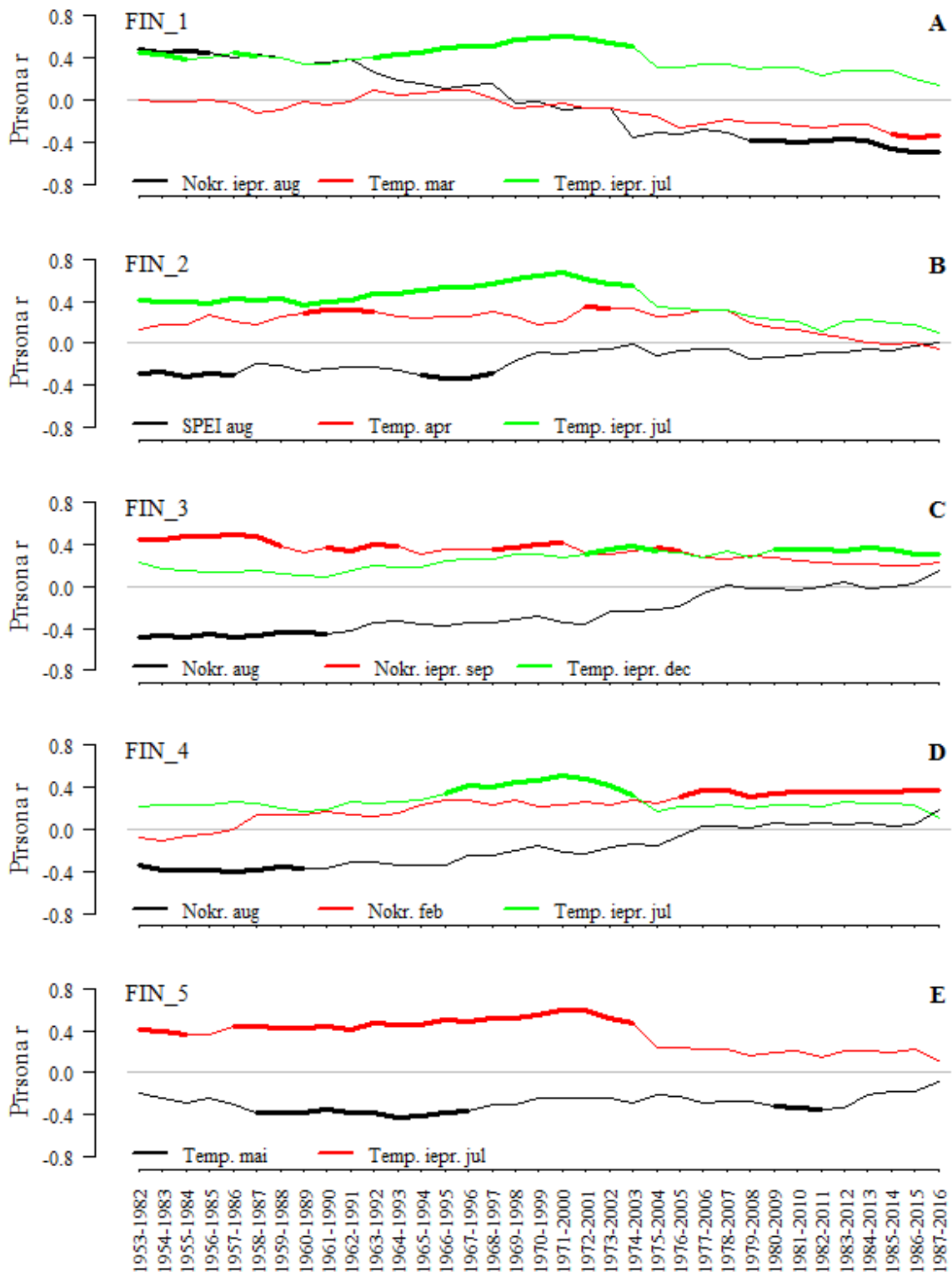
3.3. attēls. Būtisko Pīrsona korelāciju starp parastās priedes gadskārtu platumu un meteoroloģiskajiem faktoriem skaits. Negatīvo korelāciju skaits parādīts kā negatīvs skaitlis. Analīze veikta laika posmam no 1952. līdz 2016. gadam. N – analizēto hronoloģiju skaits.

Atsevišķās audzēs novērotas pozitīvas saistības ar temperatūru miera perioda laikā (3.3. att.), norādot uz sala ietekmi, kas var saistīties ar tiešiem bojājumiem (galvenokārt miera sezonas sākumā) vai ar barības vielu rezervju noplicināšanu (Hansen, Beck, 1994). Novērota pozitīva septembra temperatūras un nokrišņu ietekme (3.3. att.), kas varētu būt skaidrojama ar papildus barības rezervju asimilāciju gados ar mitru un siltu septembra un palielinātu pieaugumu nākamajā augšanas sezonā (Salminen et al., 2009). Saistības ar septembra temperatūru gadskārtas veidošanās gadā ir grūti izskaidrojamas, jo tajā laikā koki Somijā ir pārstājuši augt, un var būt nejaušas.

Igaunijā novērotas lokālas pieauguma un meteoroloģisko faktoru sakarības (saiknes starp noteiktiem meteoroloģiskajiem faktoriem un koku pieaugumu) (3.3. att.), norādot uz nelimitējošu laikapstākļu ietekmi (Speer, 2010). Novērota pozitīvā sakarība ar pavasara un vasaras temperatūru (3.3. att.), kas skaidrojams ar siltuma daudzuma ietekmi uz ksiloģenēzi (Salminen et al., 2009), kā arī sakņu attīstību, galvenokārt pavasarī (Hansen, Beck, 1994). Negatīvā vasaras nokrišņu ietekme uz pieaugumu (3.3. att.), kam varētu būt lokāls raksturs, saistīts ar augsnes skābekļa deficītu (Pallardy, 2008).

Siltākos klimatiskajos apstākļos Lietuvā, Polijā un Vācijā gadskārtu platumu izteikti ietekmēja gan ziemas temperatūra, gan nokrišņi un ūdens deficīts vasarā (3.3. att.). Lai arī decembra – aprīļa periodā koki neveido vasas pieaugumu, Hansen, Beck (1994) novērojuši aktīvu sakņu attīstību, kas ir atkarīga no augsnes temperatūras (Tierney et al., 2001). Sakņu attīstībai ir būtiska nozīme ūdens un minerālvielu aprītei kokā augšanas sezonas laikā, proti plašākā sakņu sistēma paaugstina koka kā bioloģiskas sistēmas plastiskumu mainīgā vidē (Kramer, Boyer, 1995; Tierney et al., 2001), kas izskaidro izteiktās sakarības, it īpaši ņemot vērā pieaugšos ūdens deficīta apstākļus augšanas sezonas laikā (IPCC, 2013). Ziemas nokrišņu ietekme (3.3. att.) skaidrojama ar sniega slāņa termoizolējošajām īpašībām, kas kavē augsnes sasalšanu atvieglot sakņu attīstību (Tierney et al., 2001). Tiešu ūdens deficīta ietekmi uz radiālo pieaugumu, kas ir visintensīvākais jūnijā (Martinez-Vilalta et al., 2012), parādīja vasaras nokrišņiem un sausuma indeksu SPEI pozitīvu ietekmi uz pieaugumu (3.3. att.). Vācijā, kur klimats ir siltāks, negatīvās vasaras gaisa temperatūras ietekme uz gadskārtu platumu norādīja uz karstuma šoka ietekmi asimilāciju, ietekmējot gan ksiloģenēzi, gan rezerves barības vielu veidošanos (Allen et al., 2010).

Gadskārtu platuma un meteoroloģisko faktoru sakarības vairumā gadījumu bija laikā mainīgas, kas ir skaidrojams ar koku novecošanos (Carrer, Urbinati, 2004) kā arī klimatiskajām izmaiņām (Carrer, Urbinati, 2006; Wilmking et al., 2004;). Audzēs Somijā galvenokārt novērota iepriekšējā gada (pirms gadskārtas veidošanās) ietekmes samazinājums (3.4. att.), kas skaidrojams ar klimata pasiltināšanos (IPCC, 2013) un pieaugošu siltuma daudzumu augšanas sezonas laikā (Salminen et al., 2009). Analogiski skaidrojama arī maija temperatūras ietekmes vājināšanās (3.4. att.). Nokrišņiem augustā (3.4. att.), kas ir augšanas sezonas izskaņa Somijā (Salminen et al., 2009), analizētā perioda sākumā novērota negatīva ietekme uz gadskārtu platumu, kas skaidrojama ar samazinātu pieejamās gaismas daudzumu un līdz ar to fotosintēzi lietainās vasarās (Strand et al., 2006). Šī faktora ietekmes vājināšanos var ieskaidrot ar veģetācijas perioda pagarināšanos, līdz ar to papildus asimilāciju (Lindner et al., 2010; Menzel, Fabian, 1999). Februāra nokrišņu (sniega) daudzumam, kas saistāms ar augsnes sasalumu un sakņu attīstību (Tierney et al., 2001), siltāka klimata apstākļos novērota pieaugošā ietekme (3.4. att.).

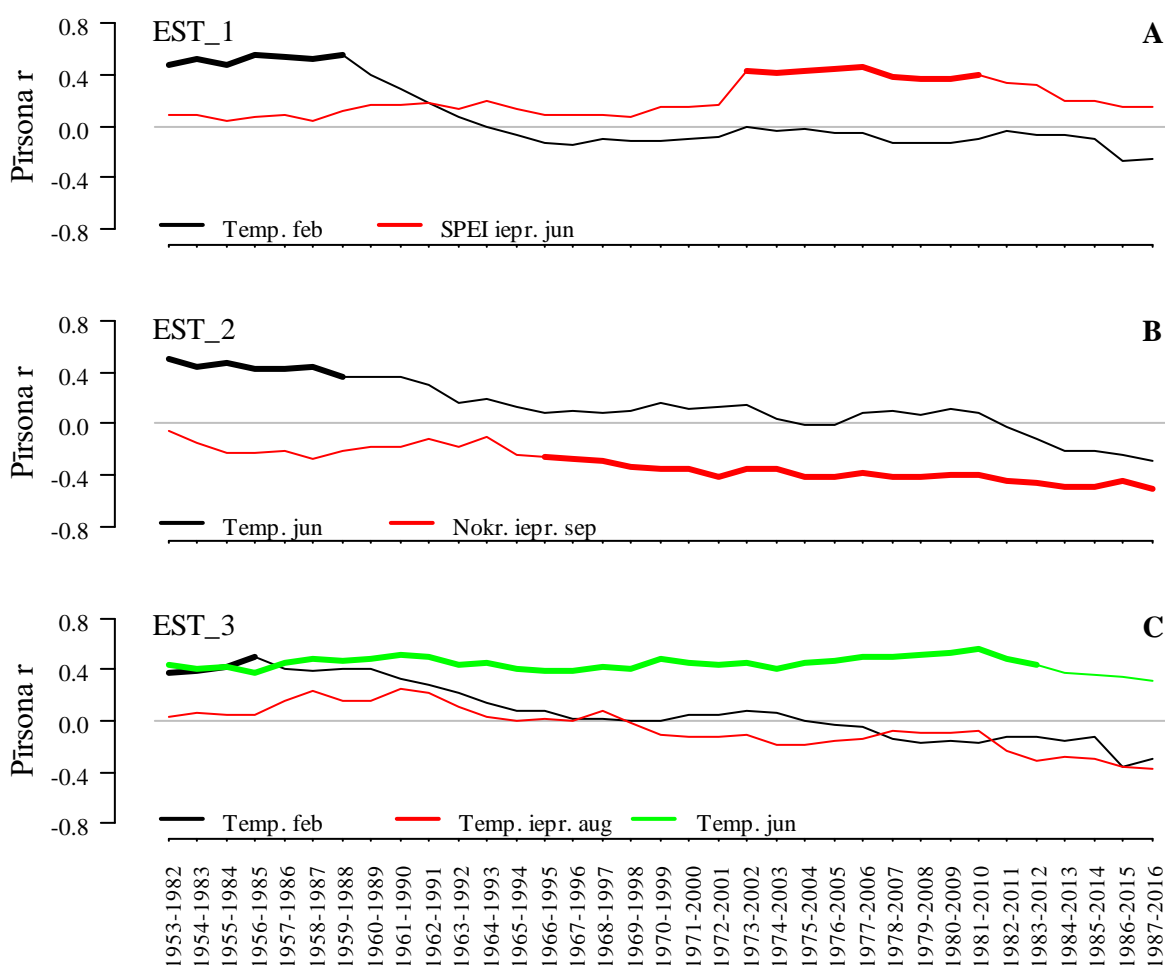


3.4. attēls. Korelācija starp parastās priedes gadskārtu platumu un meteoroloģiskajiem faktoriem izmaiņas laikā piecās audzēs Somijā. Parādītas tikai izteiktākās sakarību izmaiņas. Korelācijas koeficienti aprēķināti slīdošajiem 30 gadu intervāliem laika posmā no 1952. līdz 2016. gadam. Treknās līnijas parāda būtiskās korelācijas (pie $\alpha = 0,05$).

Metoroloģisko faktoru un gadskārtu platumu sakarību izmaiņas Igaunijas audzēs galvenokārt saistāmas ar februāra temperatūras ietekmes vājināšanos (3.5. att.). Siltāka klimata

apstākļos (salīdzinot ar Somiju) klimata pasiltināšanas (Harris et al., 2014), acīmredzot, ir uzlabojusi pārziemošanas apstākļus gada aukstākajā periodā. Līdzīgi, pasiltināšanas ir mazinājusi arī jūnija temperatūras ietekmi (3.5. att.). Pieaugošā negatīvā septembra (pirms gadskārtas veidošanās) nokrišņu ietekme ir skaidrojama ar augšanas sezonas pagarināšanos (Menzel, Fabian, 1999), un līdz ar to barības vielu rezerves (Allen et al., 2010; Hansen, Beck, 1994) reakciju uz apgaismojuma apstākļiem (Strand et al., 2006), ko tostarp ietekmē mākoņainība, sezonas beigās.

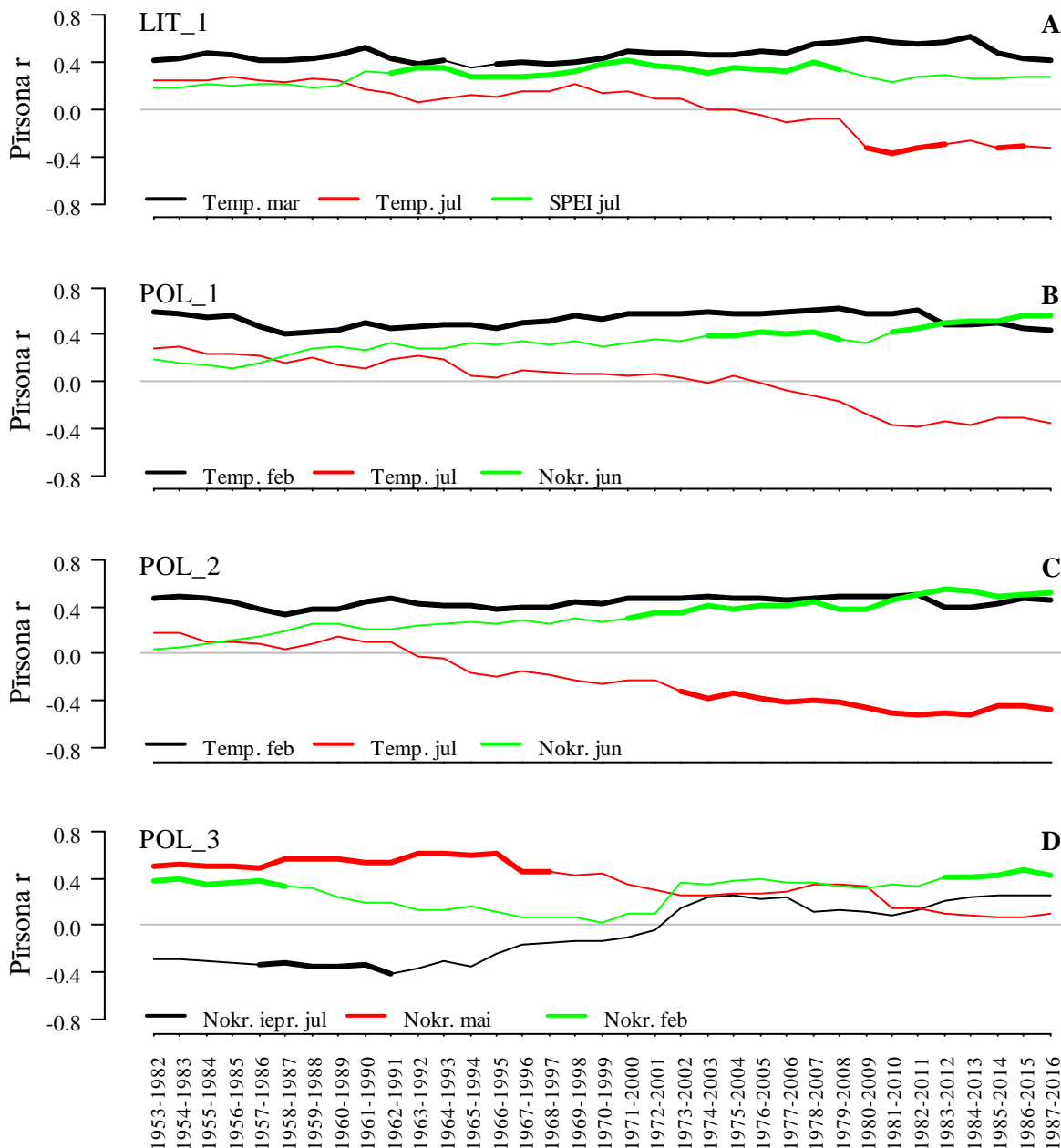
Lietuvā un Polijā, kur klimats ir siltāks un sausāks (Harris et al., 2014), pārsvarā novērota ar ūdens deficītu saistīto faktoru ietekmes pieaugums (3.6. att.). Kopš 20. gs. 70.-tajie gadiem ir pastiprinājusies vasaras nokrišņu (pozitīva) un temperatūras, kas sekmē evapotranspirāciju (Traykovic, 2005), ietekme. Februāra temperatūras ietekmē ir bijusi būtiska visu analizēto periodu (3.6. att.), bet attiecīgie korelācijas koeficienti ilgtermiņā ir rādījuši nedaudz pieaugošas tendences.



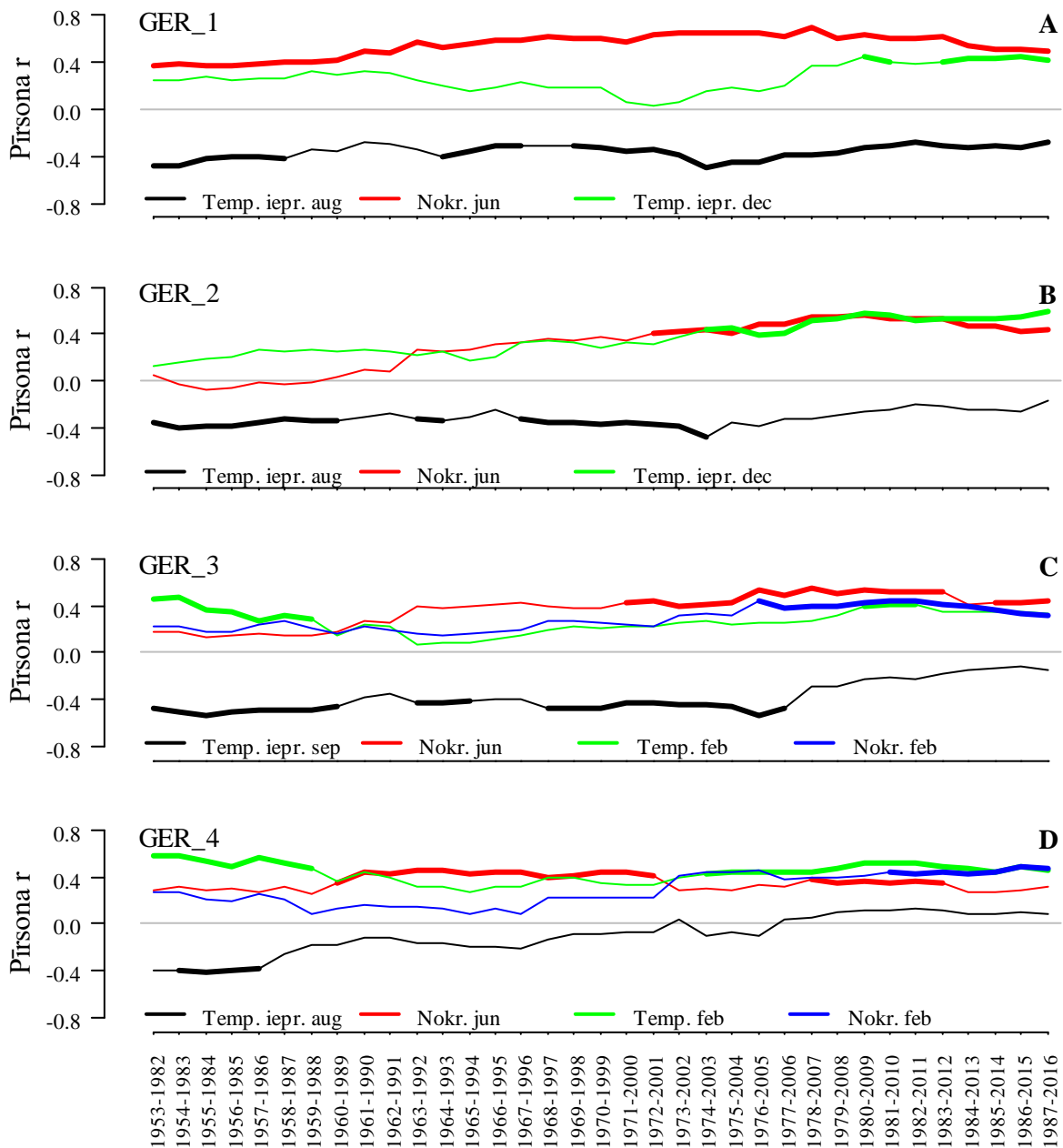
3.5. attēls. Korelācija starp parastās priedes gadskārtu platumu un meteoroloģiskajiem faktoriem izmaiņas laikā trijās audzēs Igaunijā. Parādītas tikai izteiktākās sakarību izmaiņas. Korelācijas koeficienti aprēķināti slīdošajiem 30 gadu intervāliem laika posmā no 1952. līdz 2016. gadam. Treknās līnijas parāda būtiskās korelācijas (pie $\alpha = 0,05$).

Izņēmums ir tikai viena audze (POL_3), kurā novērota vasaras nokrišņu ietekmes samazināšanās. Tomēr arī šajā audzē pēdējās desmitgadēs novērota februāra nokrišņu (sniega) ietekme, kas skaidrojama ar augsnes temperatūras svārstībām un līdz ar to pastiprinātu ietekmi uz sakņu attīstību (Tierney et al., 2001). Šīs izmaiņas var būt daļēji saistāmas ar koku

novecošanos (Carrer, Urbinati, 2004). Vācijas audzēs novērots izteikta limitējoša jūnija nokrišņu ietekme uz priedes gadskārtu platumu, korelācijas ar šo faktoru ciešums laika gaitā palielinās (3.7. att.). Pēdējās desmitgadēs ir pastiprinājusies ziemas temperatūras ietekme, kas skaidrojams ar klimata pasiltināšanos un kokus ietekmējošo faktoru maiņu (Carrer, Urbinati, 2006; Speer, 2010). Tomēr sakarību izmaiņām vērojamas lokālas un reģionālas iezīmes, kas norāda uz nepieciešamību iekļaut lokālos faktorus pieauguma izmaiņu prognozēs.



3.6. attēls. Korelācija starp parastās priedes gadskārtu platumu un meteoroloģiskajiem faktoriem izmaiņas laikā četrās audzēs Lietuvā un Polijā. Parādītas tikai izteiktākās sakarību izmaiņas. Korelācijas koeficienti aprēķināti slīdošajiem 30 gadu intervāliem laika posmā no 1952. līdz 2016. gadam. Treknās līnijas parāda būtiskās korelācijas (pie $\alpha = 0,05$).



3.7. attēls. Korelācija starp parastās priedes gadskārtu platumu un meteoroloģiskajiem faktoriem izmaiņas laikā četrās audzēs Vācijā. Parādītas tikai izteiktākās sakarību izmaiņas. Korelācijas koeficienti aprēķināti slīdošajiem 30 gadu intervāliem laika posmā no 1952. līdz 2016. gadam. Treknās līnijas parāda būtiskās korelācijas (pie $\alpha = 0,05$).

Kopsavilkums

Pētījumā tika novērtētas caurmēra pieaugumu ietekmējošo faktoru izmaiņas nākotnes klimatā, veicot augošu priežu dendrohronoloģiskās analīzes. Pētījuma materiāls ievākts 16 parastās priedes audzēs (> 80% no krājas) gar Baltijas jūras austrumu piekrasti: Somijā, Igaunijā, Lietuvā, Polijā, Vācijā.

Meteoroloģiskajiem faktoru korelācijai ar priedes gadskārtu platuma novērotas izteiktas reģionāla iezīmes. Lietuvā un Polijā, kur klimats ir siltāks un sausāks (Harris et al., 2014), pārsvarā novērota ar ūdens deficītu saistīto faktoru ietekme. Priedes audzēm Vācijā novērota izteikta limitējoša jūnija nokrišņu ietekme uz priedes gadskārtu platumu; korelācija starp šo

faktoru un pieaugumu laika gaitā kļūst ciešāka, liecinot par izteiktāku sausuma periodu (vērojami pēdējās desmitgadēs) nozīmīgāku negatīvo ietekmi. Pēdējās desmitgadēs ir pastiprinājusies arī ziemas temperatūras ietekme, kas skaidrojams ar klimata pārmaiņām (temperatūras paaugstināšanās) un līdz ar to kokus ietekmējošo faktoru maiņu. Kopumā klimata – pieauguma sakarību izmaiņām vērojamas lokālas un reģionālas iezīmes, kas norāda uz nepieciešamību iekļaut lokālos faktorus pieauguma izmaiņu prognozēs.

Rekomendējama turpmāka vasaras perioda nokrišņu un gan ziemas temperatūras (iespējams, saistītas ar barības vielu patēriņu, sakņu augšanu) padziļināta izpēte, izstrādājot metodiku jutības pret tiem vērtēšanai meža selekcijā.

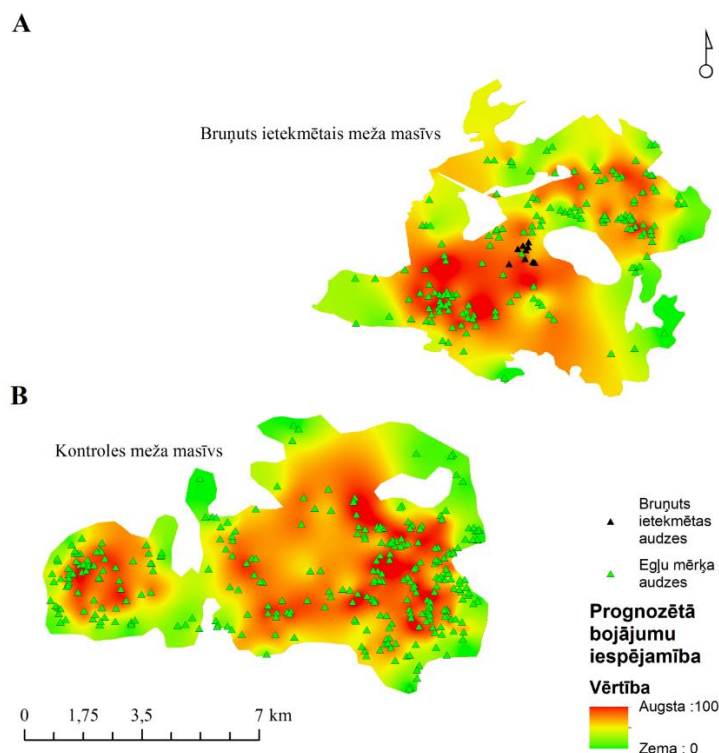
4. Mistrojuma ietekmes uz egļu bruņuts sastopamību un vētru bojājumiem

Vērtējums par mistrojuma ietekmi uz egļu bruņuts bojājumu sastopamību meža masīvos, raksturojošā modeļa verifikācija. Vērtējums par mistrojuma ietekmi uz vētru bojājumiem – audzes līmenis.

Pagājušajā gadā izstrādāts dažādu mežaudžu telpiskā izvietojuma meža masīvā ietekmes uz egļu bruņuts sastopamību egļu tīraudzēs prognozēšanas modelis (skat. 2017. gada starpatskaiti). Šajā gadā veikta tā validācija šī kukaiņa ietekmētā un neietekmētā (kontroles) meža masīvā, Latvijas centrālajā daļā, Olaines novadā. Šajos meža masīvos atlasītas egļu audzes pēc tādiem pašiem kritērijiem, kā veicot modeļa izstrādi – egļu tīraudzes (egle sastāvā >70% no I stāva šķērslaukuma) vecumā no 30 līdz 70 gadiem, kurās nav konstatēti egļu bruņuts bojājumi (mērķa audzes), un egļu audzes, kurās veikta sanitārā kailcirte pēc 2010. gada pavasara egļu bruņuts bojājumiem (bruņuts bojātās audzes).

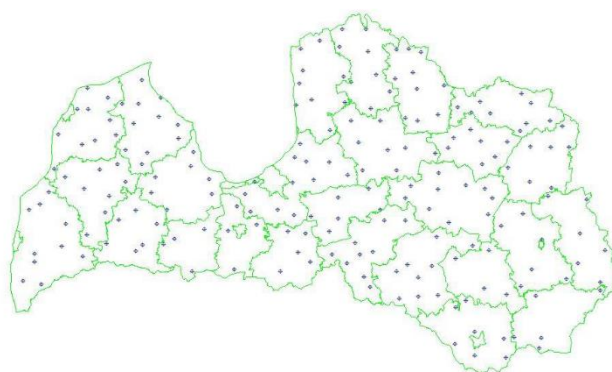
Prognozēto bojājumu iespējamība aprēķināta, izmantojot R datorprogrammas funkciju “predict”. Izvēlētajos Olaines meža masīvos iegūtas bojājumu sastopamības varbūtības bojātajām egļu audzēm un egļu mērķa audzēm, balstoties uz izstrādātā modeļa vienādojuma koeficientiem. Šim nolūkam izvēlētajos Olaines meža masīvos katram nogabalam aprēķināti Šenona daudzveidības indeksi divām dažādām bufera distancēm, 100m un 1000m. Iegūtie rezultāti vizualizēti, izmantojot *Spline with Barriers* interpolēšanas rīku *Arcgis* programmā.

Konstatēts, ka bruņuts faktiski bojātajām audzēm prognozētā (modelētā) bojājumu iespējamība ir 74,6% (4.1. att. A). Būtiski ($p < 0.05$) zemāka prognozēto bojājumu iespējamība konstatēta faktiski nebojātajām audzēm (kontroles meža masīvā): 61,2 % (4.1. att. B).



