

Projekta

**“Meža apsaimniekošanas risku izmaiņu prognozes un to
mazināšana”**

Starpatskaite



Projekta vadītājs

/Ā. Jansons/

Salaspils, 2016

Kopsavilkums

Pārskata periodā veiktā gandrīz 2000 koku augstuma pieaugumu periodiskā uzmērīšana liecina par temperatūras nozīmīgu ietekmi uz augšanas intensitāti un augšanas perioda garumu gan eglei, gan arī priedei. Paaugstinātā temperatūrā augušo koku augstuma pieaugums bija nozīmīgi un statistiski būtiski mazāks nekā kontroles grupā. To noteica gan atšķirīgā maksimālā un vidējā augšanas intensitāte, gan intensīvas augšanas fāzes garums, kas eksperimenta grupā eglei bija par 4 nedēļām, priedei – par 1 nedēļu īsāks nekā kontroles grupā. Ņemot vērā nepilnības eksperimenta apgaismojuma kontrolē, tā rezultātus nevar vispārināt un rekomendējams eksperimentu atkārtot. Temperatūra būtiski ietekmē abu skujkoku sugu salcietības veidošanos: īpaši priedei tā bija nozīmīgi aizkavēta, ja gaisa temperatūra veģetācijas periodā bija par 4°C augstāka. Sala bojājumiem ir statistiski būtiska ietekme uz egles augstuma pieauguma veidošanos un tā garumu. Rekomendējams turpināt eksperimentus, izmantojot priedes selekcijas materiālu un novērtējot ģenētiski noteiktās salcietības formēšanās atšķirības, citāda temperatūras režīma ietekmi un pārbaudīt šajā pārskatā periodā fiksētās sakarības, ka salcietība straujāk veidojas audzēs uz kūdras augsnēm izvēlētu priežu pluskoku pēcnācējiem, noturību.

Pārskata periodā veikta egļu astoņzobu mizgrauža invadētu egļu nogriežņu glabāšana klimata kamerā un datu ieguve par šī dendrofāgā kukaiņa un citu kukaiņu sugu aktivitāti izmainītā temperatūras režīmā. Tāpat klimata kamerā audzēti divi melnalkšņa un septiņi parastās egles rameti sēklu ieguvei epigenētisko efektu eksperimentiem. Ierīkoti divi lapegles un divi dižskābarža, kā arī uzmērīti divi iepriekš ierīkoti dižskābarža stādījumi.

Sagatavota un aprobēta metodika mistrojuma audzes un meža masīva līmenī ietekmes uz mežaudžu noturību vērtējumam. Projekta rezultāti prezentēti starptautiskā zinātniskā konferencē “BaltDendro 2016”, kurā piedalījās zinātnieki no 5 valstīm un kas norisinājās šī gada 22.-25. augustā Latvijā, pētījuma dalībniekiem uzstājoties ar četriem referātiem. Kopumā norit darbs pie visiem šajā pārskata periodā paredzētajiem uzdevumiem

Summary

Results included in this progress reports characterizes the significant influences of increase of temperature (based on the data collected in this project) as well as genetics (based on analysis of existing dataset) on the height growth intensity and length of growing period and, cumulatively – on the total length of height increment for Scots pine and Norway spruce. Freezing tests have revealed minor influence of increased temperature during vegetation period on frost tolerance of spruce, but major influence – on Scots pine. Therefore continuous

study, including different Scots pine families and temperature regimes, is suggested. Frost damages had significant influence on the budburst and length of height increment for Norway spruce. Information on the established trials of larch and beech as well as on-going growth chamber experiments (intended for analysis of development of dendrophagous insects and tree seeds) is provided.

Results of the project had been reported in the international scientific conference BaltDendro 2016 (<http://biedriba.kokuskola.lv/?event=baltdendro-2016>).

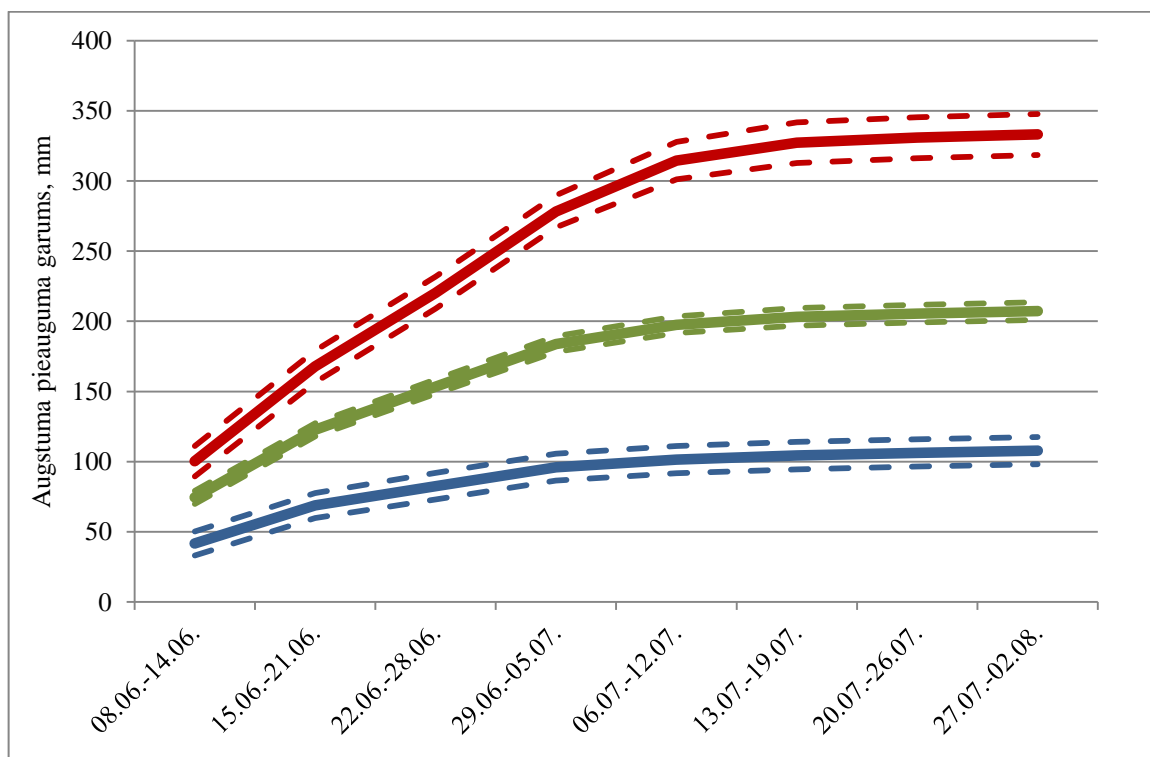
Saturs

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Priedes un egles plantāciju pēcnācēju audzēšana divos atšķirīgos meteoroloģiskajos apstākļos (nākotnes un pašreizējos)..... | 4 |
| 2. Salcietības testu rezultāti | 12 |
| 3. Reti sastopamo koku sugu stādījumu ierīkošana un uzmērīšana..... | 20 |
| 3.1. Dižskābarža un lapegles stādījumu ierīkošana | 20 |
| 3.2. Esošo dižskābarža stādījumu uzmērīšana | 21 |
| 3.3. Lapegles audžu uzmērīšana | 27 |
| 3.4. Audzēšanas izpētes parauglaukumu ierīkošana liepu audzēs | 29 |
| 4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā | 32 |
| 5. Metodikas izstrāde mežaudžu noturības vērtējumam..... | 36 |
| 6. Klimata izmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi vērtēšana | 50 |
| 6.1. Materiāls un metodika..... | 51 |
| 6.2. Rezultāti un diskusija..... | 57 |
| 7. Epiģenētisko efektu ietekme – sēklu ieguve kontrolētos apstākļos..... | 70 |
| 8. Iegūto rezultātu publicēšana | 74 |
| Izmantotā literatūra..... | 75 |
| I pielikums: ierīkoto objektu shēmas un apraksts..... | 77 |

1. Priedes un egles plantāciju pēcnācēju audzēšana divos atšķirīgos meteoroloģiskajos apstākļos (nākotnes un pašreizējos)

Pētījuma uzdevuma mērķis ir novērtēt paaugstinātas temperatūras ietekmi uz koku augšanas intensitāti (augstuma pieauguma veidošanos) veģetācijas periodā, tam augot dažādā temperatūras režīmā, lai raksturotu iespējamo klimata izmaiņu ietekmi (riskus). Koka ikgadējā augstuma pieauguma kopējo garumu ietekmē gan augšanas intensitāte, gan izmantotā veģetācijas perioda garums. Šos faktorus savukārt nosaka konkrētam genotipam raksturīgas specifiskas reakcijas uz fotoperiodu, temperatūru, un/vai fotoperioda un temperatūras kombināciju. Sākotnēji analizēta ģenētikas ietekme uz augšanas intensitāti šī brīža klimatiskajos apstākļos, pēc tam analizējot iespējamā temperatūras paaugstināšanās (saglabājoties nemainīgam fotoperiodam) ietekme.

Ģenētikas ietekmes raksturošanai izmantota egles pēcnācēju pārbaužu stādījuma mērījumu datu kopa (230 koku brīvapputes ģimenes, kopā 1769 koki). Pieauguma veidošanās dinamika dažādām ģimenēm (ar salīdzinoši lielu, mazu un vidēju kopējo ikgadējo augstuma pieaugumu) devītajā augšanas sezonā vienos un tajos pašos (pastāvošajos) meteoroloģiskajos apstākļos būtiski atšķīrās (1.1.att.). Ģimenēm ar salīdzinoši lielāku kopējo pieauguma garumu raksturīga ne vien augstāka pieauguma veidošanās intensitāte, bet arī ilgāks intensīvas pieauguma veidošanās periods nekā pārējām ģimenēm.



Ar sarkanu krāsu apzīmēta ģimeņu grupa (10% no kopējā skaita), kurām kopējā koku vidējā augstuma pieauguma vērtības ir visaugstākās; ar zilu krāsu apzīmēta ģimeņu grupa (10%), kurām pieauguma vērtības ir

viszemākās; ar zaļu krāsu apzīmētas pārējās ģimenes; ar nepārtrauktām līnijām apzīmētas grupu vidējās vērtības; ar pārtrauktām līnijām apzīmētas (95%) ticamības intervāla robežas.

1.1.attēls. Augstuma pieauguma dinamika devītajā augšanas sezonā egles brīvapputes ģimenēm ar atšķirīgu kopējo tekošā gada augstuma pieaugumu.

Lai statistiski novērtētu konstatētās pieauguma veidošanās atšķirību tendences, izmantots nelineārais Gompertz modelis (1.1.); šis modelis bieži tiek pielietots koku augšanas gaitas analīzē, kā parametru A izmantojot koku vecumu (Fekedulegn et al., 1999):

$$f(A)=\alpha*\exp(-\beta*\exp(-kA)) \quad (1.1.)$$

kur

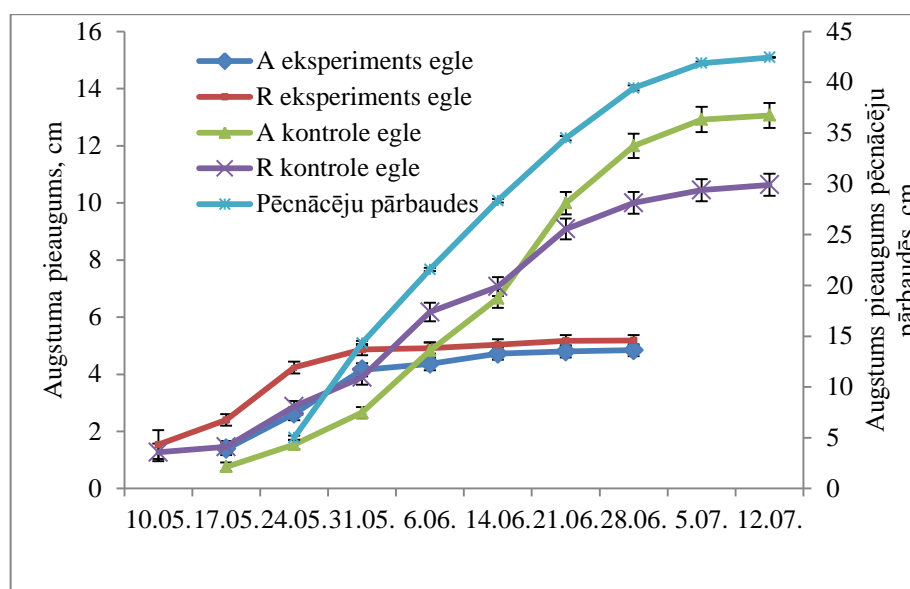
α – asimptote, β – funkcijas *lag* fāzes ilgums (š.g. laika periods, līdz sākas posms ar augstu augšanas intensitāti), k – funkcijas *log* fāzes (š. g. laika posma ar augstu augšanas intensitāti) slīpuma koeficients un A – dienu skaits no gada sākuma.

Mūsu pētījumā modelis pielietots, lai raksturotu pieauguma veidošanās intensitāti individuālu koku un ģimeņu līmenī. Konstatēts, ka pieauguma veidošanās dinamika kokiem un ģimenēm nozīmīgi atšķiras. Ģimenes faktoram bija statistiski būtiska ietekme uz visiem modeļa koeficientiem, liecinot, ka ne vien augšanas intensitāti, bet arī pieauguma veidošanās ilgumu (konkrēti - izbeigšanās brīdi) lielā mērā nosaka genotips – pat apstākļos, kad brīvapputes ģimenes pārstāvēja tādu salīdzinoši nelielu ģeogrāfisku vienību kā Latvijas teritorija. Augstuma pieauguma ģimeņu vidējām vērtībām konstatēta cieša korelācija ar asimptoti ($r=0,93$; $p<0,01$), kā arī ar funkcijas *log* fāzes slīpuma koeficientu ($r=-0,70$; $p<0,01$).

Temperatūras ietekmes vērtēšana ir svarīga, jo mainoties klimatiskajiem apstākļiem, gaisa temperatūras paaugstināšanās var sekmēt ikgadējā augstuma pieauguma veidošanos, tomēr, fotoperiodam saglabājoties nemainīgam, iespējama atšķirīga Latvijas autohtono populāciju reakcija uz temperatūras un fotoperioda kombinācijām – piemēram, kokiem var veidoties lielāks kopējais pieaugums, augot intensīvāk un/vai ilgāku laika periodu. Lai eksperimentāli vērtētu šo ietekmi, veģetācijas periodā mērīts augstuma pieaugums divām koku sugām – parastajai eglei un parastajai priedei. Katrai sugai eksperimentā iekļauts materiāls gan no Latvijas rietumdaļas (Rietumu meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabals), gan austrumdaļas (Austrumu meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabals priedei un Centrālais meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabals eglei). Katrai koku sugai augstuma pieauguma dinamika salīdzināta starp kontroles (auguši neizmainītos meteoroloģiskajos apstākļos) un eksperimenta (auguši kontrolētos apstākļos) koku grupām. Eglei kopumā uzmērīti 1374 koki, t.sk., 654 kontroles koki (324 no rietumdaļas un 330 no

austrumdaļas) un 720 eksperimenta koki (342 no rietumdaļas un 378 no austrumdaļas). Priedei kopumā uzmērīti 606 koki, t.sk., 306 kontroles koki (156 no rietumdaļas un 150 no austrumdaļas) un 300 eksperimenta koki (150 no rietumdaļas un 150 no austrumdaļas). Katram kokam veģetācijas sezonas sākumā noteikts augstums; koku augstuma pieaugums reģistrēts reizi nedēļā, sākot ar 10.maiju, līdz pieauguma izbeigšanās brīdim, pēdējo kontroles mērījumu veicot 12.jūlijā. Pieauguma garums, veidojoties jaunajām skujām, mērīts līdz jaunizveidotā pumpura galam, ar precizitāti 0,5 cm.

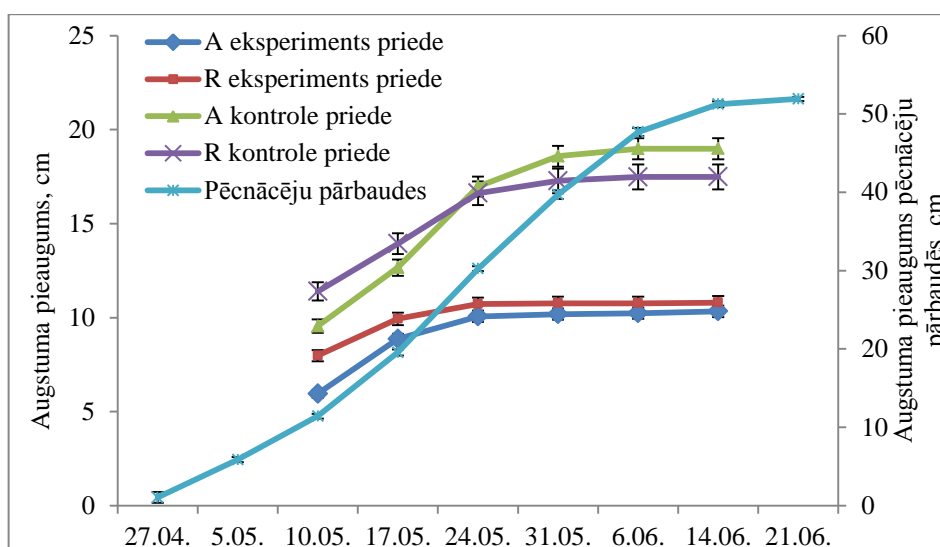
Analizējot egļu augstuma pieaugumu 2016. gada veģetācijas sezonā (1.2.att.), konstatēts, ka vispirms (10.05.) augstuma pieaugums sācis veidoties rietumdaļas eglēm; egļu augšana eksperimentā noslēdzās 28. jūnijā, turklāt, jau sākot ar 31. maiju, eksperimentā augošajām eglēm neatkarīgi no to izcelsmes novērots mazs augstuma pieaugums. Abu reģionu kontroles grupas eglēm augšana turpinājās ievērojami ilgāk nekā eksperimenta grupas eglēm – līdz pat 12.jūlijam. No visām analizētajām eglēm vislielākais vienas sezonas pieaugums konstatēts kokiem, kuri auguši āra apstākļos jeb kontroles kokiem, turklāt pieaugums bija statistiski būtiski (ANOVA; $p < 0,001$) augstāks nekā eksperimentā konstatētais. Austrumu izcelsmes kontroles kokiem vidējais pieaugums bija $13,0 \pm 0,44$ cm, bet rietumu izcelsmes kontroles koku vidējais pieaugums bija būtiski mazāks - $10,6 \pm 0,39$ cm. Kā liecina augstuma pieauguma dinamikas analīze starp šīm divām koku grupām, tad, sākot ar jūnija vidu (14.06.), novērota tendence austrumu izcelsmes kokiem augt ātrāk nekā rietumu izcelsmes kokiem. Mazāks augstuma pieaugums novērots eksperimentā augošajiem kokiem, kur vidējais augstuma pieaugums austrumu un rietumu izcelsmes eglēm bija attiecīgi $4,8 \pm 0,21$ cm un $5,1 \pm 0,19$ cm (atšķirības nebija būtiskas; $p > 0,05$). Konstatēta statistiski būtiska (ANOVA; $p < 0,01$) stādu izcelsmes reģiona ietekme uz koka pieauguma veidošanos (dinamiku) gan kontrolē, gan eksperimentā augošajiem kokiem.



1.2.attēls. Augstuma pieauguma dinamika eglei (\pm ticamības intervāls).

A – sēklu izcelsme no Centrālā meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabala (Latvijas austrumdaļa), R - sēklu izcelsme no Rietumu meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabala (Latvijas rietumdaļa), eksperiments – koki auguši kontrolētos apstākļos, kontrole – koki auguši āra apstākļos, pēcnācēju pārbaudes – dati ievākti egļu pluskoku brīvapputes pēcnācēju pārbaudžu stādījumā Rembatē.

Priežu augstuma pieauguma analizē (1.3.att.) konstatētas līdzīgas tendences kā eglei. Lielākais augstuma pieaugums augšanas perioda beigās (14.06.) novērots austrumu izcelsmes priedēm kontrolē ($19,1 \pm 0,56$ cm), turklāt tas bija statistiski būtiski augstāks (ANOVA; $p < 0,001$) nekā rietumu izcelsmes priedēm kontrolē ($17,7 \pm 0,64$ cm). Augstuma pieaugums kontrolē bija statistiski būtiski augstāks nekā eksperimentā gan visā analizētajā periodā, gan pirmajos 2 tā posmos, kad eksperimenta priedēm notika intensīva augšana. Salīdzinot augstuma pieaugumu eksperimentā augošajām priedēm starp austrumu un rietumu izcelsmes kokiem nav novērotas būtiskas atšķirības, un perioda beigās pieaugums bija attiecīgi $10,5 \pm 0,29$ cm un $10,9 \pm 0,34$ cm. Laikā no 14.jūnija līdz 12.jūlijam praktiski vairs nav konstatēta pieauguma veidošanās priedei – tikai 6% koku (t.sk., gan āra, gan kontrolētos apstākļos) veidojuši ļoti nelielu (1 cm) pieaugumu.



1.3.attēls. Augstuma pieauguma dinamika priedei (\pm ticamības intervāls).

A – sēklu izcelsme no Austrumu meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabala, R - sēklu izcelsme no Rietumu meža reproduktīvā materiāla ieguves apgabala, eksperiments – koki auguši kontrolētos apstākļos, kontrole – koki auguši ārā apstākļos, pēcnācēju pārbaudes – dati ievākti priežu pluskoku pēcnācēju pārbaudžu stādījumā Misā.

Kopumā kontroles grupas augstuma pieauguma veidošanās ir līdzīga kā iepriekš pēcnācēju pārbaudēs konstatētā, lai gan intensīvas augšanas posms ir relatīvi īsāks (īpaši priedei); konstatētās starpības varētu būt saistītas ar koku vecuma un/vai attiecīgā (un iepriekšējā) gada meteoroloģisko faktoru atšķirībām. Eksperimenta grupā augstuma pieaugums bija nozīmīgi un statistiski būtiski īsāks nekā kontroles grupā: eglei attiecīgi $5,0 \pm 0,20$ cm un $11,8 \pm 0,42$ cm, priedei $10,7 \pm 0,32$ cm un $18,4 \pm 0,60$ cm. To noteica gan atšķirīgā maksimālā un vidējā augšanas intensitāte, gan intensīvas augšanas fāzes garums, kas eksperimenta grupā eglei boja par 4 nedēļā, priedei – par 1 nedēļu īsāks nekā kontroles grupā. Eksperimentā augstākā temperatūrā tika nodrošināts pietiekams mitruma daudzums (to kontrolējot ar tensiometru), tomēr koku augšana notika tikai īsu laika periodu, neradot iespēju sasniegt eksperimenta mērķi un pēc būtības novērtēt augšanas dinamikas atšķirības. Iespējamais iemesls ir apgaismojuma spektrs: pēc ražotāja rekomendācijas tas ir piemērots skuju koku audzēšanai, tomēr varētu būt izraisījis paātrinātu to augstuma pieauguma veidošanās apstāšanos. Plānots veikt infrastruktūras uzlabojumus, tos pārbaudot ziemas periodā un, ja nepieciešamas, arī nākamajā veģetācijas periodā un pēc tam eksperimentu atkārtot.

Samazināta nokrišņu daudzuma ietekme uz egles augšanu

Nodrošinot kopējo projekta apjomu, papildus veikt analīzi par samazināta nokrišņu daudzuma ietekmi uz koku fizioloģiskajiem parametriem pirmajā augšanas sezonā. Iepriekšējos gados veiktajos eksperimentos ir noskaidrots, ka beznokrišņu periodu, kas garāki

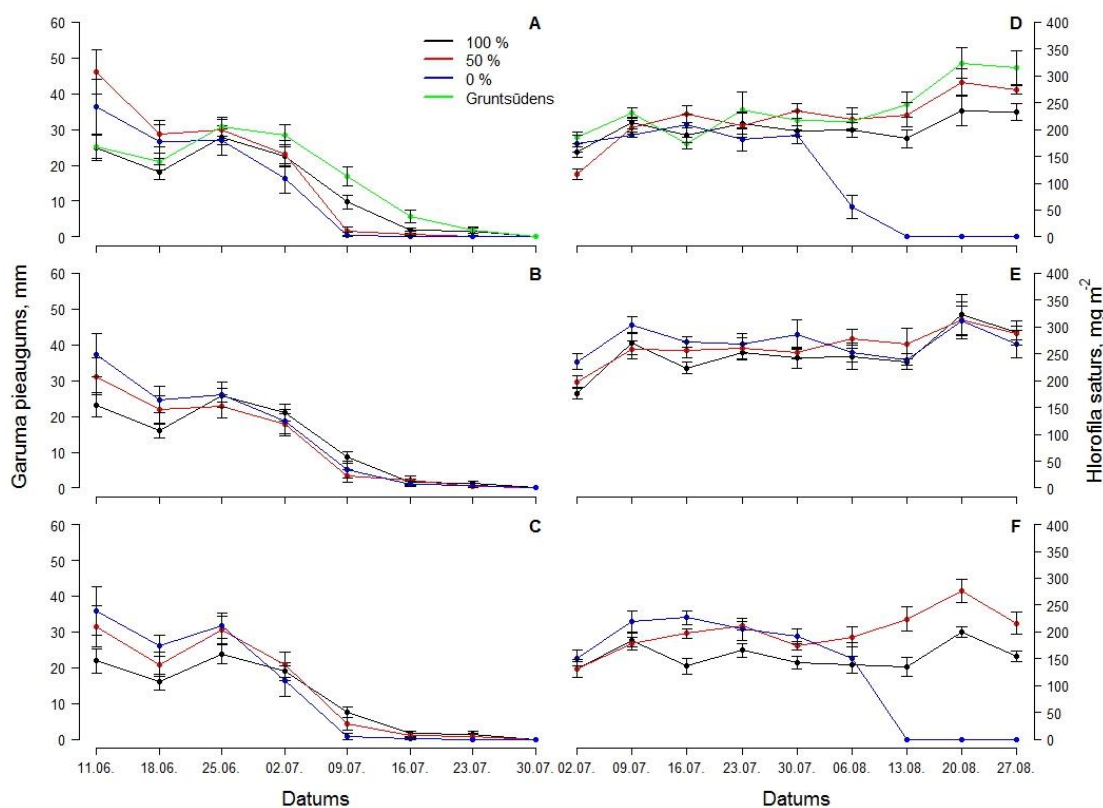
par 10 dienām (nokrišņu apjomam nemainoties), atkārtotās biežuma palielināšanās būtiski neietekmē meža atjaunošanā izmantojamā stādmateriāla augšanu. Tāpēc, par pamatu ņemot jau esošo infrastruktūru, egļu stādus ar uzlabotu sakņu sistēmu no a/s „Latvijas valsts meži” Strenču kokaudzētavas pakļāva samazinātam nokrišņu apjomam. Lai izslēgtu stādu piekļuves gruntsūdenim ietekmi uz pētījuma rezultātu, tos stādīja 4,5 l plastmasas konteineros, kas novietoti uz paaugstinājuma. Stādīšanu veica aprīlī, izmantojot 3 augsnes (smilts, auglīga minerālaugsne (mālsmilts), kūdra), kas pārvesti no attiecīgā meža tipa (sils, damaksnis, šaurlapju kūdrenis). Nokrišņu režīmu kontrolei izmantoja automatizētu polikarbonāta nojumi/siltumnīcu (gaismas caurlaidība 81%), kas lietus gadījumā nosedza stādus. Nokrišņu daudzuma ietekmes novērtēšanai katram augsnes tipam ierīkoja 3 variantus:

- kontrole – dabisks nokrišņu režīms (turpmāk – kontrole jeb 100% grupa);
- laistīšana ik pēc četrām dienām ar ūdens daudzumu 50% apmērā no dabiskajiem nokrišņiem attiecīgajā periodā (turpmāk – 50% grupa);
- pilnīga nokrišņu aizturēšana (turpmāk – 0% grupa).

Gruntsūdens ietekmes novērtēšanai 60 stādus izvietoja stādvietās (damaksnis/minerālaugsne) bez konteineriem un hidroizolācijas (turpmāk – gruntsūdens kontroles grupa). Laikapstākļus reģistrēja ar Wireless Vantage Pro2 (Davis Instruments) pārvietojamo meteostaciju. Augsnes ūdens potenciālu (AUP) mērīja ar T8 (UMS GmbH) tensiometru, un datu reģistrēšanai izmantoja DL6 reģistratoru (Delta devices). Nokrišņu aizturēšanu veica no 22. jūnija līdz 15. augustam, kam sekoja divu nedēļu “atjaunošanās” periods ar neizmainītu nokrišņu režīmu. Stādu augstuma pieaugumus un fizioloģisko parametru mērījumus veica reizi nedēļā gan nokrišņu aizturēšanas, gan “atjaunošanās” periodā. Hlorofila *a* fluorescenci (Papageorgiou, 2007) skujām mērīja ar HandyPea fluorometru (HansaTech), sīkāk analizējot parametrus PI_{ABS} (performances indekss) un F_v/F_m (maksimālā efektivitāte — attiecība starp fluorescences pakāpi tumsas adaptācijas stāvoklī un maksimāli iespējamo fluorescences pakāpi). Hlorofila daudzumu noteica ar CCM-300 hlorofilmetru.

Visas augšanas sezonas lielākais vidējais kumulatīvais augstuma pieaugums ir novērots 50% grupai auglīgā minerālaugsnē (131 mm) un gruntsūdens kontroles grupai (130 mm), bet viszemākais - smilts augsnē kontrolē (91 mm). Tomēr jāatzīmē, ka šis rādītājs neatbilst vasaras siltākā un sausākā perioda mitruma režīma izmaiņu ietekmi, jo līdz eksperimenta sākumam 22.06. visi koki bija izveidojuši aptuveni pusi no visa kopējā augstuma pieauguma. Atsevišķām grupām (0 un 50% auglīgā minerālaugsnē un kūdrā un 0% smilts augsnē) uz 18.06. augstuma pieaugums sasniedza 55%. Tomēr pēc nokrišņu aizturēšanas uzsākšanas, 0

un 50% mitruma režīma grupu augstuma pieauguma veidošanās bija būtiski lēnāka vai pat apstājās (1.4. att.).

