



PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMA REZULTĀTIEM

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

IZPILDĪTĀJS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀJS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”

Līguma Nr. 5.5._002t_101.15.57

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀJS: DR. Āris Jansons, LVMI Silava vadošais pētnieks

Salaspils, 2020

Kopsavilkums

Veikta iepriekš ierīkoto liepas un kļavas eksperimentu uzmērīšana, kā arī papildus liepas audžu ar zemu biežumu uzmērīšana. Sākotnēji rezultāti liecina, ka šīs koku sugas neatkarīgi no audzes biežuma būtiski bojā pārnadži, tādēļ jāņem vērā to lokālais populācijas blīvums, vērtējot audžu ierīkošanu. Atsauces reakcija uz kopšanu ir pozitīva un rekomendējamais biežums 800-1300 koki ha⁻¹. Ierīkoti sarkanā ozola, liepas, Klinškalnu priedes un melnalkšņa stādījumi, kā arī dižskābarža retināšanas eksperimenti. Papildus ievākta informācija par šo reti sastopamo vai introducēto sugu augšanu un to ietekmējošajiem faktoriem praktisku rekomendāciju izstrādei.

Veikta pieauguma urbumu no bērza audzēm datu apstrāde un caurmēra pieaugumu ietekmējošo faktoru izmaiņu raksturošana klimatiskajā gradientā no Somijas līdz Vācijas austrumu daļai. Sākotnējā analīze liecina par koku no audzēm katrā konkrētā valstī grupēšanos pēc nozīmīgākajiem ietekmējošajiem meteoroloģiskajiem faktoriem, kas saistīta ar pieaugumu limitējošo faktoru atšķirībām. Iegūtie rezultāti izmantojami augšanas gaitas modeļu papildināšanā, ietverot ar koku atbildes reakciju uz klimata pārmaiņām saistītus koeficientus. Analīze, izmantojot citu datu kopu, liecina, ka šādi koeficienti, ietverot pat tikai vienu vai divus faktorus, nozīmīgi kāpina modeļu precizitāti.

Iepriekšējos gados novērotais siltais un agrais pavasaris veicinājis aizvien agrāku egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākumu, savukārt šī gada salīdzinoši vēsais – vēlāku. Sākotnējais vērtējums liecina par saikni starp izlidošanas sākumu un kopējo populācijas blīvumu (līdz ar to arī ietekmi) sezonā. Eksperimenti kontrolētā temperatūras režīmā liecina, ka siltākā klimatā mizgraužu mātītes sevī saglabā vairāk neizdēto olu vēlākai dēšanai un šāds klimats var nozīmīgi mazināt parazitisma ietekmi uz mizgraužiem. Abu šo faktoru kombinācija liecina par nozīmīgi augstāku sagaidāmo mizgraužu bojājumu risku. Tādēļ nākotnes klimata apstākļos ievērojami lielāka vērība būs veltāma šī dendrofāgā kukaiņa negatīvās ietekmes prevencijas un mazināšanas pasākumiem.

Nodrošināta pētījuma rezultātu publicēšana un par tiem ziņots LVM semināros (KPRP informatīvā sanāksme un Vidusdaugavas reģiona sanāksme) un divās meža nozares konferencēs (“KLIMATS, NĀKOTNE, MEŽI” un “Mežs un meža nozare mainīgā klimatā”). Iegūtie rezultāti izmantoti SNS PROFOR tīkla materiālu sagatavošanai un mērķtiecīgas mežsaimniecības popularizēšanai Eiropas likumdevējiem.

Saturs

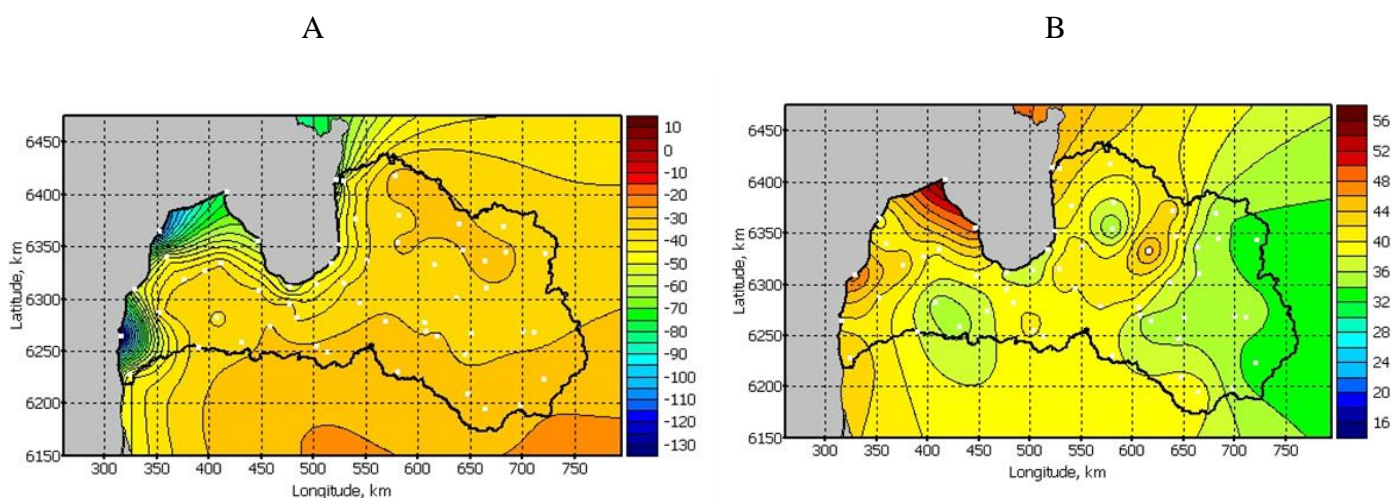
| | |
|--|-----------|
| Kopsavilkums..... | 2 |
| 1. Koku sezonālā augšana ritma izmaiņas nākotnes klimatā..... | 5 |
| Materiāls un metodes | 6 |
| Rezultāti | 7 |
| Priede | 7 |
| Egle | 10 |
| Bērzs | 11 |
| Hibrīdā apse un melnalksnis | 12 |
| Secinājumi | 13 |
| Rekomendācijas | 14 |
| 2. Latvijā reti sastopamu vietējo un introducētu koku sugu atjaunošanas un audzēšanas zināšanu uzkrāšana..... | 15 |
| Dižskābarža krājas kopšanas eksperimentu ierīkošana | 15 |
| Dažādās intensitātēs kopto liepas un kļavas audžu pārmērījumi | 16 |
| Materiāls un metodes | 16 |
| Rezultāti | 19 |
| Kļavas | 19 |
| Liepas..... | 25 |
| Pieaugušas liepas | 30 |
| Materiāls un metodes | 30 |
| Rezultāti | 31 |
| KOPSAVILKUMS | 31 |
| Secinājumi | 31 |
| Rekomendācijas | 32 |
| 3. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā..... | 33 |
| Bērza radiālā papildpieauguma atbildes reakciju uz meteoroloģiskajiem faktoriem reģionālais plastiskums | 33 |
| Materiāls un metodes | 33 |
| Datu analīze | 35 |
| Rezultāti un diskusija | 37 |
| Datu kopas raksturojums..... | 37 |
| Lineārās pieauguma un meteoroloģisko faktoru saistības | 39 |
| Reģionāli nozīmīgie meteoroloģiskie faktori un atbildes reakcijas plastiskums | 44 |
| KOPSAVILKUMS | 47 |
| Secinājumi | 47 |
| Rekomendācijas | 47 |
| Radiālās augšanas gaitas modeļi eglei un bērzam | 49 |
| Materiāls un metodes | 49 |
| Analizētās datu kopas | 49 |
| Datu analīze | 49 |
| Rezultāti un diskusija | 51 |
| Egle | 51 |
| Bērzs | 54 |
| Secinājumi | 58 |
| Rekomendācijas | 59 |
| 4. Dendrofāgie kukaiņi un klimats..... | 60 |
| Materiāls un metodes | 60 |
| Rezultāti un diskusija | 64 |
| Secinājumi | 72 |
| Rekomendācijas | 73 |
| 5. Epīģenētiskā efekta ietekme..... | 74 |
| Materiāls un metodes | 75 |
| Melnalkšņa augstuma pieaugums | 75 |
| Egles augstuma pieaugums | 77 |
| Rezultāti un diskusija | 77 |
| Melnalkšņa vidējo augstumu salīdzinājums | 77 |

| | |
|---|-----------|
| Egles vidējo augstumu salīdzinājums | 78 |
| Secinājumi | 79 |
| Rekomendācijas | 79 |
| 6. Iegūto rezultātu publicēšana | 80 |
| 6.1. Sasalstoša lietus radītie bojājumi parastās egles audzēs atkarībā no audzes parametriem | 80 |
| 6.2. Skujbires ilgtermiņa ietekme uz parastās priedes augšanu un finanšu rādītājiem .. | 82 |
| Izmantotā literatūra | 84 |

1. Koku sezonālā augšana ritma izmaiņas nākotnes klimatā.

Klimats nosaka meža ekosistēmas produktivitāti, tomēr pētījumi par prognozēto klimatisko apstākļu izmaiņām un to ietekmi uz koku augšanas gaitu ir atšķirīgs. Katrai koku sugai un arī atsevišķiem genotipiem ir noteikts apstākļu optimums, kura robežās norisinās visaktīvākā augšana, tādējādi kāda meteoroloģiskā faktora ietekme var to palēnināt vai pārtraukt (Liepa et al., 1991). Tādēļ svarīgi noskaidrot koku potenciālo adaptāciju kā atbildes reakciju uz vides pārmaiņām, lai saglabātu vai paaugstinātu mežaudžu noturību un produktivitāti (Lindner et al., 2010).

Meteoroloģiskie faktori (it īpaši straujas temperatūras svārstības) būtiski ietekmē koku augstuma pieauguma veidošanos (Jansons et al., 2014), kas pirmajos to augšanas gados ietekmē ne tikai koku savstarpējo konkurenci, bet arī turpmāko audzes struktūru (Schreiber et al., 2013). Sala radītu bojājumu riski saistīti ar meteoroloģisko apstākļu amplitūdas izmaiņām (temperatūras ekstrēmiem). Lai arī kopumā vidējā atmosfēras temperatūra pieaug, tas nenozīmē, ka pavasarī vai rudenī nebūs salnas. Sagaidāms, ka pēdējās pavasara salnas būs novērojamas būtiski agrāk Baltijas jūras piekrastē; bet pirmās rudens salnas iestāsies vēlāk visā Latvijā, it īpaši Rīgas jūras līča piekrastē (1.1. attēls) (Jansons, 2010).



1.1.attēls. Sagaidāmās pēdējās pavasara salnas (A) un pirmās rudens salnas (B) Latvijā.

Lai mazinātu šādu bojājumu riskus, kokiem ir izstrādājies fizioloģisks mehānisms, ar kura palīdzību tiem attīstās salciētība (Welling et al., 2002). Attiecīgi koku šūnās samazinās ūdens saturs, bet palielinās nesasalstošo savienojumu īpatsvars (Cox and Stushnoff, 2001; Welling et

al., 2002). Tomēr salcietības veidošanās atšķiras starp koku sugām un to augšanas reģioniem, un tas savukārt izskaidro citu koku sugu uzņēmīgumu pret salu (Schreiber et al., 2013). Rudenī, salcietības attīstību ierosina fotoperioda saīsinājums un augšanas gaitas palēninājums (kas notiek pakāpeniski), savukārt salnas šo procesu paātrina (Welling et al., 2002).

Materiāls un metodes

Lai simulētu nākotnes klimatiskos apstākļus un novērtētu to ietekmi, priežu, egļu, bērzu, hibrīdo apšu un melnalkšņu stādus (turpmāk tekstā – sējeņus) audzēja trīs dažādos klimatiskos apstākļu režīmos. Šo trīs režīmu kombinācijas variēja atkarībā no izdzīvojušo sējeņu skaita. Klimatiskie apstākļi (turpmāk tekstā – režīmi), kādos audzēja sējeņus:

1. Siltumnīca Nr.1. – paaugstināta gaisa temperatūra; kontrolējot vēdināšanas režīmu, uzturēta temperatūra par 4°C augstāka nekā ārpus siltumnīcas. Mēslošanas un laistīšanas režīms saglabāts tāds par, kā otrā siltumnīcā, atbilstoši esošajai stādu audzēšanas praksei;
2. Siltumnīca Nr.3. – kontrole siltumnīcas apstākļos; nodrošinot esošajai stādu audzēšanas praksei atbilstošu temperatūras, laistīšanas un mēslošanas režīmu;
3. Kontrole lauka apstākļos – lauka stādu poligonā, nodrošinot esošajai stādu audzēšanas praksei atbilstošu laistīšanas un mēslošanas režīmu.

Katrai no eksperimentā iesaistītajām koku sugām (atkarībā no izaugušo sējeņu skaita) iekļauts Latvijas rietumdaļas, austrumdaļas un/vai centrālās daļas meža reproduktīvais materiāls. Pirms salcietības eksperimenta sākuma katrai koku sugai, kas augusi dažādos režīmos, mērīts augstums un tā pieauguma dinamika. Pieaugums, kas veidojās jaunajām skujām mērīts līdz jaunizveidotā pumpura galam (ar precizitāti līdz 0,5 cm).

Veģetācijas perioda beigās visi eksperimentā iekļautie sējeņi transportēti un LVMI “Silava” klimatmāju, kur tie divas nedēļas uzglabāti konstantā temperatūrā (+4°C). Lai raksturotu salcietības iestāšanos, sējeņus pakļāva imitētai salnai. Salnu imitēja stādus (grupās no 10 līdz 20 sējeņiem) ievietojot +5°C temperatūrā, kas pakāpeniski samazināta ik pa trim grādiem katru stundu līdz sasniedza -10°C. Šādā temperatūrā sējeņi turēti divas stundas pēc kā temperatūru pakāpeniski paaugstinot ik pa trim grādiem katru stundu līdz +5°C temperatūrai. Pēc saldēšanas eksperimenta, sējeņi divas nedēļas turēti +15°C temperatūrā. Pēc tam stādiem novērtēti sala bojājumi: mērīts kopējais virszemes daļas garums, dzīvās vasas garums un aprēķināts dzīvās daļas īpatsvars, kā arī novērtētas atšķirības dzīvās daļas īpatsvarā starp eksperimenta grupām (Siltumnīca Nr.1, siltumnīca Nr.3, kontrole lauka apstākļos). Pēc mērījumu pabeigšanas sējeņi transportēti uz MPS Kalsnava kokaudzētavas teritoriju bojājumu novērtēšanai nākamā veģetācijas perioda sākumā tos izmantojot eksperimenta turpināšanai.

Rezultāti

Priede

Priedei eksperimentos izmantoti ietvarstādi kas izaudzēti no četrās sēklu plantācijās iegūtām sēklām: Dravas un Sāvienas 1-gadīgi ietvarstādi, bet no Klīves un Taigas: 2-gadīgi ietvarstādi (1.1. tabula). Ņemot vērā rezultātus (2016. gada starpatskaite: “Meža apsaimniekošanas risku izmaiņu prognozes un to mazināšana”) nākamajā etapā izmantoti papildus 1000 priežu stādi no Sāvienas un Taigas (austrumu), un 2000 stādi no Dravu un Klīves (rietumu) sēklu plantācijām, kas ļāva priežu sējeņus pakļaut visiem trim augšanas režīmiem un nākamajā eksperimenta etapā veikt variācijas starp tiem (1.2. tabula).

1.1. tabula. Dažādos režīmos pārstāvētais priežu sējeņu materiāls pirmajā augšanas sezonā.

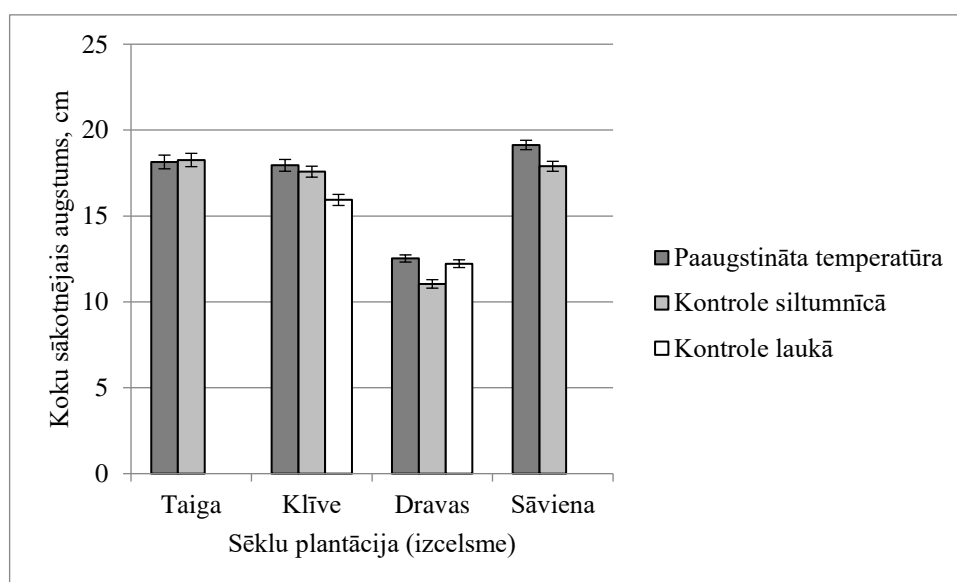
| MRM ieguves avots | Stādu daudzums, gab. | Režīms |
|---------------------------|----------------------|--------------------------|
| Taigas sēklu plantācija | 500 | Siltumnīca Nr.1 |
| Taigas sēklu plantācija | 500 | Siltumnīca Nr.3 |
| Sāvienas sēklu plantācija | 500 | Siltumnīca Nr.1 |
| Sāvienas sēklu plantācija | 500 | Siltumnīca Nr.3 |
| Klīves sēklu plantācija | 667 | Siltumnīca Nr.1 |
| Klīves sēklu plantācija | 667 | Siltumnīca Nr.3 |
| Klīves sēklu plantācija | 667 | Kontrole lauka apstākļos |
| Dravu sēklu plantācija | 667 | Siltumnīca Nr.1 |
| Dravu sēklu plantācija | 667 | Siltumnīca Nr.3 |
| Dravu sēklu plantācija | 667 | Kontrole lauka apstākļos |

1.2. tabula. Priežu sējeņu eksperimentu variācijas otrajā augšanas sezonā

| Sēklu plantācija | Režīms | | Augusta dzinumi | Saīsinājumi |
|---------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------|-------------|
| | No | Uz | | |
| Dravas | Siltumnīca Nr.3 | Siltumnīca Nr.3 | nav | DTTn |
| Dravas | Siltumnīca Nr.1 | Siltumnīca Nr.3 | nav | DNTn |
| Dravas | Kontrole lauka apstākļos | Siltumnīca Nr.3 | nav | DaTn |
| Klīves | Siltumnīca Nr.3 | Siltumnīca Nr.3 | nav | KTTn |
| Klīves | Siltumnīca Nr.1 | Siltumnīca Nr.3 | nav | KNTn |
| Klīves | Kontrole lauka apstākļos | Siltumnīca Nr.3 | nav | KaTn |
| Dravas | Siltumnīca Nr.3 | Siltumnīca Nr.1 | nav | DTNn |
| Dravas | Siltumnīca Nr.1 | Siltumnīca Nr.1 | nav | DNNn |
| Dravas | Kontrole lauka apstākļos | Siltumnīca Nr.1 | nav | DaNn |
| Klīves | Siltumnīca Nr.3 | Siltumnīca Nr.1 | nav | KTNn |
| Klīves | Siltumnīca Nr.1 | Siltumnīca Nr.1 | nav | KNNn |
| Klīves | Kontrole lauka apstākļos | Siltumnīca Nr.1 | nav | KaNn |
| Dravas | Siltumnīca Nr.1 | Siltumnīca Nr.1 | ir | DNNi |
| Dravas | Siltumnīca Nr.3 | Siltumnīca Nr.1 | ir | DTNi |
| Dravas | Siltumnīca Nr.1 | Siltumnīca Nr.3 | ir | DNTi |
| Dravas | Siltumnīca Nr.3 | Siltumnīca Nr.3 | ir | DTTi |

Pirmajā eksperimenta gadā sējeņu mazā skaita dēļ, tie audzēti Siltumnīcā Nr.1 (nākotnes klimatiskajos apstākļos) un Siltumnīcā Nr.3 (tagadnes klimatiskajos apstākļos). Lielāks sējeņu augstums veģetācijas perioda beigās konstatēts austrumu izcelsmes siltumnīcā Nr.3 audzētajiem sējeņiem ($19,1 \pm 0,56$ cm), un to vidējais augstums bija būtiski lielāks ($p < 0,001$) nekā rietumu izcelsmes siltumnīcā Nr.3 audzētajām priedēm ($17,7 \pm 0,64$ cm). Savukārt starp austrumu un rietumu siltumnīcā Nr.1 augušām priedēm netika konstatētas statistiski būtiskas atšķirības. Veģetācijas perioda beigās, siltumnīcā Nr.1 augušām austrumu un rietumu izcelsmes priežu augstums bija $10,5 \pm 0,29$ cm un $10,9 \pm 0,34$ cm. Pēc pirmajām salcietības pārbaudēm (2016. gada starpatskaite “Meža apsaimniekošanas risku izmaiņu prognozes un to mazināšana”) pirmajai priežu saldēšanas grupai vēl nebija izstrādājusies salcietība, tādēļ tās būtiski apsala, savukārt nākamajām grupām jau bija izstrādājusies salcietība. Tā kā priežu dzīvās daļas īpatsvars starp sēklu izcelsmēm būtiski atšķīrās, tās tika analizētas atsevišķi. Priedēm no Klīves plantācijā (pluskoki atlasīti audzēs uz kūdras augsnēm) iegūtām sēklām bija raksturīga labāka (agrāk iegūta) salcietība nekā sējeņiem no Dravu un Sāvienas plantācijās iegūtām sēklām.

Pirms uzsāka nākamās augšanas dinamikas un salcietības testus (2017. gads), vispirms izvēlējās sējeņus ar līdzīgu sākotnējo augstumu. Sākotnējais stādu vidējais augstums Taigas ($18,2 \pm 0,28$ cm), Klīves ($17,1 \pm 0,19$ cm) un Sāvienas ($18,5 \pm 0,20$ cm) sējeņiem bija līdzīgs, savukārt Dravu sējeņiem tas bija būtiski mazāks ($11,9 \pm 0,13$ cm). Ar dispersijas analīzi secināts, ka stādu augstumu būtiski ietekmē gan klimatiskais režīms, gan izcelsme, gan to mijiedarbība. Klīves plantācijas lauka kontroles apstākļos izvietotajiem sējeņiem sākuma augstums bija būtiski mazāks nekā abās siltumnīcās, kas savstarpēji neatšķirās. Dravu plantācijas sējeņiem, kurus izvietoja siltumnīcā Nr.3 bija būtiski mazāks koku augstums nekā lauka kontroles apstākļos, vai siltumnīcā Nr.1 audzētajiem sējeņiem. Sāvienas plantācijas siltumnīcā Nr.3 esošajiem sējeņiem bija būtiski mazāks augstums nekā siltumnīcā Nr.1 augušie sējeņiem. Savukārt Taigas plantācijas kokiem sākotnējais augstums abos siltumnīcu augšanas režīmos neatšķirās ($p=0,69$) (1.2. attēls).



1.2.attēls. Koku sākotnējais augstums dažādām priedes izcelsmēm atšķirīgos klimatiskajos režīmos.

Lai raksturotu koku kopējo sezonas augstuma pieauguma atšķirību starp klimatiskajiem režīmiem un izcelsmēm, katram kokam aprēķināts relatīvais augstuma pieaugums, attiecinot absolūto augstuma pieaugumu pret koka sākotnējo augstumu, tādējādi mazinot koku sākotnējā augstuma atšķirību ietekmi. Kopumā neatkarīgi no režīma lielākais relatīvais pieaugums konstatēts Dravu izcelsmes kokiem ($1,85 \pm 0,03$ cm), savukārt mazāks Sāvienas ($1,20 \pm 0,02$ cm), Klīves ($1,09 \pm 0,02$ cm) un Taigas ($1,03 \pm 0,02$ cm) izcelsmes sējeņiem. Tā kā gan režīmam, gan izcelsmei, gan to mijiedarbībai ir būtiska ietekme uz augstuma pieaugumu, katra izcelsmes vieta analizēta atsevišķi.

Taigas un Sāvienas izcelsmes sējeņi pārstāvēti divos režīmos (siltumnīca Nr.1 un siltumnīca Nr.3). Taigas izcelsmes sējeņiem siltumnīcā Nr.1 bija būtiski lielāks pieaugums ($1,10\pm 0,04$ cm) nekā siltumnīcā Nr.3 ($0,95\pm 0,03$ cm). Savukārt Sāvienas sējeņiem siltumnīcā Nr.3 bija būtiski lielāks pieaugums ($1,25\pm 0,03$ cm) nekā siltumnīcā Nr.1 ($1,15\pm 0,03$ cm). Analizējot sējeņus, kas auguši trijos klimatiskajos režīmos arī konstatētas būtiskas pieauguma atšķirības. Dravas pēcnācējiem lielāks augstuma pieaugums bija siltumnīcā Nr.3 ($2,07\pm 0,06$ cm) un kontrolē lauka apstākļos ($1,80\pm 0,04$ cm) augušajiem sējeņiem, savukārt mazākais – siltumnīcā Nr.1 augušajiem ($1,70\pm 0,04$ cm). Turpretī Klīves izcelsmes sējeņiem lielāks augstuma pieaugums bija siltumnīcā Nr.3 ($1,12\pm 0,03$ cm), bet mazākais lauka apstākļos ($1,09\pm 0,03$ cm) un siltumnīcā Nr.1 ($1,07\pm 0,04$ cm) augušajiem.

Sala bojājumu īpatsvars priedēm atšķīrās starp saldēšanas laiku (grupām) un izcelsmēm. Pirmās grupas sējeņiem vēl nebija izstrādājusies salcietība, savukārt nākamo grupu sējeņiem izdzīvojušo koku īpatsvars bija no 94 līdz 97%. Tomēr, ņemot vērā 2016.gada rezultātus, netika gūts apstiprinājums, ka priedes no kūdras augsnēm uzrāda labākus salcietības rezultātus Priedes salcietības veidošanos lielā mērā noteikusi ģenētika un tā atbildes reakciju uz fotoperiodu. Tas liecina, ka veģetācijas pierodam kļūstot garākam un salam iestājoties vēlāk, nav sagaidāma izteikta sala bojājumu apjoma palielināšanās priežu jaunaudzēs.

Egle

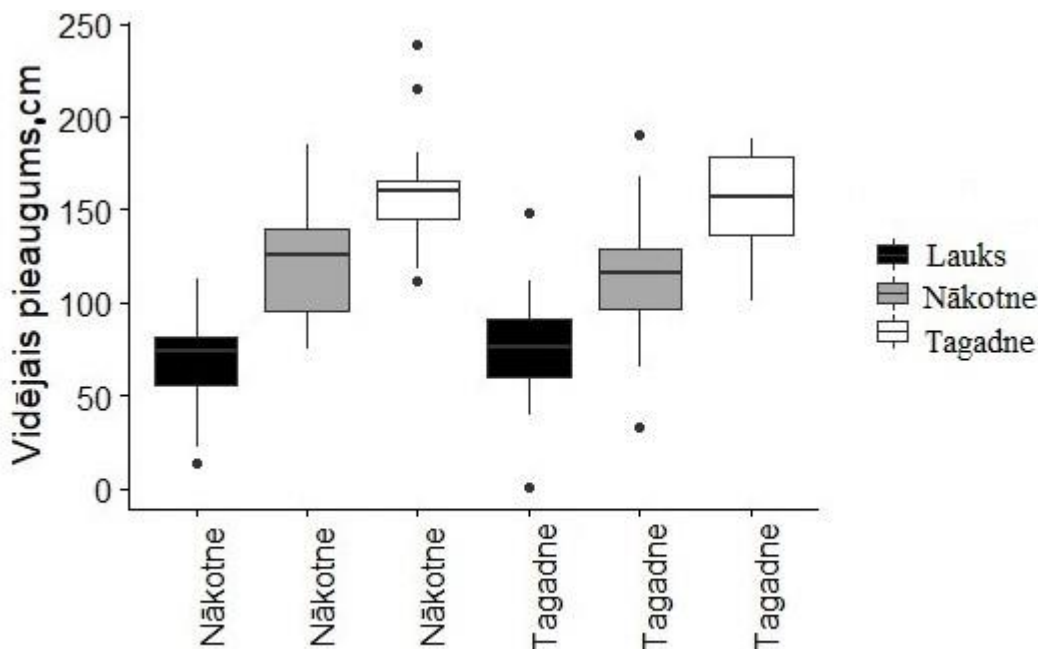
Eglēm izmantoti kailsakņu stādi ar uzlabotu sakņu sistēmu, kas iegūti no Remtes (rietumu) un Suntažu (centrālās) sēklu plantācijām. Egļu sējeņi audzēti divos klimatiskajos režīmos: Siltumnīcā Nr.1 (nākotnē) un Siltumnīcā Nr.3 (tagadne). Salīdzinot augstuma pieauguma dinamiku starp izcelsmēm, secināts, ka rietumdaļas eglēm pieaugums sācis veidoties agrāk. Tomēr abu reģionu Siltumnīcas Nr.3 eglēm augšana turpinājās ilgāk nekā Siltumnīcas Nr.1 grupas eglēm. Vienas veģetācijas sezonas laikā Siltumnīcas Nr.3 grupas eglēm bija statistiski būtiski lielāks ($p<0,001$) augstuma pieaugums nekā Siltumnīcas Nr.1 grupas kokiem. Austrumu izcelsmes Siltumnīcas Nr.3 grupas sējeņiem vidējais augstuma pieaugums bija $13,0\pm 0,44$ cm, bet centrālās izcelsmes sējeņiem attiecīgi $10,6\pm 0,39$ cm. Savukārt Siltumnīcas Nr.1 sējeņiem, augstuma pieaugums starp dažādām izcelsmēm nebija statistiski būtisks, un to vidējie augstuma pieaugumi bija $4,8\pm 0,21$ cm un $5,1\pm 0,19$ cm.

Pirmajā eksperimenta etapā, egļu sējeņiem salcietība nebija izveidojusies tikai pirmajai saldēšanas grupai, kamēr pārējās grupās netika konstatēta būtiska sala ietekme. Rietumdaļas eglēm salcietība izveidojās ātrāk nekā kokiem ar centrālās daļas izcelsmi. Eglei, jau sākot ar otro eksperimenta etapu, konstatēti koki, kuru sala bojājumi uzskatāmi par nenozīmīgiem, tāpēc eglei klimata pārmaiņu (paaugstinātas temperatūras un ilgāka veģetācijas perioda) apstākļos,

visticamāk, nebūs raksturīga zemākas salcietības veidošanās tādā mērā, kas nozīmīgi ietekmētu saglabāšanos, kaut arī sala bojājumu dēļ iespējama augstuma pieauguma samazināšanās pirmajos augšanas gados. Novērtējot egļu augstuma pieaugumu, jāņem vērā, augsta dzinumu ietekme uz kopējo augstuma pieaugumu, kas varētu mazināt sala ietekmi (Jansone, 2020). Konstatēts, ka klimata pārmaiņu dēļ paaugstinās augsta dzinumu veidošanās biežums, kas palielinātu egles augstuma pieaugumus.

Bērzs

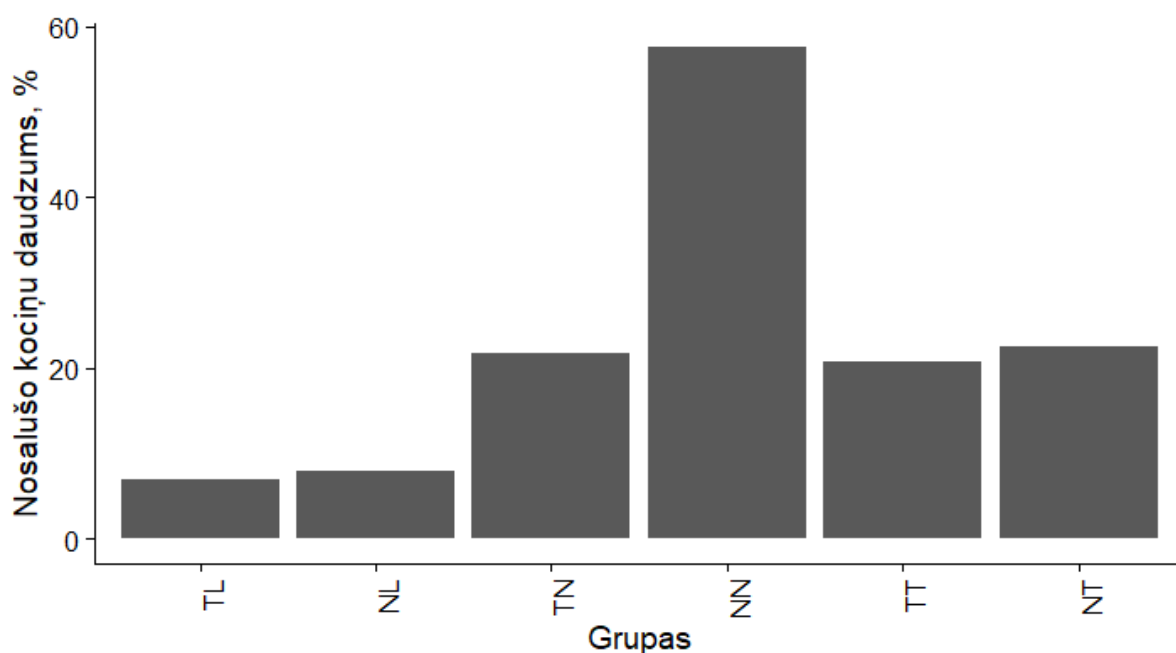
Bērzam izmantoti 2-gadīgi kailsakņu stādi ar uzlabotu sakņu sistēmu, kas iegūti no “Kalsnava-2” (rietumdaļas) sēkļu plantācijas sēklām. Pirmajā eksperimenta gadā bērzu sējeņi pārstāvēti divos klimatiskajos režīmos – siltumnīca Nr.1 (nākotne) un siltumnīcā Nr.3 (tagadne). Savukārt otrajā gadā sējeņi turēti trīs klimatiskajos režīmos. Pirms salcietības eksperimenta sākuma, bērzu sējeņu vidējais augstums Siltumnīcas Nr.1 kociem bija $43,9 \pm 0,69$ cm, bet Siltumnīcas Nr.3 - $42,9 \pm 0,72$ cm. Savukārt beidzoties veģetācijas sezonai, netika konstatēta būtiska atšķirība starp dažādos režīmos augušajiem kokiem. Veģetācijas sezonas beigās Siltumnīcas Nr.1 kociem augstums bija $154,2 \pm 2,44$ cm, bet Siltumnīcas Nr.3 kociem – $152,9 \pm 2,21$ cm (1.3.attēls).



1.3.attēls. Vidējais bērzu sējeņu augstuma pieaugums Siltumnīcas Nr.3 (tagadnes) un lauka apstākļos un Siltumnīcas Nr.1 (nākotnes) klimata režīmos

Bērziem, kas auguši pirmajā gadā siltumnīcu režīmos nav bijusi klimatiskā režīma ietekme uz nākamā gada augstuma pieaugumu. Nākotnes prognozētajai vides temperatūrai ir pozitīva ietekme uz bērzu augšanu, tomēr lielāki vidējie augstumi bija sējeņiem, kas otrajā audzēšanas gadā atstāti siltumnīcā Nr 3 (tagadnes klimatiskajā režīmā).

Sala bojājumu īpatsvars bērziem atšķīrās starp saldēšanas grupām. Sējeņiem, kas saldēti pirmajā grupā vēl nebija izstrādājusies salcietība. Savukārt nākamo grupu sējeņiem sala bojājumi konstatēti tikai 5% koku. Sējeņi, kas turēti nākotnes režīmā salcietības eksperimentā guva lielākus bojājumus. Savukārt, mazāk bojājumi konstatēti sējeņiem, kas auguši lauka vai tagadnes režīmos (1.4. attēls).