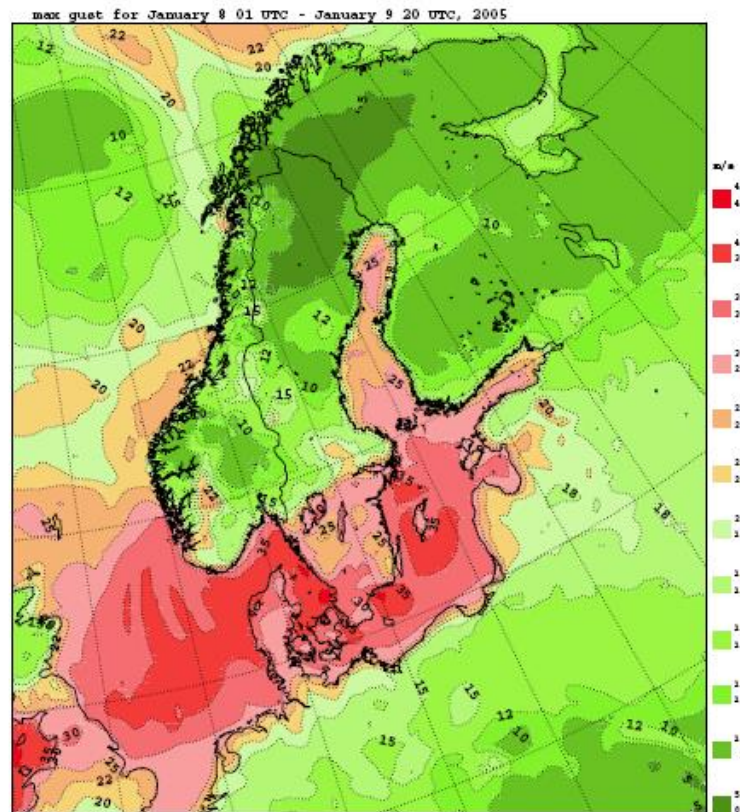
4.1. attēls. Prognozētie un faktiskie bojājumi bruņuts ietekmētā meža masīvā (A) un bruņuts neietekmētā (kontroles) meža masīvā (B).

Vētras nodarīto postījumu apmērs tika novērtēts 2005. gada vasarā. Parauglaukumi ar platību 1 km² tika izvietoti visā Latvijas teritorijā, kopumā 176 (4.2.att.), nodrošinot datus par 5997 audzēm ar vidējo augstumu virs 10 m, kurās dominējošā suga bija priede, egļu vai bērzs. Katrā no parauglaukumiem apsekotas visas tajā ietilpstošās mežaudzes. Vētras bojājumu apmērs novērtēts kā bojātās krājas īpatsvars procentos (*Pdam*) no kopējās krājas. Katrā mežaudzē fiksēta informācija par tās taksācijas rādītājiem (4.1. tab.).



4.2. attēls. Vētras ietekmes raksturošanas parauglaukumu izvietojums.

Dati par meteoroloģiskajiem apstākļiem un maksimālajām vēja brāzmām (ms⁻¹) vētras laikā tika iegūti 22x22 km tīklā no Zviedrijas meteoroloģijas un hidroloģijas dienesta (4.3. att.).



4.3. attēls. Vidējo maksimālo vētras brāzmu ātrums (ms^{-1}) 2005. gada janvāra vētrā. Informācija no Zviedrijas meteoroloģijas un hidroloģijas dienesta.

4.1. tabula

Apraksts	Analizēto vētras bojājumus ietekmējošo faktoru apraksts	Sadalījums pa kategoriju klasēm	Saīsinājums
Dominējošā koku suga (> 50% no krājas)		1. egles; 2. priede; 3. bērzs	s10gr
Mežaudzes platība (ha)		1 (0,1–1,0); 2 (1,1–1,9); 3 (≥ 2)	plat
Valdaudzes koku sugu sastāvs		1 – mistraudze; 2 – tīraudze ($\geq 75\%$ no krājas)	st_com
Egles piemistrojums valdaudzē		0 – nav; 1 – ir ($\geq 15\%$ no krājas)	mix_egle
Egles piemistrojums otrā stāvā		0 – nav; 1 – ir	st2_egle

Vidējais augstums valdaudzei (m)	10 (10–12); 15 (13–16); 20 (17–22); 25 (23–26); 30 (≥ 27)	h_gr
Attiecība: augstums \times augstums / diametrs	10 (6,7–10,9); 15 (11–15,9); 20 (16,0–20,9); 25 (21–25,9); 30 (26,0–57,8)	h2d
Augsnes tips	1 – sausieņi; 2 – slapjaini; 3 – purvaini; 4 – āreņi; 5 – kūdreņi	s_ty
Retināšana	0 – retināts vairāk nekā pirms 10 gadiem vai nav informācijas; 2 – retināts pirms 6 līdz 10 gadiem; 4 – retināts pēdējo 5 gadu laikā	thin_befk2
Pretvēja audzes malas pieguļošās zonas informācija	BL – jauna meža mala (izcirtums vai jaunaudze < 5 gadi); GL – sena meža mala (jaunaudze ar vidējo augstumu < 5 m / purvs / lauksaimniecības zeme); H – augsta meža mala (mežaudzes ar vidējo augstumu > 5 m)	mala
Vēja brāzmas (ms^{-1})	WR 1 (17–19); WR 2 (20–21); WR 3 (22–24); WR 4 (25–30)	w_gust
Audzes biežība	1 ($\leq 0,4$) 2 (0,5 – 0,7) 3 (0,8 – 1,0)	dens_gr

Faktoru multikolinearitāte pārbaudīta ar rangu korelācijas analīzi. Multikolinearitātes gadījumā (*Kendall tau* > 0,5), modelēšanai izvēlēts faktors, kuram konstatēta ciešāka korelācija ar bojājumu apjomu *Pdam*.

Tā kā modeļa atlikuma vērtības neatbilda normālajam sadalījumam, analīze veikta ar vispārinātu lineāru jauktu modeli (GLMM). Kā nejaušais (*random*) faktors modelī izmantots parauglaukuma numurs.

Pēc nebūtisko faktoru izslēgšanas modelī saglabājās septiņi faktori – mežaudzes dominējošā koku suga, egles piemistrojums valdaudzē, vidējais valdaudzē augstums, audzes biežība, periods kopš pēdējās retināšanas, vēja pusē blakus esošais nogabals un vēja brāzmu stiprums (4.2. tab.). Līdzīgi būtiskie faktori, kas ietekmē vētras bojājumu apmēru mežaudzēs, iegūti arī citos pētījumos Dienvidzvidrijā (Valinger, Fridman, 2011) un dienvidrietumu Vācijā (Albercht et al., 2010), kas norāda, ka mūsu pētījumā atlasītie faktori ir nozīmīgi arī plašākā mērogā ārpus vienas vētras konteksta.

Vislielākais vēja bojājumu apmērs konstatēts egļu audzēs (> 50 % no krājas), vidējās marginālās vērtības 13,5±1,78 %, kas bija būtiski augstāks nekā priežu un bērzu audzēs, kur attiecīgi vidējās marginālās vērtības bija 5,3±0,6 % un 4,7±0,6 %. Vētras nodarīto bojājumu apmēru būtiski palielināja egles piemistrojums valdaudzē (≥ 15% no krājas) – ar piemistrojumu vidējā marginālā vērtība bija 9,0±1,3 %, bez egles piemistrojuma – 5,3±0,6 %. Egles zemā vēja noturība ir konstatēta vairākos pētījumos, un tiek saistīta ar tās augšanas apstākļiem (Wallentin, Nilsson, 2014). Kā liecina iepriekšējo pētījumu rezultāti, vētras nodarīto bojājumu apmērs ir atkarīgs no gadalaika, piemēram, lapu koku vēja noturība bezlapu periodā (vēlā rudenī un ziemā) ir augstāka nekā lapotā stāvoklī (vēls pavasarī un vasarā), jo, palielinoties vainaga virsmai, palielinās vēja ietekmes spēks uz to un attiecīgi bojājuma iespējamība (Peltola et al., 1999b). Ziemā būtisks faktors ir augsnes sasalušums – ja vētras brīdī augsne ir nesasalušā stāvoklī, būtiski palielinās kopējo vētras nodarīto bojājumu iespējamība (Peltola et al., 2000).

4.2. tabula

Vispārinātā lineāra jaukta modeļa parametru vērtība, standartkļūdas un p-vērtības

Parametri	Vērtība	Standartkļūda	p-vērtība	
Intercept	2,501	0,273	< 0,001	
Dominējošā koku suga	s10gr=bērzs	-1,059	0,083	< 0,001
	s10gr=priede	-0,939	0,084	< 0,001
	s10gr=egle	ref*		
Vēja brāzmas (ms ⁻¹)	w_gust =1	-0,454	0,252	0,072
	w_gust =2	0,553	0,271	0,038
	w_gust =3	0,563	0,271	0,081
	w_gust =4	ref		
Egles piemistrojums valdaudzē	mix_egle=0	-0,522	0,061	< 0,001
	mix_egle=1	ref		
Audzes biežība	dens_gr=1	0,986	0,168	< 0,001
	dens_gr=2	0,148	0,058	0,011
	dens_gr=3	ref		

Vidējais augstums valdaudzei (m)	h_gr=10	-0,774	0,143	< 0,001
	h_gr=15	-0,34	0,115	0,003
	h_gr=20	-0,252	0,097	0,01
	h_gr=25	-0,109	0,093	0,24
	h_gr=30	ref		
Retināšana	thin_befk2 = 0	-1,033	0,093	< 0,001
	thin_befk2 = 2	-0,704	0,127	< 0,001
	thin_befk2 = 4	ref		
Pretvēja audzes malas pieguļošās zonas informācija	mala = BL	1,701	0,151	< 0,001
	mala = GL	0,406	0,079	< 0,001
	mala = H	ref		

*ref – references grupa; saīsinājumu atšifrējums 4.2.1. tabulā.

Jūras piekrastes tuvumā esošie meži ir pielāgojušies samērā regulārai un stiprai vēja darbības ietekmei. Savukārt iekšzemē daudz retāk tiek novērotas stipras vēja brāzmas un mežaudzes nav tām pielāgojušās audzes līmenī. Tādējādi vētras laikā salīdzinoši zemākas vētras brāzmas var radīt lielākus bojājumus.

Paaugstinoties vidējam valdaudzes augstumam, pieauga vētras bojājumu apmērs: 10 m, 15 m, 20 m, 25 m un 30 m augstuma grupām attiecīgi vidējās marginālās vērtības bija $4,0\pm 0,8\%$; $6,6\pm 0,9\%$; $7,5\pm 1,0\%$; $9,0\pm 1,2\%$ un $10,2\pm 1,6\%$. Lai arī biežāk kā individuālās vēja noturības parametrs tiek izmantota augstuma un diametra attiecība, mūsu rezultātos tieši augstumam bija ciešāka saistība ar bojājumu apmēru audzē, iespējams, tāpēc ka vētras bojājumu apmērs apskatīts audzes līmenī, bet augstuma un diametra attiecība vairāk raksturo koku individuālo vēja noturību.

Vētras bojājumu apmērs pieauga, samazinoties mežaudzes biežībai: 1 ($\leq 0,4$) biežības klasei vidējā marginālā vērtība bija $12,7\pm 2,4\%$, savukārt 2 (0,5 – 0,7) un 3 (0,8 – 1,0) biežības klasei attiecīgi $5,1\pm 0,6\%$ un $4,7\pm 0,5\%$. Augstāks bojājumu apmērs retākās audzēs, iespējams, skaidrojams ar salīdzinoši nesenu veiktu retināšanu, kas uz laiku samazina audzes kopējo vēja noturību (Albrecht et al., 2010). Arī rezultāti par retināšanas perioda ietekmi norāda uz šo sakarību: visaugstākie vētras nodarītie bojājumi – vidējā marginālā vērtība $12,4\pm 1,7\%$ – konstatēti mežaudzēs, kurās veikta retināšana pēdējos piecos gados, savukārt mežaudzēs, kurās retināšana veikta vairāk kā pirms 10 gadiem, vidējā marginālā vērtība bija $4,4\pm 0,5\%$. Tāpēc savlaicīga retināšanas veikšana, kamēr koku vidējais augstums ir mazāks, ir būtiska, lai mazinātu vēja bojājuma apmērus.

Vēja bojājumu apmērs būtiski palielinās, ja vēja pusē blakus esošajā nogabalā nesenu veikta kailcirte, marginālā vidējā vērtība $18,8\pm 3,4\%$. Viszemākie bojājumi konstatēti, ja vēja pusē blakus esošajā nogabalā ir mežaudze ar vidējo augstumu > 5 m, marginālā vidējā vērtība $3,4\pm 0,4\%$. Nedaudz lielāki vētras bojājumi konstatēti, ja vēja pusē blakus esošajā nogabalā ilgstoši bijusi meža mala, piemēram, purvs vai lauksaimniecības zeme, vidējā marginālā vērtība $5,2\pm 0,7\%$. Skandināvijā pētījumos arī ir konstatēta līdzīga sakarība, ka vēja bojājumu iespējamība būtiski pieaug audzēs, kurās koki nav aklimatizējušies jauniem apstākļiem, kas rodas, piemēram, ja tiek veikta kailcirte blakus esošā nogabalā un koki, kas atradās mežaudzes iekšienē, pēc saimnieciskās darbības tiek pakļauti tiešai vēja iedarbībai (Peltola et al., 1999; Talkkari et al., 2000).

Vēja brāzmu maksimālajam ātrumam bija būtiska ietekme uz vētras nodarīto bojājumu apmēru mežaudzēs. Vismazākie bojājumi novēroti vēja brāzmu stipruma grupai WR 1 (17–19 ms⁻¹), kur vidējā marginālā vērtība bija 3,8±0,5 %. Vislielākais bojājumu apmērs konstatēts WR 2 (20–21 ms⁻¹) un WR 3 (22–24 ms⁻¹) vēja brāzmu stipruma grupām, attiecīgi vidējās marginālās vērtības 10,4±1,7 % un 9,9±2,0 %.

Salīdzinoši zemi bojājumi konstatēti visstiprāko vēja brāzmu grupai WR 4 (25–30 ms⁻¹), vidējā marginālā vērtība 5,9±1,5 %, kas skaidrojams ar to, ka visstiprākās vētras brāzmas tika novērotas šaurā joslā gar Baltijas jūras piekrasti un pakāpeniski zaudēja spēku virzienā uz iekšzemi (4.3. att.).

Kopsavilkums

Pētījuma ietvaros tika validēts pagājušajā gadā izstrādātais dažādu mežaudžu telpiskā izvietojuma meža masīvā ietekmes uz egļu bruņuts sastopamību egļu tīraudzēs prognozēšanas modelis, salīdzinot šī kukaiņa ietekmētā un neietekmētā (kontroles) meža masīvus. Konstatēts, ka bruņuts faktiski bojātajām audzēm prognozētā (modelētā) bojājumu iespējamība ir būtiski augstāka, nekā faktiski nebojātajām audzēm. Tāpat vēlreiz apstiprinājās jau iepriekš konstatētā sakarība, ka meža masīva līmenī lielākai tuvāko audžu daudzveidībai (konceptam – “tīraudzes mistrotā mežā”) ir pozitīva ietekme, samazinot bruņuts invāzijai atbilstošu egļu audžu bojājumu iespējamību.

Veikta 2005. gada vētras bojājumus būtiski ietekmējošo faktoru analīze. Vislielākais vēja bojājumu apmērs konstatēts egļu audzēs, kas ir būtiski augstāks nekā priežu un bērzu audzēs. Audzēs, kurās dominēja priede vai bērzs, tika konstatēts līdzīgs bojājumu apmērs.

Gan mistraudzes, gan tīraudzes bojājumu apmērs bija līdzīgs, tādējādi secināms, ka koku sugu sastāvam (mistraudzēm) nav būtiskas ietekmes uz vētras bojājumu apmēru. Savukārt egles piemistrojums valdaudzē (15 % ≤ no krājas) būtiski pazemina audzes vēja noturību.

Saskaņā ar pētījuma rezultātiem secinām, ka mistraudžu veidošana audzes vēja noturību būtiski neuzlabo, savukārt savlaicīga retināšanas veikšana, kamēr koku vidējais augstums ir mazāks, ir būtiska, lai mazinātu vēja bojājuma apmērus.

5. Egļu astoņzobu mizgrauža izlidošana un attīstība kontrolētos apstākļos

Eksperimenta ierīkošana kontrolētos meteoroloģiskajos apstākļos klimata izmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi vērtēšanai. Egļu astoņzobu mizgraužu aktivitātes sākuma konkrētajā gadā noteikšana.

Pētījuma mērķis ir noskaidrot, kā iespējamās veģetācijas perioda izmaiņas nākotnē var ietekmēt dažādu Latvijai nozīmīgāko dendrofāgo kukaiņu sugu attīstību un to plēsēju ietekmi uz to attīstības sekmēm, simulējot atšķirīgu klimatisko apstākļu ietekmi kontrolētos laboratorijas apstākļos, par modeļorganismiem izmantojot egļu astoņzobu un sešzobu mizgraužus un to dabiskos ienaidniekus.

Eksperimenta dizains balstās uz hipotēzi, ka pastāv dendrofāgu sugas (mizgrauži), kurām salīdzinoši augstākas temperatūras pavasarī var sekmēt pēcnācēju attīstību un veicināt mizgraužu invāziju. Pasaules praksē zināms, ka tieši vēja ietekmei – t.i., vējgāzēm – ir liela nozīme, veicinot mizgraužu savairošanos, tomēr ir daudz pētījumu, kuros novērota arī temperatūras ietekme. Turklāt zināms, ka tieši pirmās paaudzes attīstības sekmes var noteikt veiksmīgu turpmāko paaudžu attīstību un savairošanās iespējas vienas veģetācijas sezonas ietvaros. Lai gan tiek pieļauts, ka egļu astoņzobu mizgraužu *Ips typographus* un egļu sešzobu mizgraužu *Pityogenes chalcographus* attīstību var labvēlīgi sekmēt tieši sauss, silts (vai straujš) pavasaris ar temperatūras paaugstināšanos, kas pārsniedz vidējos rādītājus, tomēr nav izslēgts, ka to pēcnācēju izdzīvošanu krasi samazinās plēsēji, kuru aktivitāte paaugstinātas temperatūras apstākļos var pārsniegt mizgraužu aktivitāti. Piemēram, parastā skudruļša *Thanasimus formicarius* kāpuri attīstās līdzīgos apstākļos kā mizgrauži – to galerijās zem mizas, un barojas ar mizgraužu kāpuriem un olām. Tā kā šādi pētījumi Latvijā nav veikti, ir svarīgi izprast, kādas mizgraužu izdzīvošanas sekmes varētu būt tuvākajā nākotnē, ņemot vērā pieejamos klimata scenārijus, plānojot mežsaimniecību un prognozējot ar to saistītos riskus.

Zinātnei ir zināmas ap 600 mizgraužu sugu (Ozols, 1985). Mizgrauži pamatā ir ksilofāgi un barojas ar novājināta koka koksnes vadaudiem, un tikai nedaudzas sugas ir tādas, kas barojas ar atmirušu koksni. Lai gan pirmās liecības par kukaiņu populācijas masveida savairošanos attiecināmas uz 15. - 17. gs., ziņas par mizgraužu savairošanos ir atrodamas 18. gs. (Barbosa et al., 2012), kas, iespējams, netieši norāda uz saistību ar globālo klimata pārmaiņu sākumu. Katru gadu mizgraužu uzliesmojumi tiek konstatēti dažādās pasaules daļās, kur vien sastopami meži. Taču vienīgi egļu astoņzobu mizgrauža izraisītie mežu bojājumu apjomi ne tikai ievērojami pārsniedz savas taksonomiskās grupas Scolitinae radniecīgo sugu bojājumus, bet arī citu kukaiņu sugu populācijas masveida savairošanās sekās radušos (pēc EFI datiem). Ikgadējie *I. typographus* radītie zaudējumi no Eiropā sasniedz vairākus miljonus kubikmetru koksnes, bet citur – ASV, Krievijā un Kanādā – pat vairākus miljardus (Barbosa et al., 2012). Latvijā šī mežu kaitēkļa valsts mēroga savairošanās notikusi pēc 2005. g. janvāra vētras un ilgusi vairāk nekā trīs gadus (Šmits, 2007). Šīs sugas mizgrauzis ir pieņemts par pirmās kategorijas karantīnas sugu daudzās valstīs – tai skaitā, Jaunzēlandē, Ķīnā un Dienvidāfrikā (Barbosa et al., 2012).

Egļu sešzobu mizgrauža radītie bojājumi parasti ir mazākas intensitātes kā egļu astoņzobu mizgraužim un novērojami galvenokārt kompleksi ar egļu astoņzobu mizgrauža masveida invāzijām. *I. typographus* šajā scenārijā darbojas kā primārais kaitēklis – novājinot kokus un veicinot egļu sešzobu mizgraužu invāziju. Tomēr pie nozīmīgas masveida savairošanās abu

sugu starpā sākas konkurence par ekoloģisko nišu. Pat pie salīdzinoši nelieliem populāciju apjomiem, abas sugas bieži sastopamas vienkopus (Ozols, 1985; Barbosa et al., 2012).

Detalizēta metodika aprakstīta sī pētījuma 2016. un 2017. gada starpatskaitē.

Pirms eksperimenta laboratorijas fāzes uzsākšanas paraugkoki tika sagarināti 1 m garos nogriežņos (turpmāk tekstā – paraugbaļķos), katru ievietojot plastikāta maisā inkubēšanai kontrolētos klimata apstākļos. Saskaņā ar Ulda Betheras klimata izmaiņu scenārijiem Latvijai (Jansons, 2010), eksperimentā izmantots prognozētais gaisa temperatūras pieaugums aprīlim. Balstoties uz šīm prognozēm, eksperimentam ir izstrādātas šādas agrā pavasara klimata simulācijas:

1) 2016. gads - mūsdienu klimata veģetācijas perioda simulācija (jeb kontrole) – ar konstantu temperatūras režīmu 15,5°C;

2) 2017. gads - vidēju izmaiņu veģetācijas perioda temperatūras simulācija – ar konstantu temperatūras režīmu 17,8°C;

3) 2018. gads - nozīmīgu izmaiņu veģetācijas perioda temperatūras simulācija – ar konstantu temperatūras režīmu 20°C;

Kopējais eksperimentam paredzēts laiks ir trīs gadi. Katram gadam izmantota viena no trim simulācijām (sk. iepriekš). Visu simulāciju relatīvais gaisa mitrums uzstādīts vienāds – 65%. Tā kā mizgraužu kāpuri attīstās zem mizas, netika nodrošināts mainīgs apgaismojums (fotoperiods). Katras simulācijas ietvaros LVMI “Silava” klimata kamerā inkubēšanai polietilēna plēvē tiek ievietoti 54 egles paraugbaļķi: 18 ar nelielu diametru – 14 – 19,5 cm, 18 ar vidēju diametru – 20 – 26 cm, 18 ar lielu diametru – 26,5 un vairāk cm.

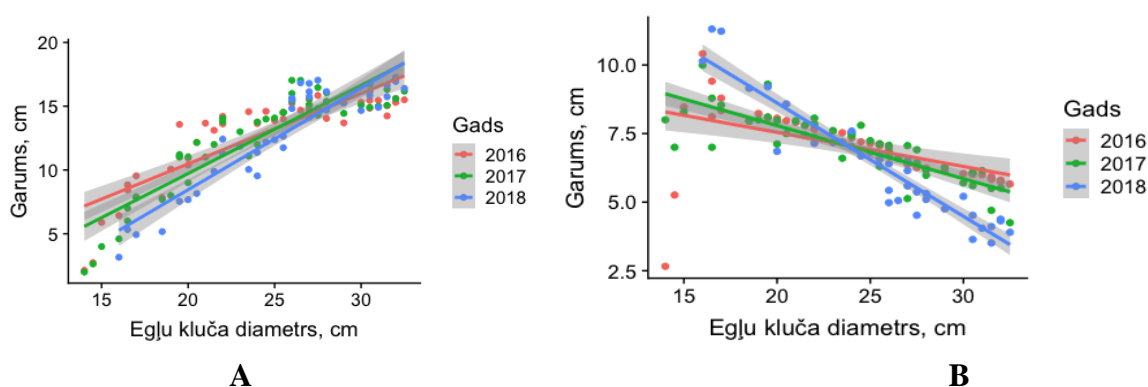
Tā kā eksperimentā klimata simulācijas ir sadalītas pa atsevišķiem gadiem, nav iespējams izvairīties no konkrētā gada ietekmes – paraugi dabā vienam atkārtojumam (simulācijai) tiek iegūti konkrētā gadā, kad var atšķirties mizgraužu lidošana – tajā skaitā arī invāzijas apjoms. Lai no tā izvairītos, mizgrauži katru gadu tiek pievilināti ar vienādu intensitāti (standartizēti) – neatšķiras koku skaits, to izvietojums, feromonu dispenseru skaits uz koku un attālumi starp tiem, koku dimensijas, ieguves vieta.

Ievāktu paraugkoku ekspozīcijas ilgums laboratorijas apstākļos ir 45 dienas (no 15. jūnija līdz 29. jūlijam), kas atbilst vidējam laika periodam, kad zem mizas attīstās mizgraužu 1. paaudze. Ikgadu, eksperimenta gaitā katru nedēļu veikta viena uzskaitē (15., 22., 29. jūnijs un 6., 13., 20., 27. jūlijs), kuras laikā no katra paraugbaļķa izgriezts 25 x 25 cm liels mizas fragments datu analīzei. Zem mizas parauga uzskaitītas *I. typographus* un *P. chalcographus* mizgraužu galerijas, noteikti mātes eju, kāpureju garumi un mizgraužu preimago attīstības stadijas, neizlidojušo un izlidojušo pieaugušo mizgraužu vaboļu skaits un noteikti citi, līdzīgi, ksilofāgu taksoni, attīstība, kā arī mizgraužu plēsēju (piemēram, parastā skudrulīša *Thanasimus* spp. un īsspārņu Stahylinidae kāpuru) un parazītu klātbūtne. Iegūtie mizas fragmenti pirms iepriekšminētās analīzes izplākšņoti un žāvēti. Izlidojušās mizgraužu vaboles iegūtas un uzskaitītas, izkratot maisus virs agropļēves. Mizgraužu attīstības un lidošanas dinamika laboratorijā salīdzināta ar dabā esošo – par pamatu izmantojot Nacionālā meža monitoringa mizgraužu uzskaites slazdos pie Dobeles, kas ir ģeogrāfiski tuvākais parauglaukums (56°42'N, 23°08'E) izvēlētajai cirsmāi Auces novadā.

Lai noskaidrotu klimata režīmu ietekmi uz mizgraužu attīstību, datu analīzei pamatā izmantota kovariācijas analīze, kurā kā ietekmējošais mainīgais faktors izmantots gads (kā kategorijas mainīgais), un laiks izteikts dienās vai arī koka diametrs, kā arī vērtēta mijiedarbība starp faktoriem. Ja gada efekts bija būtisks, tad veikts TukeyHSD tests gadu savstarpējai

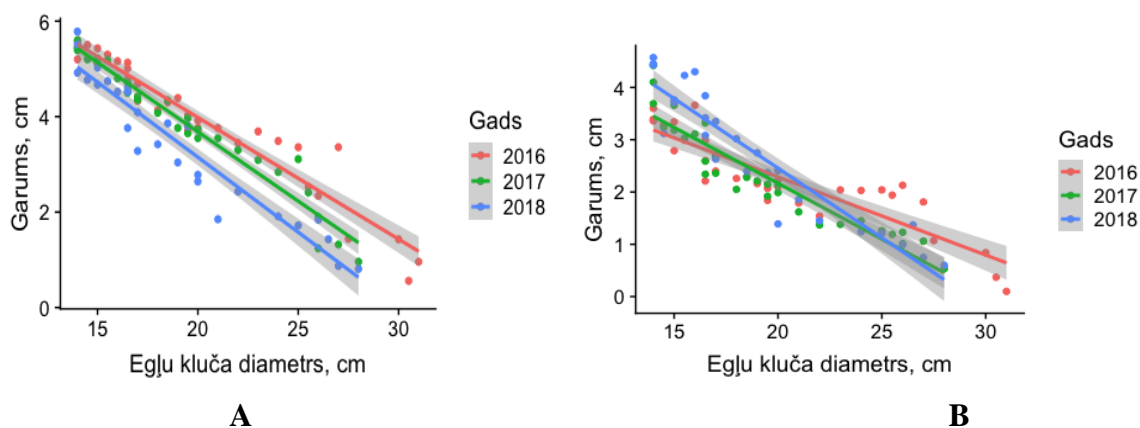
salīdzināšanai. Ja konstatēts būtisks mijiedarbības efekts, tad salīdzināti regresijas līkņu slīpumi savā starpā. Līdzīga analīze veikta, lai noskaidrotu citu kukaiņu - plēsēju, parazītu - ietekmi, veiktajās klimata simulācijās, par ietekmējošo (kategorijas) mainīgo izmantojot gadu, paraugbaļķu diametru, plēsēju un parazītu skaitu un iepriekšminēto faktoru mijiedarbību ar gadu. Datu apstrādei izmantota R-statistics programma (versija 3.5.2).

Uzskaitot mizgraužu mātes ejas un kāpurejas, konstatēts, ka egļu astoņzobu mizgraužu mātes ejām ir tendence (2016. g. - $R^2 = 0,72$; $p = 0,052$; 2017. g. - $R^2 = 0,72$; $p = 0,047$; 2018. g. - $R^2 = 0,469$; $p = 0,037$) palielināties garumā, pieaugot egles paraugbaļķa diametram (5.1. att.).



5.1. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža *Ips typographus* vidējais mātes eju (A) un kāpureju (B) garums ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) vienā mizas paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

Mizgraužu mātes ejas garums nosaka izdēto olu skaitu, kas rezultējas kāpuros – t.i., kāpurejās. Tā kā, pieaugot paraugbaļķa diametram, palielinās mātes eju garums, tad attiecīgi palielinās arī kāpureju skaits (5.1. att.) (Anderbrant, 1990; Faccoli, Bernardinelli, 2011). Kāpureju garums vidēji vienā paraugā samazinās, palielinoties egles paraugbaļķa diametram (2016. g. - $R^2 = 0,28$; $p = 0,023$; 2017. g. - $R^2 = 0,70$; $p = 0,031$; 2018. g. - $R^2 = 0,8885$, $p = 0,012$) (5.1. att.). Pieaugot īpatņu blīvumam, lielāka konkurence savā starpā zem mizas ir nevis pieaugušajām *I. typographus* vabolēm, bet to kāpuriem, turklāt tā pieaug, palielinoties temperatūrai un to būtiski ietekmē dzīvotnes kapacitāte, jeb paraugbaļķa izmērs ($p < 0,0001$). Turklāt, konkurence starp *I. typographus* kāpuriem ir nedaudz lielāka 2017. g., izmantojot simulāciju, kuras temperatūra ir par 2,3 °C augstāka. 2017. g. kāpurejas paraugbaļķos ar relatīvi lielāku diametru (sākot ar 23cm) ir vidēji par 2,3 mm jeb 4,8% garākas salīdzinot ar iepriekšējā gadā mērītajām, savukārt 2018. g. - par 0,9 mm jeb 3,4% (5.1. att.), kopsummā pārspējot par 8,7% no 2016. g. vidējā garuma. Arī mātes ejas 2017. g. ir vidēji par 5,3 mm, bet 2018. g. - par 4,6 mm (kopsummā par 9,9 mm) garākas, salīdzinot ar 2016. g. mērītajām. Mātītes pēc izveidošanas mātesejas atstāj relatīvi nemainīgas un tikai uztur to stāvokli, ventilē, kamēr kāpuri attīstoties savas ejas (kāpurejas) turpina izgrauzt un paplašināt.