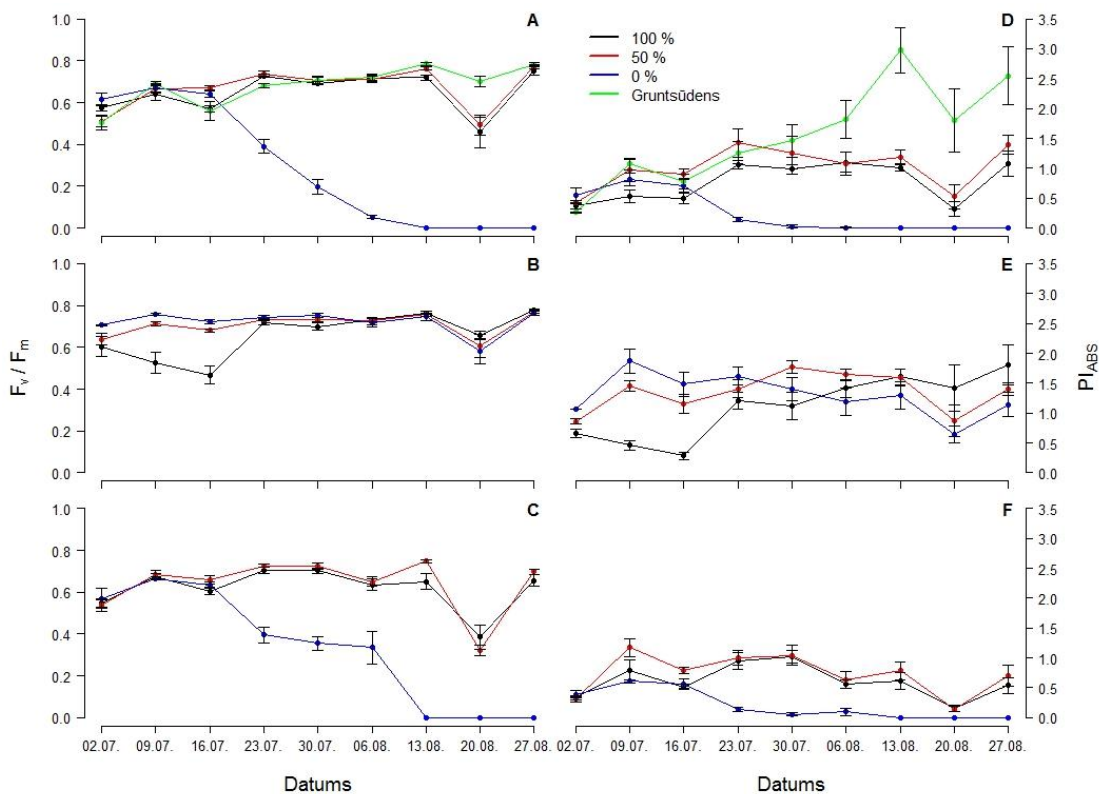


1.4. attēls. **Koku nedēļas augstuma pieauguma izmaiņas (A – auglīga minerālaugsne, B – kūdras augsne, C – smilts augsne) un hlorofila koncentrācijas (mg m^{-2}) dinamika (D – auglīga minerālaugsne, E – kūdras augsne, F – smilts augsne); \pm ticamības intervāls.**

Pirmās būtiskās hlorofila fluorescences parametru (1.5. att.) izmaiņas novērotas 0% laistīšanas variantam smilts un auglīgas minerālaugsnes augiem 4. nedēļā pēc eksperimenta sākuma: PI_{ABS} un F_v/F_m vērtības neatgriezeniski sāka samazināties un vēlāk nokritās līdz 0 vienībām (augi novīta). Savukārt kontroles kokiem tajās pašās augsnēs 4. nedēļā parametra PI_{abs} vērtības paaugstinājās no aptuveni 0,5 līdz 1. Krasa fluorescences parametru vērtību krišanās visiem variantiem novērota 8. nedēļā (20.08.), vienlaicīgi ar strauju augsnes ūdens potenciālu vērtību krišanos. Būtiskas hlorofila koncentrācijas skujās izmaiņas (1.4. att.) novērotas 6 nedēļas pēc laistīšanas eksperimenta uzsākšanas. Vēl nedēļu vēlāk, gan smilts, gan auglīgas minerālaugsnes variantam pie 0% ūdens daudzuma novērota hlorofila noārdīšanās un skuju atmiršana.

Kaut gan iegūtie rezultāti rāda, ka limitēts ūdens daudzums rezultējas straujā ūdens potenciāla kritumā, šāds efekts ir atkarīgs tikai no izvēlēta substrāta veida, nevis laistīšanas intensitātes. Kūdras substrāta variantā, pat pilnībā pārstājot laistīt, ūdens potenciāls turpināja samazināties pakāpeniski un neizraisīja skuju atmiršanu, kamēr tāda paša laistīšanas režīma

pārējos augšņu variantos potenciāla kritums bija straujš un vērtības daudz kritiskākas. Kā iepriekš paredzēts, visstraujāk vērtības nokritās smilts augsnes variantam, kur augus nelaistīja vispār.



1.5. attēls. **Hlorofila *a* fluorescences parametru F_v/F_m (A – auglīga minerālaugsne, B – kūdras augsne, C – smilts augsne) un PI_{abs} (D – auglīga minerālaugsne, E – kūdras augsne, F – smilts augsne) vērtības; \pm ticamības intervāls.**

Gan primārā augšana, gan fotoķīmiskie parametri ir tieši atkarīgi no sausuma stresa. Kūroties augsnes ūdens potenciālam, respektīvi, pieaugot sausuma stresa intensitātei, notiek arī iepriekšminēto parametru vērtību samazināšanās. Jāatzīmē gan, ka sausuma stress vairāk ietekmē tieši kailsakņu egļu stādu primāro augšanu, nevis ar fotosintēzi saistītos parametrus skujās, proti, PS II fotoķīmisko reakciju efektivitāti un hlorofila koncentrāciju. Tādējādi augšanas palēnināšanās ir viena no pirmajām auga fizioloģiskajām atbildes reakcijām uz augsnes ūdens potenciāla samazināšanos. Kā novērots, aktīvā pieauguma samazinājums sakrita tieši ar laistīšanas eksperimenta sākumu un sevišķi izteikti izpaudās smilts un auglīgās minerālaugsnes variantiem, kur augi netika laistīti vispār. Savukārt kūdras augsnēs, kur ūdens potenciāla svārstības nebija tik izteiktas, arī augšana notika vienmērīgāk. Interesanti, ka vislielākais kumulatīvais augstuma pieaugums konteineros stādītajiem kailsakņu stādiem novērots pie laistīšanas intensitātes 50% no nokrišņu normas, kas liecina, ka sausuma stress

sāk limitēt stādu augšanu tikai ekstrēmos gadījumos, proti, ja augi ilgstošu laiku (sešas un vairāk nedēļas) ūdeni nesaņem nemaz.

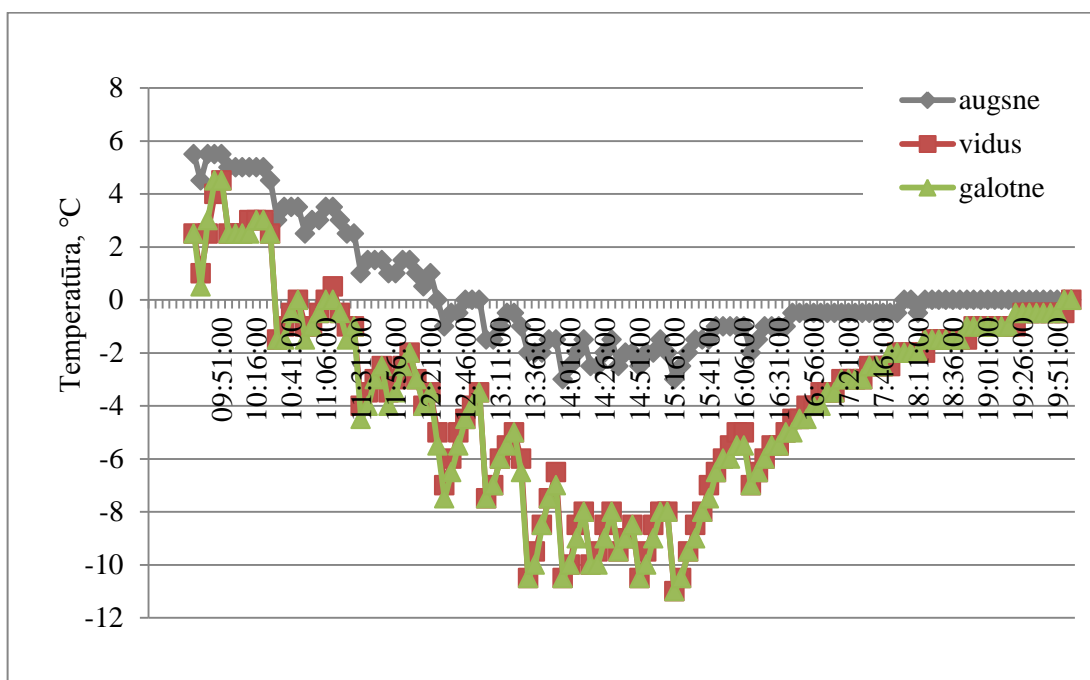
Hlorofila *a* fluorescences parametra F_v/F_m vērtības lielākoties svārstījās ap 0,7, kas ir mazāk nekā citos pētījumos minētais 0,8 un kas varētu norādīt uz viegla stresa apstākļiem (Maxwell and Johnson, 2000), tomēr, salīdzinot ar nokrišņu un gruntsūdens kontroli, laistīšanas variantu (0% un 50%) rādītāji, sevišķi eksperimenta sākumā, bija līdzīgi un pat labāki, norādot, ka fotoķīmisko procesu efektivitāte netiek būtiski ietekmēta. Izteikta vērtību krišanās parametriem F_v/F_m un PI_{ABS} novērota laistīšanas eksperimenta 8. nedēļā, vienlaicīgi ar strauju augsnes ūdens potenciālu krišanos, norādot, ka fluorescences parametri izmantojami kā droši indikatori izteikta stresa apstākļos. Hlorofila koncentrācijas skujās kritums varētu būt attiecināms uz sausuma izraisīto skuju novīšanu un atmiršanu.

2. Salcietības testu rezultāti

Galvenie faktori, kas ietekmē kokaugu izdzīvošanu un augšanu boreālajos mežos, ir temperatūra un pieejamais gaismas daudzums. Lai augi spētu izdzīvot apstākļos, kur ir pazemināta temperatūra, tiem jāizstrādā izturība pret aukstumu jeb salcietība. Salcietība augiem veidojas ārējās vides ietekmē un ir atkarīga no trīs faktoriem (fotoperioda, temperatūras un ūdens stresa). Salcietība ir ģenētiska iezīme, kas ir gan daudzgadīgiem, gan viengadīgiem augiem (Welling, Palva, 2006).

Pētījuma materiāla audzēšana veikta kontroles (neizmainītos) un paaugstinātas temperatūras (temperatūra +4°C, nemainot tās diennakts svārstības) jeb eksperimenta režīmā, veicot stādījumu laistīšanu (saglabājot optimālu augsnes mitrumu). Izmantota plašāk praksē lietotā meža reproduktīvā materiāla kategorija – sēklu plantāciju pēcnācēji (uzlabots vai pārāks), un visvairāk izmantotais stādāmā materiāla veids: priedei – viengadīgi ietvarsējeņi, eglei – kailsakņu stādi ar uzlabotu sakņu sistēmu. Priedei ietverti divu Rietumu un vienas Austrumu provenienču reģiona sēklu plantācijas pēcnācēji (attiecīgi Dravas un Klīve, audzēti Mazsilu kokaudzētavā, un Sāviena, audzēti Strenču kokaudzētavā), eglei – pēcnācēji no vienas Rietumu un vienas Centrālā reģiona sēklu plantācijas (attiecīgi Remte, audzēti Mazsilu kokaudzētavā, un Suntaži, audzēti Strenču kokaudzētavā). Viss eksperimenta materiāls 2015.gada 28.oktobrī pārvietots uz pagaidu glabātuvi, kurā uzturēta konstanta temperatūra (+3,0°C). Divas nedēļas pēc uzglabāšanas sākšanas (11.11.2015.) uzsākta salcietības pārbaude, stādus īslaicīgi ievietojot saldēšanas kamerā (2.1.att.). Saldēšanas sākumā stādus ievietoja +5,0°C temperatūrā, kas graduāli pazemināta ik pa trim grādiem katru stundu, sasniedzot -10,0°C. Šāda temperatūra uzturēta divas stundas un tad graduāli paaugstināta (pa

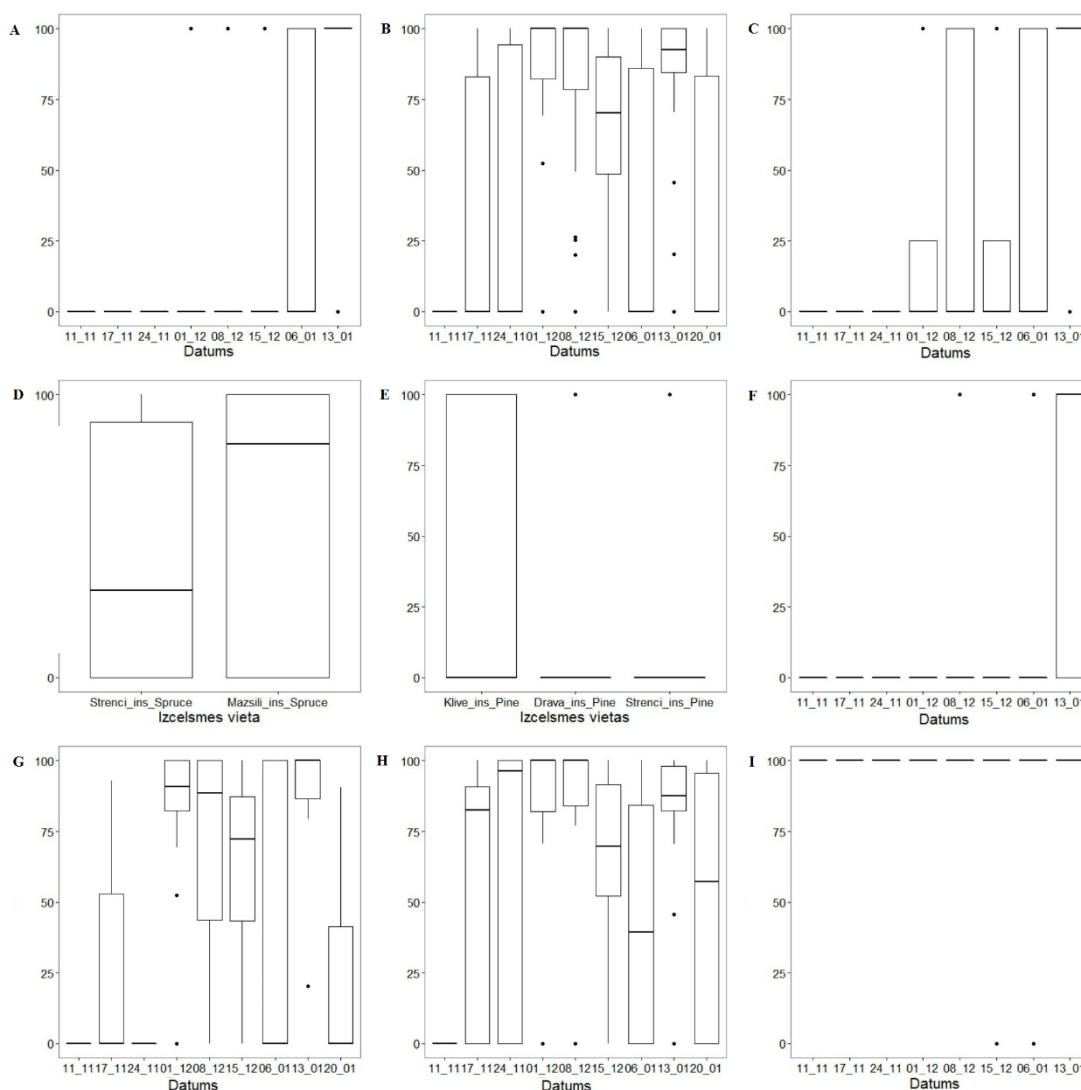
trim grādiem katru stundu) līdz $+5,0^{\circ}\text{C}$. Šāds saldēšanas režīms pielietots arvien jaunām (8-9) koku paraugkopām, turpmāk tekstā – grupas.



2.1.attēls. Temperatūras režīms saldēšanas kamerā trijos augstumos.

Pēc saldēšanas stādi novietoti divas nedēļas vidēji $+15^{\circ}\text{C}$ temperatūrā un pēc tam novērtēti sala bojājumi: mērīts kopējais virszemes daļas garums un dzīvās vasas garums gan priedei, gan eglei, un aprēķināts dzīvās daļas īpatsvars. Novērtētas atšķirības dzīvās daļas īpatsvarā eglei un priedei starp eksperimenta grupām, arī atkarībā no stādu izcelsmes.

Dzīvās daļas īpatsvars paaugstinātā temperatūrā augušajiem kokiem atšķiras starp sugām, izcelsmes vietām un grupām (2.2.att.). Priedei sākotnēji nebija izstrādājusies salcietība, tāpēc eksperimenta sākumā un vidū tā lielākoties stipri apsala, taču, sākot ar koku grupu, kas tika pakļauta saldēšanai 06.01.2016., koki bija sākuši izstrādāt salcietību. Eglei salcietība nebija izstrādājusies tikai pirmajā eksperimenta nedēļā (11.11.2015.). Priedēm dzīvās daļas īpatsvars starp sēklu izcelsmes plantācijām ievērojami atšķiras, tāpēc tās analizētas atsevišķi. Priedēm no Klīves plantācijā (pluskoki atlasīti audzēs uz kūdras augsne) iegūtām sēklām bija raksturīgāka labāka (agrāk iegūta) salcietība nekā no Dravu un Sāvienas plantācijās iegūtām sēklām. Eglēm no rietumiem (Remtes plantācija, Mazsilu kokaudzētava) bija raksturīga labāka salcietība nekā eglēm no austrumiem (Suntažu plantācija, Strenču kokaudzētava). Eglēm kopumā konstatēta agrāk izstrādāta salcietība vienlaikus ar augstāku dzīvās koka daļas īpatsvaru nekā priedēm; arī citi autori konstatējuši salcietības veidošanās atšķirības šīm koku sugām (Linkosalo et al., 2014).



2.2.attēls. Priedžu un egļu salcietības pārbaudēs konstatētais koka dzīvās daļas īpatsvars (%) no kopējā virszemes daļas garuma

A – priedei pa grupām atbilstoši attiecīgā datumā veiktai saldēšanai, B – eglei pa grupām atbilstoši attiecīgā datumā veiktai saldēšanai, C – priedei no Klīves plantācijā iegūtām sēklām atbilstoši attiecīgā datumā veiktai saldēšanai, D – eglei atbilstoši tās izcelsmei, E – priedei atbilstoši tās izcelsmei, F – priedei no Dravu un Sāvienas plantācijās iegūtām sēklām pa grupām atbilstoši attiecīgā datumā veiktai saldēšanai, G – eglei no Suntažu plantācijas (Strenču kokaudzētavas) pa grupām atbilstoši attiecīgā datumā veiktai saldēšanai, H – eglei no Remtes plantācijas (Mazsili kokaudzētavas) pa grupām atbilstoši attiecīgā datumā veiktai saldēšanai, I – abām sugām kontroles (neizmainītos) apstākļos augušajiem kokiem.

Horizontālā līnija parāda mediānu, vertikālo taisnstūru augšējā un apakšējā mala parāda pirmo un trešo kvartili, vertikālie nogriežņi parāda variācijas intervālu, kas uz katru pusi no mediānas nav lielāks par 150% no starpkvartīļu starpības, aplīši parāda vērtības ārpus vertikālajiem nogriežņiem.

Eglēm, kas 2015.gada veģetācijas sezonas beigās tika pakļautas salcietības eksperimentam, 2016.gada veģetācijas sezonā veikti augstuma pieauguma mērījumi ar nedēļas intervālu. Perioda sākumā katram kokam noteikts augstums un reģistrēta salcietības

eksperimenta rezultātā radušos sala bojājumu pakāpe, sadalot kokus 4 grupās: nebojāti (sala bojāto skuju īpatsvars no visām skujām 0-25%), maz bojāti (26-50%), vidēji bojāti (51-75%) un stipri bojāti (76-100%). Atkarībā no koku vitalitātes 2016.gada veģetācijas sezonā, koki sadalīti sekojošās grupās: 1) koks saglabāja vitalitāti, un ikgadējo pieaugumu veidoja galotnes centrālais pumpurs (mērīts pieaugums ar nedēļas intervālu), 2) koks saglabāja vitalitāti, un pieaugumu veidoja galotnes sānu pumpurs (pieauguma garums nav mērīts), 3) koks sākotnēji saglabāja vitalitāti, bet sezonas laikā (1-3 nedēļās pēc pieauguma sākšanās) nokalta, 4) koks nesāka veidot pieaugumu un nokalta (2.3.att.). Datu analīzē grupas apvienotas – 1. un 2. grupas koki apvienoti kā “koki, kas veidoja pieaugumu”, un 3. un 4. grupas koki – kā “koki, kas nokalta”. Pieauguma atšķirības analizētas tikai 1.grupas kokiem.



A

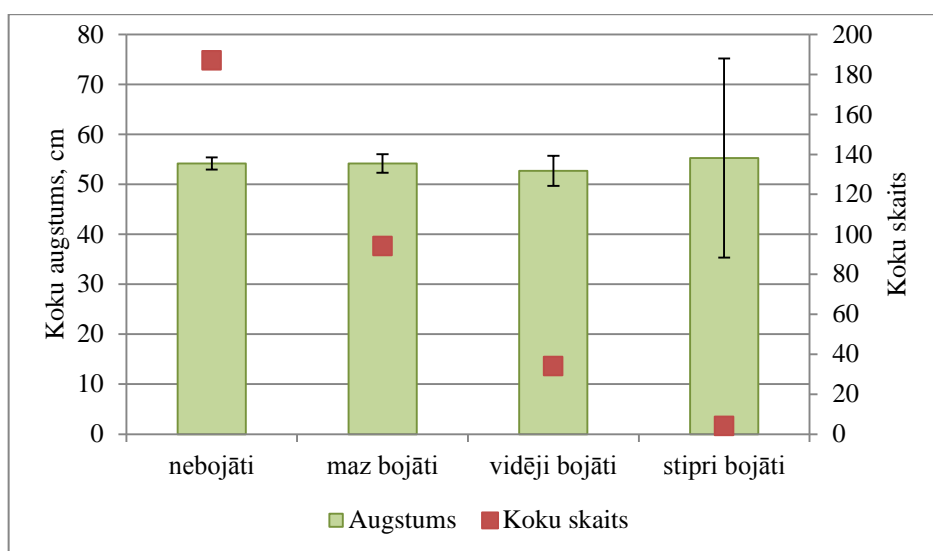


B

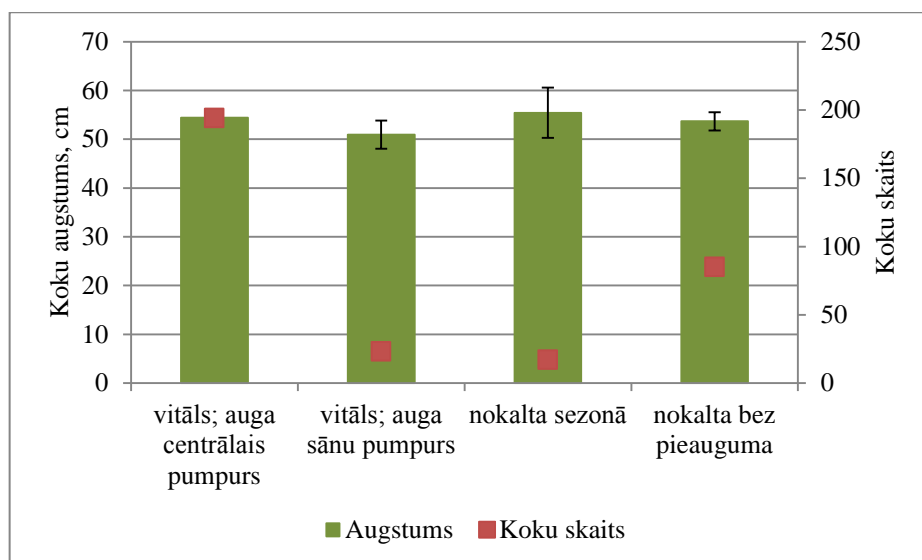
2.3.attēls. Saldēšanas eksperimentā iekļauto egļu vitalitāte nākamajā veģetācijas sezonā.

A – koki, kas veidoja pieaugumu, un koki (kreisajā malā), kas nokalta; B – koki, kam veidojās pieaugums, bet ne centrālajam pumpuram.

Vairāk nekā puse koku 2016.gada sezonas sākumā novērtēti kā sala nebojāti (187 koki, 59%); maz bojāti bija 29% (94 koki), vidēji bojāti - 11% (34 koki) un stipri bojāti – 1% (4 koki). Koku vidējais augstums 2016.gada sākumā bija $54 \pm 1,0$ cm (robežās no 28,5 cm līdz 88,0 cm), un tas būtiski neatšķīrās ($p > 0,05$) kokiem ar dažādu sala bojājumu pakāpi (2.4.att.). Netika konstatētas būtiskas koku sākotnējā augstuma atšķirības ($p > 0,05$) arī koku grupām ar dažādu nākamās - 2016.gada - sezonas laikā konstatētu vitalitāti (2.5.att.).



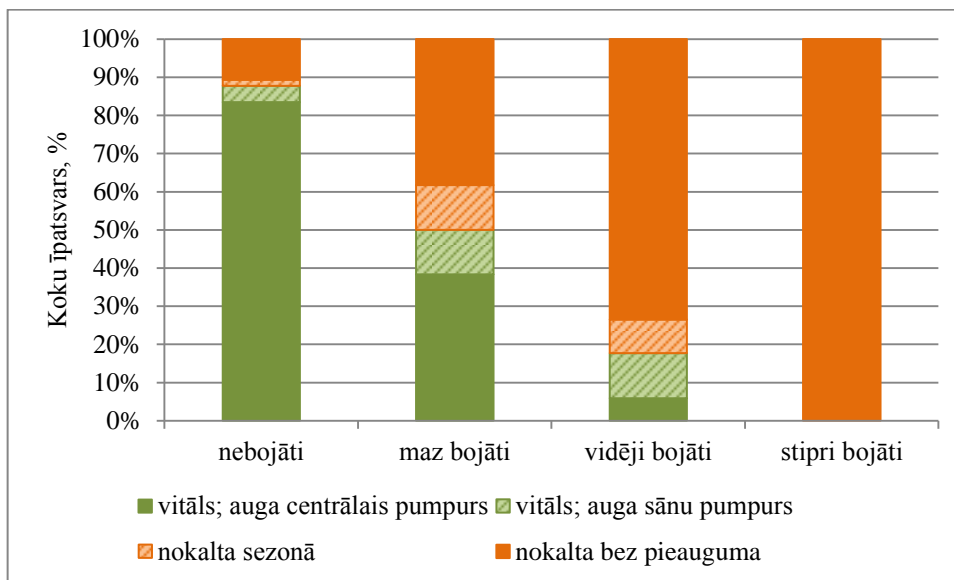
2.4.attēls. Koku augstums un skaits 2016.gada sākumā koku grupās ar dažādas pakāpes sala bojājumiem (\pm ticamības intervāls).



2.5.attēls. Koku augstums 2016.gada sākumā koku grupām ar dažādu vitalitāti 2016.gada veģetācijas periodā (\pm ticamības intervāls).

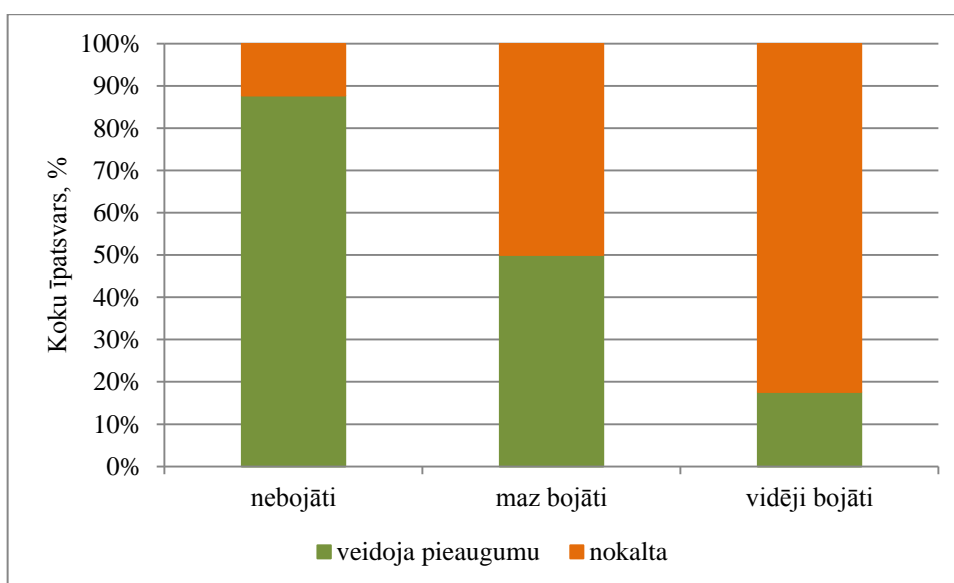
No nebojātajiem kokiem lielākā daļa (88%) veidoja pieaugumu – vai nu centrālajam pumpuram (84%), vai sānu pumpuram (4%), bet nokalta 12% (bez pieauguma uzsākšanas 11% un vēlāk sezonas laikā 1%) (2.6.att.). Palielinoties sala bojājumiem, ievērojami samazinājās koku vitalitāte 2016.gada veģetācijas periodā: no maz bojātajiem kokiem pieaugumu veidoja centrālais pumpurs 38% koku, sānu pumpurs 12% koku, bet nokalta bez pieauguma uzsākšanas 38% un sezonas laikā 12% koku; vidēji bojātajiem kokiem attiecīgais koku īpatsvars bija 6%, 12%, 73% un 9%, tātad no vidēji bojātajiem kokiem ievērojami vairāk koku nokalta salīdzinājumā ar koku grupām ar mazākiem sala bojājumiem, vienlaikus no izdzīvojušiem kokiem lielāks bija tādu koku īpatsvars, kam pieaugums veidojās galotnes

sānu (nevis centrālajam) pumpuram. Neviens no kokiem, kas bija stipri sala bojāti (4 koki), pieaugumu 2016.gadā neveidoja.



2.6.attēls. Koku sadalījums 4 vitalitātes grupās 2016.gada veģetācijas sezonā atkarībā no to piederības kādai no 4 iepriekšējā gada sala bojājumu grupām.