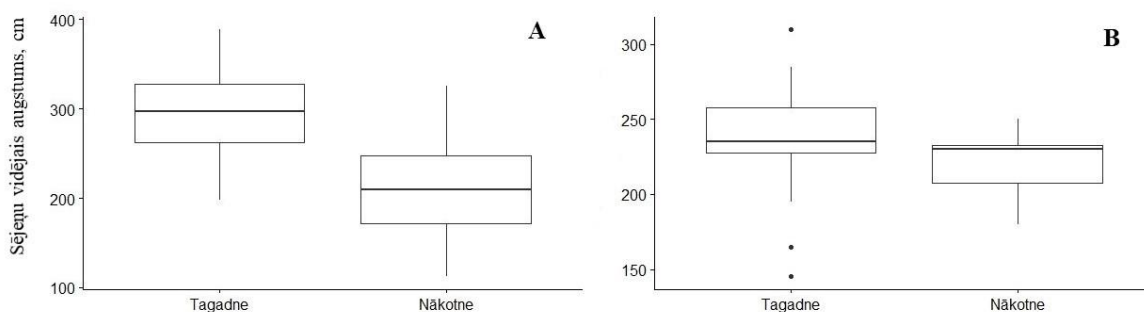


1.4. attēls. Nosalušo bērza sējeņu īpatsvars katrā audzēšanas režīmā. L- uz lauka, T – Siltumnīca Nr.3 (tagadnes temperatūras režīms), N – Siltumnīca Nr.1 (paaugstinātas - nākotnes temperatūras režīms)

Hibrīdā apse un melnalksnis

Apšu hibrīdu (*Populus tremula* x *Populus tremuloides*) kloni, kas selekcionēti Latvijā un melnalkšņu sēklas, kas iegūtas Latvijas valsts mežu (LVM) sēklu plantācijā “Platenes”, audzētas divos režīmos: Siltumnīcā Nr.3 un Siltumnīcā Nr.1. Pirms salcietības eksperimenta vidējais apšu hibrīdu augstums bija 256 cm, bet melnalkšņiem – 228 cm. Hibrīdo apšu stādu (mikroklonāli pavairots materiāls) Siltumnīcas Nr.3 (tagadsne) klimatā bija būtiski augstāks vidējais augstums nekā Siltumnīcas Nr.1 (nākotne) režīma stādiem, savukārt melnalkšņa

sējeņiem netika atrasta būtiska klimatiskā režīma ietekme uz augstuma pieaugumu (1.5. attēls). Melnalkšņa vidējais augstuma pieaugums vērtētajos režīmos neatšķīrās būtiski, liecinot par šīs koku sugas audzēšanas perspektīvām klimata pārmaiņu kontekstā.



1.5.attēls. Hibrīdo apšu (A) un melnalkšņu (B) stādu vidējais augstums.

Apšu hibrīdu sējeņiem konstatēta nevienmērīga sala ietekme. No ceturtās grupas tikai 30% sējeņu izveidojās salcietība savukārt sestās grupas sējeņi izdzīvoja pilnībā, kamēr nākamo grupu sējeņiem salcietība nebija izveidojusies. Siltumnīcā Nr.1 (nākotnes klimata režīmā) turētiem sējeņiem konstatēti proporcionāli mazāk sējeņu ar maziem bojājumiem vai vispār bez bojājumiem attiecībā pret Siltumnīcā Nr.3 un lauka kontroles apstākļos augušajiem sējeņiem. Siltumnīcas Nr.1 klimatiskajos apstākļos augušajiem sējeņiem, kam konstatēti sala bojājumi, tie nozīmīgi ietekmēja vitalitāti.

Secinājumi

1. 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.
2. Priedei kopumā nākotnes klimats būs augšanai labvēlīgs, un var sagaidīt lielāku šīs sugas koku augstuma pieaugumu juvenilā vecumā.
3. Eglei paaugstināta gaisa temperatūra samazina kopējo augstuma pieaugumu, bet nav novērota ietekme uz salcietības veidošanos. Jāatzīmē, ka klimata pārmaiņu dēļ paaugstinās augsta dzinumu veidošanās biežums. Juvenilā vecumā konstatēta pozitīva atgriezeniskā saikne starp egles augstumu un augsta dzinumu veidošanos.
4. Bērzu augšanu pozitīvi ietekmē paaugstināta atmosfēras temperatūra, bet tie kļūst nenoturīgāki pret salu.

5. Hibrīdajai apsei un bērzam labvēlīgāki ir tagadnes klimatiskie apstākļi. Bērzam un hibrīdajai apsei šāds rezultāts, visticamāk, saistīts ar nokrišņu apjoma būtisko ietekmi, determinējot spēju formēt lielu augstuma pieaugumu.
6. Melnalkšņiem augstākai gaisa temperatūrai nebūs nozīmīgas ietekmes uz augstuma pieaugumu, liecinot par šīs koku sugas audzēšanas perspektīvām klimata pārmaiņu kontekstā.

Rekomendācijas

1. Nepieciešams ietvert adaptāciju raksturojošās pazīmes selekcijas indeksā, īpaši gadījumos, kad plānota stādmateriāla veģetatīvā pavairošana, lai veicinātu jauno audžu piemērotību sagaidāmajiem klimatiskajiem apstākļiem.
2. Rekomendējams palielināt melnalkšņa īpatsvaru mērķtiecīgā meža atjaunošanā.

2. Latvijā reti sastopamu vietējo un introducētu koku sugu atjaunošanas un audzēšanas zināšanu uzkrāšana.

Dižskābarža krājas kopšanas eksperimentu ierīkošana

Dižskābaržu krājas kopšanas cirtes Meža pētīšanas stacijas (turpmāk tekstā MPS) Šķēdes mežu novada 21. kvartālā.

2020. gada janvārī dabā precizētas nogabalu faktiskās robežas veicot robežlīniju lūzumpunktu precīzo uzmērīšanu ar Leica GNSS, kas nokomplektēts ar Leica Viva GS14 antenu un Leica Viva CS15 kontrolieri izmantojot SmartWorx Viva programmnodrošinājumu. Ar marķierkrāsu iezīmētas nogabalu faktiskās ārējās robežas un nogabali sadalīti parcelās, šis sadalījums skaidri iezīmēts dabā ar marķierkrāsu uz koku stumbriem. Katrā parcelā atsevišķi noteikti visu koku (arī nokaltušo) caurmēri un visu koku sugu parauggrupām veikti augstuma un caurmēra mērījumi augstumlīkņu sagatavošanai.

Pēc datu apstrādes pieņemti lēmumi par kopšanas intensitātēm dažādās parcelās un par koku sugu sastāva konfigurāciju. Visās parcelās plānots izzāģēt visus kokus, kas nav dižskābarži, ja vien tas neveido lielu lauci. Parcelās, kur šķērslaukums to pieļauj, plānota dažādas intensitātes krājas kopšana.

Krājas kopšanu veic ar Malwa 560H harvesteru un pievešanu nodrošina ar Malwa 560F forvarderu. Tā kā harvesters paredzēts neliela caurmēra koku gāšanai, lielos kokus zāģē motorzāģu operatori.

Eksperimenta ierīkošana:

- 30. nogabalā dižskābarža šķērslaukums ir $55 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ un kopšanas mērķis ir to samazināt līdz aptuveni $37 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. Pirms kopšanas speciāli izzīmēti obligāti izzāģējamie koki, kuriem ir kādi defekti, pārējo izņemamo koku izvēle paliek harvestera operatora ziņā
- 16. nogabals sadalīts piecās parcelās un divas no tām atstātas bez kopšanas kā kontrole (kopējā kontroles platība 0.52 ha) pārējās trijās veikta kopšana primāri izzāģējot visus citu sugu kokus un dižskābardī kopj uz mērķa šķērslaukumu $27 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$; $22 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ un $21 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$
- 42. nogabals sadalīts piecās parcelās un kopšana veikta primāri izzāģējot visus citu sugu kokus un dižskābardī kopj uz mērķa šķērslaukumiem $13.5 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, $15 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, $21 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, $21 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ un $15 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. Šajā nogabalā koku nevienmērīgā

izvietojuma dēļ kopšanas rezultātā izveidojās atvērumi, kuros novērtēs dižskābarža dabisko atjaunošanos un tā spēju konkurēt ar pioniersugu kokiem.

Dažādās intensitātēs kopto liepas un kļavas audžu pārmērījumi

Materiāls un metodes

LVM zemēs atlasītas 14 liepas un 8 kļavas audzes. Liepas un kļavas audzes izvietotas plašā Latvijas teritorijā – no Zemgales līdz Vidzemes ziemeļaustrumiem un Latgales dienvidaustrumiem. Audzēs (kuru platība nav mazāka par 0,16 ha) ierīkoti patstāvīgie parauglaukumi (500 m² un 100 m²) platībā atkarībā no nogabalu izvietojuma, blakus audzes ietekmes, un meža tipa. Kopumā ierīkoti 62 parauglaukumi liepas audzēs (viens līdz septiņi parauglaukumi audzē) un 25 parauglaukumi kļavas audzēs (viens līdz seši parauglaukumi audzē) – katrā audzē ielikti tik parauglaukumi, cik bija iespējams, ņemot vērā sākotnējo audzes sastāvu, koku izvietojuma vienmērīgumu, nogabala konfigurāciju, iespējamo malas (blakus audzes) ietekmi un meža tipu (2.1. tab.).

2.1. tabula. Liepas un kļavas audzēs ierīkoto parauglaukumu raksturojums

| Kv. apg. | Kv. | Nog. | Suga | Vecums | Ierīkots | Apsekots un atjaunoti stūru marķējumi | Sākotnējais audzes sastāvs* | Audzes biežums, koki ha-1 |
|----------|-----|------|--------------|--------|-------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 103 | 179 | 3 | Liepas 40×40 | 8 | 16.12.2016. | 01.2019. | 7L2B + M | 7650 |
| 107 | 332 | 6 | Liepas 40×40 | 17 | 29.12.2016. | 12.2019. | 7L3B +E | 2800 |
| 107 | 332 | 7 | Liepas 40×40 | 17 | | 12.2019. | | |
| 312 | 111 | 15 | Liepas 40×40 | 15 | 9.12.2016. | 08.2019. | 8L1B1A + E | 4700 |
| 401 | 33 | 4 | Liepas 40×40 | 22 | 14.12.2016. | 01.2019. | 5L3B2A + E,M | 15 900 |
| 405 | 185 | 13 | Liepas 40×40 | 15 | 28.12.2016. | 01.2020. | 7L2Oz1B ats E | 2900 |
| 501 | 303 | 15 | Liepas 40×40 | 13 | 17.11.2016. | 12.2019. | 9L1B | 2100 |
| 501 | 446 | 10 | Liepas 40×40 | 15 | 16.12.2016. | 12.2019. | 7L2A1B ats Oz | 2650 |
| 506 | 116 | 36 | Liepas 40×40 | 12 | 29.12.2016. | 01.2020. | 10L ats B | 1300 |
| 608 | 109 | 6 | Liepas 40×40 | 13 | 21.12.2016. | 12.2019. | 6L4A ats B | 31 900 |
| 803 | 213 | 6 | Liepas 40×40 | 18 | 21.12.2016. | 01.2019. | 6M3L1B | 1900 |
| 803 | 219 | 4 | Liepas 40×40 | 13 | 30.11.2016. | 12.2019. | 10L | 2000 |
| 803 | 224 | 19 | Liepas 40×40 | 13 | 30.11.2016. | 01.2019. | 7L2B1A | 7200 |
| 803 | 228 | 32 | Liepas 40×40 | 13 | 28.11.2016. | 01.2019. | 8L1B1A | 3200 |
| 107 | 145 | 22 | Kļavas 40×40 | 22 | 12.01.2018. | 12.2019. | 4K12A2B2Ba | 60 250 |
| 312 | 103 | 2 | Kļavas 40×40 | 24 | 03.01.2018. | 08.2019. | 8K12B | 8300 |
| 505 | 434 | 1 | Kļavas 40×40 | 11 | 28.12.2017. | 01.2020. | 5K14A1B | 38 100 |
| 801 | 150 | 12 | Kļavas 40×40 | 12 | 25.12.2017. | 12.2019. | 6A4K1 + B | 22 500 |
| 801 | 150 | 6/7 | Kļavas 40×40 | 12 | 25.12.2017. | 12.2019. | 6A2K12Ba | 15 600 |
| 801 | 151 | 13 | Kļavas 40×40 | 11 | 26.12.2017. | 12.2019. | 8K12P | 7800 |
| 801 | 153 | 6 | Kļavas 40×40 | 10 | 04.01.2018. | 12.2019. | 8K12A | 20 200 |
| 810 | 58 | 9 | Kļavas 40×40 | 21 | 23.01.2018. | 09.2019. | 5K14B1A | 29 300 |

LVM - A/S "Latvijas valsts meži", * Sākotnējais audzes sastāvs – pēc koku šķērslaukuma

Ņemot vērā mazo objektu platību, tālākā analizē netika izmantoti dati no diviem kļavas objektiem (801-151-13-1 un 801-153-6-1) un liepas objekta (803-219-4) kur ierīkots tikai viens parauglaukums un tam ir veikta jaunaudžu kopšana, bet dati netiek izmantoti tālākā analizē.



2.1. att. Ierīkotie parauglaukumi liepas audzēs ar atšķirīgiem sākotnēji noteiktiem biežumiem

Ierīkotajos parauglaukumos veikta uzmērīšana un kopšana, saglabājot sākotnēji noteiktos audzes biežumus – liepas audzēs no 800 līdz 1800 koki ha^{-1} sekojošos variantos: a) 800 liepas ha^{-1} ; b) 1300 liepas ha^{-1} ; c) 1800 liepas ha^{-1} ; d) liepas atstātas grupās (citas koku sugas nozāģētas, nekopjot liepas); e) kontroles parauglaukumi, kuros nav veikta kopšana (nekopts/ kontrole). Kļavas audzēs veikta uzmērīšana un kopšana, saglabājot audzes biežumu no 400 līdz 1800 koki ha^{-1} sekojošos variantos: a) 400 kļavas ha^{-1} ; b) 650 kļavas ha^{-1} ; c) 800 kļavas ha^{-1} ; d) 1300 kļavas ha^{-1} ; e) 1800 kļavas ha^{-1} ; f) kļavas atstātas grupās (citas koku sugas nozāģētas, nekopjot kļavas); e) kontroles parauglaukumi, kuros nav veikta kopšana (nekopts/ kontrole). (2.2. tab.).

2.2. tabula. Paraugļaukumi ar dažāda biezuma izvietojumu liepas un kļavas audzēs

| Objekts | Liepu biezums paraugļaukumos, koki ha ⁻¹ | | | | | | |
|-------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| 103-179-3 | kontrolē | Lg | 1300 | 1800 | 800 | - | - |
| 107-332-6/7 | kontrolē | 800 | 1300 | - | - | - | - |
| 312-111-15 | 800 | 800 | Lg | kontrolē | 1300 | 1800 | 1300 |
| 401-33-4 | 800 | kontrolē | Lg | 1300 | 1800 | kontrolē | - |
| 405-185-13 | 1800 | kontrolē | 1300 | - | - | - | - |
| 501-303-15 | 800 | 800 | 1300 | 800 | 1300 | 800 | 800 |
| 501-446-10 | kontrolē | 1300 | 800 | 1800 | Lg | - | - |
| 506-116-36 | 800 | kontrolē | - | - | - | - | - |
| 608-109-6 | 800 | 1300 | kontrolē | 1300 | - | - | - |
| 803-213-6 | 800 | 800 | kontrolē | - | - | - | - |
| 803-219-4 | 1800 | - | - | - | - | - | - |
| 803-224-19 | Lg | 1300 | 800 | 1300 | kontrolē | 800 | 800 |
| 803-228-32 | 800 | 1300 | - | - | - | - | - |

| Objekts | Kļavu biezums paraugļaukumos, koki ha ⁻¹ | | | | | | |
|--------------|---|----------|----------|------|----------|------|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| 107-145-22 | 800 | kontrolē | - | - | - | - | - |
| 312-103-2 | 800 | 650 | 800 | 400 | kontrolē | - | - |
| 505-434-1 | 800 | 1300 | kontrolē | 800 | Kg | 1800 | - |
| 801-150-12-1 | kontrolē | 1800 | 800 | - | - | - | - |
| 801-150-6/7 | 1800 | 1300 | - | - | - | - | - |
| 801-151-13-1 | 1300 | - | - | - | - | - | - |
| 801-153-6-1 | Kg | - | - | - | - | - | - |
| 810-58-9 | kontrolē | Kg | 650 | 1300 | 800 | - | - |

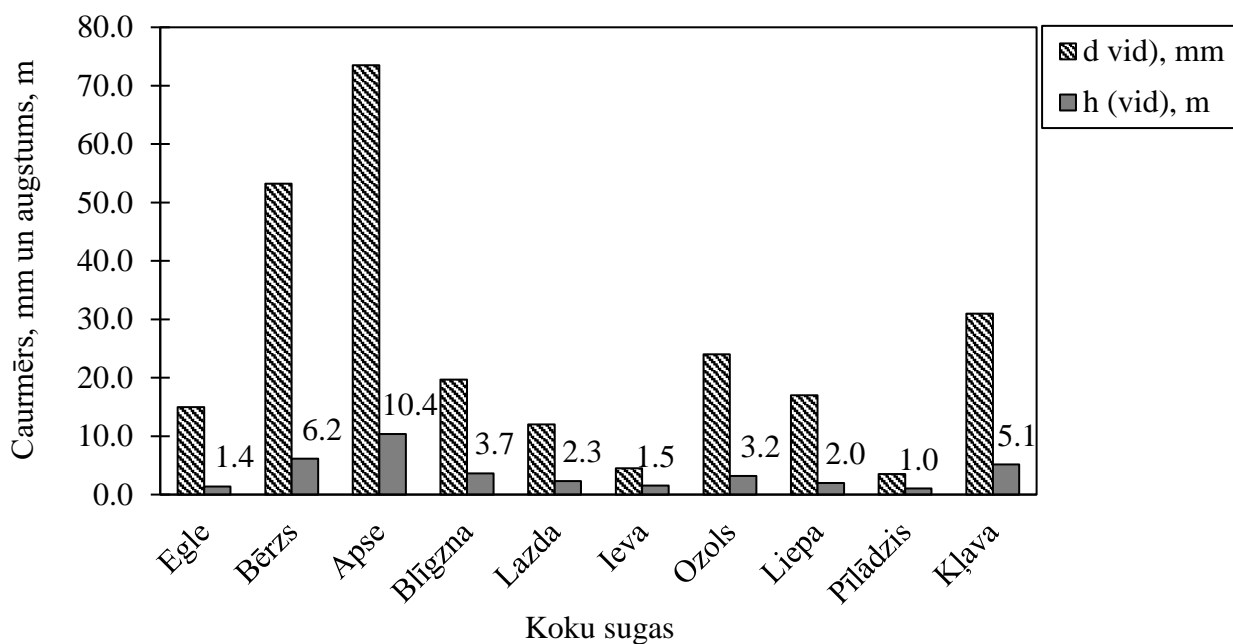
Lg/Kg-kontrolē; liepa un kļava saglabātas grupās

Pirms kopšanas ierīkoja paraugļaukumus sākotnējā stāvokļa raksturošanai. Sākotnējā stāvokļa raksturošanai uzmērīšanu veica aplūveida paraugļaukumos (R=5,64 m; 100 m²).

Rezultāti

Kļavas

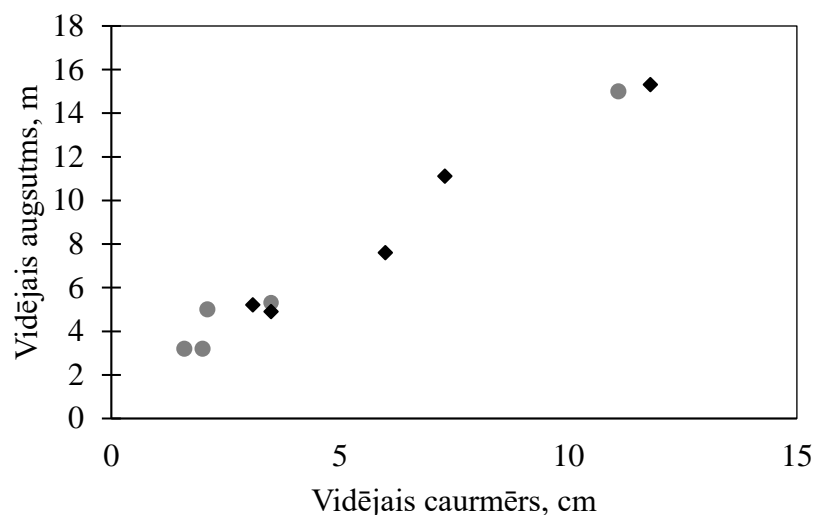
Kļavas audzēs vidējais kļavas augstums un caurmērs paaugā bija 3,3 m un 18 mm, izņemot vienu objektu, kur kļavas vidējais augstums audzē bija 15 m (vidējais caurmērs 111 mm). Biezāko paaugu kļavas audzēs veidoja 60 250 koki ha⁻¹, bet mazākais paaugas koku skaits audzē bija 8300 koki ha⁻¹. Kļavas audzēs vislielākos vidējos augstumus un caurmērus sasniedza apses (d = 73,5 mm; h = 10,4 m) un bērzi (d = 53,3 mm; h = 6,2 m). Kļavu vidējais augstums konstatēts 5,1 m un vidējais caurmērs 31,0 mm (2.4. att.).



2.4. att. Kokaudzes raksturojums kļavas audzēs – vidējais caurmērs (d, mm) un vidējais augstums (h, m)

Ierīkotajos parauglaukumos veikta uzmērīšana un kopšana, saglabājot sākotnēji noteiktos audzes biezumus no 2016. līdz 2020. gadam. Pirmā kopšana kļavas audzēs veikta 2017. gada decembrī. Pēc tam audzes regulāri apsekotas un veikta atkārtota kopšana tajos parauglaukumos, kur tas bija nepieciešams (citu koku sugu augstums tuvs kļavas augstumam) laika posmā no 2018. līdz 2020. gadam.

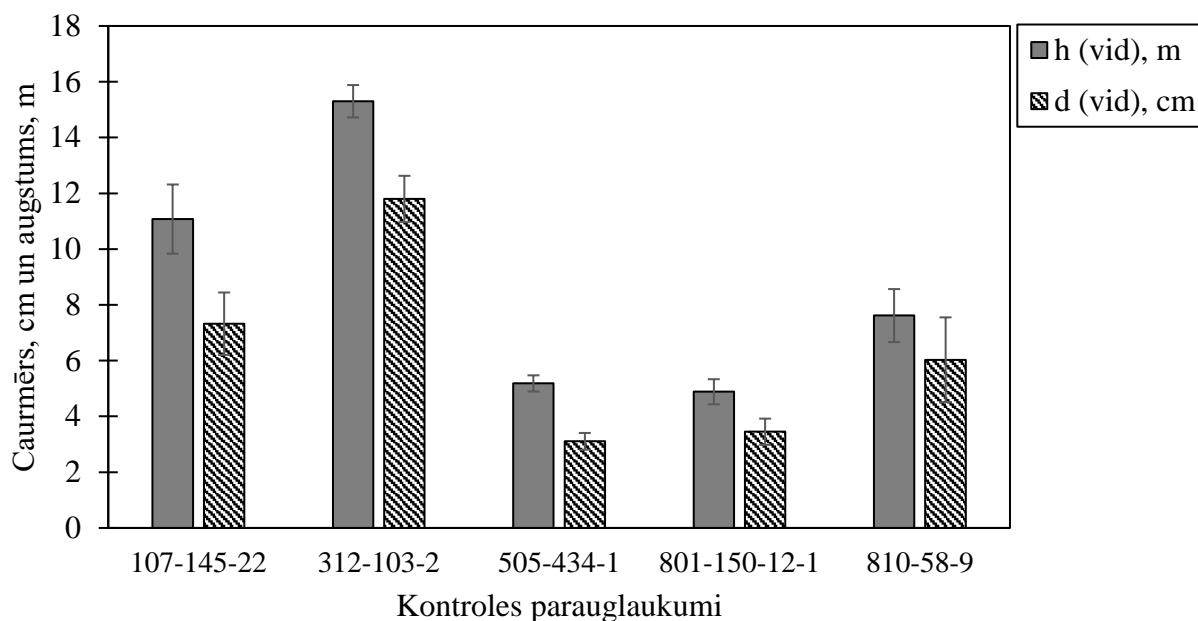
Salīdzināti nekoptā/kontroles parauglaukumos vidējie rādītāji – augstums un caurmērs. Kļavas audzēs vidējais caurmērs pētījuma sākumā (2017. gads) kontrole/nekopts parauglaukumā bija 4,1 cm un tas ir pieaudzis (2020. gads) līdz 6,3 cm. Vidējais koku augstums nekopts/kontroles parauglaukumos pieaudzis no 6,3 m līdz 8,7 m. (2.5. att.)



2.5. att. Kokaudzes raksturojums kļavas audzēs (nekopts/kontrole) pētījumā sākumā (pelēks aplis ●) un 2020. gadā (melns rombs ◆)

Vienā objektā konstatētas būtiski lielākas vidējās vērtības (312-103-2), jo jau sākotnējais vidējais koku caurmērs un koku augstums bija stipri lielāks (audzes vecums ir 22 gadi), bet šajā parauglaukumā koki auguši stipri lēnāk - vidējais koku caurmērs konstatēts 11,8 cm un vidējais koku augstums 15,3 m (2020.gads) (2.5. att.).

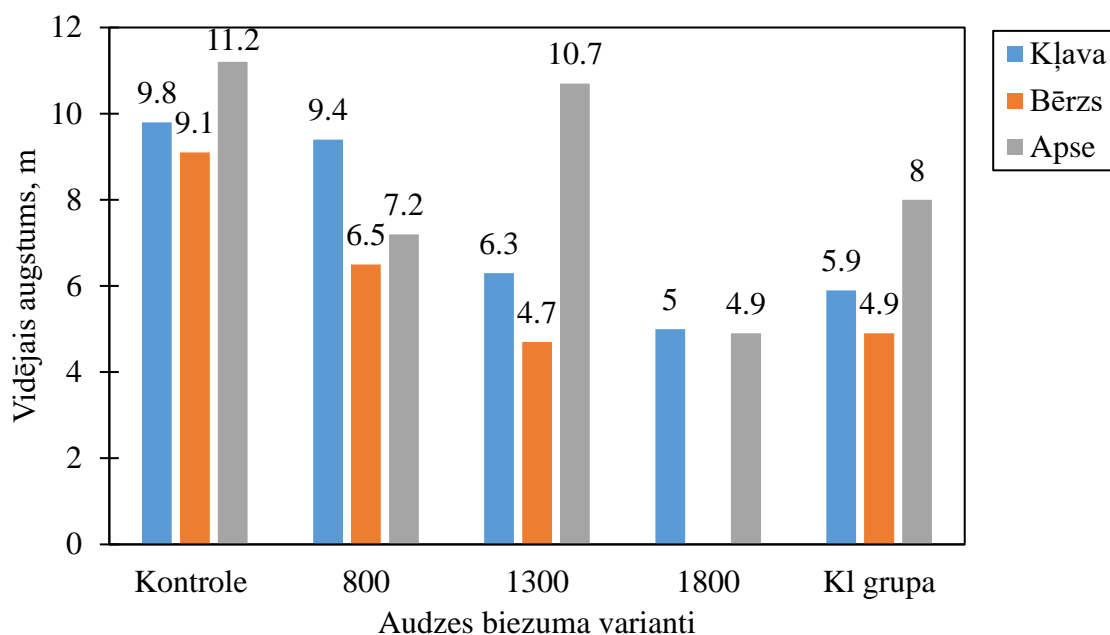
Salīdzinot kļavas vidējos rādītājus nekopts/kontroles parauglaukumos pēc trim veģetācijas sezonām kļavas audzēs novērojamas nozīmīgas atšķirības starp objektiem (2.6. att.). Starp visiem objektiem novēro būtiskas atšķirības starp vidējo caurmēru un vidējo augstumu kļavām. Vislielākais vidējais augstums un caurmērs kļavām nekoptā/kontroles parauglaukumā konstatēts 312-103-2 objektā ($h = 15,3 \pm 0,58$ cm; $d = 11,8 \pm 0,83$ m). Arī 107-145-22 objektā konstatēts salīdzinoši liels vidējais augstums kļavām ($11,1 \pm 1,24$ m). Vismazākie vidējie rādītāji kļavām konstatēti diviem kļavas objektiem (505-434-1 un 801-150-12-1) un tie ir līdzīgi – vidējais caurmērs ir $5,2 \pm 0,29$ cm un $4,9 \pm 0,45$ cm, bet vidējais augstums $3,1 \pm 0,30$ m un $3,5 \pm 0,47$ m (2.6. att.).



2.6. att. Kļavas vidējais caurmērs un vidējais augstums kļavas audzēs kontroles/nekopts parauglaukumos (\pm 95% ticamības intervāls) 2020.gadā

Ņemot vērā, ka ir būtiskas atšķirības starp kontroles/nekopts parauglaukumiem, var secināt, ka katrā objektā ir atšķirīgi augšanas apstākļi un dažādu faktoru kopums, kas ietekmē augšanu, tāpēc, lai novērtētu dažādu sākotnējo biežumu ietekmi uz koku augšanu, salīdzinātas augšanas starpības (sākotnējā biežuma variants un kontroles/nekopts rezultāti). Nekopts/kontroles parauglaukumos konstatētas mistraudzes ar kļavu, bērzu, apsi un citām lapu koku sugām – baltalksni, pīlādzi, krūkli kā arī egli.

Citu sugu piemistrojums konstatēts arī ierīkotajos biežuma variantos, tomēr tas ir neliels. Galvenokārt visos variantos kļavas aug mistrojuma ar bērzu un apsi, tāpēc salīdzināti vidējie koku augstumi starp šīm sugām visos variantos (2.7. att.). Konstatēts, ka lielākajā daļā variantu, kļava aug zem bērza un apses. Tomēr izkopjot līdz 800 koki ha⁻¹, kļavas ir dominējošā koku suga, kā arī 1300 koki ha⁻¹ un 1800 koki ha⁻¹ kļava konkurē ar apsi (2.7. att.).

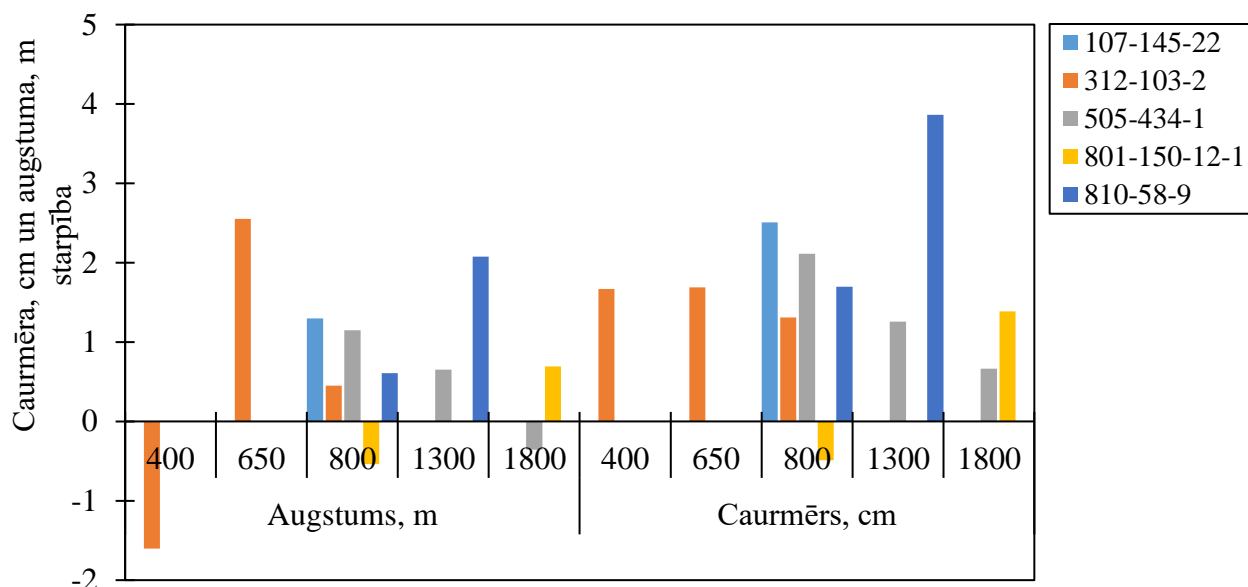


2.7. att. Vidējais koku augstums kļavas audzēs starp biežāk sastopamajām mistrojuma sugām 2020. gadā

Parauglaukumi ar dažādiem biežumiem 800 – 1800 koki ha⁻¹, kontrole – nekopts, K1 grupa – kļavas atstātas grupās.

Divos variantos (400 koki ha⁻¹ un 650 koki ha⁻¹) nav citu koku sugu piemistrojums – kļavas vidējais augstums ir 13,7 un 17,9 m (audžu vecums 22 un 24 gadi).

Salīdzinot dažādus kopšanas variantus (kādu sākotnējo biežumu saglabāt parauglaukumā), secināts, ka izkopjot līdz 800 koki ha⁻¹ nodrošina ievērojamu kļavu vidējā augstuma (0,9 m) un caurmēra pieaugumu (1,9 cm) četros analizētajos objektos, izņemot vienu objektu (801-150-12- 1), kur konstatētas negatīvas vērtības ($h = - 0,5$ m; $d = - 0,5$ cm) pret kontroles/nekopts parauglaukumu (2.8. att.). Arī divos ierīkotajos parauglaukumos ar biežumu 650 koki ha⁻¹ novēroja pozitīvu pieaugumu caurmēram (1,7 cm) un augstumam (2,6 m), salīdzinot ar kontroles/nekopts parauglaukumiem.

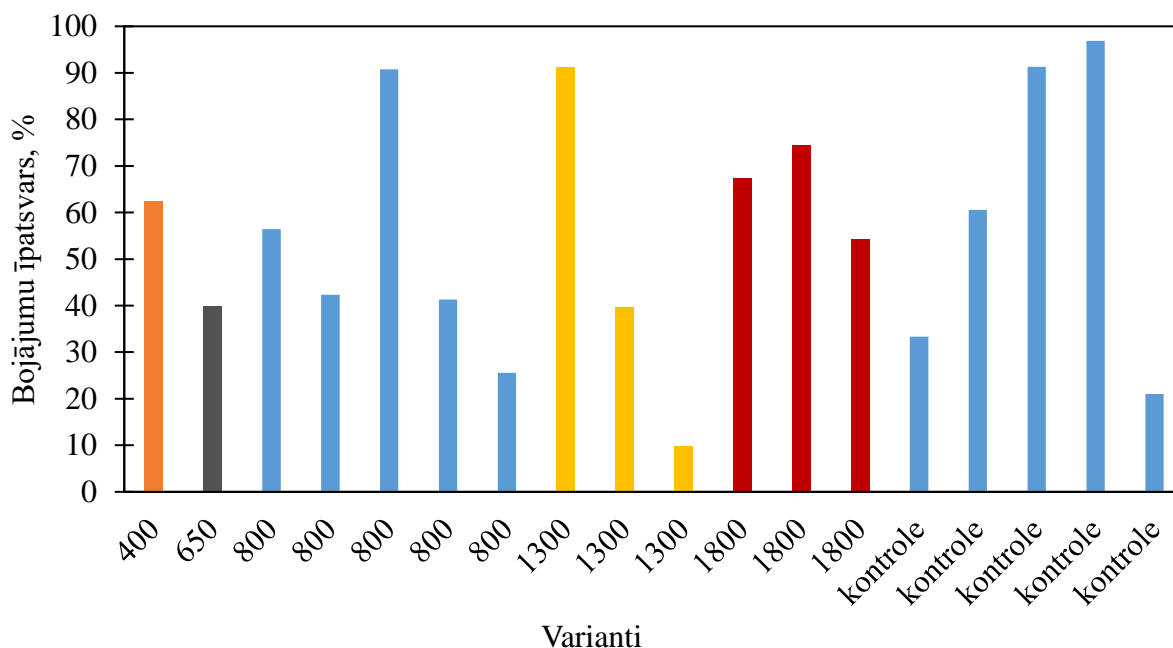


2.8. att. Kļavas vidējā caurmēra un vidējā augstuma starpība kļavas audzēs dažādos variantos (400 – 1800 koki ha⁻¹) 2020. gads

Vislabākā kļavu augšana novērota vienā objektā (810-58-9), kurā izkopts līdz 1300 koki ha⁻¹ iegūtas vislielākās pozitīvās starpības starp kļavu vidējiem caurmēra (3,9 cm) un augstuma (2,1 m) rādītājiem. Visretākajā objektā (400 koki ha⁻¹) novēroja pozitīvu caurmēra pieaugumu (starpība 1,7 cm), bet koku augstums (-1,6 m) šajā variantā atpaliek no kontroles/nekopts parauglaukumā augušajām kļavām. Izkopjot līdz 1300 koki ha⁻¹ kļavu vidējais augstums bija 1,4 m un caurmērs konstatēts 2,6 cm. Arī izkopjot līdz 1800 ha⁻¹ konstatēts vidējā caurmēra pieaugums (1,0 cm), bet augstuma pieaugums kļavām vienā objektā konstatēts pozitīvs (0,7 m), bet otrā negatīvs (-0,4 m). Vairākos objektos kļavas atstātas grupās – salīdzinot iegūtos rezultātus ar kontroles datiem, kļavas augstumam un caurmēram nav novērojama konkrēta augšanas tendence (pie pozitīva augstuma pieauguma, novērojams pozitīvs caurmēra pieaugums, bet novērots arī negatīvs augstuma un caurmēra pieaugums).