5.2. attēls. Egļu sešzobu *Pityogenes chalcographus* mizgrauža vidējais mātes eju (A) un kāpureju (B) garums ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) vienā mizas paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

Savukārt, *P. chalcographus* mizgraužu kāpureju un mātes eju garums samazinās, palielinoties paraugbaļķa diametram ($p = 0,00017$) (5.2. att.). Lai izvairītos no konkurences ar *I. typographus*, šīs sugas mizgrauži pielāgojušies dzīvošanai zem salīdzinoši plānākas mizas (t.i., stumbra tievgalī vai resnos zaros) (Fora et al., 2011; Faccoli, Bernardinelli, 2011). Tā kā plānāka egles miza ir mazāk piemērota *I. typographus* attīstībai, palielinās *P. chalcographus* pieaugušo mātīšu iekšējā konkurence par platībām mātes eju izveidē. To izskaidro tas, ka *P. chalcographus* mātīte no vienas kopulācijas telpas vidēji izveido 3 – 8 atejošas mātes ejas, kamēr *I. typographus* viena kopulācijas telpa rezultējas tikai 2 – 3 mātes ejās (Ozols 1985; Hedgren, Schroeder 2004). Izriet, ka *P. chalcographus* mātītes vairāk konkurē savā starpā ar māteseju izveidi (2016. g., arī 2017. g. un 2018. g. - $p < 0,001$) (5.2. att.) nekā *I. typographus* (2016. g. $p = 0,052$, 2017. g. $p = 0,047$, 2018. g. $p = 0,037$, kur konkurence starp mātītēm nedaudz sāk izpausties tikai 2018. g. strauji pieaugošo kāpureju skaita dēļ ($p = 0,0057$) (5.1. att.), dzīvotnei (egles paraugbaļķa virsmai un mizas biežumam, t.i., no baļķa diametra tieši atkarīgiem faktoriem) ekvivalenti mainoties sugai labvēlīgajā “virzienā” (1., 2. att.). Arī *P. chalcographus* kāpureju vidējais garums, līdzīgi kā *I. typographus*, samazinās, pieaugot egles paraugbaļķa diametram (2016. g. vidēji par 71,4%, 2017. g. vidēji par 77,8 %, bet 2018. g. vidēji par 68,6 %) (5.2. att.). Ņemot vērā, ka *I. typographus* kāpureju garums nedaudz - vidēji par 7,3% (2016. g.), par 9,4 % (2017. g.) un par 8,8% (2018.g.) - pieaug egles paraugbaļķos ar salīdzinoši mazāku diametru (5.17. att.), iespējams, ka šāds mehānisms *P. chalcographus* ļauj izvairīties no konkurences ar *I. typographus* kāpuriem, panākot daļēju kompromisu dzīvotnes sadalē. Jāatzīmē, ka arī *P. chalcographus* kāpuru savstarpējā konkurence nozīmīgi pieaug 2018. g., jo to veidotās ejas ir par 0,74 mm jeb 24,5 % garākas, salīdzinot ar sākotnēji, 2016. g. mērītajām ($p = 0,00017$), un to garumu būtiski ietekmē paraugbaļķu diametrs mijiedarbībā ar 2018. g. gada klimata režīmu ($p < 0,0001$) (5.2. att.).

Abu sugu mizgraužu mātītes mātes eju paplašina salīdzinoši nedaudz (5.3., 5.4. att.) arī tad, kad jau ir sadētas olas tajā. To veicina vairāki apstākļi:

eju uzturēšanas darbi, t.sk., nodrošinot ventilāciju;

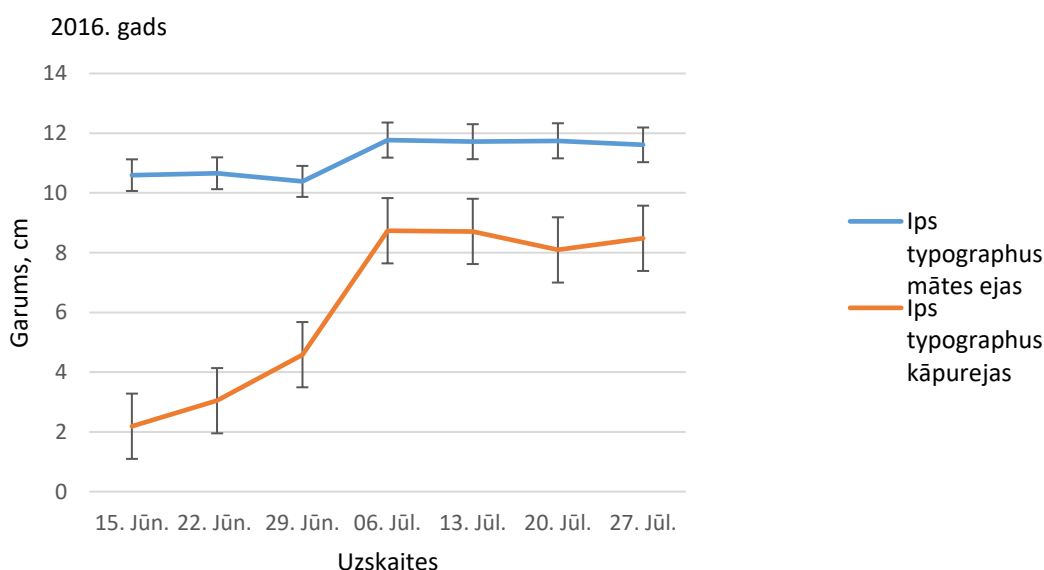
nelieli apaugļotu olu “pārpalikumi”, kas tiek izdēti vēlāk. Tiem tiek attiecīgi pagarinātas ejas (Ozols, 1985; Anderbrant, 1990; Faccoli, Bernardinelli, 2011).

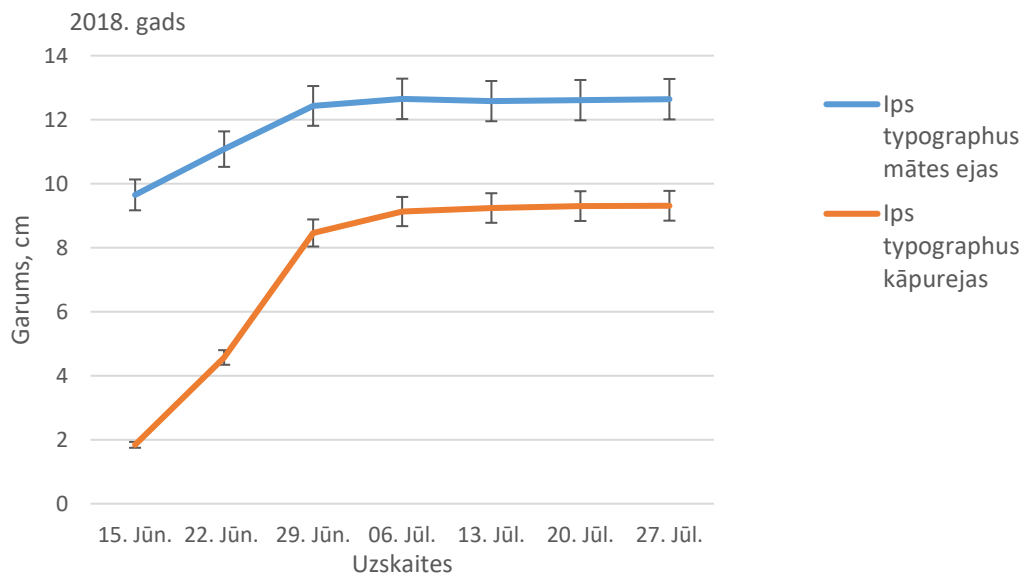
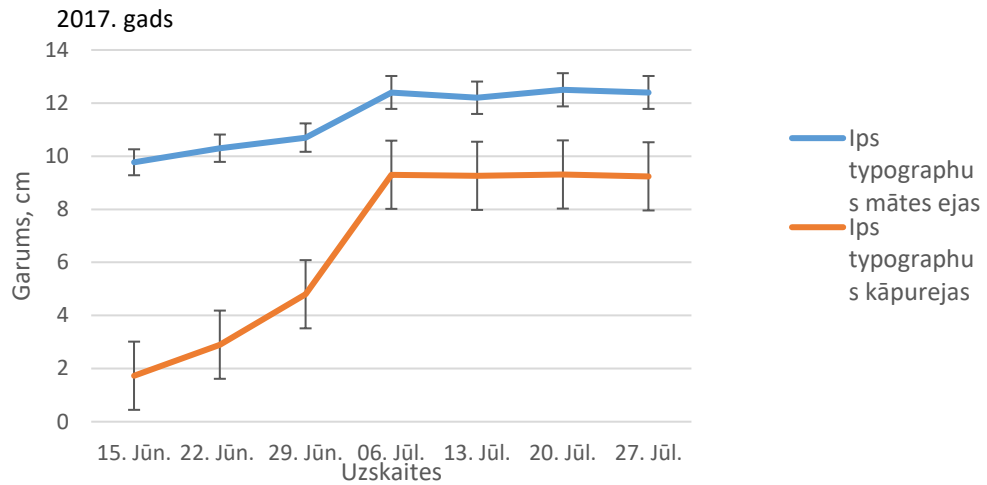
Katra mātīte rūpējas tikai par savām mātes ejām, kuras atšķir pēc smaržas (Ozols, 1985; Anderbrant, 1990).

Gan 2016. g., gan 2017. g. *Ips typographus* vaboles gandrīz pilnībā beidz mātes eju veidošanu līdz 6. jūlijam, un vienlaikus ir sasniegti kāpureju maksimālie garumi (5.3. att.). Lai gan mizgraužu kūniņas tika novērotas visā eksperimenta laikā, domājams, ka tieši sākot ar 6. jūliju, *Ips typographus* pirmās paaudzes kāpuri beidz barošanu zem mizas un uzsāk masu iekūņošanu. Taču, interesanti, ka ar 2018. g. gan māteseju un kāpureju veidošana, gan iekūņošanās jau novērota 29. jūnijā (5.3. att.).

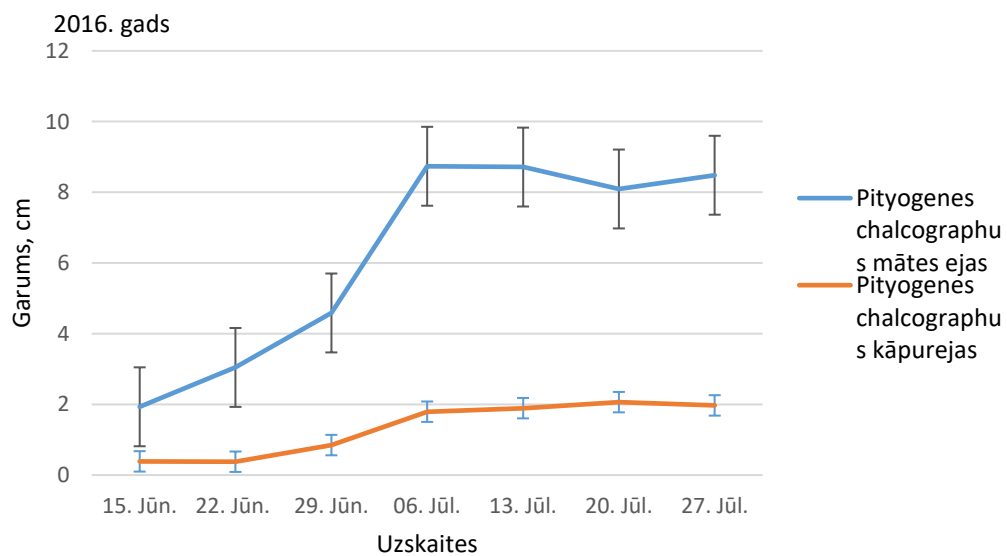
Mātes eju veidošanās *P. chalcographus*, līdzīgi kā *I. typographus*, turpinās līdz 6. jūlijam (5.3., 5.4. att.). *P. chalcographus* kāpuri sasniedz vidēji 3,2 reizes mazāku kāpureju garumu nekā *I. typographus* kāpuri (2016. - 2018. g.) (5.19., 5.20.att.). 2016. un 2017. g. *P. chalcographus* kāpuru attīstība turpinās vidēji līdz 20. jūlijam, bet 2018. g. ātrāk - vairs tikai līdz 6. jūlijam (5.4. att.). Sākot ar šo laiku, domājams, sākās pirmās paaudzes masu iekūņošanās zem mizas.

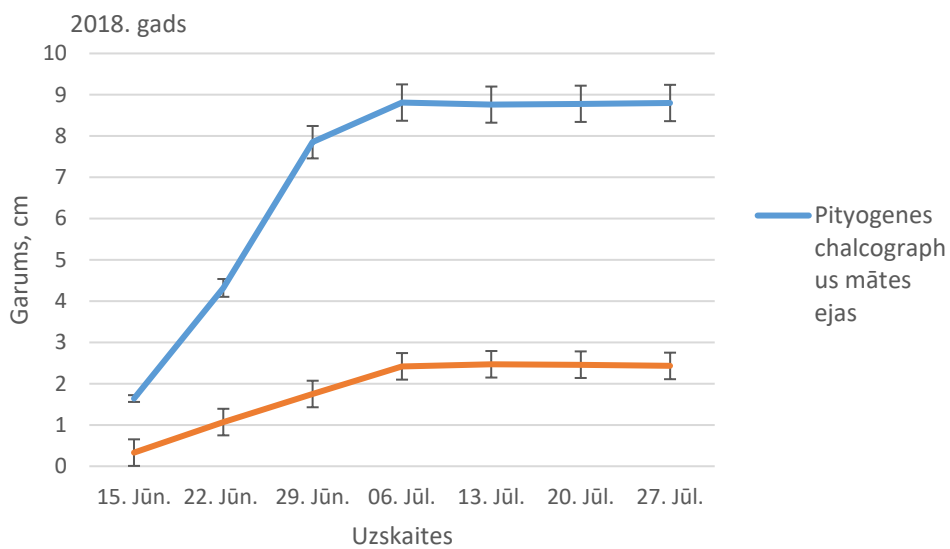
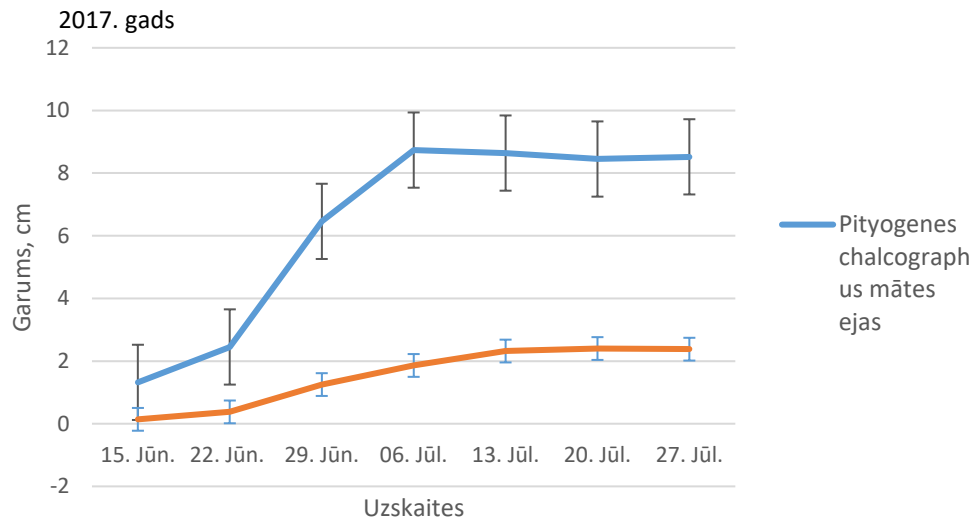
Konstatētas atšķirības starp abu sugu mātišu produktivitāti, t.i., kāpureju skaitu uz vienu mātes eju, kas skaidrojams ar konkurenci starp abām mizgraužu sugām (5.5. att.). Uzskaitītas un mērītas tās kāpurejas, kurās novēroti dzīvi kāpuri vai izskrejas, un redzams, ka *P. chalcographus* izdzīvojušo olu skaits, kas rezultējies kāpuros, ir lielāks egles paraugbaļķos ar mazāku diametru, kamēr *I. typographus* – otrādi (5.5. att.). Visbūtiskākā atšķirība starp kāpureju skaitu uz mātes eju konstatēta starp 2016. g. un 2018. g. ($p = 0,023$). To ietekmē gan paraugbaļķa diametrs ($p = 0,0001$), gan izvēlētā klimata režīms ($p = 0,0071$). Līdzīgas likumsakarības novērotas arī *P. chalcographus*. Līdzīga sakarība novērota, uzskaitot dzīvās pieaugušās mizgraužu vaboles (5.6. att.). *I. typographus* blīvāk kolonizē un apdzīvo egles, jo vienā mizas paraugā 2016. g. tika uzskaitīts par vidēji 87,6% (jeb $37 \pm 2,1$), 2017. g. par vidēji 86,2% (jeb $38,8 \pm 2,4$), līdzīgi 2018. g. par vidēji 85,9% (jeb $37,6 \pm 2,6$) pieaugušo, neizlidojušo vaboļu vairāk nekā *P. chalcographus* (5.6. att.). Domājams, 2017. g. un 2018. g. ir samazinājusies konkurence starp abām mizgraužu sugām, jo paraugbaļķu tievgalī *P. chalcographus* bija par 1,4% vidēji vairāk 2017. g. un par 1,2% 2018. g. salīdzinot ar 2016. g. ($p < 0,0001$), bet *I. typographus* 2017. g. un 2018. g. bija konstatēti vidēji par 2,4% vairāk paraugbaļķu resngalī ($p < 0,0001$) (5.6. att.).



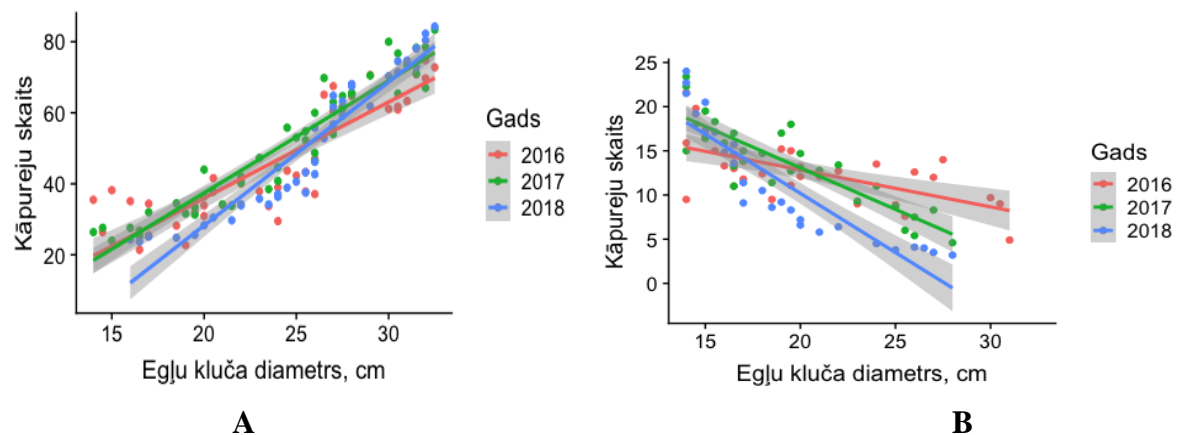


5.3. attēls. Egļu astoņzobu *Ips typographus* mizgrauža vidējais mātes eju un kāpureju garums (\pm standartkļūda) vienā mizas paraugā.

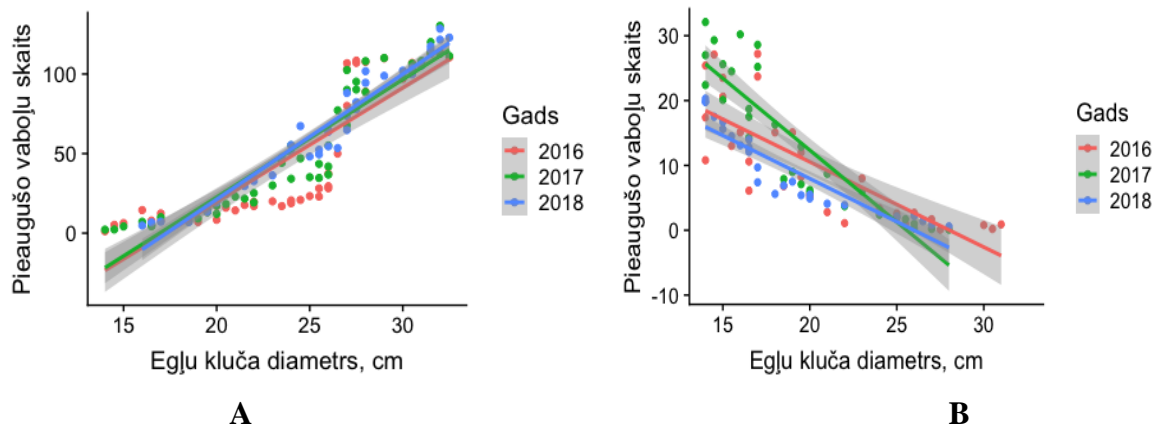




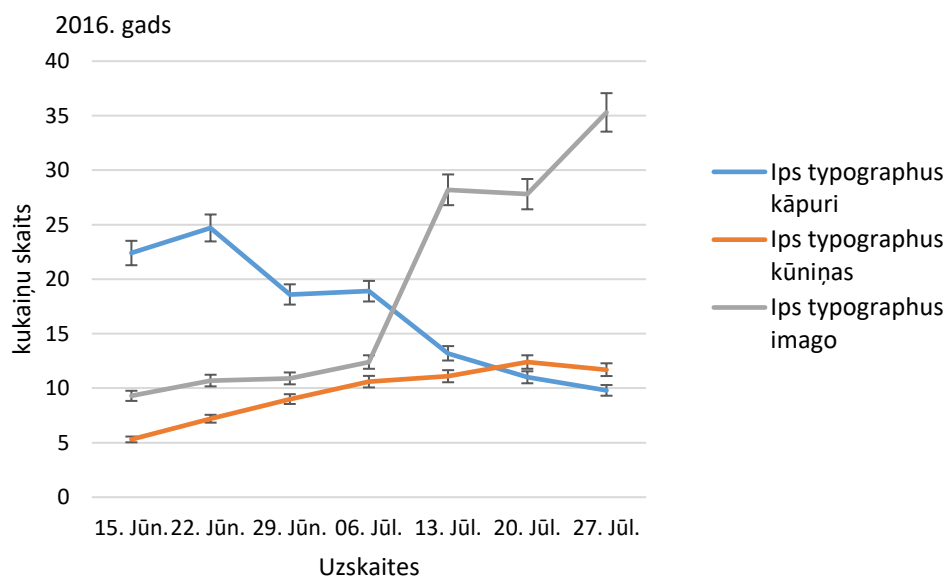
5.4. attēls. Egļu sešzobu *Pityogenes chalcographus* mizgrauža vidējais mātes eju un kāpureju garums (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā.

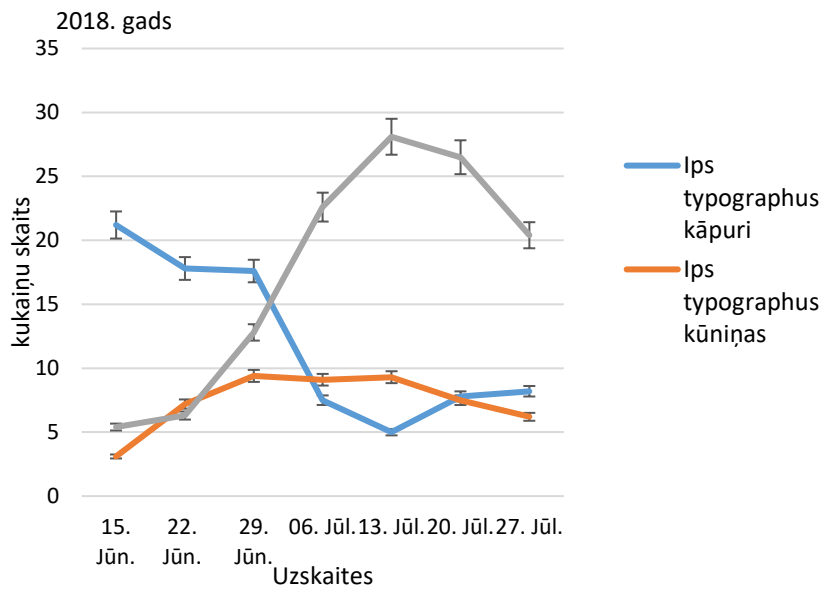
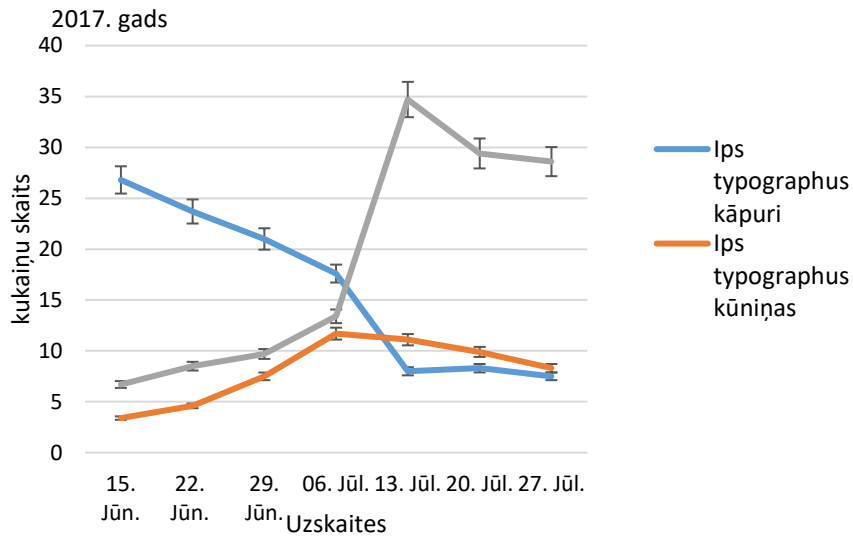


5.5. attēls. Vidējais mizgraužu kāpureju skaits uz vienu mātes eju uzskaitēs (\pm 95% ticamības intervāls) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra (A- *Ips typographus*; B - *Pityogenes chalcographus*).

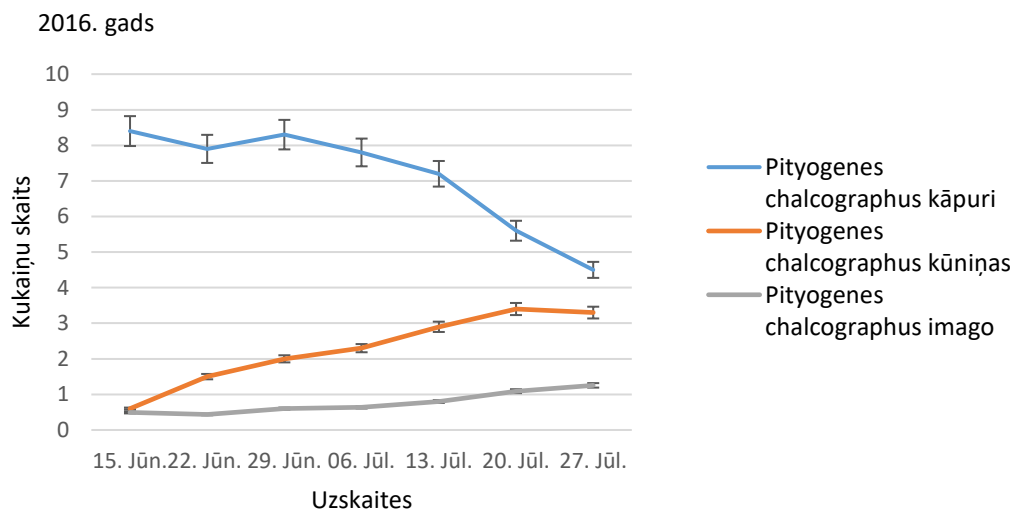


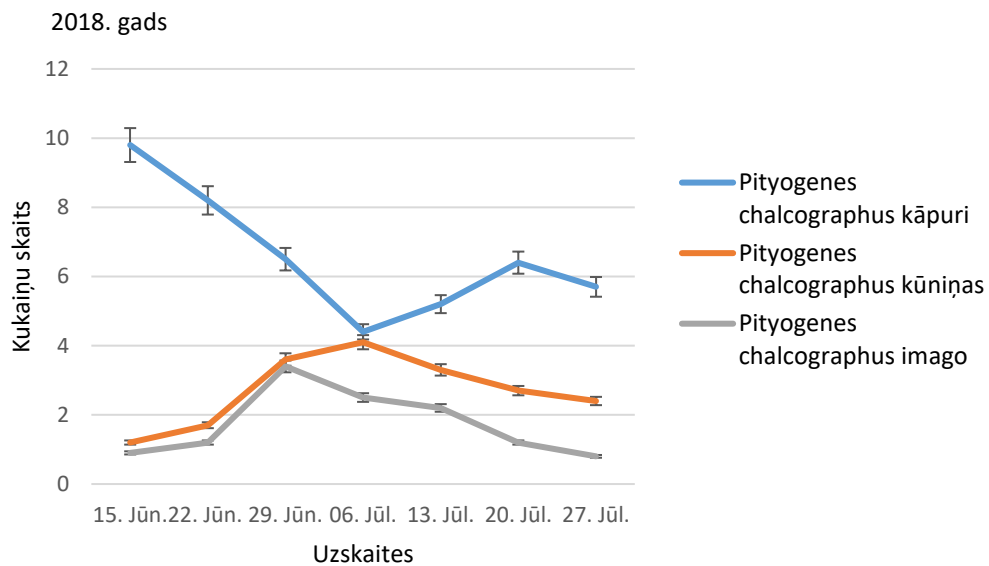
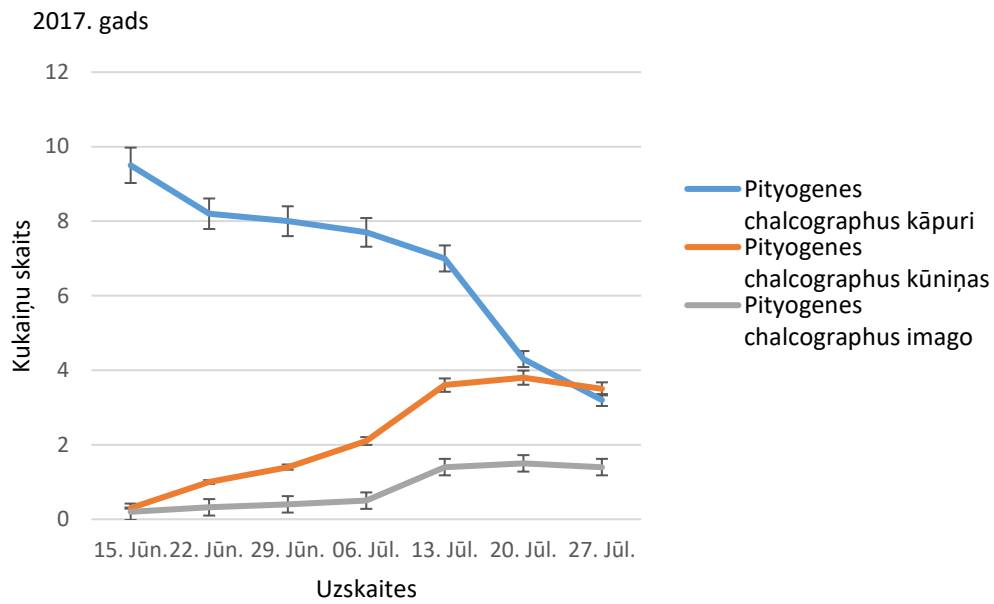
5.6. attēls. Mizgraužu *Ips typographus* (A) un *Pityogenes chalcographus* (B) pieaugušo vaboļu skaits vidēji vienā paraugā (\pm 95% ticamības intervāls) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