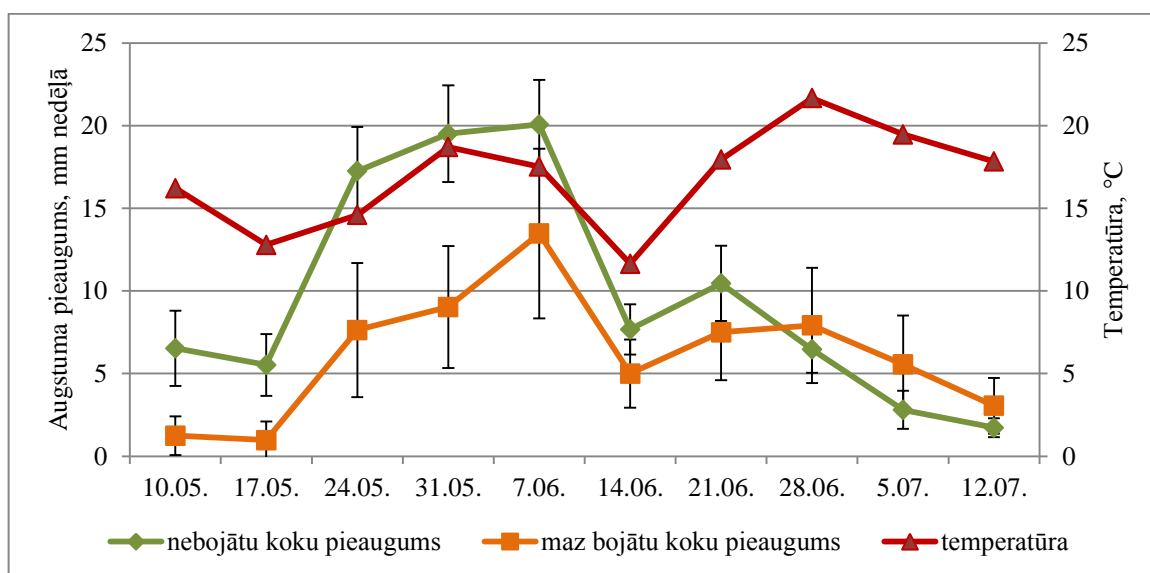
Lai varētu statistiski novērtēt (ar χ^2 testu) koku piederību kādai no “vitalitātes” grupām 2016.gadā atkarībā no piederības iepriekšējā gada sala bojājumu grupai, koki apvienoti divās grupās - koki, kas saglabāja vitalitāti (neatkarīgi no tā, kurš pumpurs veidoja pieaugumu) un koki, kas nokalta (neatkarīgi no nokalšanas laika), turklāt stipri bojātie koki no analīzes izslēgti pārāk mazā koku skaita dēļ. Koku sadalījumam konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ($p < 0,001$) (2.7.att.).



2.7.attēls. Izdzīvojušo (veidoja pieaugumu) un bojāgājušo (nokalta) koku īpatsvars koku grupās ar atšķirīgas pakāpes iepriekšējās sezonas sala bojājumiem.

Analizējot 2016.gada pieauguma garumu kokiem, kas veidoja pieaugumu no galotnes centrālā pumpura, konstatēts, ka tiem, kas iepriekš nebija cietuši no sala bojājumiem, augstuma pieaugums 2016.gadā ($10 \pm 0,9$ cm) bija statistiski būtiski ($p < 0,001$) lielāks nekā kokiem, kas nedaudz, tomēr bija cietuši no sala bojājumiem ($6 \pm 1,3$ cm). No grupas ar vidējiem sala bojājumiem tikai 2 kokiem veidojās augstuma pieaugums (4 cm un 15 cm) centrālajam pumpuram.

Iknedēļas augstuma pieauguma kulminācija (vidēji 19 mm) konstatēta 7.jūnijā (2.8.att.). Sala nebojātiem un maz bojātiem kokiem, kas saglabāja vitalitāti nākamajā sezonā pēc saldēšanas eksperimenta, atšķīrās ne vien kopējais augstuma pieauguma garums, bet arī iknedēļas augšanas dinamika.



2.8.attēls. Augšanas dinamikas atšķirības starp sala nebojātiem un maz bojātiem kokiem un vidējā gaisa temperatūrā attiecīgās nedēļas laikā (\pm ticamības intervāls).

Sala nebojātiem kokiem laika periodā no 10.maija līdz 31.maijam iknedēļas augstuma pieaugums bija statistiski būtiski ($p < 0,05$) lielāks nekā maz bojātiem kokiem, sasniedzot starpību 10 mm 31.maijā, un šāda tendence saglabājās līdz 21.jūnijam, kaut arī 7., 14. un 21.jūnijā atšķirības vairs nebija statistiski būtiskas. Savukārt vēlāk - 28.jūnijā, 5.jūlijā un 12.jūlijā lielāks iknedēļas augstuma pieaugums bija maz bojātiem kokiem salīdzinājumā ar nebojātiem; tomēr atšķirības bija nelielas (robežās no 1 līdz 3 mm) un nebija statistiski būtiskas.

Salīdzinot salcietības veidošanos neizmainītos un paaugstinātas temperatūras apstākļos ($+4^{\circ}\text{C}$) audzētiem kokiem, konstatēts, ka neizmainītos apstākļos audzētām priedēm un eglēm

salcietība pilnībā bija izveidojusies jau eksperimenta pirmajā etapā (11.novembrī), kamēr paaugstinātas temperatūras apstākļos audzētiem kokiem salcietības veidošanās abām sugām nozīmīgi atšķīrās. Eglei, jau sākot ar otro eksperimenta etapu (17.novembri), konstatēti koki, kuru sala bojājumi uzskatāmi par nenozīmīgiem. Tāpēc eglei klimata izmaiņu (paaugstinātas temperatūras un ilgāka veģetācijas perioda) apstākļos, visticamāk nebūs raksturīga zemākas salcietības veidošanās tādā mērā, kas nozīmīgi ietekmētu saglabāšanos, kaut arī sala bojājumu dēļ sagaidāma augstuma pieauguma samazināšanās. Eksperimentā priedei, kas augusi paaugstinātas temperatūras apstākļos pietiekama salcietības izveidošanās konstatēta tikai sākot ar janvāri. Tas liecina, ka, paaugstinoties vidējai gaisa temperatūrai, bet saglabājoties aukstu periodu iestāšanās iespējamībai, priedei vismaz pirmajos augšanas gados varētu būt ievērojams sala bojājumu risks. Tādēļ šai koku sugai rekomendējami turpmāki salcietības veidošanos ietekmējošo faktoru pētījumi: 1) paaugstinātā temperatūrā audzētos kokus uzglabājot vairākos atšķirīgos temperatūras režīmos periodā, kas ilgst no veģetācijas sezonas beigām līdz saldēšanai (šajā pētījumā $+3^{\circ}\text{C}$); 2) iesaistot pētījumā dažāda vecuma priedes, dažādu koku pēcnācējus, lai noskaidrotu, līdz kādam koku vecumam salcietības veidošanās var būtiski samazināt to saglabāšanos un cik lielā mērā konstatējamās ģenētiski noteiktas atšķirības šajā aspektā, 3) atkārtoti pārbaudot koku grupu salīdzinoši augstāko salcietību – kūdras augsnēs atlasītu priežu pluskoku pēcnācējus, lai novērtētu, vai konstatētā sakarība ir noturīga.

3. Reti sastopamo koku sugu stādījumu ierīkošana un uzmērīšana

3.1. Dižskābarža un lapegles stādījumu ierīkošana

Projekta ietvaros saskaņā ar plānoto 2016.gada pavasarī ierīkoti dižskābarža un lapegles stādījumi. Stādāmais materiāls dižskābardim iegūts no MPS Šķēdes meža novada, mežēņu vidējai augstums 0,5m, vecums 2-5 gadi; lapeglei – no a/s “Latvijas valsts meži” kokaudzētavas, vidējais augstums 0,4m, vecums 2 gadi. Stādījumi ierīkoti meža zeme (augsnē sagatavota vagās) un bijušajā lauksaimniecības zemē (bez augsnes sagatavošana). Meža zemē stādījums ierīkots MPS Auces mežu novada 19. kvartālā (stādīšanas attālums 2x2,5m) damaksnī, platība iežogota.

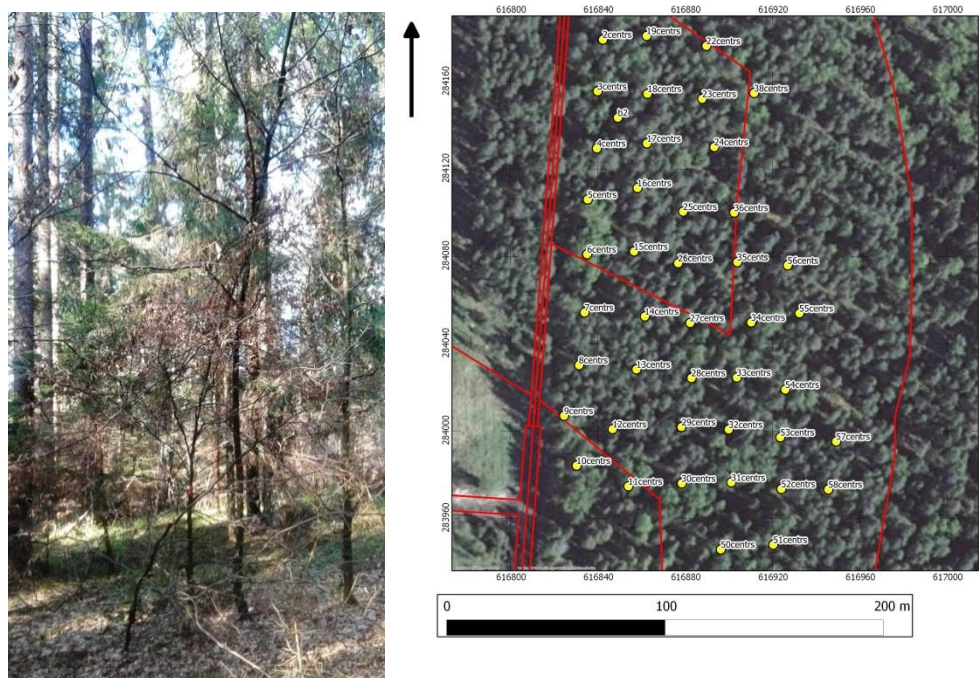
Bijušajā lauksaimniecības zemē projekta “Ātraudzīgo koku sugu plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas metožu izpēte un iegūstamās koksnes piemērotības novērtējums koksnes granulu ražošanai” ietvaros ierīkoti stādījumi lapu koku augšanas gaitas vērtēšanai. Šī projekta ietvaros tiem blakus ierīkoti lapegles un dižskābarža stādījumi, nodrošinot iespēju nākotnē salīdzināt koku augšanas gaitu. Dižskābarža stādījums ierīkots Ogres novadā, platība iežogota, augsne atbilstoša gāršai; lapegles – Vecumnieku novadā (3.1. att.), platība nav iežogota, augsne atbilstoša šaurlapju ārenim. Stādījumos uz bijušās lauksaimniecības zemes izmantots tas pats sākotnējais biežums, kas stādījumos uz meža zemes.



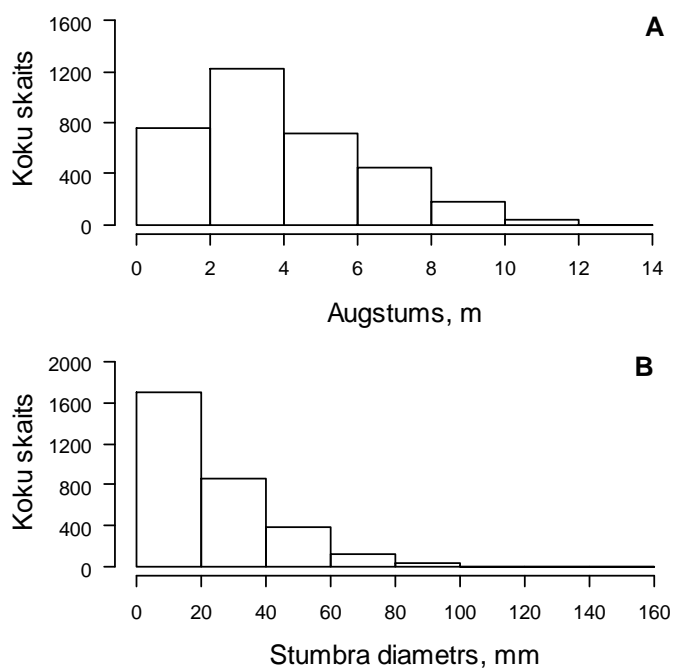
3.1. attēls. Lapegles stādījumā bijušajā lauksaimniecības zemē

3.2. Esošo dižskābarža stādījumu uzmērīšana

Dižskābaržu stādījumā 33 gadu vecumā MPS Kalsnavas mežu novada 160. kvartālā (stādījums ierīkots zem audzes vainagu klāja) veikta koku uzmērīšana kopumā 2.16 ha platībā, sistemātiskā tīklā izvietojot parauglaukumus un nosakot koku augstumu, caurmēru un lokālās koordinātes – attālumu no centra, azimutu (3.2. att.); līdz ar to raksturojot audzes stāvokli (3.3. att.).



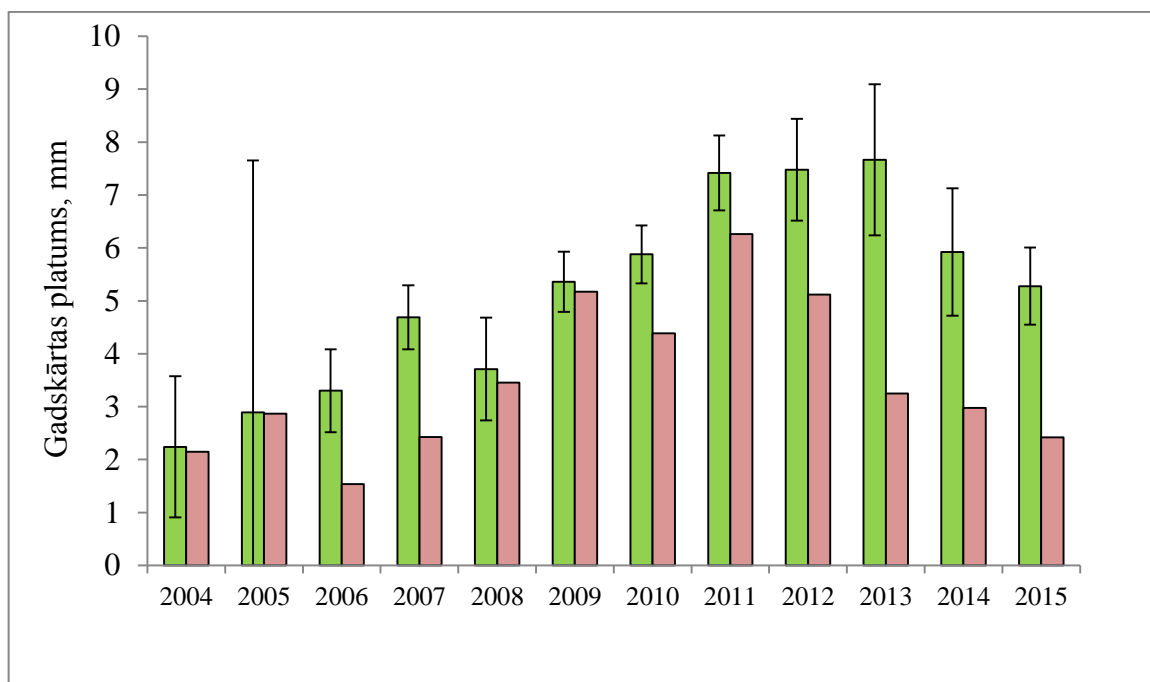
3.2. attēls. Dižskābarži stādījumā zem audzes vainagu klāja MPS Kalsnavas MN



3.3. attēls. Dižskābaržu augstuma un caurmēra sadalījums stādījumā MPS Kalsnavas MN

Stādījumā paredzēts veikt dažādas intensitātes valdaudzes koku retināšanu un, atkārtoti to pārmērot, iegūt datus par apgaismojuma un konkurences ietekmi uz dižskābarža pieaugumu; vienlaikus plānots arī mikroklimatisko apstākļu (g.k. temperatūras) monitorings.

Veikta dižskābarža stādījuma uzmērīšana 607. kvartālu apgabala 182. Kvartālā 0,4 ha platībā, kā arī paraugkoku pieaugumu urbumu ievākšana un apstrāde gadskārtu platuma dinamikas raksturošanai. Objekta ierīkošana veikta 13 gadus pirms uzmērīšanas ar dižskābarža mežeņiem no Augstkalnes apkārtnes un egles stādiem (G. Dude, LVM meža iecirkņa vadītājs), stādot ar disku arklu sagatavotā augsnē rindu mistrojumā ar egli, vērī. Saglabāšanās stādījām laba: dižskābardim 73%, eglei 79%. Izmantojot paraugkoku urbumus konstatēts, ka dižskābaržu bioloģiskais vecums stādījumā 15 ± 2 gadi; to vidējais augstums sasniedza 7.4 ± 0.30 cm, caurmērs 8.9 ± 0.69 cm. Abām koku sugām konstatēts likumsakarīgs gadskārtu platuma pieaugums līdz ar koku vecumu, tomēr pēdējos 4 augšanas gados dižskābardis acīm redzami pārņēmis platību, apspiežot egli: tā gadskārtu platums turpina pieaugt, kamēr eglei samazinās (3.4. att.) Konstatēts, ka dižskābarži aizņem lielāko daļu platības, to vidējais garāko zaru garums sasniedz 2.4 ± 0.16 m tātad pielīdzināms attālumiem starp rindām stādījumā. Kopumā rezultāti liecina par sekmīgu dižskābarža augšanu.

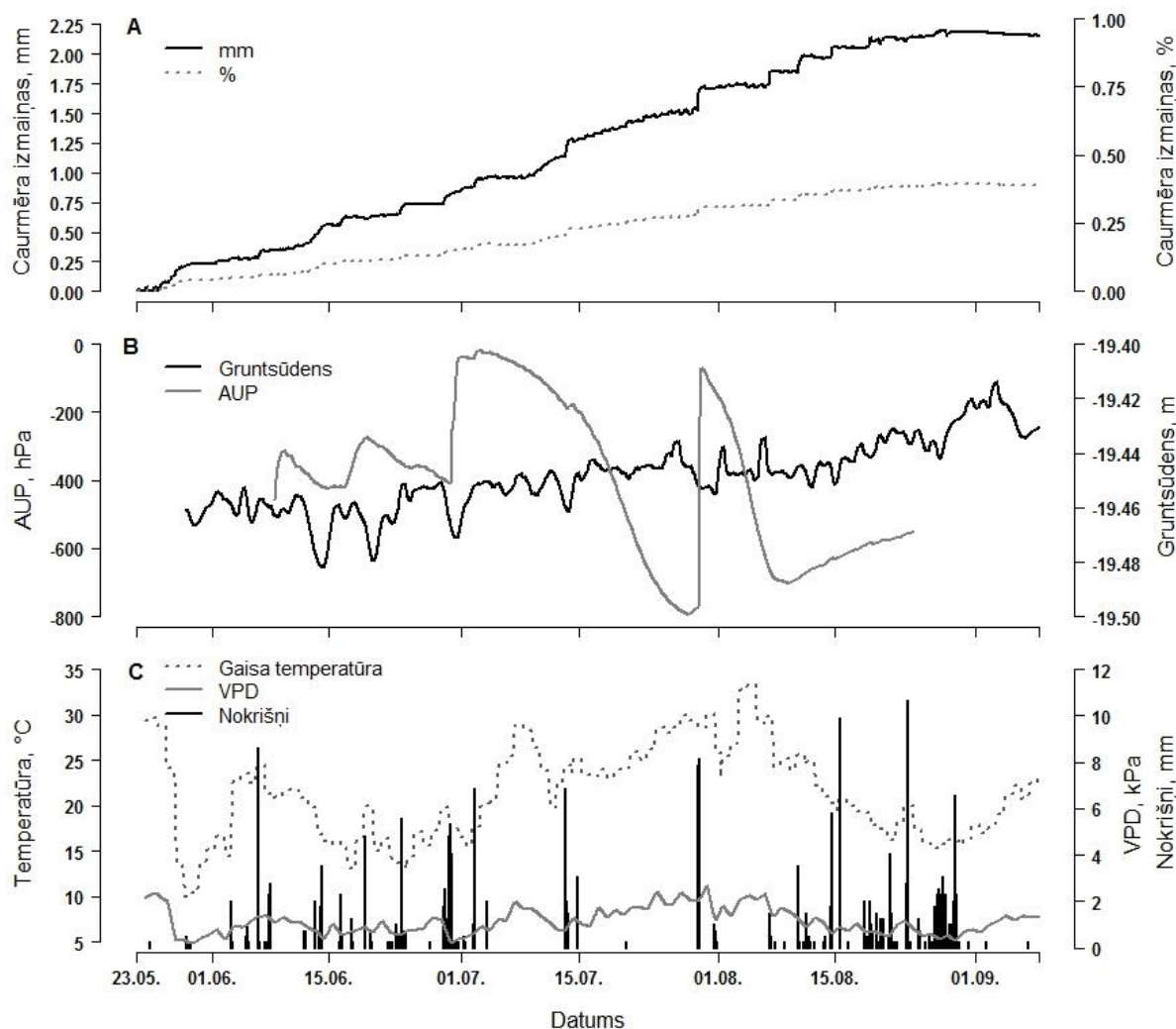


3.4. attēls. Dižskābarža (zaļās kolonnas) un egles (violetas kolonnas) gadskārtu platuma dinamikai stādījumā rindu mistrojumā

Saskaņā ar projekta darba uzdevumu turpināta dižskābarža augšanu ietekmējošo faktoru vērtēšana. Gadskārtu platuma saikne ar klimatiskajiem apstākļiem veikta jau iepriekš un plānota turpmākajos pētījuma etapos, pārskata periodā analizēti radiālā pieauguma veidošanās augšanas sezonas ietvaros dati, kas iegūti MPS Šķēdes meža novadā. Informācija par dižskābarža stumbra caurmēra sezonālās dinamiku palīdzēs labāk novērtēt tā pielāgošanos/pielāgotību Latvijas klimatam un tā pārmaiņām (Bouriaud et al., 2005; Čermak et al., 2015). Caurmēra svārstību un sulu plūsma mērījumiem izmantoja attiecīgi lentas dendrometru DRL 26A (EMS Brno, Čehija) (izšķirtspēja $1\text{ }\mu\text{m}$, metāla lentas lineārā izplešanās ir $1\text{ }\mu\text{m m }^{\circ}\text{C}^{-1}$) un konstanta siltuma avota sulas plūsmas mērītāju SFM1 (ICT International, Austrālija). Augsnes ūdens potenciāla mērījumiem audzē izmantoja tensiometrus T8 (UMS GmbH, Vācija), bet automātiskos gruntsūdens līmeņa mērījumus veica ar MiniDiver (Schlumberger, ASV). Meteoroloģiskos parametrus fiksēja ar meteostaciju Wireless Vantage Pro2 (Davis instruments, ASV), un no izmērītajām gaisa temperatūras un relatīva mitruma, izrēķināja gaisa mitruma deficītu (Vapour Pressure Deficit jeb VPD) (starpība starp faktisko gaisa mitruma saturu un potenciāli iespējamo gaisa mitruma saturu piesātinātā stāvoklī).

Caurmēra mērījumu datu apstrādi veica ar stumbra izmaiņu fāžu metodi, izdalot saraušanos (periods starp caurmēra iepriekš sasniegto maksimālo un minimālo vērtību), izplešanos (caurmērs palielinās no minimālās vērtības, līdz nākošajam maksimumam) un pieaugumu (periods no iepriekšējā līdz nākamajam maksimumam) (Deslauriers et al., 2007; Deslauriers et al., 2011).

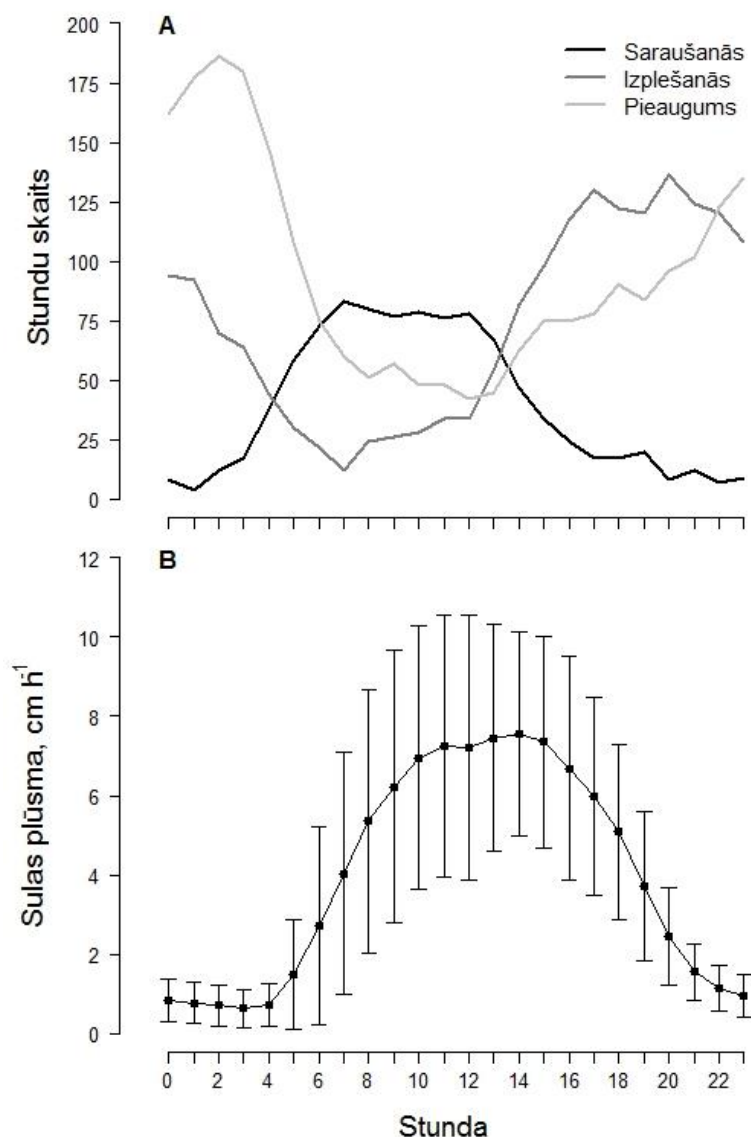
Novērojumu perioda nokrišņu summa un vidējā gaisa temperatūra bija attiecīgi 285 mm un 17,2 °C, bet VPD vidējā vērtība sasniedza 1.2 kPa. Jūlijs/augusta sākums bija ar vismazāk lietaino dienu, un šajā periodā ir arī fiksēta sezonas maksimālā gaisa temperatūra 33,4 °C (3.5. att.). Dižskābarža caurmēra kumulatīvā pieauguma līknei sezonas ietvaros raksturīgi kāpumi un kritumi (3.3. att.), kas norāda uz stumbra koksnes audus diennakts de/rehidrācijas cikliem (3.6. att.) (Michelot et al., 2012; Steppe & Lemeur, 2004).



3.5. attēls. Kopējā (izceltā līnija) un relatīvā (raustītā līnija) stumbra caurmēra pieauguma (A), gruntsūdens un augsnes ūdens potenciāla (B), gaisa temperatūras, VPD un nokrišņu izmaiņas novērojumu periodā.

Strauja izplešanās notiek lietainās dienās, kad samazinās transpirācija (samazinās VPD). Tā kā gruntsūdens dziļums pētījumu objektā bija vairāk nekā 19 metru (3.3. att.) un mežaudzes, kur atrodas izvēlētais paraugkoks, augsnes cilmiezies ir māls, gruntsūdens svārstību ietekme uz dižskābarža augšanu praktiski nav. Jūlijā/augusta sākumā augsnes ūdens potenciāls nokritās līdz zemākajai sezonas atzīmei, un, lai gan caurmēram ir tendence palielināties pieaugumā nav novērotas, lietainās dienās ir novērotas lielākas stumbra caurmēra

svārstības (3.5. att.). Dižskābarža caurmērs vienas sezonas laikā (98 dienas) pieauga par 2,20 mm, kas bija 0,38% no koka caurmēra sezonas sākumā, bet par radiālās augšanas sākumu var uzskatīt 26. maiju (3.5. att.).

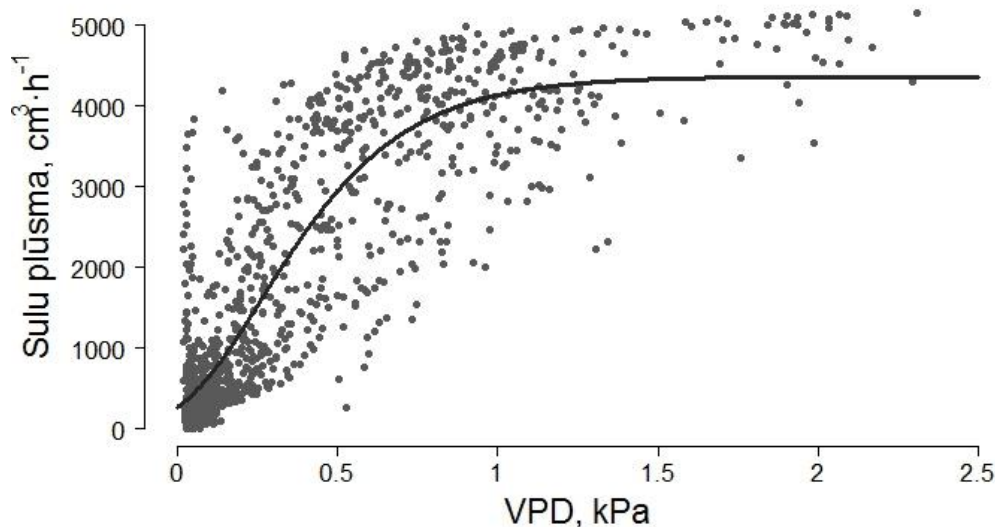


3.6. attēls. Stumbra caurmēra svārstību (SCV) fāžu (A) un sulas plūsmas (B) diennakts sadalījums

Dižskābarža stumbra caurmēra svārstības bija novērojamas jau pirms 26. maija, bet tomēr ir saistītas ar audu rehidrācijas un dehidrācijas procesiem (Bouriaud et al., 2005), jo pavasarī stumbra caurmēra nelielu svārstību periods var ilgt aptuveni 2 nedēļas pirms šūnu veidošanās sākuma (Yamashita et al., 2006). Radiālās augšanas sākums ir tieši saistīts ar zemāku gaisa temperatūru pavasarī (Zweifel et al., 2004), un līdz 26. maijam diennakts maksimālā gaisa temperatūra sasniedz +30 °C, bet nākamajā nedēļā, kad diennakts maksimālā gaisa temperatūra nepārsniedz +15 °C, ir fiksētas pirmās caurmēra pieauguma fāzes.