Dažādos kopšanas intensitātes variantos salīdzināts bojāto un veselo koku īpatsvars ar kontroles/nekopts parauglaukumiem, lai novērtētu kā kopšanas intensitātes ietekmē bojājuma īpatsvaru audzē (stumbra bojājumi – mizas nobrāzumi, galotņu/dzinumu apkodumi, nolauzta galotne). Bojātajiem kokiem bieži novērotas divas galotnes un padēlus.

Bojājumu intensitāti kļavām pa pētījuma objektiem variē vidēji no 25 līdz 82% (vidēji 53% starp visiem objektiem). Divos objektos konstatēta īpaši augsta bojājumu intensitāte (71% un 81%), tāpēc arī vērtējot starp variantiem novērojamas krāsas atšķirības (2.9. att.).



2.9. att. Kļavas bojājumu īpatsvars kļavas audzēs dažādos variantos
(400 – 1800 koki ha⁻¹) 2020. gads

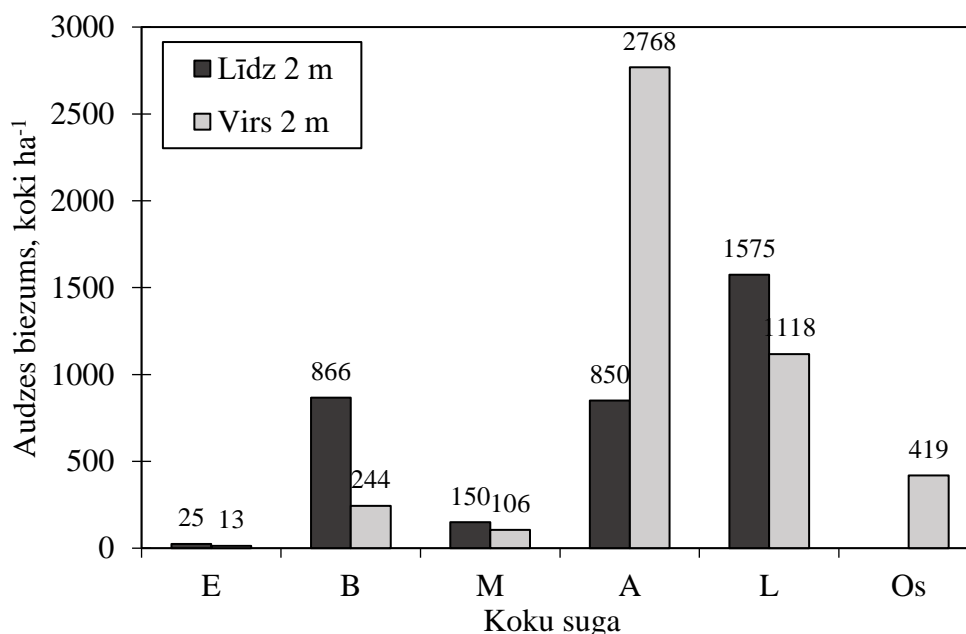
Starp objektiem vidējais bojāto kļavu īpatsvars kontroles/nekopts parauglaukumos bija 61% (no 21% līdz 91%), 800 koki ha⁻¹ 51% (25% līdz 91%), 1300 koki ha⁻¹ 47% (10% līdz 91%), 1800 koki ha⁻¹ 65% (54% līdz 67%) (2.9. att.).

Salīdzinot dažādus kopšanas variantus (kādu sākotnējo biezumu saglabāt parauglaukumā), secināts, ka arī intensīvi kopjot (650 koki ha⁻¹; 800 koki ha⁻¹) kļavas labi reaģē, nodrošinot pozitīvu caurmēra un augstuma papildpieaugumu trīs veģetāciju sezonu laikā (pret kontroles/nekopts parauglaukumiem). Izņemot vienu objektu, kur konstatētas negatīvas starpības vērtības – visdrīzāk tā ir audzes reakcija uz kopšanu, kas novērota arī citos šāda veida pētījumos (pirmajos gados pēc kopšanas koku augšana ir lēnāka). Bojāto kļavu īpatsvars atkarībā no audzes biezuma pēc kopšanas nav iespējams konstatēt, jo ir ļoti atšķirīgi rezultāti starp objektiem, liecinot par pārnadžu populācijas blīvuma atšķirībām konkrētajā vietā.

Liepas

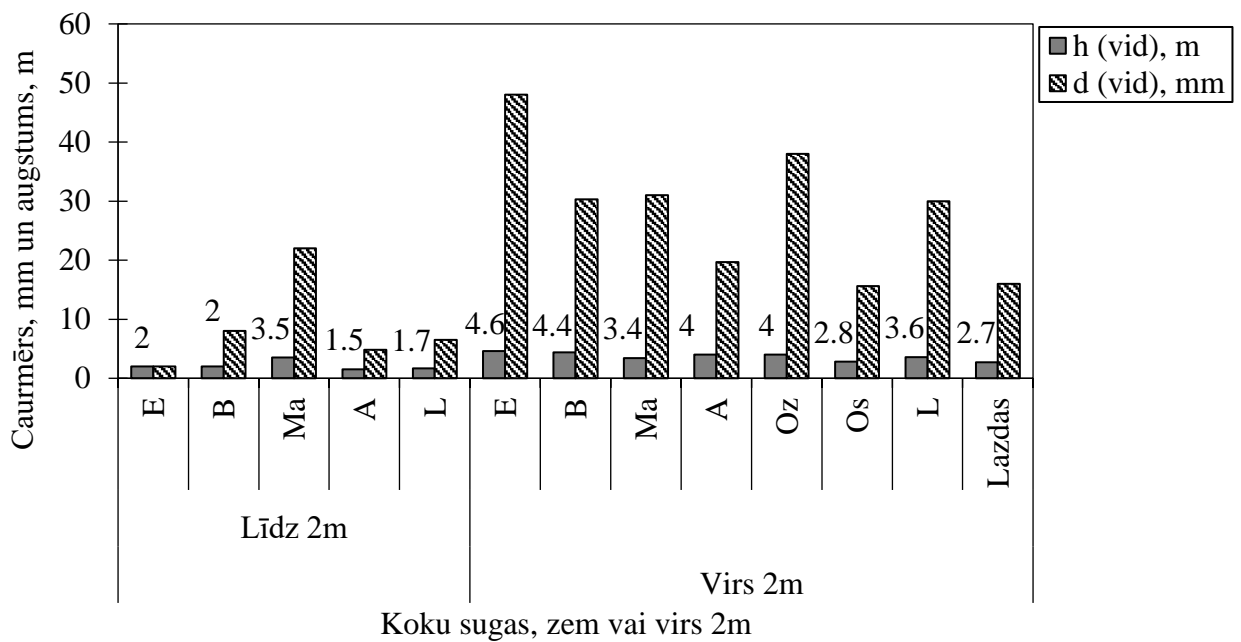
Ierīkotajos parauglaukumos veikta uzmērīšana un kopšana, saglabājot sākotnēji noteiktos audzes biezumus no 2016. līdz 2020. gadam. Pirmā kopšana liepas audzēs veikta 2016. gada novembrī un decembrī. Pēc tam audzes regulāri apsekotas un veikta atkārtota kopšana tajos parauglaukumos, kur tas bija nepieciešams (citu koku sugu augstums tuvs liepas augstumam) laika posmā no 2018. līdz 2020. gadam.

Pēc sākotnējās uzmērīšanas liepas audzes iedalītas divās grupās – audzes, kur vidējais liepu augstums ir līdz 2 m un audzes, kur vidējais liepu augstums ir virs 2 m. Uzmērītajos parauglaukumos konstatēts, ka daļā objektu valdošā koku suga bija apse, kā arī bērzs, bet paaugā konstatēts relatīvi augsts liepu biežums (atkārtoti izveidojušās atvases kokiem kopš iepriekšējās kopšanas – vidēji 3250 koki ha⁻¹ audzēs ar augstumu līdz 2 m. Sākotnējais liepu biežums audzēs ar augstumu virs 2 m augstuma vairāk kā 13 000 koki ha⁻¹ (2.2. att.).



2.2. attēls. Sākotnējais (pirms kopšanas) biežums un sugu sastāvs parauglaukumos liepas audzēs ar vidējo augstumu līdz un virs 2 metriem (E-egle; B-bērzs; M-melnalksnis; A-apse; L-liepa, Os-osis)

Kontroles parauglaukumos līdz 2 m augstumam liepu vidējais augstums konstatēts 1,7 m, bet no 2 m augstuma liepu vidējais augstums konstatēts 3,6 m. Egle (2,0 m), bērzs (2,0 m) un melnalksnis (3,5 m) sasniedza lielākos vidējos augstumus līdz 2 m augstumam, bet virs 2 m augstumam augstumā visvairāk izaugušas egles (4,6 m), bērzi (4,4 m) un liepas (3,6 m) (2.3. att.).

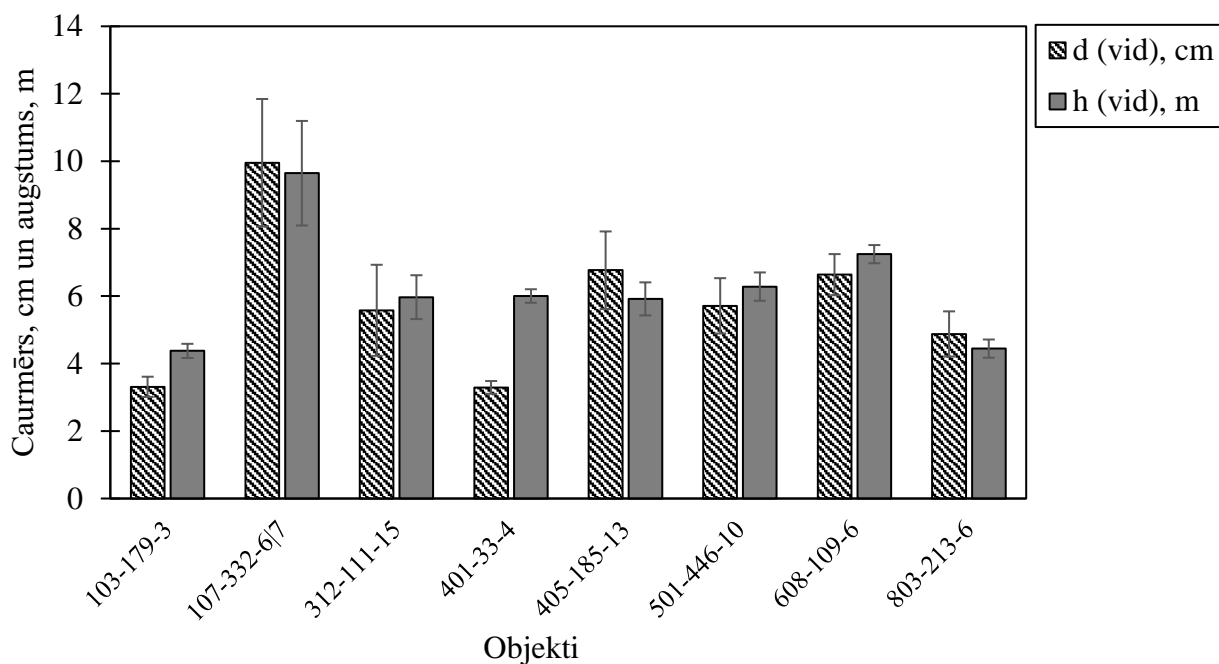


2.3. att. Kokaudzes raksturojums liepas audzēs – vidējais caurmērs (d, mm) un vidējais augstums (h, m)

Liepas vidēji ir nedaudz zemākas audzēs ar vidējo augstumu virs 2 m nekā tajās konstatētie bērzi vai apses (2.3. att.). Audzēs, kur kokaudze ir virs 2 m augstuma, novērojams lielāks koku caurmērs un citu koku sugu piemistrojams. Arī paaugā, lielāks citu sugu piemistrojums konstatēts audzēs, kur kokaudze ir virs 2 m augstumam – ienāk arī tādas koku sugas kā kārklis, pīlādzis, ieva, blīgzna, u.c.. Paaugas koku skaits ir atkarīgs no valdaudzes vecuma, tātad koku vidējā augstuma un no tā cik gadi ir pagājuši kopš pēdējās jaunaudžu kopšanas.

Liepas audzēs ar augstumu līdz 2 m pirms kopšanas liepas vidēji bija 45% no kopējā audzes biežuma un to vidējais augstums uz pusi atšķīrās (49% atšķīrības no augstākajiem kokiem) no citu koku sugu vidējiem augstumiem. Pirms kopšanas audzēs ar vidējo augstumu virs 2 m liepas aizņem ceturtdaļu (24%) no kopējā audzes biežuma, kaut arī liepu vidējā augstuma atšķīrības nav tik nozīmīgas (22% atšķīrības no augstākajiem kokiem).

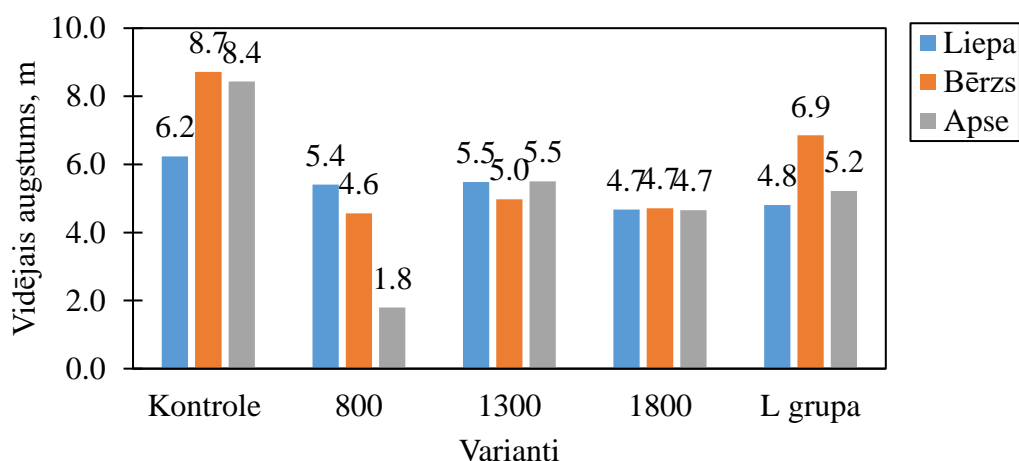
Nekopts/kontroles parauglaukumos salīdzināti vidējais caurmērs un vidējais augstums pētījuma ierīkošanas brīdī (2016. gads) ar šī brīža situāciju. Vidējais koku augstums nekopts/kontroles parauglaukumos liepas audzēs pieaudzis no 4,6 m līdz 7,5 m, bet vidējais caurmērs no 3,7 līdz 5,9 cm. Liepas vidējais caurmērs un vidējais augstums (d = 5,8 cm; h = 6,2 m) nekopts/kontroles parauglaukumos pēc četrām veģetācijas sezonām liepas audzēs būtiski atšķiras starp objektiem (2.10. att.).



2.10. att. Liepas vidējais caurmērs un vidējais augstums liepas audzēs kontroles/nekopts parauglaukumos ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) 2020. gads

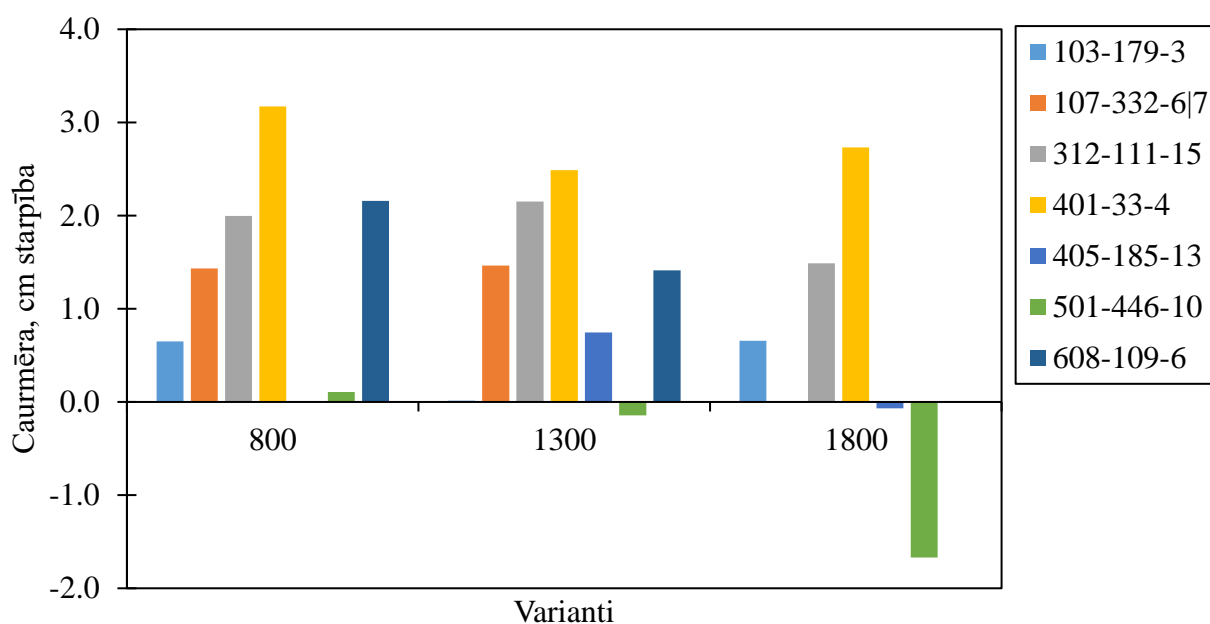
Vislielākais vidējais augstums un caurmērs liepām nekoptā/kontroles parauglaukumā konstatēts 107-332-6|7 objektā ($h = 9,7 \pm 1,55$ m; $d = 10,0 \pm 1,89$ cm).

Tāpat kā kļavas audzēs, arī liepas audzēs konstatēta mistraudze ar bērzu un apsi, tomēr liepas audzēs konstatēts, ka piemistrojumā (800 līdz 1800 koki ha^{-1} , liepas grupas un kontroles/nekopts parauglaukumi) liepas aug zem bērza un apses, izņemot gadījumā, kad izkopj līdz 800 koki ha^{-1} (2.11. att.). Izkopjot līdz 1300 koki ha^{-1} un 1800 koki ha^{-1} liepas stipri konkurē ar bērzu un apsi.



2.11 att. Vidējais koku augstums mistrojuma sugām liepas audzēs 2020. gadā
 Parauglaukumi ar dažādiem biežumiem 800 – 1800 koki ha^{-1} , kontrole – nekopts,
 L grupa – liepas atstātas grupās.

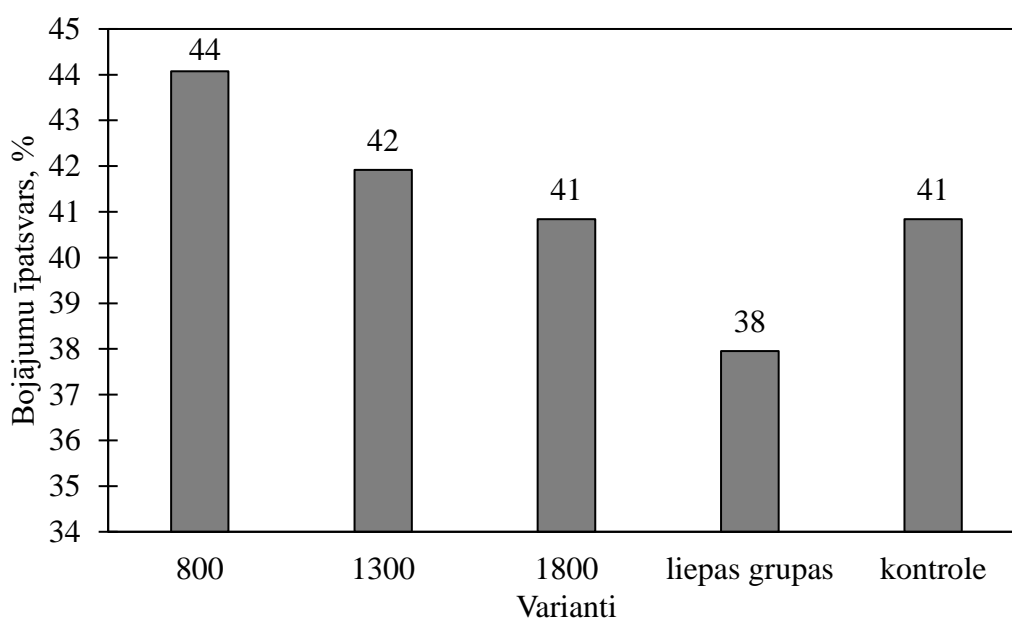
Salīdzinātas dažādu kopšanas variantu (kopjot atbilstoši sākotnējam biežumam) starpības (sākotnējā biežuma variants un kontroles/nekopts rezultāti), lai novērtētu augšanu rezultātu starp dažādiem variantiem. Izkopjot līdz 800 koki ha⁻¹ iegūtas pozitīvas caurmēra starpības (1,6 cm) visos analizētajos objektos liepām, bet vidējais augstuma pieaugums pret kontroles/nekopts parauglaukumiem ir negatīvs (-0,3 m). Līdzīgu tendenci novēro arī izkopjot līdz 1300 koki ha⁻¹, kad konstatēts pozitīvs vidējā caurmēra pieaugums (1,2 cm) liepām pret kontroles/nekopts parauglaukumiem, bet pret vidējo augstumu tas ir negatīvs (-0,3 m) (2.12. att.).



2.12. att. Liepas vidējā caurmēra starpība liepas audzēs dažādos variantos (800 – 1800 koki ha⁻¹) 2020. gadā

Izkopjot līdz 1800 koki ha⁻¹ var novērot, ka liepas reaģē atšķirīgi – trīs objektos novērojamas pozitīva vidējā caurmēra starpība (1,6 cm) liepām, bet divos objektos tā ir negatīva salīdzinot ar kontrole/nekopts parauglaukumiem (-0,9 cm). Arī liepu grupās salīdzinot iegūtos rezultātus ar kontroles datiem nav novērojama konkrēta augšanas tendence – novērojamas gan pozitīvas, gan negatīvas vidējo vērtību starpības vidējam caurmēram (no -2,2 līdz 0,7 cm) un vidējam augstumam (no -1,9 līdz 0,5 cm).

Bojājumu īpatsvars liepas objektos variē vidēji no 22% līdz 76% (vidēji 42% starp visiem objektiem). Divos objektos bojāto liepas īpatsvars objektā ir virs 50 % - 107-332-6|7 (64%) un 501-466-10 (66%).



2.13. att. Liepas bojājumu īpatsvars liepas audzēs dažādos variantos (800 – 1800 koki ha⁻¹) 2020. gadā

Vidēji, intensīvāk koptos parauglaukumos (800 koki ha⁻¹) bojājumu īpatsvars ir nedaudz augstāks (44%) salīdzinot ar citiem variantiem, tomēr tas ir līdzīgs kā kontroles/nekopts parauglaukumos, jo kontroles/nekopts parauglaukumos konstatēts līdzīgs audzes biezums. Liepām konstatētas dažādas koksnes vainas un bojājumi – stumbra bojājumi,

Izvērtējot atšķirīgus sākotnējo biezumu variantus liepas audzēs, secināts, ka liepa ļoti labi reaģē uz intensīvu kopšanu (800 koki ha⁻¹), nodrošinot pozitīvu caurmēra papildpieaugumu (pret kontrole/nekopts parauglaukumiem) pēdējo četru veģetācijas sezonu laikā. Koptajos parauglaukumos bojāto koku īpatsvars ir nedaudz lielāks kā kontroles/nekopts un liepas grupas parauglaukumos, norādot, ka biezuma ietekme nav tik nozīmīga, kā kļavas audzēs.

Pieaugušas liepas

Materiāls un metodes

Lai novērtētu sākotnējā biezuma ietekmi uz kokaudzes vidējiem rādītājiem – koku caurmēru un koku augstumu ilgtermiņā (ilgāk par 3 veģetācijas sezonām), ierīkoti trīs parauglaukumi vecākos liepas stādījumos - Šķēdē (15.kv. 10.nog) sākotnējais stādīšanas biezums bijis 625 koki ha⁻¹ (vecums 53 gadi), stādījumā Auce1 2500 koki ha⁻¹ (vecums 79 gadi), stādījumā Auce2 3300 koki ha⁻¹ (vecums 79 gadi).

Rezultāti

Vislielākais vidējais caurmērs konstatēts Šķēdes stādījumā ($27,8 \pm 1,3$ cm). Būtiski mazāki vidējie caurmēri stādījumā Auce1 ($20,7 \pm 1,3$ cm) un Auce2 ($18,7 \pm 1,8$ cm). Lielākais vidējais koku augstums konstatēts Šķēdes stādījumā ($21,4 \pm 0,6$ m). Līdzīgi, kā ar vidējo caurmēru, arī vidējais augstums Auce1 ($18,3 \pm 0,9$ m) un Auce2 ($17,7 \pm 1,4$ m) stādījumos ir būtiski mazāks kā Šķēdē, kur stādīšanas biežums un audzes vecums ir mazāks. Lielākā vidējā krāja konstatēta stādījumā Auce1 (734 ± 112 m³ha⁻¹), mazākas krājas ir stādījumā Auce2 (530 ± 247 m³ha⁻¹) un Šķēdes stādījumā (274 ± 37 m³ha⁻¹), bet šīs atšķirības nav būtiski atšķirīgas, jo novērojama liela datu izkliede.

KOPSAVILKUMS

Izvērtējot iegūtos datus vecākos liepas stādījumos, konstatētas līdzīgas sakarības kā jaunākos parauglaukumos – audzējot retāk (625 koki ha⁻¹) koki sasniedz lielākas dimensijas – vidējais caurmērs $27,8 \pm 1,3$ cm un vidējais augstums $21,4 \pm 0,6$ m – kā biežākos stādījumos 2500 - 3300 koki ha⁻¹.

Palielinoties globālo procesu ietekmei uz mežiem un ekosistēmu kopumā, ir jābūt gataviem jauniem klimatiskiem un saimnieciskiem izaicinājumiem, laicīga kopšanas modeļu izstrāde koku sugām, kuras tradicionālajā mežsaimniecībā netiek uzskatītas par audzi veidojošām sugām, nodrošina gatavību dominējošo sugu maiņas scenārijiem klimata pārmaiņu kontekstā.

Ierīkotie parauglaukumi sniedz vērtīgu informāciju nākotnes darbību plānošanai. Šobrīd visi ierīkotie parauglaukumi ir kvalitatīvi un var kalpot turpmākai pētnieciskajai analīzei. Visiem ierīkotajiem eksperimentiem ir sagatavoti .shp faili, kas ļauj viegli identificēt to ārējās robežas dabā un norādīt kopšanas pakalpojumu sniedzējiem teritoriju, kurā kopšanas darbības nav jāveic.

Secinājumi

1. Liepai un kļavai konstatēta nozīmīga un pozitīva koku vidējā caurmēra un augstuma pieauguma atsaucē reakcija uz kopšanu.
2. Ļoti intensīva kopšana palielina dzīvnieku radītu bojājumu risku paliekošajiem kokiem, kas savukārt samazina koku izdzīvošanas potenciālu (vēja, sniega radītu bojājumu risks ievērojami palielinās).

3. Briežu dzimtas dzīvnieku radīto bojāju mazināšana nav uzskatām par argumentu augstāka audzes biezuma saglabāšanai, jo biežumam pēc kopšanas nebija statistiski būtiska ietekme uz liepu vai kļavu ar stumbra mizas bojājumiem īpatsvaru.

Rekomendācijas

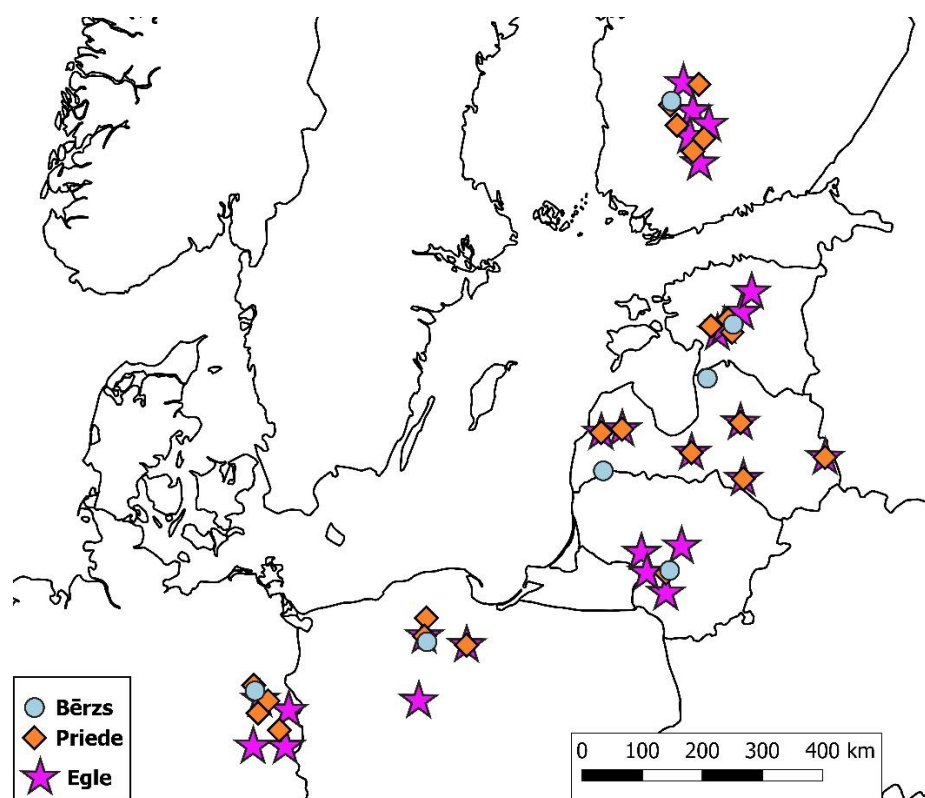
1. Ierīkotajos eksperimentos nākamajā piecgadē veikt nepieciešamo kopšanu, turpinot labo sadarbības praksi starp LVM mežkopjiem un pētījuma grupas dalībniekiem. Palielināt paraugkopu, ierīkojot vēl vismaz 6 eksperimentus katras vērtētas koku sugas audzēs, kas nodrošinās iespēju ar piecu gadu intervālu novērot izmaiņu dinamiku un veikt sākotnējo secinājumu verifikāciju. Perioda beigās veikt pārmērīšanu un liepas un kļavas jaunaudzū kopšanas vadlīniju izstrādi praksei un likumdošanas papildināšanai.
2. Saglabāt ierīkotos eksperimentus (arī vecajās liepas audzēs) ilgtermiņā, novērtējot tajos papildpieaugumu, radiālo pieaugumu limitējošos meteoroloģiskos faktorus, ievācot un analizējot informāciju par stumbra mizas bojājumu ietekmi uz nākotnes audzi un koku izdzīvošanas potenciālu (lauču veidošanos), kā arī raksturot koku vainagu attīstības dinamiku un tās ietekmi uz stumbra kvalitāti un retināšanu nepieciešamību.
3. Izvēloties veidot liepas vai kļavas audzes, ņemt vērā pārnadžu populācijas blīvums konkrētajā teritorijā, jo bojāto koku īpatsvars kopumā bija augsts un būtiski atkarīgs no objekta (atrašanās vietas). Saskaņā ar sākotnējo novērtējumu, par perspektīviem uzskatāmi biežumi 800–1300 koki ha⁻¹ liepai un 650–1300 koki ha⁻¹ kļavai.

3. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā.

Bērza radiālā papildpieauguma atbildes reakciju uz meteoroloģiskajiem faktoriem reģionālais plastiskums

Materiāls un metodes

Lai raksturotu meteoroloģisko faktoru ietekmi uz bērza gadskārtu platumu, kā arī pieauguma reakcijas plastiskumu Baltijas jūras austrumu reģiona klimatiskajā gradientā, nosprausta ~1500 km gara transekte. Transekte šķērsoja reģionu no Somijas dienvidiem līdz Vācijas ziemeļiem (3.1. attēls). Gar transekti atlasītas septiņas bērza audzes ($\geq 80\%$ no krājas), kas atbilda sugai tipiskiem apstākļiem (damaksnis). Atlasītās audzes atradās saimnieciskos mežos. Audžu atlase veikta, lai raksturotu reģionālo klimatisko gradientu. Audžu vecums bija no 60–130 gadiem, audzēs novērots neliels citu sugu (priede, egles, bērzs un apse) piemistrojums. Izvēlētas audzes reprezentē Latvijā pagātnē un tuvākajā nākotnē sagaidāmos klimatiskos apstākļus. Aužu klimatiskais raksturojums parādīts 3.1. tabulā. Ģeogrāfiskais augstums visās audzēs bija salīdzinoši neliels (< 450 m v.j.l.).



3.1. attēls. Paraugoto priedes, egles un bērza audžu izvietojums.