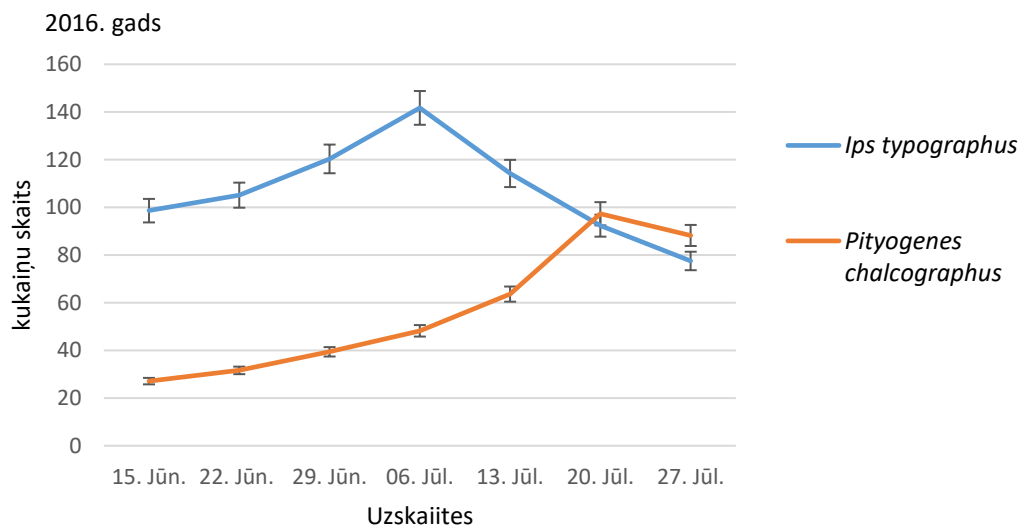


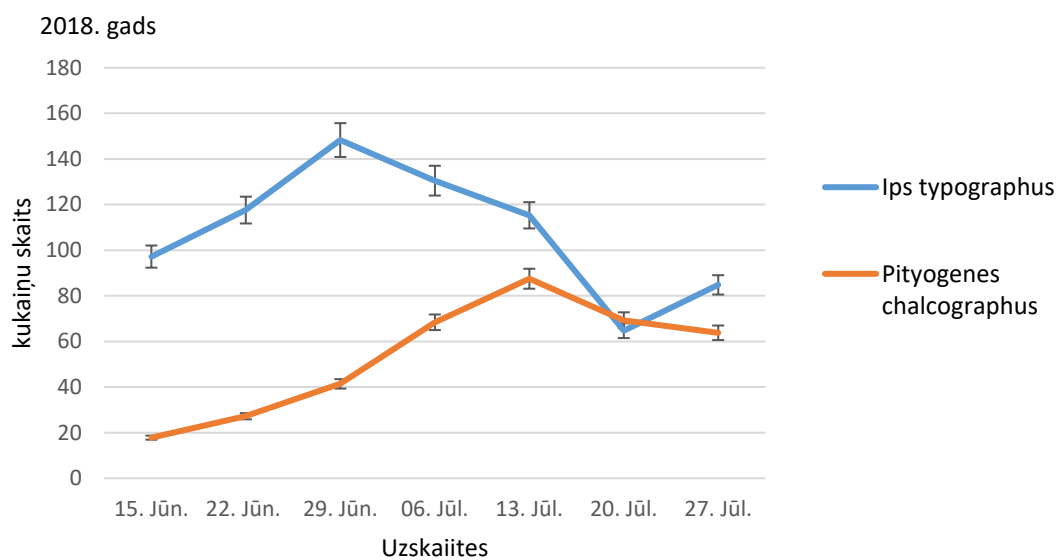
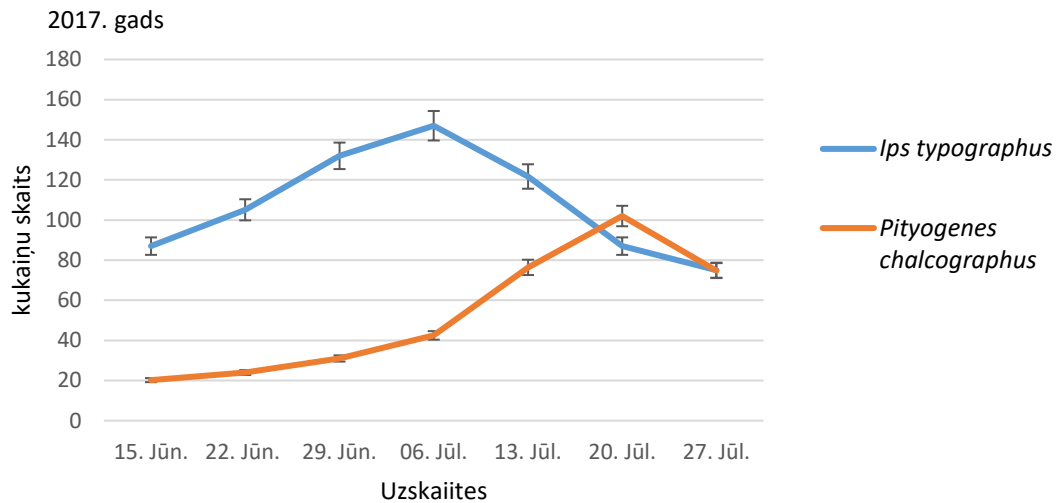
5.7. attēls. Egļu astoņzobu mizgraužu *Ips typographus* vidējais skaits (\pm standartklūda) pa attīstības stadijām uzskaitēs.



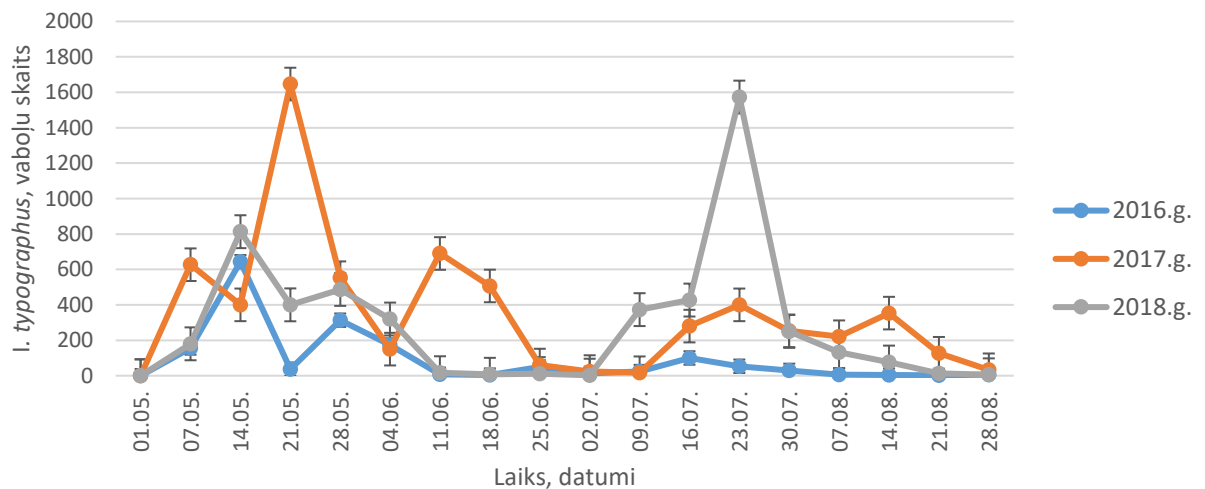


5.8. attēls. Egļu sežobu mizgraužu *Pityogenes chalcographus* vidējais skaits (\pm standartklūda) pa attīstības stadijām uzskaitēs.





5.9. attēls. Vidējais izlidojušo mizgraužu vaboļu skaits (\pm standartklūda) uz egles paraugbaļķi.

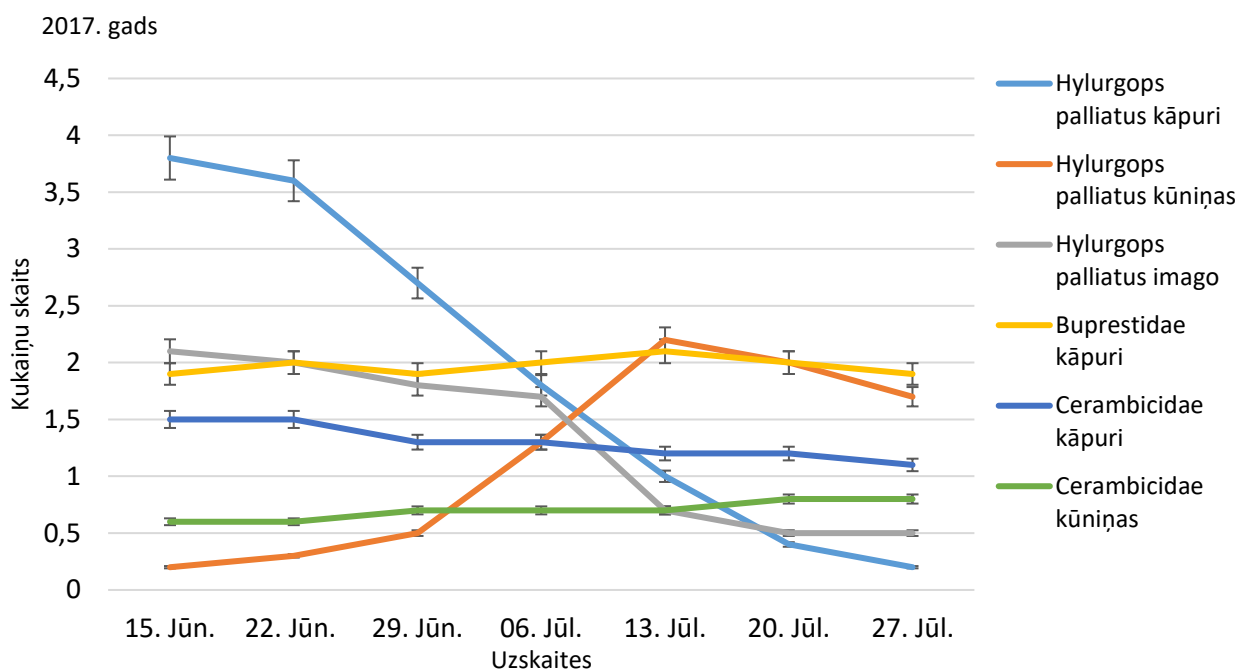
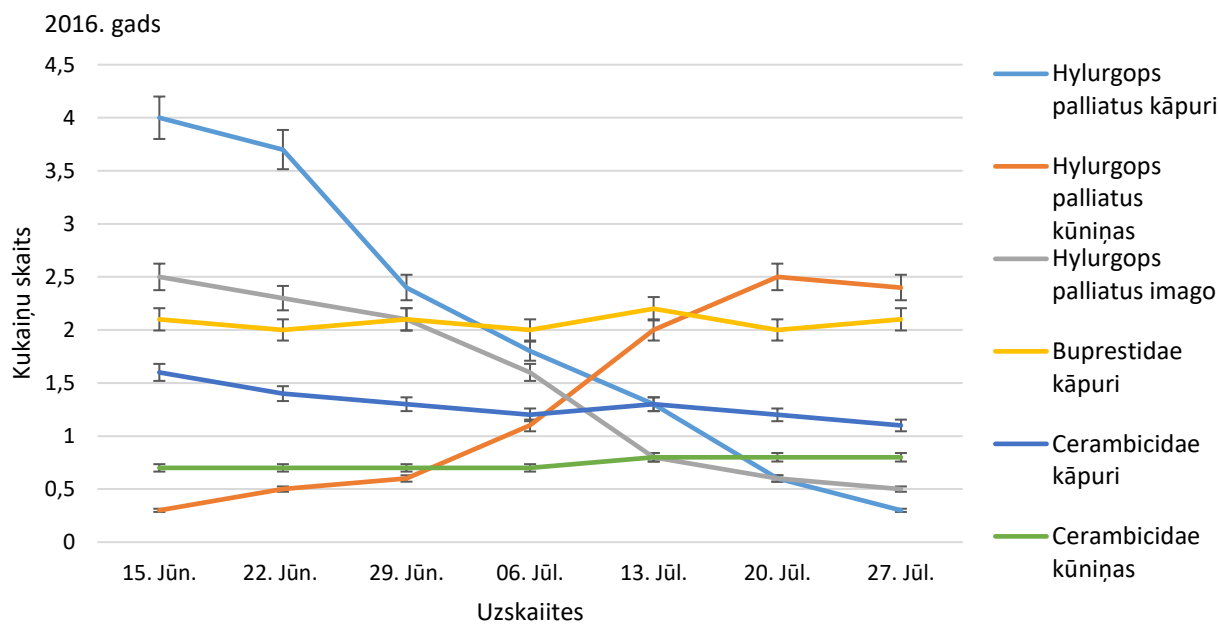


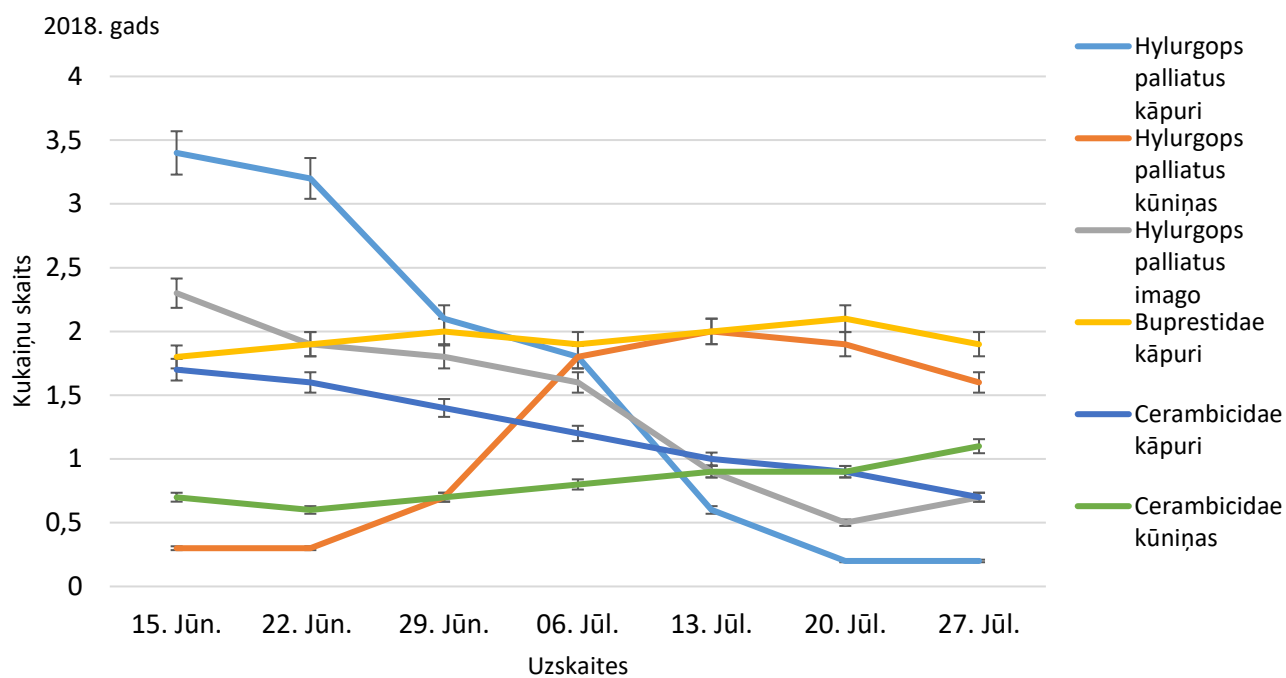
5.10. attēls. Noķerto pieaugušo egļu astoņzobu mizgraužu vidējais skaits (\pm standartklūda) vienā slazdā

I. typographus kāpuru skaits vienā egles mizas paraugā, sākot ar 6. jūliju, samazinājās par vidēji 1,7 reizēm 2016.g. un vidēji 3,6 reizēm 2017. g., 2018.g. salīdzinot ar sākotnējo apjomu (jeb skaitu 15. jūnija uzskaitē), savukārt pieaugušo vaboļu skaits strauji pieauga pat par vidēji 3,4 reizēm 2016. g, 4,3 reizēm 2017. g. un 4,2 reizēm 2018. g. salīdzinot ar sākotnējo apjomu (5.7. att.). Kā bija sagaidāms, *P. chalcographus* attīstība zem egles mizas atšķīrās no *I. typographus*. Tika novērots relatīvi straujš *P. chalcographus* kāpuru vidējā skaita samazinājums vienā mizas paraugā, sākot ar 29. jūniju, un to vidējā skaita samazinājums uzskaitē 13. – 20. jūlijā sasniedza 74,4% 2016. g. un 72,1% 2017. g. no to sākotnējā apjoma. Taču 2018. g. *P. chalcographus* kāpuru skaitam novērots konstants skaita samazinājums par 67,8% jau no pirmās uzskaites līdz 6. jūlijam, un straujš pieaugums līdz 20. jūlijam par 34,7% (5.8. att.). *P. chalcographus* iekūņojušos īpatņu skaits maksimumu sasniedza 20. jūlijā 2016. g., 2017 g. 13. jūlijā, bet 2018. g. jau 29. jūnijā, un tāpat kā *I. typographus*; atbilstoši pieaugušo *P. chalcographus* vaboļu vidējais skaits uzskaitēs uz vienu mizas paraugu no 6. līdz 27. jūlijam pieauga par 37,2% 2016. g. un 64,7% 2017. g. no sākotnējā apjoma (5.8. att.). Taču 2018. g. *P. chalcographus* vaboļu vidējais skaits uzskaitēs strauji pieaug jau 22. jūnijā (kas ir gandrīz par mēnesi agrāk, salīdzinot ar iepriekšējiem gadiem) par 73,1% no sākotnējā apjoma (5.8. att.). Izskatās, ka pat relatīvi nelielas izmaiņas klimata režīmā (šajā gadījumā – temperatūra pieaugums par 2,3 °C 2017. g.) var gandrīz uz pusi, bet nozīmīgāku izmaiņu rezultātā (2018. g. režīmam par 4,5 °C augstākai temperatūrai kā 2016. g.) - pat par pusotru reizi (jeb par veselu paaudzi) paātrināt *P. chalcographus* attīstību zem egļu mizas. Savukārt, mizgraužu vaboles zem mizas bija atrodamas visā eksperimenta laikā, jo paralēli jaunajām bija sastopamas arī vecās. Šie rezultāti (5.7., 5.8. att.) ir saskaņā ar pieaugušo izlidojušo vaboļu skaita dinamiku, kas starp 2016. g. un 2017. g. būtiski neatšķiras. (5.9. att.). *I. typographus* izlidojušo vaboļu skaits uz vienu paraugbaļķi (t.i., vienā maisā) maksimumu sasniedza 6. jūlija uzskaitē (2016. g. vidēji $142 \pm 8,6$ un 2017. g. vidēji $147 \pm 11,3$ īpatņi), savukārt, *P. chalcographus* – 20. jūlija uzskaitē (2017. g. vidēji $97 \pm 6,4$ un 2016. g. vidēji $102 \pm 5,2$ īpatņi) (5.9. att.). Atsaucoties uz literatūru, iegūtie rezultāti gan 2016., gan 2017. g. (5.25. att.) atbilst abu mizgraužu attīstībai un lidošanai Latvijā, dabā (Ozols, 1985; Šmits, 2007). Kā iepriekš minēts, *I. typographus* pirmās paaudzes izlidošana sākas jūnija beigās - jūlija sākumā (pētījumā – 6.jūlijs), bet *P. chalcographus* jūlija beigās (pētījumā 2016.g. un 2017. g. – 20. jūlijs) (Bičevskis, Ozols, 1983; Ozols, 1985; Šmits, 2007). Jāatzīmē, ka 2018. g. klimata režīma (nozīmīgo izmaiņu, tālai nākotnei 2071.-2100.g.) ietvaros, *I. typographus* pirmās paaudzes iekūnošanās noslēgums un imago maksimālais skaits zem mizas tiek sasniegts vienu uzskaiti atrāk (5.7. att.), bet pieaugušo (imago) vaboļu izlidošanas maksimums uz vienu paraugbaļķi (t.i., vienā maisā) tiek sasniegts līdzīgi - 29. jūnijā (vidēji $148 \pm 9,7$ īpatņi) (5.9. att.). Vēl uzskatāmāk 2018. g. mainījusies *P. chalcographus* vaboļu attīstība zem mizas (gandrīz mēnesi straujāk) (5.8. att.) un pirmās paaudzes izlidošana - 13. jūlijs (vidēji $87 \pm 5,9$ īpatņi) (5.9. att.). Savukārt, aplūkojot *I. typographus* lidošanas dinamiku dabā, netālu no to ieguves reģiona (5.10. att.), redzams, ka to pirmais izlidošanas maksimums tiek sasniegts maija vidū (iezīmējas pirmā paaudze), otrs, salīdzinoši mazāks – jūlija beigās (iezīmējas otrā paaudze). 2017. g. vasarā par 79,6%, bet 2018. g. par 77,4% vairāk tika konstatēts lidojošo *I. typographus* vaboļu, salīdzinot ar 2016. g. Domājams, tas izskaidro kāpēc 2017. g. un 2018. g. eksperimentā uzskaitīto *I. typographus* vaboļu skaits bija par 4,2 % lielāks kā 2016. g. Lai gan otrās paaudzes *I. typographus* lidošanas maksimums dabā sākās starp 2. un 9. jūliju un kulminē jūlija beigās, augusta sākumā (laboratorijā vidēji jūlija sākums) (5.10. att.), jāreķinās, ka to ietekmē lokāli abiotiskie faktori, kas kontrolētos apstākļos,

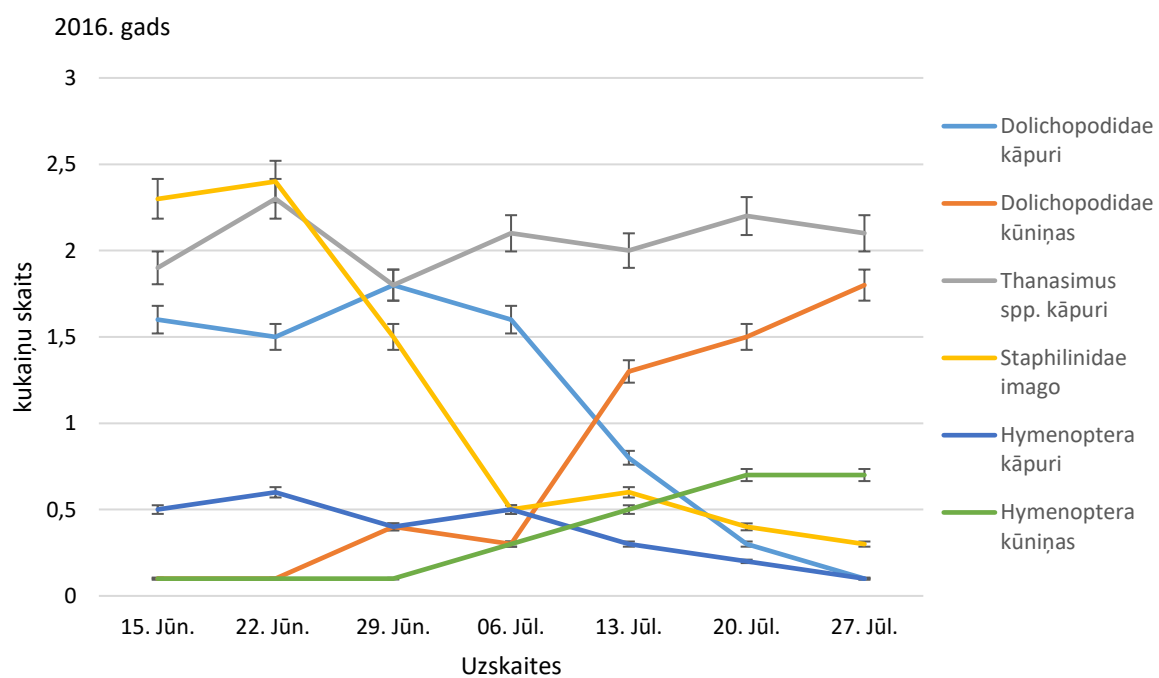
iespējams, tiek izslēgti – piemēram, vējš un ilgstošas lietavas (it sevišķi raksturīgas jūnija beigās, jūlija sākumā). Šo faktoru neesamība laboratorijas apstākļos var tikt uzskatīta par priekšrocību, jo tie spēj negatīvi ietekmēt arī mizgraužu plēsējus un parazītus. Lai gan *I. typographus* lidošanas dinamika dabā ir salīdzinoši līdzīga - it sevišķi 2016. g. un 2018.g. (5.10. att.), jāpievērš uzmanība tam, ka laboratorijā 2018. g. tā būtiski atšķiras no pārējiem diviem gadiem ($p = 0,02$), sasniedzot kritumu un jaunu kāpumu 20. jūlijā (domājam, nākošās paaudzes imago izlidošanu) (5.9. att.), ko ietekmē pēdējā simulācijā temperatūras paaugstinājums ($p = 0,018$) - kas sekmīgi paātrina mizgraužu attīstību zem mizas.

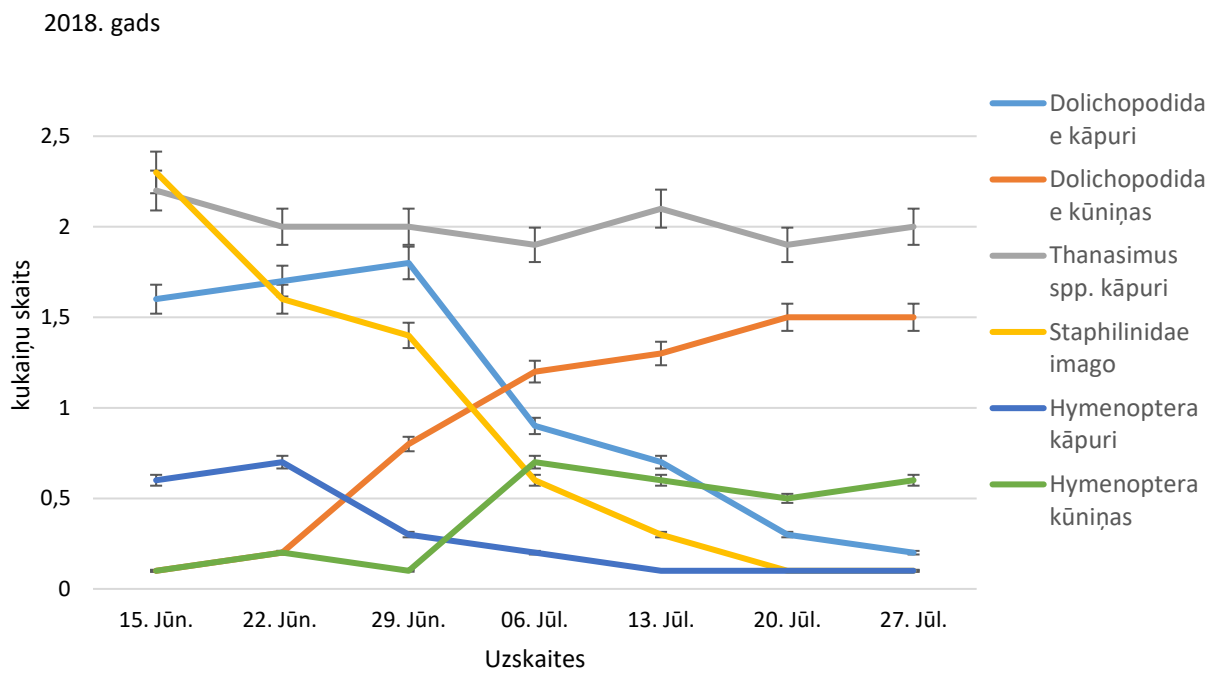
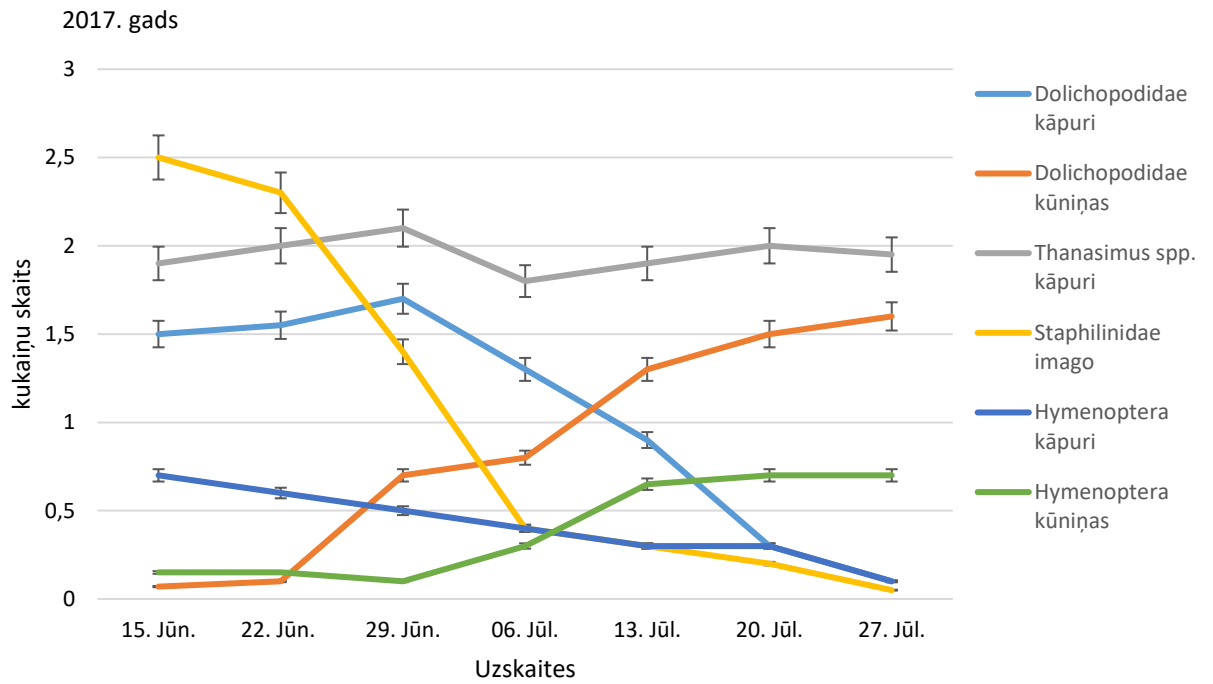
Lai gan mizas paraugos tika novēroti dažādi posmkāji – tajā skaitā ērces, citu sugu vaboles un to kāpuri, tika uzskaitītas tikai tās taksonomiskās grupas, kurām ir tieša saistība ar mizgraužu attīstību. Uzskaitītie ksilofāgi (5.11. att.) ir mizgraužu konkurenti par dzīves vietas un barības sadali, savukārt novērotie plēsēji (5.12. att.) un parazītīdi (5.16. att.) ir tie organismi, kas ietekmē mizgraužu mirstību. Izvērtējot šo kukaiņu sastopamību, tiek iegūts priekšstats par to attīstību zem egles mizas attiecīgā klimata režīmā. Visvairāk, salīdzinot ar citām ksilofāgu sugām, uzskaitēs vidēji uz vienu mizas paraugu bija sastopams skujkoku violetais lūksngrauzis *Hylurgops palliatus* (5.11. att.). *H. palliatus* vaboļu skaitam vērojama tendence samazināties uzskaišu laikā. Lai gan 2016. g. tas mainījās nebūtiski ($p=0,07$), 2017. g. un 2018. g. sākot ar 6. jūliju to skaits samazinājies straujāk (2017. g. $p = 0,031$, 2018. g. $p = 0,026$). Tam par pamatu var būt gada ietekme ($p = 0,06$) (5.24., 5.25. att.) – pieaugot noķerto mizgraužu skaitam, pieaug arī konkurence ar tiem. *H. palliatus* skaitu pārsvarā sastādīja pieaugušie īpatņi, pievilināti laikā pirms baļķu ekspozīcijas laboratorijā (5.11. att.). Domājams, ka *H. palliatus* masu iekūņošanās 2016. g. zem mizas noritēja 29. jūnija. – 20. jūlijā, jo šajā laikā to kūniņu skaits vienā paraugā pieauga vidēji no 0,6 līdz 2,5 jeb 4,2 reizes. 2017. g. un 2018. g. tika novērots, ka *H. palliatus* masu iekūņošanās noslēdzas jau 13. jūlijā (5.11. att.). Kopumā, *H. palliatus* attīstībai dažādās stadijās - dinamikai zem egles mizas nebija novērotas būtiskas atšķirības starp 2017. g. un 2018. g. Turklāt, zem egles mizas visu uzskaišu laikā novēroti krāšņvaboļu (Buprestidae) kāpuri, kuru skaits uzskaišu laikā starp gadiem praktiski palika nemainīgs (vidēji $1,9 \pm 0,2$; 2016. g. $p = 0,41$, 2017. g. $p = 0,38$; 2018. g. $p = 0,60$), kas, iespējams, skaidrojams ar to, ka vairākums krāšņvaboļu sugu ir polivoltīni (2 – 3 paaudzes gadā), un kāpuri iekūņojas tikai rudenī (Ozols, 1985). Arī koksngraužu (Cerambycidae) skaits mizas paraugos uzskaitēs praktiski nemainījās (2016. g. $p = 0,13$ kāpuriem un $p = 0,64$ kūniņām; 2017. g. $p = 0,17$ kāpuriem un $p = 0,51$ kūniņām). Lai gan, 2018. g. uzskaitēs pēc 20. jūlija, pirmoreiz tika novērota koksngraužu kāpuru masveida iekūņošanās (kūniņām $p = 0,034$) (5.11. att.). Nenožīmīgās atšķirības krāšņvaboļu un koksngraužu attīstībā starp uzskaitēm skaidrojamas ar to, ka šie kukaiņi salīdzinoši lēnāk aug zem koku mizas, piemēram, salīdzinot ar mizgraužiem, un ar noteikto eksperimenta laiku nepietiek, lai pilnīgi novērotu to attīstības gaitu (Ozols, 1985; Faccoli, Bernardinelli, 2011).