Dižskābaržu augšanai ir nepieciešamajā optimālajā gaisa temperatūras režīmā diennakts vidējā gaisa temperatūra ir +19,9 °C (Bolte et al., 2007).

Transpirācijas rezultātā radušais ūdens zudums izraisa stumbra saraušanos, jo nepietiekama augšnes mitruma apstākļos, no augšnes uzņemtais ūdens netiek iesaistīts šūnu turgora nodrošināšanā, bet gan transpirēts. Pēcpusdienā/vakarā transpirācija līdz ar Saules rietu samazinās, un no augšnes uzņemtais ūdens var tikt izmantots stumbra ūdens rezervju deficīta kompensēšanai—veidojas stumbra caurmēra palielināšanās. Pietiekamas rehidrācijas apstākļos ūdens var tikt iesaistīts jaunu vaskulārā kambija šūnu veidošanā (Čermák et al., 2007). Līdzīga sakarība tikai novērota arī paraugkokam, kad diennakts griezumā, visintensīvākā radiālā augšana ir novērota naktī līdz saullēktam agri no rīta. Tad sākās saraušanās fāzes dominēšana līdz 14:00 pēcpusdienā, kad to nomainīja izplešanās, kas, savukārt pārgāja pieauguma fāzē īsi pirms pusnakts (3.6 att.). Nelineāro mazāko kvadrātu analīzes rezultāti norāda uz sigmoidālu sakarību starp sulas plūsmu un VPD ($R^2 = 0.76$) (3.7 att.), liecinot, ka dižskābarža jutība pret augšnes ūdens deficītu iestājas pie 1 kPa liela VPD.



3.7. attēls. Sulu plūsmas dinamikas saistība ar VPD izmaiņām

Palielinoties VPD, kokam varētu būt problemātiski nodrošināt transpirācijai nepieciešamā ūdens apjomu un, ciešot sausuma stresu, augšana būtu traucēta. Visintensīvākā radiālā pieauguma veidošanās dižskābardim bija novērojama zema VPD apstākļos (nakts, lietainas un vēsas dienas). Iegūtie rezultāti liecina, ka dižskābarža nākotnes audzēšanas perspektīva paaugstinātas gaisa temperatūras apstākļos ir atkarīga no nokrišņu režīma un pietiekama augšnes mitruma.

3.3. Lapegles audžu uzmērīšana

Pārskata periodā iegūstot datus augšanas gaitas modeļa sagatavošanai lapeglei veikta parauglaukumu uzmērīšana 10 audzēs MPS Auces meža novadā saskaņā ar izstrādātu metodiku.

Audzēs ap augšanas gaitas analīzei izvēlētajiem paraugkokiem tiek ierīkots 500 m² (R=12,62 m) liels aplveida parauglaukums, kura centrs atrodas aptuveni 1 m attālumā no izvēlēta paraugkoka. Parauglaukumā uzmērīti visi koki, kuru krūšaugstuma caurmērs lielāks par 14,0 cm, bet koki, kuru krūšaugstuma caurmērs ir 6,1-14,0 cm uzmērīti 100 m² (R=5,64m) lielā platībā. Visiem uzmērītajiem kokiem fiksēti: koka suga; koka attālums un azimuts no parauglaukuma centra; krūšaugstuma caurmērs; stāvs; krafta klase; stāvokļa klase (dzīvs; sausoknis; stumbeņis; kritāls) un bojājumi - to atrašanās vietu, bojājuma veidu un bojājuma pakāpi atbilstoši meža veselības monitoringa metodikā lietotajiem kodiem (Forest Health Monitoring, 1995).

Ja parauglaukumā mazāk nekā 15 I stāva valdošās koku sugas koki, tad papildus 1000 m² (R=17,85 m) lielā platībā tiek uzmērīti dzīvie I stāva koki, kuriem fiksēti: koka suga; krūšaugstuma caurmērs; stāvs; krafta klase un bojājumi.

Parauglaukumā koku augstumi uzmērīti 15 I stāva valdošās koku sugas kokiem; un vismaz 3 (vai visiem, ja mazāk par trīs kokiem) kokiem no pārējiem mežā elementiem. Katrā parauglaukumā ar Preslera svārpstu iegūti 10 I stāva valdošās koku sugas koksnes paraugi radiālo pieaugumu mērīšanai. Katrā parauglaukumā 10 vienmērīgi izvietotās vietās noteikts A₀ un A₁ horizonta biezums, ja ir augsts gruntsūdeņa līmenis (purvainos), tad noteikts A₀ horizonta biezums līdz gruntsūdeņa līmenim.

Saskaņā ar metodiku veikto uzmērījumu rezultāti apkopoti 3.1. tabulā.

3.1. tabula.

Lapegles audzēs MPS Auces MN ierīkoto parauglaukumu taksācijas rādītāji

| Kvartāls, nogabals | Vecums, gadi | I stāva | | |
|-----------------------|-----------------|---------|-------|-------------------|
| | | H, m | D, cm | G, m ² |
| 16-12 | 80 | 28.7 | 27.9 | 41.5 |
| 16-15 | 80 | 33.4 | 34.6 | 46.9 |
| 16-22 | 118 | 34.4 | 53.3 | 47.9 |
| 16-36 | 83 | 30.2 | 29.8 | 54.9 |
| 17-11 | 123 | 22.8 | 25.5 | 23.6 |
| 23-19 | 85 | 34.2 | 36.0 | 45.6 |
| 33-14 | 67 | 20.3 | 24.9 | 38.1 |
| 54-6 | 81 | 25.0 | 30.0 | 28.6 |
| 54-9 | 81 | 26.5 | 28.8 | 23.1 |
| 116-6 | 65 | 24.0 | 26.5 | 35.9 |

Nākamajā posmā paredzēta paraugkoku zāģēšana un datu ieguve to augšanas gaitas rekonstrukcijai, lai nodrošinātu, ka iegūtie dati ir integrējami LVMI Silava (J. Donis) augšanas gaitas modeļos.

Paraugkoku izvēle

Katrā objektā izvēlēti divi paraugkoki, kas auguši salīdzinoši viendabīgos augšanas apstākļos un kuri atbilst sekojošiem kritērijiem:

- paraugkoks ir virsvaldu vai valdaudzes koks (I vai II Krafra klase);
- koks nav vecākas paaudzes koks;
- koks nav audzis klajumā un nav bijis pakļauts pārlietu lielai konkurencei (nav tuvu augošu līdzīgu dimensiju koki vai celmi un gadskārtu platumi krūšaugstumā ir vienmērīgi);
- koks ir ar taisnu stumbru;
- kokam ir veselīgs un normāli veidots vainags (nav vienpusējs; nav „ezis”; nav iespiests starp pārējiem; nav skrajš; nav izteikta padēla vai divu galotņu utt.);
- kokam nav slimību, trapes un kukaiņu bojājumu pazīmes;
- kokam nav izteiktu ārēju bojājumu pazīmju (mizas nobrāzumi, plaisas utt.);
- koks atrodas vismaz 30 metrus no audzes malas.

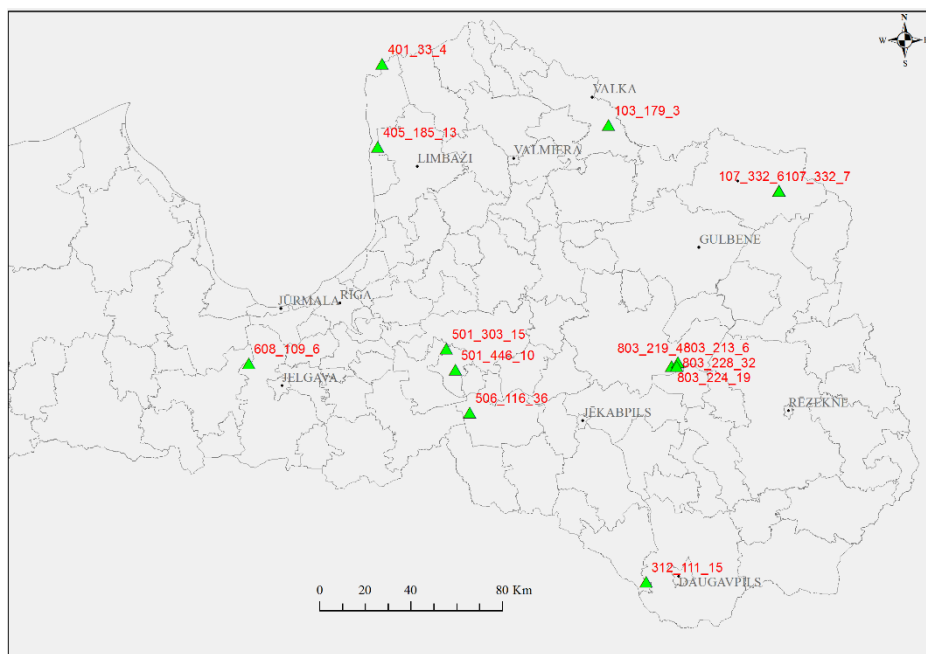
Paraugkoku mērījumi

1. Pirms koka nozāģēšanas uz stumbra atzīmēts koka krūšaugstums (1,3 m virs sakņu kakla) un virziens (Z;A;D;R). Virziens izvēlēts tā, lai nogāztajam kokam tas būtu vērsts uz augšu un būtu iespējams šo virzienu atzīmēt visā nogāztā stumbra garumā.
2. Koks nozāģēts aptuveni 10-30 cm virs sakņu kakla.
3. Koks atzarots vienlaikus piefiksējot sausā zara, zaļā zara un vainaga sākuma augstumu (attālums no sakņu kakla ar 0,01m precizitāti). Par pirmo sauso zaru uzskata jebkuru sausu zaru, kura garums ir vismaz 2 cm. Par vainaga sākumu uzskatīts mieturis ar vismaz vienu zaļo zaru (jebkurš zars, kuram ir zaļas skujas), kuru no nākamā mietura ar zaļo zaru neatdala vairāk par diviem mieturiem.
4. Kokam nomērīts stumbra garums (0,01m precizitāti) un sākot no koka sakņu kakla samērķēts 1m garos nogriežņos (1 m; 2 m; 3 m utt.), papildus atzīmējot 0,5 m un 1,3 m augstumu. Par atskaites punktu tika ņemts pirms nozāģēšanas atzīmētais marķējums 1,3 metru augstumā.
5. Koks sagarumots iepriekš atzīmētajās vietās (4. punkts). Ja atzīmētā vieta atrodas tieši uz zara mietura, zāģējums veikts 10 cm zem marķējuma.

6. Katrā no zāģējuma vietām fiksēts stumbra caurmērs ar un bez mizas divos savstarpēji perpendikulāros virzienos.
7. Izzāģētas aptuveni 3-5 cm biezas ripas gadskārtu skaita un platuma mērīšanai:
 - 7.1. ja koka garums 20 vai mazāk metri, tad ripas ņemtas celma augstumā; 0,5m; 1,0m; 1,3m; 2,0m; 3,0m; 4,0m utt.;
 - 7.2. ja koka garums lielāks par 20 metriem, tad ripas ņemtas celma augstumā; 0,5m; 1,0m; 1,3m; 2,0m; 4,0m; 6,0m utt.

3.4. Audzēšanas izpētes parauglaukumu ierīkošana liepu audzēs

Saskaņā ar darba uzdevumu pārskata periodā visā Latvijas teritorijā tika izvēlētas un apsekotas 30 liepu audzes, ko apsaimnieko „Latvijas valsts meži” un kur potenciāli būtu iespējams ierīkot ilglaicīgos zinātniski pētnieciskos objektus. Ņemot vērā faktisko audžu sastāvu, nogabala konfigurāciju, reljefu, izvēlētas 14 audzes (sākotnēji plānoto 10 vietā) un tajās veikta patstāvīgo parauglaukumu ierīkošana un uzmērīšana dabiskās atjaunošanās augšanas gaitas un kopšanas režīma vērtēšanai (3.8. att.). Katrā objektā, ņemot vērā nogabala konfigurāciju, iespējamo malas (blakus audzes) ietekmi un meža tipu, izvietoti 1-7 parauglaukumi (kopā pa visiem objektiem 53 parauglaukumi), kuru platība nav mazāka par 0.16 ha (ierīkojot objektu shēmas un taksācijas rādītāji I pielikumā). Parauglaukumos veikta uzmērīšanu un kopšana, saglabājot šādus biežumus: 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) nekopts/kontrole (3.2. tab.)



3.8. attēls. Liepu audžu ar pastāvīgajiem parauglaukumiem izvietojums

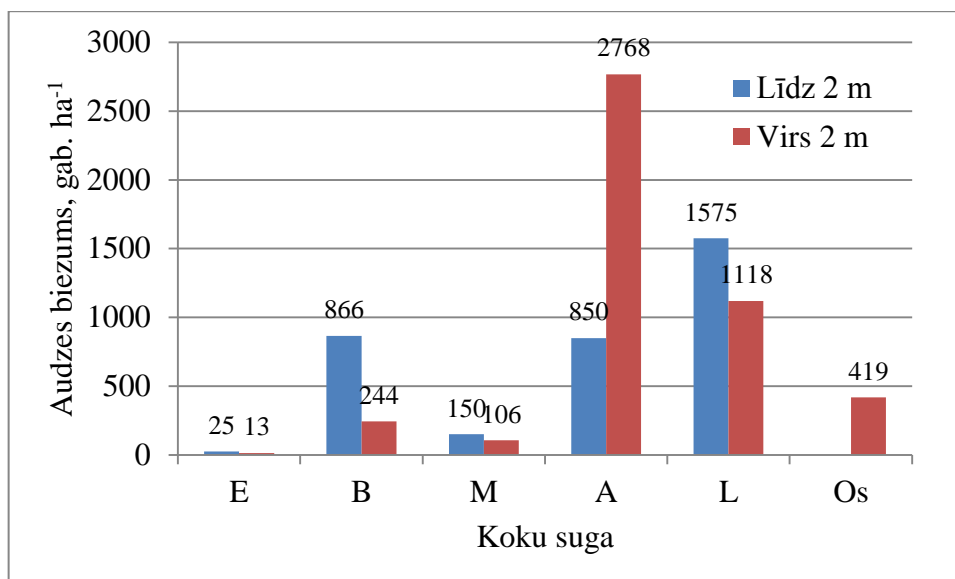
3.2. tabula

Parauglaukumu ar dažādu biezumu izvietojums liepu audzēs

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

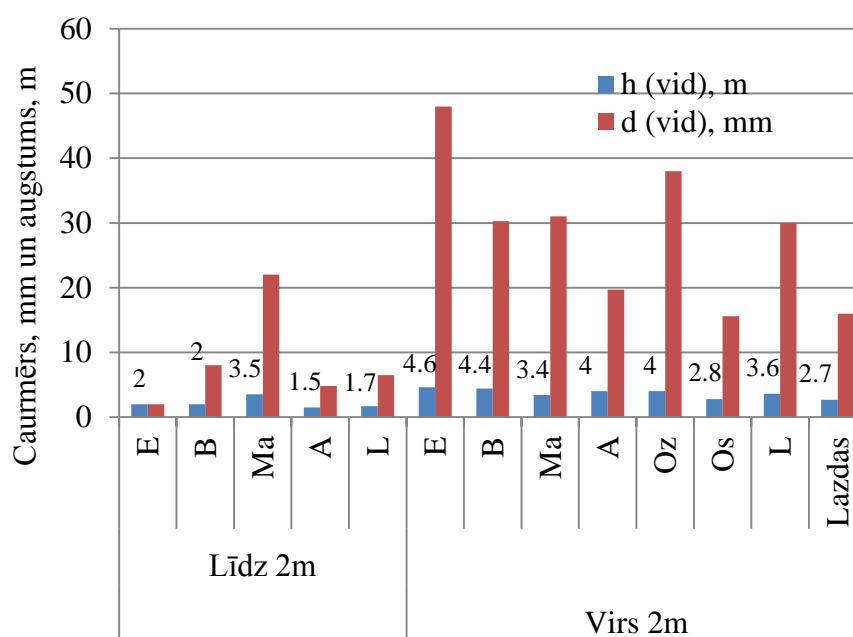
k-kontrole, nekopts; lg-kontrole, liepa saglabātas grupās

Uzmērot ierīkotos parauglaukumus, lai raksturotu kokaudzi pirms kopšanas, konstatēts, ka dominējošā kokus suga atsevišķās objektu daļās bija apse, tāpat relatīvi daudz konstatēts arī bērzs (3.9. att.); relatīvi augsts liepu biezums konstatēts paaugā t.i. atkārtoti izveidojušās atvases no kokiem, kas nozāģēti kādā no iepriekšējām jaunaudžu kopšanā (vidēji 3250 koki ha⁻¹ audzēs ar augstumu līdz 2 m, šo liepu vidējais augstums 0.5 m; un vairāk nekā 13 000 koki ha⁻¹ audzēs ar augstumu virs 2 m, šo liepu vidējais augstums 1,3 m). Līdz ar to visās audzēs bija iespējams izveidot parauglaukumus ar plānoto biezumu.



3.9. attēls. Biezums un sugu sastāvs parauglaukumos pirms kopšanas audzēs ar vidējo augstumu līdz un virs 2 m

Audzēs ar vidējo augstumu virs 2 m liepas vidēji ir nedaudz zemākas nekā tajās konstatētie bērzi vai apses (3.10. att.).



3.10. attēls. Dažādu koku sugu vidējais augstums un caurmērs parauglaukumos pirms kopšanas audzēs ar vidējo augstumu līdz un virs 2 m

4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā

Pārskata periodā paredzēts veikt aprēķinus izmantojot procesos balstītu augšanas gaitas modeli, kurā kā ievades parametri definēti prognozētie klimatiskie apstākļi, audžu parametri no pārmērītiem Meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumiem, kā arī augsnes dati saskaņā ar FAO augšņu klasifikāciju, kas iegūti projekta Biosoil ietvaros.

Saskaņā ar projektā izstrādāto metodiku klimatu izmaiņu radītais meža elementu taksācijas rādītāju papildus pieaugums (meža elementa augstuma vai caurmēra papildus pieaugums), kas rodas, uzlabojoties augšanas apstākļiem, aprēķināms pēc šādas sakarības (4.1):

$$h;d=h,d(f(t))+Zk*(a*(t2-t1)*exp(-b*(t2-t1))) \quad (4.1)$$

kur:

h – meža elementa augstums, m;

d – meža elementa caurmērs, cm;

$f(t)$ – funkcija, kas apraksta h (augstuma) vai d (caurmēra) izmaiņas atkarībā no vecuma (augšanas gaitas vienādojums);

$(t2-t1)$ – periods, kam nosakāms papildus pieaugums ($t1$ - meža elementa vecums perioda sākumā, $t2$ - meža elementa vecums perioda beigās), gadi;

Zk - fiktīvais mainīgais: 1, ja ir papildus pieaugums, citādi 0;

a ; b – empīriskie koeficienti.

Izmantojamais meža elementa vidējā augstuma augšanas gaitas prognožu modelis ar papildus pieaugumu MS Excel formātā (4.2):

$$h2=[1.3+t2^{b1}/(b2+b3*100*((t1^{b1}/(h1-1.3))-b2)/(b3*100+t1^{b1}))]+((t1^{b1}/(h1-1.3))-b2)/(b3*100+t1^{b1}))*t2^{b1}]+k*(a*(t2-t1)*exp(-b*(t2-t1))) \quad (4.2)$$

kur:

$h1$ – meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m;

$h2$ – meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m;

$t1$ – meža elementa krūšaugstuma vecums aktualizācijas perioda sākumā, gadi;

$t2$ – meža elementa krūšaugstuma vecums aktualizācijas perioda beigās, gadi;

$b1$; $b2$; $b3$ – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no meža elementa (6. tabula);

k - fiktīvais mainīgais: 1, ja ir papildus pieaugums, citādi 0;

a ; b – empīriskie koeficienti.

Meža elementa vidējā caurmēra augšanas gaitas prognožu modelis ar papildus pieaugumu MS Excel formātā (5.3):

$$d2 = [t2^{b1} / (b2 * RB + b3 * 100 * ((t1^{b1} / d1 - b2 * RB) / (b3 * 100 + t1^{b1})) + ((t1^{b1} / d1 - b2 * RB) / (b3 * 100 + t1^{b1})) * t2^{b1})] + k * (a * (t2 - t1) * \exp(-b * (t2 - t1))) \quad (4.3)$$

kur:

d1 - meža elementa vidējais caurmērs aktualizācijas perioda sākumā, cm;

d2 – meža elementa vidējais caurmērs aktualizācijas perioda beigās, cm;

t1 - meža elementa krūšaugstuma vecums aktualizācijas perioda sākumā, gadi;

t2 – meža elementa krūšaugstuma vecums aktualizācijas perioda beigās, gadi;

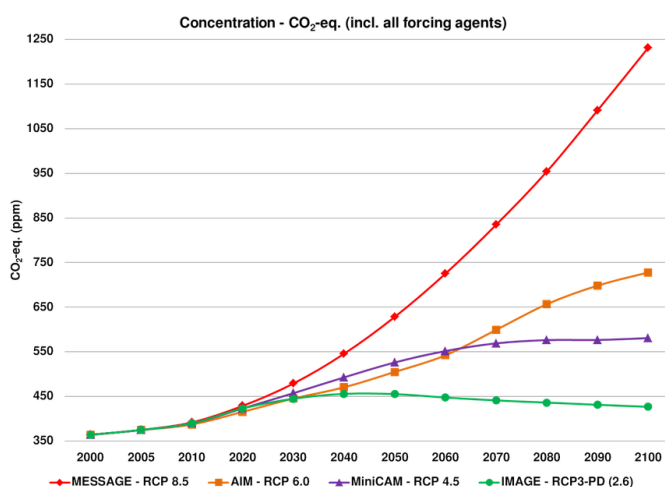
RB – mežaudzes I stāva relatīvā biezība (12. vienādojums);

b1; b2; b3 – empīriskie koeficienti, kas atkarīgi no meža elementa (8. tabula);

k - fiktīvais mainīgais: 1, ja ir papildus pieaugums, citādi 0;

a; b – empīriskie koeficienti.

Koeficienti a un b norāda ietekmes lielumu un ilgumu, to vērtības atkarīgas no audzes vecuma ietekmes brīdī un ietekmes intensitātes. Saskaņā ar iepriekš izstrādāto metodiku koeficientu vērtības iekļaušanai modelī tiks iegūtas vairākos veidos, t.sk. kā procesos balstītu augšanas gaitas modeļu rezultāti. Lai nodrošinātu metodikā paredzēto uzdevumu izpildi, nozīmīgi definēt klimata izmaiņu scenāriju. Pārskatot iepriekšējos pētījumos paveikto un jaunāko klimata pētījumu un IPCC ziņojumus secināms, ka gada vidējā temperatūra Latvijas teritorijā varētu pieaugt par 1,0-1,6°C līdz šī gadsimta vidum un par 2,4-3,6°C līdz gadsimta beigām, balstoties uz RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways) klimata scenāriju, kas paredz straujāko siltumnīcefekta gāzu koncentrāciju pieaugumu un, pēc IPCC ekspertu domām, visatbilstošāk atspoguļo reālo tendenci (4.1. att.).



4.1. attēls. Siltumnīcefekta gāzu (CO₂ ekvivalenta) koncentrācijas prognozes atbilstoši četriem RCP scenārijiem (IPCC)

Lai novērtētu, kādu ietekmi šīs izmaiņas varētu atstāt uz pieauguša vecuma egļu tīraudzēm Latvijas teritorijā, veiktas simulācijas ar Potsdamas Klimata izmaiņu ietekmes izpētes institūtā izstrādāto modelēšanas rīku “4C”. Modelēšanai izmantots empīriskais materiāls no meža statistiskās inventarizācijas laikā apsekotajiem parauglaukumiem, atlasot tos, kas ierīkoti 40-50 gadus vecās egļu audzēs (egles koeficients audzes sastāva formulā ≥ 8) dažādos augšņu/meža tipos pēc iespējas plašākā Latvijas teritorijā. Izmantojot RCP 8.5 klimata scenārija prognožu datus, simulēta šajos parauglaukumos esošu koku augšanas gaita līdz 100 gadu vecuma sasniegšanai. Iegūtie rezultāti salīdzināti ar J. Doņa izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem, kas atspoguļo koku augšanas gaitu pašreizējos klimatiskajos apstākļos.

Pārskata periodā pēc aprakstītās metodikas iegūtie koeficienti klimata ietekmes iekļaušanai Silavas (J. Doņa) augšanas modeļos koku caurmēram, augstumam un krājai pa koku sugām apkopoti 4.1. tabulā. Ņemot vērā ievērojamas standartkļūdu vērtības un augsto rezultātu izkliedi, līdz ar to nepieciešamību pēc liela parauglaukumu skaita, vidējās vērtības precīzai definēšanai, parametri nav aprēķināti atsevišķi pa meža tiptiem vai to grupām.

4.1. tabula

Koeficientu vērtības klimata ietekmes ietveršanai modeļos

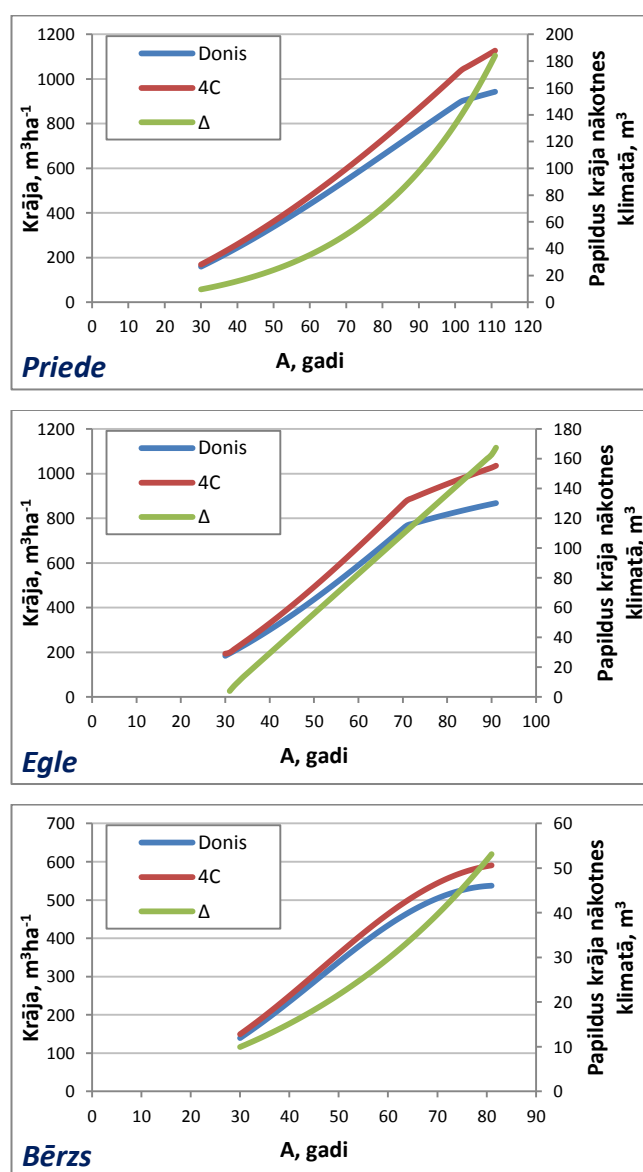
| $\Delta D=f(A1.3)$ | | | | | |
|--------------------|-----------|---------|----------------|-------------------------|----------------|
| Suga | Parametrs | Vērtība | Standart-kļūda | 95% ticamības intervāla | |
| | | | | apakšējā robeža | augšējā robeža |
| Priede | b1 | .005 | .000 | .004 | .005 |
| | b2 | -.023 | .001 | -.025 | -.021 |
| Egle | b1 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| | b2 | -.088 | .013 | -.113 | -.063 |
| Bērzs | b1 | .008 | .002 | .005 | .011 |
| | b2 | -.023 | .003 | -.028 | -.017 |

| $\Delta H=f(A1.3)$ | | | | | |
|--------------------|-----------|---------|----------------|-------------------------|----------------|
| Suga | Parametrs | Vērtība | Standart-kļūda | 95% ticamības intervāla | |
| | | | | apakšējā robeža | augšējā robeža |
| Priede | b1 | .158 | .010 | .138 | .178 |
| | b2 | .013 | .001 | .012 | .015 |
| Egle | b1 | .034 | .018 | .000 | .068 |
| | b2 | .009 | .008 | -.006 | .024 |
| Bērzs | b1 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| | b2 | -.093 | .010 | -.112 | -.074 |

$$\Delta M = f(A1.3)$$

| Suga | Parametrs | Vērtība | Standart- klūda | 95% ticamības intervāla | |
|--------|-----------|---------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| | | | | apakšējā robeža | apakšējā robeža |
| Priede | b1 | .175 | .016 | .143 | .206 |
| | b2 | -.020 | .001 | -.022 | -.018 |
| Egle | b1 | 1.787 | .271 | 1.255 | 2.319 |
| | b2 | .000 | .002 | -.005 | .004 |
| Bērzs | b1 | .222 | .057 | .111 | .333 |
| | b2 | -.013 | .004 | -.021 | -.006 |

Audžu krājas izmaiņas klimata izmaiņu ietekmē atspoguļotas 4.2. attēlā.



4.2. attēls. Audžu augšanas gaita un tās atšķirības šodienas (LVMI Silava augšanas gaitas modeļi) un prognozētajā (4C) klimatā

5. Metodikas izstrāde mežaudžu noturības vērtējumam

5.1. Metodikas izstrāde

Pētījuma objekts ir mistrojuma – audzes vai meža masīva līmenī – ietekme uz mežaudžu noturību pret abiotisko un biotisko faktoru ietekmi (5.1. tab.). Pētījumu galvenokārt paredzēts veikt, izmantojot pieejamas datu bāzes, un, atkarībā no šajā etapā iegūtajiem rezultātiem, sadarbībā ar pasūtītāju izvērtēt nepieciešamību ierīkot parauglaukumus un ievākt papildus empīriskos datus. Esošās informācijas analīze raksturo mistrojuma ietekmi uz audžu noturību, taču nav sagaidāms, ka tā būs piemērota konkrētu, optimālu mistrojuma variantu definēšanai.