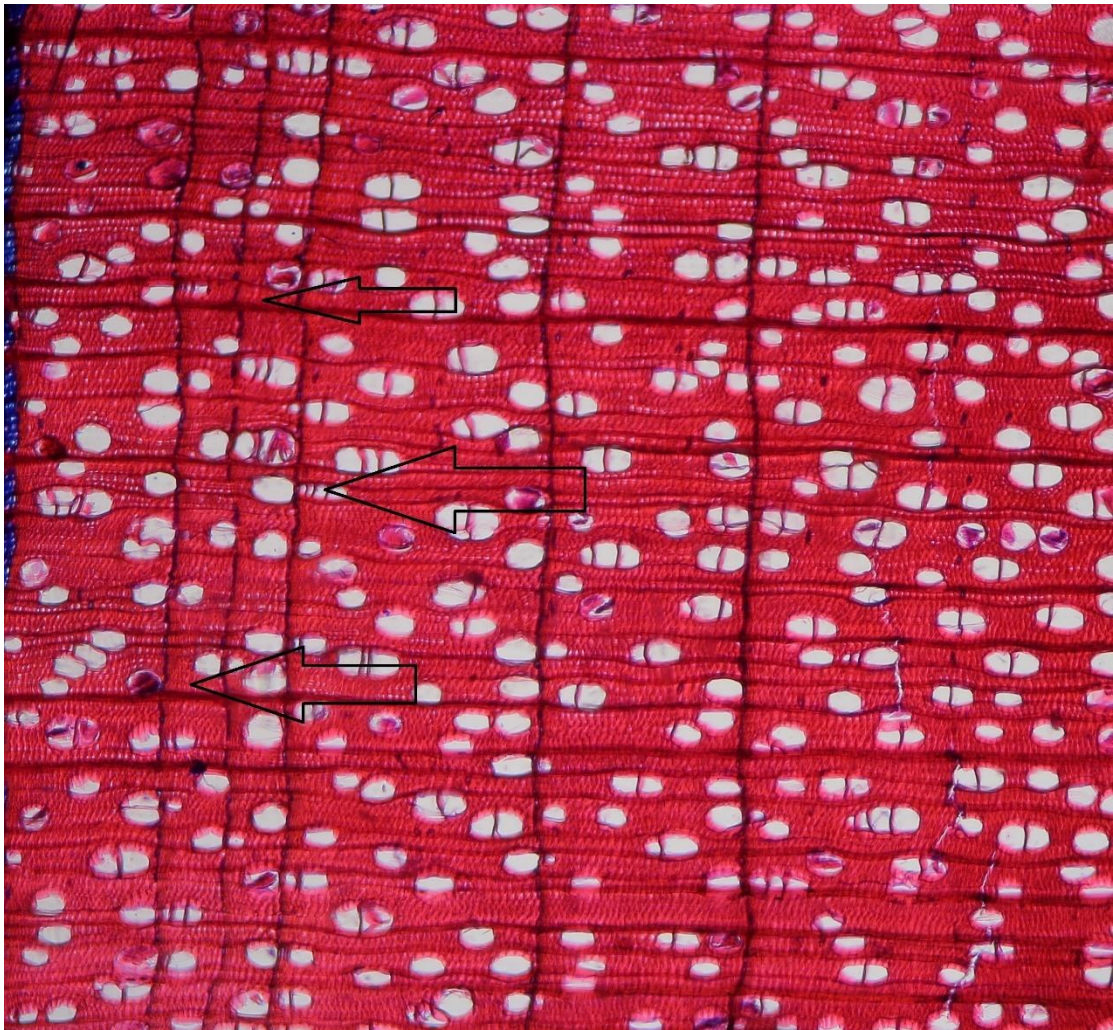
Katrā audzē no 10–30 valdošajiem kokiem (I–II Krafta klase) ar Preslera svārpstu 1,3 m augstumā ievākti divi urbumi no nejaušām pretējām stumbra pusēm. Sagāzušies koki netika

paraugoti, lai izvairītos no reakcijas koksnes, kas nereprezentē pieauguma mainību audzē. Paraugi izžāvēti un ielīmēti fiksācijas planšetēs. Ņemot vērā, ka bērzam raksturīgas neizteiktas gadskārtu robežas, koksnes paraugu sagatavošanai mērījumiem izmantotas mikroskopijas un kvantitatīvās koksnes anatomijas metodes (von Arx et al., 2016; Gärtner, Schweingruber, 2013).

3.1. Tabula. Pētīto audžu vidējie klimatiskie rādītāji pa valstīm.

| | Igaunija (EST) | Somija (FIN) | Vācija (GER) | Latvija (LAT) | Lietuva (LIT) | Polija (POL) |
|--------------------------------------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Vidējā gada temperatūra | 6.3 | 4.3 | 9.9 | 6.6 | 7.5 | 8.4 |
| Vid. gada temp. st. nov. | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.64 | 0.6 | 0.7 |
| Vid. temp. feb. | -3.9 | -6.4 | 2.1 | -2.5 | -2.3 | 0.4 |
| Vid. temp. Jul. | 17.9 | 16.7 | 19.3 | 17.9 | 18.7 | 17.9 |
| Vid. temp Mai.–Sep. | 14.5 | 13.1 | 16.9 | 15.2 | 15.7 | 15.4 |
| Gada nokrišņu summa | 698. | 578 | 593 | 760 | 634 | 645 |
| Gada nokrišņu summa, st. nov. | 81 | 64 | 77.5 | 81 | 71 | 81 |
| Nokrišņu summa Mai. - Sep. | 327 | 299 | 300.1 | 335 | 334 | 338 |
| Nokrišņu summa Mai. - Sep., st. nov. | 65 | 59 | 66.7 | 63 | 63 | 70.23 |

No katra parauga ar urbumu mikrotomu (Gärtner, Nievergelt, 2010) iegūts ~30–40 µm biezs šķērsriezums (von Arx et al., 2016). Lai izceltu kontrastu starp agrīno un vēlīno koksni, atvieglojot gadskārtu robežu atpazīšanu, paraugi krāsoti ar Astra zilā un safranīna maisījuma ūdens šķīdumu (1:1:100). Paraugi eksponēti krāsvielā divas minūtes, pēc tam skaloti ar ūdeni un 70% un 96% etilspirtu. Lai novērstu paraugu izžūšanu un nodrošinātu to fiksēšanu uz priekšmetstikla, tie pārklāti ar 50% glicerīna ūdens šķīdumu. Paraugu apstrādes protokols atbilst Gärtner, Schweingruber (2013) aprakstītajam. Gadskārtu platums mērīts manuāli izmantojot LINTAB6 mērgaldu (RinnTech, Heidelberg, Vācija) ar precizitāti līdz 0.01 mm. Izmantotā paraugu sagatavošanas metode ļāva identificēt un nomērīt arī ekstrēmi šauras gadskārtas, kuras nebūtu iespējams ieraudzīt uz paraugu virsmas (3.2. attēls).



3.2. attēls. Ekstrēmi šauru gadskārtu piemērs bērza šķērsgriezumā. Attēlots fragments no griezuma, kas iegūts Vācijā augošam bērzam. Ar bultiņām parādītas gadskārtas, kuras veido ≤ 12 šūnu slāņi. Šādas gadskārtas ir praktiski neiespējami konstatēt neveicot griezumu un krāsošanu, radot būtisku neprecizitāti datējumā un rezultātos kopumā.

Datu analīze

Mērījumu laika rindu kvalitāte un datējums pārbaudīts veicot grafisku un statistisku šķērsdatēšanu izmantojot brīvprogrammu COFECHA (Grissino-Mayer, 2001). Dati koriģēti nepieciešamības gadījumā. Lai raksturotu gadskārtu platuma ikgadējo mainību un tādējādi relatīvo radiālo papildpieaugumu, katrai audzei aprēķinātas atlikuma hronoloģijas. Vispirms, aprēķinātas individuālu koku vidējās laika rindas. Koku vidējās laika rindas divkārt detrendētas ar negatīvo eksponenciālo un trešās kārtas polinomiālo modeli (līkni). Autokorelācijas ietekme noņemta ar pirmās kārtas autoregresīvo funkciju (“ar1”). Audzes hronoloģija aprēķināta izmantojot *biweight robust mean*, kas ir datu kopām ar bimodālu sadalījumu paredzēta vidējo vērtību aprēķināšanas metode (Cook, 1985). Aprēķināto hronoloģiju raksturošanai, aprēķināti

populācijas signāla izpausmes (EPS), signāla stipruma (SNR) un starpsēriju korelācijas (r -bar) rādītāji (Bunn, 2008; Wigley et al., 1984). Hronoloģiju savstarpējās līdzības raksturošanai, veikta uz korelāciju matricu balstīta galvenā komponentu analīze. Gadi uzskatīti kā mainīgie, bet audzes kā paraugi. Galveno komponentu būtiskums novērtēts ar randomizācijas (*Monte Carlo*) metodi veicot 1000 permutācijas. Analīze veikta laika periodam, ko reprezentēja visas hronoloģijas. Analīze veikta katrai sugai atsevišķi.

Lai raksturotu lokālās (audzes) lineārās pieauguma saistības ar meteoroloģiskajiem faktoriem, izmantota Pīrsona korelācijas analīze. Korelācijas koeficientu būtiskums novērtēts iemantojot neparametrisko būtstrapu, veicot 1500 iterācijas (Zang, Biondi, 2012). Slīdošā korelācijas analīze veikta, lai novērtētu pieauguma un meteoroloģisko saistību izmaiņas laikā, tādejādi raksturojot to stacionaritāti (Wilmking et al., 2017, 2020). Slīdošā intervāla garums pielāgots atbilstoši kopējā perioda ilgumam. Analīze veikta kopējam laika periodam. Kā meteoroloģiskie faktori izmantoti mēnešu vidējās temperatūras un nokrišņu summas. Mitruma bilances raksturošanai aprēķināts standartizētais nokrišņu evapotranspirācijas indekss (SPEI; Vicente-Serrano et al., 2010). Meteoroloģiskie faktori apkopoti ietekmes periodā no iepriekšējā jūnija (pirms gadskārtas veidošanās) līdz oktobrim gadskārtas veidošanās gadā. Meteoroloģiskām informācija iegūtā no CRU (Climatic Research Unit) repozitorijā novērojuma stacijām, kas atrodas < 35 km attālumā no pētītajām audzēm. (Harris et al., 2014).

Lai raksturotu galvenos reģionālos radiālo pieaugumu ietekmējošos meteoroloģisko faktoros, kā arī pieauguma atbildes reakcijas plastiskumu un nelinearitāti (Wilmking et al., 2020), izmantots jaukta tipa vispārīgais aditīvais modelis (GAMM; Wood, 2011). Visu audžu dati sapludināti kopējā datu kopā. Kā atkarīgā pazīme izmantots relatīvais radiālais papildpieaugums (atlikuma hronoloģijas vērtības). Kā izskaidrojošie fiksētie mainīgie izmantoti attiecīgie lokālie meteoroloģiskie faktori, tiem pieļaujot trešās pakāpes polinomiālo atbildes reakciju. Tādējādi nodrošinot rezultātu reālismu. Būtiskie faktori atlasīti izmantojot arbitrārās atlasē un bioloģiskā reālisma principus. Audze un gads izmantoti kā pakārtotie nejaušības (*random*) efekti, lai apmierinātu datu neatkarības nosacījumu. Ņemot vērā, ka koku pieauguma atbildes reakcijai vērojamas no vecuma atkarīgas iezīmes (Vieira et al., 2009) un ka analizētas dažāda vecuma audzes, audzes vecums iekļauts modelī kā autokorelācijas (“ar1”) funkcija. Analīze veikta laika posmam no 1954. līdz 2017. gadam, ko satur vairums no hronoloģijām. Matemātiskā modelēšana veikta ar *restricted maximum likelihood* (REML) pieeju. Statistiskās analīzes veiktas programmā R (R Core Team, 2020), izmantojot pakotnes “dplr” (Bunn, 2008), “bootRes” (Zang, Biondi, 2012) un “mgcv” (Wood, 2001).

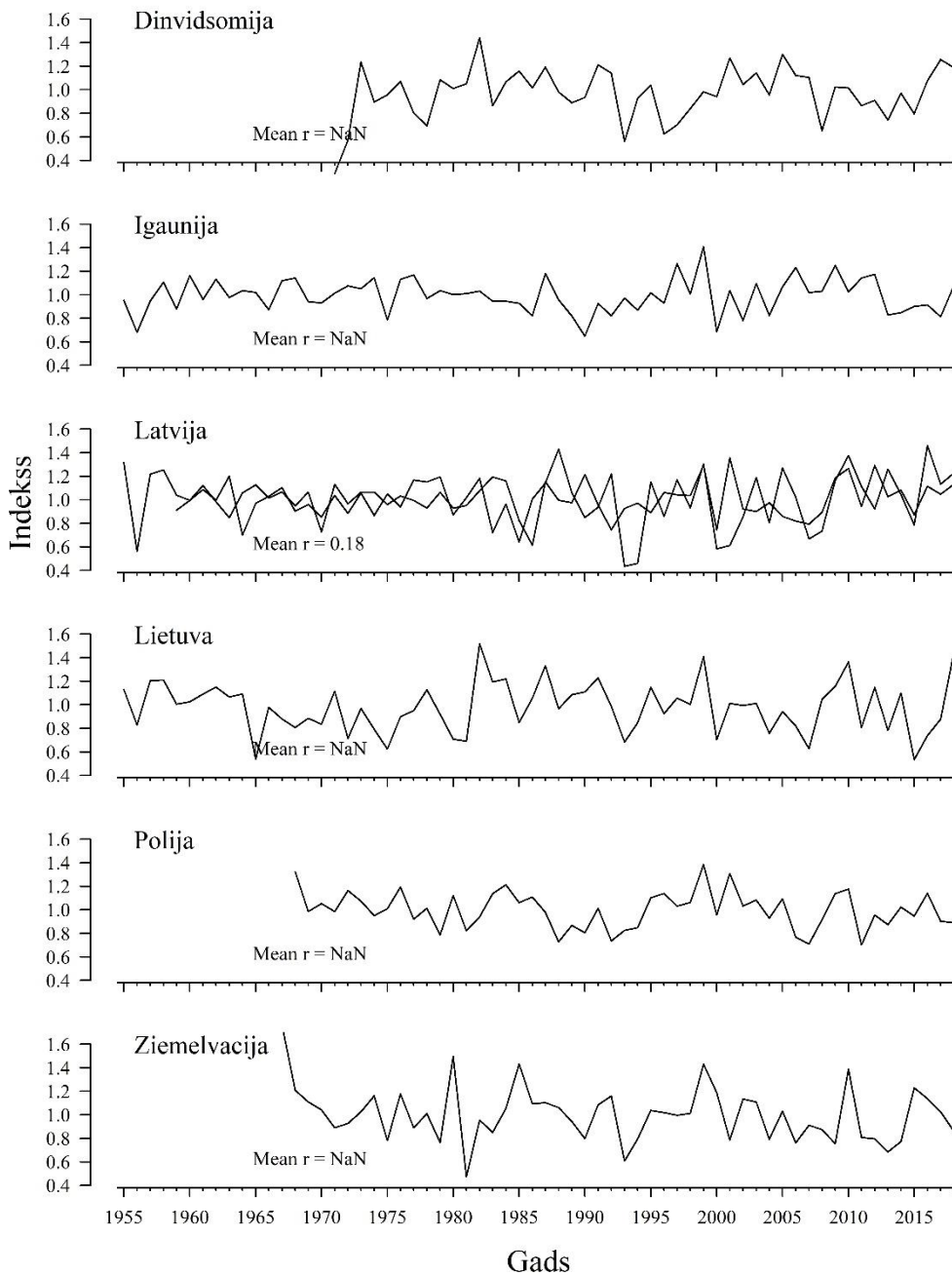
Rezultāti un diskusija

Datu kopas raksturojums

Nomērītās gadskārtu platumu rindas uzrādīja augstu pieauguma ritmu līdzību starp kokiem no vienas audzes (3.2. tabula), un šķersdatēšanu procesā atmesto sēriju īpatsvars bija zems ($\leq 8\%$), apliecinot datu kvalitāti un atbilstību dendroklimatiskai analīzei (Speer, 2010). Kopumā audzes līmenī pieauguma ritmi bija līdzīgi uzrādot vidēju starpsēriju korelāciju ($0,26 < r\text{-bar} < 0,50$), lai gan lokālo faktoru ietekme bija izteikta. Populācijas signāl izpausmes rādītājas vairumā gadījumu pārsniedza 0,85, kas uzskatāms par pietiekamu, lai raksturotu meteoroloģisko faktoru ietekmi uz pieauguma ikgadējo mainību (Wigley et al., 1984). Signāla stiprums raksturojams kā vidējs (Bunn, 2008), kas skaidrojams ar audzes līmeņa faktoru modulējošu ietekmi, kas ir raksturīgas sugas areāla vidusdaļā augošiem kokiem (Speer, 2010). Šādas saistības liecina par bērza radiālā pieauguma jutību pret vides faktoriem. Tomēr signāla stipruma augstākās vērtības novērotas audzēs transektes vidusdaļā. Šādas saistības ir skaidrojamas ar specializāciju pret konkrētiem vides faktoriem metapopulācijas aizņemtajā areāla vidusdaļā, kas pēdējās desmitgadēs strauji mainās, kā arī dēļ bieži notiekošu vides ekstrēmu un atšķirīga faktoru kopuma ietekmes areāla perifērijā (Cavin, Jump, 2017).

3.2. tabula. Gadskārtu datu kopu statistiskie rādītāji.

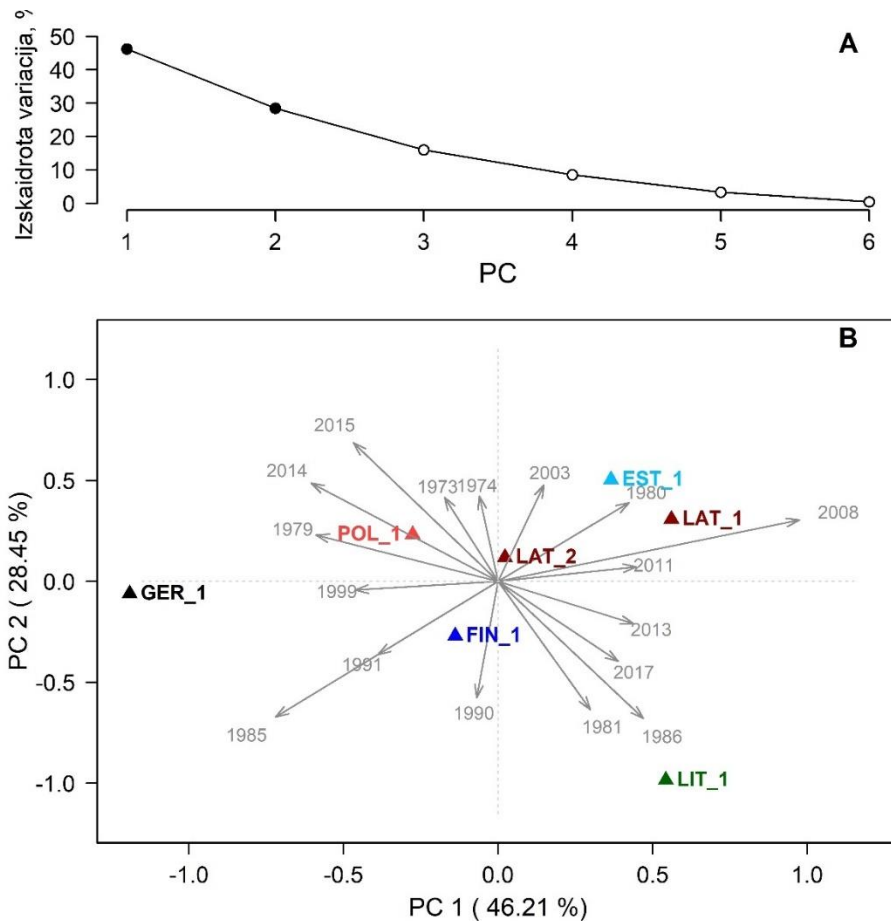
| Audze | Šķersdatēt o sēriju skaits | Vidējais gadskārtu platums, mm | Gadskārt u platuma st. nov., mm | Šķersdatēt o koku skaits | Vidējā starpsērij u korelācija | Populācijas signāla izpausmes | Signāla stiprums |
|-------|----------------------------------|---|--|--------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------|
| FIN_1 | 13 | 1.94 | 1.28 | 12 | 0.32 | 0.86 | 5.23 |
| EST_1 | 12 | 1.88 | 0.94 | 11 | 0.30 | 0.85 | 4.40 |
| LAT_1 | 11 | 2.63 | 1.39 | 12 | 0.31 | 0.85 | 5.16 |
| LAT_2 | 13 | 1.98 | 1.28 | 10 | 0.50 | 0.91 | 9.76 |
| LIT_1 | 14 | 1.94 | 1.02 | 13 | 0.35 | 0.86 | 6.17 |
| POL_1 | 13 | 2.42 | 1.41 | 12 | 0.33 | 0.85 | 5.28 |
| GER_1 | 14 | 2.13 | 1.51 | 13 | 0.26 | 0.84 | 4.09 |



3.3. attēls. Pētīto bērza audžu gadskārtu platuma atlikuma hronoloģijas.

Augsta pieauguma ritmu individualitāte ($r\text{-bar} = 0.22$; 3.3. attēls.) novērota starp pētītajām audzēm, apstiprinot lokālo faktoru ietekmi uz pieauguma jutību pret meteoroloģiskajiem faktoriem. Tomēr, analizēto audžu skaits var pilnībā nereprezentēt lokālas pieauguma mainības iezīmes. Pieaugumu ritmu savstarpējais salīdzinājums galveno komponentu analizē (3.4. attēls) parādīja izteiktu gradientu (pirmā komponente), kas vispārīnot sakrita ar audžu ģeogrāfisko platumu. Pirmās galvenās komponentes vērtības FIN_1 audzei neatbilda ģeogrāfiskajam novietojumam, kas visticamāk skaidrojams ar pēcdeduslaikmeta veģetācijas rekolonizāciju un piederību citai metapopulācijai (Hewitt, 1999). Otrā galvenā komponente izdalīja LIT_1 audzi, kurai raksturīgas platas gadskārtas 1981. un 1986. gados, kad

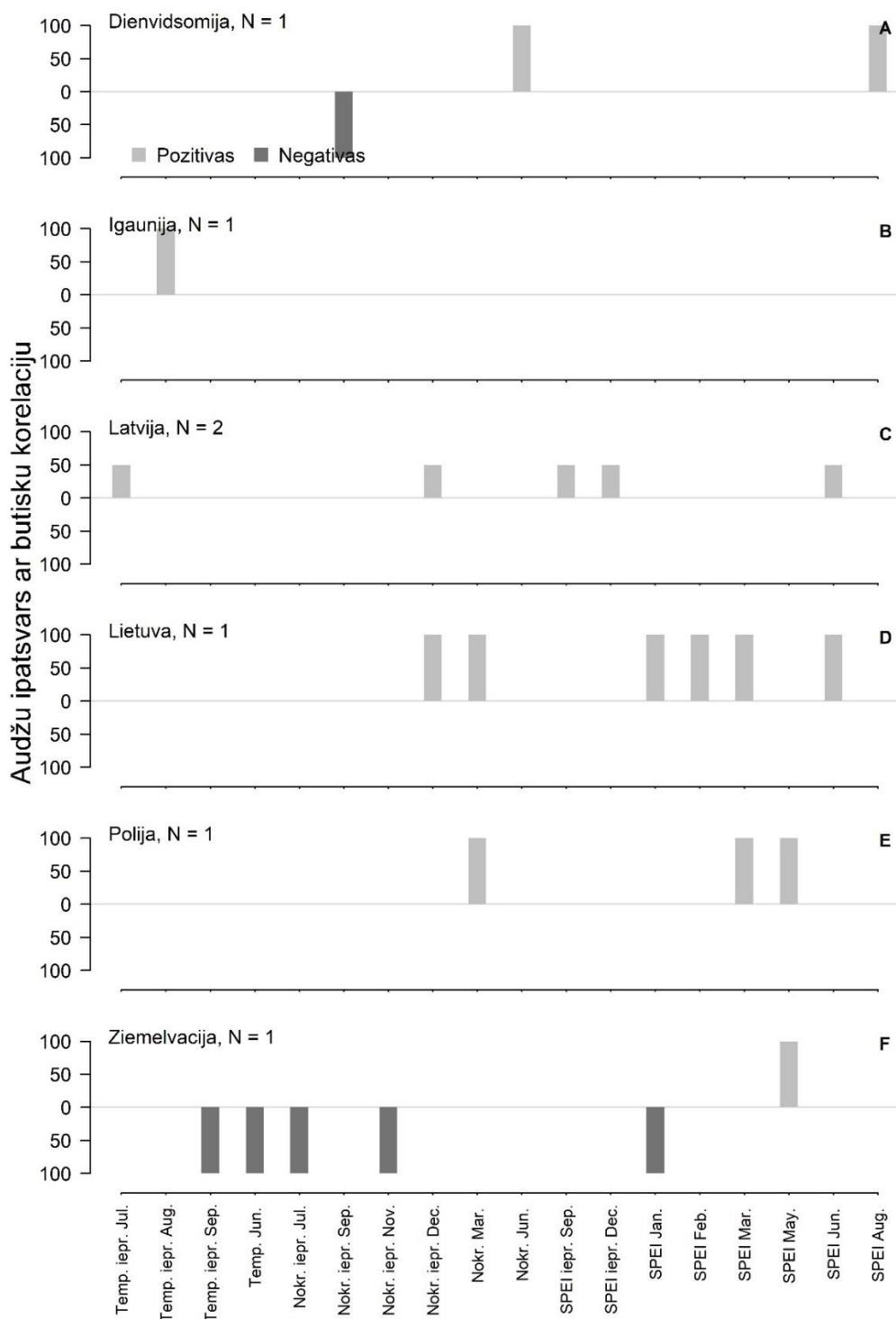
novērots ekstrēmi silts pavasaris, kas, iespējams, varētu liecināt par atšķirībām jutībā lokālas specializācijas dēļ (Moran et al., 2017). Novērotās kopējās tendences pieauguma mainībā (3.3. attēls), gan norāda uz reģionālu traucējumu, piemēram, meteoroloģisko ekstrēmu ietekmi.



3.4. attēls. Bērza relatīvā papildpieauguma pirmo sešu galveno komponentu īpašvērtības un būtiskums (melnie punkti, p -vērtība < 0.05 ; A) un pētīto audžu ordinācija atkarībā no pirmajām divām galvenajām komponentēm (B). Skaitļi iekavās parāda katras komponentes izskaidroto variācijas daļu.

Lineārās pieauguma un meteoroloģisko faktoru saistības

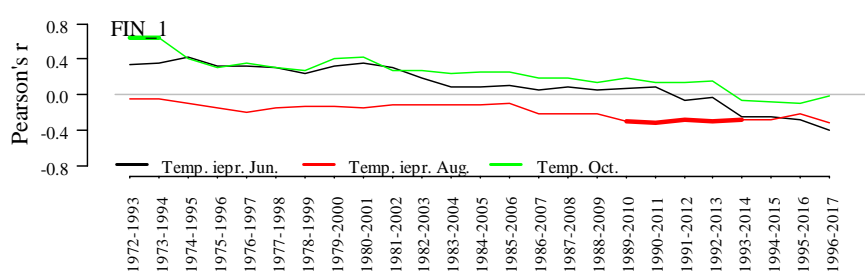
Lineārā radiālā pieauguma un meteoroloģisko faktoru saistību (korelāciju) analīze parādīja, ka pētīto audžu pieaugums bija saistīts ar 18 meteoroloģiskajiem faktoriem (3.5. attēls). Pārsvarā novērotas saistības ar ūdens pieejamību raksturojošiem faktoriem (nokrišņu daudzums un sausuma indekss), norādot uz bērza jutību pret sausumu hemiboreālajā zonā (Jansons et al., 2016). Korelācijām novērots reģionāls gradients, norādot uz būtisko korelāciju saistībām ar klimatu.



3.5. attēls. Būtisko Pīrsona korelāciju starp bērza gadskārtu platumu un meteoroloģiskajiem faktoriem īpatsvars pētītajās audzēs pa valstīm. SPEI—standartizētais nokrišņu-evapotranspirācijas indekss. Analīze veikta laik posmam no 1971. līdz 2017. gadam.

Analizētās transektes perifērijās (gan ziemeļos, gan dienvidos), gadskārtu platījums uzrādīja saistības ar temperatūru, bet korelāciju raksturs bija pretējs. Aukstāka klimata apstākļos transektes ziemeļu daļā temperatūrai novērota pozitīva ietekme uz gadskārtu platumu, kas skaidrojams ar ilgāku veģetācijas sezonu, vai arī intensīvāku asimilāciju un līdz ar to ar

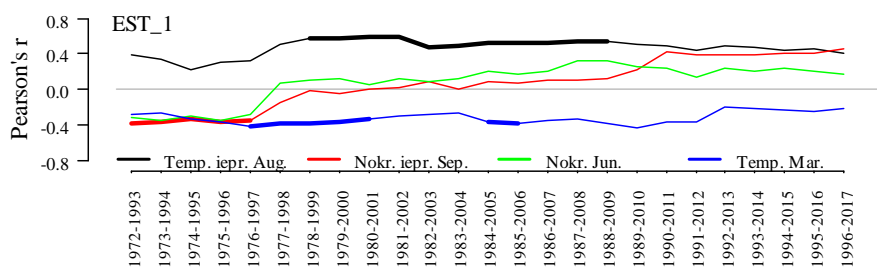
pieaugumu siltajos gados (Jyske et al., 2014). Siltāka klimata apstākļos, turpretim, vasaras temperatūras negatīvā ietekme (3.5. attēls) skaidrojama ar pastiprinātu iztvaikošanu (Trajkovic, 2005) un līdz ar to ūdens deficītu (Pallardy, 2008). Saistības ar apstākļiem vasarā pirms pieauguma veidošanās ir skaidrojamas ar reproduktīvo pumpuru veidošanos, kas noris augšanas sezonas beigās un to veicina paaugstināta temperatūra (Hacket-Pain et al., 2018). Augsts ģeneratīvo pumpuru un līdz ar to sēklaizmetņu daudzums, izmaina asimilēto barības vielu pārdali no pieauguma veidošanas par labu sēklu attīstībai, tādējādi, izskaidrojot negatīvās gadskārtu platuma saistības ar iepriekšējās vasaras temperatūru (Hacket-Pain et al., 2018). Transektes vidusdaļā novērotas pozitīvas pieauguma saistības ar nokrišņu daudzumu, norādot uz sausuma stresu (Cavin, Jump, 2017).



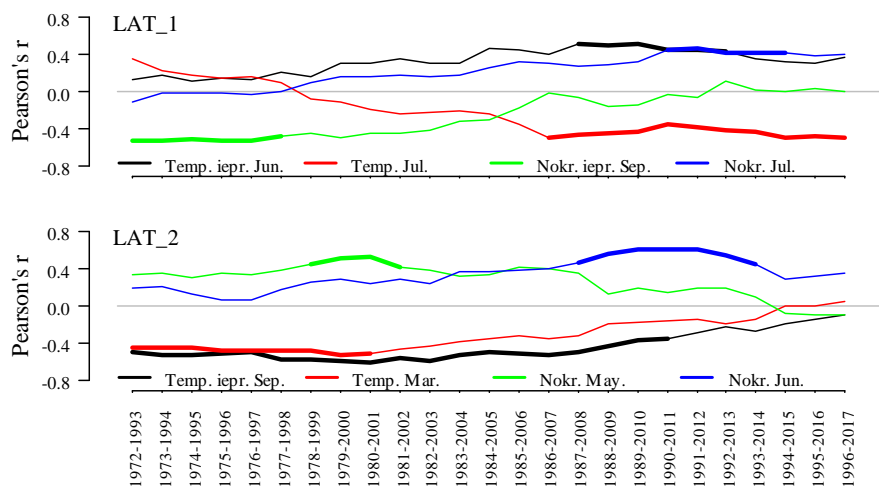
3.6. attēls. Bērza gadskārtu platumu atlikuma hronoloģiju un meteoroloģisko faktoru Pīrsona korelācijas indeksi, kas aprēķināti 22 gadu intervāliem, audzēs Somijā. Biezās līnija parāda būtiskos (p -vērtība < 0.05) korelācijas koeficientus. Analizēts laika posms no 1971. līdz 2017. gadam.

Atsevišķām lineārajām gadskārtu platuma un meteoroloģisko faktoru saistībām novērotas izmaiņas laikā, kas ņemot vērā salīdzinoši nelielo koku vecumu, visticamāk ir skaidrojamas ar klimata pārmaiņām (Restaino et al., 2016; Ohse et al., 2012; Vieira et al., 2009). Aukstāka klimata apstākļos audzē Somijā (FIN_1) pieaugums zaudēja jutību pret temperatūru veģetācijas perioda sākumā un beigās, bet vasaras temperatūras negatīvā ietekme, kas tipiska siltākiem reģioniem (3.5. attēls), pastiprinājās (3.6. attēls). Siltāka klimata apstākļos audzē Igaunijā novērota bērza radiālā pieauguma jutības pret temperatūru vasarā samazināšanās (3.7. attēls). Turpretim, vasaras un rudens nokrišņu ietekmei bija tendence pastiprināties, norādot uz ūdens deficīta intensificēšanos vasarā, līdzīgi kā novērots citviet ziemeļu reģionos (Ohse et al., 2012). Audzēs Latvijā un Lietuvā vērojamas līdzīgas tendences (3.8., 3.9. attēli), bet tās bija izteiktākas, par ko liecināja arī izmaiņas korelācijas koeficientu būtiskumā. Saistības ar temperatūru vājinājās, bet nokrišņu ietekme pieauga. Marta temperatūras ietekme, kas skaidrojama ar miera perioda pārtraukšanu (Beck et al., 2004; Ögren, 1997), samazinājās, kas skaidrojams ar siltākiem apstākļiem un mazākiem sala bojājumiem pēdējo desmitgažu laikā.

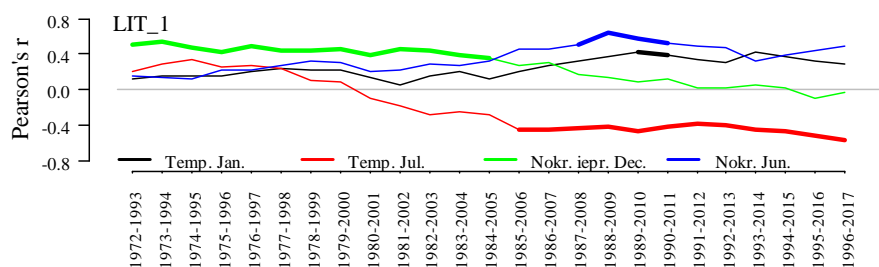
Pieauguma un meteoroloģisko faktoru saistību izmaiņas audzē Polijā (3.10. attēls) izteikti parādīja ūdens deficīta ietekmes (pozitīva korelācija ar nokrišņiem un negatīva ar temperatūru) uz bērza pieaugumu pastiprināšanos klimata pārmaiņu rezultātā (Cavin, Jump, 2017; Restaino et al., 2016; Ohse et al., 2012; Vieira et al., 2009). Vienlaikus novērots februāra temperatūras ietekmes pieaugums. Februāra, kas ir aukstākais gada mēnesis pētītajā reģionā (3.1. tabula), temperatūras ietekme varētu būt skaidrojama ar augsnes temperatūru un sakņu attīstību, kas izmaina ūdens pieejamību kokiem sekojošās augšanas sezonas laikā (Tierney et al., 2001). Acīmredzot pasiltinoties klimatam ziemas temperatūras režīms pētītajā audzē Polijā ir sasniedzis līmeni, kad miera periods ir nestabils un temperatūrai vērojama būtiska ietekme. Vācijā līdzīgas izmaiņas pieauguma un meteoroloģisko faktoru saistībās acīmredzot notikušas ātrāk, pie tam ūdens deficīta apstākļi iestājās agrāk (3.11. attēls). Turklāt novērota oktobra nokrišņu ietekmes rakstura izmaiņas, kas saistāmas ar veģetācijas sezonas pagarināšanos un ūdens deficīta pastiprināšanos.



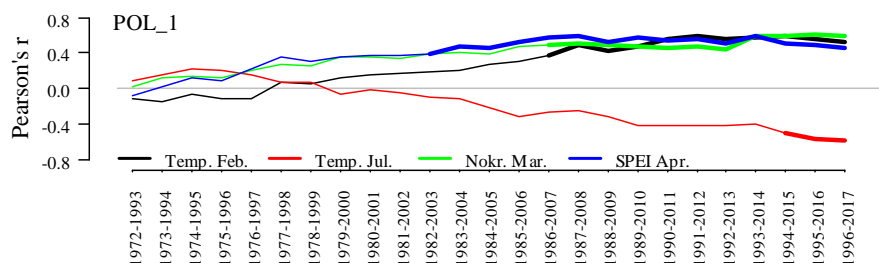
3.7. attēls. Bērza gadskārtu platumu atlikuma hronoloģiju un meteoroloģisko faktoru Pīrsona korelācijas indeksi, kas aprēķināti 22 gadu intervāliem, audzēs Igaunijā. Biezās līnija parāda būtiskos (p -vērtība < 0.05) korelācijas koeficientus. Analizēts laika posms no 1971. līdz 2017. gadam.



3.8. attēls. Bērza gadskārtu platumu atlikuma hronoloģiju un meteoroloģisko faktoru Pīrsona korelācijas indeksi, kas aprēķināti 22 gadu intervāliem, audzēs Latvijā. Biezās līnija parāda būtiskos (p -vērtība < 0.05) korelācijas koeficientus. Analizēts laika posms no 1971. līdz 2017. gadam. Paneļi parāda atšķirīgus meteoroloģiskos faktorus.