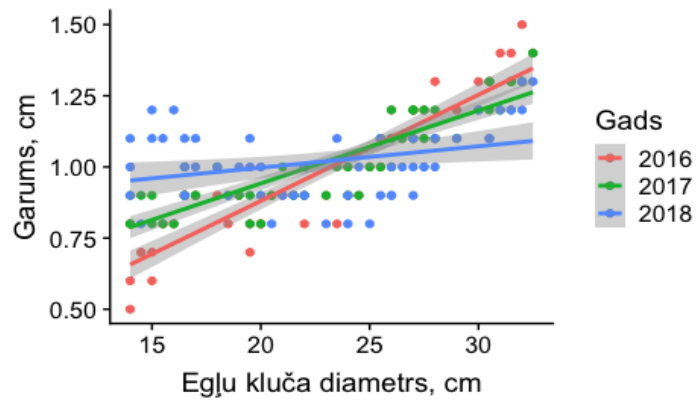


5.11. attēls. Citu ksilofāgu vidējā sastopamība (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā.

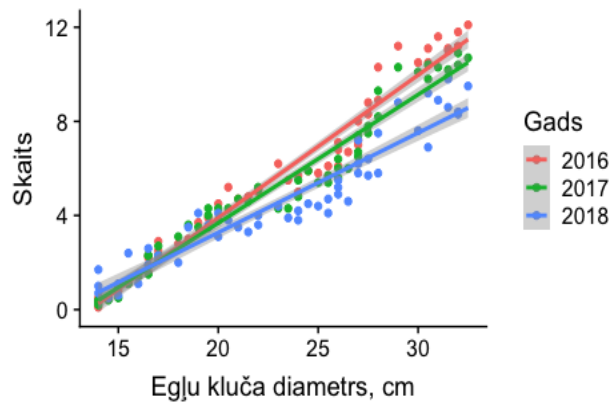




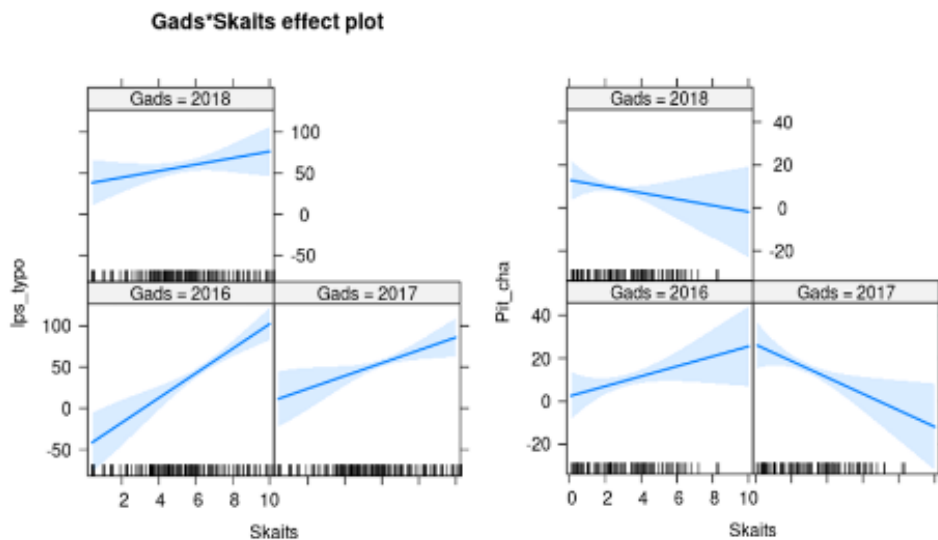
5.12. attēls. Plēsēju vidējā sastopamība (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā.



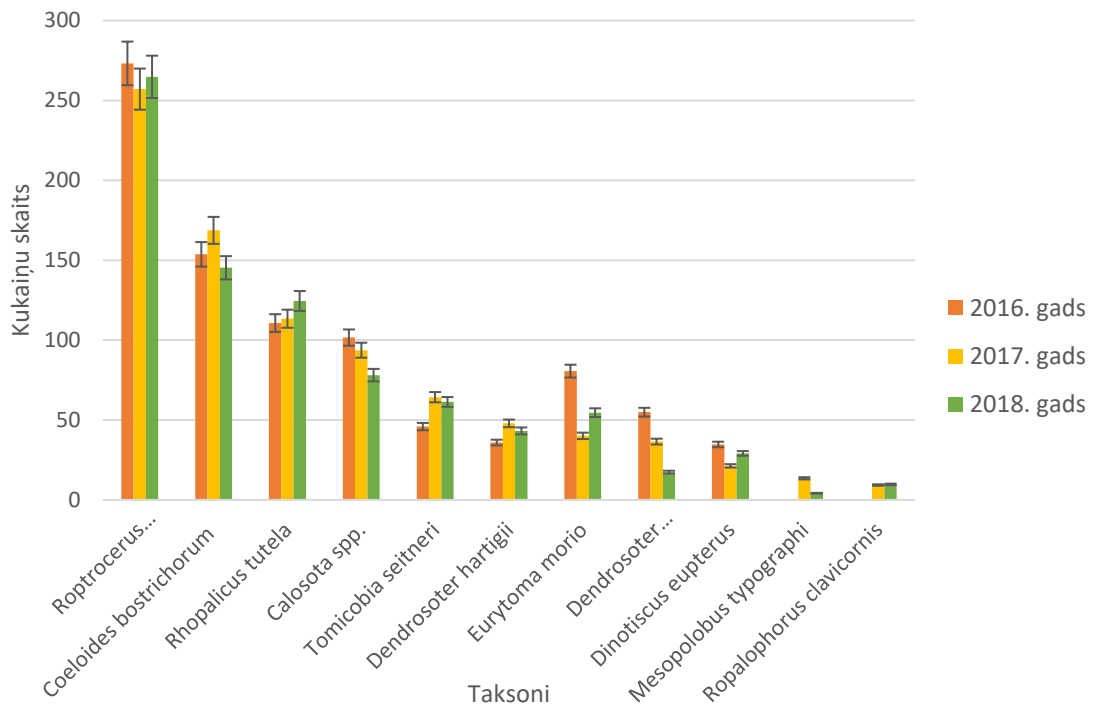
5.13. attēls. Skudrulišu *Thanasimus* spp. kāpuru vidējais garums (\pm 95% ticamības intervāls) vienā paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



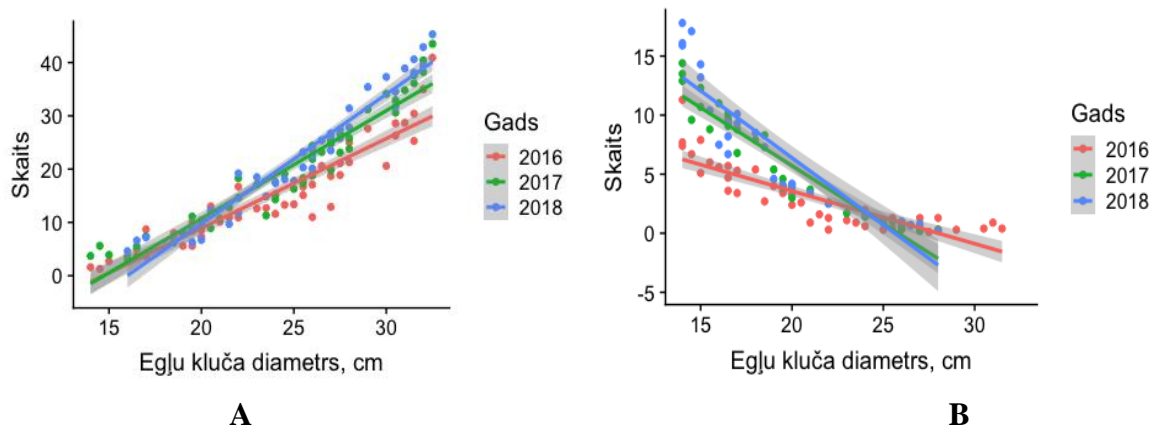
5.14. attēls. Visu plēsīgo kukaiņu skaits (izņemot skudrulišus) vidēji vienā paraugā (\pm 95% ticamības intervāls) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



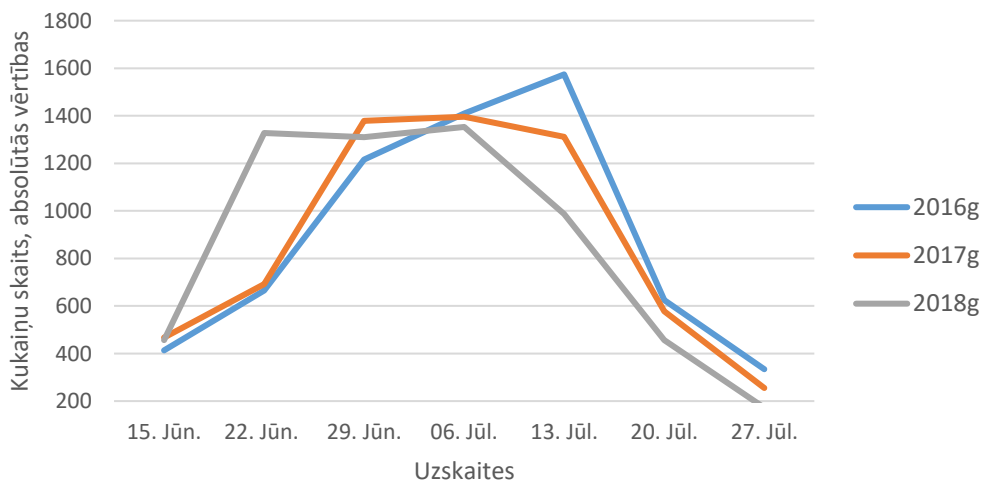
5.15. attēls. Mizgraužu pieaugušo vaboļu skaits atkarībā no plēsēju skaita ietekmes vidēji vienā mizas paraugā (\pm 95% ticamības intervāls).



5.16. attēls. Mizgraužu parazītoīdu vidējā skaita sadalījums (\pm standartklūda) vienā uzskaitē.



5.17. attēls. Mizgraužu *Ips typographus* (A) un *Pityogenes chalcographus* (B) parazītoīdu skaits vidēji vienā uzskaitē (\pm 95% ticamības intervāls) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



5.18. attēls. Kopējais noķerto parazītoīdu skaits uzskaitēs.

Zem egles mizas uzskaitīto mizgraužu plēsēju attīstībai (5.12. att.) tika novērotas līdzības ar pašu mizgraužu attīstību (5.7., 5.8., 5.9. att.). Piemēram, 2016. g. Dolichopodidae dzimtas divspārņu – zaļganīšu kāpuru skaitam vidēji vienā paraugā konstatēts samazinājums no 6. līdz 20. jūlijam par 1,2 īpatņiem uz mizas paraugu jeb par 5,3 reizēm. Nākošos gados novērots, ka zaļganīšu kāpuru skaita samazināšanās notika straujāk (5.12. att.) – no 29. jūnija, kad to skaits saruka vidēji no 1,7 uz 0,1 jeb par 17 reizēm (2017. g.) un no 1,8 uz 0,2 jeb 9 reizēm (2018. g.) . Tas varētu būt skaidrojams ar straujāku masu iekūņošanu 2017. g. un 2018. g. Atšķirībā no 2016. g. rezultātiem (5.12. att.), kad zaļganīšu kūniņu skaits atbilstoši pieaug 5 reizes – vidēji no 0,3 līdz 1,5 šajā periodā, bet 2017. g. un 2018. g. to skaita pieaugums ir vērojams ātrāk – jau 22. jūnijā – vidēji no 0,15 uz 1,6 2017. g. un no 0,15 līdz 1,5 jeb 10 reizes 2018.g., kas ir uz pusi vairāk kā 2016.g.. Starp zaļganīšu kāpuru un kūniņu skaita izmaiņām (5.28. att.) un *I. typographus* kāpuru skaitu (5.7. att.), izmantojot Pīrsona korelāciju, konstatēta cieša sakarība – abu sugu kāpuru skaitam 2016. g. $r = 0,79$ ($p < 0,05$), 2017. g. $r = 0,84$ ($p < 0,05$), 2018. g. $r = 0,81$ ($p < 0,05$), bet starp zaļganīšu kūniņu skaitu un *I. typographus* kāpuru skaitu – 2016. g. $r = -0,68$ ($p < 0,05$), 2017. g. $r = -0,75$ ($p < 0,05$), 2018. g. $r = -0,66$ ($p < 0,05$). Zaļganīšu kāpuri ir plēsīgi, un pamatā barojas ar *I. typographus* kāpuriem, tos aktīvi meklējot ejās (Nagel, Fitzgerald, 1975; Pollet, Brooks, 2008). Zaļganītes masveidā iekūņojās, sākot ar 6. jūliju 2016. g., kad noritēja *I. typographus* pirmās paaudzes izlidošana, 2017. g. nedaudz agrāk, bet 2018. jau 22. jūnijā (5.25. att.). Interesanti, ka zaļganīšu attīstībai 2017. g. un 2018. g. (5.12. att.) nozīmīgāka saistība ar *H. palliatus* attīstību (5.11. att.) - abu sugu kāpuriem $r = 0,82$ ($p < 0,05$) 2017. g. un $r = 0,78$ ($p < 0,05$) 2018. g. (2016. g. $r = 0,43$, $p = 0,076$), bet salīdzinot ar zaļganīšu kūniņu skaita izmaiņu 2017. g. - $r = -0,77$ ($p < 0,05$) un 2018. g. $r = 0,73$ ($p < 0,05$). Lai gan zaļganītes tiek uzskatītas par tipiskiem mizgraužu plēsējiem, tomēr literatūrā figurē informācija par to spējām baroties arī ar lūksngraužiem (Beaver, 1966). Lielāko īpatsvaru no mizgraužu plēsējiem mizas paraugos sastādīja skudrulišu *Thanasimus* spp. kāpuri (5.12. att.). To vidēji 2016. g. par 0,6, bet 2017. g. un 2018. g. par vidēji 1,1 īpatņiem bijis vairāk, salīdzinot ar citiem mizgraužu plēsējiem uz vienu egles mizas paraugu. Skudrulišu pieaugušās vaboles dēj olas mizgraužu pirmajās ieskrejās pavasarī, to agregācijas vietās. Skudrulišu kāpuri barojas pat ar vairāku paaudžu mizgraužu olām, kāpuriem un kūniņām, pavadot to ejās visu vasaras laiku, rudenī (septembra beigās) iekūņojas, pārziemo zem egļu mizas un izkūņojas kā vaboles tikai nākamajā pavasarī (Mamaev, 1977; Ye, 1998; Barbosa et al., 2012). Visticamāk, tieši tādēļ skudrulišu vidējais skaits visu uzskaišu laikā paliek relatīvi nemainīgs, turklāt skudruliši novēroti tikai kāpuru attīstības stadijā (5.28. att.). Tā kā skudruliši ir būtiskākie no mizgraužu plēsējiem (ar lielāko zināmo ietekmi uz to mirstību - spēj samazināt līdz 75% no mizgraužu skaita pēcsavairošanās populācijās) (Jakaitis, 1979; Turnbow, Franklin, 1979; Kenis et al., 2007), turklāt uzskaitēs no dabiskajiem ienaidniekiem bija vienīgie tikai kāpuru stadijā un to dinamikā netika novērotas būtiskas atšķirības, tad tika mērīts to garums (mm) (5.13. att.). Salīdzinoši garāki (t.i. lielāki) skudrulišu kāpuri novēroti egles paraugbaļķos ar lielāku diametru (5.13. att.). Skudruliši barojas pamatā ar *I. typographus* (Turnbow, Franklin, 1979; Ye, 1998), un, iespējams, aug salīdzinoši ātrāk zem tādu koku mizas, kur šo mizgraužu ir vairāk. Interesanti, ka 2017. g. un 2018. g. novērota starpsugu konkurence starp skudruliša kāpuriem un citiem uzskaitītajiem plēsīgajiem kukaiņiem (5.13., 5.14. att.). 2017. vidēji par 17,9 % garāki skudrulišu kāpuru vairāk konstatēts egles baļķu tievgalī un par vidēji 14,3 % īsāki, - resngalī, bet 2018. g. šī pati proporcija izteiktāka - 19,5% un 8,6% (5.13. att.), salīdzinot ar 2016. g. Tiek pieņemts, ka tādas skudrulišu ķermeņa proporciju sadalījuma izmaiņas paraugbaļķu dimensijās

skaidrojamas ar pārējo apskatīto plēsīgo kukaiņu skaita pieaugumu (vidēji par 26,2 %) 2017. g. un (vidēji par 22,1 %) 2018. g. egles paraugbaļķu resngalī (5.14. att.); turklāt, pārējo plēsēju ietekme ir būtiska (2017. g. $r = -0,68$ un 2018. g. $r = -0,74$), lai konkurences ceļā “izspiestu” skudrulišus no to sākotnējām barošanās vietām. Tas ir iespējams, ņemot vērā, ka plēsēji ir to organismu grupa, kas ir uzskatāmi mobilāki (ar lielāku pārvietošanās ātrumu) par citiem novērotajiem organismiem, un spējīgi salīdzinoši strauji mainīt savu lokāciju paraugbaļķa ietvaros. Plēsīgo kukaiņu kopējā skaita sadalījuma izmaiņas baļķu dimensijās 2017. g. un 2018. g., iespējams, ir skaidrojamas ar pašu *I. typographus* sadalījuma izmaiņām (5.6. att.). Piemēram, īsspārņiem (Staphilinidae) straujš to daudzuma kritums paraugos novērots no 22.jūnija līdz 6. jūlijam gan 2016. g., gan 2017. g. (5.12. att.), t.i., laikā, kad *I. typographus* izlidojušās vaboles sasniedz maksimumu (5.9. att.). Šajā laikā īsspārņu skaits uz paraugu vienā uzskaitē samazinājās 2016. g. 4,8 reizes – no 2,4 līdz 0,5 īpatņiem, bet 2017. g. 5,8 reizes - no 2,3 līdz 0,4 īpatņiem uz paraugu (5.12. att.). Taču, 2018. g. šī tendence ir mazāk izteikta, un sarkrīt ar astoņzobu mizgrauži izlidošanu 29. jūnijā (5.9. att.). To arī izskaidro par vidēji 7,9 % lielāks konstatētais īsspārņu daudzums vienā paraugā paraugbaļķa resngalī (5.12. att.). Arī īsspārņiem raksturīga augsta mobilitāte (Lawson et al., 1996; Barbosa et al., 2012). Iespējams, tie salīdzinoši sliktāk piemērojas dzīvei šādos apstākļos, ar uzskatāmi vienveidīgu medījamo taksonu saturu, tādēļ strauji pamet savas attīstības vietas. Vairākums plēsīgo īsspārņu ir izteikti ģenerālisti un parasti regulāri maina savus medījumos kukaiņus (Schomann et al., 2008; EcheGARAY et al., 2015).

Plēsēju uzskaitēs konstatēti arī lapseņu (Hymenoptera) kāpuri un kūniņas (5.12. att.), kas, visticamāk, būtu pieskaitāmi parazitiskiem organismiem, tomēr, tā kā mizas paraugos netika noteikta to tālākā taksonomiskā piederība, tad netiek izslēgts, ka daļa no tām varētu būt mizgraužu plēsēji (Tselikh, 2010; Podlesnik et al., 2014). Lai gan kūniņu īpatsvars paraugos pieaug, sākot ar 29. jūniju, lapseņu skaita izmaiņas uzskaitēs ir maznozīmīgas 2016. g. (kāpuriem $p = 0,04$, kūniņām – $p = 0,07$) un 2017. g. (kāpuriem $p = 0,053$, kūniņām – $p = 0,066$). Nedaudz uzskatāmākas lapseņu dinamikas izmaiņas novērotas 2018.g (kāpuriem $p = 0,012$, kūniņām – $p = 0,024$) (5.28. att.). Arī lapseņu kopējā sastopamība, līdzīgi kā pārējiem plēsējiem (5.14. att.), vidēji par 14,2% pieaug tieši paraugbaļķu vidusdaļā, salīdzinot ar 2016. g. un 2017. g. Arī to, domājams, ietekmē 2018. g. mizgraužu attīstības tempu pieaugums 2017. - 2018. g. (5.7., 5.8., 5.9. att.), jo 2018. g. 29. jūnijā lapseņu kūniņu skaits nozīmīgi pieaug (kas sakrīt, piemēram, ar *P. chalcographus* masveida iekūnošanos zem egļu mizas 29. jūnijā, $r = 0,74$) un sasniedz maksimumu 6. jūlijā (5.12. att.).

Kopumā, visu plēsīgo kukaiņu ietekme uz *I. typographus* preimago attīstību zem mizas pieaug tieši 2018. g. ($p = 0,023$), jo to salīdzinot starp 2016. - 2017. g. ($p = 0,186$) un 2017.-2018. g. ($p = 0,629$) (5.15. att.) tā ir nebūtiska. To loģiski var izskaidrot ar plēsīgo kukaiņu vidējo īpatsvaru (starp gadiem) tieši egles paraugbaļķu resngalī (5.14. att.). Plēsīgo kukaiņu ietekme uz *P. chalcographus* attīstību zem mizas 2018. g. ir maznozīmīga ($p = 0,523$), taču, savukārt, bijusi nozīmīga 2017. g. (atšķirīgākā salīdzinot 2016. g. - $p = 0,013$) (5.15. att.).



5.19. attēls. *Mesopolobus typographi* (foto: I. Siliņš)

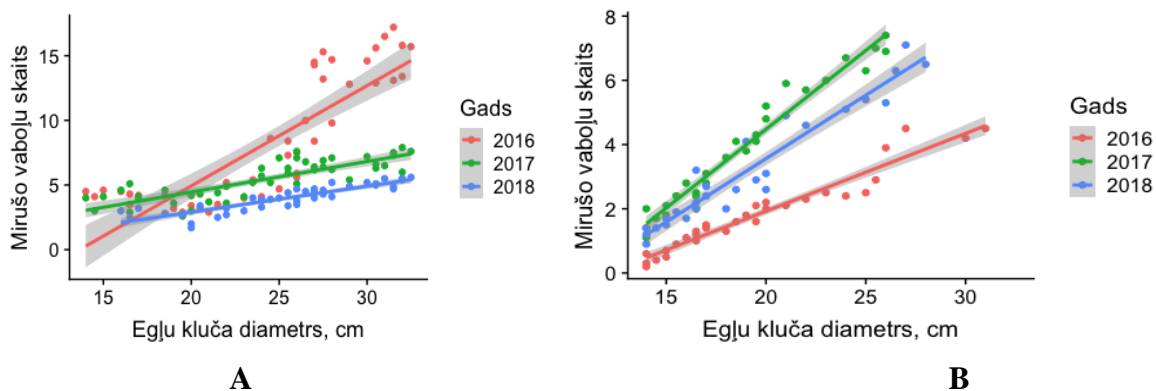
Uzskaitītas arī pieaugušas, izlidojušas mizgraužiem parazitiskas lapsenes, kurām noteikta tālākā taksonomiskā piederība. Kopumā konstatētas 2016. g. 8 parazitisko lapseņu sugas un viena ģints no četrām dažādām dzimtām – Pteromalidae (*Rhopalicus tutela*, *Roptrocerus xylophagorum*, *Tomicobia seitneri*, *Dinotiscus eupterus*), Braconidae (*Dendrosoter middendorffi*, *Dendrosoter hartigii*, *Coeloides bostrichorum*), Eurytomidae (*Eurytoma morio*) un Eupelmidae (*Calosota* spp.), bet 2017. - 2018. g. papildus esošajām - *Mesopolobus typographi* (Pteromalidae) (5.19. att.) un *Ropalophorus clavicornis* (Braconidae) (5.20. att.) (Krüger, Mills, 1990; Lawson et al., 1996; Hougardy, Gregoire, 2003; Feicht, 2004; Tselikh, 2010; Podlesnik, 2014; Delvare et al., 2014). Visaktīvākā šo lapseņu izlidošana 2017. - 2018.g. novērota no 29. jūnija līdz 13. jūlijam, bet 2018. g. notikusi agrāk - no 22. jūnija līdz 6. jūlijam (5.18. att.). No parazītoīdiem uzskaitēs dominēja *Roptrocerus xylophagorum* (2016. g. ar vidēji $273 \pm 5,75$, 2017. g. ar vidēji $257 \pm 18,3$ īpatņiem un 2018. g. ar vidēji $263 \pm 8,54$) un *Coeloides bostrichorum* (2016. g. ar vidēji $154 \pm 1,2$, 2017. g. ar vidēji $168,7 \pm 6,5$ un 2018. g. ar vidēji $143 \pm 4,95$ izlidojušiem īpatņiem uz egles paraugbaļķi) (5.16. att.). Gan *R. xylophagorum*, gan *C. bostrichorum* ir tipiski *I. typographus* raksturīgi parazītoīdi (Krüger, Mills, 1990; Petterson et al., 2000; Petterson, 2001; Sullivan, 2002). *R. xylophagorum* lapsenes mātīte ierāpjas *I. typographus* ejās, to agregāciju vietās, un izdēj olu uz pēdējās stadijas mizgrauža kāpura. Šīs lapsenes kāpurs izšķīļas un ielien savā saimniekā, pakāpeniski izsūcot tā iekšējo saturu, mizgraužu kāpuram kādu laiku dzīvum esot (Petterson et al., 2000; Petterson, 2001; Sullivan, 2002). *R. xylophagorum* kāpuri iekūņojas mizgraužu kāpureju galos un pārziemo, bet izlido tikai nākamajā pavasarī 3 – 4 nedēļas pēc pirmo lidojošo mizgraužu parādīšanās (Krüger, Mills, 1990; Petterson et al., 2000). Savukārt *C. bostrichorum* raksturīgas pat līdz četrām paaudzēm gadā, un to skaits ir tieši proporcionāls izlidojušo mizgraužu skaitam (Krüger, Mills, 1990; Feicht, 2004; Quickle, 2015). Šīs sugas lapsenes ar taustekļiem sajūt mizgraužu kāpurus zem mizas. Tos atrodot, lapsenes mātīte ar pagarināmu dējēkli cauri mizai vaboles kāpuram blakus iedēj olu. *C. bostrichorum* olai izšķīloties, lapsenes kāpurs attīstās kā ektoparazīts (ārpus saimniekorganisma). Arī šīs lapsenes kāpuri iekūņojas mizgraužu kāpureju galos (Krüger, Mills, 1990; Feicht, 2004). 2017. - 2018. g. parazītoīdu vairākumu sastādīja divas sugas - *M. typographi* (2017. g. vidēji $13,5 \pm 2,1$ un 2018. g. vidēji $4 \pm 0,7$ īpatņu), *R. clavicornis* (2017. g. vidēji $9,3 \pm 1,7$ un 2018. g. vidēji $9,7 \pm 1,3$ īpatņu uz paraugbaļķi) - kas arī raksturīgas *I. typographus* (5.16. att.). Par *R. clavicornis* (5.20. att.) bioloģiju ir zināms maz, taču, ņemot vērā, ka šīs lapsenes praktiski vienmēr ir vērojamas kopā ar *T. seitneri*, tiek pieļauts, ka abām sugām tā ir līdzīga (Georgiev, Takov, 2005; Liptak et al., 2013). Abām lapseņu sugām ir raksturīgas divas paaudzes gadā, un tās pārziemo pieaugušās mizgraužu vabolēs kāpura stadijā. *M. typographi* (5.19. att.) raksturīgas 2 - 3 paaudzes gadā un arī šo lapseņu kāpuru attīstība notiek pieaugušās *I. typographus* vabolēs (Georgiev, Takov, 2005; Wegensteiner et al., 2017). *M. typographi* kāpurs attīstoties *I. typographus* vēdera dobumā, skar vaboles gonādas, un spēj līdz pat 30% samazināt mizgrauža izdēto olu skaitu (Askew, 1961). *M. typographi* raksturīga cieša sinhronitāte ar *I. typographus*, jo pieaugušās lapsenes sastopamas tikai šī mizgrauža lidošanas laikā (Askew, 1961; Baur et al., 2007). Taksonomiski vienveidīgs parazītoīdu sastāvs raksturīgs relatīvi jaunās mizgraužu populācijās vai to populācijās ar savairošanās stāvokli (Wajnberg et al., 2008). Salīdzinoši lielāka parazītoīdu taksonomiskā daudzveidība un mainība ir stabilās, ilgstošās mizgraužu populācijās (Price, 1997; Barbosa et al., 2012; Wajnberg, Colazza, 2013). Salīdzinoši mazāk konstatēts sešzobu mizgraužim raksturīgāko parazītoīdu - *Dendrosoter hartigii* (2016. g. vidēji 55 ± 2 , 2017. g. vidēji $47,9 \pm 3,8$, bet 2018. g. $43,2 \pm 3,4$ izlidojušu