5.1. tabula

Mistrojuma ietekmes uz mežaudžu noturību vērtēšana: kopsavilkums

| Mistrojums audzes vai meža masīva līmenī | Ietekmētā pazīme(-s) | Datu kopa |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Audzes | Mistrojuma ietekme uz abiotisko (vējš, apledojums) un biotisko (brīžu dzimtas dzīvnieki) faktoru bojāto koku īpatsvaru ¹ | MSI |
| Audzes | Mistrojuma ietekme uz audzes krāju ¹ , koku augstuma/caurmēra attiecību | MSI, LVM |
| Audzes | Mistrojuma ietekme uz vētras bojāto koku īpatsvaru, bojājumu varbūtību | Silava |
| Masīva | Mistrojuma ietekme uz egļu astonezību mizgrauža, bruņuts bojāto audžu īpatsvaru | Monitorings*, VMD, LVM |

MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati

LVM – Latvijas valsts meži dastojumu datu kopa

VMD – Valsts meža dienesta dati par sanitārajām kailcirtēm

Silava – Meža attīstības fonda finansēta projekta ietvaros (vadītājs J. Donis) ievākti dati 2010. gada vētras skartās audzēs

*Monitorings – kaitēkļu un slimību monitoringa dati

¹ – aprobējot metodiku, veikt analīze pārskata perioda ietvaros; tās rezultāti atspoguļoti 5.2. apakšnodaļā un tā tiks papildināta nākamajā projekta posmā

Mistrojums audzes līmenī

Analizējot jebkuru datu kopu primāri tiks veikts salīdzinājums starp tīraudzēm un mistraudzēm – ar to saprotot audzes ar jebkādu citu koku sugu piemistojumu, kas sastāva formulā ir vairāk nekā 2 vienības. Tomēr tajās valdošās sugas un vecuma grupās, kur

parauglaukumu skaits būs pietiekams, tiks analizēta arī piemistrojuma sugas vai sugu grupas (skuju vai lapu koki) un/vai piemistrojuma sugu skaita ietekme, 3 koku sugu līdzīgas proporcijas audzē ietekme, kā arī citas koku sugas otrā stāvā ietekme.

Nozīmīgākais informācijas avots mistrojuma ietekmes uz bojāto koku īpatsvaru audzes ietvaros vērtēšanai ir Meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumi. Veicot sākotnējo datu vērtēšanu, konstatēts, ka pietiekams datu apjoms analīzei ir pazīmēm “lauzta galotne” (vēja ietekme), “vēja/sniega bojājumi” (apzīmējot saliektu koku) un “pārnadžu bojājumi”. Tāpat atsevišķi iespējams vērtēt kumulatīvu visu bojājumu sastopamību, ko raksturo ar bojāto (vai nebojāto) koku īpatsvaru. Pārnadžu bojājumu analīze projekta ietvaros realizējama tikai gadījumā, ja pasūtītājs to uzskata par lietderīgu un tādā formātā, lai nedublētos ar citos projektos notiekošajām aktivitātēm. Jāatzīmē, ka Somijā līdzīga analīze meža statistiskās inventarizācijas datiem šajā gadā ir veikta (Nevalainen et al., 2016) un konstatēta būtiska mistrojuma ietekme uz pārnadžu bojājumiem. Meža kaitēkļu un slimību monitoringa ietvaros ievāktie dati par trupes klātbūtni koku celmos jau tiek izmantota analīzei par tās sastopamību atkarībā no iepriekšējās kokaudzes sugu sastāva un produktivitātes saskaņā ar monitoringa metodiku, tādēļ papildus datu analīze nav lietderīga.

Izmantojot Meža statistiskās inventarizācijas datu bāzi paredzēts analizēt piemistrojuma ietekmi uz audžu krāju viena un tā paša vecuma (vecumklases vai grupas – atkarībā no paraugkopas lieluma) audzēs, kā arī koku augstuma/caurmēra attiecību uzskatot tos par indikatoriem augstākai audzes noturībai ilgtermiņā. Ņemot vērā MSI datu struktūru un relatīvi zemo parauglaukumu skaitu viena vecuma un meža tipa ietvaros, papildus datu analīzei ar pasūtītāja piekrišanu var tikt izmantoti audžu dastojumu dati.

Mistrojuma audzes līmenī iespējamo ietekmi uz bojāto koku īpatsvaru un bojājumu varbūtību paredzēts vērtēt, izmantojot J. Doņa vadībā pēc 2010. gada vētras ierīkotajos parauglaukumos ievāktos datus par audzes taksācijas rādītājiem (koku sugu sastāvu, dimensijām) un nosakot piemistrojuma (klātbūtnes, apjoma, dimensiju) ietekmi uz valdošās koku sugas vēja noturību. Pētījuma noslēdzošajos etapos, iepriekš vienojoties ar pasūtītāju, var būt lietderīgi izvērtēt iespējas izmantot mehānistiskos vēja bojājumu modeļus mistrojuma ietekmes analīzei, ja notikusi šo modeļu kvalitatīva attīstība.

Meža masīva līmenī

Mistrojuma meža masīva līmenī ietekmes uz audžu bojājumiem analīzei potenciāli piemērota ir Valsts meža dienesta rīcībā esošā telpiskā informācija par izsniegtajiem sanitāro

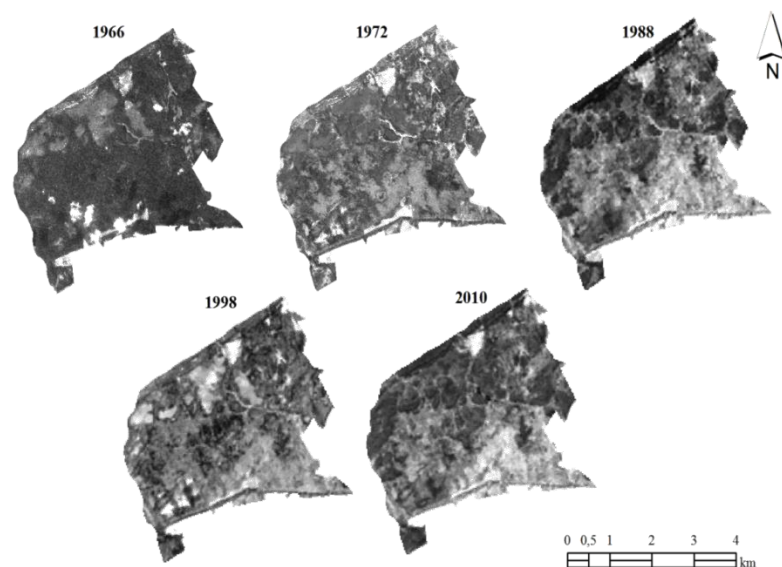
kailciršu atzinumiem divu dendrofāgo kukaiņu sugu – egļu bruņuts un egļu astonezobu mizgrauža – ietekmes dēļ, jo:

- 1) ietekmēta tiek tikai viena koku suga;
- 2) par šo sanitārā atzinuma cēloni pieejama precīza informācija;
- 3) bojāto audžu skaits ir samērā liels, nodrošinot iespējas veikt datu statistisko analīzi;
- 4) bojājumi ir koncentrēti laikā (bruņuts) vai iespējams izvēlēties noteiktu laika periodu ar augstu bojājumu apjomu (egļu astonezobu mizgrauzis)
- 5) bruņuts bojājumi gandrīz nav saistīti ar cita veida bojājumiem (maz mijiedarbību, kumulatīvo efektu, kas var novest pie nepamatotiem slēdzieniem).

Plānotā datu analīze: atsevišķiem meža masīviem paredzēts veikt telpisko analīzi, izmantojot programmu Fragstats 4.2 (McGarigal et al., 1995) un aprēķinot vidējo un vidējo svērto homogēno laukumu (platību), plankumu (sanitāro kailciršu) skaitu, plankumu blīvumu, plankumu skaitu vienā platības vienībā, kopējo malu garumu, plankumu malu blīvumu, vidējo svērto tuvākā kaimiņa (platības ar tādiem pašiem parametriem, š.g. sanitārās kailcirtes) Eiklīda attālumu. Salīdzinot savā starpā netālu esošu meža masīvu, kam ir būtiski atšķirīgas šo parametru vērtības, rādītājus (egļu tīraudžu un mistraudžu (ar skuju/lapu koku un noteiktām koku sugām)), iespējams novērtēt, vai mistrojuma meža masīva līmenī (kas raksturots ar attiecīgajiem rādītājiem) ir vai nav bijusi ietekme uz kādu no bojājumu raksturojošajiem parametriem. Tāpat meža masīvu līmenī iespējams novērtēt konektivitāti starp egļu tīraudzēm, kurās varētu būt bojājumi (atbilstošs vecums, meža tips) un to raksturojošo rādītāju saikni ar faktiski konstatētajiem bojājumiem, raksturojot ietekmi uz bojājumu varbūtību.

Kā papildus informācijas avots šādai analīzei egļu astonezobu mizgrauzim tiks izmantoti Meža kaitēkļu un slimību monitoringa ietvaros Latvijas teritorijā vienmērīgi izvietotās 400 egļu audzēs (vecums > 50 gadi, egles sastāva koeficients ≥ 7) šīs kukaiņu sugas populācijas vērtēšanai ierīkotajos parauglaukumos ievāktie dati.

Mistrojuma meža masīva līmenī ietekmes uz ārpustropiskās zonas ciklonu vētru ietekmi būtu iespējams vērtēt, izmantojot datus par sanitārajām kailcirtēm pēc šādām vētrām vai veicot satelītattēlu analīzi, lai definētu vētru nopostītās audzes vai to daļas (5.1.att.). Vētras postījumus konkrētā audzē ietekmē tik daudzi faktori (audzes taksācijas rādītāji, meža tips, augsnes mitrums vai sasalums, blakus esošo audžu augstums, vēja ātrums brāzmās un brāzmu daudzums, laika periods kopš iepriekšējās vētras, reģiona vēja klimats utt.), ka, lai konstatētu vai noliegtu mistrojuma meža masīva līmenī ietekmi, būtu nepieciešams ļoti liels datu apjoms un tāds pētījuma ietvaros nav pieejams.



5.1.attēls. Meža masīvs pirms un pēc 1969. gada vētras Corona un Landsat 5 attēlos (E.Bāders).

5.2. Metodikas aprobācija

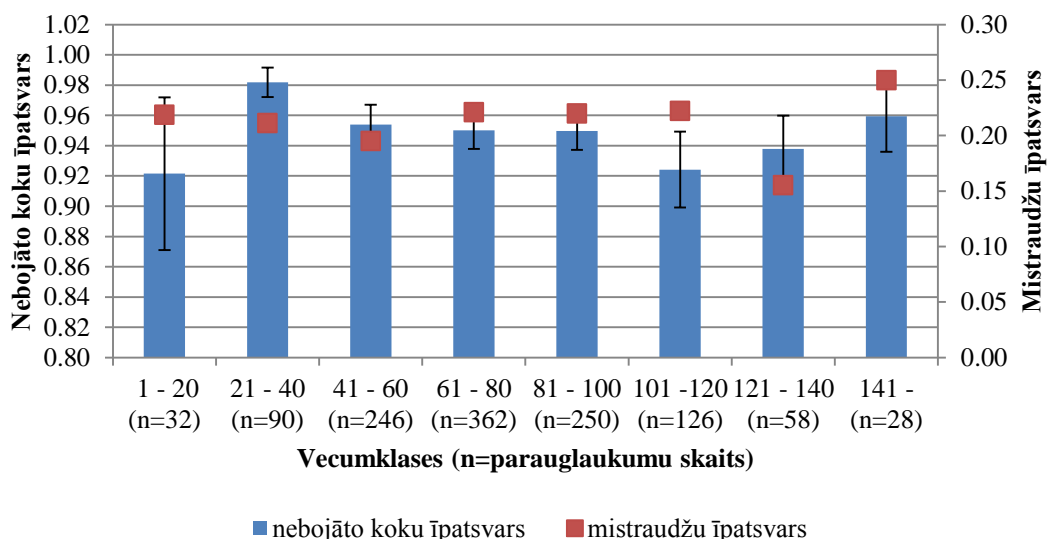
Metodikas aprobācijas nolūkā pārskata periodā veikta Meža statistiskās inventarizācijas datu par mistrojuma ietekmi uz koku bojājumiem un stumbra kvalitāti analīze.

Salīdzinot vēja, sniega, briežveidīgo dzīvnieku, slimību un kaitēkļu izraisītu bojājumu sastopamību mistraudzēs un tīraudzēs (valdošā suga 8-10 sastāva vienības), kopumā analizēti 1125 mistraudžu un 2031 tīraudžu parauglaukumu dati. Aprakstā ietverti tikai tie gadījumi (audžu vecuma un bojājuma veida kombinācijas), kurās tika konstatētas statistiski būtiskas atšķirības starp tīraudzēm un mistraudzēm. Novērtējums veikts sadalījumā pa valdošajām sugām un atkarībā no audžu vecuma. Analizētas bojājumu īpatsvara atšķirības starp mistraudzēm un tīraudzēm gan pēc bojāto 1.stāva koku šķērslaukuma, gan bojāto koku skaita, izmantojot t-testu ($\alpha=0,05$) un attēlos parādot pazīmju vidējās vērtības ar 95% ticamības intervālu.

Nebojāto koku īpatsvars priežu, egļu, bērzu un melnalkšņu audzēs nedaudz lielāks bija tīraudzēs salīdzinājumā ar mistraudzēm: priedei attiecīgi $95,0\pm0,7\%$ un $94,8\pm1,6\%$, eglei $89,3\pm1,5\%$ un $87,2\pm1,9\%$, bērzam $97,4\pm0,5\%$ un $96,7\pm0,7\%$, melnalksnim $97,1\pm2,0\%$ un $96,5\pm1,6\%$; tomēr šīs atšķirības nebija statistiski būtiskas. Apsei ($83,3\pm5,2\%$ un $84,0\pm5,5\%$) un baltalksnim ($93,8\pm7,7\%$ un $94,5\pm2,6\%$) situācija bija pretēja, tomēr arī šīm sugām atšķirības nebija būtiskas. Kaut arī bojāto koku īpatsvars atsevišķās vecumklasēs atsevišķām sugām bija neliels (pat mazāks par 1%), tomēr starp mistraudzēm un tīraudzēm vairākos gadījumos šī īpatsvara kvantitatīvi nelielās atšķirības bija statistiski būtiskas.

Priede

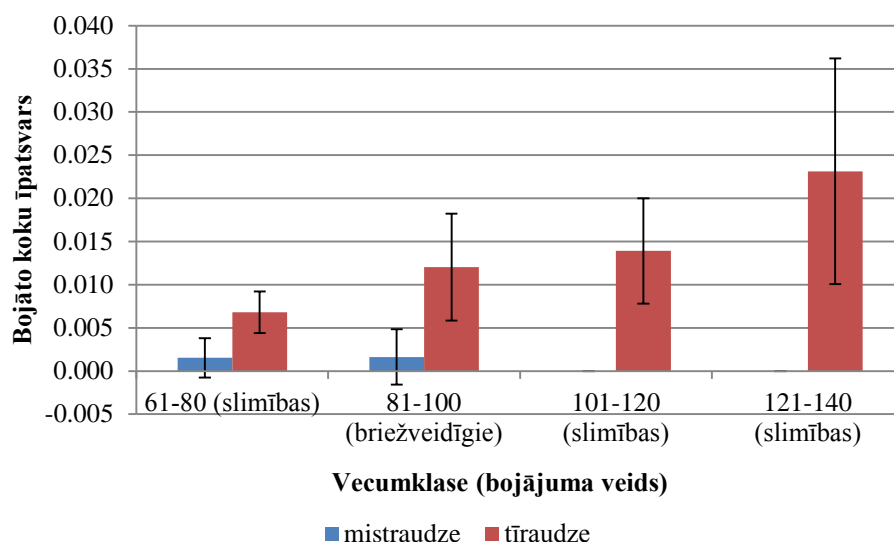
Nebojāto koku īpatsvars priežu audzēs sadalījumā pa vecumklasēm neatkarīgi no audzes sastāva (mistraudze vai tīraudze), kā arī parauglaukumu skaits un mistraudžu parauglaukumu īpatsvars vecumklasēs parādīts 5.3. attēlā.



5.3. attēls. Nebojāto koku īpatsvars ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) priežu audzēs.

Nebojāto koku īpatsvars (analizējot 1.stāva šķērslaukumu) starp mistraudzēm un tīraudzēm priedei būtiski atšķīrās vecumklasē “101-120” (attiecīgi $98 \pm 1,7\%$ un $91 \pm 3,1\%$). Analizējot koku skaitu, iegūti praktiski tādi paši rezultāti (attiecīgi $98 \pm 1,6\%$ un $91 \pm 3,1\%$, atšķirības statistiski būtiskas).

Kopumā bojāto koku īpatsvars paraugkopā ir niecīgs, tomēr priežu audzēs vecumklasē “61-80” mistraudzēs slimību bojāto koku šķērslaukuma īpatsvars bija būtiski mazāks nekā tīraudzēs (attiecīgi $0,2 \pm 0,2\%$ un $0,7 \pm 0,2\%$) (5.4.att.). Vecumklasē “81-100” mistraudzēs briežveidīgo dzīvnieku bojāto koku šķērslaukuma īpatsvars arī bija būtiski mazāks nekā tīraudzēs (attiecīgi $0,2 \pm 0,3\%$ un $1,2 \pm 0,6\%$). Vecumklasēs “101-120” un “121-140” mistraudzēs slimību bojāti koki netika konstatēti, bet tīraudzēs šādu koku īpatsvars bija attiecīgi $1,4 \pm 0,6\%$ un $2,3 \pm 1,3\%$. Analizējot koku skaitu, bojāto koku īpatsvaram būtiskas atšķirības starp mistraudzēm un tīraudzēm konstatētas tajās pašās vecumklasēs, kā analizējot 1.stāva šķērslaukumu.



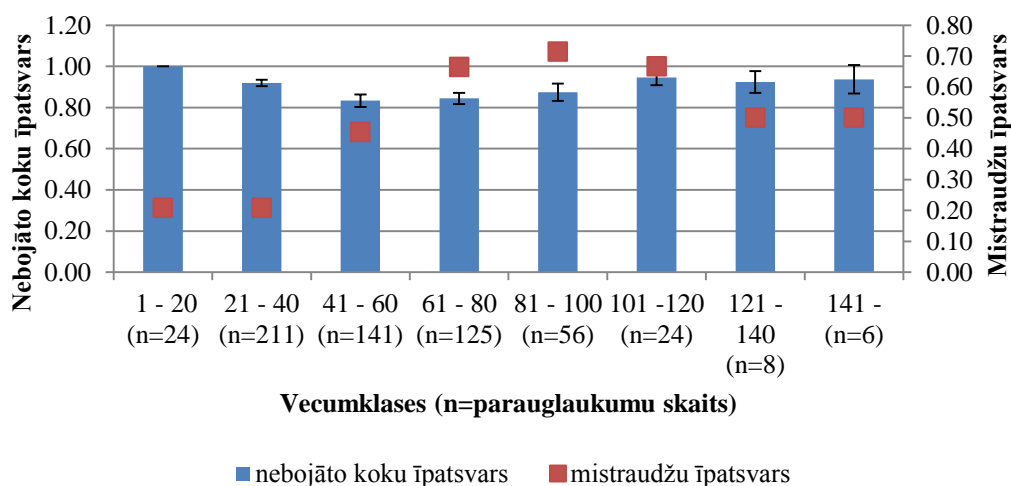
5.4. attēls. Bojāto koku šķērslaukuma īpatsvars ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) priežu audzēs vecumklasēs, kurās šis rādītājs mistraudzēs un tīraudzēs būtiski atšķīrās ($p < 0,05$).

Analizējot kokus priežu audzēs neatkarīgi no vecuma, mistraudzēs konstatēts būtiski mazāks slimību bojāto koku šķērslaukuma īpatsvars nekā tīraudzēs (attiecīgi $0,2 \pm 0,2\%$ un $0,8 \pm 0,2\%$; pēc koku skaita - līdzīgi - $0,1 \pm 0,1\%$ un $0,8 \pm 0,2\%$).

Parauglaukumos, kuros nebija 2.stāva (šeit un turpmāk ar to saprotot gadījumus, kad 2.stāva koku krāja ir vismaz $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), priežu audzēs konstatēts būtiski lielāks briežveidīgo dzīvnieku bojāto 1.stāva koku šķērslaukuma īpatsvars (līdzīgi arī pēc koku skaita) nekā parauglaukumos ar 2.stāvu (analizējot visu vecumu kokus kopā - attiecīgi $1,6 \pm 0,4\%$ un $0,4 \pm 0,2\%$). Būtiskas šīs atšķirības bija vecumklasēs “1-20”, “61-80” un “81-100”.

Egle

Egļu audzēs nebojāto koku īpatsvars sadalījumā pa vecumklasēm neatkarīgi no audzes sastāva, kā arī mistraudžu parauglaukumu īpatsvars parādīts 5.5.attēlā.



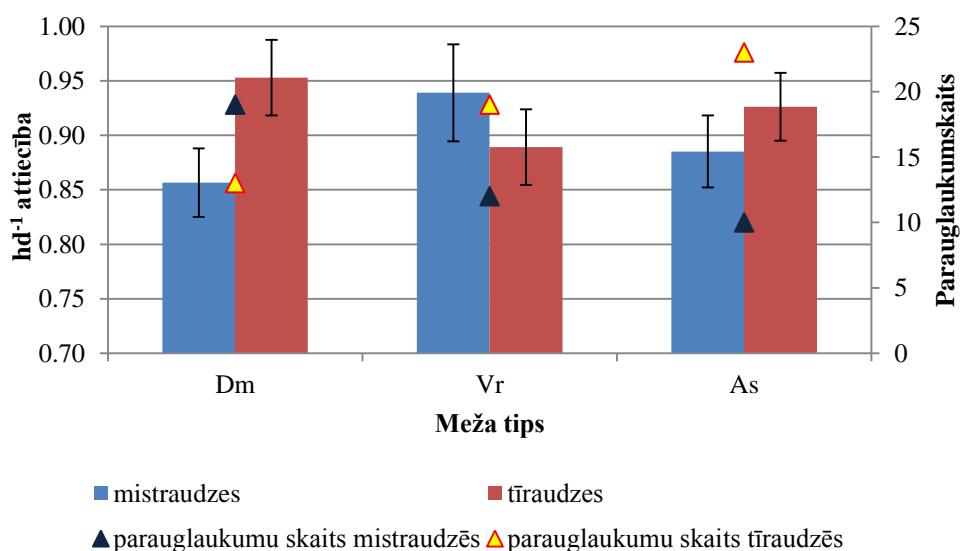
5.5. attēls. Nebojāto koku īpatsvars ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) egļu audzēs.

Nebojāto koku īpatsvars starp mistraudzēm un tīraudzēm egļu audzēs būtiski neatšķīrās.

Egļu audzēs, atšķirībā no priežu audzēm, netika konstatētas būtiskas bojāto koku šķērslaukuma īpatsvara atšķirības nevienam no bojājumu veidiem starp mistraudzēm un tīraudzēm ne atsevišķās vecumklasēs, nedz arī, analizējot kokus kopā - neatkarīgi no vecuma. Tomēr, analizējot bojāto koku īpatsvara atšķirības pēc 1.stāva koku skaita, mistraudzēs konstatēts būtiski lielāks vēja un/vai sniega bojāto koku īpatsvars nekā tīraudzēs vecumklasē “41-60”: attiecīgi $2,3 \pm 1,5\%$ un $0,4 \pm 0,4\%$.

Egļu audzēs parauglaukumos vecumklasē “21-40”, kuros nebija 2.stāva, konstatēts būtiski mazāks briežveidīgo dzīvnieku bojāto 1.stāva koku šķērslaukuma īpatsvars nekā parauglaukumos ar 2.stāvu: attiecīgi $4,6 \pm 1,5\%$ un $8,8 \pm 2,6\%$. Analizējot koku skaitu, rezultāti bija līdzīgi, tomēr atšķirības nebija būtiskas.

Egļu audzēs vecumklasē “41-60” trijos meža tipos (damaksnī, vērī, šaurlapju ārenī) novērtētas 1.stāva egļu hd^{-1} attiecības atšķirības starp mistraudzēm un tīraudzēm (5.6. att.). Pārējos meža tipos mistraudzes un tīraudzes pārstāvētas ar statistiskajai analīzei nepietiekamu parauglaukumu skaitu (≤ 5). Damaksnī egļu hd^{-1} attiecība mistraudzēs bija būtiski mazāka nekā tīraudzēs (attiecīgi $0,86 \pm 0,03$ un $0,95 \pm 0,03$). Šaurlapju ārenī un vērī egļu hd^{-1} attiecība mistraudzēs un tīraudzēs būtiski neatšķīrās.



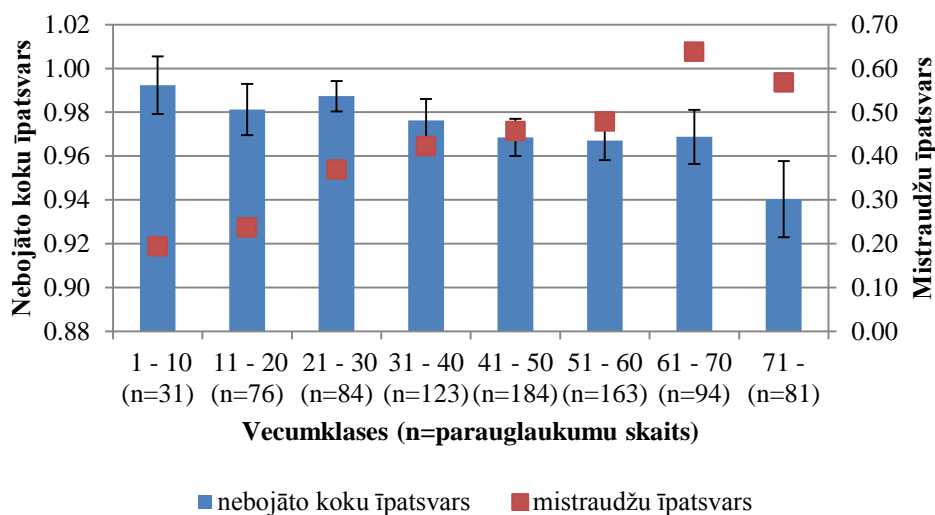
5.6. attēls. Pirmā stāva egļu hd^{-1} attiecība ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) egļu audzēs vecumklasē “41-60”.

HD^{-1} attiecības atšķirības var liecināt gan par iepriekšēju dabisko traucējumu ietekmi, mainot egļu augšanas telpu, gan par vēsturiskā audžu apsaimniekošanas režīma ietekmi – šīs

vecumklases egļu audzes stādītas relatīvi augstā biežumā un bieži vien nav savlaicīgi retinātas, veidojot tīraudzes ar slaidākiem kokiem.

Bērzs

Nebojāto koku īpatsvars bērzu audzēs sadalījumā pa vecumklasēm neatkarīgi no audzes sastāva, kā arī mistraudžu parauglaukumu īpatsvars parādīts 5.7.attēlā.



5.7. attēls. Nebojāto koku īpatsvars (\pm 95% ticamības intervāls) bērzu audzēs.

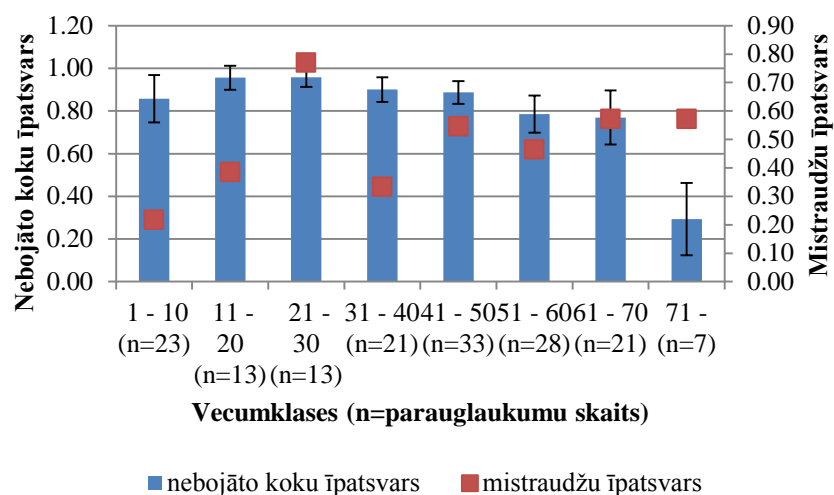
Nebojāto koku īpatsvars starp mistraudzēm un tīraudzēm bērzu audzēs, tāpat kā egļu audzēs būtiski neatšķiras.

Analizējot bojājumu veidu sastopamību bērzu audzēs, netika konstatētas būtiskas bojāto koku īpatsvara atšķirības (ne šķērslaukumam, ne koku skaitam) starp mistraudzēm un tīraudzēm ne atsevišķās vecumklasēs, nedz arī, analizējot kokus kopā – neatkarīgi no vecuma.

Bērzam netika konstatētas arī 1.stāva bojāto koku īpatsvara atšķirības starp parauglaukumiem ar 2.stāvu un bez tā.

Apse

Nebojāto koku īpatsvars apšu audzēs sadalījumā pa vecumklasēm neatkarīgi no audzes sastāva, kā arī mistraudžu parauglaukumu īpatsvars parādīts 5.8.attēlā.



5.8. attēls. Nebojāto koku īpatsvars ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) apšu audzēs.

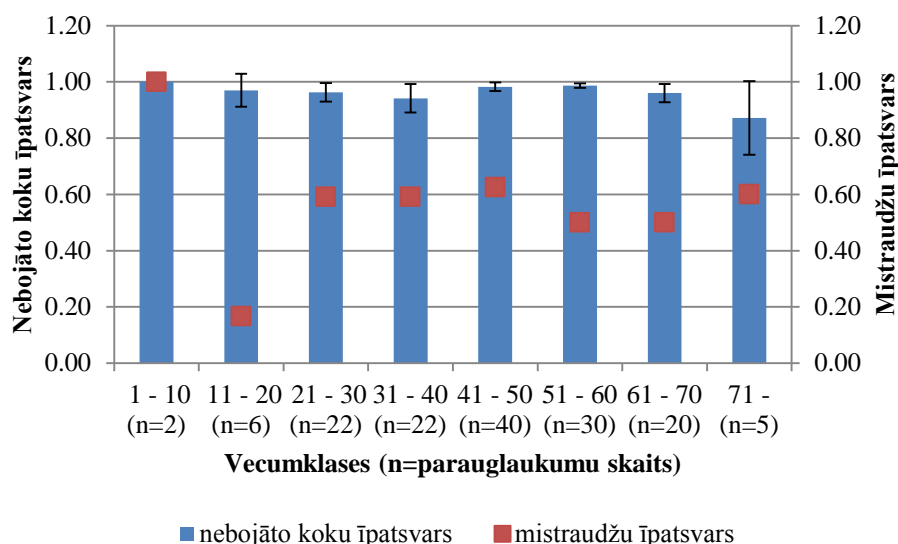
Nebojāto koku īpatsvars starp mistraudzēm un tīraudzēm apšu, tāpat kā bērzu un egļu audzēs būtiski neatšķīrās.