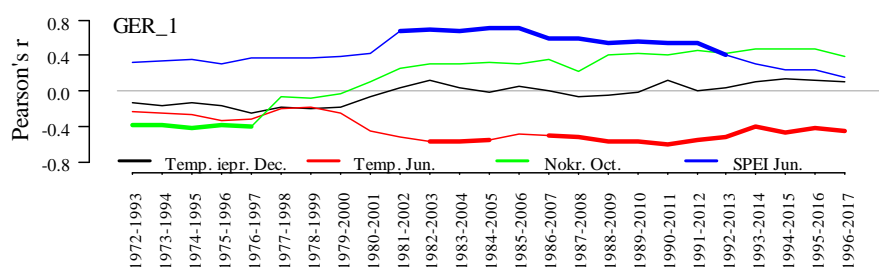


3.9. attēls. Bērza gadskārtu platumu atlikuma hronoloģiju un meteoroloģisko faktoru Pīrsona korelācijas indeksi, kas aprēķināti 22 gadu intervāliem, audzēs Lietuvā. Biezās līnija parāda būtiskos (p -vērtība < 0.05) korelācijas koeficientus. Analizēts laika posms no 1971. līdz 2017. gadam.



3.10. attēls. Bērza gadskārtu platumu atlikuma hronoloģiju un meteoroloģisko faktoru Pīrsona korelācijas indeksi, kas aprēķināti 22 gadu intervāliem, audzēs Polijā. Biezās līnija

parāda būtiskos (p -vērtība < 0.05) korelācijas koeficientus. Analizēts laika posms no 1971. līdz 2017. gadam.



3.11. attēls. Bērza gadskārtu platumu atlikuma hronoloģiju un meteoroloģisko faktoru Pīrsona korelācijas indeksi, kas aprēķināti 22 gadu intervāliem, audzēs Vācijā. Biezās līnija parāda būtiskos (p -vērtība < 0.05) korelācijas koeficientus. Analizēts laika posms no 1971. līdz 2017. gadam.

Reģionāli nozīmīgie meteoroloģiskie faktori un atbildes reakcijas plastiskums

Vispārinot pieauguma reakcijas analīzi pētījuma reģiona mērogā, kas sniedz padziļinātu ieskatu par koku augšanas plastiskumu (Hofgaard et al., 2019, Lloyd et al., 2013), būtiska ietekme konstatēta pieciem meteoroloģiskajiem faktoriem (3.3. tabula). Būtisko faktoru p -vērtības gan ir salīdzinoši augstas, kas, visticamāk, skaidrojams ar ierobežotu paraugkopas apjomu (Wood, 2011). Ņemot vērā, ka pētījums ir balstīts uz novērojumiem dabā un raksturo plašu klimatisko gradientu, izveidotā modeļa determinācijas koeficients (R^2) vērtējams kā viduvējs (Hofgaard et al., 2019; Cavin, Jump, 2017), ko varētu skaidrot ar atšķirīgām bērza metapoulācijām (Hewitt, 1999), kā arī lokālo specializāciju (Cavin, Jump, 2017; Moran et al., 2017). Šo pieņēmumu apstiprina arī dzian ar audzes ietekmi saistītā dispersija, kas divkārt pārsniedza pieauguma gada dispersiju (3.3. tabula).

Meteoroloģiskie faktori, kas identificēti kā reģionāli būtiski (3.12. attēls; 3.3. tabula) ir līdzīgi tiem, kas konstatēti lineārās korelācijas analīzē (3.5. attēls), bet vairumā gadījumu (izņemot jūnija nokrišņus) to ietekme ir nelineāra. Identificēto faktoru kopums norāda uz nelielu meteoroloģisko faktoru ietekmes pārnesei laikā (nav saistības iepriekšējās veģetācijas sezonas apstākļiem), liecinot par tiešu ksiloģenēzes saikni ar laikapstākļiem. Konstatētās saistības apstiprināja bērza radiālā pieauguma jutību pret ūdens deficītu, par ko liecināja ar ūdens pieejamību saistīto faktoru ietekmes intensitātes (F -vērtības; 3.3. tabula). Jūnijs ir laiks, kad mērena klimata apstākļos noris visstraujākā pieauguma veidošanās, kad ūdens pieejamība ietekmē gan koksnes šūnu dalīšanos, gan izplešanos (Cuny et al., 2019; Jyske et al., 2014), tādējādi izskaidrojot lineāro pieauguma atbildes reakciju (3.12. D attēls), kurai novērota spēcīgākā ietekme. Jūlijā noris aktīva koksnes šūnu nobriešana (Jyske et al., 2014), kas ir

atkarīga no fotosintēzes produktiem (Cuny et al., 2019), līdz ar to sausumam ir negatīva ietekme (Pallardy, 2008). Šādu saikni uzskatāmi parādīja teju lineārā pozitīvā papildpieauguma reakcija uz sausuma indeksu pie zemām tā vērtībām ($SPEI < 0$; 3.12. E attēls), kas raksturo ūdens deficītu (Vicente-Serrano et al., 2010). Turpretim, pretējs efekts vērojams, kur mitrums ir pietiekams, kas varētu būt skaidrojams ar samazinātu fotosintētisko aktivitāti mākoņainos un lietainos apstākļos (Ögren, 1997). Lielākajā daļā apskatītā klimatiskā diapazona, Marta nokrišņu daudzumam novērota pozitīva ietekme uz bērza papildpieaugumu (3.12. C attēls), kas skaidrojams ar gruntsūdens līmeņa sezonālajām svārstībām, proti, palielinātiem marta nokrišņiem kompensējot gruntsūdens līmeņa krišanos vasaras periodā un ietekmējot sakņu sistēmu (Tierney et al., 2001). Tomēr novērotās negatīvās saistības, ja marta nokrišņu daudzums ir bijis izteikti zems (< 30 mm, 3.12. C attēls), skaidrojams ar saulaino apstākļu, un līdz ar to pagarināta fotoperioda ietekmi, kas saīsina miera periodu (Beck et al., 2004). Šādos gadījumos zemas temperatūras apstākļos salcietības nodrošināšanai patērē rezerves, samazinot to pieejamību agrīnās koksnes veidošanai un līdz ar to reducējot pieaugumu (Beck et al., 2004; Ögren, 1997).

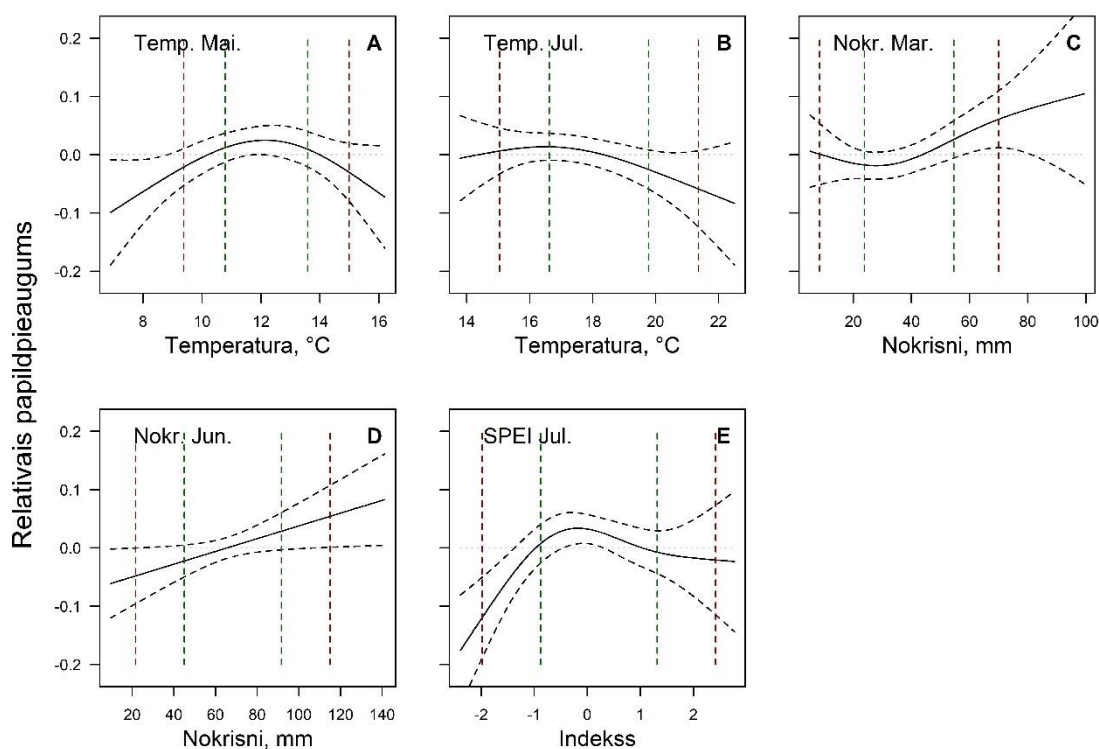
Mērenajā klimatā temperatūra var limitēt kokaugu attīstību (Harvey et al., 2020), līdz ar to novērotas saistības starp bērza papildpieaugumu un temperatūras faktoriem. Maijs ir lapu plaukšanas periods, kad veidojas fotosintētiskais aparāts, nodrošinot asimilātus pieguma veidošanai (Rousi, Pusenius, 2005). Tomēr neskatoties uz pētīto bērza audžu atrašanos mērena (hemiboreāla) klimata apstākļos, maija temperatūras ietekmei novērots optimums ($\sim 12,5$ °C; 3.12. A attēls). Suboptimālas temperatūras pozitīvā ietekme skaidrojama ar attīstības un fotosintēzes veicināšanu (Pallardy, 2008). Negatīvu optimālo temperatūru pārsniedzot temperatūras ietekmi, visticamāk skaidro ar iekšēju ūdens deficītu, kas rodas pastiprinoties iztvaikošanai paaugstinātas temperatūras rezultātā (Trajkovic, 2005), kavējot lapu attīstību un pakārtoti pieauguma veidošanos (Pallardy, 2008). Jūlija temperatūras ietekmei novērots optimums, kas nesamazina papildpieaugumu (< 18 °C; 3.30. B attēls). Pārsniedzot šo temperatūru novērots negatīvs radiālais papildpieaugums, kas skaidrojams ar pastiprinātu iztvaikošanu (Trajkovic, 2005) un ūdens deficīta apstākļu iestāšanos, un līdz ar to pieauguma kavēšanu (Pallardy et al., 2008).

Klimata pārmaiņu kontekstā papildpieauguma atbildes reakcijas līknes parādīja (3.12. attēls), ka klimatiskie apstākļi iepriekšējo 30 gadu posmā kopumā ir bijuši augšanai optimāli. Ņemot vērā saistību raksturu, temperatūras laikapstākļu ekstrēmiem kopumā vērojama negatīva ietekme. Nokrišņu ekstrēmiem vērojama duāla ietekme, kas kompensē relatīvā papildpieauguma izmaiņas ilgtermiņā. Prognozētās klimata pārmaiņas (pasiltināšanās) samazinās bērza papildpieaugumu, siltāku pavasaru un sausāku vasaru dēļ. Pieauguma uzlabojums prognozēto nokrišņu daudzuma izmaiņu (neliels palielinājums) dēļ, acīmredzot,

spēs tikai daļēji kompensēt sausuma ietekmi. Līdz ar to siltākam klimatam adaptējušos populāciju ģenētiskā materiāla pielietošanai ir ievērojama nozīme bērza audžu ražības saglabāšanā nākotnē (Nabuurs et al., 2018).

3.3. tabula. Baltijas jūras austrumu reģionā damakšņa mežaudzēs augoša bērza radiālajam relatīvajam papildpieaugumam būtiskie meteoroloģiskie faktori, to ietekmes intensitāte (*F*-vērtība) un būtiskums (*p*-vērtība), kā arī ar audzi un pieauguma veidošanās gadu saistītā dispersija (random efekti). Marginālais determinācijas koeficients (R^2) parāda meteoroloģisko faktoru (fiksētie efekti) ietekmi. Efektīvo brīvības pakāpju skaits (-1) ir atbildes funkcijas pārliekuma punktu skaita tuvinājums.

| Fiksētie efekti (meteoroloģisko faktoru ietekmes izlīdzinājums) | | | |
|---|---------------------------|-------------------|-------------------|
| | Efektīvo brīvības pakāpju | | |
| | skaits | <i>F</i> -vērtība | <i>p</i> -vērtība |
| Maija vidējā temperatūra | 2.35 | 3.56 | 0.02 |
| Jūlija vidējā temperatūra | 1.80 | 2.65 | 0.05 |
| Nokrišņu daudzums Martā | 2.13 | 3.46 | 0.04 |
| Nokrišņu daudzums Jūnijā | 1 | 4.52 | 0.03 |
| Sausuma indekss Jūlijā | 2.65 | 7.48 | 0.01 |
| R^2 (fiksētie efekti) | | 0.15 | |
| <i>Random efekti</i> | | | |
| | Dispersija | Standartklūda | |
| Audze | 0.14 | 7.58 | |
| Gads | 0.06 | 3.29 | |
| Atlikums | 0.26 | | |



3.12. attēls. Bērza gadskārtu platumu atlikuma hronoloģiju un meteoroloģisko faktoru reģionālās saistības Baltijas jūras reģiona austrumu daļā, kas novērtētas iemantojot jaukta tipa adītavu modeli. Vertikālās pārtrauktās līnijas parāda attiecīgā meteoroloģiskā faktora klimatisko vidējo vērtību pēdējiem 30 gadiem ± 1 standartnovirzi un 2 standartnovirzes Latvijā. Analīze veikta balstoties uz laika posmu no 1954. līdz 2017. gadam. Melnās pārtrauktās līnijas parāda atbildes reakcijas ticamības intervālu.

KOPSAVILKUMS

Novērotās saistības starp bērza papildpieaugumu norādīja uz sugas jutību pret temperatūru un vasaras nokrišņiem (sausumu), kas ir tipiski mērenajā klimatiskajā zonā uz automorfām augsnēm augošām audzēm. Reģionālās pieauguma atbildes reakcijas līknes parādīja bērza jutību pret atšķirīgiem meteoroloģiskajiem faktoriem. Bērzs, kas uzskatīts par sugu, kuras radiālais pieaugums ir vismazāk atkarīgs no meteoroloģiskajiem faktoriem, uzrādīja jutību pret augšanas sezonas temperatūru un sausumu. Būtisko faktoru skaits bija zemāks salīdzinot ar priedi un egli, bet to atbildes reakcija bija krasa, norādot uz pieauguma jutību. Pieguma un meteoroloģisko faktoru saistībām bija lokāls raksturs, tādēļ atbildes līknēm novērota augsta nenoteiktība, kuras samazināšanai plašākas datu kopas analīze ir nepieciešama. Novērota saikne starp radiālo pieaugumu un iepriekšējās vasaras beigu temperatūru, kas skaidrojams ar barības vielu pārdali starp augšanu un sēklu produkciju. Novērotās atbildes reakcijas, gan norāda, ka attiecīgo meteoroloģisko apstākļu mainībai ir kompensatora ietekme uz pieaugumu ilgtermiņā.

Secinājumi

1. Klimata pārmaiņām, kā arī laikapstākļu ekstrēmiem sagaidāma kopumā negatīva ietekme uz bērza radiālo pieaugumu.
2. Ar audzi saistītā papildpieauguma mainības dispersija norādīja uz lokālo specializāciju un uz ģenētiski determinētu pieauguma jutību, kas mazina reģionālo saistību izpausmi. Šādas saistības norāda uz iespējām ar selekcijas metodēm mazināt kokaugu jutību pret limitējošiem faktoriem.

Rekomendācijas

1. Izstrādātie koeficienti izmantojami augšanas gaitas modelēšanā, jo, ietverot tikai divus vai vienu nozīmīgāko meteoroloģiskos faktoru, samazina modeļa kļūdu par 13 – 18%.

Tie ir papildinājums esošiem augšanas gaitas modeļiem, kuros ņemta vecuma, biezuma u.c. faktoru ietekme uz radiālo pieaugumu.

2. Selekcijā veicināma tādu genotipu atlase, kurus mazāk ietekmē norādītie meteoroloģiskie faktori (bērzam marta temperatūra un nokrišņu daudzums jūnijā), jo to nozīmība fiksēta kā šajā analīzē, tā arī ar citām metodēm.
3. Ņemot vērā klimata komponentes būtiskumu, kā arī augstuma pieauguma saistību arī meteoroloģiskajiem faktoriem, būtiski turpināt analīzi, izstrādājot koeficientus arī augstuma pieauguma modelēšanai, kā arī raksturot mežos ar kūdras augsnēm augošos kokus, veidojot atsevišķus modeļus vai papildinot esošos ar augsnes mainīgajiem.
4. Informācija par pieauguma jutības un plastiskuma iedzimtību balstoties uz reģionālo provenienču, kā arī lokālo genotipu analīzi ir nepieciešama. Šāda informācija būtu iekļaujama selekcijas indeksā, uzlabojot stādmateriāla pielāgotību nākotnes klimata apstākļiem, balstoties uz reģionā labāko genotipu rekombinācijām.
5. Ņemot vērā edafisko apstākļu ietekmi, modificējot augšanu limitējošos meteoroloģiskos faktorus, turpmākā analīzē būtiski iekļaut audzes kūdreņos.

Radiālās augšanas gaitas modeļi eglei un bērzam

Materiāls un metodes

Analizētās datu kopas

Radiālās augšanas gaitas modeļu izstrāde balstīta uz pētījuma kā arī iepriekšējos periodos Latvijā ievāktā empīriskā materiāla. Īsumā, dažādās Latvijas mežaudzēs, kas raksturīgas konkrētai pētītajai sugai, no I un II Krafta klases kokiem 1.3m augstumā ievākti divi koksnes paraugi (urbumi). Atlasītas audzes ar maksimālu vecumu, lai raksturotu pieauguma mainību koka dzīves laikā (mainoties bioloģiskajam vecumam). Paraugoti vizuāli veseli koki, kuru stumbri nebija sagāzti. Laboratorijā urbumi fiksēti, to virsma slīpēta ar dažāda raupjuma slīppapīru. Gadskārtu platums mērīts uz paraugu virsmas. Urbumu mērījumu kvalitāte pārbaudīta (sērijas šķērsdatētas) un aprēķinātas koku vidējās sērijas.

No pieejamajām sērijām atlasītas tās, kuras parādīja augstu savstarpējo saskanību (vidējā augšanas ritmu starpsēriju korelācija > 0.35), nodrošinot kopīga klimatiskā signāla klātbūtni. Analīzei atlasītas 76 egļu (no 54 parauglaukumiem 28 audzēs) un 71 bērza (no 48 parauglaukumiem 18 audzēs) gadskārtu platuma laika rindas. Atlasītās laika rindas raksturoja radiālo pieaugumu, sākot ar pirmo krūšaugstuma kambiālā vecuma gadu.

Lokālā meteoroloģiskā informācija (novērojumu stacijām < 30 km attālumā no pētītajām audzēm) iegūta no CRU mājaslapas (CRU 3.24 datu masīvs; Harris et al., 2014). Balstoties uz radiāla papildpieauguma mainības analīzes rezultātiem, kā meteoroloģiskie faktori, izmantotas mēnešu vidējās temperatūra un nokrišņu daudzums, kas iegūti no attiecīgā brīvpieejas repozitorija. Sausuma apstākļu raksturošanai izmantots standartizētais nokrišņu evapotranspirācijas indekss (SPEI; Vicente-Serrano et al., 2010), kas aprēķināts baltoties uz mēneša vidējo temperatūru, nokrišņu daudzumu un evapotranspirāciju. Meteoroloģiskie faktori apkopoti ietekmes periodā no iepriekšējā jūnija (pirms gadskārtas veidošanās) līdz oktobrim gadskārtas veidošanās gadā, ņemot vērā vides ietekmes pēctecību.

Datu analīze

Pētījumā novērtēta no klimatiskajiem faktoriem atkarīgu koeficientu izmantošanas lietderība radiālās augšanas gaitas modeļos to precizitātes paaugstināšanai. Gadskārtu platumu laika rindas ar kumulatīvo transformāciju pārveidotas par stumbra koksnes daļas diametra izmaiņām atkarībā no krūšaugstuma kambiālā vecuma. Radiālā pieauguma modelēšanā izmantota vispārinātās algebriskās diferences pieeja (*generalized algebraic difference approach*; Sharma et al., 2015). Koku diametra izmaiņu laikā raksturošanai par pamatu ņemts

Hossfeld IV modelis (saukts arī par McDill-Amateis augšanas modeli) (Sharma et al. 2015), kas izmantots arī citos LVMI Silava augšanas gaitas pētījumos:

$$D_1 = \frac{b_0}{1 - \left(1 - \frac{b_0}{D_0}\right) \left(\frac{t_0}{t_1}\right)^{b_3}},$$

kur D_1 ir koka diametrs konkrētajā gadā, D_0 - koka diametrs iepriekšējā gadā, t_0 koka kambiālais vecums iepriekšējā gadā, t_1 - koka kambiālais vecums konkrētajā gadā. Analīze veikta katrai sugai atsevišķi. Lai arī datiem novērota hierarhiska struktūra, jaukta tipa modeļi, kas šādā formā neatbilst pieauguma analīzei (Cieszewsk, Strub, 2018), nav izmantoti. GADA modeļos atkarības datus noīsinātas substitūcijas procesa gaitā. Ņemot vērā, ka modeļu atlikuma vērtības uzrādīja augstu autokorelāciju, veidoti arī modeļi, kas ņem vērā autokorelācijas struktūru (AR1 un ARMA).

Analīzē izmantotas četras modeļu saimes. Pirmā saime iekļāva oriģinālo Hossfeld, papildus iekļaujot modeli ar autokorelāciju struktūras. Otrajā saimē iekļāva modeļus ar divu meteoroloģisko faktoru ietekmi tikai uz koeficientu b_0 (ar un bez autokorelācijas struktūras).

$$D_1 = \frac{b_0 + b_1 * klim_1 + b_2 * klim_2}{1 - \left(1 - \frac{b_0 + b_1 * klim_1 + b_2 * klim_2}{D_0}\right) \left(\frac{t_0}{t_1}\right)^{b_3}},$$

kur $klim_1$ un $klim_2$ meteoroloģiskie mainīgie un b_1 , b_2 , b_4 un b_5 ar meteoroloģiskajiem mainīgajiem saistītie koeficienti (parametri). Trešajā saimē iekļāva modeļus ar meteoroloģisko faktoru ietekmi uz koeficientu b_3 (ar un bez autokorelācijas struktūras).

$$D_1 = \frac{b_0}{1 - \left(1 - \frac{b_0 + b_1 * klim_1 + b_2 * klim_2}{D_0}\right) \left(\frac{t_0}{t_1}\right)^{b_3 + b_4 * klim_1 + b_5 * klim_2}}$$

Ceturtajā saimē iekļāva modeļus ar meteoroloģisko faktoru ietekmi gan uz koeficientu b_0 , gan arī uz b_3 (ar un bez autokorelācijas struktūras).

$$D_1 = \frac{b_0 + b_1 * klim_1 + b_2 * klim_2}{1 - \left(1 - \frac{b_0 + b_1 * klim_1 + b_2 * klim_2}{D_0}\right) \left(\frac{t_0}{t_1}\right)^{b_3 + b_4 * klim_1 + b_5 * klim_2}}$$

Testētas visas pieejamo meteoroloģisko faktoru kombinācijas, tās reducējot ar arbitrārās atlases pieeju (balstoties uz radiālā papildpieauguma mainības analīzes rezultātiem). Analīze balstīta uz individuālu koku laika rindām. Labāko modeļu atlasī veica, balstoties uz AIC vērtībām, kā arī vērtējot prognozēto vērtību statistisko un bioloģisko reālismu. Modeļu verifikācija veikta balstoties uz kalibrācijas procesā neizmantotu datu kopu daļām (ca. 10% no novērojumiem). Aprēķini veikti programmā R 4.0.2. (R Core Team 2020) izmantojot “nlme” paketi (Pinheiro et al.2017).

Rezultāti un diskusija

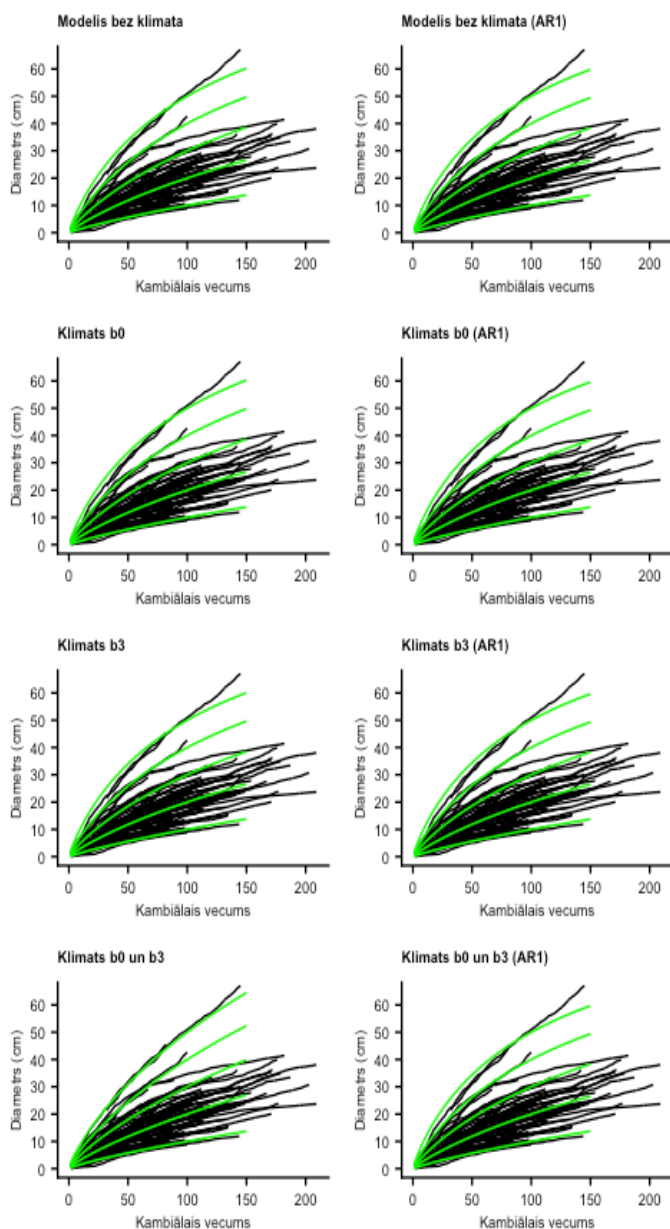
Egle

Izveidoti astoņi radiālā pieauguma modeļi, kuros visi mainīgie bija būtiski. Kā informatīvākie meteoroloģiskie faktori modeļos iekļauti marta temperatūra un nokrišņu daudzums jūnijā, norādot uz pieauguma jutību pret miera sezonas temperatūru un ūdens deficītu vasarā, līdzīgi, kā novērtos relatīvā papildpieauguma analizē. Modeļu koeficienti, kā arī AIC vērtības parādīti 3.4. tabulā. Visās modeļu saimēs pamatmodeļu atlikuma vērtības uzrādīja augstas autokorelācijas vērtības (virs 0.7 pirmajam gadam), tāpēc modeļi ar iekļautu ar pirmās pakāpes (AR1) autokorelācijas struktūru bija ievērojami labāki. Spriežot pēc AIC vērtībām, divi modeļi uzrāda gandrīz identisku pārākumu - tas ir modelis ar meteoroloģisko faktoru ietekmi uz b_0 un b_3 koeficientiem un vai arī tikai uz b_3 koeficientu, abos modeļos iekļaujot arī AR1.

3.4. tabula. Izveidoto Hossfeld modeļu koeficienti eglei un to standartkļūdas (iekavās), kā arī modeļu AIC vērtības un kalibrācijas izmantoto novērojumu skaits. Visi koeficienti ir būtiski (p-vērtības < 0.01).

| Koeficienti | Pamata | Pamata ar AR1 | Met. fakt. pie b_0 | Met. fakt. pie b_0 ar AR1 | Met. fakt. pie b_3 | Met. fakt. pie b_3 ar AR1 | Met. fakt. pie b_0 un b_3 | Met. fakt. pie b_0 un b_3 ar AR1 |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| b_0 | 114.946 (3.967) | 109.616 (8.507) | 86.163 (6.317) | 102.153 (7.993) | 111.923 (3.696) | 107.519 (8.011) | 446.897 (22.228) | 97.761 (8.164) |
| b_1 (mar. temp.) | | | 4.903 (0.619) | 2.381 (0.556) | | | 19.721 (1.631) | -0.662 (0.341) |
| b_2 (jun. nokr.) | | | 0.585 (0.099) | 0.153 (0.054) | | | -2.388 (0.132) | 0.135 (0.064) |
| b_3 | 0.881 (0.006) | 0.881 (0.015) | 0.887 (0.006) | 0.884 (0.015) | 0.853 (0.012) | 0.881 (0.016) | 0.711 (0.011) | 0.986 (0.018) |
| b_4 (mar. temp) | | | | | 0.011 (0.001) | 0.007 (0.0009) | 0.0013 (0.0006) | 0.0082 (0.0013) |
| b_5 (jun. nokr) | | | | | 0.0008 (0.0001) | 0.00027 (0.00009) | 0.0016 (0.00017) | 0.00005 (0.00003) |
| AIC | -15423 | -21265 | -15527 | -21303 | -15507 | -21339 | -15210 | -21339 |

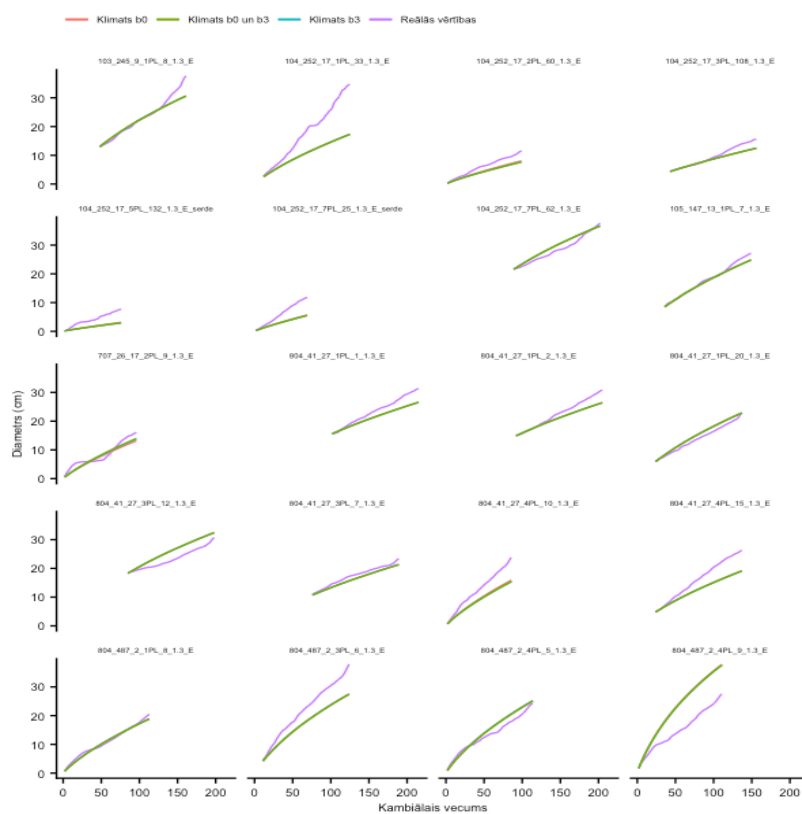
Apskatot modeļu grafiskos attēlojumus (3.13. attēls), var redzēt, ka vairāki modeļi (sevišķi bez autokorelācijas struktūras) nespēj adekvāti aprakstīt augšanu situācijā. Daļēji tas skaidrojams ar izvēlēto izejas trūkumu par lielāko diametru klašu kokiem. Arī grafiski modelis ar meteoroloģiskajiem faktoriem pie abiem koeficientiem un AR1 struktūru vislabāk atbilst bioloģiskā reālisma principiem balstoties uz kalibrācijas datiem.



3.13. attēls. Modeļu prognozētais diametru pieaugums eglei situācijā, kad 100 gadu vecumā sasniegts diametrs attiecīgi 10, 20, 30, 40 vai 50 cm. Melnās līnijas parāda modeļu kalibrācijā izmantotās stumbra koksnes daļas diametra izmaiņu laika rindas.

Verifikācijai izraudzīti trīs modeļi: (a) pamata modelis (ar AR1), (b) meteoroloģiskie faktori pie b_0 (ar AR1), (c) meteoroloģiskie faktori pie b_0 un b_3 (ar AR1). Modeļa verifikācija balstoties uz kalibrācijā neizmantotu datu kopu, parādīja, ka daļai koku modeļi adekvāti prognozē diametra vērtības, bet ir situācijas, kad prognozētās vērtības ir ļoti atšķirīgas no reāli esošajām (3.14. attēls). Šeit jāņem vērā, ka kokiem prognozes aprēķina sākums ir dažādā kambiālā vecumā, kā arī šie modeļi neņem vērā audzes vēsturi un apsaimniekošanas režīmu (piemēram, izretināšana). Verifikācijas laikā novērotajai kļūdai (RMSE) novērota plaša variācija gan viena modeļa ietvaros, gan arī viena koka ietvaros (3.5. tabula). Tas norāda, ka neviens no modeļiem nav pietiekami adekvāts individuālo koku vērtību prognozēšanai. Zemākā

vidējā RMSE vērtība ir modelim ar meteoroloģisko faktoru ietekmi uz b_0 koeficientu (2.99), bet abiem pārējiem pārbaudītajiem modeļiem tā ir praktiski vienāda (3.03).



3.14. attēls. Reālās un trīs atlasīto modeļu, kas uzrādīja labāko atbilstību kalibrācijas datiem eglei, prognozētās diametra vērtības atkarībā no kambiālā vecuma.

3.5. tabula. Trīs atlasīto egles radiālās augšanas gaitas modeļu vidējās kvadrātiskās kļūda, salīdzinot reālās un prognozētās diametra vērtības.