īpatņu), *Dendrosoter middendorffii* (2016. g. vidēji 36 ± 1 , 2017. g. vidēji $36,5 \pm 2,5$, bet 2018. g. $17,4 \pm 2,2$ izlidojušu īpatņu) un *Dinotiscus eupterus* (2016. g. vidēji $35 \pm 1,2$, 2017. g. $21,3 \pm 1,4$, bet 2018. g. $29,1 \pm 1,9$ izlidojušu īpatņu) (5.16. att.). *Dendrosoter* ģints lapsenes parazitē primāri uz dažādām mizgraužu sugām, kuru ķermenis nepārsniedz 3 mm garumu, tomēr tās novērotas arī uz salīdzinoši “lielākiem” mizgraužiem – tajā skaitā, uz *I. typographus* (Krüger, Mills, 1990; Hougardy, Gregoire, 2003; Fora et al., 2011). Šīs lapsenes tiek uzskatītas par ģenerālistiem, un tām raksturīgas divas paaudzes gadā (Krüger, Mills, 1990; Podlesnik et al., 2014). *D. middendorffii* primāri izvēlas parazitēt tieši uz *P. chalcographus* un uzskatāma par specializētu sugu (Jakaitis, 1979; Krüger, Mills, 1990; Fora et al., 2011). Novērtējot šo triju lapseņu sugu izlidošanu atkarībā no egles paraugbaļķa lieluma (5.17. att.), redzams, ka tās primāri izvēlas kokus ar salīdzinoši mazāku diametru ($p = 0,01$). To izplatība piesaistīta tādu dimensiju kokiem un to daļām, kuros sastopami šīm sugām piemērotie saimniekorganismi - *P. chalcographus* (2016. g. $r = 0,84$, 2017. g. $r = 0,79$, 2018. g. $r = 0,85$) (5.6., 5.17. att.). Līdzīga (lai gan ne tik izteikta) tendence novērota pārējām izlidojušo lapseņu sugām (17. att.), kuru izplatību primāri nosaka egles paraugbaļķi ar relatīvi lielāku diametru (2016. g. $p = 0,05$; 2017. g. $p = 0,044$, 2018. g. $p = 0,033$). Šo parazitisko lapseņu izplatību, iespējams, nosaka arī abu apskatīto mizgraužu kopējā izplatība, bet pamatā - *I. typographus* izplatība (2016. g. $r = 0,71$, 2017. g. $r = 0,75$, 2018. g. $r = 0,68$) (5.6., 5.17. att.). Kā jau minēts, 2017. - 2018. g. *P. chalcographus* par vidēji 1,2% vairāk sastopams paraugbaļķu tievgalī,

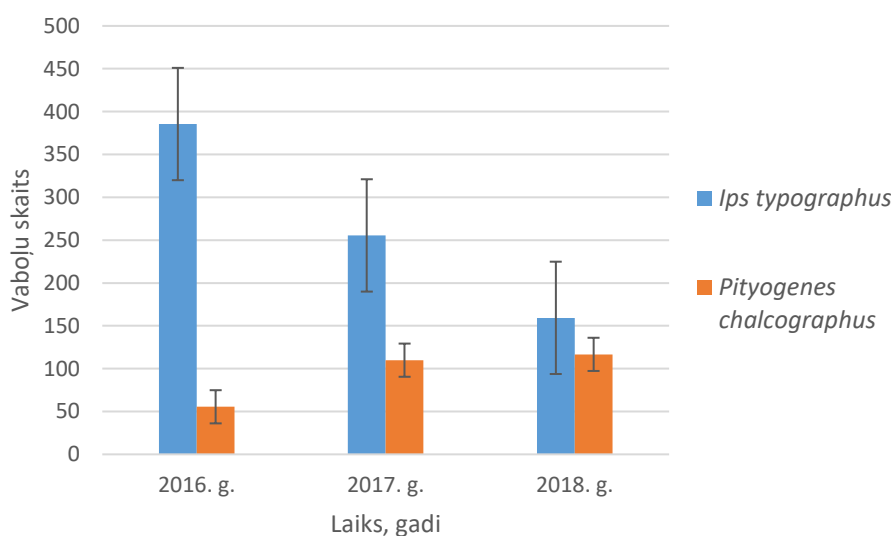


5.20. attēls. *Ropalophorus clavicornis* (foto: I. Siliņš)

bet *I. typographus* resngalī - vidēji par 2,8% vairāk (5.6. att.). Līdzīga situācija 2017. g. novērota parazitiskajām lapsenēm - vidēji par 41,7% bija vairāk sastopamas paraugbaļķu tievgalī (5.17. att.), savukārt resngalī vidēji par 19,1% vairāk bija *I. typographus* raksturīgās (5.17. att.). 2018. g. *P. chalcographus* raksturīgās parazitoīdās lapsenes vidēji par 3,8% vairāk bija sastopamas paraugbaļķu resngalī, savukārt resngalī vidēji par 7,4% vairāk bija *I. typographus* raksturīgās (salīdzinot ar 2017. g.). Iespējams, šādā veidā specializēti parazīti samazina konkurenci ar ģenerālistiem un uzlabo savas vairošanās iespējas, vairāk koncentrējoties saimnieorganisma tiešā tuvumā (5.6., 5.17. att.).



5.21. attēls. Mizgraužu *Ips typographus* (A) un *Pityogenes chalcographus* (B) vidējais mirušo pieaugušo vaboļu skaits (\pm 95% ticamības intervāls) vienā uzskaitē atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



5.22. attēls. Mizgraužu vidējais mirušo pieaugušo vaboļu skaits (\pm standartkļūda) vienā uzskaitē.

Lai gan parazitisko lapseņu dinamikai ir cieša sasaiste ar to saimniekorganismiem (mizgraužiem) (5.6., 5.17. att.), taču kopumā, visu uzskaitīto specifisko parazitisko lapseņu (5.16. att.) ($p = 0,857$), un, līdzīgi - *P. chalcographus* ($p = 0,835$), ietekme uz šo mizgraužu preimago attīstību zem mizas visā pētījuma laikā ir bijusi maznozīmīga. Visa pētījuma laikā kopumā tika uzskaitīti 251 355 mizgrauži dažādās attīstības stadijās (t.sk., *I. typographus* – 175 948, *P. chalcographus* – 75 407), kā arī dabiskie ienaidnieki un konkurentās sugas - 34 923 īpatņi dažādās attīstības stadijās (t.sk., parazitoīdi – 16 065, plēsēji – 6 637, citi ksilofāgi – 12 221). Ņemot vērā, ka dabiskie ienaidnieki sastādīja tikai 7,9 % (t.sk., plēsēji 2,3%, parazitoīdi 5,6%) no kopējā uzskaitīto kukaiņu skaita, tiek pieņemts, ka to iespējamā ietekme uz šajā eksperimentā eksponēto mizgraužu attīstību un izdzīvošanu ir bijusi neliela. Visbūtiskāk *I. typographus* jaunu pieaugušo vaboļu mirstību tomēr ietekmējuši plēsēji, turklāt, šī ietekme bijusi izteiktāka 2017.g. ($p < 0,0001$) un 2018. g. ($p = 0,0035$) (salīdzinot ar 2016. g.), taču *P. chalcographus* - parazīti ($p = 0,0003$), un to ietekme ir bijusi vienāda visos gados. Tiek pieļauts, ka visvairāk parazītu nozīme tomēr pieaug tieši dabā – it sevišķi, nākamajā gadā pēc mizgraužu masu uzliesmojumiem (Ozols, 1985; Barbosa et al., 2012; Delvare et al., 2014). *I. typographus*

mirstību nozīmīgi ir ietekmējusi blīvuma atkarīgā mirstība - paraugbaļķu resngalī (atkarīga no īpatņu skaita, - šajā gadījumā, jo tas lielāks - jo lielāka mirstība), kas parasti regulē populācijas (5.21. att.). Šajā gadījumā to pamatā veicina *I. typographus* kāpuru savstarpējā (iekšsugas) konkurence par dzīves telpu un jau pieminētā plēsēju ietekme. Interesanti, ka *P. chalcographus* mirstība pieaug tieši paraugbaļķu resngalī (5.21. att.). Iespējams, to pamatā ietekmē konkurence ar *I. typographus* un plēsēji. Zināms, ka plēsēji pamatā izvēlas medīt vieglāk uzveicamu medījumu. Ņemot vērā, ka *P. chalcographus* ir salīdzinoši izmēros mazāki kā *I. typographus*, tos, iespējams, izmedijuši skudrulīšu un zaļganīšu kāpuri. Par to liecina atrasto, novēroto, *P. chalcographus* pieaugušo vaboļu ķermeņa fragmentu īpatsvars un nepabeigtās kāpurejas paraugbaļķu vidusdaļā un resngalī. Turklāt, *P. chalcographus* mirstība ir bijusi lielāka, ar katru nākamo klimata režīmu (2018. pieaugot par 57%, salīdzinot ar 2016. .g.), kamēr *I. typographus* tā samazinājusies pat par 59%, salīdzinot ar 2016. g. Ņemot vērā, ka visu uzskaitīto mizgraužu vaboļu skaits ir starp gadiem atšķiries nenozīmīgi (2017. g. un 2016. g. $p = 0,61$, 2018. g. un 2016. g. $p = 0,45$, 2017. g. un 2018. g. $p = 0,53$), tiek izslēgts, ka to ietekmējis dabā pievilinātais vaboļu skaits konkrētā gadā (nav gada ietekmes), un šie dati nav sasaistāmi ar dabisko ienaidnieku skaitu un izmaiņām. Toties šī mirstība ir tieši atkarīga no laika ietekmes, - t.i. to ietekmē konkrētā gada temperatūras režīms (*I. typographus* - $p = 0,0002$ un *P. chalcographus* - $p = 0,0002$ starp visiem gadiem).

Abas apskatītās mizrauzu sugas ir raksturojamas ar pēkšņiem, plašiem savairošanās uzliesmojumiem, un to ietekmei nozīmīga loma ir vējgāzēm un klimatam - pamatā temperatūrām. Pēkšņi karstuma un sausuma periodi ir tie, kuros koks kļūst par vienīgo ūdens avotu šīm vabolēm. Abu mizgraužu augstā reproductīvā kapacitāte un masveida barošana ir pamats to spējai veidot milzīgas agregācijas ap koku, kuru rezultātā mirstot neskaitāmiem vaboļu imago tūkstošiem, tiek pārvarēta koka pretestība. Jo kokam aizsargājoties - izdalot sveķus, tas zaudē būtiskas tā dzīvībai nepieciešama ūdens rezerves, kas ir sevišķi kritiski sausuma laikā. Turklāt katra nākamā izlidojusī mizgraužu paaudze atgriežas kokā, barojoties kopā ar vecajām vabolēm, iznīcina tā vadaudus. Savairošanās laikā mizgraužu paaudžu skaitam ir liela nozīme, - jo to ir vairāk, jo grūtāk skartajiem kokiem izdzīvot (Ozols 1985; Barbosa et al. 2012). Šis pētījums pagaidām ir vienīgais Latvijā, kura ietvaros ir testēti jau gatavi klimata scenāriji, lai noskaidrotu mizgraužu un to ienaidnieku attīstības dinamiku un savstarpējās ietekmes izmaiņas kontrolētos laboratorijas apstākļos. Ņemot vērā to, ka iegūtie paraugi ir iegūti un analizēti atsevišķu gadu laikā, un tikuši pielietoti nemainīgi temperatūras režīmi, tiek pieļauts, ka esošajai izpētei ir pilotpētījuma raksturs, ar ieceri to uzlabot un papildināt nākotnē. Iegūtie rezultāti var kalpot par nozīmīgu pamatu, arī plānojot līdzīga rakstura izpēti.

Rezultātu kopsavilkums

Laboratorijas apstākļos testējot trīs klimata simulācijas - mūsdienu klimats (jeb kontrole) ar nemainīgu vidējo maksimālo temperatūru 15,5 °C (2016. g. eksperiments), vidēju izmaiņu scenārijam atbilstoša veģetācijas perioda klimatu paredzētam laika periodam 2021. - 2050. g., kas, savukārt, paredz vidējo maksimālo temperatūru

17,8 °C (2017. g. eksperiments), un nozīmīgu izmaiņu veģetācijas perioda simulācija tālai nākotnei (paredzēta 2071. – 2100. g.) – ar konstantu temperatūras režīmu 20 °C novērotas sekojošas nemainīgas likumsakarības:

1) starp abām apskatītajām mizgraužu sugām – egļu astoņzobu mizgrauzi *Ips typographus* un egļu sešzobu mizgrauzi *Pityogenes chalcographus* pastāv savstarpēja konkurence. *I. typographus* novēroti vairāk egles paraugbaļķos ar lielāku diametru (2016. g. $p = 0,03$, 2017.

g. $p = 0,027$, 2018. g. $p = 0,0001$), bet *P. chalcographus* – otrādi (2016. g., 2017. g. un 2018. g. $p < 0,001$) (5.22. att.). Arī šiem mizgraužiem raksturīgie parazitoīdi sastopami dažādu dimensiju egles paraugbaļķos atkarībā no to saimniekorganismu sastopamības (5.18. att.);

2) mizgraužu attīstību nosaka ne tikai temperatūra, bet arī dzīvotne (tās virsmas laukums), jo *I. typographus* iekšsugas konkurence veidojas starp to kāpuriem (2016. g. $p = 0,023$, 2017. g. $p = 0,031$, 2018. g. $p = 0,012$) (5.1. att.), atšķirībā no *P. chalcographus*, kuriem iekšsugas konkurence izpaužas starp mātītēm par iespēju veidot aizvien jaunas mātes ejas (2016., 2017. g. un 2018. g. - $p < 0,001$) (5.2. att.);

Izmantojot tuvai nākotnei (2021. - 2050. g.) paredzēto vidējo temperatūru aprīļa, maija mēnešiem (paaugstinot par $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ - t.i. $17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2017. g.), un salīdzinot ar kontroli ($15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2015. g.) novērots, ka:

1) abām mizgraužu sugām palielinās iekšsugas konkurence, jo *I. typographus* kāpurejas kļūst par $4,8\%$ garākas un *P. chalcographus* kāpurejas pat par $22,7\%$ garākas (5.1., 5.2. att.), kas loģiski skaidrojams ar šo kukaiņu metabolisma (vielmaiņas) paātrināšanos - t.sk. apēstās - t.i. bojātās koksnes pieaugumu, kas var rezultēties nozīmīgākos zaudējumos mežsaimniecībai;

2) lai gan, kukaiņu metabolisma pieaugums veicina to augšanu, - un tā, piemēram, laikā no 06.-27. jūlijam ir konstatēts praktiski uz pusi vairāk *P. chalcographus*, izšķīlušos pieaugušo vaboļu zem egles mizas (5.24. att.), abu mizgraužu pieaugušo vaboļu izlidošanas dinamika, temperatūrai pieaugot, būtiski neatšķirās (5.25. att.), salīdzinot ar 2016. g.;

3) *I. typographus* un *P. chalcographus* savstarpējā (jeb starpsugu) konkurence samazinās (5.6. att.), kas, iespējams, kalpo kā kompensācijas mehānisms pieaugošajai iekšsugas konkurencei;

4) pieaug dabisko ienaidnieku spiediens uz abām mizgraužu sugām. *I. typographus* sekmīgu attīstību zem egles mizas nozīmīgāk ietekmē pieaugošs plēsēju spiediens (piemēram, zaļganīšu kāpuru iekūņošanās bijusi piecas reizes sekmīgāka (5.12. att.) (5.6., 5.14. att.), bet *P. chalcographus* sekmīgu attīstību zem egles mizas nozīmīgāk ietekmē tieši tam specifiskās parazitoīdās lapsenes, jo to skaits egles paraugbaļķu tievgalī, salīdzinot ar 2016. g., palielinājies pat par $41,7\%$ (attiecīgi, *I. typographus* raksturīgajām parazitoīdām lapsenēm skaita pieaugums sastādīja $19,1\%$) (5.17. att.); tiek pieļauts, ka tuvā nākotnē (2021. - 2050. g.) mizgraužu mirstību populācijas savairošanās fāzē vairāk ietekmēs iekšsugas konkurence, nevis plēsēji (kas sastāda tikai $2,3\%$; no kopējā uzskaitīto kukaiņu skaita), bet mizgraužu populācijas pēcsavairošanās fāzē nozīmīgāk samazinās tieši parazitoīdi (5.17. att.);

5) pieaugot *I. typographus* plēsēju iekšējai konkurencei (5.14. att.), tā nelabvēlīgi ietekmē sekmīgu skudrulišu *Thanasimus sp.* augšanu egles paraugbaļķu resngalī (5.13. att.), iespējams, nozīmīgi samazinot šī plēsēja ietekmi uz *I. typographus* mirstību. Jau minēts, ka skudrulišu kāpuri spējīgi līdz 75% samazināt mizgraužu skaitu pēcsavairošanās populācijās. Arī plēsēju uzskaitēs skudruliši dominēja (vidēji par $0,9$ īpatņiem vairāk, salīdzinot ar citiem plēsējiem uz vienu mizas paraugu) (5.12. att.).

Savukārt, izmantojot tālai nākotnei (2071. - 2100. g.) paredzēto vidējo temperatūru aprīļa, maija mēnešiem (paaugstinot par $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - t.i. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2018. g.), un salīdzinot ar kontroli ($15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2015. g.) novērots, ka:

1) parādās iekšsugas konkurence starp *I. typographus* mātītēm ($p = 0,0057$) (5.1. att.), - to māteseju garumi turpina pieaugt ($p = 0,037$) (vidēji par $4,6\text{ mm}$ - salīdzinot ar 2016. g.), jo nozīmīgi pieaug šīs sugas mizgraužu kāpureju blīvums paraugaļķu resgalī (5.1. att.) - turklāt, kāpuru savstarpējā konkurence kļūst akūta, jo to nozīmīgi ietekmē šajā gadā izmantotais temperatūras režīms ($p < 0,0001$ (5.1. att.);

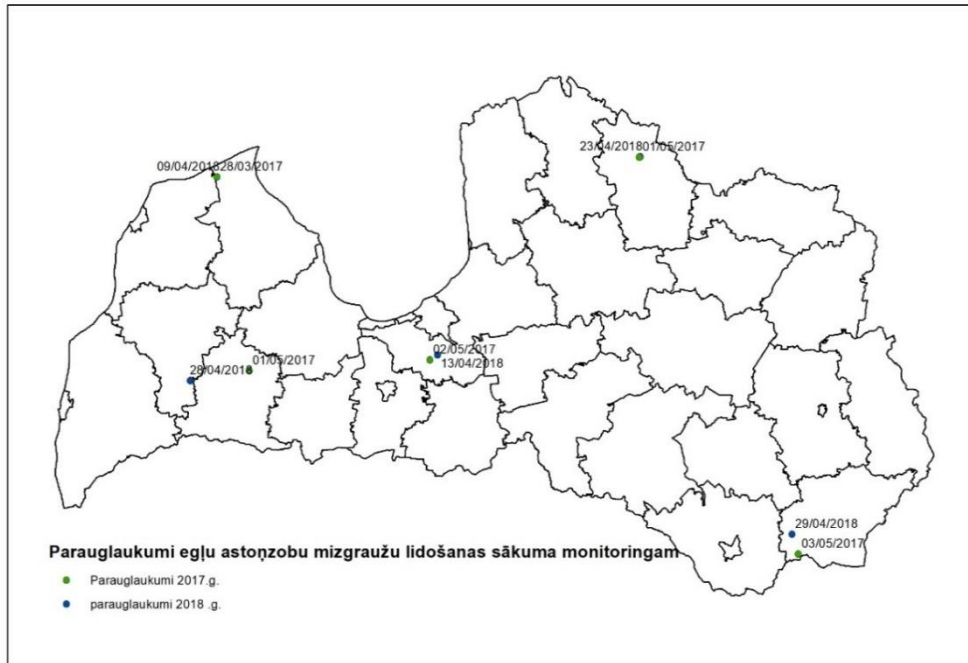
2) iekšsugas reproduktīvā konkurence starp abu mizgraužu sugu mātītēm saglabājas, turklāt kļuva izteiktāka (5.2. att.), parādās iekšsugas konkurence starp *P. chalcographus* kāpuriem - to eju garums pieaug par 24,5% ($p = 0,00017$), un to nozīmīgi ietekmē šajā gadā izmantotais temperatūras režīms ($p < 0,0001$) (5.2. att.);

3) ja abu apskatīto mizgraužu sugu attīstības un izlidošanas dinamika 2016. - 2017. g. nozīmīgi neatšķīrās (5.7., 5.8., 5.9. att.), tad 2018. g. *I. typographus* galeriju (ēju) veidošana norimst 29. jūnijā, bet iekūpošanās noslēdzas par aptuveni nedēļu ātrāk, savukārt *P. chalcographus* - pat par mēnesi ātrāk (5.3., 5.4. att.). Ņemot vērā, ka, salīdzinot ar 2017. g., temperatūras kāpums sastādījā 2,4 °C, *P. chalcographus* imago izlidošana novērota jau 22. jūnijā (to par 73,1 % vairāk attiecīgajā uzskaitē, salīdzinot ar 2016. g.) (5.8. att.), jo to preimago attīstība zem mizas bijusi pat par 1,5 reizēm straujāka - kas laika izteiksmē ir ekvivalents veselai jaunajai *P. chalcographus* paaudzei (5.8. att.);

4) lai gan nedaudz pieauga citu ksilofāgu attīstības tempi zem egļu mizas (piemēram, Cerambicidae jeb koksngraužu iekūpošanās novērota jau 20. jūlijā (5.11. att.), salīdzinot ar 2016. g., $p = 0,034$), vairākumam mizgraužiem konkurento sugu (t. sk. arī lūksngraužiem) netika novērota tieša ietekme uz abu mizgraužu attīstību (5.11. att.). Tomēr, tiek pieņemts, ka tie samazina plēsēju ietekmi uz mizgraužiem, jo paši kalpo par plēsēju alternatīvo barības avotu (tā, piemēram, lūksngraužu kāpuru skaitu *H. palliatus* negatīvi ietekmē zaļganītšu kāpuri Dolichopodidae ($r = 0,78$, $p < 0,05$) (5.11., 5.12. att.);

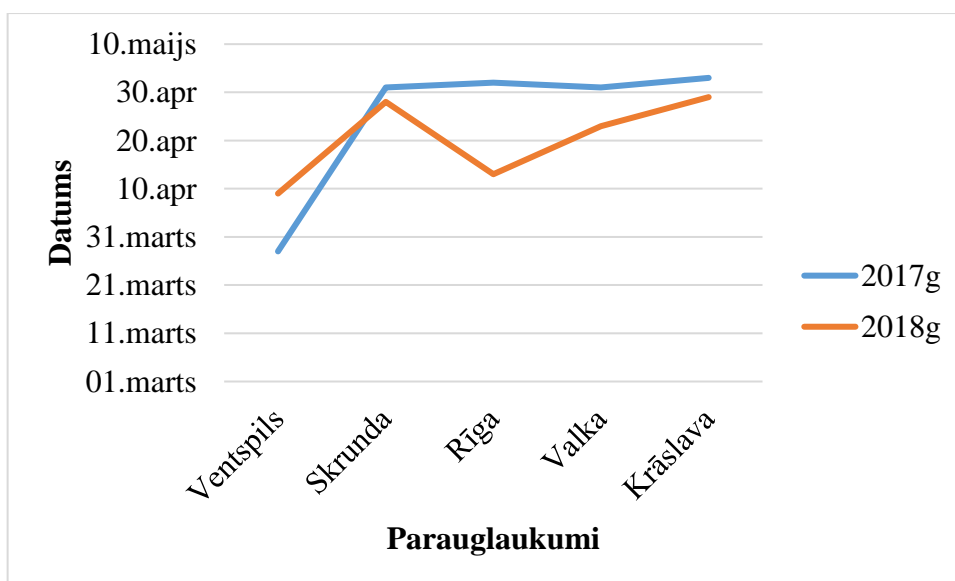
5) plēsīgo kukaiņu dinamikā vērojamas nelielas atšķirības, salīdzinot ar 2016. g. (5.12. att.), bet to negatīvā ietekme uz mizgraužu attīstību pieaug tieši vidēju dimensiju egles paraugbaļķos (5.13., 5.14., 5.15. att.) (mazāk tievgalī un resngalī). Visnozīmīgāk plēsēji veicina *I. typographus* mirstību (imago $p = 0,0035$, preimago $p = 0,023$), bet to ietekme uz *P. chalcographus* nav būtiska ($p = 0,523$) (salīdzinot ar 2016. - 2017. g.) (5.15. att.). Taču *P. chalcographus* mirstību nozīmīgi ietekmē parazitoīdi ($p = 0,0003$), konkurence ar *I. typographus* un klimata režīms (sk. iepr.), un tā uzskatāmi pieaug starp gadiem (5.22. att.), un tiek pieļauts, ka to veicina pētījumā nenoskaidroti faktori (piemēram, patogēni). Turpretī, lai gan *I. typographus* mizgraužu mirstību veicina īpatņu blīvums (t.i. iekšējā konkurence) (5.21. att.) un plēsēji, tomēr to ietekme nav pietiekama, jo *I. typographus* mirstība uzskatāmi samazinās pa gadiem (5.22. att.), turklāt to negatīvi ietekmē temperatūras pieaugums.

Egļu astonzobu mizgrauža lidošanas monitoringam katru gadu tiek ierīkoti parauglaukumi 5 Latvijas reģionos (5.23. att.). Analogi mizgraužu lidošanas dinamikas monitoringam, svaigās skuju koku cirmās tiek ievietoti 3 slazdi ar *I. typographus* agregācijas feromona dispenseru. Slazdi tiek pārbaudīti reizi dienā sākot no 15. marta un noteikts datums, kad slazdā konstatēta pirmā egļu astonzobu mizgrauža vabole. Šo datumu uzskata par mizgraužu lidošanas sākumu konkrētajā reģionā attiecīgajā gadā.



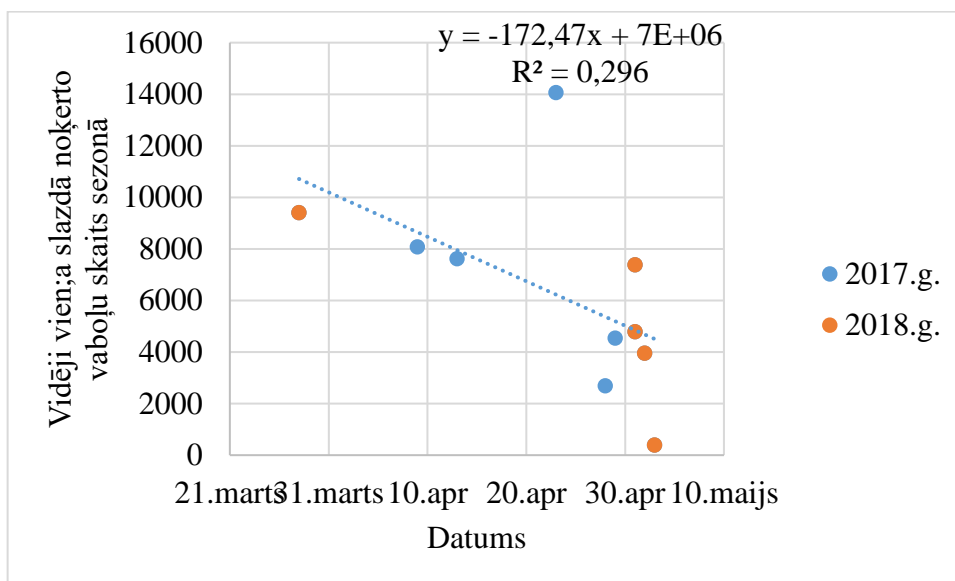
5.23. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus* L.) lidošanas sākuma monitoringa parauglaukumu izvietojums 2017. gadā un 2018. gadā

2018. gadā egļu astoņzobu mizgraužu lidošana sākās par vidēji 4 dienām vēlāk nekā 2017. gadā (5.24. att.). Gan 2017. gadā, gan 2018. gadā mizgrauža vaboles visagrāk izlidoja Latvijas Rietumos- Ventspils rajonā, kas iespējams, saistīts ar jūras ietekmi. 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). 2018. gadā agrs mizgraužu izlidošanas sākums novērots arī Rīgas parauglaukumā. Tas skaidrojams ar jūras tuvumu un relatīvi agrāku pavasara iestāšanos līdzīgi kā Ventspils parauglaukumā.



5.24.attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus* L.) lidošanas sākums 2017. gadā un 2018. gadā

5.25. attēlā atainots cik lielā mērā agrāka izlidošana saistīta ar kopējo lidošanas intensitāti. Šobrīd ievākto datu apjoms, neļauj izdarīt drošus secinājumus, bet pastāv tendence, ka reģionos, kuros mizgraužu izlidošana sākas agrāk, kopējā lidošanas aktivitāte visā sezonā ir augstāka.



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

Kopsavilkums

Pētījuma rezultāti liecina, ka, klimata pārmaiņu ietekmē paaugstinoties gaisa temperatūrai (par 2,3°C) abu mizgraužu (astoņzobu un sešzobu) loma mežsaimniecībā saglabāsies. Nedaudz pieaugs plēsēju un parazītoīdu ietekme uz šīm dendrofāgo kukaiņu sugām, īpaši – mizgraužu pēcsavairošanās populācijās. Klimata pārmaiņām turpinoties (gaisa temperatūrai paaugstinoties par 4,5°C) abu mizgraužu attīstība zem egļu mizas būtiski paātrināsies: *I. typographus* par puspaudzī, bet *P. chalcographus* par vienu paudzī, radot nozīmīgi palielinātu egļu audžu bojājumu risku. Tas radīs nozīmīgu ietekmi uz mežistrādes plānošanu: lai novērstu negatīvas sekas, gada siltajā periodā ciršanas atlieku savākšana nedrīkstēs būt vēlāka par vienu nedēļu pēc ciršanas. Pieaugs *I. typographus* ietekme, un šī mizgrauža savairošanās nesīs lielākus zaudējumus, jo tas spēs attīstīt līdz 2,5 - 3, bet savairojoties pat līdz 3,5 vai pat 4 paudzēm sezonā (līdzīgi kā pašreiz - mūsdienu klimatā - Centrāleiropā). Ņemot vērā, ka dabiskie ienaidnieki šo mizgrauzi vairāk ietekmēs tieši vidējas dimensijas kokos, tas vairāk apdraudēs lielāku dimensiju (vecākas) egles - diametrā virs 28 cm un lielākas. Pētījuma rezultāti liecina, ka plēsēju ietekme uz šo mizgrauzi būs neliela, bet parazītoīdu ietekme saglabāsies tikai pēcsavairošanās periodā. Lai palielinātu parazītoīdu ietekmi savairošanās gadā, būs pastiprināti jāizmanto to pievilināšana (piemēram, ar oksidētiem monoterpeniem).

6. Epiģenētiskā efekta ietekmes analīze

Sēklu ieguve kontrolētos apstākļos: kārpainais bērzs un parastā egle; Stādu audzēšana no 2017. gadā iegūtajām sēklām; augšanas ritma mērījumi 2017. gadā izaudzētajiem stādiem

Veikta kārpainā bērza klonu iestādīšana liela izmēra podos (100 l), audzēšana un sēklu materiāla ieguve paaugstinātā temperatūrā (LVMI Silava Klimatmājā). Izmantotajiem 2 parastās egles kloniem strobili nobiruši un čiekuri nav izveidojušies.