Apšu līdzīgi kā bērzu audzēs netika konstatētas būtiskas bojāto koku īpatsvara atšķirības (ne šķērslaukumam, ne koku skaitam) starp mistraudzēm un tīraudzēm nevienam no bojājumu veidiem, ne atsevišķās vecumklasēs, nedz arī, analizējot kokus kopā - neatkarīgi no vecuma.

Apšu audzēs bojāto koku īpatsvars (gan pēc šķērslaukuma, gan koku skaita) vecumklasē “51-60” parauglaukumos ar 2.stāvu un bez tā būtiski atšķīrās: parauglaukumos bez 2.stāva (3 parauglaukumi šajā vecumklasē) netika konstatēti bojāti koki, bet parauglaukumos ar 2.stāvu (25 parauglaukumi) bojāto koku īpatsvars pēc šķērslaukuma bija $76,0 \pm 9,3\%$ (pēc koku skaita – $76,4 \pm 9,0\%$).

Melnalksnis

Nebojāto koku īpatsvars melnalkšņu audzēs sadalījumā pa vecumklasēm neatkarīgi no audzes sastāva, kā arī mistraudžu parauglaukumu īpatsvars parādīts 5.9. attēlā.



5.9. attēls. Nebojāto koku īpatsvars ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) melnalkšņu audzēs.

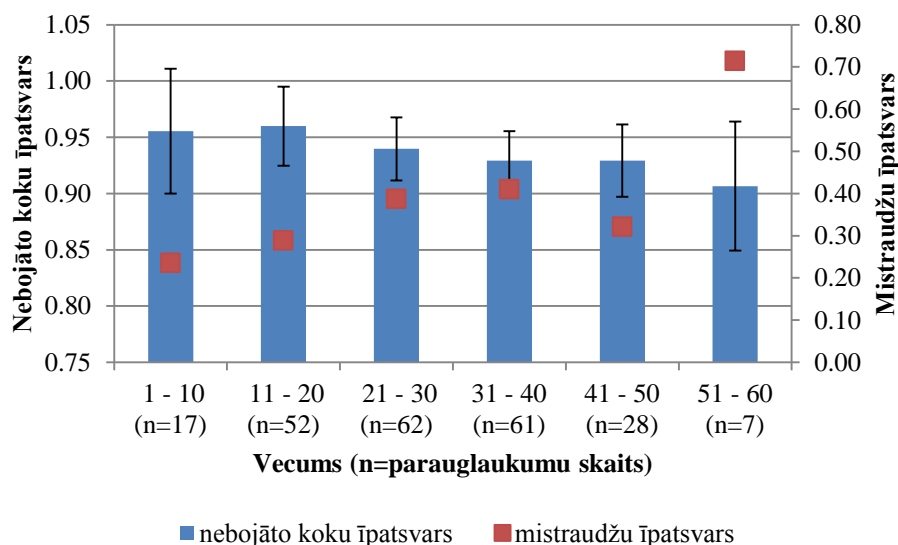
Melnalkšņu audzēs iegūtie rezultāti bija līdzīgi kā bērzu audzēs.

Netika konstatētas būtiskas bojāto (un arī nebojāto) koku īpatsvara atšķirības (ne šķērslaukumam, ne koku skaitam) starp mistraudzēm un tīraudzēm ne atsevišķās vecumklasēs, nedz arī, analizējot kokus kopā - neatkarīgi no vecuma.

Arī būtiska 2.stāva ietekme uz bojājumu sastopamību netika konstatēta.

Baltalksnis

Nebojāto koku īpatsvars dažāda vecuma baltalkšņu audzēs neatkarīgi no audzes sastāva, kā arī mistraudžu parauglaukumu īpatsvars parādīts 5.10. attēlā.



5.10. attēls. Nebojāto koku īpatsvars ($\pm 95\%$ ticamības intervāls) baltalkšņu audzēs.

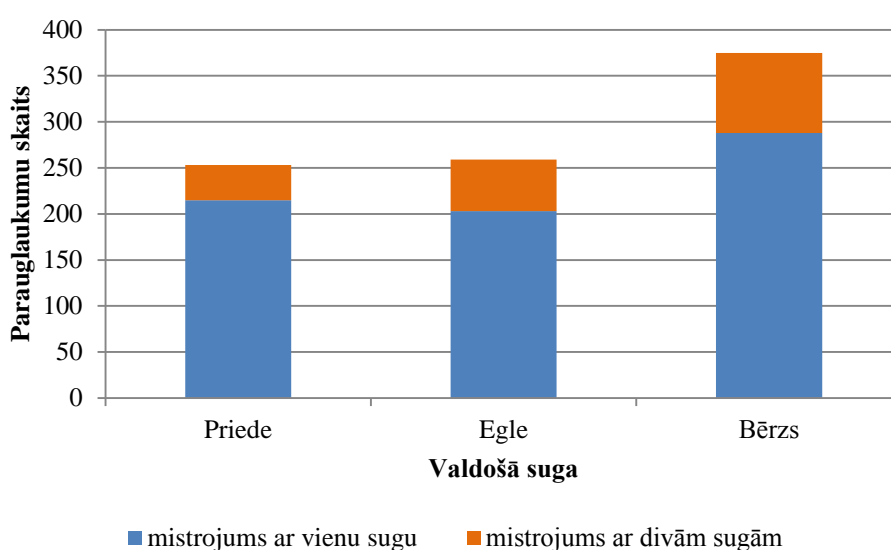
Baltalkšņu audzēs ne bojāto koku īpatsvars pēc koku skaita mistraudzēs vecumā “41-50” bija būtiski lielāks nekā tīraudzēs - attiecīgi $98,2 \pm 2,4\%$ (9 parauglaukumi) un $90,8 \pm 3,8\%$ (19 parauglaukumi).

Baltalksnim, tāpat kā pārējām analizētajām lapu koku sugām, netika konstatētas būtiskas bojāto koku īpatsvara atšķirības (ne šķērslaukumam, ne koku skaitam) starp mistraudzēm un tīraudzēm nevienam no bojājumu veidiem, ne atsevišķās vecumklasēs, nedz arī, analizējot kokus kopā - neatkarīgi no vecuma.

Baltalksnim, tāpat kā bērzam un melnalksnim, netika konstatētas 1.stāva bojāto koku īpatsvara atšķirības starp parauglaukumiem ar 2.stāvu un bez tā.

Vairāku sugu mistrojums

Novērtējot bojāto koku īpatsvaru mistraudzēs, katrai valdošajai sugai tika salīdzinātas divas mistraudžu grupas: 1) mistraudzes, kurās bez norādītās valdošās sugas ir vēl vienas sugas piemistrojums, un 2) kurās ir vēl divu sugu piemistrojums, katra vismaz 2 sastāva vienības (5.11.att.).



5.11. attēls. Parauglaukumu skaits mistraudzēs atkarībā no valdošās sugas un pārējo (piemistrojumā esošo) sugu skaita.

Audzēs ar priedi kā valdošo sugu ne bojāto koku īpatsvars vecumklasē “41-60” (pēc šķērslaukuma) būtiski augstāks bija priedes mistrojumā ar divām sugām ($99,3 \pm 1,4\%$) nekā mistrojumā ar vienu sugu ($92,5 \pm 4,5\%$); līdzīgs un būtisks tas bija arī vērtējumā pēc koku skaita. Analizējot konkrētus bojājumu veidus, konstatēts, ka šajā vecumklasē priežu audzēs ar divu sugu piemistrojumu konstatēts būtiski mazāks briežveidīgo dzīvnieku bojāto koku īpatsvars (pēc šķērslaukuma; līdzīgi, bet ne būtiski - arī pēc koku skaita) salīdzinājumā ar

vienas sugas piemistrojumu (attiecīgi 0 un $0,8 \pm 0,6\%$). Vecumklasēs “41-60”, “61-80” un “81-100” priežu audzēs mistrojumā ar vienu sugu konstatēts būtiski augstāks kaitēkļu bojāto koku īpatsvars (pēc koku skaita) - attiecīgi $2,7 \pm 2,0\%$; $3,6 \pm 2,4\%$ un $2,1 \pm 2,0\%$ - nekā mistrojumā ar divām sugām, kur kaitēkļu bojāti koki šajās vecumklasēs netika konstatēti. Līdzīgi rezultāti iegūti arī kaitēkļu bojāto koku šķērslaukuma īpatsvara analīzē, tikai atšķirības nebija statistiski būtiskas.

Mistraudzēs ar valdošo sugu egli un vienas sugas piemistrojumu vecumklasē “61-80” konstatēts būtiski lielāks vēja un/vai sniega bojāto koku īpatsvars gan pēc šķērslaukuma ($0,9 \pm 0,8\%$), gan pēc koku skaita, kamēr divu sugu piemistrojumā vēja un/vai sniega bojāti koki netika konstatēti.

Savukārt, mistraudzēs ar bērzu kā valdošo sugu vecumklasē “61-70” būtiski lielāks vēja un/ vai sniega bojātu koku īpatsvars pēc šķērslaukuma ($1,8 \pm 1,6\%$) un arī pēc koku skaita konstatēts mistrojumā ar divām sugām, bet vienas sugas piemistrojuma gadījumā šādi bojājumi bērzu audzēs netika konstatēti. Vecumā virs 70 gadiem bērzu mistraudzēs ar vēl vienu sugu slimību bojāto koku īpatsvars pēc šķērslaukuma ($2,3 \pm 2,1\%$) bija augstāks nekā mistraudzēs ar vēl divām sugām (slimību bojājumu nebija), būtiskas bija atšķirības arī pēc koku skaita.

Krāja

Krājas atšķirības starp mistraudzēm un tīraudzēm atsevišķās vecuma desmitgadēs analizētas tām taksācijas vienībām (kā taksācijas vienību pieņemot kopējo krāju un 1.stāva krāju audzēs ar atšķirīgu valdošo sugu dažādos meža tipos), kurās bija atšķirību būtiskuma novērtēšanai nepieciešamais parauglaukumu skaits (5.2. tab.).

5.2. tabula

Krājas atšķirību novērtēšanai izvēlētie parauglaukumi*

| Taksācijas vienība | Vecuma desmitgade | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|
| | 1-10 | 11-20 | 21-30 | 31-40 | 41-50 | 51-60 | 61-70 | 71-80 | 81-90 | 91-100 | 101-110 | 111-120 |
| Priede Dm M** kopā | | | | | | | | | | | | |
| Priede Dm M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Priede As Mkopā | | | | | | | | | | | | |
| Priede As M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Priede Ks Mkopā | | | | | | | | | | | | |
| Priede Ks M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Egle Dm Mkopā | | | | | | | | | | | | |
| Egle Dm M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Egle Vr Mkopā | | | | | | | *** | | | | | |
| Egle Vr M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Egle As Mkopā | | | | | | | | | | | | |
| Egle As M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Bērzs Dm Mkopā | | | | | | | | | | | | |
| Bērzs Dm M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Bērzs Vr Mkopā | | | | | | | | | | | | |
| Bērzs Vr M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Bērzs As Mkopā | | | | | | | *** | | | | | |
| Bērzs As M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Bērzs Ks Mkopā | | | | | | | | | | | | |
| Bērzs Ks M1.st | | | | | | | | | | | | |
| Baltalksnis Vr Mkopā | | | | | | | | | | | | |
| Baltalksnis Vr M1.st | | | | | | | | | | | | |

* pelēks krāsojums - krājas vērtējumam izvēlētie parauglaukumi,

** M – krāja,

*** būtiskas krājas atšķirības starp mistraudzēm un tīraudzēm ($p < 0,05$).

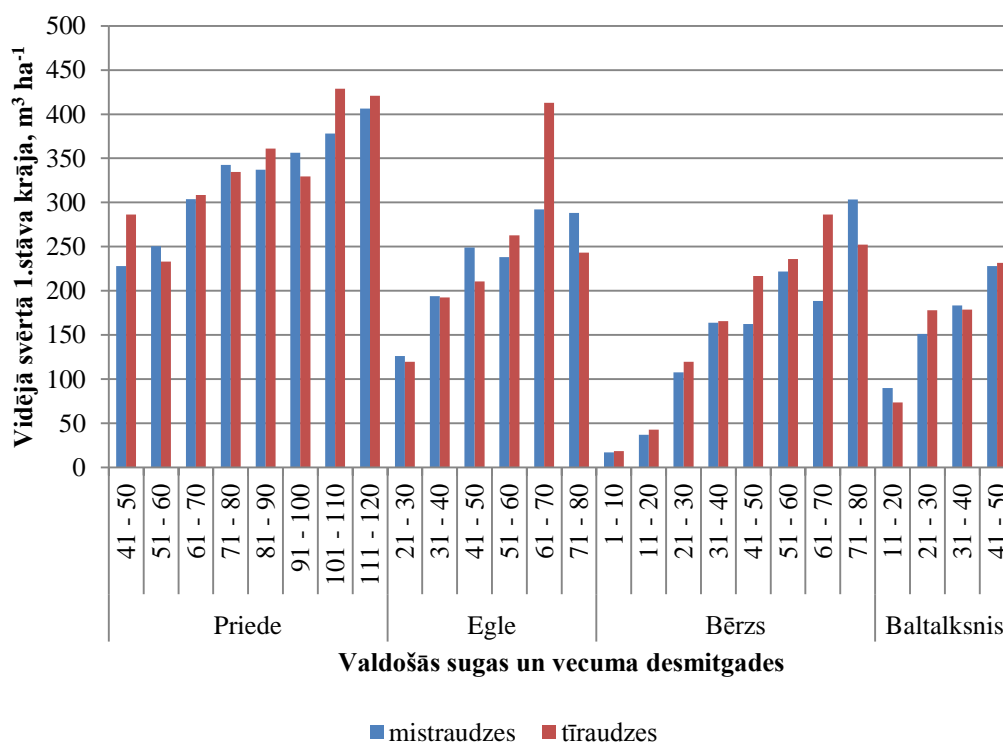
Audzēs ar priedi kā valdošo sugu nevienā no analizētajām vecuma desmitgadēm un meža tipi (analizēti parauglaukumi Dm, As un Ks) netika konstatētas būtiskas krājas (arī 1.stāva krājas) atšķirības starp mistraudzēm un tīraudzēm.

Audzēs ar egli kā valdošo sugu (analizēti parauglaukumi Dm, Vr, As) statistiski būtiski lielāka audzes kopējā krāja konstatēta tīraudzēs ($460 \pm 33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; 5 parauglaukumi) salīdzinājumā ar mistraudzēm ($320 \pm 67 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; 12 parauglaukumi) vērī vecuma desmitgadē “61-70”.

Šajā vecuma desmitgadē arī bērzu audzēs (analizēti parauglaukumi Dm, Vr, As, Ks) šaurlapju ārenī tīraudzēs konstatētā kopējā krāja ($350 \pm 83 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; 12 parauglaukumi) bija statistiski būtiski lielāka nekā mistraudzēs konstatētā ($205 \pm 50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; 6 parauglaukumi).

Baltalksnim būtiskas krājas atšķirības starp tīraudzēm un mistraudzēm (analizēti parauglaukumi vērī) nav konstatētas.

No analizētajiem parauglaukumiem, kuru sadalījums parādīts 6.1. tabulā, 65% gadījumu (par “gadījumu” uzskatot konkrētu valdošo sugu, meža tipu un vecuma desmitgadi) parauglaukumos tīraudzēs (442 parauglaukumi) kopējā krāja bija lielāka nekā parauglaukumos mistraudzēs (241 parauglaukums). Analizējot 1.stāva krāju, šāds rezultāts iegūts 60% gadījumu. Priežu audzēs šaurlapju ārenī mistraudžu krāja visās 4 analizētajās desmitgadēs pārsniedz tīraudžu krāju (līdz pat $79 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ 1.stāvam desmitgadē “61-70”), tomēr šīs starpības nebija statistiski būtiskas. Salīdzinoši lielākas krājas apjoma atšķirības (līdz pat $146 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) konstatētas, krājai tīraudzēs pārsniedzot mistraudzes. Pirmā stāva krājas salīdzinājums mistraudzēs un tīraudzēs pa valdošajām sugām un vecuma desmitgadēm, krāju aprēķinot kā vidējo svērto (pēc parauglaukumu skaita meža tipos), parādīts 5.12.attēlā.



5.12. attēls. Pirmā stāva vidējā svērtā krāja (pēc parauglaukumu skaita meža tipos) mistraudzēs un tīraudzēs pa valdošajām sugām un vecuma desmitgadēm.

6. Klimata izmaiņu ietekmes uz egļu astonezobu mizgrauzi vērtēšana

Egļu astonezobu mizgrauzis parasti savairojas vēja gāztās vai novājinātās augošās eglēs, vai nemizotos baļķos ar diametru virs 12 cm. Taču, sasniedzot ekoloģisko kapacitāti, vaboles uzsāk barošanu ar augošām, nenovājinātām eglēm, kuras vecākas par 40 gadiem. Latvijā līdz šim tam sekmīgi attīstās divas paaudzes (Ozols, 1983), taču salīdzinoši nesen (ilgstoši saglabājoties tam piemērotiem laika apstākļiem) novērota arī trešā (Šmits, 1999). Egļu astonezobu mizgrauža savairošanās parasti notiek pēc plašām vējgāzēm, kā arī pēc ilgstošiem sausuma periodiem, tāpat – arī citu faktoru novājinātās egļu audzēs (sakņu trupe, skuju graužēji kaitēkļi u.c. Piemēram, Latvijā lielākā šī kukaiņa masu savairošanās novērota pēc 1967. un 1969. g. vējgāzēm (Ozols, 1985).

Egļu sešzobu mizgrauža *Pityogenes chalcographus* bioloģija un ekoloģija ir ļoti līdzīga egļu astonezobu mizgrauzim raksturīgajai. Tas tipiski ir sekundārais egļu kaitēklis, kas visbiežāk savairojas astonezobu mizgrauža uzliesmojumu laikā (Ozols, 1985). Abu šo mizgraužu masu uzliesmojumi notiek sinhroni. Taču, pretēji egļu astonezobu mizgraužiem, egļu sešzobu mizgrauži izvēlas baroties un attīstīties zem salīdzinoši plānākas mizas egles galotnē un vainaga augšējās zaros, mazāk – stumbra vidusdaļā, reti - apakšdaļā (Ozols, 1985). Arī egļu sešzobu mizgrauzim ir liela saimnieciska nozīme, radot nozīmīgus bojājumus novājinātās egļu mežaudzēs un plantāciju mežos (Kolk, Starzyk, 1996). Masu uzliesmojumu laikā abas mizgraužu sugas pārnēsā simbiotisku sēņu sporas. Šo sēņu hifas aizsprosto egles vadaudus, palīdzot vaboļu kāpuriem baroties, un šādi kļūst par papildus faktoru koku bojāejai (Ozols, 1985; Barbosa et al., 2012).

Pētījuma mērķis ir noskaidrot, kā iespējamās veģetācijas perioda izmaiņas nākotnē var ietekmēt dažādu Latvijai nozīmīgāko dendrofāgo kukaiņu sugu attīstību un to plēsēju ietekmi uz to attīstības sekmēm, simulējot atšķirīgu klimatisko apstākļu ietekmi kontrolētos laboratorijas apstākļos.

Eksperimenta dizaina pamatā ir hipotēze, ka pastāv dendrofāgu sugas, kurām salīdzinoši augstākas temperatūras pavasarī var sekmēt pēcnācēju attīstību un veicināt koksnes invāziju. Pasaules praksē zināms, ka tieši vēja ietekmei – t.i., vējgāzēm – ir liela nozīme, veicinot mizgraužu savairošanos, tomēr ir daudz pētījumu, kuros novērota arī temperatūras ietekme. Turklāt zināms, ka tieši pirmās paaudzes attīstības sekmes var noteikt veiksmīgu turpmāko paaudžu attīstību un savairošanās iespējas vienas vasaras sezonas ietvaros. Lai gan tiek pieļauts, ka egļu astonezobu mizgraužu *Ips typographus* un egļu sešzobu mizgraužu *Pityogenes chalcographus* attīstību var labvēlīgi sekmēt tieši sauss, silts (vai straujš) pavasaris ar temperatūras paaugstināšanos, kas pārsniedz vidējos rādītājus, tomēr nav izslēgts, ka to

pēcncēju izdzīvošanu krasi samazinās plēsēji, kuru aktivitāte paaugstinātas temperatūras apstākļos var pārsniegt mizgraužu aktivitāti. Piemēram, parastā skudrulīša *Thanasimus formicarius* kāpuri attīstās līdzīgos apstākļos kā mizgrauži – to galerijās zem mizas, un barojas ar mizgraužu kāpuriem un olām. Tā kā šādi pētījumi Latvijā nav veikti, tad, plānojot mežsaimniecību un prognozējot ar to saistītos riskus, ir svarīgi izprast, kādas mizgraužu izdzīvošanas sekmes varētu būt tuvākajā nākotnē, ņemot vērā pieejamos klimata scenārijus.

6.1. Materiāls un metodika

Lai audzētu mizgraužus un to dabiskos ienaidniekus laboratorijā, kontrolētos apstākļos, bija nepieciešams tos iegūt ar pievilināšanu, izmantojot kokus, ar kuriem tie barojas un kas kalpo to attīstībai. Paraugkoku ieguvei izvēlējās cirsmas, kas nebija vecākas par 2015.g. novembri. Izlozes kārtībā izvēlēta viena svaiga cirsmā MPS Auces novada mežos (56°49'N, 22°10'E). Novērojot pirmo astoņzobu mizgrauža lidojošo vaboļu parādīšanos, 2016.g. 10. maijā nozāģētas un atzarotas piecas atšķirīga diametra cirsmas malā augošas dažādu faktoru novājinātas egles. Egļu stumbri, kā arī zari novietoti cirsma 40 m attālumā no meža sienas, 5 m no tuvākā zaru krāvuma (6.1. att.).



6.1.attēls. Cirsma novietotie paraugkoki (foto: I. Siliņš).

Lai pievilinātu egļu astoņzobu mizgrauzi, katram egles stumbram piestiprināja sintētiskos agregācijas feromonu dispenserus “Ipsodor W”, kas ražoti Polijā, Chemipan rūpnīcā. Agregācijas feromonam, kas tiek izmantots, lai pievilinātu egļu astoņzobu mizgrauzi, ir sinerģiska iedarbība ar svaigām skuju koku ciršanas atliekām, kuras izdala α -pinēnu. Galvenās šī sintētiskā agregācijas feromona sastāvdaļas ir 2-metil-3-buten-2-ols un cis-verbenols. Uz katra egles baļķa novietoti vairāki feromonu dispenseru 1 - 2 m attālumā viens no otra.

Lai noteiktu egles paraugkoku kolonizēšanas intensitāti, cirsmā apsekota reizi nedēļā, piecu nedēļu garumā – 2016. g. 13., 18. un 25. maijā, 1. un 8. jūnijā. Jau 18. maijā tika novērotas pirmās mizgraužu ieskrejas. Ieskrejas ir viegli detektējamas, jo to lielums parasti variē no 2 -5 mm un pie tām vai zem tām krājas mizas un koksnes milti (6.2. att.). Apsekojot cirsmu 1. un 8. jūnijā, konstatēts, ka egles paraugkoki ir blīvi kolonizēti ar egļu astoņzobu mizgrauzi (6.3. att.). Kolonizēšanas intensitāte noteikta pēc mizgraužu ieskreju skaita. 2016. g. 15. jūnijā paraugkoki savākti laboratorijas eksperimentam, kad ieskreju daudzums sasniedza vismaz vidēji 3 - 4 ieskrejas uz 40 cm² mizas. Pirms transportēšanas paraugkoki sagarināti, un pēc tam transportēti tālākiem laboratorijas pētījumiem LVMI “Silava” klimata kamerā.



6.2.attēls. Raksturīgi mizas milti no egļu astoņzobu mizgrauža ieskrejas (foto: A. Šmits).



A

B

6.3.attēls. A- egļu astoņzobu mizgraužu ieskrejas paraugkokos, novērotas pēc 3 nedēļām eksponēšanas laikā (foto: I. Siliņš); B – 8. jūnijā novērotās pirmās mizgraužu kopulācijas telpas ar tām raksturīgām mātesejām (foto: A. Šmits).

Pirms laboratorijas eksperimenta sagarinātos paraugkokus sazāģēja 1 m garos nogriežņos (turpmāk tekstā – paraugbaļķos), katru ievietojot plastikāta maisā inkubēšanai kontrolētos klimata apstākļos (6.4. att.).



6.4.attēls. Paraugbaļķu diametra uzmērīšana un ievietošana plastikāta maisos (foto: I. Siliņš).

Saskaņā ar Ulda Betheras klimata izmaiņu scenārijiem Latvijai (Jansons, 2010), eksperimentā izmantots prognozētais gaisa temperatūras pieaugums aprīlim. Balstoties uz šīm prognozēm, eksperimentam ir izstrādātas sekojošas klimata simulācijas:

- 1) Scenārijs 1 - nozīmīgu izmaiņu veģetācijas perioda simulācija tālai nākotnei (2071. – 2100. g.): 20°C;
- 2) Scenārijs 2 - nozīmīgu izmaiņu veģetācijas perioda simulācija tuvai nākotnei (2021. – 2050. g.): 17,8°C;
- 3) Scenārijs 3 (jeb kontrole) - mūsdienu klimata veģetācijas perioda simulācija: 15,5°C.

U. Betheras analīzē (Jansons, 2010) kvantitatīvs Latvijas nākotnes klimata raksturojums izdarīts, balstoties uz ENSEMBLE nākotnes klimata modelēšanas aprēķiniem, kas bija pieejami publiski vietnē <http://www.ensemblesrt3.dmi.dk>. Šie modeļaprēķini atbilst IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) klimata mainības scenārijam A1B [šobrīd: RCP 8.5] (IPCC 2007). Nozīmīgu izmaiņu scenārijs paredz tādu mēneša/gada vidējās vērtības pieaugumu, par kuru lielāku pieaugumu paredz tikai 17% no modeļaprēķiniem (tātad identisku vai mazāku pieaugumu paredz 83% no modeļaprēķiniem). Temperatūras eksperimentam aprēķinātas, pieskaitot U. Betheras (Jansons, 2010) modelētos vidējos temperatūru pieaugumus aprīlī pašlaik zināmajai vidējai maksimālajai temperatūrai maijā – 15,5°C (atsaucoties uz Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas centra pieejamajiem

datiem). Šādai datu kombinācijai (aprīļa prognozētie pieaugumi summēti ar esošo maija vidējo maksimālo temperatūru) skaidrojums meklējams mizgraužu bioloģijā – pirmā pavasara lidošana notiek no aprīļa otrās puses līdz maija vidum (Мамаяв, 1977; Ozols, 1985; Kolk, Starzyk, 1996; Barbosa et al., 2012).

Eksperimentu paredzēts pabeigt triju gadu laikā, katru nākamo gadu veicot citu simulāciju. 2016. g. izmantots scenārijs 3 (kontrolē) - mūsdienu klimata veģetācijas perioda simulācija – ar temperatūru 15,5°C. Visu simulāciju relatīvais gaisa mitrums tiek uzstādīts vienāds – 65%. Tā kā mizgraužu kāpuri attīstās zem mizas, netiek nodrošināts mainīgs apgaismojums (fotoperiods). Katras simulācijas ietvaros LVMI “Silava” klimata kamerā inkubēšanai polietilēna plēvē tiek ievietoti 54 egles paraugbaļķi: 18 ar salīdzinoši mazu diametru – 14-19,5 cm, 18 ar vidēju diametru – 20-26 cm, 18 ar lielu diametru – 26,5 un vairāk cm.

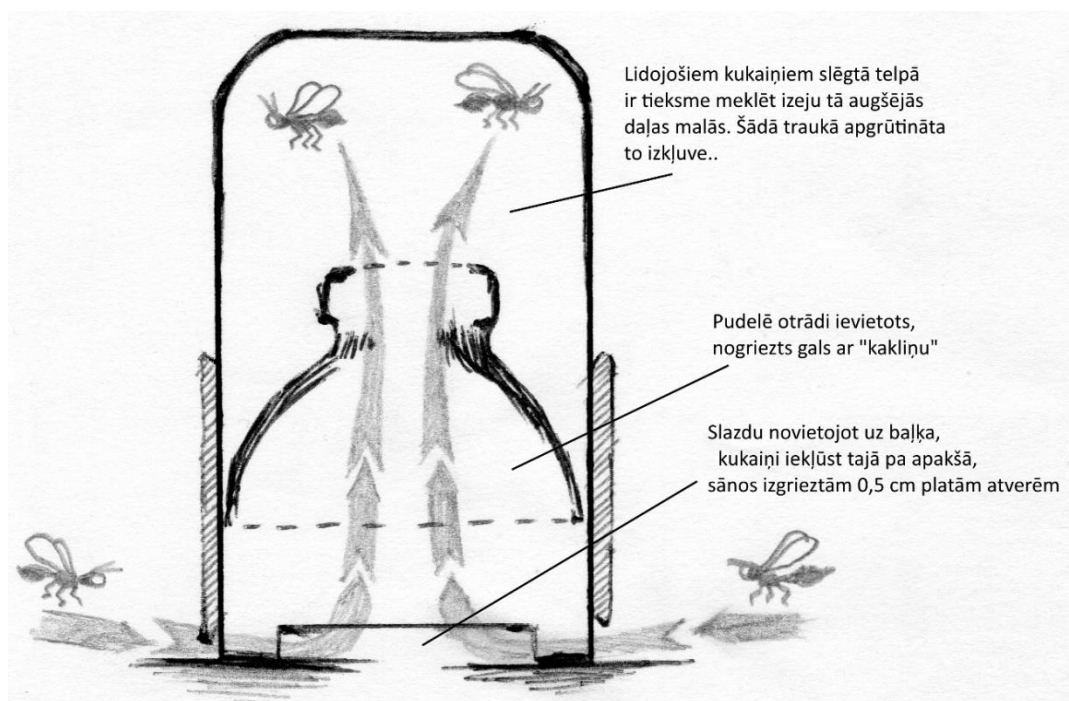
Ekspozīcijas ilgums – 45 dienas (no 15. jūnija līdz 29. jūlijam) – atbilst vidējam laika periodam, kad zem mizas attīstās mizgraužu 1. paaudze. Eksperimenta gaitā katru nedēļu veikta viena uzskaitē (15., 22., 29. jūnijs un 6., 13., 20., 27. jūlijs), kuras laikā no katra paraugbaļķa izgriezts 25 x 25 cm liels mizas fragments datu analīzei (6.5. att.), zem kura uzskaitītas *I. typographus* un *P. chalcographus* mizgraužu galerijas, noteikti mātēseju, kāpuru garumi un mizgraužu preimago attīstības stadijas, neizlidojušo un izlidojušo pieaugušo mizgraužu vaboļu skaits un noteikti citi, līdzīgu, ksilofāgu taksoni, attīstība, kā arī mizgraužu plēsēju (piemēram, parastā skudruliša *Thanasimus* spp. un īsspārņu Stahylinidae kāpuru) un parazītu klātbūtne. Iegūtie mizas fragmenti pirms iepriekšminētās analīzes izplāksņoti un žāvēti. Izlidojušās mizgraužu vaboles iegūtas un uzskaitītas, izkratot maisus virs agroplēves.