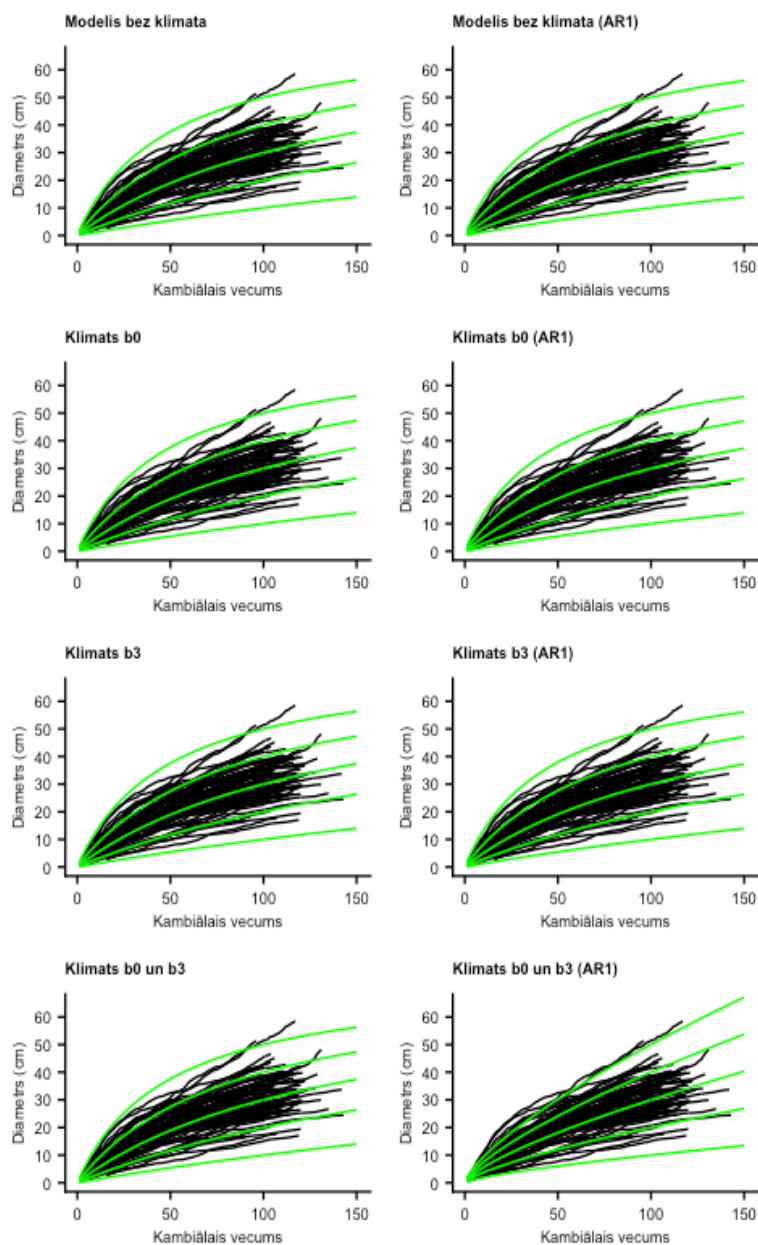
| Koka ID | Met. fakt. pie b_0 ar AR1 | Met. fakt. pie b_3 ar AR1 | Met. fakt. pie b_0 un b_3 ar AR1 |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| 103_245_9_1PL_8_1.3_E | 2.04 | 2.06 | 2.05 |
| 104_252_17_1PL_33_1.3_E | 9.02 | 9.08 | 9.10 |
| 104_252_17_2PL_60_1.3_E | 1.87 | 2.11 | 2.14 |
| 104_252_17_3PL_108_1.3_E | 1.54 | 1.57 | 1.57 |
| 104_252_17_5PL_132_1.3_E | 2.73 | 2.86 | 2.86 |
| 104_252_17_7PL_25_1.3_E | 3.60 | 3.73 | 3.74 |
| 104_252_17_7PL_62_1.3_E | 1.51 | 1.53 | 1.54 |
| 105_147_13_1PL_7_1.3_E | 1.00 | 1.01 | 1.02 |
| 707_26_17_2PL_9_1.3_E | 1.68 | 1.50 | 1.46 |
| 804_41_27_1PL_1_1.3_E | 2.53 | 2.54 | 2.54 |
| 804_41_27_1PL_2_1.3_E | 2.09 | 2.10 | 2.10 |
| 804_41_27_1PL_20_1.3_E | 1.37 | 1.32 | 1.30 |
| 804_41_27_3PL_12_1.3_E | 2.80 | 2.80 | 2.81 |
| 804_41_27_3PL_7_1.3_E | 1.14 | 1.16 | 1.16 |
| 804_41_27_4PL_10_1.3_E | 4.08 | 4.44 | 4.40 |
| 804_41_27_4PL_15_1.3_E | 4.25 | 4.30 | 4.32 |
| 804_487_2_1PL_8_1.3_E | 0.70 | 0.68 | 0.69 |
| 804_487_2_3PL_6_1.3_E | 5.25 | 5.33 | 5.36 |
| 804_487_2_4PL_5_1.3_E | 1.88 | 1.87 | 1.76 |
| 804_487_2_4PL_9_1.3_E | 8.81 | 8.61 | 8.63 |

Bērzs

Izveidoti astoņi radiālā pieauguma modeļi (pa divi no modeļu saimes), kuros visi mainīgie bija būtiski. Līdzīgi kā eglei, kā informatīvākie meteoroloģiskie faktori modeļos iekļauti marta temperatūra un nokrišņu daudzums jūnijā, norādot uz pieauguma jutību pret miera sezonas temperatūru un ūdens deficītu vasarā, līdzīgi, kā novērtos relatīvā papildpieauguma analīzē. Šādas saistības ar meteoroloģiskajiem faktoriem norāda uz bērza uzņēmību pret ūdens deficīta apstākļiem. Modeļu koeficienti, kā arī AIC vērtības parādīti 3.6. tabulā. Visās modeļu saimēs pamatmodeļu atlikuma vērtības uzrādīja ļoti augstas autokorelācijas vērtības (virs 0.7 pirmajam gadam), tāpēc modeļi ar iekļautu pirmās pakāpes (AR1) autokorelācijas struktūru bija ievērojami labāki. Spriežot pēc AIC vērtībām, vislabākais ir modelis, kurā meteoroloģisko faktoru ietekme likta uz koeficientu b_0 un ir iekļauta autokorelācijas struktūra. No trim pētītajām sugām, bērziem modeļi vistuvāk apraksta augšanas ainu, t. i. atbilst bioloģiskā reālisma principam (3.15. attēls). Tomēr, novērots, ka lielāko un vecāko augšanas gaita pēdējo 10–20 gadu laikā diverģē no prognozē, lai arī kopšana nav veikta.

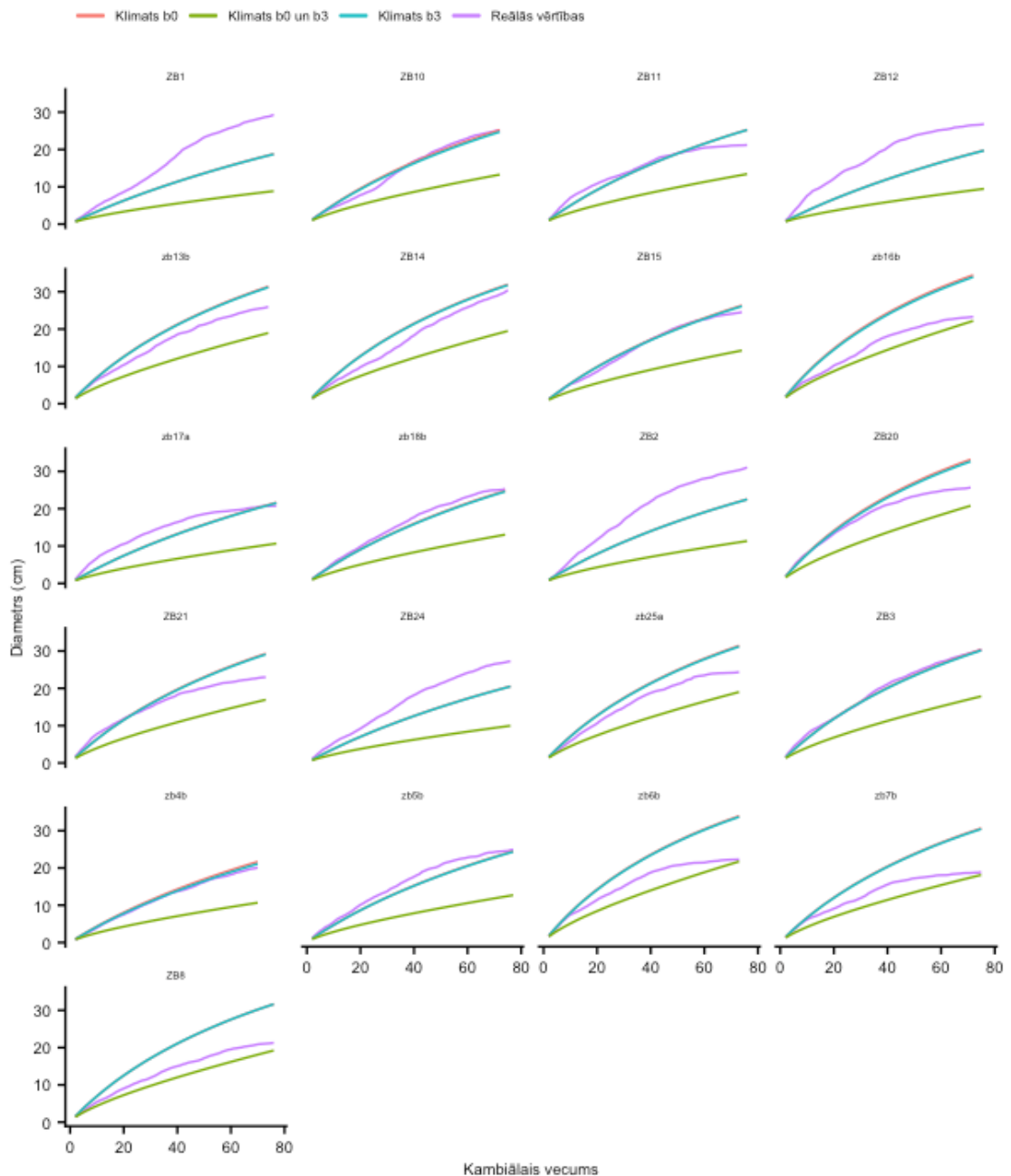
3.6. tabula. Izveidoto Hossfeld modeļu koeficienti bērzam un to standartklūdas (iekavās), kā arī modeļu AIC vērtības un kalibrācijas izmantoto novērojumu skaits. Visi koeficienti ir būtiski (p-vērtības < 0.05).

| Koeficienti | Pamata | Pamata ar AR1 | Met. fakt. pie b_0 | Met. fakt. pie b_0 ar AR1 | Met. fakt. pie b_3 | Met. fakt. pie b_3 ar AR1 | Met. fakt. pie b_0 un b_3 | Met. fakt. pie b_0 un b_3 ar AR1 |
|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| b_0 | 76.168 (1.601) | 78.815 (3.126) | 60.811 (2.642) | 71.695 (3.279) | 76.070 (1.576) | 75.094 (3.130) | 68.021 (3.885) | -6583 (3186) |
| b_1 (mar. temp.) | | | 2.011 (0.313) | 0.975 (0.258) | | | 2.937 (0.438) | 618.1 (341.9) |
| b_2 (jun. nokr.) | | | 0.276 (0.004) | 0.061 (0.027) | | | 0.173 (0.058) | 450.6 (219.7) |
| b_3 | 0.972 (0.007) | 0.968 (0.014) | 0.981 (0.007) | 0.970 (0.014) | 0.909 (0.014) | 0.952 (0.017) | 0.944 (0.018) | 0.719 (0.011) |
| b_4 (mar. temp) | | | | | 0.0069 (0.0018) | 0.0039 (0.0012) | -0.0069 (0.0028) | 0.0029 (0.0009) |
| b_5 (jun. nokr) | | | | | 0.0012 (0.0002) | 0.00032 (0.00013) | 0.00049 (0.00021) | 0.00021 (0.0001) |
| AIC | -7525 | -11536 | -7613 | -11553 | -7578 | -11548 | -7616 | -11264 |



3.15. attēls. Modeļu prognozētais diametru pieaugums bērzam situācijās, kad 100 gadu vecumā sasniegts diametrs attiecīgi 10, 20, 30, 40 vai 50 cm. Melnās līnijas parāda modeļu kalibrācijā izmantotās stumbra koksnes daļas diametra izmaiņu laika rindas.

Verifikācijai izvēlēti trīs modeļi (a) meteoroloģiskie faktori pie b_0 (ar AR1), (b) meteoroloģiskie faktori pie b_3 (ar AR1), (c) meteoroloģiskie faktori pie b_0 un b_3 (AR1). Izraudzīto trīs modeļu un reālās diametra vērtības 21 kokam, kas netika izmantots kalibrācijas procesā, ir parādītas 3.16. attēlā. Vizuāli novērojams, ka ir koki, kuriem modeļi ļoti adekvāti prognozē diametra vērtības, bet ir situācijas, kad prognozētās vērtības ir ļoti atšķirīgas no reāli esošajām, visticamāk audzes vēstures un pasaimniekošanas režīmu dēļ, par kuriem informācija gan nav iekļauta šajos modeļos Jāņem arī vērā, ka kokiem prognozes aprēķina sākums ir dažādā kambiālā vecumā.



3.16. attēls. Reālās un trīs modeļu prognozētās diametra vērtības atkarībā no kambiālā vecuma

Prognozes adekvātuma novērtēšanai katram kokam, katram verificējamajam modelim aprēķināta RMSE vērtība (3.7. tabula). Līdzīgi kā parējām sugām, arī bērzam šīm vērtībām ir ļoti plaša variēšana gan viena modeļa ietvaros, gan arī viena koka ietvaros. Tātad modeļi izmantojami audžu vidējo vērtību, nevis individuālu koku augšanas gaitas, prognozēšanai. Zemākā vidējā RMSE vērtība ir modelim ar meteoroloģisko faktoru ietekmi uz b_3 koeficientu (3.66) un otra zemākā ir modelim ar meteoroloģisko faktoru ietekmi uz b_0 (3.73).

3.7. tabula. Trīs atlasīto bērza radiālās augšanas gaitas modeļu vidējās kvadrātiskās kļūda, salīdzinot reālās un prognozētās diametra vērtības.

| Koka ID | Met. fakt. pie b0 | Met. fakt. pie b3 | Met. fakt. pie b0 un b3 |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| ZB1 | 7.23 | 7.26 | 13.40 |
| ZB10 | 1.02 | 1.04 | 7.84 |
| ZB11 | 1.65 | 1.64 | 7.36 |
| ZB12 | 7.19 | 7.23 | 13.52 |
| zb13b | 3.20 | 3.05 | 5.58 |
| ZB14 | 2.66 | 2.54 | 6.57 |
| ZB15 | 0.76 | 0.68 | 7.57 |
| zb16b | 6.78 | 6.39 | 2.42 |
| zb17a | 2.54 | 2.59 | 8.85 |
| zb18b | 1.31 | 1.44 | 8.92 |
| ZB2 | 6.96 | 6.99 | 14.08 |
| ZB20 | 3.47 | 3.13 | 5.88 |
| ZB21 | 2.87 | 2.75 | 6.11 |
| ZB24 | 5.10 | 5.13 | 11.75 |
| zb25a | 3.50 | 3.34 | 5.34 |
| ZB3 | 0.62 | 0.72 | 9.09 |
| zb4b | 0.79 | 0.42 | 6.24 |
| zb5b | 1.83 | 1.91 | 9.33 |
| zb6b | 6.14 | 5.99 | 3.26 |
| zb7b | 6.34 | 6.21 | 2.74 |
| ZB8 | 6.34 | 6.33 | 2.48 |

Secinājumi

1. Kritiskie meteoroloģiskie faktori caurmēra augšanas gaitas modeļos eglei apliecina sausuma kā pieaugumu limitējošā faktora ietekmi un nepieciešamību paaugstināt audžu noturību pret to ar mežsaimniecības un meža selekcijas metodēm.

Rekomendācijas

1. Izstrādātie koeficienti izmantojami augšanas gaitas modelēšanā, jo, ietverot tikai divus vai vienu nozīmīgāko meteoroloģiskos faktoru, samazina modeļa kļūdu par 15% – 18%. Tie ir papildinājums esošiem augšanas gaitas modeļiem, kuros ņemta vērā vecuma, biezuma u.c. faktoru ietekme uz radiālo pieaugumu.
2. Selekcijā veicināma tādu genotipu atlase, kurus mazāk ietekmē norādītie meteoroloģiskie faktori (priedei februāra vidējā gaisa temperatūru un aprīļa sausuma indekss, savukārt eglei un bērzam marta temperatūra un nokrišņu daudzums jūnijā), jo to nozīmība fiksēta kā šajā analīzē, tā arī ar citām metodēm, vērtējot citu datu kopu (1. nodaļa).
3. Ņemot vērā klimata komponentes būtiskumu, kā arī augstuma pieauguma saistību ar meteoroloģiskajiem faktoriem, būtiski turpināt analīzi, izstrādājot koeficientus arī augstuma pieauguma modelēšanai, kā arī raksturot mežos ar kūdras augsnēm augošos kokus, veidojot atsevišķus modeļus vai papildinot esošos ar augsnes mainīgajiem. Tāpat esošajos modeļos analizēti meteoroloģisko faktoru lineārie (pirmās kārtas) efekti, tomēr, izmantojot datu kopu no klimatiski atšķirīgiem reģioniem, iespējama to attīstība, ietverot arī nelineāras sakarības.

4. Dendrofāgie kukaiņi un klimats

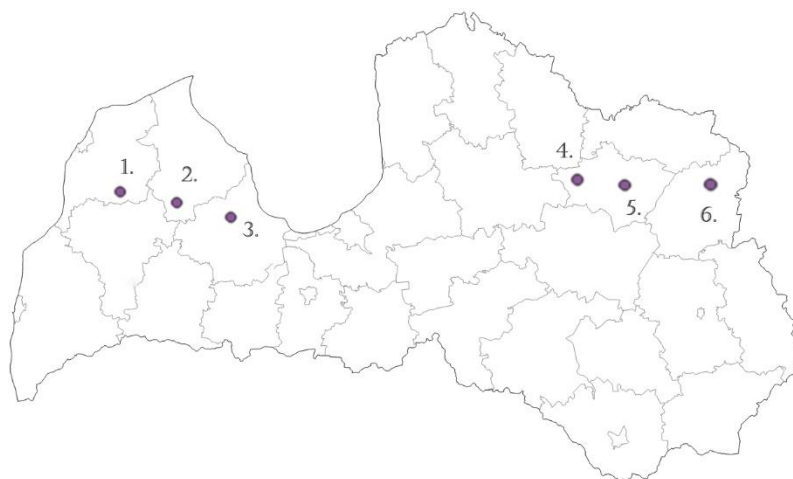
Mizgraužu savairošanās pamatā nosaka pēkšņas laikapstākļu maiņas - kā, piemēram, sausumi un vējgāzes. Tomēr katrā savairošanās procesā mizgraužim jāpārvar dažādu apstākļu pretestību - koku rezistenci, iekšējo un starpsugu konkurenci. Sava loma ir arī plēsēju un parazītu ietekmei (Barbosa et al., 2012; Krzistofiak, 2002). Lai gan mūsdienās parazītisma ietekme uz egļu astoņzobu mizgraužu *Ips typographus* ir vērtējama kā maznozīmīga mizgraužu savairošanās laikā, populācijai sasniedzot eruptīvo fāzi, pieļauj, ka tā nozīme mizgraužu ietekmē var pieaugt tieši tuvākajā nākotnē līdz 2051.g. It sevišķi to pierāda iepriekšējais pētījums ("Klimata pārmaiņu ietekmes novērtējums uz egļu astoņzobu (*Ips typographus* L.) un egļu sešzobu (*Pityogenes chalcographus* L.) mizgraužu attīstības sekmēm un to dabisko ienaidnieku ietekmi svaigi invadētā egles koksne, praksē izmantojot vietējās nozīmes klimata scenāriju simulācijas").

Pētījuma mērķis - noskaidrot cik sekmīgi norit *Ips typographus* invadēšanās un ligzdošana svaigā, neinvadētā egles koksne (to indicē ieskrejas, mātes ejas), un kāda ir tā preimago mirstība un attīstības sekmes dažādos klimatiskos apstākļos - izmantojot jau gatavus, Latvijai izstrādātus klimata modeļus (U. Bethers). Turklāt, pētījuma mērķis balstās uz hipotēzi, ka mizgraužim pārvarot iekšējo konkurenci par iespēju invadēt koksni, tas tiek būtiski novājināts un samazinās tā spējas pretoties parazītu ietekmei - turklāt to var pastiprināt klimata režīms. Savukārt, parazītisko organismu ietekme var nozīmīgi atšķirties dažādos mizgraužu savairošanās reģionos (tai var būt izteikti lokāls efekts).

Materiāls un metodes

Mizgrauži Kurzemē ķerti izmantojot jau Nacionālajam monitoringa m atlasītās cirsas un tajās izvietotos ķeršanas slazdus, feromonu dispenserus. Savukārt, Vidzemē, cirmās izvietoti ķeršanas slazdi (7. - 8. maijs). Kopumā, atlasītas 6 cirsas (jeb parauglaukumi) *Ips typographus* pieaugušo vaboļu ieguvei (2. att.). Šīs cirsas atlasītas, balstoties uz vairākiem kritērijiem:

1. to izvietojumu (lai segtu pēc iespējas attālākus Latvijas reģionus ar atšķirīgu klimatu - Kurzeme (piejūras) un Vidzeme (kontinentāls));
2. līdzība ar 2005. gada masu uzliesmojumu epicentriem, vai vismaz - to tiešo tuvumu (Šmits, 2007) un 2020. g. paaugstinātajiem populācijas blīvumiem 2020. g.;
3. izcirstās audzes sastāvs - ne mazāk par 70 % egļu vidēja vecuma audzē;
4. cirsmas - kailcirte, - un tās platība ne mazāka par 1,5 ha;
5. salīdzinoši svaigas cirsas - ne vecākas par pusgadu.



4.1. attēls. Pētījumam izvēlētie parauglaukumi (to numuri; atbilst cirstmām ne vecākām par 0,5 gadiem)

13. maijā, Jaunkalsnavas MPS egļu audzēs atlasītas, nozāģētas un sagarinātas 1m garos klučos 3 mizgraužu neskartas svaigas egles, kuru diametrs 1,3 m augstumā pārsniedz 30 cm. No nogriežņiem tika atskaldīti dažāda izmēra šāļi ar neskartu mizu - no tām izvēlētas tās, kuru izmēri (+/- nepārsniedzot 1-1,5 cm robežu) atbilst 30 cm garuma, 16 cm platuma un 6 cm augstuma (4.1. att.), tā, lai pēc izmēra tās ietilptu poliakrila insektārijos (sekojoši - izmērs: 35 cm garums, 18 cm platums, 18 cm augstums). Insektārijos zem šāļiem ieklāts porains 0,5cm biezs paralonmateriāls un katrs pildīts ar 100 ml glicerīna (ražotājs: Chempur). Glicerīns viegli iesūcas koksnē, saglabā tās vitalitāti, nerada lieku mitrumu (izslēdz pelēšanu) un neļauj tai strauji izžūt (Reeve et al., 2003). Kopumā sagatavoti 18 terāriji.

14. -15. maijā, saglabājoties augstai egļu astoņzobu pirmās paaudzes vaboļu lidošanai, svaigās egļu cirstmās (Kurzemes monitoringa parauglaukumi cirstmās - 1. Ventspils raj. (koordinātas: 37.5249, 33.5776), 2. Talsu raj. (koordinātas: 40.7934, 33.0003), 3. Tukuma raj. (koordinātas: 43.8665, 32.4094), Vidzemes parauglaukumi izveidoti cirstmās - 4. Gulbenes raj. (koordinātas: 63.4394, 34.4939), 5. Gulbenes raj. (koordinātas: 66.2815, 33.8640), 6. Balvu raj. (koordinātas: 72.2477, 35.5650)) (4.1. att.), iztīrot slazdus, iegūtas 900 dzīvas vaboles - 150 no katras cirstmas. *I. typographus* vaboles transportētas un atdzesētas speciālās reaģentu transportēšanas kastēs, kur iespējams uzturēt pazeminātu temperatūru nepilnu diennakti, nepārsniedzot 10 °C sliksni (Stefkova et al., 2017), vēlāk ievietotas - pa 50 dažāda dzimuma vabolēm vienā insektārijā tā, lai uz katru cirstmu ir 3 insektāriji, kur katrs tiek inkubēts savā mainīgā klimata režīmā, eksponēts BINDERS KMF klimata kamerās (4.2. att.) (uz katru režīmu pa 6 insektārijiem - kas ir ekvivalents ieguves vietu skaitam, kopā 18):

1) režīms I - nozīmīgu klimata pārmaiņu scenārijs tālai nākotnei (2071.–2100.g); tam atbilstošs veģetācijas periods: 12°C diena, 9°C nakts;

2) režīms II - nozīmīgu klimata pārmaiņu scenārijs tuvai nākotnei (2021.–2050.g.); tam atbilstošs veģetācijas periods: 9°C diena, 6°C nakts;

3) režīms III (kontrolē) - mūsdienu klimata veģetācijas perioda simulācija: 7°C diena, 4°C nakts.

Relatīvais gaisa mitrums visām simulācijām vienāds – 65%, ilgums – 45 dienas, diennakts gaismas cikls sastādīs 10h - nakts un 14h dienas jeb gaismas laiku. Mūsdienu klimata simulācijas perioda programmā ik pēc piecām dienām temperatūra (dienas un nakts) paaugstinās par 3 °C turpmāko nākamo piecu dienu garumā – ņemot vērā Latvijai raksturīgo vidējo temperatūru krasu svārstību rādītājus pašlaik, un, lai nodrošinātu ticamākas, dabiskiem apstākļiem vairāk pietuvinātus laikapstākļus. Vidējās krasās temperatūru svārstības pieaugs U. Betherā nozīmīgu izmaiņu scenārijos. Uz tām atsaucoties, nozīmīgu izmaiņu veģetācijas periodam (režīms I un II) tika pieņemts 5°C kāpums ik pēc piecām dienām, piecu dienu garumā. Katrs režīms izstrādāts, ņemot vērā temperatūru datus aprīlī mūsdienu situācijā un to izmaiņas scenārijos. Klimata izstrādei aprīlī pieņem kā atskaites laika periodu, jo tieši šajā mēnesī Latvijā parasti reģistrēts fenoloģiskā pavasara sākums un lapu pumpuru plaukšana.



4.2. attēls. *I. typographus* vaboļu audzēšana uz egles klimata kamerās laboratorijā (foto: I. Siliņš)

Insektārijos dzīvojošo vaboļu aktivitātes - ieskreju un izskreju veidošanu novērtēja ar neparametriskām uzskaites metodēm, veicot fotouzņēmumus, jo fiziska egles marķēšana var traucēt sekmīgai vaboļu attīstībai terārijos. Vaboles, kuras nespēja veiksmīgi invadēt koksni

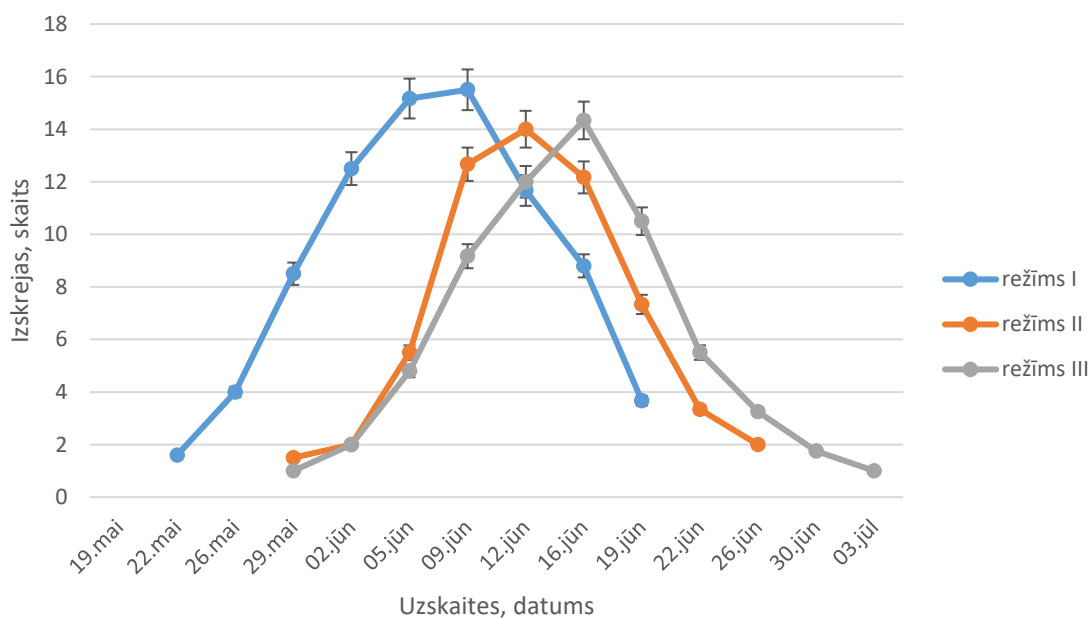
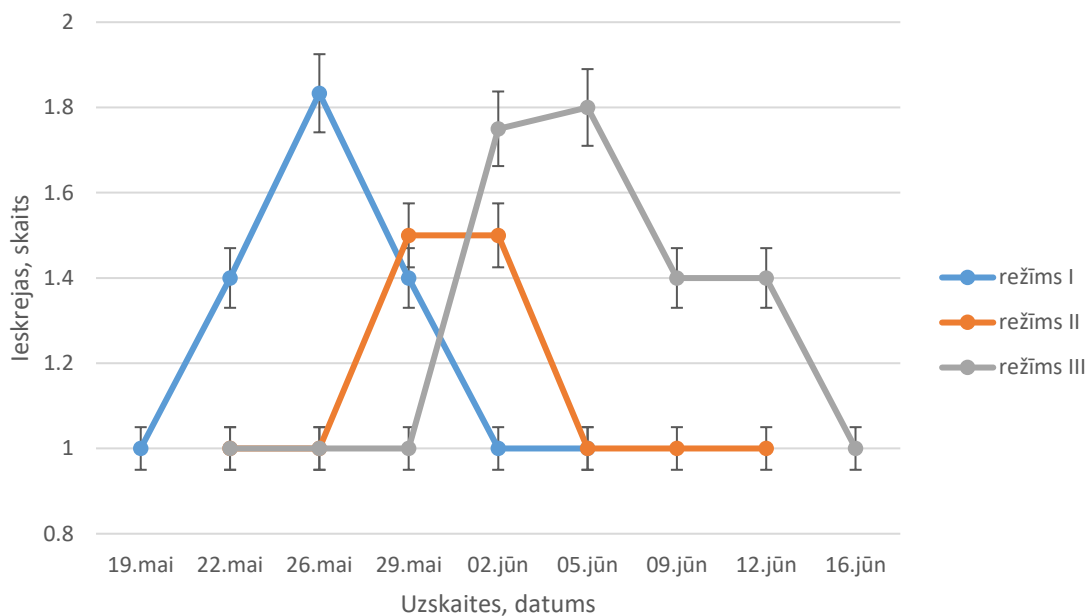
savāca un preparēja zem binokulāra 40-60x palielinājumā, lai noskaidrotu vai to nāves cēlonis nav bijis ģenitāliju parazitīti. Pēc ekspozīcijas, iepriekšminētos klimata režīmos, insektāriji ar tajos esošām vabolēm (kas jau bija invadējušas koku) aizvesti uz mizgraužu oriģinālajām ieguves vietām - cirmām (uz katru vietu pa 3 insektārijiem, kur katrs, kā minēts, inkubēts savā klimata režīmā), maskēti (9. att.). Tie novietoti tā, lai tie atrastos vismaz 40 m no tuvākās meža sienas ar egļu piemistrojumu. Katrs insektārijs modificēts par ķeršanas slazdu - uz ekspozīcijas laiku katrā ievietots viens feromonu dispenseris IPSODOR (Chemipan R&D, Polija) (pierādīts, ka agregācijas feromoni piesaista arī pašus parazitētus (Keefover, Linhart, 2010; Sullivan, et al., 1999; Zhao, et al., 2011)), un tā sānu sienīnās izurbti klāsteri ar neliela izmēra urbumiem - 1,5 mm diametrā (kas palielina parazitoīdo lapseņu iekļūšanas sekmes, bet ir pietiekami mazi, lai neizklūtu pašas mizgraužu vaboles) ar akrila reni zem tiem (traucē augšupejošo parazitoīdo lapseņu izklūšanu caur izurbtajiem caurumiem). Insektāriju aukšējā daļā izgriezta 4 cm diametra atvere ar cokolu, kur iestiprināts parazitoīdu savākšanas 400 ml plastikāta trauks. Tā kā parazitētu ietekmei ir straujš raksturs, un to preimago attīstība uz īpatni neaizņem vairāk kā vidēji 15 dienas (Bartłomiejs; Sullivan, et al., 1999), - insektārijus apsekoja divas reizes nedēļā, un ievāca parazitoīdus, nomainot savākšanas traukus no pilna uz tukšu. Ievāktie parazitēti uzskaitīti, noteiktas to sugas (ja nebija iespējams, ģintis). Pēc insektāriju eksponēšanas cirmās, tajos esošais egles materiālam noņēma mizu un uzskaitīja mizgraužu ejas (4.3. att.).



4.3. attēls. *I. typographus* galerijas ar jaunajām vabolēm un papildus barošanās ejām zem egles mizas (foto: I. Siliņš)

Rezultāti un diskusija

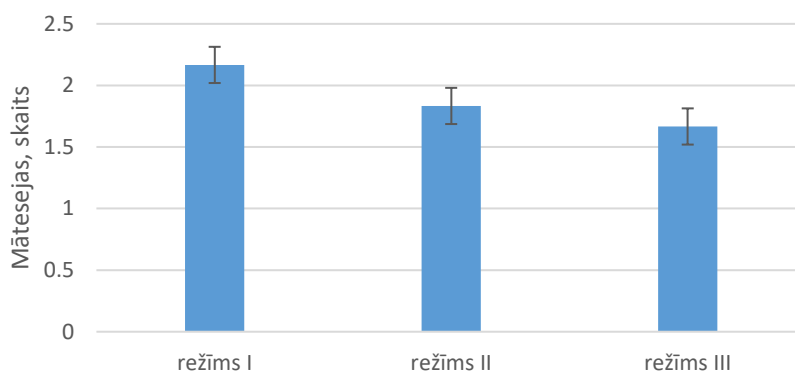
Jau 20. maijā novēroti mizgraužu tēviņi, kas uzsāk ligzdošanu, savukārt pirmās ieskrejas (un, domājams, māteseju pirmskambaru veidošana) izveidotas 22. maijā, bet ieskreju un izskreju kopējais skaits maksimumu sasniedza 22. jūnijā (4.4. att.).



4.4. attēls. *I. typographus* ieskreju/izskreju un paaudžu dinamika izvēlētajos klimata režīmos (\pm standartklūda)

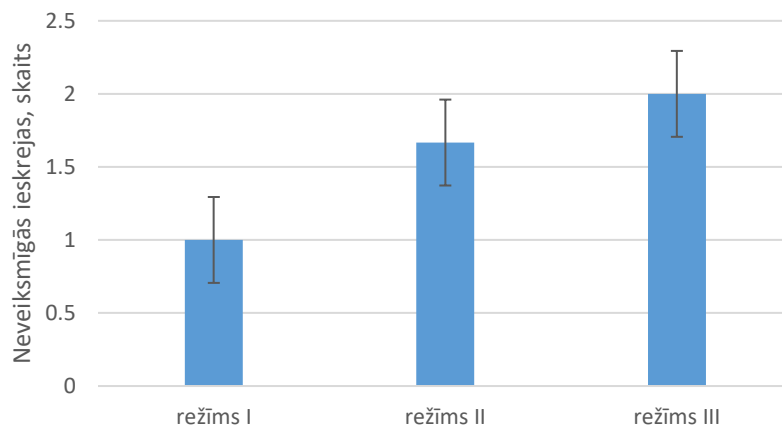
Tās mizgraužu pieaugušās vaboles, kas spēja pietiekami ātri ieligzdoties, veiksmīgi turpināja dzīvot un vairoties zem egļu mizas. Tikai nedaudzas vaboles ieligzdojās egles paraugos insektārijos - vidēji 8-12 uz terāriju, bet režīmā I par vidēji 1,5 vairāk. Vidēji 70,6 %

terārijā ielaisto, neieligzdojušos mizgraužu vaboļu gāja bojā jau pirmās nedēļas laikā, izmantojot klimata režīmu I, bet par vidēji 15 % vairāk dzīvo vaboļu saglabājies abos pārējos - II, III. Starpība pirmajā nedēļā izdzīvojušo pieaugušo vaboļu skaitam terārijos ar klimata režīmu II un III bija nenozīmīga ($p = 0,055$). Novērojot neieligzdojušos vaboļu uzvedību, tēviņi turpināja meklēt atbilstošas ligzdošanas vietas uz mizas, taču tā arī neuzdrošinājās to uzsākt. Domājams, ka aiz šīs uzvedības slēpjas kāds mehānisms, kā rezultātā sasniedzot noteiktu veiksmīgo ligzdu skaitu uz noteiktas egles mizas laukuma vienības, liedz atlikušajam vaboļu skaitam veikt ieligzdošanos. Iespējams, mātītes, izveidojot mātesejas, tajās pārvietojas, emitējot specifisku skaņas signālu (līdzīgi kā to dara kāpuri to ejās, lai tie nešķērsotu viens otru barošanās laikā) (Price, 1997; Wajnberg, Colaza, 2013), kuru uztver vīrs mizas esošās vaboles un saprot, ka mizas fragments ir jau aizņemts. Domājams, augstāka vaboļu mirstība klimata režīmā I skaidrojama ar augstāku temperatūru - sekojoši straujāku dehidratāciju, kas iedarbojas kā papildus stresa faktors. Jo preparējot sākotnēji ielaistās, mirušās *I. typographus* vaboles zem mikroskopa, tām netika atrasti iekšējie parazīti.