Nodrošināta stādu audzēšana no sēklām, kas iegūtas 2017. gadā no normālā un no paaugstinātā temperatūras režīmā augušiem kokiem (6.1. tab., 6.1. att.).

6.1. tabula

Dažādā temperatūrā attīstījušos sēklu stādi 2018. gadā

Suga	Klons/ ramets	Sēklu nogatavošanās apstākļi 2017. gadā
Egle	Mad116	klimata kamera (no Tirzas pl.)
Egle	Mad145	klimata kamera (no Tirzas pl.)
Bērzs	Pr2	klimata kamera (no LVM pl. Kalsnava-4-R)
Bērzs	mix (t.sk. 11% Pr2)	plantācija (LVM pl. Kalsnava-4-R)
Melnalksnis	Br32/7R-11K	klimata kamera (no MPS pl.)
Melnalksnis	Br32/7R-17K	klimata kamera (no MPS pl.)
Melnalksnis	Og3/352/10R-3K	klimata kamera (no MPS pl.)
Melnalksnis	Og6/2/12R-10K	klimata kamera (no MPS pl.)
Melnalksnis	Mē18/7R-18K	klimata kamera (no MPS pl.)
Melnalksnis	Br32/2R-5K	plantācija (MPS)
Melnalksnis	Br32/2R-11K	plantācija (MPS)
Melnalksnis	Og3/352/5R-9K	plantācija (MPS)
Melnalksnis	J4/7R-14K	plantācija (MPS)
Melnalksnis	Br32/7R-5K	plantācija (MPS)
Melnalksnis	Sa14/9R-12K	plantācija (MPS)
Melnalksnis	Og3/352/10R-9K	plantācija (MPS)
Melnalksnis	Mē18/13R-13K	plantācija (MPS)



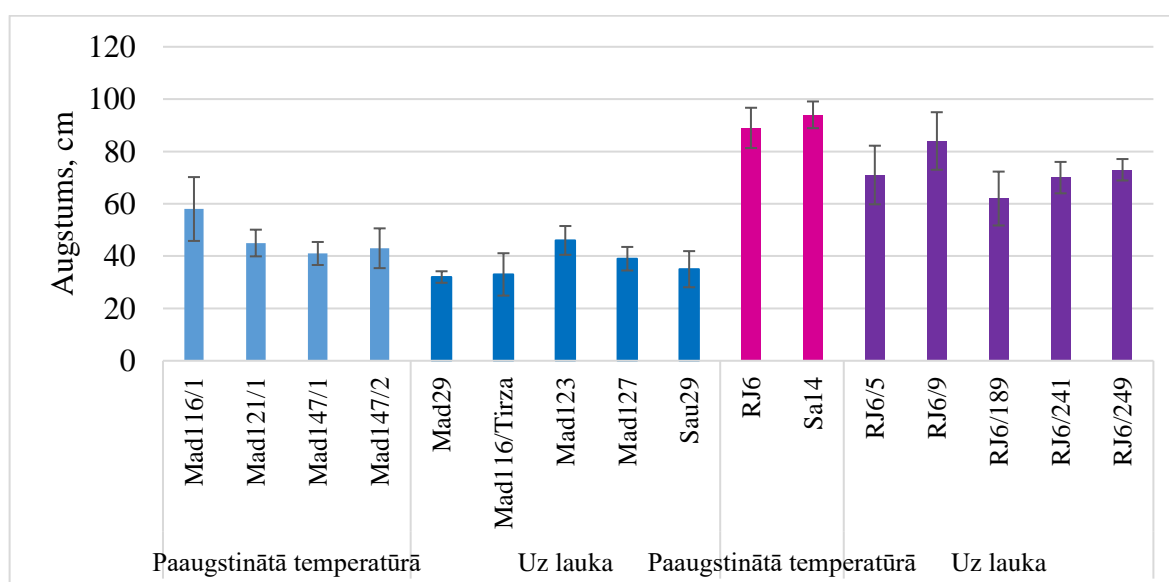
6.1. attēls. Stādu audzēšana no paaugstinātā temperatūrā augušām melnalkšņa sēklām.

2017. gadā izaudzētie stādi (6.2. tab), kas izvietoti MPS Kalsnavas MN kokaudzētavā, uzmērīti augšanas perioda beigās (6.2. att.). taču to augšanas laistīšanas kļūdu dēļ bijuši ļoti vāja. Stādi, kas auguši no paaugstināta temperatūrā audzētām sēklām, gan melnalksnim, gan eglei bijuši augstāki nekā no laukā (nemainītā temperatūras režīmā) audzētām sēklām, taču augstumu atšķirības pēc 1. sezonas nav statistiski būtiskas.

6.2 tabula

Dažādā temperatūrā attīstījušos sēklu stādi, kam veikti mērījumi 2018. gadā

Suga	Klons/ ramets	Sēklu nogatavošanās apstākļi 2016.gadā
Egle	Mad116/1	klimata kamera (no Tirzas pl.)
Egle	Mad121/1	klimata kamera (no Tirzas pl.)
Egle	Mad147/1	klimata kamera (no Tirzas pl.)
Egle	Mad147/2	klimata kamera (no Tirzas pl.)
Egle	Mad29	plantācija (Tirzas)
Egle	Mad116/Tirza	plantācija (Tirzas)
Egle	Mad123	plantācija (Tirzas)
Egle	Mad127	plantācija (Tirzas)
Egle	Sau29	plantācija (Tirzas)
Melnalksnis	RJ6	klimata kamera (no MPS pl.)
Melnalksnis	Sa14	klimata kamera (no MPS pl.)
Melnalksnis	RJ6/5	plantācija (Olaines; no šī rameta potzari MPS pl.)
Melnalksnis	RJ6/9	plantācija (Olaines)
Melnalksnis	RJ6/189	plantācija (Olaines)
Melnalksnis	RJ6/241	plantācija (Olaines)
Melnalksnis	RJ6/249	plantācija (Olaines)



6.2. attēls. Pirmās sezonas beigu augstumi eglēm (zilās kolonnas) un melnalkšņiem (violetās kolonnas) no sēklām, kas attīstījušās paaugstināta un nemainītā (uz lauka) temperatūrā režīmā.

7. Iegūto rezultātu publicēšana

Iegūto rezultātu publicēšana – dalība vienā zinātniskā konferencē ārvalstīs, viena zinātniskā raksta publicēšana starptautiskā zinātniskā žurnālā, kura citēšanas indekss ir vismaz 50 % no nozares vidējā (statuss: iesniegts).

Pētījuma rezultāti publicēti:

- 1) Kitenberga M., Matisons R., Jansons A., Donis J. (2018). Teleconnection between the Atlantic sea surface temperature and forest fires in Latvia and Estonia. *Silva Fennica*, 52 (1), article id 7771. 8 p. <https://doi.org/10.14214/sf.7771> (žurnāla ietekmes faktors >50% no nozares vidējās vērtības);
- 2) Neimane U., Katrevics J., Baders E., Zadina M., Jansons J., Jansons A. (2018). Environmental factors affecting formation of lammas shoots in young stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Latvia. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 11: 809-815, doi: 10.3832/ifor2539-011 (žurnāla ietekmes faktors >50% no nozares vidējās vērtības).

Rezultāti prezentēti

- 1) Guntars Snepsts, Oskars Krisans, Edgars Dubrovskis, Rolands Kapostins, Aris Jansons (2018). Effect of injuries on stability of Norway spruce. LIFE+ ELMIAS Ash and Elm, and IUFRO WP 7.02.01 Root and Stem Rots Conference (LIFE-IUFRO), 26 August - 1 September 2018, in Uppsala and Visby, Sweden
- 2) Janis Donis, Leonids Zdors, Guntars Snepsts, Raimonds Senhofs, Aris Jansons (2018). Forest fire as prototype for continuous cover forestry in Scots pine stands in hemiboreal zone of Europe. IUFRO XI International Workshop on Uneven-aged Silviculture: Challenges for increasing adaptability, Valdivia, Čīlē, 9.-21.11.2018.

Ņemot vērā šajā pētījumā iegūtos datus, kā arī izpratni, t.sk. par informāciju, kas netiks iegūta šī pētījuma ietvaros, turpmākai jomas attīstībai sagatavots pieteikums “Birch and aspen stand management decision support tool for reduction of wind damages”, kas 03.09.2018. iesniegts Darbības programmas "Izaugsme un nodarbinātība" 1.1.1. specifiskā atbalsta mērķa "Palielināt Latvijas zinātnisko institūciju pētniecisko un inovatīvo kapacitāti un spēju piesaistīt ārējo finansējumu, ieguldot cilvēkresursos un infrastruktūrā" 1.1.1.1. pasākuma "Praktiskas ievirzes pētījumi" projektu konkursam ERAF finansējumam. Rezultāts – apstiprināts ar nosacījumu. Tāpat sagatavots pieteikums “Vētru bojājumu risku mazināšana mežu apsaimniekošanā”, kas iesniegts Latvijas Zinātnes padomes fundamentālo un lietišķo pētījumu projektu konkursam. Rezultāts – apstiprināts.

8. Ceļa karte turpmākiem pētījumiem

Sagatavot meža audzēšanas risku izpēti un meža apsaimniekošanas rekomendāciju sagatavošanas ceļa karti.

1. Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanas un audzēšanas zināšanu uzkrāšana

Sagaidāmais rezultāts 2020 (pētījumu periods 2016 – 2020): ierīkoti stādījumi – lapegle, dižskābardis, sarkanais ozols, Klinškalnu priede; ierīkoti jaunaudzū kopšanas ietekmes novērtējuma objekti – liepa, kļava; ierīkots segaudzes novākšanas ietekmes novērtējuma objekts – dižskābardis; izstrādāti augšanas gaitas vienādojumi – lapegle, dižskābardis.

Turpmāko pētījumu aktualitāte

Zināšanas par introducēto koku sugu piemērotību audzēšanai Latvijā esošajos un sagaidāmajos klimatiskajos apstākļos:

- 1) būtiskas, ņemot vērā klimata salīdzinoši straujo maiņu – līdz gadsimta beigām tas Latvijā atbildīs nemorālajiem mežiem raksturīgajam (šobrīd Centrāleiropā) un būs optimāls vairāku šobrīd Latvijā reti sastopamu un/vai introducētu koku sugu audzēšanai (Hickler et al., 2012) un augstas ražības nodrošināšanai (Lindner et al., 2010; Hanewinkel et al., 2012). Par to liecina novērojumi boreālo mežu dienvidu daļā (kā Somijas dienvidos), kur aizvien vairāk izplatās nemorālajiem mežiem raksturīgās sugas (Goldblum, Rigg, 2005; Kullman, 2008). Tāpat Latvijā izveidotie augstuma pieauguma modeļi Šķēdē augošajiem dižskābaržiem uzrāda pieaugošu ātraudzību, it īpaši otrās un trešās paaudzes kokiem, t.i., sākotnēji Latvijā ievesto un mūsu klimatā izdzīvojušo koku pēcnācējiem (Matisons et al., 2018). Augstā paaugas koku saglabāšanās kontinentālākos apstākļos MPS Kalsnavas MN (Puriņa et al., 2018) norāda uz pašreizējo klimatisko apstākļu piemērotību. Ņemot vērā koku sugu relatīvi lēno migrāciju un cilvēka saimnieciskās darbības ietekmi uz to sastāvu, lielākajā daļā mežaudžu mērķtiecīga un uz zināšanām balstīta koku sugu maiņa ir vienīgais instruments efektīvākai sagaidāmo klimatisko apstākļu piedāvāto iespēju (augstāka temperatūra, garāks veģetācijas periods) izmantošanai (Spittlehouse, Stewart, 2004; Kirilenko, Sedjo, 2007);
- 2) klimata izmaiņu ietekme uz koku augšanu nosakošajiem biotiskajiem un abiotiskajiem faktoriem ne vienmēr ir prognozējama. Par to liecina jau novērotā atsevišķu koku sugu kalšana lielā to izplatības areāla daļā, t.sk. Latvijā, piemēram, goba, osis (Pautasso et al., 2013; Matisone et al., 2018). Šādā gadījumā būtiska ir informācija par iespējamām citām sugām (alternatīvām), ko varētu izmantot kādas noteiktas koku sugas bojāejas gadījumā. Tāpat plašāka koku sugu klāsta izmantošana mezsaimniecībā sadala (diversificē) nezināmos, ar klimata izmaiņu ietekmi saistītos riskus. Viena no šādām koku sugām ir Klinškalnu priede, kura platībās uz nabadzīgām smiltis augsnēm Latvijā var nodrošināt vidēji par 25% augstāku krāju nekā parastā priede (Jansons et al., 2013). Parasto egli daudzviet Centrāleiropā stādījumos aizstāj ar duglāziju, ņemot vērā šo koku sugu līdzīgās augšanas prasības, augšanas gaitu un koksnes īpašības, kā arī to, ka duglāziju neietekmē egļu astoņzobu mizgrauzis un tai ir augstāka vēja noturība. Līdz šim Latvijā nav pietiekami plašas eksperimentu bāzes par šo koku sugu. Līdzīgi trūkst plašākas informācijas par atsevišķām citām introducētajām koku sugām, kuru sākotnējais novērtējums liecina par iespējamu piemērotību audzēšanai Latvijā, piemēram, Veimuta priede, Eiropas baltegle, Lielā baltegle.

Pētījuma uzdevumi un sagaidāmais rezultāts

<u>Aktivitāte</u>	<u>Rezultāts 2025</u>	<u>Rezultāts 2030</u>
Ierīkoto liepas un kļavas jaunaudzū kopšanas objektu uzturēšana, uzmērīšana.	Liepas un kļavas audzēšanas potenciāla un kopšanas režīma ietekmes raksturojums.	Liepas un kļavas audzēšanas potenciāla un kopšanas ilgtermiņa ietekmes raksturojums, finansiālais novērtējums.
Ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšana, uzmērīšana.	Sortimentu iznākuma novērtējums. Rekomendācijas un atlasīts materiāls turpmākam selekcijas darbam, kā arī identificēts reģions (proveniences), no kurienes šāds materiāls būtu iegūstams, izmantojot Latvijā un kaimiņvalstīs esošu stādījumu datus. Stādījumu ierīkošanas rekomendācijas (eksperimenti, citu valstu pieredze).	Ierīkoto jauno stādījumu uzmērīšana, uz Latvijā ierīkotu stādījumu analīzes balstītas rekomendācijas šo koku sugu izmantošanai, t.sk., platībās ar saimnieciskās darbības ierobežojumiem, mērķtiecīgā mistraudžu veidošanā.
Klinškalnu priedes audzēšanas perspektīvu padziļināta analīze.	Augšanu nosakošo abiotisko faktoru analīze (t.sk. pieauguma veidošanās sezonas ietvaros, dendrohronoloģijas analīze) un riska faktoru padziļināts novērtējums, visas pieejamās informācijas apkopojums – grāmatas manuskripts, audzēšanas rekomendācijas un ieteikumi precizējumiem normatīvajos aktos.	Jaunu stādījumu ierīkošana ar selekcionētu materiālu no Zviedrijas, Kanādas, sēkļu bāzes nodrošināšana, veģetatīvās pavairošanas rūpnieciskos apjomos iespēju analīze.

Duglāzijas audzēšanas perspektīvu analīze.	Augšanas gaitu nosakošo klimatisko faktoru analīze (dendrohronoloģija), risku (t.sk., biotisko) analīze, kooperācija ar kaimiņvalstīm stādījumu ierīkošanā, izmantojot sēklu materiālu no jau introducētajiem kokiem un no esošām sēklu plantācijām Centrāleiropā, kā arī no potenciāli piemērotām proveniencēm no dabiskā izplatības areāla.	Ierīkoto stādījumu saglabāšanās, augšanas gaitas analīze, rekomendācijas praktiskai izmantošanai.
Veimuta priedes, Eiropas baltegles, Lielās baltegles audzēšanas perspektīvu analīze.	Augšanas gaitas un to ietekmējošo klimatisko faktoru novērtējums, izmantojot Latvijā esošos atsevišķos stādījumus; nozīmīgāko risku novērtējums, t.sk., literatūras analīze. Koksnes īpašību analīze. Rekomendācijas turpmākai izpētei.	Proveniencu un sēklu plantāciju pēcnācēju stādījumu ierīkošana, saglabāšanās, juvenilās augšanas gaitas novērtējums.
Ietekmes uz meža nekoksnes resursiem novērtējums	Estētiskā / rekreācijas vērtība (indikatori, aptauja: kompleksa, ieverot arī citus šī pētījuma objektus – biotisko faktoru radītie bojājumi, vētru bojājumi u.c.)	Ietekme uz citiem meža ekosistēmas pakalpojumiem t.sk. nekoksnes resursiem, oglekļa piesisti, salīdzinājumā ar vietējām koku sugām

2. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā

Sagaidāmais rezultāts 2020 (pētījumu periods 2016 – 2020): novērtētas augšanu limitējošo faktoru izmaiņas, izmantojot pieaugumu urbumu datus priedei (2018), eglei (2019), bērzam (2020). Sagatavoti klimata ietekmi raksturojoši koeficienti augšanas gaitas modeļiem.

Turpmāko pētījumu aktualitāte

Kritiskie koka pieaugumu ietekmējošie faktori mainās, tam novecojot (Carrer, Urbinati, 2004); tāpat limitējošie faktori atšķiras reģionos ar dažādu klimatu (Speer, 2010; Friedrichs et al., 2009). Šo saistību raksturs un īpatnības ir būtiskas, izstrādājot ilgtermiņa pieauguma izmaiņu prognozes. Koku reakciju uz meteoroloģiskajiem faktoriem ir iespējams raksturot ar dendrohronoloģijas metodēm (Fritts, 2010). Koku ilgtermiņa pieauguma modelēšanai tiek izmantoti vispārinātās algebriskās diferences modeļi, kas, veicot prognozes, ņem vērā atšķirīgos augsnes (edafiskos), kā arī audzes taksācijas rādītājus, kuriem ir pieļaujama mainība laikā (Cieszewski, Strub, 2008; Sharma et al., 2011). Ņemot vērā, ka klimats ir viens no pieaugumu nosakošajiem (limitējošajiem) faktoriem, meteoroloģiskās komponentes (un līdz ar to arī klimata izmaiņu prognožu) iekļaušana šādos modeļos spēj sniegt precīzākas ilgtermiņa prognozes (Sharma et al., 2012). Tāpat būtiski, ka līdz šim limitējošo klimatisko faktoru analīze veikta gandrīz tikai caurmēra pieaugumam (Jansons et al., 2016; Speer, 2010; Kullman, 2008; Chmura, 2004; Grace et al., 2002). Taču, kā liecina Latvijā veiktu pētījumu rezultāti priedei, augstuma pieaugumu limitējošo faktoru komplekss var būt atšķirīgs (Jansons et al., 2013). Tāpat līdz šim trūkst informācijas par augstuma (un tā pieauguma) maksimumu un augusta dzinumam ietekmi uz pieaugumu vecākiem kokiem (Jansons et al., 2016; Neimane et al., 2018). Esošajos pētījumos nav ietverta informācija par pieaugumu limitējošo faktoru izmaiņu ietekmi dižskābardim, lapeglei (Jansons et al., 2016; Matisons et al., 2017).

Nākotnē sagaidāmas ne tikai vidējo temperatūras un nokrišņu rādītāju izmaiņas, bet arī meteoroloģisko faktoru ekstrēmu biežuma un amplitūdas palielināšanās (Beniston, 2004; Avotniece et al., 2012; Jansons et al., 2015), kam ir būtiska ietekme uz koku sugu izplatības areāliem, saglabāšanos (Fuhrer et al., 2006; Schlyter et al., 2006; Lindner et al., 2010), kā arī uz pieaugumu (Allen et al., 2010). Šī ietekme līdz šim Latvijā nav vērtēta un tās analīzei izmantojami jau ievāktu pieaugumu urbumu dati, tiem veicot papildus laboratorisko apstrādi un analīzi (koksnes anatomisko parametru noteikšana: Borghetti et al., 1991; Fonti, Jansen, 2012; Martinez-Vilalta et al., 2009, 2012).

Biotisko faktoru (pārnadži, defoliatori) un abiotisko faktoru (sausums, sals) ietekme ne vienmēr izraisa koka bojāeju, bet atstāj negatīvu ietekmi uz stumbra koksnes kvalitāti un pieaugumu. Atsevišķu faktoru ietekme uz koksnes kvalitāti ir vērtēta (Burneviča et al., 2016; Zeltiņš et al., 2018), tomēr trūkst ilgtermiņa ietekmes uz koksnes pieaugumu analīzes. Analizēta sala un sausuma plaisu sastopamības biežuma ģenētiskā nosacītība apšu hibrīdiem un eglēm (Šēnhofa et al., 2016; Zeltiņš et al., 2016, 2018), tomēr trūkst datu par to veidošanās varbūtību nākotnē, ietekmi uz koksnes kvalitāti, īpaši – veģetatīvi pavairojamam materiālam (egle, bērzs, *Populus* kloni).

Pētījuma 2018. gada rezultāti liecina, ka teritorijās, kur klimats siltāks nekā Latvijā (Lietuva, Polija un Vācija), priedes gadskārtu platumu izteikti ietekmēja gan nokrišņi un ūdens deficīts vasarā, gan ziemas temperatūra. Rekomendējama turpmāka šo faktoru padziļināta izpēte, izstrādājot metodiku jūtības pret tiem vērtēšanai meža selekcijā.

Pētījuma uzdevumi un sagaidāmais rezultāts

<u>Aktivitāte</u>	<u>Rezultāts 2025</u>	<u>Rezultāts 2030</u>
Klimata komponentes sagatavošana augstuma pieauguma modeļiem.	Priedei, eglei, bērzam klimata ietekmi raksturojoši koeficienti augstuma pieauguma modeļos, kas nodrošina iespēju noteikt klimata izmaiņu ietekmi.	Jau notiekošo klimata izmaiņu faktiskās ietekmes raksturojums, izmantojot datus par augšanas gaitu (pieaugumu) viena vecuma dažādu paaudžu kokiem. Papildus augstuma pieauguma veidošanās varbūtības, determinējošie faktori un ietekmes prognozes skujkokiem.
Kompleksas meteoroloģisko faktoru ietekmes analīze un iespējas palielināt noturību ar meža selekciju	Nokrišņu deficīta kombinācijas ar svārstīgu ziemas temperatūru vairāku gadu kumulatīvās ietekmes analīze ģenētiski atšķirīgas materiālam: bojājumu apjoms, noturīgāko genotipu atlase	Nokrišņu deficīta kombinācijas ar svārstīgu ziemas temperatūru vairāku gadu kumulatīvās ietekmes analīze ģenētiski atšķirīgas materiālam: bojājumu apjoms, noturīgāko genotipu atlase
Klimata ietekmes uz koksnes īpašībām analīze.	Koksnes īpašību detalizēta analīze un klimata izmaiņu ietekmes uz ksiloģenēzi raksturojums (egle, priede)	Koksnes īpašību detalizēta analīze un klimata izmaiņu ietekmes uz ksiloģenēzi raksturojums (bērzs, apse)
Meteoroloģisko apstākļu ekstrēmu ietekmes uz koku pieaugumu novērtēšana.	Precizētas klimata izmaiņu ietekmes prognozes, rekomendācijas introdukcijai sugu un provenienču līmenī.	Koksnes anatomisko parametru novērtējums un sagatavoto rekomendāciju papildinājums.
Augšanu limitējošo faktoru izmaiņu novērtējums un klimata komponentes ietveršana augšanas gaitas modeļos.	Melnalksnis, lapegle.	Dižskābardis, sarkanais ozols.
Sala un sausuma plaisu veidošanās varbūtības, ilgtermiņa ietekmes novērtējums.	Esošo stādījumu datu analīze, nosakot sala plaisu ietekmi, veidošanos nosakošos faktorus, rekomendācijas bojājumu	Analīze un rekomendācijas dižskābardim un apsei.

mazināšanai bērzam un eglei.

Ģenētiskās nosacītības analīze un rekomendācijas selekcijai bērzam.

Provenienču eksperimentu izmantošana ģenētiskā variācijas, noturības pret klimata ietekmi (abiotiskajiem faktoriem) uzlabošanā selekcijas populācijā	Esošo provenienču stādījumu analīze, provenienču no vietām, kuru klimats atbilst Latvijā nākotnē gaidāmajam, fenotipiski labāko koku atlase, pēcnācēju ieguve (2 paaudze, Latvijas esošā klimata izdzīvojušie genotipi)	Iegūto pēcnācēju pārbaudes – īslaicīgie teksti (sausums, salcietība u.c.) – iespējamā ieguvuma novērtējums; ja konstatēts – ilglaicīgo stādījumu ierīkošana. Analīze ar molekulārās ģenētikas metodēm – ietekme uz daudzveidību, pazīmju variāciju
--	---	---

3. Vētru bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā

Sagaidāmais rezultāts 2020 (pētījumu periods 2016 – 2020): novērtēta dažādu faktoru ietekme uz vētru bojājumu varbūtību mistrotās audzēs, izmantojot 2005. gada vētras postījumu datus, kā arī egļu vēja noturība platībās uz kūdras augsnēm (ERAF līdzfinansēts pētījums).

Turpmāko pētījumu aktualitāte un sagaidāmie rezultāti

Ziemeļeiropā līdz gadsimta beigām ir sagaidāma rudens/ziemas perioda ciklonisko vētru stipruma un atkārtotās biežuma palielināšanās (Donat et al., 2011; Zappa et al., 2013). Tas paaugstinās mežaudžu vēja bojājumu (kas jau šobrīd ir galvenais dabiskais traucējums Eiropas mežos) apjomu un ar to saistītos tiešos finansiālos zaudējumus meža īpašniekiem (Gardiner, 2016), kā arī oglekļa emisijas (Seidl et al., 2014; Zubizarreta-Gerendiain et al., 2016) – tāpat potenciālos zaudējumus valstij. Vēja bojājumu riska mazināšanai nepieciešams novērtējums, kāds pieliktais spēks (vēja ātrums brāzmās) bojājumus konkrētā audzē radītu. Tam Eiropā ir izstrādāti un tiek lietoti trīs vēja ietekmes vērtēšanas modeļi: HWIND (Peltola et al., 1999), ForestGALES (Gardiner et al., 2000) un FOREOLE (Ancelin et al., 2004). Tos vienojošais faktors – modeļu sagatavošanā izmantotā datu kopa ir galvenokārt skujkoku tīraudzes platībās uz minerālaugsnēm. Visvairāk izmantotais no šiem modeļiem – ForestGALES – līdz 2020. gadam Eiropas mežzinātnes institūta (EFI) finansētā projektā “FOSPREF-Wind – Wind risk to European forests under climate change”, kura dalībnieks ir arī LVMI Silava, tiks pārņemts uz brīvas pieejas programmatūru R, nodrošinot tā plašākas izmantošanas iespējas. Viena no šīm iespējām ir koriģēt koku vēja noturību raksturojošos parametrus, izmantojot empīriski (koku vēja noturības testos) iegūtus datus. Šādi dati šobrīd Latvijā tiek iegūti egļu audzēs uz kūdras augsnēm. Tomēr trūkst datu par bērza vēja noturību, īpaši platībās uz kūdras augsnēm, kā arī atsevišķu citu biežāk sastopamu koku sugu (apse, melnalksnis) vēja noturību. Tāpat trūkst novērtējuma, cik lielā mērā sakņu trupe un citas patogēnās sēnes, kas iekļūst egļu stumbros caur staltbriežu un aļņu radītiem mizas bojājumiem, ietekmē šo koku vēja noturību (Peltola, 2017 (IUFRO); Randveer, Heikkilä 1996).

Neviennozīmīgi vērtēta un līdz šim maz pētīta ir koku sugu mistrojuma ietekme uz audžu vēja noturību (Gardiner et al., 2013). Izplatītajā egles-bērza mistrojumā bērzam raksturīgā dziļākā sakņu sistēma varētu labāk saturēt augsni, mazinot egles bojājumu risku. Tomēr ziemas periodā, kad Ziemeļeiropā notiek un arī nākotnē notiks vairākums vētru (Gardiner et al., 2013), bērzs ir bezlapu stāvoklī, līdz ar to radot atvērumus audzes vainagu klājā un palielinot vēja slodzi uz blakus esošajām eglēm. Trūkst datu par to, kāda ir šāda mistrojuma kopējā (summārā) ietekme – audzes noturību veicinoša vai mazinoša – un kas to nosaka (audzes sastāvs, meža tips, biežums u.c.). Šāda informācija ir būtiska, vērtējot mērķtiecīgi veidotu koku sugu mistrojumu kā vienu no mehānismiem vēja bojājumu mazināšanai. Pētījumi Francijā un Lielbritānijā ir parādījuši, ka, kokiem ilgstoši atrodoties pastiprinātā vēja ietekmē (mākslīgi radītos apstākļos vai ārvidē – okeāna piekrastē), to vēja noturība palielinās. Līdzīgu rezultātu varētu sagaidīt arī kokiem, augot zemākā biežumā. Tomēr līdz šim trūkst empīrisku datu par šādas ietekmes lielumu (nozīmi).

Vēja tuneļu eksperimenti ar maza mēroga modeļiem (Gardiner, 2017, npublicēts) liecina par potenciālu nozīmīgi izmainīt vēja slodzi uz valdaudzes kokiem, mainot pameža/paaugas klātbūtni, parametrus. Tomēr līdz šim trūkst empīrisku datu par šādu ietekmi un tās lielumu. Tāpat ir zināms, ka lielākie koki saliktās audzēs uztver 7 - 15 reizes lielāku slodzi nekā vidējie koki (Quine, Gardiner, 2007). Iegūstot papildu informāciju, t.sk., jau iepriekš norādītajos aspektos par dažādu bojājumu un paaugas parametru ietekmi uz koku vēja noturību, būtu iespējams novērtēt koku noturību dažādā laika periodā pēc izlases cirtēm un izstrādāt rekomendācijas tādiem meža apsaimniekošanas paņēmieniem, kas šādu noturību palielina.

Koku vēja noturību ietekmē augsnes sasalums. Tomēr līdz šim, īpaši lapu kokiem, trūkst datu par šādas ietekmes apmēru. Tāpat trūkst piemērotu modeļu augsnes sasaluma raksturošanai mežaudzēs atkarībā no to taksācijas rādītājiem. Šāds modelis, kā atskaites sistēmu izmantojot datus par gaisa temperatūru vai augsnes sasalumu uz atklāta lauka, būtu lietderīgs arī mežizstrādes plānošanas procesā.

Jau iepriekš Latvijā konstatēts, ka klimata izmaiņu ietekmē palielinās dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) bojājumu risks, īpaši tas attiecināms uz egļu astoņzobu mizgrauzi. Līdzīga situācija konstatējama arī Eiropā kopumā (Seidl et al., 2014). Vētrā ietekmētiem, bet izdzīvojušiem kokiem ar traumētu sakņu sistēmu ir mazākas pretestības spējas dendrofāgu ietekmei. Tādēļ pēc vētrām konstatēta, piemēram, egļu astoņzobu mizgrauža masveida savairošanās (Bušs, 1971). Šāda papildus (sekundārā) ietekme var būt pat nozīmīgāka nekā sākotnējā (primārā) – vēja bojājuma ietekme (Seidl et al., 2015). Vēja bojātiem, bet izdzīvojušiem kokiem samazinās virszemes daļas pieaugums, bet arī šajā aspektā trūkst informācijas par ietekmes ilgumu un apmēru.