6.5.attēls. Mizas atdalīšana no paraugkokiem un faunistiskā daudzveidība zem koku mizas.
Plēsēji – skudruliši (rozā kāpurs) un konkurentās sugas – krāšņvaboles (gaišie kāpuri) (foto:
I. Siliņš).

Izlidojušu parazitoīdu (pamatā brakonīdu) iegūšanai izmantoti no polietilēna pudelēm paškonstruēti slazdi ar diametru 6,4 cm, augstumu 14 cm un tilpumu 450 ml (6.6. att.). Katram slazdam apakšā tika izgriezta sprauga, lai, novietojot to uz paraugbaļķa, tajā brīvi iekļūtu no koka izlidojušie mizgraužu parazitoīdi. Slazdiem apakšā aplīmēta 4,5 cm plata sintētiskā mikrošvamme, lai polietilēna maisā, kurā ievietots paraugbaļķis, tiktu nodrošināta gaisa apmaiņa un neuzkrātos lieks mitrums. Noķertie kukaiņi tika eitanēti, izmantojot 100% etilacetātu, un uzglabāti 60 ml paraugu savākšanas traukos (6.7. att.). Parazitoīdu taksonomiskā piederība noteikta pēc to ārējās morfoloģijas, izmantojot binokulāru Nikon SMZ 1500 (ražotājvalsts – Japāna).



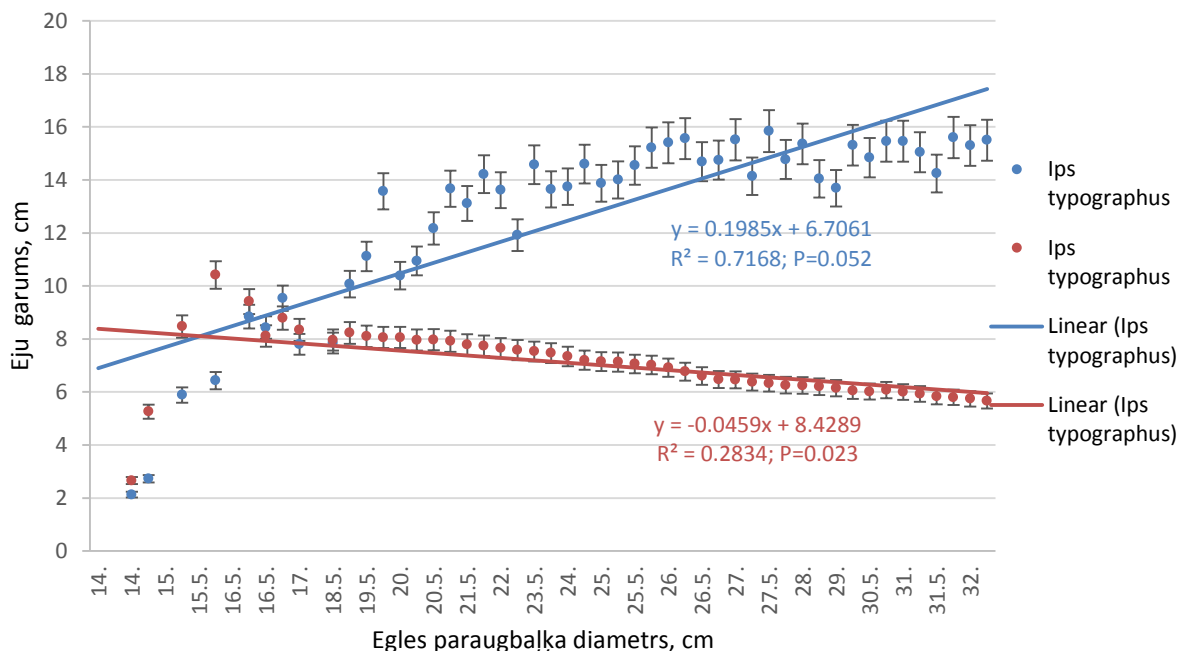
6.6.attēls. Izlidojušo parazītoīdu slazdu konstrukcija, izskats un pielietojums
(foto, zīmējums: I. Siliņš).



6.7.attēls. Izlidojušo parazītoīdu ievākšana, uzskaitē un uzglabāšana tālākai taksonomiskās
piederības noteikšanai (foto: I. Siliņš).

6.2. Rezultāti un diskusija

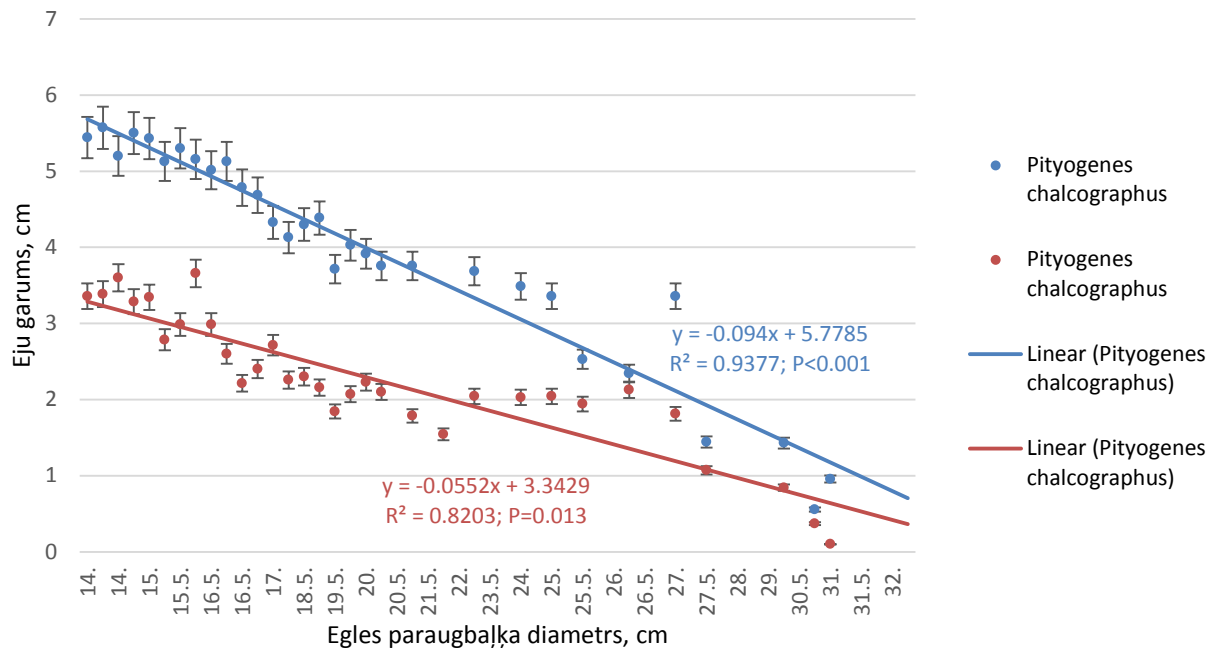
Uzskaitot mizgraužu mātesejas un kāpurejas, konstatēts, ka egļu astoņzobu mizgraužu mātesējām ir tendence ($R^2=0,72$; $p=0,05$) palielināties garumā, pieaugot egles paraugbaļķa diametram (6.8. att.).



6.8.attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža *Ips typographus* vidējais māteseju un kāpureju garums (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

Mizgraužu mātes ejas garums nosaka izdēto olu skaitu, kas rezultējas kāpuros – t.i., kāpurejās. Tā kā, pieaugot paraugbaļķa diametram, palielinās māteseju garums, tad attiecīgi palielinās arī kāpureju skaits (Anderbrant, 1990; Faccoli, Bernardinelli, 2011), taču *I. typographus* kāpureju garums visu uzskaišu laikā vidēji vienā paraugā samazinās būtiski, palielinoties egles paraugbaļķa diametram ($R^2=0,28$; $p<0,05$). Pieaugot īpatņu blīvumam, lielāka konkurence savā starpā zem mizas ir nevis pieaugušajām *I. typographus* vabolēm, bet to kāpuriem. Mātītes pēc izveidošanas mātesejas atstāj relatīvi nemainīgas un tikai uztur to stāvokli, ventilē, kamēr kāpuri attīstoties savas ejas (kāpurejas) turpina izgrauzt un paplašināt. Tāpēc virsmas laukums zem mizas vairāk limitē šo vaboļu kāpuru attīstības sekmes.

Savukārt, *P. chalcographus* mizgraužu kāpureju un māteseju garums samazinās, palielinoties paraugbaļķa diametram (6.9. att.). Lai izvairītos no konkurences ar *I. typographus*, šīs sugas mizgrauži pielāgojušies attīstībai zem salīdzinoši plānākas mizas (t.i., stumbra tievgalī vai resnos zaros) (Fora et al., 2011; Faccoli, Bernardinelli, 2011). Arī *P. chalcographus* kāpureju vidējais garums, līdzīgi kā *I. typographus*, samazinās, pieaugot egles paraugbaļķa diametram.



6.9.attēls. Egļu sešzobu *Pityogenes chalcographus* mizgrauža vidējais mātes eju un kāpureju garums (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

Līdz 6. jūlijam mizgraužu mātīte māteseju paplašina salīdzinoši nedaudz arī tad, kad jau ir sadējusi olas tajā. Tas skaidrojams ar:

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

nelieliem apaugļotu olu “pārpalikumiem”, kas tiek izdēti vēlāk un kuriem tiek attiecīgi pagarinātas ejas (Ozols, 1985; Anderbrant, 1990; Faccoli, Bernardinelli, 2011).

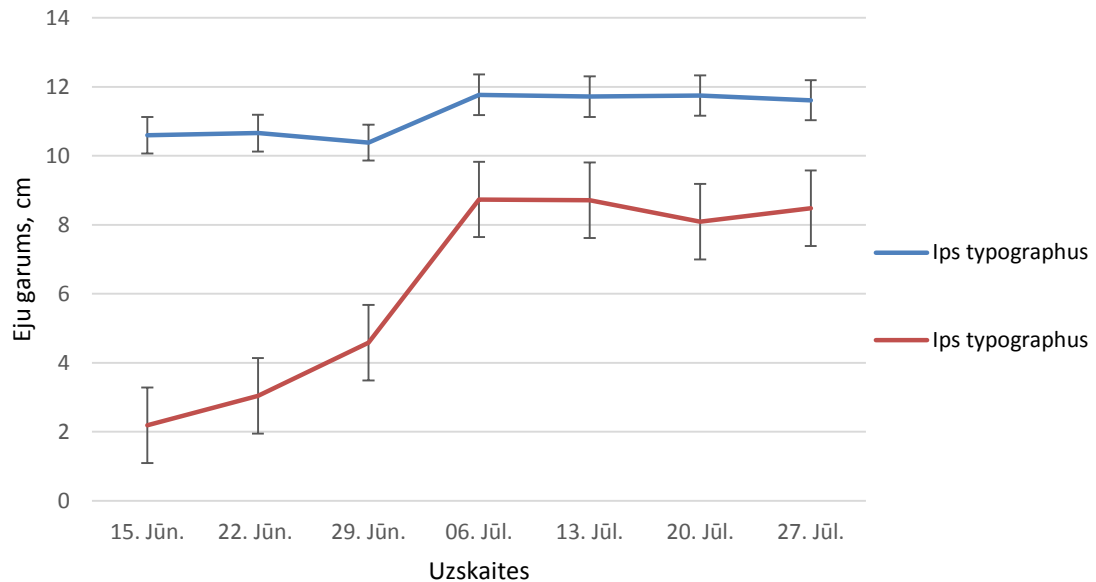
Katra mātīte rūpējas par vienu, savu, māteseju (Ozols, 1985; Anderbrant, 1990).

Ips typographus vaboles gandrīz pilnībā beigušas māteseju veidošanu 6. jūlijā, un vienlaikus sasniegti kāpureju maksimālie garumi (6.10. att.). Lai gan mizgraužu kūniņas tika novērotas visā eksperimenta laikā, domājams, ka tieši sākot ar 6.jūliju, *Ips typographus* pirmās paaudzes kāpuri beidz barošanos zem mizas un uzsāk masveida iekūņošanu.

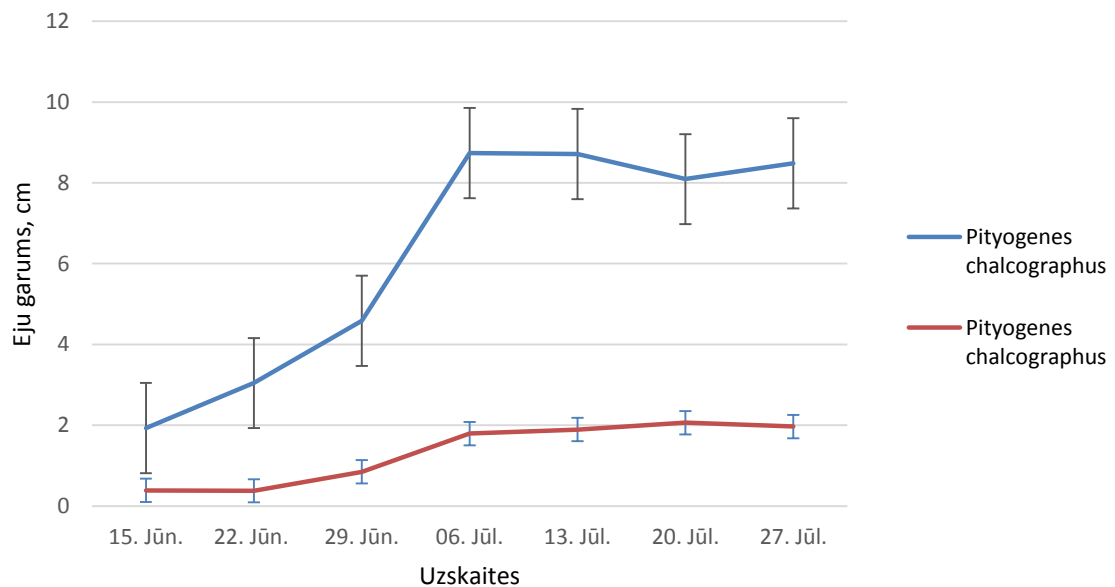
Māteseju veidošanās *P. chalcographus*, līdzīgi kā *I. typographus*, turpinās līdz 6.jūlijam (6.11. att.). *P. chalcographus* kāpuri sasniedz vidēji 2,7 reizes mazāku kāpureju garumu nekā *I. typographus* kāpuri. *P. chalcographus* kāpuru attīstība turpinās vidēji līdz 20. jūlijam. Sākot ar šo laiku, domājams, sākās pirmās paaudzes masveida iekūņošanās zem mizas.

Konstatētas atšķirības starp abu sugu mātīšu produktivitāti, t.i., kāpureju skaitu uz vienu māteseju, kas skaidrojams ar konkurenci starp abām mizgraužu sugām (6.12. att.). Uzskaitītas un mērītas tās kāpurejas, kurās novēroti dzīvi kāpuri vai izskrejas. Redzams, ka *P. chalcographus* izdzīvojušo olu skaits, kas rezultējies kāpuros, ir lielāks egles paraugbaļķos ar mazāku diametru, kamēr *I. typographus* – otrādi. Līdzīga sakarība novērota, uzskaitot dzīvās

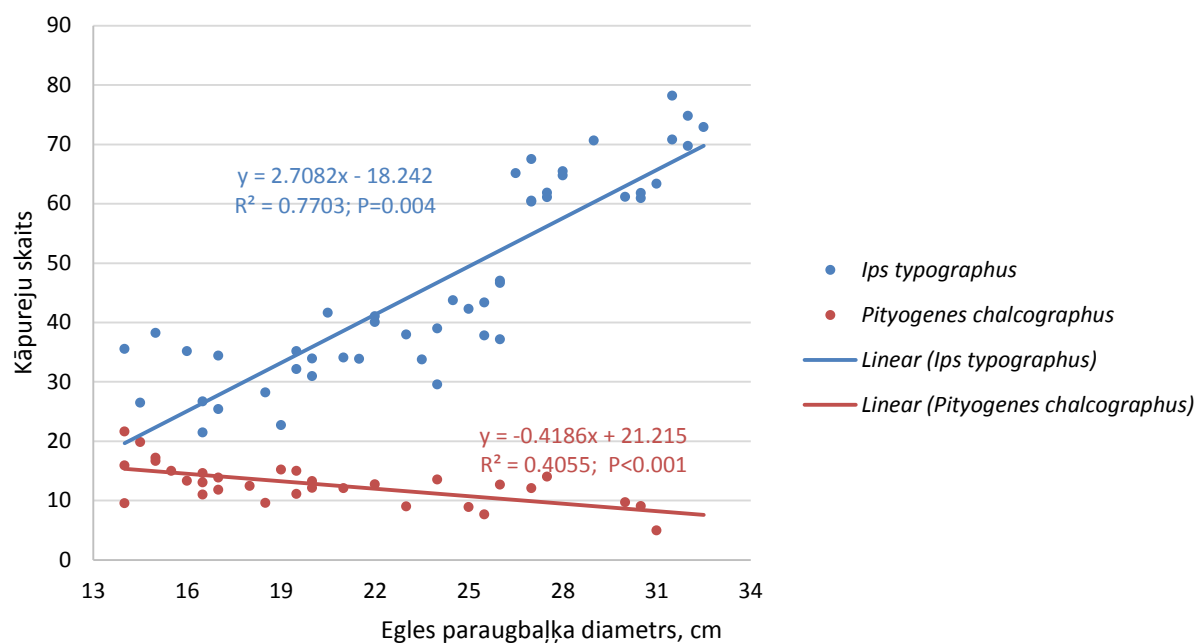
pieaugušās mizgraužu vaboles (6.13., 6.14. att.). *I. typographus* blīvāk kolonizē un apdzīvo kokus, jo vienā mizas paraugā tika uzskaitīts par vidēji par 86% (jeb $37 \pm 2,1$) pieaugušo, neizlidojušo šīs sugas vaboļu vairāk nekā *P. chalcographus*.



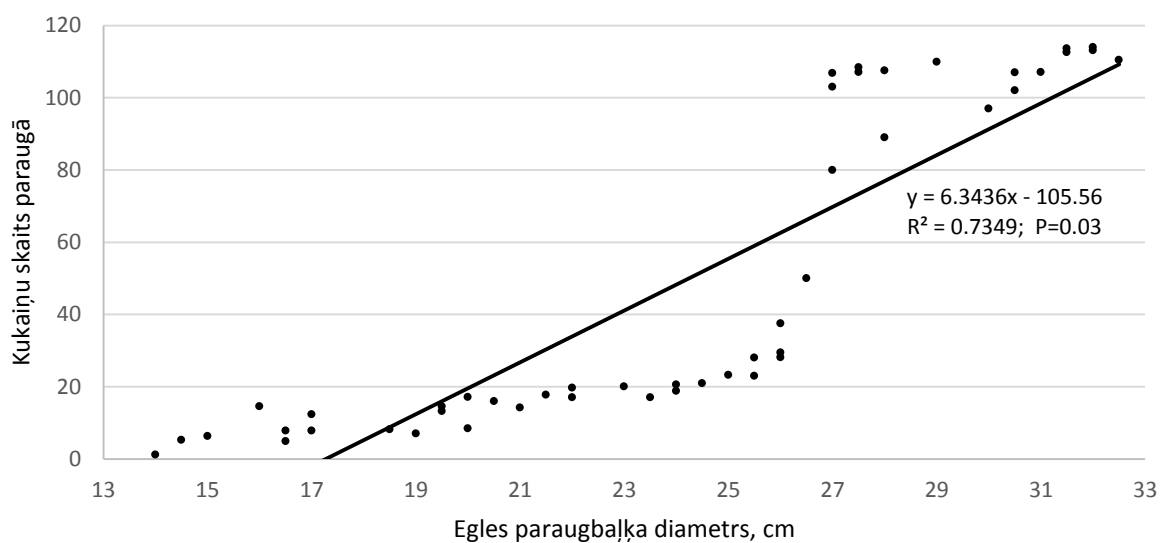
6.10.attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža *Ips typographus* vidējais mātesēju un kāpureju garums (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā.



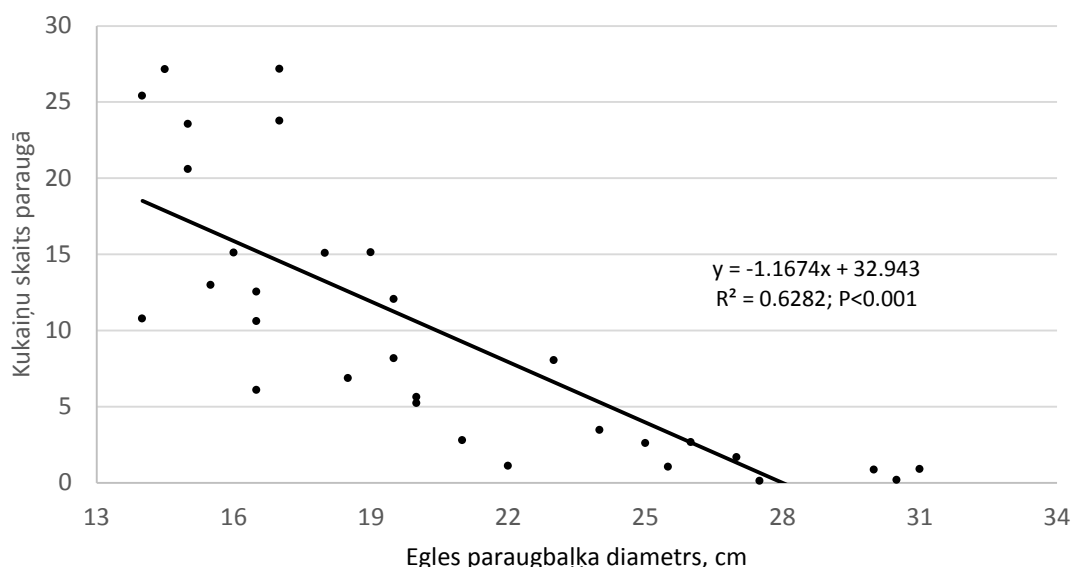
6.11.attēls. Egļu sešzobu *Pityogenes chalcographus* mizgrauža vidējais mātesēju un kāpureju garums (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā.



6.12.attēls. Vidējais mizgraužu kāpureju skaits uz vienu māteseju uzskaitēs atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

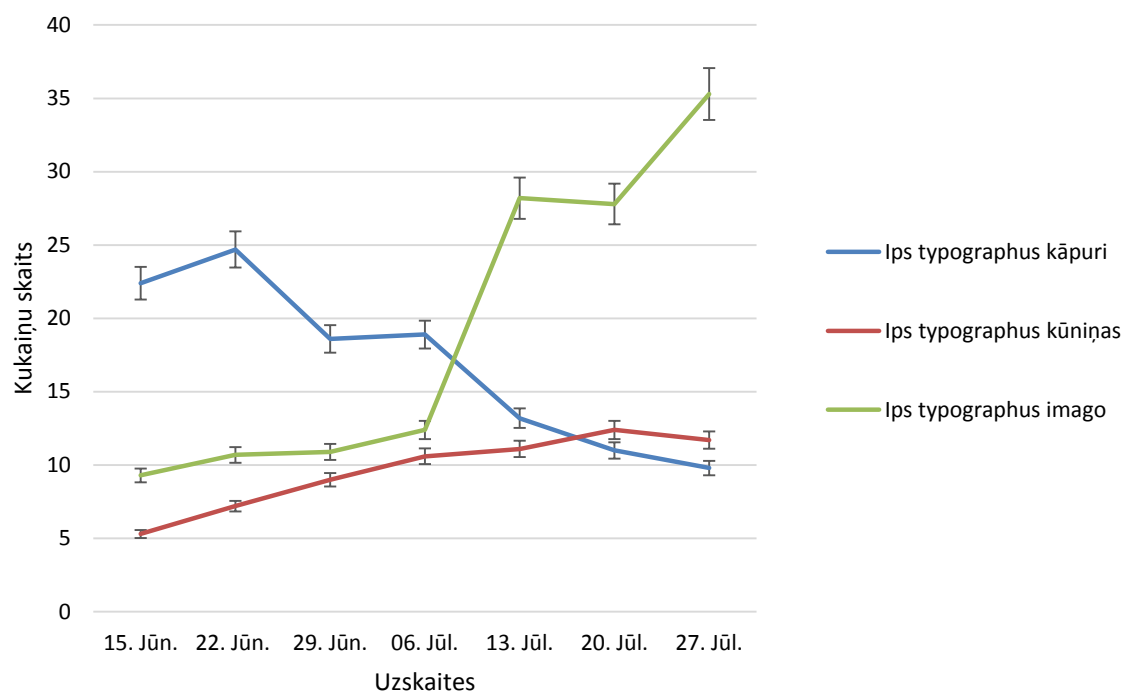


6.13.attēls. Egļu astoņzobu mizgraužu *Ips typographus* pieaugušo vaboļu skaits vidēji vienā paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

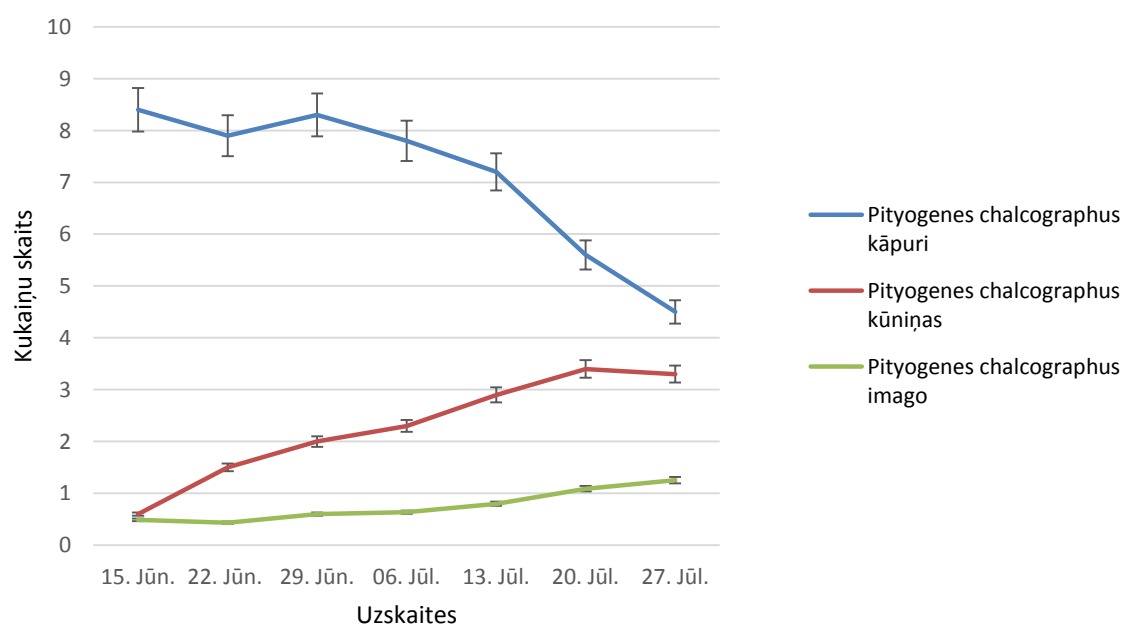


6.14.attēls. Egļu sešzobu mizgraužu *Pityogenes chalcographus* pieaugušo vaboļu skaits vidēji vienā paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

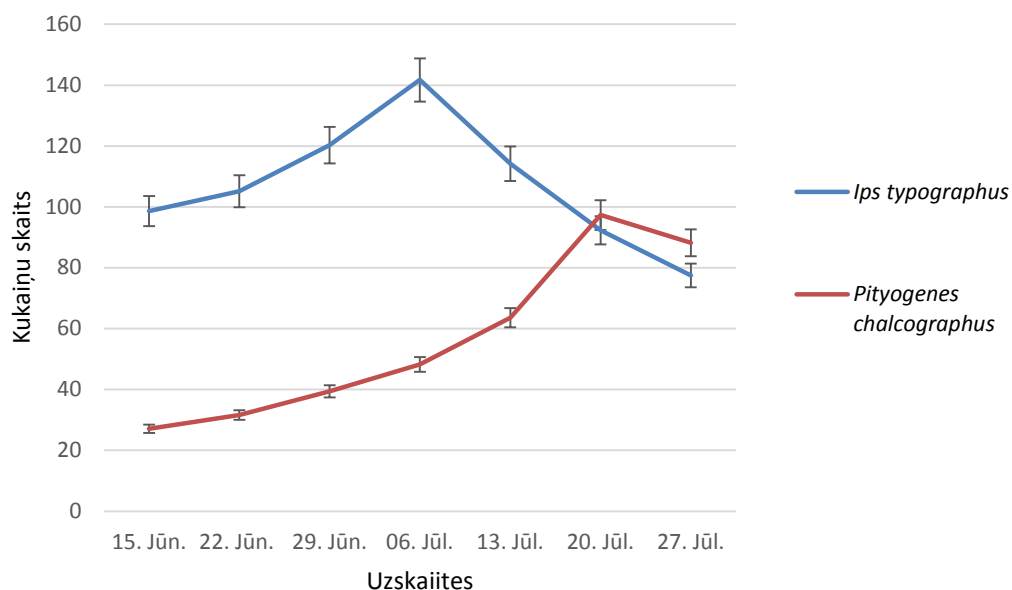
I. typographus kāpuru skaits vidēji vienā egles mizas paraugā 13.jūlijā, salīdzinot ar 6.jūliju, samazinājās 1,4 reizes, savukārt pieaugušo vaboļu skaits šajā periodā 2,3 reizes palielinājās (6.15. att.). Kā bija sagaidāms, *P. chalcographus* attīstība zem egles mizas atšķīrās no *I. typographus* (6.16. att.). Novērots relatīvi straujš *P. chalcographus* kāpuru vidējā skaita samazinājums vienā mizas paraugā, sākot ar 29. jūniju. *P. chalcographus* iekūņojušos īpatņu skaits maksimumu sasniedza 20. jūlijā, tāpat kā *I. typographus*; pieaugušo *P. chalcographus* vaboļu vidējais skaits uz vienu mizas paraugu 27.jūlijā salīdzinājumā ar sākotnējo apjomu bija palielinājies 2,8 reizes. Mizgraužu vaboles zem mizas bija atrodamas visā eksperimenta laikā, jo paralēli jaunajām bija sastopamas arī vecās. Šie rezultāti (6.17., 6.18. att.) ir saskaņā ar pieaugušo izlidojušo vaboļu skaita dinamiku (6.19. att.). *I. typographus* izlidojušo vaboļu skaits uz vienu paraugbaļķi (t.i., vienā maisā) maksimumu sasniedza 6. jūlijā (vidēji $142 \pm 8,6$ īpatņi), savukārt, *P. chalcographus* – 20. jūlijā (vidēji $97 \pm 6,4$ īpatņi). Iegūtie rezultāti atbilst abu mizgraužu attīstībai un lidošanai Latvijā dabā (Ozols, 1985; Šmits, 2007): *I. typographus* pirmās paaudzes izlidošana sākas jūnija beigās - jūlija sākumā (pētījumā – 6.jūlijs), bet *P. chalcographus* – jūlija beigās (pētījumā – 20. jūlijs) (Bičevskis, Ozols, 1983; Ozols, 1985; Šmits, 2007).