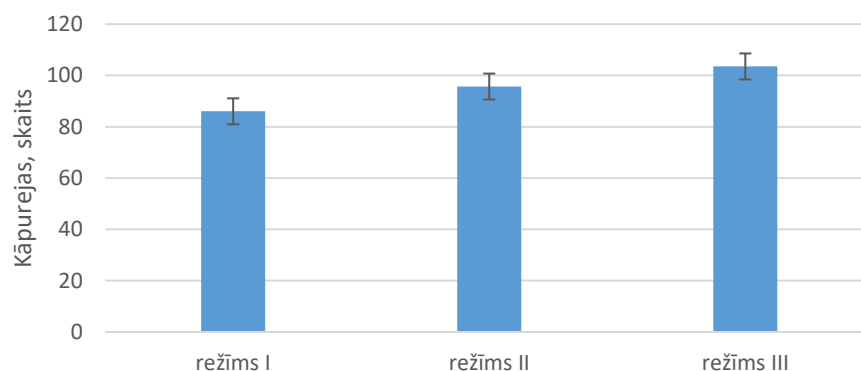


4.5. attēls. *I. typographus* vidējais māteseju skaits egles paraugā terārijā dažādos klimata režīmos (\pm standartklūda)

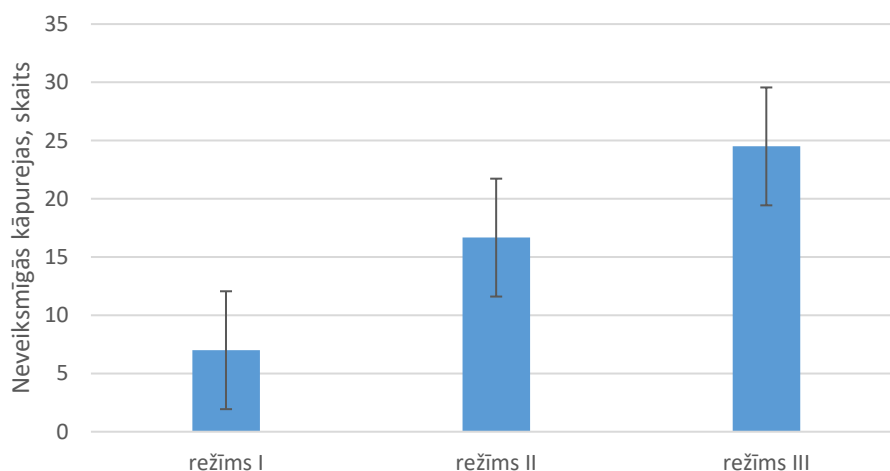
Visstraujāk jaunas ieskrejas *I. typographus* vaboles veidoja un bija aktīvākas klimata režīma I inkubācijas laikā, augstākas temperatūras ietekmē. Visvairāk ieskreju šī režīma laikā konstatēts jau 26. maijā ($1,8 \pm 0,5$), un to kopējais skaits par vidēji 0,4 ieskrejām uz insektāriju bija lielāks salīdzinot ar klimata režīmu II (4.5. att.). Ilgāk ieligzdojās vaboles klimata režīma III laikā - pēdējā ieskreja fiksēta 16. jūnijā, kas salīdzinot ar režīmiem I un II bija par 11 un 5 dienām vēlāk. Ieskreju skaitam starp insektārijiem, inkubētiem visos klimata režīmos nebija būtiskas starpības ($p = 0,048$), jo kā jau minēts, vaboļu ieligzdošanos ierobežo egles parauga dimensijas (4.6. att.).



4.6. attēls. *I. typographus* vidējais neveiksmīgo ieskreju skaits egles paraugā terārijā dažādos klimata režīmos (\pm standartklūda)



4.7. attēls. *I. typographus* vidējais kopējais kāpureju skaits egles paraugā terārijā dažādos klimata režīmos (\pm standartklūda)



4.8. attēls. *I. typographus* vidējais neveiksmīgo kāpureju skaits egles paraugā terārijā dažādos klimata režīmos (\pm standartklūda)

Ieskreju veidošanās dinamikai (4.4. att.) ir vērojama līdzīga, tieši proporcionāla izskreju veidošanās. Vaboles, kas spēja ātrāk okupēt dzīvotni, ātrāk uzsāka vairošanos un attīstību zem

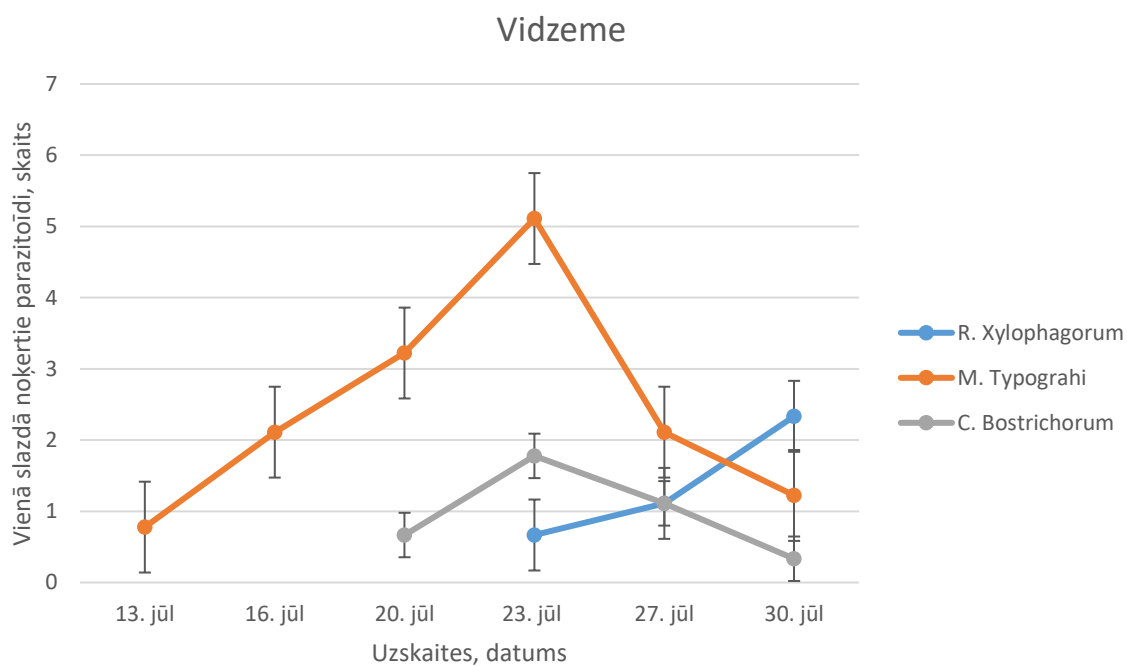
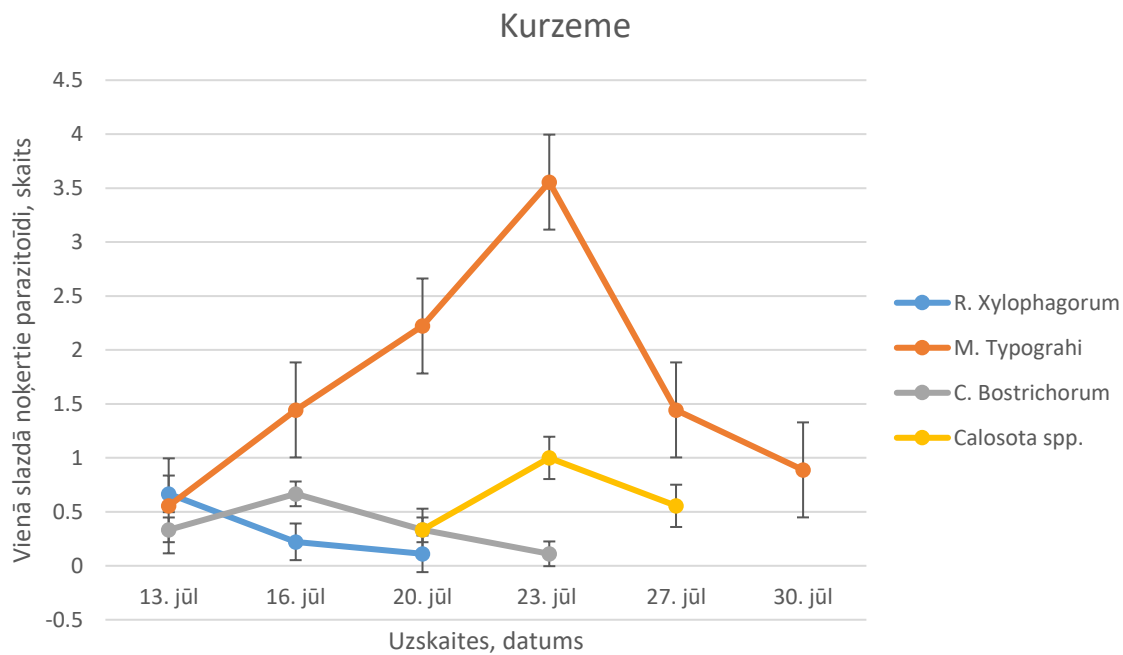
egles mizas. Klimata režīma I laikā jaunu izskreju skaits maksimumu sasniedza 5. - 9. jūnija laikā (sasniezot vidēji $15,5 \pm 5,4$ izskrejas uz insektāriju), un to maksimālais skaits par vidēji 4 - 5 dienām atpaliek režīmu II un III laikā. Lai gan izskreju veidošanās ātrums starp režīmiem II un III atšķirās nedaudz ($p = 0,017$) (4.4. att.), mizgraužu attīstība zem egles mizas režīmā III notika visilgāk. Tas skaidrojams ne tikai ar zemāku temperatūru (kas palēnina mizgraužu kāpuru vielmaiņu un paildzina to augšanu), bet arī ar lielāku iekšsugas konkurenci starp kāpuriem režīmā III (4.7. att.). Daudzām citām kukaiņu sugām iekšsugas konkurence liek pēcnācējiem attīstīties ātrāk (it sevišķi sugām, kas spēj variēt ar uzņemtas barības apjomu, lai noslēgtu attīstību līdz imago) (Price, 1997), taču, izskatās, ka *I. typographus* kāpuru attīstības gadījumā, tā palēnina to augšanu. Iespējams, kāpuriem ir nepieciešams noteikts barības apjoms, bez kura tie nespēj noslēgt savu attīstību līdz imago, un, attīstoties ciešāk viens otram, iekšējas konkurences apstākļos, spiesti optimizēt eju attīstību tā, lai tās nešķērsotos, un izvairītos no savstarpējās konkurences (Price, 1997; Barbosa, et al., 2012), kas prasa vairāk laika. Līdz ar to arī pieaug kāpuru mirstība klimata režīmos II un III. Tajos par vidēji $9,7 \pm 5,4$ un $17,5 \pm 6,1$ neveiksmīgām kāpurejām (kurās mizgrauža kāpuri nerasniedza imago un gāja bojā) bija vairāk, salīdzinot ar klimata režīmu I (4.8. att.).

Pēc kāpureju skaita atšķirības starp mizgraužiem, inkubētiem dažādos klimata režīmos, redzams (4.7. att.), ka šo vaboļu mātītes vairāk olu dējušas tieši pie zemākām temperatūrām. Zināms, ka kāpuru attīstība zemākās temperatūrās notiek lēnāk un nesekmīgāk. Daudzas kukaiņu sugas spēj noteiktās robežās apzināti regulēt pēcnācēju skaitu (daļu olu paturot neapaugļotas; apaugļošanas mātīte regulē iekšēji, operējot ar pārošanās laikā iegūto, gonādās noguldīto sēklas materiāla daudzumu), atkarībā no ārējo apstākļu ietekmes - pieejamās barības kvalitātes vai klimatiskiem apstākļiem (Price, 1997). Ticams, ka ar lielāku pēcnācēju skaitu mizgrauži cenšas kompensēt lielāku sagaidāmo mirstību. Jo pēc pēcnācēju skaita (4.7. att.) sākotnēji varētu šķist, ka mizgraužu attīstībai labvēlīgāki ir klimata režīmi II un III, taču tā nav. Labākas *I. typographus* ieligzdošanās sekmes novērotas insektārijos tieši režīmu I un II laikā (4.6. att.). Neveiksmīgo ieskreju skaits ir uzskatāmi mazāks režīma I insektārijos - par vidēji 0,7 un 1 ieskreju uz egles paraugu, salīdzinot ar II un III klimata režīmiem (4.6. att.). Ar neveiksmīgu ieskreju saprot tādu, kurā tēviņam nav izdevies piesaistīt mātīti vai pat izveidot kopulācijas telpu turpmākās saimes veidošanai.

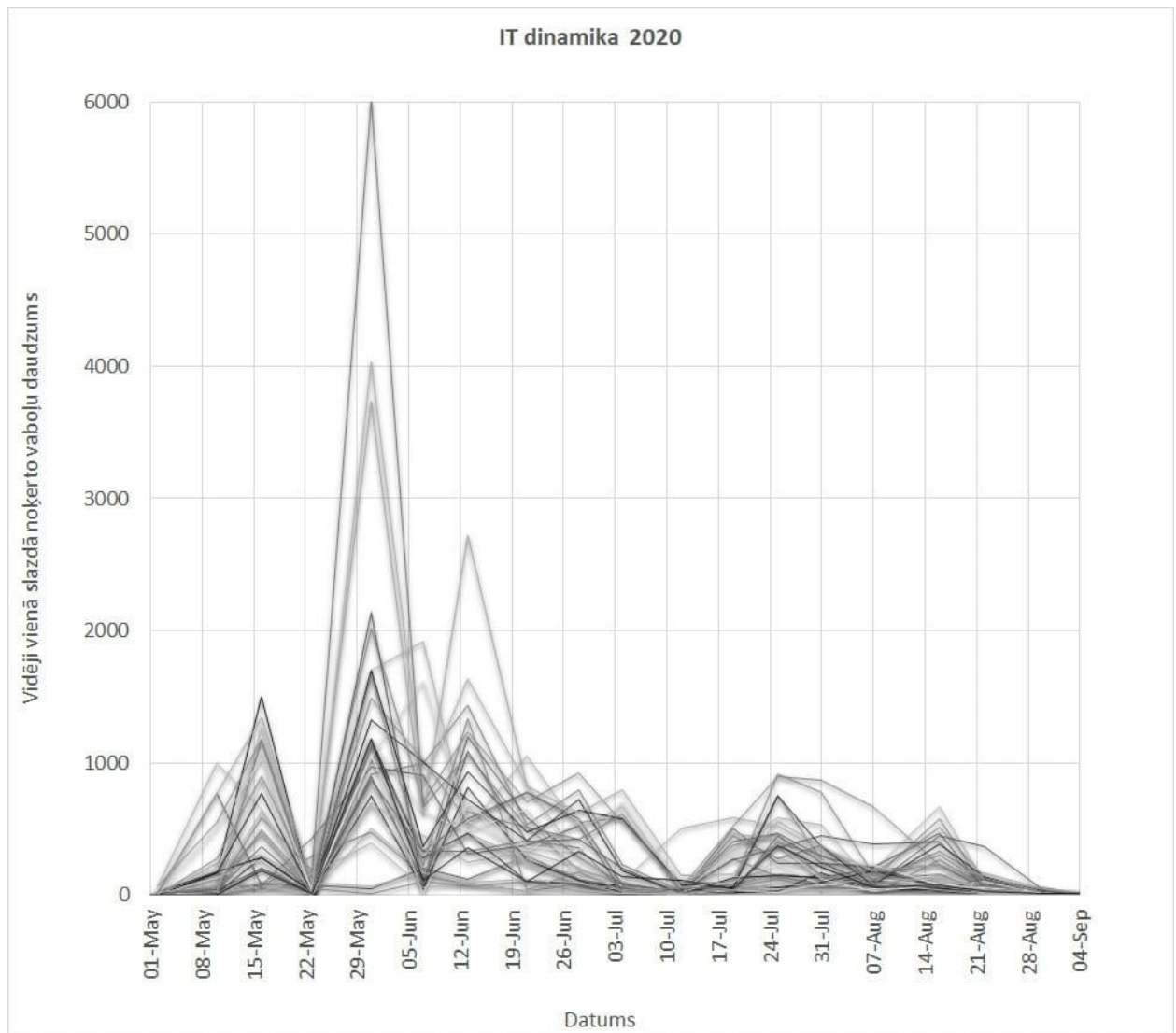
Egles paraugu dimensijas ne tikai ietekmēja ieskreju un izskreju skaitu, bet arī mizgraužu saimju (galeriju) skaitu. Līdz ar to, pamatā visos paraugos zem mizas attīstījies viena, reti - divas - saimes. Vienā saimē ir viens tēviņš, kas apaugļojis 1- 3 mātītes, retāk 4, kuras turpina veidot mātes ejas, un to sānos dēj olas, savukārt, no kurām šķiļas kāpuri un barojoties, izgrauž mātesejai sānu ejas (kāpurejas) (Bičevskis, 1983). Māteseju skaits uz vienu saimi starp klimata

režīmiem nedaudz vairāk konstatēts režīmā I (2,16), taču tām ir augsta izkliede starp abiem pārējiem režīmiem ($\pm 0,8$), un to skaitam nav būtiskas atšķirības ($p = 0,071$).

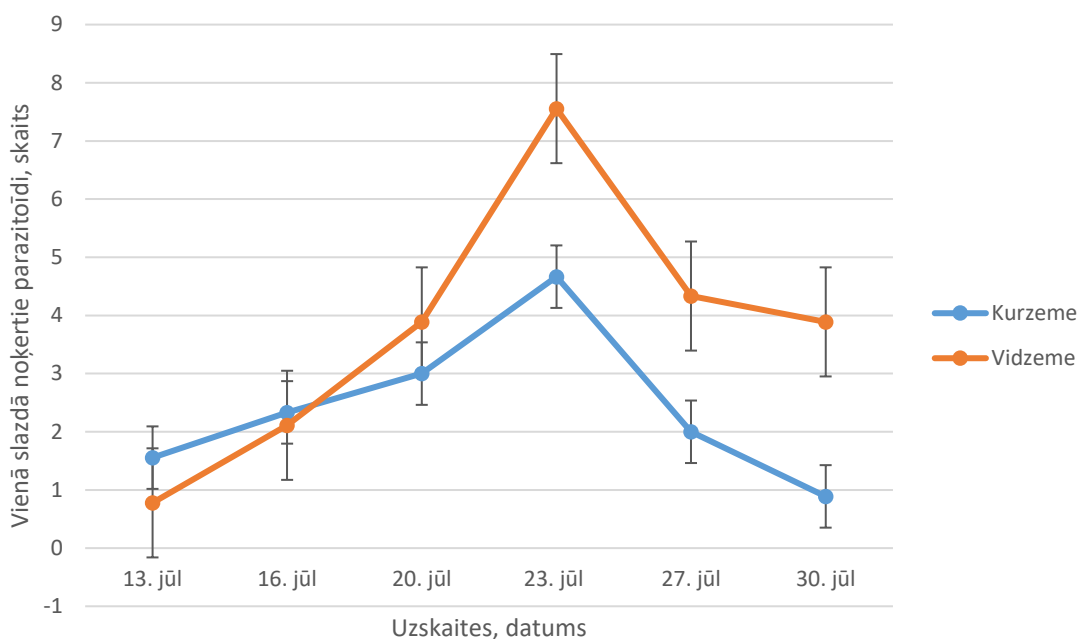
Apsekojot cirmās izvietotos insektārijus un no tiem ievācot savākšanas trauku saturu, tika noteiktas un uzskaitītas četras dažādas *I. typographus* raksturīgās parazitoīdās lapsenes - *Roptrocerus xylophagorum* (18. att., b), *Mesopolobus typographi* (Pteromalidae), *Coeloides bostrichorum* (Braconidae), *Callosota* spp. (Eupelmidae). *Mesopolobus typographi* lapsene ir plaši sastopams *I. typographus* parazitoīds (Askew, 1961; Pettersson et al., 2000; Pettersson, 2001; Sullivan, 2002; Georgiev, Takov, 2005; Baur et al., 2007; Wegensteiner et al., 2017). Tā ir aktīva arī vasaras otrajā pusē (Pettersson et al., 2000; Pettersson, 2001; Baur et al., 2007; Wegensteiner et al., 2017). *M. typographi* raksturīga cieša sinhronitāte ar *I. typographus*, jo pieaugušās lapsenes sastopamas tikai šī mizgrauža lidošanas laikā (Askew, 1961; Baur et al., 2007) (salīdzinot ar mizgraužu lidošanu konkrētajā laikā - $r = 0,89$ (4.9., 4.10. att.)). To apstiprina arī to skaits insektārijos, kas gan Kurzemē, gan Vidzemē - proporcionāli praktiski neatšķirās (4.9. att.), lidošanas pīķi sasniedzot 25. jūlijā ar vidēji $3,5 \pm 0,4$ (Kurzemē) un $5 \pm 0,6$ (Vidzemē) īpatņiem. *M. typographi* raksturīgas 2 - 3 paaudzes gadā un arī šo lapsēņu 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). Arī *R. xylophagorum*, un *C. bostrichorum* ir tipiski *I. typographus* raksturīgi parazitoīdi (Krüger, Mills, 1990; Pettersson et al., 2000; Pettersson, 2001; Sullivan, 2002). *R. xylophagorum* lapsenes mātīte ierāpjas *I. typographus* ejās, to agregāciju vietās, un atliek olu uz pēdējās stadijas mizgrauža kāpura. Šīs lapsenes kāpurs izšķīļas un ielien savā saimniekā, pakāpeniski izsūcot tā iekšējo saturu, mizgraužu kāpuram kādu laiku dzīvam esot (Pettersson et al., 2000; Pettersson, 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; Pettersson 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; Quicke, 2015). Šīs sugas lapsenes ar taustekļiem sajūt mizgraužu kāpurus zem mizas. Tos atrodot, lapsenes mātīte ar pagarināmu dējekli 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). Interesanti, ka šo abu sugu lidošanas dinamikā ir novērojama laika nobīde starp dažādiem mizgrauža izplatības reģioniem, un tā ir apgriezti proporcionāla. *R. xylophagorum*



4.9. attēls. Parazītoīdu lidošanas dinamika starp to sugām (\pm standartklūda)



4.10. attēls. *I. typographus* lidošanas dinamika starp slazdiem 2020. g. (Nacionālais monitorings, A. Šmita dati)



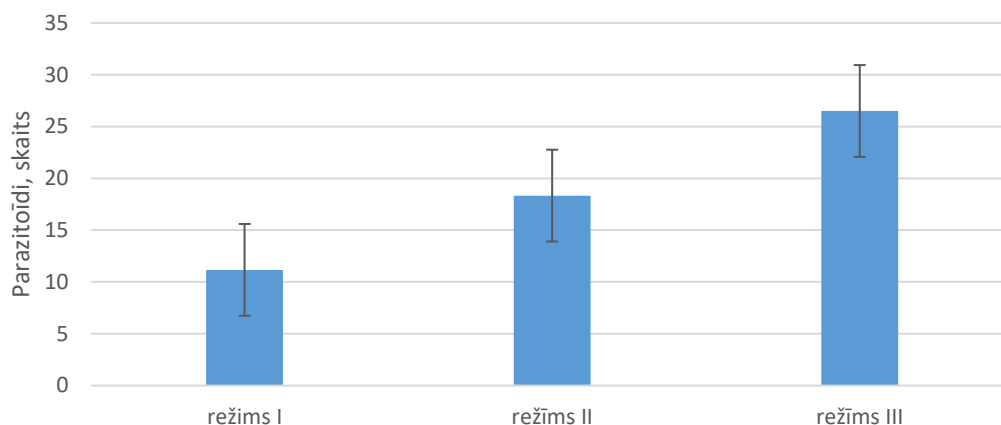
4.11. attēls. Kopējā parazitoīdu lidošana to izplatības reģionos (\pm standartklūda)

un *C. bostrichorum* Kurzemē ir sastopamas no uzskaišu sākumam līdz vidum (*C. bostrichorum* ilgāk), savukārt, Vidzemes cismās - no uzskaišu vidus (un *C. bostrichorum* jau ātrāk) (4.7. att.). Grūti spriest, kas varētu būt par pamatu šādai likumsakarībai (iespējams, papildus pētījumi sniegtu skaidrākas atbildes). Pieņemts, ka tam par vienu iemeslu var kalpot klimatisko apstākļu atšķirības - piejūras klimats Latvijas rietumu daļā un kontinentālāks austrumos. Otrs iemesls tam var būt ekoloģisko nišu pārdale, izvairīšanās no savstarpējas konkurences ar ģenerālistiem (lapsenes, kas parazitē vienas vai varāku ģinšu saimniekos), kā arī izvairīšanās no plēsējiem, kas aktīvi konkrētajos laika periodos (Price, 1997; Barbosa et al., 2012).

Novērtējot kopējo parazitoīdo lapsēņu lidošanu starp to ieguves reģioniem, būtiskas atšķirības netika atrastas (4.11. att.). Vienīgi, Vidzemē kopā tika noķerts par 94.9 % vairāk parazitisko lapsēņu, salīdzinot ar Kurzemi. Domājams, to izskaidro salīdzinoši lielāks *I. typographus* populācijas blīvums Vidzemē 2020. g.

Jāatzīmē, ka *Calosota spp.* parazitiskā lapsenes netika noķertas Vidzemes cismās izvietotajos insektārijos. To skaitam ir tieksme pieaugt līdz ar mizgraužu lidojuma pieaugumu (4.9. att.). Par šo parazitoīdo lapsenes bioloģiju zināms maz. Joprojām nav izdevies noskaidrot lapsenes sugu. Šīs sugas klātbūtne insektārijos Kurzemē iespējami norāda uz bagātīgāku *I. typographus* parazitoīdu sugu daudzveidību šajā Latvijas daļā, ņemot vērā, ka parazitisma varbūtība insektārijos esošajiem mizgraužiem starp slazdiem cismās ir vienāda. Savukārt, *M. typographi* predominance Vidzemes daļā - par pretējo. Arī taksonomiski vienveidīgs

parazitoīdu sastāvs raksturīgs relatīvi jaunās mizgraužu populācijām vai to populācijās ar savairošanās stāvokli (kā tas ir Vidzemē) (Wajnberg et al., 2008). Salīdzinoši lielāka parazitoīdu taksonomiskā daudzveidība un mainība ir stabilās, ilgstošās mizgraužu populācijās (Price, 1997; Barbosa et al., 2012; Wajnberg, Colazza, 2013).



4.12. attēls. Kopējā parazitoīdu skaita sadalījums uz insektāriju atkarībā no klimata režīma (\pm standartklūda)

Visvairāk noķerto parazitoīdu konstatēts insektārijos, kas inkubēti klimata režīmos II un III - par $7,1 \pm 4,2$ un $7,3 \pm 3,8$ īpatņiem vairāk, salīdzinot ar režīmu I (4.12. att.). Gan iepriekšminētā preimago stadiju iekšējā konkurence, gan attīstībai nelabvēlīgāka temperatūra, domājams, novājina mizgraužus un padara tos vieglāk parazitējamus. Šo apstākļu kopums samazina mizgraužu imunitāti, kā rezultātā, šīs vaboles izstrādā lielāku koncentrāciju baiļu feromona (kalpo pārējo vaboļu brīdināšanai). To sajūt arī parazīti, pēc kura smaržas vadoties, atrod novājinātās vaboles (Wajnberg, Collaza, 2013).

Eksponeējot insektārijus dabā, noķertas parazitoīdas lapsenes, kas nav raksturīgas mizgraužiem, bet visticamāk, to plēsējiem, jo tās arī piesaista mizgraužu izdalītais agregācijas feromons (Sullivan 2002). Tāpat, insektārijos netika atrasti mizgraužu plēsēji - skudrulīši, plēsējblaktis un zaļganītes, jo to izmēri ir par lieli, lai iekļūtu caur izurbtajiem caurumiem.

Secinājumi

1. Parazītismam ir izteikti lokāls raksturs Latvijas teritorijā (4.9. att.), un to var ietekmēt klimata pārmaiņas tieši salīdzinoši tālā nākotnē, nozīmīgi samazinot šī parazītisma ietekmi uz mizgraužiem (4.12. att.);

2. Klimatam kļūstot siltākam, var sagaidīt, ka egļu astoņzobu mizgrauži egli kolonizēs efektīvāk un īsākā laikā, pārvarot sausuma radīto stresu, ar zemāku pēcnācēju mirstību (4.8. att.);
3. Salīdzinoši tuvā nākotnē var sagaidīt lielāku skaitu lidojošo mizgraužu pēc pirmās paaudzes izlidošanas - tā saucamajā mūsu paaudzē, jo mizgraužu mātītes siltāka klimata ietekmē sevī vairāk saglabā neizdēto olu vēlākai dēšanai (4.7. att.);
4. Mizgraužu parazītu lidošanas dinamika starp reģioniem atšķirsies arī klimata pārmaiņu laikā, taču to var stipri ietekmēt sinhronitāte ar mizgraužu lidošanu (4.9., 4.10. att.).
5. Klimata pārmaiņu ietekmē sagaidāms būtiski paaugstināts dendrofāgo kukaiņu radīto bojājumu risks egles audzēs – gan agrākas izlidošanas un ātrākās to attīstības dēļ, gan zemākas mirstības (t.sk. mazākas parazitoīdu ietekmes rezultātā) un augstākas vairāku paaudžu (t.sk. mūsu paaudžu) veidošanas varbūtības dēļ.

Rekomendācijas

1. Strikti ievērot mizgraužu ietekmes mazināšanas pasākumus.
2. Nozīmīgi veicināt egles noturību pret dendrofāgiem – šo koku sugu izmantojot tikai platībās ar normālu vai noregulētu mitruma režīmu un izvēloties tādu mežsaimniecības stratēģiju, kas mazina vēja ietekmes varbūtību un laiku, kad audze pakļauta bojājumu riskam, t.sk. zemāku biežumu jaunaudzēs, mērķa caurmēru kā galvenās cirtes kritēriju, mazāku retināšanu skaitu un pietiekamu adaptācijas laiku (ap 5 gadi) pēc retināšanas, pirms blakus audzes nociršanas galvenajā cirtē.
3. Samazināt dendrofāgu ietekmi veicinošu saimniecisko darbību, t.sk.:
 - plānot mežistrādi siltajā laikā egles audzēs tā, lai būtu iespējams nodrošināt operatīvu sortimentu un lielāku dimensiju ciršanas atlieku pievešanu un izvešanu vai pārstrādi, neveicinot mizgrauža savairošanos;
 - sanitārās cirtes gada siltajā periodā prioritāri plānot un īsteno egles audzēs, novēršot dendrofāgo kukaiņu savairošanos;
 - vērtēt iespējas izvākt no audzes mizgraužu invadētus, bet vēl nenokaltušus kokus, nodrošinot šo dendrofāgu izvešanu no meža – tātad populācijas blīvuma mazināšanos.

5. Epiģenētiskā efekta ietekme.

Augu spēja pielāgoties klimata pārmaiņām nosaka dabiskā atlase, migrācija un fenotipiskā plasticitāte (Nicotra et al., 2010). Plasticitāti raksturo noteiktu pazīmju reakcija uz noteiktiem vides stimuliem, kas savukārt neraksturo organismu kopumā. Daļu atbildes reakciju raksturo adaptīvā plasticitāte, kas nodrošina organisma priekšrocības noteiktos apstākļos, kamēr fizikāliem procesiem vai resursu trūkumiem (neadaptīvā plasticitāte) ir nenovēršama ietekme uz organismu. Gan adaptīvajai, gan neadaptīvajai plasticitātei ir būtiska ietekme uz augu reakcijām attiecībā uz klimata pārmaiņām.

Notiekošās klimata pārmaiņas ietekmē augu fenoloģiju un to izplatības areālu. Pēdējo 150 gadu laikā vidējā gaisa temperatūra ir palielinājusies par 0,9°C un tā turpina pieaugt (IPCC, 2014), tādējādi radot visām organisma grupām nepieciešamību pielāgoties augstākai gaisa temperatūrai un mainīgajiem klimatiskajiem apstākļiem. Boreālajā reģionā koku sugām jau ir novērotas izmaiņas fenoloģijā, piemēram, pavasaros notiek ātrāka pumpuru plaukšana un ir vērojams arī ilgāks augšanas periods, kas ir koku atbildes reakcija uz gaisa temperatūras paaugstināšanos (Aitken et al., 2008; Olsen and Lee, 2011).

Viens no veidiem kā augi var ātrāk pielāgoties klimata pārmaiņām ir caur epiģenētisko mehānismu. Epiģenētika ir izmaiņas gēnu ekspresijā, kas nav saistītas ar mainītu DNS sekvenci un kuras ir potenciāli pārmantojamas (Iwasaki and Paszkowski, 2014). Piemēram, epiģenētiskās izmaiņas ir stabilākas nekā citi faktori, kas ietekmē gēnu ekspresiju, un var ilgt visu organisma dzīvi un var būt pārmantojamas arī nākamajai paaudzei (Yakovlev et al., 2012). Šī epiģenētiskā variācija veicina fenotipisko plastiskumu un var būt svarīgs faktors, kas veicina organismu spēju pielāgoties mainīgajam klimatam.

Lielākoties pētījumi veikti skujukokiem, jo tiem ir salīdzinoši ilgs mūžs un lēna paaudžu maiņa. Vienlaikus šīm sugām ir raksturīgs plašs izplatības areāls, un attiecīgi arī lielāka spēja pielāgoties dažādajiem klimatiskajiem apstākļiem. Šo īpašību nodrošina fenotipiskā plasticitāte, tai skaitā epiģenētiskā atmiņa (fenotipiskās plasticitātes veids, kas saglabājas nākamajā paaudzē). Tomēr šī epiģenētiskā efekta ietekme kā jau tika minēts ir vairāk pētīta parastajai eglei, it īpaši saistībā ar atšķirīgas temperatūras ietekmi un pēcnācēju augšanu, kamēr melnalksnim šādu pētījumu trūkst.