Kopumā ir aktuāli iespējami precīzi raksturot vēja kā nozīmīgākā dabiskā traucējuma ietekmi, radot objektīvu bāzi meža politikas un meža apsaimniekošanas stratēģijas lēmumu pieņemšanai, kā arī novēršot tādu paņēmieni popularizēšanu un izmantošanu, kuri neuzlabo vai pat pazemina audžu vēja noturību.

Pētījuma uzdevumi un sagaidāmais rezultāts

<u>Aktivitāte</u>	<u>Rezultāts 2025</u>	<u>Rezultāts 2030</u>
Vēja noturību raksturojošo koeficientu ieguve modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā un rekomendāciju izstrādei vēja bojājumu mazināšanai.	Modeļu koeficienti bojājumu ietekmes uz egles vēja noturību raksturošanai. Rekomendācijas vēja bojājumu mazināšanai.	Koeficienti melnalkšņa vēja noturības raksturošanai, skuju/lapu koku mistrojuma ietekmes uz vēja noturību raksturošana, rekomendācijas bojājumu mazināšanai.
Vēja bojājumu varbūtības izmaiņas, manoties audzes vecumam	Raksturotas priedes un egles audžu vēja noturības izmaiņas, ņemot vērā audzes vertikālās struktūras attīstību, vēja bojājumi kā audzes vecumu limitējošais faktors. Komplekss novērtējums par vēja ietekmi uz oglekļa piesisti meža ekosistēmā, ņemot vērā bojājuma varbūtību, sortimentu iznākumu, koksnes produktu dzīves ciklu u.c. faktoros.	Raksturotas priedes un egles audžu vēja noturības izmaiņas, ņemot vērā audzes vertikālās struktūras attīstību, vēja bojājumi kā audzes vecumu limitējošais faktors. Komplekss novērtējums par vēja ietekmi uz oglekļa piesisti meža ekosistēmā, ņemot vērā bojājuma varbūtību, sortimentu iznākumu, koksnes produktu dzīves ciklu u.c. faktoros. Audzes aprites cikls, ņemot vērā vēja bojājumus
Vēja bojājumu varbūtības raksturojums nekailciršu mežsaimniecībā.	Raksturotas priedes un egles vēja noturības izmaiņas dažādā laika periodā pēc izlases cirtes.	Raksturotas priedes un egles mežaudzes vēja noturības izmaiņas dažādā laika periodā pēc izlases cirtes, ņemot vērā audzes vertikālās struktūras un bojājumu varbūtību. Rekomendācijas bojājumu mazināšanai.
Modeļu izstrāde augsnes sasaluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem.	Izstrādāts modelis un klimata izmaiņu ietekmes prognozes skujkoku audzēm.	Izstrādāts modelis un klimata izmaiņu ietekmes prognozes lapu koku audzēm.

Vēja bojājumu sekundārās ietekmes novērtējums.	Vēja bojājumu ietekmes novērtējums uz egļu astoņzobu mizgrauža savairošanās izdzīvojušajos kokos, bojājumu apjomu, to nosakošie faktori.	Vēja bojājumu ietekmes novērtējums uz izdzīvojušo koku pieaugumu, to nosakošo faktoru raksturojums. Risku mijiedarbības raksturojums meža masīva līmenī.
Selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību	Ģenētikas un stādām materiāla ietekme uz koku sakņu sistēmu un koknes īpašībām, smaguma centru u.c. vēja bojājumu varbūtību ietekmējošiem faktoriem: egle	Ģenētikas un stādām materiāla ietekme uz koku sakņu sistēmu un koknes īpašībām, smaguma centru u.c. vēja bojājumu varbūtību ietekmējošiem faktoriem: bērzs

4. Biotisko faktoru ietekmes izmaiņas nākotnes klimatā

Sagaidāmais rezultāts 2020 (pētījumu periods 2016 – 2020): novērtēta egļu astoņzobu mizgrauža un tā parazitoīdu vairošanās un ietekme 3 dažādos temperatūras režīmos dažādos gados. Uzsākta egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas laika uzskaitē (monitorings).

Turpmāko pētījumu aktualitāte un sagaidāmie rezultāti

Dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās, tāpat kā jaunu sugu ieviešanās (t.sk., ar cilvēka nejašu līdzdalību, tās ievēdot) rada nozīmīgus ekonomiskus zaudējumus (Schönrogge, Crawley, 2000; Stireman et al., 2005; Wilson et al., 2005; Menu et al., 2000; Niemela, Mattson, 1996; Petzoldt, 2002; Robinson, 2005). Dendrofāgu savairošanās vēstures izpēte liecina, ka to masveida savairošanās biežums laika gaitā pieaug, un tiem ir cieša saistība ar globālām klimata izmaiņām (Fleming, Volney, 1995; Hance et al., 2007; Kollár et al., 2009; Stireman et al., 2005). Iepriekšējais dendrofāgu savairošanās draudu izvērtējums klimata izmaiņu kontekstā Latvijā veikts 2014. gadā. Paplašinoties zināšanām par šiem kukaiņiem, kā arī precizējot klimata izmaiņu prognozes, lietderīgi izvērtējumu aktualizēt, novēršot informācijas trūkumu un uzlabojot preventīvo pasākumu plānošanas iespējas. Tāpat lietderīgi šo informāciju analizēt kopā ar realizētās egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas uzskaites datiem, sagatavojot modeli tā dzīves cikla izmaiņām nākotnē, kas lietojams preventīvo pasākumu plānošanā.

Klimata izmaiņas un mežsaimnieciskās darbības ietekmē ne tikai dendrofāgus, bet arī to dabiskos ienaidniekus (parazitoīdus) un citas kukaiņu sugas. Iepriekšējā analīze veikta 2013. gadā, vērtējot klimata izmaiņu iespējamo ietekmi uz vaboļu (*Coleoptera*) daudzveidību. Mainoties klimatam, kā arī, aktualizējot tā izmaiņu prognozes, lietderīgi šādu novērtējumu atkārtot. Ņemot vērā, ka klimata izmaiņu un saimnieciskās darbības ietekme uz dendrofāgu daudzveidību var būt ļoti kompleksa un grūti modelējama, un šādu datu ievākšana un analīze ir ļoti laikietilpīga, plānots veikt modeļteritoriju izvēli un detalizētu izpēti.

Sākotnējās analīzes liecina par ievērojamu temperatūras režīma izmaiņu ietekmi uz egļu astoņzobu mizgrauža un tā parazitoīdu vairošanos un mijiedarbību. Tomēr tās veiktas, katrā

konkrētajā gadā analizējot tikai vienu temperatūras režīmu un neņemot vērā gada un mitruma režīma ietekmes atšķirības, kā arī aktualizētās klimata izmaiņu prognozes. Ņemot vērā, ka egļu astoņzobu mizgrauzis arī nākotnē būs saimnieciski nozīmīgākā dendrofāgo kukaiņu suga, lietderīgi analīzi turpināt, iegūstot precīzāku informāciju par šī dendrofāga iespējamo savairošanos un dabisko ienaidnieku lomu tās risku mazināšanā.

Klimata izmaiņas ietekmē arī dendrofāgu barības avotus. Piemēram, iepriekš (2012. gadā) Latvijā veiktā sākotnējā analīze liecināja par ievējojamām sinhronitātes izmaiņām starp ozolu mūķenes kāpuru attīstības fāzēm un lapu koku fenoloģiju paaugstinātā temperatūrā. Tomēr informācija par šo aspektu līdz šim ir nepilnīga. Turpmāko eksperimentu rezultāti radītu precīzāku priekšstatu par dendrofāgu bojājumu risku izmaiņām nākotnē sagaidāmajā klimatā.

Pēdējos divdesmit gados vairāki bīstami skuju koku patogēni, kas ietekmē to dzinumus, kā *Dothistroma septosporum*, *Diplodia sapinea* (konstatēts arī lapu kokiem), *Lecanosticta acicula* ir pirmo reizi reģistrēti Eiropas ziemeļu reģionā. Skuju un stumbru slimības, ko izraisa šīs sēņu sugas, veicina skuju zudumu vai stumbra atmiršanu (Hanso, Drenkhan 2008; Drenkhan, Hanso 2009; Hanso, Drenkhan 2009; Oliva et al., 2013). Sugu straujā izplatība un radītie zaudējumi saistīti ar klimata izmaiņām. *Dothistroma septosporum* tika konstatēta Latvijā 2009. gadā, savukārt 2012. gadā - *Diplodia sapinea* (Adamson et al., 2015b). *L. acicola* ziemeļvalstīs ir mazāk pētīta, un šobrīd nav pieejami dati par šīs sugas sastopamību Latvijā, taču šis patogēns konstatēts Igaunijā (Adamson et al., 2015a).

Pētījumi liecina, ka šīs patogēnu sugas inficē kokus gan kokaudzētāvās, gan jaunaudzēs, kuras agrāk inficēja lielākoties citas sugas, kā *Lophodermium sediciosum*, *Sclerophoma pithyophila*, *Cenangium ferruginosum*, *Hypodermella sulcigena*, *Coleosporium spp.*, *Phacidium infestans*, *Botrytis cinerea*, *Herpotrichia juniper* un *Gremmeniella abietina*. Turklāt arvien biežāk invazīvie patogēni (*D. septosporum*, *D. sapinea* un *L. acicola*) ir konstatēti mežos un pilsētu apstādījumos. Turpmākajos pētījumos ir svarīgi apzināt šo invazīvo sugu izplatību un to ietekmi uz skuju koku vitalitāti Latvijā, kā arī kopumā apzināt patogēno sēņu sastopamību skuju koku audzēs (īpaši jaunaudzēs) un izvērtēt to ietekmi saistībā ar klimata izmaiņām. Globāla mēroga pētījumi liecina, ka *Dothistroma septosporum* izraisa nopietnu jauno skuju zudumu un līdz ar to ekonomiskos zaudējumus mežsaimniecībā (Drenkhan et al., 2016a). Īpaši nozīmīgi ir izpētīt invazīvo patogēnu izplatību, jo saimniekaugu –patogēnu koevolūcija ir nozīmīgs faktors infekcijas attīstībā. Līdz ar to šīs sugas izpēte uzskatāma kā prioritārs dendrofāgu pētījumu virziens turpmākajā .

Skuju koku dzinumu vēzis, ko izraisa *Gremmeniella abietina*, ir skuju koku slimība, kuras virulence paaugstinās augstākā temperatūrā, un tiek inficēta ne tikai galotne, bet arī zari; tas var izraisīt koku bojāeju. Būtu nepieciešams veikt šī patogēna monitoringu, lai novērtētu sastopamību jaunaudzēs un izvērtētu riskus, kas saistīti ar klimata izmaiņām un introducēto koku sugu īpatsvara palielināšanu (Stenlid, Oliva, 2016).

Ņemot vērā iepriekšējās nodaļās un šajā nodaļā aprakstītos, ar augšanas gaitu un mežaudžu noturību saistītos aspektus, kā arī pētījumu par mistrojumu mežaudzes un meža masīva līmenī izmantošanu, mazinot nozīmīgāko bojājumu risku, lietderīgi ierīkot eksperimentu sēriju ilgtermiņa mērķtiecīgi veidotu mistrojumu ietekmes novērtēšanai. Tajā ietverami mistrojumi, par kuru iespējamo lietderību liecina literatūras analīze un/vai empīriski dati.

Pētījuma uzdevumi un sagaidāmais rezultāts

<u>Aktivitāte</u>	<u>Rezultāts 2025</u>	<u>Rezultāts 2030</u>
Dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās draudu raksturojums.	Nozīmīgāko dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) masveida savairošanās draudu raksturojums. Jaunāko dendrofāgu izplatības modeļu izvērtējums, rekomendācijas to iekļaušanai meža apsaimniekošanas plānošanas sistēmā.	Egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas modelis un tā dzīves cikla, potenciālās ietekmes uz mežaudzēm, mainoties klimatam, prognozes. Rekomendācijas bojājumu mazināšanai.
Klimata izmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi novērtējums.	Mizgrauža un tā dabisko ienaidnieku attīstības sekmju un mijiedarbības raksturojums dažādos temperatūras un mitruma režīmos: klimata izmaiņu ietekmes prognozes, rekomendācijas bojājumu mazināšanai.	Saimnieciskās darbības un klimata izmaiņu kompleksas ietekmes uz dendrofaunu novērtējums modeļteritorijās. Rekomendācijas meža apsaimniekošanas plānošanai, veicinot ekosistēmas daudzveidību un noturību.
Dendrofāgo kukaiņu un to saimniekorganismu dzīves cikla sinhronitātes izmaiņu novērtējums.	Nozīmīgāko potenciālo sinhronitātes izmaiņu raksturojums, pētījumu materiāla izvēle un analīze.	Sinhronitātes izmaiņu ietekmes uz dendrofāgu bojājumiem raksturojums, to ietekmes uz dendrofāgu bojājumu nozīmību un potenciālo savairošanos novērtējums.
Invazīvo dzinumu un skuju patogēnu izplatības un to ietekmes uz skuju koku vitalitāti Latvijā novērtējums.	Patogēno sēņu sastopamības skuju koku audzēs (īpaši jaunaudzēs) raksturojums, to ilgtermiņa ietekmes uz koku pieaugumu un saiknes ar klimata izmaiņām izvērtējums.	Invazīvo dzinumu un skuju patogēnu izplatības un to ietekmes uz skuju koku vitalitāti Latvijā raksturojums, rekomendācijas iespējamo risku mazināšanai.
Nākotnē noturīgu mežu izveidošana: mistrojumu analīze audzes un meža masīva līmenī.	Mērķtiecīgu mistrojumu izvēle (kritēriji – noturība, iegūstamā raža, augsnes auglības uzlabošana u.c.),	Mērķtiecīgu mistrojumu analīze: ietekme uz biotisko faktoru bojājumiem, pieaugumu,

ilglaicīgo stādījumu ierīkošana, kopšana, sākotnējā analīze (augstums).

noturību (izmantojot sakņu attīstību kā indikatoru), vitalitāti (izmantojot sulu plūsmu, fotosintēzi kā indikatorus).

Mistrojumu meža masīva līmenī iespējamais pielietojums ar klimata izmaiņām saistīto risku mazināšanā, pieejamā materiāla analīze, rekomendācijas.

Mistrojumu meža masīva līmenī iespējamais pielietojums ar klimata izmaiņām saistīto risku mazināšanā, pieejamā materiāla analīze, rekomendācijas.

Modeļteritorijas izveide kompleksu ilgtermiņa novērojumu, demonstrācijas objektu ierīkošanai (atsevišķs pasākums, ietverot elementus no dažādiem šī brīža pētījumiem). Sateces baseins (definēta, pietiekami liela platība), šaurlapju kūdrenis (meliorētas auglīgas organiskās augsnes – potenciāls maksimālai koksnes ražošanai, bet vienlaikus arī ievērojami riski un nepieciešamības pēc kompleksas informācijas par SEG bilanci, ko nevar iegūt no citu valstu datiem), kontroles teritorijas – bez meliorācijas un ar meliorāciju, bet bez turpmākas saimnieciskās darbības.

Dati:

- ❖ Gruntsūdens depresijas līknes (pirms / pēc liela mēroga mežsaimnieciskās darbības), augsnes mitruma, temperatūras sensori, analizējot audzes sastāva un meliorācijas ietekmi uz augsnes mitruma režīmu, sasaluma dziļumu – dati modelēšanai Latvijas mērogā (piemēram, raksturojot vēja noturību, raksturojot augsnes sasalumu mežistrādes vajadzībām u.c.).
- ❖ Meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas dati (eddy-covariance: pirms / pēc meliorācijas sistēmas rekonstrukcijas, kontrole (bez meliorācijas) un pirms/pēc liela mēroga mežsaimnieciskās darbības) – informācijas daudziem politikas dokumentiem, kas saistīti ar / ietekmē mežu un mežkopību (Stratēģija Latvijas oglekļa mazietilpīgai attīstībai līdz 2050. gadam, Latvijas pielāgošanās klimata pārmaiņām plāns laika posmam līdz 2030. gadam u.c.)
- ❖ Klonu stādījumu ierīkošana, analizējot atšķirības reakcijā uz mitruma režīmu, meteoroloģiskajiem faktoriem – sakņu sistēmas attīstība, vitalitāte (t.sk. pazīmes, ko iespējams novērtēt, izmantojot attālās izpētes, dažāda spektra attēlus; sensori sulu plūsmas, fotosintēzes raksturošanai) – iespējams prognozēt klimata izmaiņu ietekmi kopumā, kā arī atlasīt noturīgākos klonus, konstatēt indikatorus koku noturības atšķirību raksturošanai, ko pēc tam var izmantot citos stādījumos, audzēs. Detalizēta analīze (uzmērīti daudzi vides parametri) par biotisko faktoru kompleksa radītiem bojājumiem (sausuma, sala plaisas stumbrā, sakņu sistēmas bojājumi), kas ietekmē koksnes

pieaugumu, koku noturību: un analīze par iespējam šo faktoru ietekmi mazināt (selekcija, mežkopība).

- ❖ Koku sakņu sistēmas izvietojums, attīstība – reakcija uz meteoroloģiskajiem apstākļiem, vēja noturība, oglekļa aprite.
- ❖ Pieauguma veidošanos nosakošie faktori veģetācijas periodā, diennaktī to saistība ar meteoroloģiskajiem un augsnes apstākļiem, fenoloģiju (izmantojot automātisko mērījumu, fotosensorus, kur iespējams) – identificēti riska faktoru, koku adaptācijas kapacitāte.
- ❖ Meža ekosistēmas vitalitāti, bioloģisko daudzveidību raksturojošo indikatoru izmaiņu dinamika (pirms / pēc meliorācijas sistēmas rekonstrukcijas, kontrole (bez meliorācijas) un pirms/pēc liela mēroga mežsaimnieciskās darbības): veģetācijas dinamika (t.sk. indikatorsugas), ornitofaunas izmaiņas.

9. Seminārs

Seminārs. Iegūto rezultātu izklāstīšana LVMI Silava un LVM organizētajās Mežzinātnes dienās, ja tās tiek organizētas 2018. gadā.

Mežzinātnes dienas par pētījuma tēmu līdz pārskata sagatavošanas brīdim nav organizētas.

Literatūra

1. Albrecht, A.T., Hanewinkel, M., Bauhus, J., Kohnle, U. (2010). How does silviculture affect storm damage in forests of south-western Germany? Results from empirical modeling based on long-term observations. *European Journal of Forest Research* 131: 229–247.
2. Allen C.D., et al. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259: 660–84. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>.
3. Anderbrant, O. (1990). Gallery construction and oviposition of the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at different breeding densities. *Ecological Entomology*, 15 (1): 1-8.
4. Askew., R., R. (1961). A study of the biology of species of the genus *Mesopolobus* Westwood (Hymenoptera: Pteromalidae) associated with cynipid galls on oak. *Trans. r. ent.*, 113: 155-173.
5. Barbosa, P., Letourneau, D.K., Agrawal, A.A. (2012). *Insect outbreaks revisited*. Blackwell Publishing Ltd. 459 p.
6. Baur, H., Muller, F., J., Gibson, G., A., P., Mason P., G., Kuhlmann, U. (2007). A review of the species of *Mesopolobus* (Chalcidoidea: Pteromalidae) associated with *Ceutorhynchus* (Coleoptera: Curculionidae) host-species of European origin. *Bulletin of Entomological Research*, 97: 387–397.
7. Beaver, R., A. (1966). The biology and immature stages of two species of *Medetera* (Diptera: Dolichopodidae) associated with the bark beetle *Scolytus scolytus* (F.) *Proc. R. ent.*, 41 (10-12):. 145-154.

8. Bicevskis, M. & Ozols, G. (1983). Eglu astoņzobu mizgrauža bioloģija un sintētiskā feromona lietošana. *Jaunakais Mežsaimniecībā*. 25. Laid., 48–56.
9. Brunner A., Nigh G. (2000). Light absorption and bole volume growth of individual Douglas-fir trees. *Tree Physiology*, 20: 323–332. <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/20.5-6.323>.
10. Bunn A.G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26: 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>.
11. Carmean W.H. (1972). Site index curves for upland oaks in the Central States. *Forest Science*, 18: 109–120.
12. Carrer M., Urbinati C. (2004). Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology*, 85: 730–740. <https://doi.org/10.1890/02-0478>.
13. Carrer M., Urbinati C. (2006). Long-term change in the sensitivity of tree-ring growth to climate forcing in *Larix decidua*. *New Phytologist*, 170: 861–872. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01703.x>.
14. Cieszewski C., Bailey R.L. (2000). Generalized algebraic difference approach: theory based derivation of dynamic site q with polymorphism and variable asymptotes. *Forest Science*, 46: 116–126.
15. Cieszewski C.J., Strub M. (2018). Comparing properties of self-referencing models based on Nonlinear-Fixed-Effects versus Nonlinear-Mixed-Effects modeling approaches. *Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences (MCFNS)*, 10: 46–57.
16. Delvare, G., Gebiola, M., Zeiri, A., Garonna, A.P. (2014). Revision and phylogeny of the European species of the *Eurytoma morio* species group (Hymenoptera: Eurytomidae), parasitoids of bark and wood boring beetles. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 171 (2): 370-421.
17. 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.
18. Echegaray, E., A., Cloyd, R., A., Nechols, J., R. (2015). Rove Beetle (Coleoptera: Staphylinidae) Predation on *Bradysia* sp. nr. *coprophila* (Diptera: Sciaridae). *Journal of Entomological Science*, 50 (3): 225-237.
19. Faccoli, M., Bernardinelli, I. (2011). Breeding performance of the second generation in some bivoltine populations of *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae) in the south-eastern Alps. *Journal of pest science*, 84 (1): 15-23.
20. Feicht, E. (2004). Parasitoids of *Ips typographus* (Col., Scolytidae), their frequency and composition in uncontrolled and controlled infested spruce forest in Bavaria. *Journal of Pest Science*, 77 (3): 165-172.
21. Fora, C.G., Lauer, K.F., Banu, C., Berar, C. (2011). Researches on insect predators and parasitoids of six-toothed spruce bark beetle *Pityogenes chalcographus* L. (Coleoptera: Scolytidae), his population dynamics, in Natural Park Apuseni-a project presentation. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology* 15 (3): 61-63.
22. Georgiev, G., T., Takov, D. (2005). Impact of *Tomicobia seitneri* (Ruschka) (Hymenoptera: Pteromalidae) and *Ropalophorus clavicornis* (Wesmael) (Hymenoptera: Braconidae) on *Ips typographus* (Linnaeus) (Coleoptera: Scolytidae) populations in Bulgaria. *Forest Science*, 4: 61-68.

23. Goelz J.C.G., Burk T.E. (1992). Development of a well-behaved site index equation—Jack pine in North-central Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, 22: 776–784. <http://dx.doi.org/10.1139/x92-106>.
24. Grissino-Mayer H.D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57: 205–221.
25. Hansen J., Beck E. (1994). Seasonal changes in the utilization and turnover of assimilation products in 8-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. *Trees*, 8: 172–182. <https://doi.org/10.1007/BF00196844>.
26. Harding, S. and Ravn, H. (1985) 'Seasonal activity of *Ips typographus* L.(Col., Scolytidae) in Denmark', *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 99(1-5), 123-131.
27. Harris I.P., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34: 623–42. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3711>.
28. Hedgren, P.O., Schroeder, L.M. (2004). Reproductive success of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) and occurrence of associated species: a comparison between standing beetle-killed trees and cut trees. *Forest Ecology and Management*, 203 (1): 241-250.
29. Hougardy, E., Grégoire, J.C. (2003). Cleptoparasitism increases the host finding ability of a polyphagous parasitoid species, *Rhopalicus tutela* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Behavioral ecology and sociobiology*, 55 (2): 184-189.
30. IPCC 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge, Cambridge University Press. 1535 pp.
31. Jakaitis, B. (1979). The biology of the seven main species of parasites of the pine and spruce bark-beetles in the Lithuanian SSR. *Acta Entomologica Lituanica*, 4: 141-150.
32. Jansons, Ā. (2010). Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām. LVMI “Silava” projekta starpziņojums. 144 lpp.
33. Kenis, M., Wermelinger, B., Grégoire, J.C. (2007). Research on parasitoids and predators of Scolytidae—a review. In *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis* (pp. 237-290). Springer Netherlands.
34. Kramer P.J., Boyer J.S. (1995). *Water relations of plants and soils*. Boston, Academic Press. 495 pp.
35. Krüger, K., Mills, N.J. (1990). Observations on the biology of three parasitoids of the spruce bark beetle, *Ips typographus* (Col., Scolytidae): *Coeloides bostrychorum*, *Dendrosoter middendorffii* (Hym., Braconidae) and *Rhopalicus tutela* (Hym., Pteromalidae). *Journal of Applied Entomology*, 110 (1-5): 281-291.
36. Lawson, S.A., Furuta, K., Katagiri, K. (1996). The effect of host tree on the natural enemy complex of *Ips typographus japonicus* Nijima (Col., Scolytidae) in Hokkaido, Japan. *Journal of Applied Entomology*, 120 (1-5): 77-86.
37. Lindner M., et al. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>.
38. Martínez-Vilalta J., López B.C., Loepfe L., Lloret F. (2012). Stand-and tree-level determinants of the drought response of Scots pine radial growth. *Oecologia*, 168: 877–888. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2132-8>.
39. Menzel A., Fabian P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 397: N659. <https://doi.org/10.1038/17709>.

40. Nagel, W.P., Fitzgerald, T.D. (1975). *Medetera aldrichii* larval feeding behavior and prey consumption [Dipt.: Dolichopodidae]. *Entomophaga*, 20(1): 121-127.
41. Ozols, G. (1968). Egles stumbra kaitēkļi un to ekoloģiskās grupas Latvijas PSR. *Latvijas Entomologs*. 21: 19-34.
42. Ozols, G. 1985. Priedes un egles dendrofāgie kukaiņi Latvijas mežos. Rīga, "Zinātne", 208 lpp.
43. Pallardy S.G. (2008). *Physiology of Woody Plants*, third edition. Elsevier, London. 460 pp.
44. 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, 143-153.
45. Peltola H., Kellomäki S., Väisänen H., Ikonen V.P. 1999. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 29, 647–661.
46. Pettersson, E.M. (2001). Volatiles from potential hosts of *Rhopalicus tutela* a bark beetle parasitoid. *Journal of chemical ecology*, 27 (11): 2219-2231.
47. Pettersson, E.M., Sullivan, B.T., Anderson, P., Berisford, C.W., Birgersson, G. (2000). Odor perception in the bark beetle parasitoid *Roptrocercus xylophagorum* exposed to host associated volatiles. *Journal of chemical ecology*, 26 (11): 2507-2525.
48. Podlesnik, J., Mihajlovic, L., Jurc M (2014). Parasitoid complex associated with *Ips typographus* (Coleoptera, Scolyinae) in Altimontane belt of Slovenia (Pohorje). *Fourth Slovenian Entomological Symposium with International Attendance*, Book of abstracts, DOI: 10.13140/2.1.3546.1765
49. Pollet, M.A., Brooks, S.E. (2008). Long-legged flies (Diptera: Dolichopodidae). In *Encyclopedia of Entomology* (pp. 2232-2241). Springer, Netherlands
50. Price, P., W. (1997). *Insect ecology*, 3rd edition. Wiley-Blackwell Publishing Ltd. 888 p.
51. Quicke, D., L., J. (2015). *The braconid and ichneumonid parasitoid wasps: biology, systematics, evolution and ecology*. Blackwell Publishing Ltd. 704 p.
52. R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
53. Salminen H., Jalkanen R., Lindholm M. (2009). Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in northern Finland. *Annals of Forest Science*, 66: N810. <https://doi.org/10.1051/forest/2009074>.
54. Schomann, A., Afflerbach, K., Betz, O. (2008). Predatory behaviour of some Central European pselaphine beetles (Coleoptera: Staphylinidae: Pselaphinae) with descriptions of relevant morphological features of their heads. *European Journal of Entomology*, 105: 889-907.
55. Sharma R.P., Brunner A., Eid T., Øyen B.H. (2011). Modelling dominant height growth from national forest inventory individual tree data with short time series and large age errors. *Forest Ecology and Management*, 262: 2162–2175.
56. Šmits, A. (2007). Meža kaitēkļu savairošanās un bioloģiskās daudzveidības komponentu attīstības dinamika vētras postītās mežaudzēs. Meža attīstības fonda 2006. gada projekta pārskats. Līguma Nr. S-268. 46 lpp.
57. Speer J.H. (2010). *Fundamentals of tree-ring research*. Tucson, The University of Arizona Press. 333 pp.

58. Strand M., Löfvenius M.O., Bergsten U., Lundmark T., Rosvall O. (2006). Height growth of planted conifer seedlings in relation to solar radiation and position in Scots pine shelterwood. *Forest Ecology and Management*, 224: 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.038>.
59. Sullivan, B.T. (2002). Evidence for a sex pheromone in bark beetle parasitoid *Roptrocercus xylophagorum*. *Journal of chemical ecology*, 28 (5): 1045-1063.
60. Talkkari A., Petola H., Kellomäki S., Strandman H. 2000. Integration of component models from the tree, stand and regional levels to assess the risk of wind damage at forest margins. *Forest Ecology and Management*, 135, 303-313.
61. 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>.
62. Trajkovic S. (2005). Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage E-ASCE*, 131: 316–323. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:4\(316\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:4(316)).
63. Tselikh, E.V. (2010). Chalcids of the subfamily Pteromalinae (Hymenoptera, Pteromalidae) as parasitoids of the bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) in the fauna of Russia and adjacent territories. *Entomological Review*, 90 (7): 927-945.
64. Turnbow, R.H., Franklin, R.T. (1979). *Hyalomyodes triangulifera* (Diptera: Tachinidae): a parasite of the southern pine beetle predator *Thanasimus dubius* (Coleoptera: Cleridae). *Journal of the Georgia Entomological Society*.
65. Valinger, E., Fridman, J. 2011. Forest Ecology and Management Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 262: 398–403. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.004>
66. Wajnberg, E., Bernstein, C., Van Alpen J. (2008). Behavioral ecology of insect parasitoids. From theoretical approaches to field applications. Blackwell Publishing Ltd. 445 p.
67. Wajnberg, E., Colazza, S. (2013). Chemical ecology of insect parasitoids. Wiley-Blackwell. 312 p.
68. Wallentin, C., Nilsson, U., 2014. Storm and snow damage in a Norway spruce thinning experiment in southern Sweden. *Forestry* 87, 229–238. doi:10.1093/forestry/cpt046
69. Wegensteiner, R., Tkaczuk, C., Kenis, M., Papierok, B. (2017). Occurrence of *Tomicobia seitneri* (Hymenoptera: Pteromalidae) and *Ropalophorus clavicornis* (Hymenoptera: Braconidae) in *Ips typographus* adults (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) from Austria, Poland and France. *Biologia*, 72 (7): 807-813.
70. 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. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 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).
71. Wilkening M., Juday G.P., Barber V.A., Zald H.S. (2004). Recent climate warming forces contrasting growth responses of white spruce at treeline in Alaska through temperature thresholds. *Global Change Biology*, 10: 1724–1736. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00826.x>.
72. Ye, H. (1998). Life cycle of *Thanasimus Formzcarzus* (Coleoptera: Cleridae) in Southern Norway. *Insect Science*, 5 (1): 55-62.

73. Zang C., Biondi F. (2013). Dendroclimatic calibration in R: the bootRes package for response and correlation function analysis. *Dendrochronologia*, 31: 68–74.
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.08.001>.
74. Мамаев, Б.М. (1977). Биология насекомых – разрушителей древесины. Всесоюзный институт научной и технической информации. Серия „Итоги науки и техники – энтомология”. Москва. т.3. 213 с.