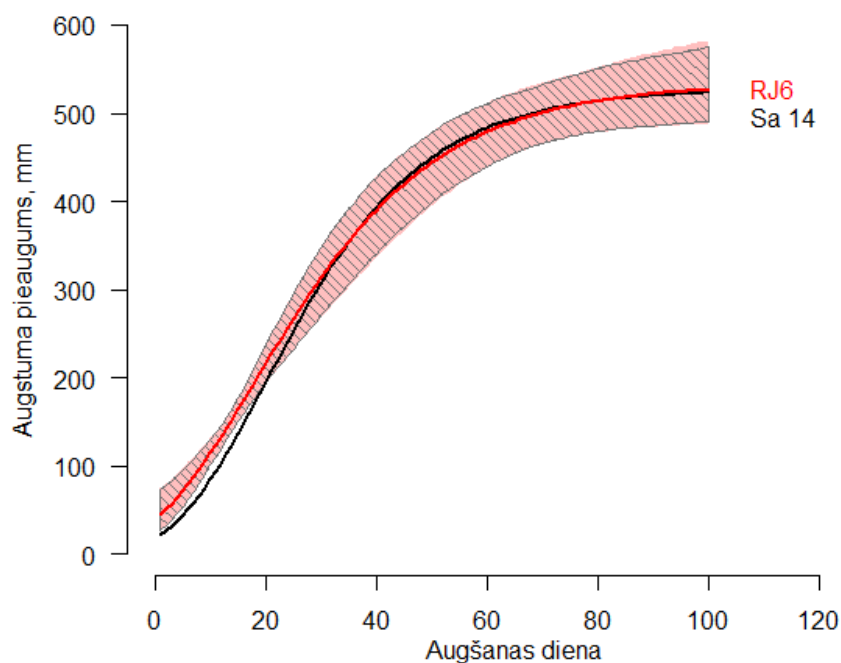
Materiāls un metodes

Melnalkšņa augstuma pieaugums

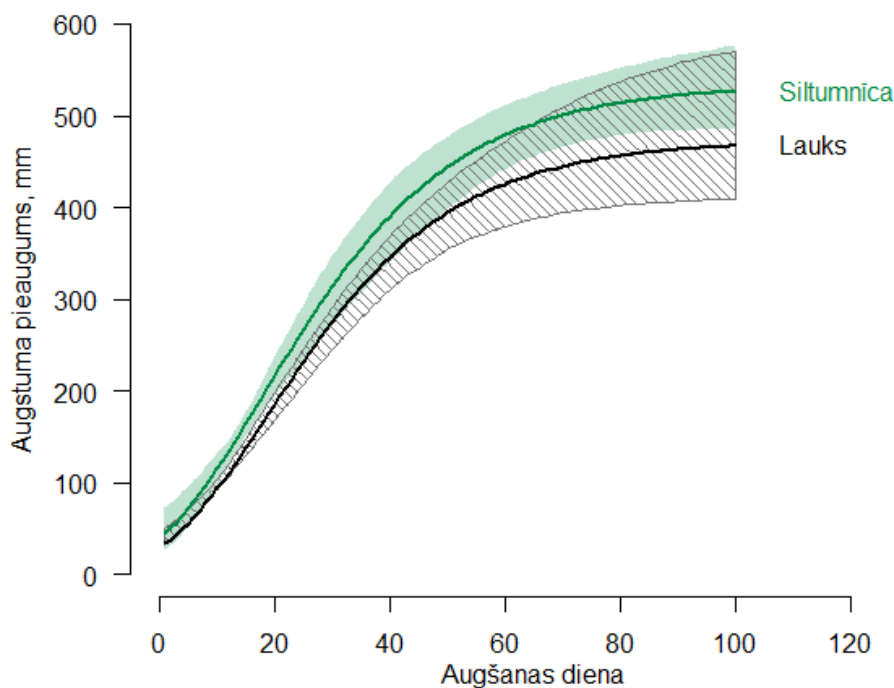
No "Rīgas mežu" Olaines plantācijas 2009. gadā paņemts RJ6/5 melnalkšņa klona potzars, kā rezultātā iegūts RJ6 klons, kas iestādīts MPS sēklu plantācijā Kalsnavas mežu novada 220. kvartāla 16. nogabalā. No šīs MPS sēklu plantācijas 2016. gada pavasarī izrakti 2 metrus augsti RJ6 un Sa14 rameti, kurus pārstādīja liela izmēra konteineros un audzēja klimata kamerā (siltumnīcā) kurā patstāvīgi uzturēta temperatūra, kas par 4°C pārsniedza ārējās vides temperatūra. Tā paša gada rudenī ievāca ienākušās sēklas no šiem abiem rametiem un uzglabāja atbilstoši vispārpieņemtajai sēklu uzglabāšanas praksei. Paralēli "Rīgas mežu" Olaines plantācijā ievāca sēklas no RJ6/5, RJ6/9, RJ6/189, RJ6/241 un RJ6/249 rametiem. Tā kā Sa14 klons neaug Olaines plantācijā, bet MPS plantācijā rameti vēl neražoja sēklas, tās ieguva gadu vēlāk. Sēklas, kas iegūtas 2017. gadā (visi rameti izņemot Sa14 no MPS sēklu plantācijas) iesētas MPS kokaudzētavā un stādi audzēti divas veģetācijas sezonas. Iegūtos stādus 2019. gada pavasarī iestādīja Iecavas novadā, kur pirmās veģetācijas sezonas laikā ar neregulāriem intervāliem mērīti šo stādu augstuma pieaugumi.

Ar jaukta efekta lineāro modeli (*linear mixed-effects model*) novērtēta vietas (izcelsmes) ietekme uz koku augstuma pieaugumu. Rezultāti rāda, ka izcelsmei ir statistiski būtiska ietekme ($p > 0,05$) uz melnalkšņa stumbru augstuma pieaugumu. Relatīvi nelielā iegūto stādu skaita dēļ tālākā datu analīzē netiek ņemti vērā koki, kas iegūti no siltumnīcas apstākļos augušo rametu sēklām. Starp sēklu plantācijas rametu (RJ6/5, RJ6/9, RJ6/189, RJ6/241 un RJ6/249) pēcnācējiem netika konstatēta būtiska atšķirība ne beigu augstuma pieaugumā, ne augstuma pieauguma veidošanās dinamikā.

Izmantojot koku augstuma pieauguma dinamikas mērījuma datus, augstuma pieauguma veidošana katrā no sēklu nogatavošanās apstākļiem raksturota ar *Gompertz* vienādojumu (5.1. un 5.2.attēls). Vienādojuma koeficientiem starp siltumnīcas apstākļos augušo rametu pēcnācējiem netika konstatēta statistiski būtiskas atšķirības.



5.1.attēls. Siltumnīcas apstākļos augušo rametu RJ/6 un Sa14 pēcnācēju augstuma pieaugums veģetācijas sezonas laikā.



5.2.attēls. Melnalkšņa augstuma pieaugums stādiem, kas iegūti no dažādos apstākļos augušu rametu sēklām

Savukārt augstuma pieauguma dinamikas vērtēšanai, starp siltumnīcas (RJ6) un sēklu plantācijas rametu pēcnācējiem, lielās izkliedes dēļ, ņemti katra sēklu plantācijas rameta 10-15 pēcnācēju augstuma pieauguma mērījumi. Vienādojuma koeficientiem netika konstatēta

statistiski būtiska atšķirība starp siltumnīcas apstākļos augušo rametu un sēklu plantācijas rametu pēcnācējiem.

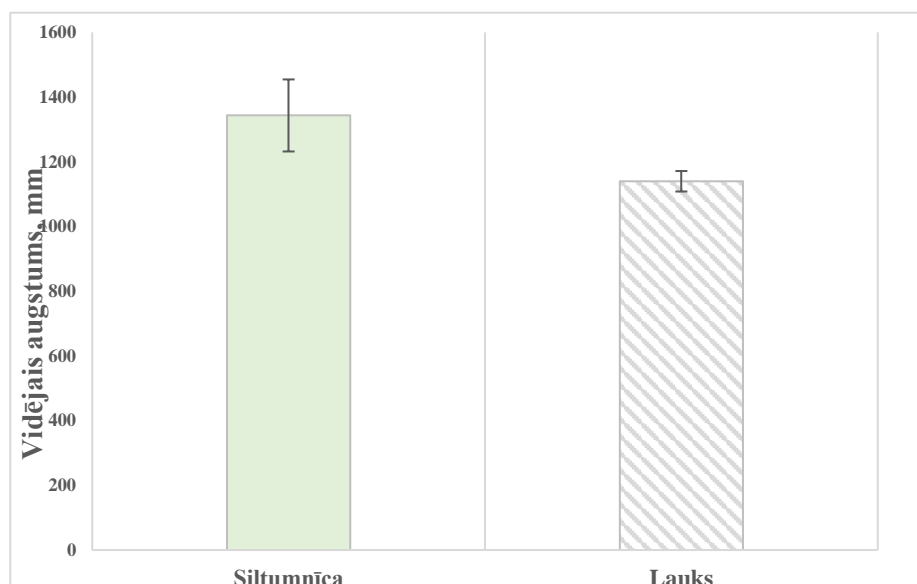
Egles augstuma pieaugums

No "Tirzas" sēklu plantācijas 2016. gada pavasarī izrakti trīs egļu rameti - Mad121/1, Mad147/1 un Mad116, kurus turpināja audzēt klimta kamerā (siltumnīcā) kurā patstāvīgi uzturēta temperatūra, kas par 4 °C pārsniedza ārējās vides temperatūru. No šiem abiem rametiem iegūtas sēklas stādu audzēšanai. Paralēli no "Tirzas" sēklu plantācijas rametiem Mad123; Mad127, Sau29; Mad116/Tirza un Mad29 iegūtas sēklas. Visas iegūtas sēklas uzglabātas atbilstoši vispārpieņemtajai sēklu uzglabāšanas praksei līdz to sēšanas brīdim. No šīm sēklām izaudzētos stādus 2019. gada pavasarī iestādīja Iecavas novadā, kur otrās veģetācijas sezonas laikā mērīja egļu augstuma pieaugumus

Rezultāti un diskusija

Melnalkšņa vidējo augstumu salīdzinājums

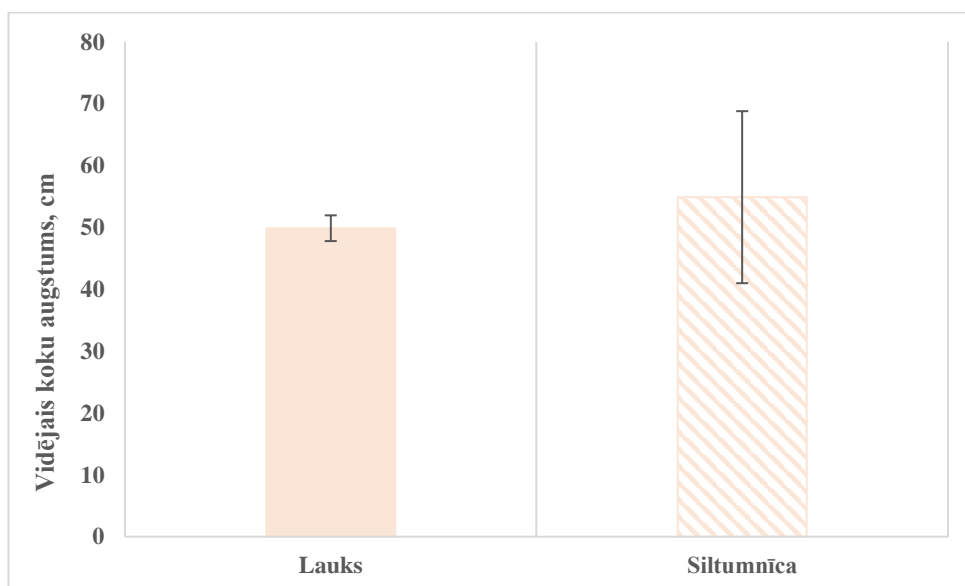
2020. gada veģetācijas sezonas beigās uzmērīja melnalkšņa koku augstumus. Lai noskaidrotu vai otrās veģetācijas sezonas laikā izcelsmes vietai ir ietekme uz koku augstuma pieaugumu - izmantots lineārās regresijas modelis. Secināts, ka izcelsmei ir statistiski būtiska ietekme ($p > 0,001$) uz melnalkšņa koku vidējiem augstumiem, kamēr pirmajā sezonā, šāda ietekme netika atrasta. Siltumnīcas apstākļos augušo rametu pēcnācēju vidējais augstums bija $1345,1 \pm 111,4$ mm, bet sēklu plantācijas pēcnācēju $1136,6 \pm 31,7$ mm (5.3. attēls). Papildus tam, meklēts vai savā starpā korelē sēklu plantācijas un siltumnīcas rametu pēcnācējus raksturojošās pazīmes, tomēr šāda saikne netika atrasta.



5.3.attēls. No dažādas izcelsmes sēklām audzēto melnalkšņu vidējais augstums pēc otrās veģetācijas sezonas

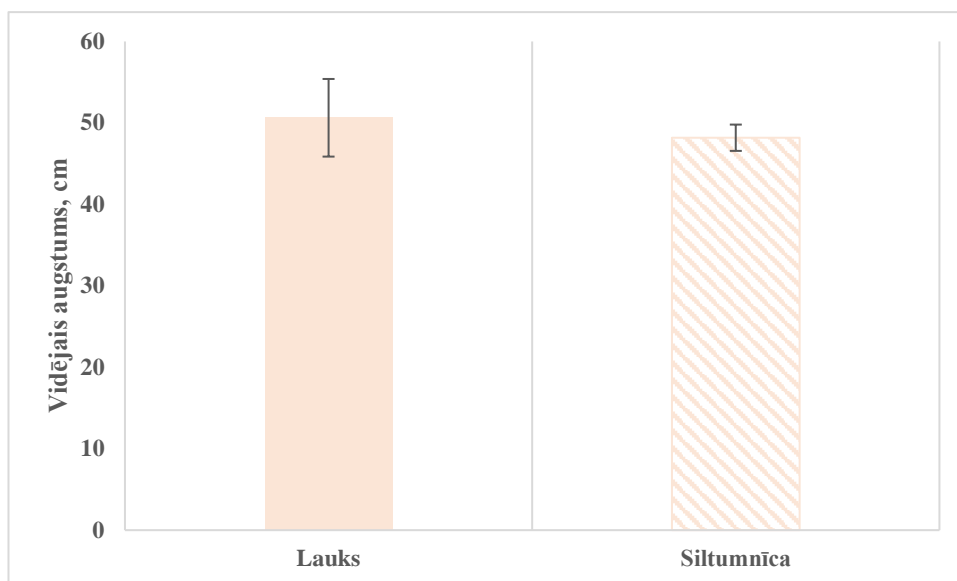
Egles vidējo augstumu salīdzinājums

Salīdzinot egļu vidējos koku augstumus (*t-test*) netika konstatēta būtiska ($p = 0,66$) sēkļu izcelsmes ietekme. Sēkļu plantācijas rāmiņu pēcnācēju vidējais augstums bija $49,9 \pm 2,1$, bet siltumnīcas rāmiņiem $54,9 \pm 13,9$ cm (5.4.attēls).



5.4.attēls. No dažādas izcelsmes sēklām audzēto egļu vidējais augstums pēc otrās veģetācijas sezonas

Papildus tam, bija iespēja salīdzināt savā starpā divu ģenētiski identisku rametu pēcnācējus – Mad116/Tirza un Mad116/1. Tomēr to vidējie augstumi (*t-test*) būtiski neatšķīrās ($p=0,33$); Mad116/Tirza vidējais augstums bija $50,6\pm 4,8$, bet Mad116/1 – $48,2\pm 1,6$ cm.



5.5.attēls. Ģenētiski identisku rametu pēcnācēju Mad116/Tirza (lauks) un Mad116/1 (siltumnīca) vidējais koku augstums.

Secinājumi

Pētījuma ietvaros nav fiksēta nozīmīga epiģenētiskā efekta ietekme nedz uz koku pieauguma veidošanās sezonālo dinamiku, nedz tā kopējo garumu.

Rekomendācijas

Novērojumi turpināmi līdz juvenilā vecumā beigām, kad ģenētisko faktoru ietekmes raksturošana ir precīzākā.

6. 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).

Rezultāti publicēti:

Dalība konferences ārvalstīs bija plānota, taču konferences nav notikušas un nav bijis iespējams to nodrošināt. Tā vietā, nodrošināta vienas papildus publikācijas sagatavošana. Kopumā sagatavotas divas publikācijas.

6.1. Sasalstoša lietus radītie bojājumi parastās egles audzēs atkarībā no audzes parametriem

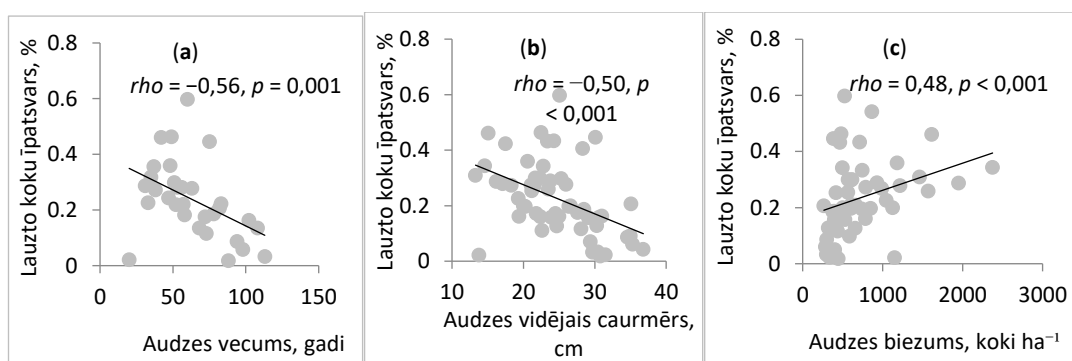
Šēnhofa S., Katrevičs J., Adamovičs A., Bičkovskis K., Bāders E., Donis J., Jansons Ā. (2020) Tree Damage by Ice Accumulation in Norway Spruce (*Picea Abies* (L.) Karst.) Stands Regarding Stand Characteristics. *Forests* 2020, 11, 679; doi:10.3390/f11060679

Apledojuma jeb ledus slāņa veidošanos koku vainagos visbiežāk izraisa sasalstošs lietus – lietus nokrišņi ar pilienu temperatūru ap 0 °C, kas sasilst saskarē ar cietu virsmu. Šo parādību dēvē arī par atkalu, bet tā kā termins “atkala” ir daudz plašāk interpretējams un sevī ietver ne tikai dažādu atmosfērisku nokrišņu vai gaisa mitruma sasalšanu uz virsmām, bet arī pašus klimatiskos apstākļus, kas to izraisa, tad turpmāk tekstā izmantos termins “apledojums”. Eiropā šāda meteoroloģiskā parādība ir bieži sastopama. Ziemeļeiropā sasalstošs lietus šobrīd iespējams 0,5 līdz 1,5 reizes gadā, un klimata pārmaiņu ietekmē tā biežums pieaugs. Intensīva apledojuma uzkrāšanās rada ievērojamus zaudējumus infrastruktūrai un mežsaimniecībai. Apledojuma radīto bojājumu apzināšana hemiboreālajos mežos ir būtiska klimata pārmaiņu ietekmes apzināšanai, un mežsaimniecisko darbību pielāgošanai dabisko traucējumu radīto zaudējumu mazināšanai.

Apledojuma radītie bojājumu apmērs valdaudzes kokiem, un tā saistība ar koka un audzes parametriem tika novērtēta 61 parastās egles audzē Latvijas austrumu daļā pēc sasalstoša lietus 2012. gada decembrī. Precīzi dati par meteoroloģiskajiem apstākļiem audzēs nav pieejami; par sasalstoša lietus intensitāti netieši liecina koku masa ar apledojumu netālu esošās priedes audzēs, kur tā 1,5 reizes pārsniedza šo koku masu bez apledojuma. Apsekoto audžu vecums bija no 20 līdz 113 gadiem, tās grupētas atkarībā no meža edafiskās rindas (sausieņi, slapjaini un kopā nosusinātas kūdras un minerālaugsnes) un kopšanas cirtes veikšanas laika (kopts

pēdējo trīs gadu laikā vai cits). Valdaudzes kokiem mērīts caurmērs krūšaugstumā, augstums, dzīvā vainaga augstums, noteikti apledojuuma radītie bojājumi (nebojāts, lauzts, liekts vai izgāzts). Kopumā novērtēti 7581 koki, no tiem 4672 bija valdaudzes koki. Svarīgākie bojājumu iespējamību ietekmējošie faktori visās audzēs un nesen koptās audzēs aprēķināti, katram datu masīvam izmantojot 125 modeļus, katrā no tiem ietverot viena līdz piecu faktoru kombināciju.

Bojāto valdaudzes egļu īpatsvars bija no 1,8% līdz 60,9%, un tas bija būtiski ($p < 0,001$) augstāks nesen koptās audzēs (27,8%) nekā audzēs, kur kopšanas cirte nav veikta vai tā veikta vairāk nekā pirms trīs gadiem (20,4%). Stumbra lūzums bija biežāk sastopamais (98,5%) bojājumu veids. Mazāks bojāto koku īpatsvars bija vecākās, retākās audzēs ar lielāku vidējo caurmēru (5.6 attēls). Valdaudzē bija būtiski lielāks bojāto koku īpatsvars (23,5%, $p < 0,001$) nekā starpaudzē vai paaugā. Savukārt starp valdaudzes kokiem retāk bojātas egles ar lielāku relatīvo caurmēru (attiecība starp koka un audzes caurmēru), mazāku slaiduma koeficientu (attiecība starp koka augstumu un caurmēru) un lielāku vainaga īpatsvaru.



5.6. Attēls Lauzto valdaudzes egļu īpatsvars atkarībā no (a) audzes vecuma, (b) audzes vidējā caurmēra un (c) audzes biežuma visās audzēs (nesen kopās un citās audzēs kopā).

Eglēm ar vainagu mazāku par 30% no koka augstuma bija lielāks bojāto koku īpatsvars (35,4%) nekā eglēm ar vainagu lielāku par 40%. Vislielākais bojāto koku īpatsvars bija eglēm ar caurmēru 10 līdz 15 cm, un augstumu 15 līdz 17 m (attiecīgi 31,5% un 32,4%), un tas samazinājās lielākiem kokiem. Koki, kas bija mazāki par audzes vidējo koku, tika bojāti būtiski biežāk (28,7% līdz 31,9%) nekā relatīvi lielāki koki, un koki ar slaiduma koeficientu 1,01 līdz 1,20 bija bojāti būtiski biežāk (35,7% līdz 36,3%) nekā relatīvi strupāki koki. Lūzuma varbūtību valdaudzes kokiem visprecīzāk iespējams prognozēt, izmantojot meža tipu, koka augstumu, relatīvo caurmēru un vainaga īpatsvaru (kopīgi faktori visām audzēm un nesen koptām audzēm), kā arī audzes vidējo caurmēru modelī visām audzēm un audzes biežumu modelī nesen koptām audzēm.

Iegūtie rezultāti norāda uz nepieciešamību izmantot tādas mežsaimniecības darbības, kas veicina koku augšanai labvēlīgus apstākļus visā rotācijas perioda garumā, tādējādi paaugstinot individuālu koku stabilitāti un noturību pret apledojuuma radīto slodzi koka vainagā.

6.2. Skujbires ilgtermiņa ietekme uz parastās priedes augšanu un finanšu rādītājiem

Jansons A., Zeltins P., Donis J., Neimane U. (2020) Long-term effect of *Lophodermium* needle cast on the growth of Scots pine and implications for financial outcomes. *Forests* 2020, 11, 718; doi:10.3390/f11070718

Klimata pārmaiņas var veicināt parastās priedes dominēšanu Ziemeļeiropas mežos, taču reizē radot labvēlīgākus apstākļus arī ar šo koku sugu saistīto patogēnu izplatībai. Skujbire (*Lophodermium seditiosum* Minter, Staley & Millar) ir kokaudzētavās un jaunaudzēs bieži sastopama infekcijas slimība, kas negatīvi ietekmē priedes sējeņu saglabāšanos un augšanu. Skujbire var samazināt koka augšanas tempu vairākus gadus pēc skujbires epidēmijas izraisītajiem bojājumiem. Lai varētu novērtēt iespēju iekļaut skujbires rezistenci priedes selekcijas programmā, nepieciešams aprēķināt potenciālos zaudējumus šīs slimības dēļ. Pētījuma mērķis bija novērtēt skujbires ilgtermiņa ietekmi uz parastās priedes audžu augšanu un monetāro vērtību. Tika novērtēta skujbires bojājumu sestajā augšanas sezonā ietekme uz augšanu 17 gadu vecumā parastās priedes kontrolēto krustojumu pēcnācēju pārbaužu stādījumā Kalsnavā. Eksperimentā kopumā pārstāvētas 98 ģimenes, kas iegūtas, krustojot 10 vietējās izcelsmes klonus. Skujbires ietekme vērtēta piecu baļļu skalā atkarībā no bojātu skuju īpatsvara. Skujbires ilgtermiņa ietekme tika vērtēta, modelējot augšanas gaitu no 17 gadu vecuma līdz mērķa caurmēra (≥ 35 cm) sasniegšanai vairākiem apsaimniekošanas scenārijiem ar dažādu sākotnējo koku biezumu un kopšanas režīmiem. Audzes monetārā vērtība novērtēta ar ekvivalentajiem ikgadējiem ienākumiem (EII) pie procentu likmēm 2, 3 un 4 %.

Rezultāti uzrādīja statistiski būtisku negatīvu skujbires ietekmi uz koku augstumu un caurmēru 11 gadus pēc slimības epidēmijas. Skujbires bojājumu pakāpi statistiski būtiski ietekmēja arī ģimene (ģenētika). Ilgtermiņa augšanas gaitas modelēšana prognozēja par 61.5 Eur ha⁻¹ (gandrīz 100 %) zemākus EII, salīdzinot ar skujbires neskartu audzi. Bojātām audzēm prognozējamie EII sasniedza maksimālo vērtību vēlāk, kas norāda uz ilgāku rotācijas ciklu. Intensīvāka audzes apsaimniekošana agrīnā vecumā daļēji kompensē finansiālos zaudējumus skujbires dēļ, tādēļ var tikt uzskatīta par efektīvu slimības jau skartās audzēs.

Rezultāti norāda arī uz skujbires rezistenci kā ekonomiski pamatotu vērtējamo pazīmi priedes selekcijā, jo izlases ar jau sākotnēji augstāku rezistenci pret skujbiri uzrādīja augstākus EII neatkarīgi no vērtētajām apsaimniekošanas alternatīvām. Koku augstums un saglabāšanās spēcīgi negatīvi (-0.62 līdz -0.70) korelēja ar ļoti bojātu koku īpatsvaru ģimeņu līmenī. Tas

norāda uz iespēju selekcijas procesā netieši atlasīt rezistentākus genotipus, veicot atlasi pēc augšanas rādītājiem slimības skartos stādījumos, tādā veidā samazinot biotiskos riskus un veicinot nākotnes priedes audžu pielāgošanas klimata pārmaiņām.

Izmantotā literatūra

- Aitken S. N., Yeaman S., Holliday J. A., Wang, T., Curtis-McLane S. (2008). *Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. Evolutionary Applications*, 1, 95–111.
- 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.
- Avotniece, Z., Klavins, M., Rodinovs, V., 2012. *Changes of extreme climate events in Latvia. Environmental and Climate Technology* 9: 4–11.
- Barbosa, P., Letourneau, D.K., Agrawal, A.A. (2012). *Insect outbreaks revisited. Blackwell Publishing Ltd.* 459 p.
- 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.
- Bartłomiej B. *New attraction methods of Ips typographus L. and Pityogenes chalcographus L. applied in pheromone baited traps. presentation material - https://bfw.ac.at/cms_stamm/400/PDF/expertmeeting2013/Bednarz_attraction_methods.pdf*
- Beck, E.H., Heim, R., Hansen, J., 2004. *Plant resistance to cold stress: mechanisms and environmental signals triggering frost hardening and dehardening. Journal of Biosciences* 29: 449–459.
- Bičevskis, M. & Ozols, G. (1983). *Egļu astoņzobu mizgrauža bioloģija un sintētiskā feromona lietošana. Jaunakais Mežsaimniecībā*. 25. Laid., 48 –56.
- Bunn, A.G., 2008. *A dendrochronology program library in R (dplR). Dendrochronologia* 26: 115–124.
- Cavin, L., Jump, A.S., 2017. *Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree Fagus sylvatica L. not the equatorial range edge. Global Change Biology* 23: 362–379.
- 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 & Natural Resource Sciences*, 10: 46–57.
- Cook, E. R. (1985). *A time series analysis approach to tree ring standardization (Doctoral dissertation, University of Arizona).*

- Cox S.E., Stushnoff C. (2001). *Temperature-Related Shifts in Soluble Carbohydrate Content During Dormancy and Cold Acclimation in Populus Tremuloides*. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 730–737.
- Cuny, H.E., Fonti, P., Rathgeber, C.B., von Arx, G., Peters, R.L., Frank, D.C., 2019. *Couplings in cell differentiation kinetics mitigate air temperature influence on conifer wood anatomy*. *Plant Cell and Environment* 4: 1222–1232.
- 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.
- Gärtner, H., Nievergelt, D., 2010. *The core-microtome: a new tool for surface preparation on cores and time series analysis of varying cell parameters*. *Dendrochronologia* 28: 85–92.
- Gärtner, H., Schweingruber, F.H., 2013. *Microscopic preparation techniques for plant stem analysis*. Dr. Kessel Verlag, Remagen-Oberwinter.
- Georgiev, G., T., Takov, D. (2005). *Impact of Tomiocobia seitneri (Ruschka) (Hymenoptera: Pteromalidae) and Ropalophorus clavicornis (Wesmael) (Hymenoptera: Braconidae) on Ips typographus (Linnaeus) (Coleoptera: Scolytidae) populations in Bulgaria*. *Forest Science*, 4: 61-68.
- Grissino-Mayer, H. D. (2001). *Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA*. *Tree-Ring Research* 57: 205–221.
- Hackett-Pain, A.J., et al., 2018. *Climatically controlled reproduction drives interannual growth variability in a temperate tree species*. *Ecology Letters* 21: 1833–1844.
- 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: 623–642.
- Hartmann, D.L. et al., 2013. *Observations: atmosphere and surface*, in: Stocker et al. (eds.), *Climate change 2013 the physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 159–254.
- Harvey, J., et al., 2020. *Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in northern temperate forests*. *Global Change Biology* 26: 2505–2518.
- Hewitt, G.M., 1999. *Post-glacial re-colonization of European biota*. *Biological journal of the Linnean Society* 68: 87-112.

- Hofgaard, A., Ols, C., Drobyshev, I., Kirchhefer, A. J., Sandberg, S., Söderström, L., 2019. Non-stationary response of tree growth to climate trends along the Arctic margin. *Ecosystems* 22, 434–451.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Iwasaki M., Paszkowski, J. (2014). Epigenetic memory in plants. *Embo Journal*, 33, 1987–1998.
- Jansons Ā. (2010). “Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām”, LVMI “Silava” projekta starpziņojums, 144 lpp.
- Jansons Ā., Zeps M., Rieksts-Riekstiņš J., Matisons R., Krišāns O. (2014). Height increment of hybrid aspen *Populus tremuloides* x *P. tremula* as a function of weather conditions in central part of Latvia. *Silva Fennica* vol. 48 no. 5.
- Jyske, T., Mäkinen, H., Kalliokoski, T., Nöjd, P., 2014. Intra-annual tracheid production of Norway spruce and Scots pine across a latitudinal gradient in Finland. *Agriculture and Forest Meteorology* 194: 241–254.
- Keefover-Ring, K., Linhart, Y. B. (2010). VARIABLE CHEMISTRY AND HERBIVORY OF PONDEROSA PINE CONES. *Int. J. Plant Sci.* 171(3):293–302.
- Krzistofiak, L. (2002) CHOSEN ASPECTS OF SPRUCE BARK BEETLE *IPS TYPOGRAPHUS* (L.) MASS OUTBREAK IN THE WIGRY NATIONAL PARK. *Prace Inst. Bad. Leś , A*, 1(930): 75-86.
- 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.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M.J., Marchetti M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4): 698–709.
- Lloyd, A.H., Duffy, P.A., Mann, D.H., 2013. Nonlinear responses of white spruce growth to climate variability in interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research* 43: 331–343.
- Moran, E., Lauder, J., Musser, C., Stathos, A., Shu, M., 2017. The genetics of drought tolerance in conifers. *New Phytologist* 216: 1034–1048.
- Nabuurs, G.J., Verkerk, P.J., Schelhaas, M.J., González Olabarria, J.R., Trasobares, A., Cienciala, E., 2018. *Climate-Smart Forestry: Mitigation Impacts in Three European*

- Regions. https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_fstp_6_2018.pdf.
- Neimane U., Zadina M., Sisenis L., Džeriņa B., Pobiaryns A. (2015). Influence of lammas shoots on productivity of Norway spruce in Latvia. *Agronomy Research*, 13(2), 354–360.
- Nicotra A.B., Atkin O.K., Bonser S.P., Davidson A.M., Finnegan E.J., Mathesius U., Poot P., Purugganan M.D., Richards C.L., Valladares F., van Kleunen M. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends Plant Science*, 15, 684–692.
- Ögren, E., 1997. Relationship between temperature, respiratory loss of sugar and premature dehardening in dormant Scots pine seedlings. *Tree Physiology* 17: 47–51.
- Ohse, B., Jansen, F., Wilmking, M., 2012. Do limiting factors at Alaskan treelines shift with climatic regimes? *Environmental Research Letters* 7: N015505.
- Olsen J. E., Lee Y. K. (2011). *Trees and Boreal Forests*. In Storey, K. B. & Tanino, K. K. (eds) *Temperature Adaptation in a Changing Climate: Nature at Risk*. pp. 160-178.
- Pallardy, S.G., 2008. *Physiology of woody plants*, third ed. Elsevier, London.
- 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.
- Pettersson, E.M. (2001). Volatiles from potential hosts of *Rhopalicus tutela* a bark beetle parasitoid. *Journal of chemical ecology*, 27 (11): 2219-2231.
- Price, P., W. (1997). *Insect ecology*, 3rd edition. Wiley-Blackwell Publishing Ltd. 888 p.
- Pinheiro, J., Bates, D., Deb, R.S., Sarkar, D., R Core Team, 2017. *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-131, URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- Quicke, D., L., J. (2015). *The braconid and ichneumonid parasitoid wasps: biology, systematics, evolution and ecology*. Blackwell Publishing Ltd. 704 p.
- R Core Team, 2020. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reeve, J. D., Rojas, M. G., Morales-Ramos, J. A. (2003). Artificial diet and rearing methods for *Thanasimus dubius* (Coleoptera: Cleridae), a predator of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae). *Biological Control* 27: 315–322
- Restaino, C.M., Peterson, D. L., Littell, J., 2016. Increased water deficit decreases Douglas fir growth throughout western US forests. *Proceedings of the National Academy of Science* 113: 9557–9562.

- Schreiber S.G., Ding C., Hamann A., Hacke U.G., Thomas B.R., Brouard J.S. (2013). Frost hardiness vs. growth performance in trembling aspen: an experimental test of assisted migration. *Journal of Applied Ecology*, 50, 939–949.
- Sharma, M., Nirmal, S., Ter-Mikaelian, M., Parton, J., 2015. Modeling climatic effects on stand height/site index of plantation-grown Jack pine and black spruce trees. *Forest science*, 61: 25-34.
- Speer, J.H., 2010) *Fundamentals of tree-ring research*. Tucson, University of Arizona Press.
- Štefkova, K., Okrouhlik, J., Dolezal, P. (2017). Development and survival of the spruce bark beetle, *Ips typographus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) at low temperatures in the laboratory and the field. *European Journal of Entomology*, 114: 1–6.
- Sullivan, B. T., Seltmann, K. C., Berisford, C. W. (1999). A Simple Continuous-Rearing Technique for the Bark Beetle Parasitoid, *Roptrocerus xylophagorum* (Ratzeburg). *Journal of Entomological Science* 34(2):260-264.
- Sullivan, B.T. (2002). Evidence for a sex pheromone in bark beetle parasitoid *Roptrocerus xylophagorum*. *Journal of chemical ecology*, 28 (5): 1045-1063.
- Šēnhofa S., Katrevičs J., Adamovičs A., Bičkovskis K., Bāders E., Donis J., Jansons Ā. (2020) Tree Damage by Ice Accumulation in Norway Spruce (*Picea Abies* (L.) Karst.) Stands Regarding Stand Characteristics. *Forests* 2020, 11, 679; doi:10.3390/f11060679
- 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.*
- 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.
- Trajkovic, S., 2005. Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131: 316–323.
- Vicente-Serrano S.M., Begueria S., Lopez-Moreno J.I. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI. *Journal of Climate*, 23: 1696–1718.
- Vieira, J., Campelo, F., Nabais, C., 2009. Age-dependent responses of tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* to Mediterranean climate. *Trees* 23: 257–265.
- von Arx, G., Crivellaro, A., Prendin, A. L., Čufar, K., Carrer, M., 2016. Quantitative wood anatomy—practical guidelines. *Frontiers in Plant Science* 7: N781.

- Wajnberg, E., Colazza, S. (2013). *Chemical ecology of insect parasitoids*. Wiley-Blackwell. 312 p.
- 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.
- Welling, A., Moritz, T., Palva, E. T., and Junttila, O. (2002). Independent activation of cold acclimation by low emperature and short photoperiod in hybrid aspen. *Plant Physiology*, 129, 1633–1641.
- 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.
- Wilmking, M., et al., 2020. Global assessment of relationships between climate and tree growth. *Global Change Biology* 26: 3212–3220.
- Wilmking, M., Scharnweber, T., van der Maaten-Theunissen, M., van der Maaten, E., 2017. Reconciling the community with a concept—The uniformitarian principle in the dendrosciences. *Dendrochronologia* 44: 211–214.
- Wood, S.N., 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: part B* 73: 3–36.
- Yakovlev I., Fossdal C.G., Skrøppa T., Olsen J. E., Jahren A. H., Johnsen Ø. (2012). An adaptive epigenetic memory in conifers with important implications for seed production. *Seed Science Research*, 22, 63–76.
- Zang, C., Biondi, F., 2012. Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis. *Dendrochronologia*
- Zhao, T., Krokene, P., Hu, J., Christiansen., E., Bjorklund, N., Langstrom, B., Solheim, H. (2011). Induced Terpene Accumulation in Norway Spruce Inhibits Bark Beetle Colonization in a Dose-Dependent Manner. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026649>