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



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

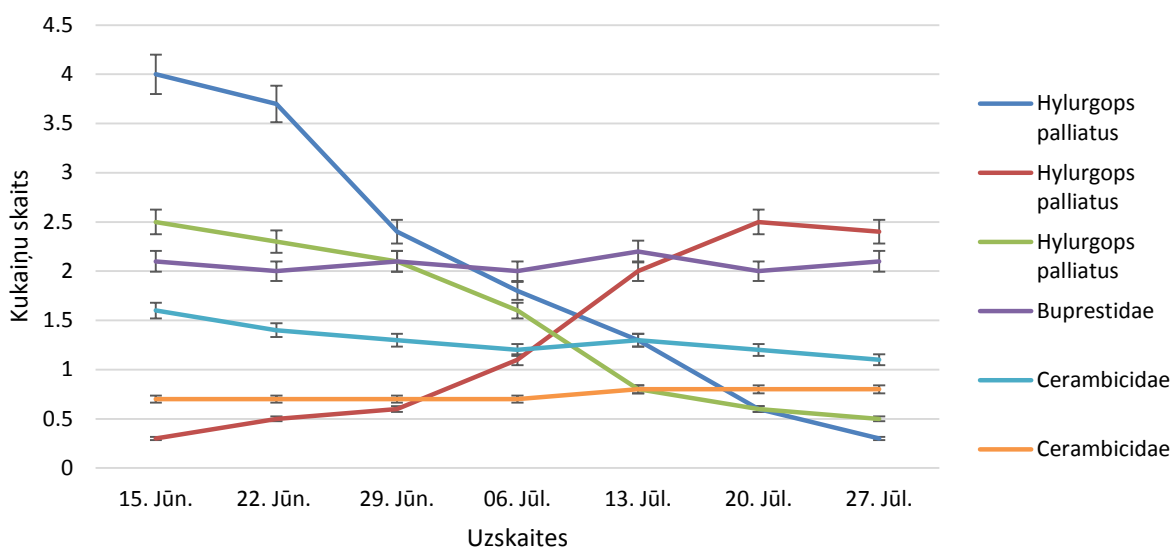


6.19. attēls. Vidējais izlidojušo mizgraužu vaboļu skaits (\pm standartklūda) uz egles paraugbaļķi.

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

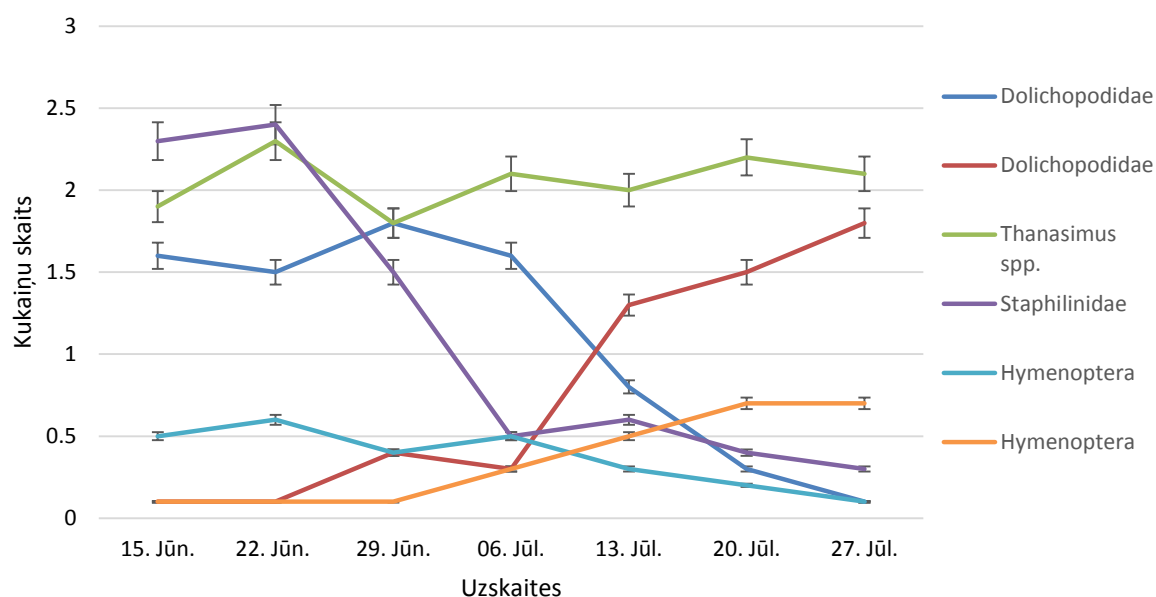
Lai gan mizas paraugos tika novēroti dažādi posmkāji – tajā skaitā ērces, citu sugu vaboles un to kāpuri, tika uzskaitītas tikai tās taksonomiskās grupas, kurām ir tieša saistība ar mizgraužu attīstību. Uzskaitītie ksilofāgi ir mizgraužu konkurenti par dzīves vietas un barības sadali, savukārt novērotie plēsēji un parazitoīdi ir tie organismi, kas ietekmē mizgraužu mirstību. Izvērtējot šo kukaiņu sastopamību, tiek iegūts priekšstats par to attīstību zem egles mizas attiecīgā klimata režīmā. Visvairāk, salīdzinot ar citām ksilofāgu sugām, uzskaitēs vidēji uz vienu mizas paraugu bija sastopams skujkoku violetais lūksngrauzis *Hylurgops palliatus* (6.20. att.). *H. palliatus* vaboļu skaitam vērojama tendence samazināties uzskaišu laikā, tomēr tas mainījās nebūtiski ($p=0,07$), jo tā skaitu pārsvarā sastādīja pieaugušie īpatņi, kas pievilināti laikā pirms baļķu ekspozīcijas laboratorijā. Domājams, ka *H. palliatus* masu iekūņošanās zem mizas noritēja 29. jūnijā – 20. jūlijā, jo šajā laikā to skaits vienā paraugā pieauga vidēji no 0,6 līdz 2,5 jeb 4,2 reizes. Zem egles mizas visu uzskaišu laikā novēroti krāšņvaboļu (Buprestidae) kāpuri, kuru skaits uzskaišu laikā praktiski palika nemainīgs ($2 \pm 0,1$; $p=0,41$), kas, iespējams, skaidrojams ar to, ka vairākums krāšņvaboļu sugu ir polivoltīni (2–3 paaudzes gadā), un kāpuri iekūņojas tikai rudenī (Ozols, 1985). Arī

koksngraužu (Cerambycidae) skaits mizas paraugos uzskaitēs praktiski nemainījās ($p=0,13$ kāpuriem un $p=0,64$ kūniņām). Zemās atšķirības krāšņvaboļu un koksngraužu attīstībā starp uzskaitēm skaidrojamas ar to, ka šie kukaiņi salīdzinoši lēnāk aug zem koku mizas, piemēram, salīdzinot ar mizgraužiem, un ar noteikto eksperimenta laiku nepietiek, lai pilnīgi novērotu to attīstības gaitu (Ozols, 1985; Faccoli, Bernardinelli, 2011).



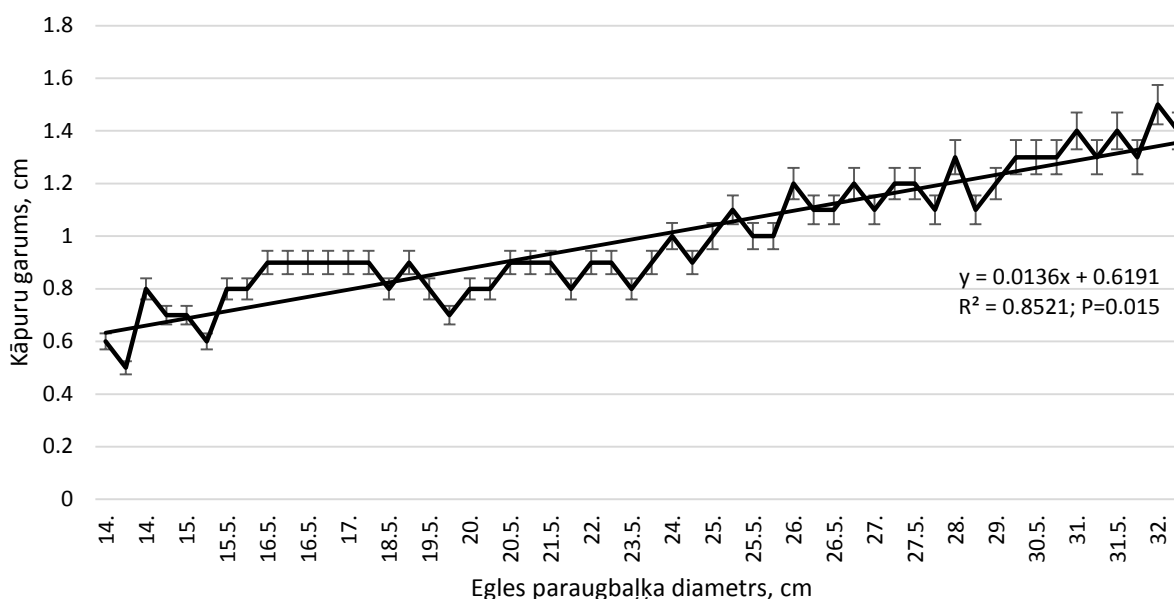
6.20.attēls. Citu ksilofāgu vidējā sastopamība (skaits \pm standartklūda) vienā mizas paraugā.

Zem egles mizas uzskaitīto mizgraužu plēsēju attīstībai (6.21. att.) tika novērotas līdzības ar pašu mizgraužu attīstību. Piemēram, Dolichopodidae dzimtas divspārņiem – zaļganīšiem – konstatēts kāpuru skaita samazinājums un atbilstošs kūniņu skaita pieaugums laikā no 6. līdz 20.jūlijam, kas liecina par zaļganīšu masveida iekūņošanos šajā laika periodā, kad noritēja *I. typographus* pirmās paaudzes izlidošana. Zaļganīšu kāpuri ir plēsīgi, un pamatā barojas ar *I. typographus* kāpuriem, tos aktīvi meklējot ejās (Nagel, Fitzgerald, 1975; Pollet, Brooks, 2008). Konstatēta būtiska pozitīva sakarība starp zaļganīšu un *I. typographus* kāpuru skaitu ($r=0,79$; $p<0,05$) un negatīva – starp zaļganīšu kūniņu un *I. typographus* kāpuru skaitu ($r=-0,68$; $p<0,05$).



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

Lielāko īpatsvaru no mizgraužu plēsējiem mizas paraugos sastādīja skudrulišu *Thanasimus* spp. kāpuri. To vidēji bija par 0,6 īpatņiem vairāk, salīdzinot ar citiem mizgraužu plēsējiem uz vienu egles mizas paraugu. Skudrulišu pieaugušās vaboles dēj olas mizgraužu pirmajās ieskrejās pavasarī, to agregācijas vietās. Skudrulišu kāpuri barojas pat ar vairāku paaudžu mizgraužu olām, kāpuriem un kūniņām, pavadot to ejās visu vasaras laiku, rudenī (septembra beigās) iekūņojas, pārziemo un izkūņojas kā vaboles tikai nākamajā pavasarī (Mamaev, 1977; Ye, 1998; Barbosa et al., 2012). Visticamāk, tieši tādēļ skudrulišu vidējais skaits visu uzskaišu laikā paliek relatīvi nemainīgs, turklāt skudruliši novēroti tikai kāpuru attīstības stadijā. Tā kā skudruliši ir būtiskākie no mizgraužu plēsējiem (ar lielāko zināmo ietekmi uz mirstību) (Jakaitis, 1979; Turnbow, Franklin, 1979; Kenis et al., 2007), turklāt uzskaitēs no dabiskajiem ienaidniekiem bija vienīgie kāpuru stadijā un to dinamikā netika novērotas būtiskas atšķirības, tad tika mērīts to garums (mm) (6.22. att.). Salīdzinoši garāki (t.i. lielāki) skudrulišu kāpuri novēroti egles paraugbaļķos ar lielāku diametru. Skudruliši barojas pamatā ar *I. typographus* (Turnbow, Franklin, 1979; Ye, 1998), un, iespējams, aug salīdzinoši ātrāk zem tādu koku mizas, kur šo mizgraužu ir vairāk. Īsspārņiem (Staphilinidae) straujš to daudzuma kritums paraugos novērots no 22.jūnija līdz 6.jūlijam, t.i., laikā, kad *I. typographus* izlidojušās vaboles sasniedza maksimumu. Šajā laikā īsspārņu skaits uz paraugu vienā uzskaitē samazinājās 4,8 reizes – no 2,4 līdz 0,5 īpatņiem. Īsspārņiem raksturīga augsta mobilitāte (pārvietošanās ātrums) (Lawson et al., 1996; Barbosa et al., 2012). Iespējams, tie salīdzinoši sliktāk piemērojas dzīvei mākslīgos apstākļos, tādēļ strauji pameta savas attīstības vietas.



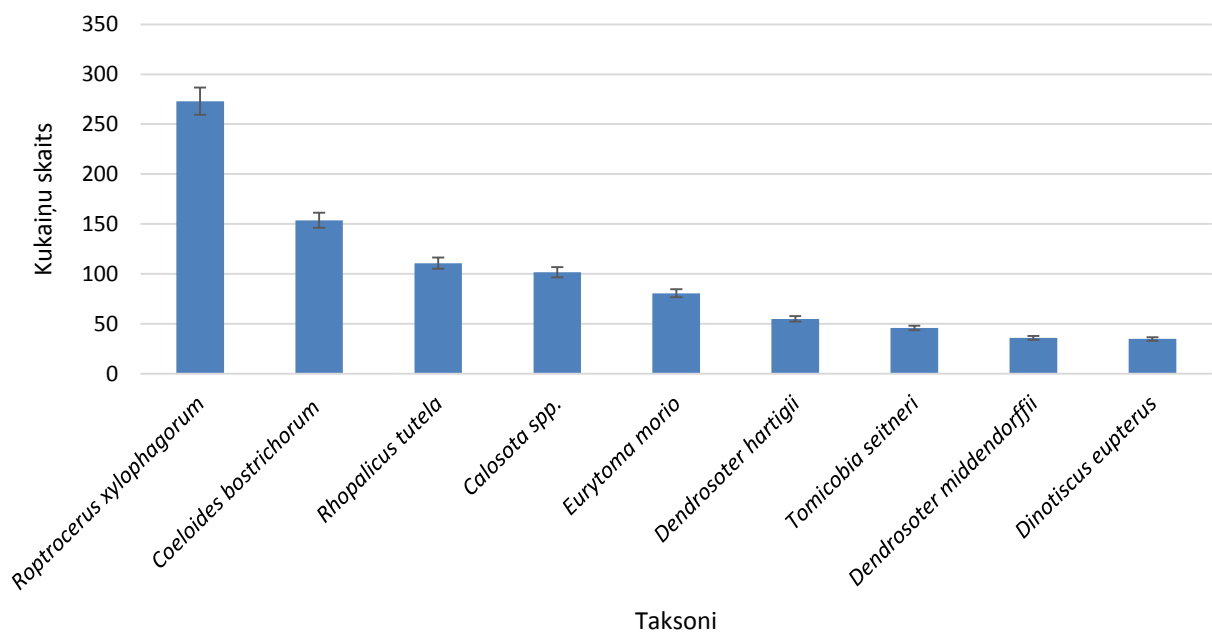
6.22.attēls. Skudrulišu *Thanasimus* spp. kāpuru vidējais garums (\pm standartklūda) vienā paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

Plēsēju uzskaitēs konstatēti arī lapseņu (*Hymenoptera*) kāpuri un kūniņas (6.21. att.), kas, visticamāk, būtu pieskaitāmi parazītiskiem organismiem, tomēr, tā kā mizas paraugos netika noteikta to tālākā taksonomiskā piederība, tad netiek izslēgts, ka daļa no tām varētu būt mizgraužu plēsēji (Tselikh, 2010; Podlesnik et al., 2014). Lai gan kūniņu īpatsvars paraugos pieaug, sākot ar 29. jūniju, lapseņu skaita izmaiņas uzskaitēs ir maznozīmīgas (kāpuriem $p=0,04$, kūniņām $p=0,07$).

Uzskaitītas arī pieaugušas, izlidojušas mizgraužiem parazītiskas lapsenes, kurām noteikta tālākā taksonomiskā piederība. Kopumā konstatētas 8 parazītisko lapseņu sugas un viena ģints no četrām dažādām dzimtām – Pteromalidae (*Rhopalicus tutela*, *Roptrocerus xylophagorum*, *Tomicobia seitneri*, *Dinotiscus eupterus*), Braconidae (*Dendrosoter middendorffi*, *Dendrosoter hartigii*, *Coeloides bostrichorum*), Eurytomidae (*Eurytoma morio*) un Eupelmidae (*Calosota* spp.) (Krüger, Mills, 1990; Lawson et al., 1996; Hougardy, Gregoire, 2003; Feicht, 2004; Tselikh, 2010; Podlesnik, 2014; Delvare et al., 2014). Visaktīvākā šo lapseņu izlidošana novērota no 29. jūnija līdz 13. jūlijam. No parazītoīdiem uzskaitēs dominēja *Roptrocerus xylophagorum* ar vidēji $273 \pm 5,75$ īpatņiem un *Coeloides bostrichorum* ar vidēji $154 \pm 1,2$ īpatņiem uz egles paraugbaļķi. Gan *R. xylophagorum*, gan *C. bostrichorum* ir tipiski *I. typographus* raksturīgi parazītoīdi (Krüger, Mills, 1990; Petterson et al., 2000; Petterson, 2001; Sullivan, 2002). *R. xylophagorum* lapsenes mātīte ierāpjas *I. typographus* ejās, to agregāciju vietās, un 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 (Pettersen et al., 2000; Pettersen, 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; Pettersen 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). 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).

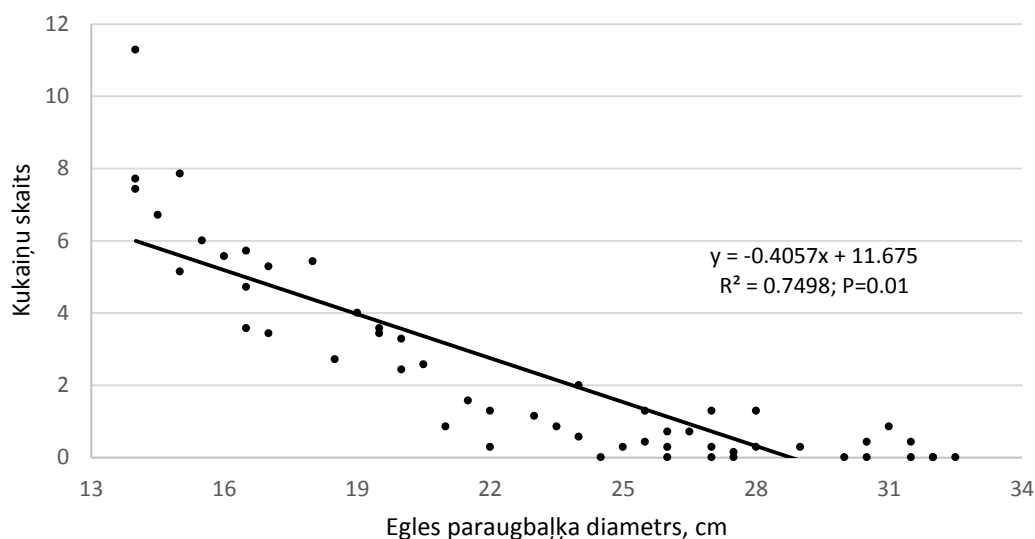
Salīdzinoši mazāk konstatēts sešzobu mizgrauzim raksturīgāko parazitoīdu - *Dendrosoter hartigii* (vidēji $55 \pm 2,0$ izlidojušie īpatņi), *Dendrosoter middendorffii* (vidēji $36 \pm 1,4$ izlidojušie īpatņi) un *Dinotiscus eupterus* (vidēji $35 \pm 1,2$ izlidojušie īpatņi) (6.23. att.).



6.23.attēls. Mizgraužu parazitoīdu vidējā skaita sadalījums (skaits \pm standartklūda) vienā uzskaitē.

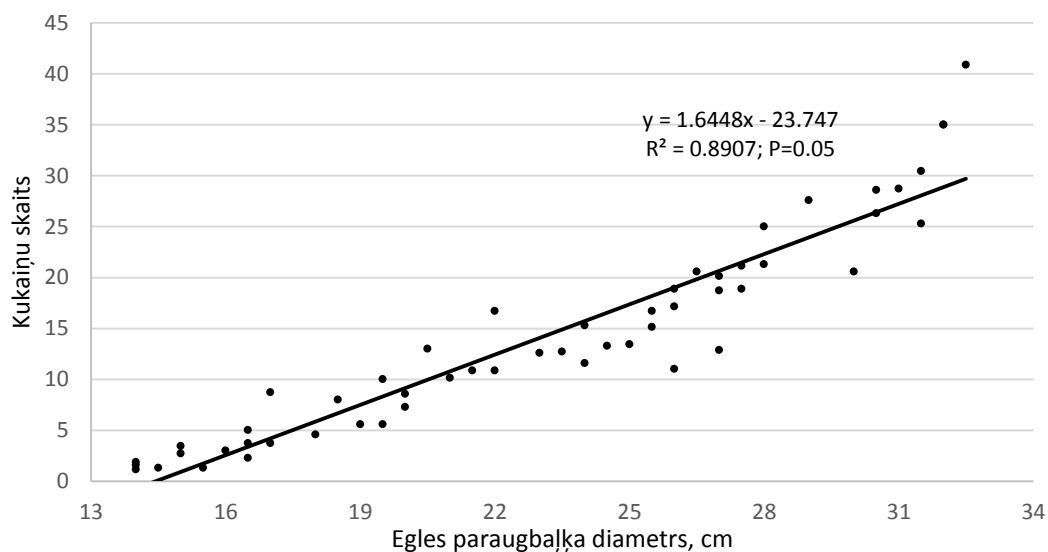
Dendrosoter ģints lapsenes parazitē primāri uz dažādām mizgraužu sugām, kuru ķermenis nepārsniedz 3 mm garumu, tomēr tās novērotas arī uz salīdzinoši “lielākiem” mizgraužiem – tajā skaitā, uz *I. typographus* (Krüger, Mills, 1990; Hougardy, Gregoire, 2003; Fora et al., 2011). Šīs lapsenes tiek uzskatītas par ģenerālistiem, un tām raksturīgas divas paaudzes gadā (Krüger, Mills, 1990; Podlesnik et al., 2014). *D. middendorffii* primāri izvēlas parazitēt tieši uz *P. chalcographus* un uzskatāma par specializētu sugu (Jakaitis, 1979; Krüger, Mills, 1990;

Fora et al., 2011). Novērtējot šo triju lapseņu sugu izlidošanu atkarībā no egles paraugbaļķa lieluma, redzams, ka tās primāri izvēlas kokus ar salīdzinoši mazāku diametru (6.24. att.).



6.24.attēls. Egles sešzobu mizgrauža *Pityogenes chalcographus* parazitoīdu skaits vidēji vienā uzskaitē atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

To izplatība piesaistīta tādu dimensiju kokiem un to daļām, kuros sastopami šīm sugām piemērotie saimniekorganismi - *P. chalcographus*, konstatēta cieša korelācija starp *D. middendorffii* un *P. chalcographus* īpatņu skaitu (starp sugām $r=0,84$). Līdzīga (lai gan ne tik izteikta) tendence novērota pārējām izlidojušo lapseņu sugām (7.25. att.), kuru izplatību primāri nosaka egles paraugbaļķi ar relatīvi lielāku diametru. Šo parazitisko lapseņu izplatību, iespējams, nosaka arī abu apskatīto mizgraužu kopējā sastopamība, bet pamatā - *I. typographus* izplatība ($r=0,71$ ar pārējām lapsenēm).



6.25.attēls. Egles astoņzobu mizgrauža *Ips typographus* parazitoīdu skaits vidēji vienā uzskaitē atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

Eksperimenta laikā kopumā tika uzskaitīti 82 976 mizgrauži dažādās attīstības stadijās (t.sk., *I. typographus* – 57 791, *P. chalcographus* – 25 185). Uzskaitīti arī dabiskie ienaidnieki un konkurentās sugas – 11 820 īpatņi dažādās attīstības stadijās (t.sk., parazitoīdi – 6 236, plēsēji – 2 198, citi ksilofāgi – 3 386). Ņemot vērā, ka dabiskie ienaidnieki sastādīja tikai 8,9% (t.sk., plēsēji 2,3%, parazitoīdi 6,6%) no kopējā uzskaitīto kukaiņu skaita, tiek pieņemts, ka to iespējamā ietekme uz šajā eksperimentā eksponēto mizgraužu attīstības dinamiku ir bijusi niecīga. Tiek pieļauts, ka dabā mizgraužu dabisko ienaidnieku loma īpaši palielinās nākamajā gadā pēc mizgraužu masu uzliesmojumiem (Ozols, 1985; Barbosa et al., 2012; Delvare et al., 2014). Domājams, eksperimentā mizgraužu attīstību visnozīmīgāk ietekmē tieši izmantotais temperatūras režīms.

Kopsavilkums

Pārskata periodā izmantots viens no trim plānotajiem scenārijiem – kontrole, t.i., mūsdienu klimata veģetācijas perioda simulācija – ar temperatūru 15,5°C. Līdz ar to nav paredzēti un nav izdarāmi secinājumi par mizgraužu attīstību klimata izmaiņu ietekmē.

Iegūtie rezultāti ir būtiski, lai nodrošinātu informāciju salīdzinājumam ar simulētu klimata izmaiņu situāciju nākamajos 2 projekta posmos. Izmantojot salīdzinājuma ārvīdē (bez klimata kameras) ievāktus datus iegūtos rezultātus ietekmētu virkne nekontrolējama un ne vienmēr zināmu faktoru (kā temperatūras amplitūda, nokrišņi u.c.) un šo dažādo faktoru korekta novērtēšana esošā projekta ietvaros, ņemot vērā pētījuma darbietilpību, nebūtu iespējama.

Aprobēta pētījuma izpildes metodika un pasūtītājam zināmi visi dedrofāgo kukaiņu un to parazitoīdu attīstību raksturojošie parametri, par kuriem būs iespējams iegūt salīdzinošo informāciju t.i. novērtēt klimata izmaiņu eventuālo ietekmi uz tiem.

Iegūtie rezultāti liecina, ka mizgraužu sugām – egļu astoņzobu mizgrauzi *Ips typographus* un egļu sešzobu mizgrauzi *Pityogenes chalcographus* novērota specializācija, izvēloties dažādu dimensiju baļķus *I. typographus* vairāk novēroti egles paraugbaļķos ar lielāku diametru ($p=0,03$). Mizgraužu attīstību nosaka ne tikai temperatūra, bet arī dzīvotnes virsmas laukums, jo *I. typographus* iekšsugas konkurence veidojas starp to kāpuriem ($p=0,023$), atšķirībā no *P. chalcographus*, kuriem iekšsugas konkurence izpaužas starp mātītēm par iespēju veidot aizvien jaunas mātes ejas ($p<0,001$). Virsmas laukums zem mizas vairāk limitē *Ips typographus* vaboļu kāpuru attīstības sekmes: palielinoties koka diametram, palielinās māteseju garums, kāpureju skaits un vienlaikus samazinās kāpureju garums. *P. chalcographus* mizgraužu kāpureju un māteseju garums, un kāpureju skaits samazinās, palielinoties paraugbaļķa diametram. Novērota zem egles mizas uzskaitīto mizgraužu un to un dabisko ienaidnieku attīstības sinhronitāte. Piemēram, Dolichopodidae dzimtas divspārņiem –

zaļģanīšiem – konstatēts kāpuru skaita samazinājums un atbilstošs kūniņu skaita pieaugums laikā no 6. līdz 20.jūlijam, kas liecina par zaļģanīšu masveida iekūņošanos šajā laika periodā, kad noritēja I. typographus pirmās paaudzes izlidošana.

Iegūtie rezultāti netieši norāda, ka mizgraužu attīstību limitējošs faktors var būt koka dimensijas (virsmas laukums), tāpēc sagaidāms, ka citu konkurējošo ksilofāgu sugu attīstība paaugstinātās gaisa temperatūras apstākļos varētu notikt salīdzinoši straujāk, negatīvi ietekmējot mizgraužu attīstību. Turklāt, iespējams, ka mizgraužu plēsēju aktivitāte, paaugstinoties gaisa temperatūrai, var pieaugt straujāk, salīdzinot ar mizgraužiem.

7. Epiģenētisko efektu ietekme – sēklu ieguve kontrolētos apstākļos

Epiģenētisko atmiņu var skaidrot kā adaptīvās fenotipiskās plasticitātes veidu, kura efekts saglabājas konkrētajā paaudzē un tiek īstenots ar specifiskām epiģenētiskajām izmaiņām embriogēnēzes (vienkāršoti šajā gadījumā – sēklu veidošanās) laikā, un ietekmē DNS replikāciju, rekombināciju un gēnu ekspresiju nākamajām paaudzēm (Brautigam et al., 2013). Epiģenētiskas izmaiņas var izraisīt apkārtējās vides faktori, t.sk., kā šajā gadījumā - temperatūra. Dažos gadījumos epiģenētiskās izmaiņas var tikt pārmantotas nākamajās paaudzēs, pat ja šie pēcnācēji vairs nav pakļauti izmaiņas izraisījušo apstākļu ietekmei (Vandeghechuchte, Janssen, 2011).

Skuju kokiem (parastajai priedei, parastajai eglei) ir salīdzinoši ilgs mūžs un lēna paaudžu maiņa. Vienlaikus tiem raksturīgs arī ļoti plašs izplatības areāls – tādā spēja pielāgoties ievērojami atšķirīgiem klimatiskajiem apstākļiem. Šo spēju nodrošina fenotipiskā plasticitāte, t.sk., specifiski arī epiģenētiskā atmiņa. Parastajai eglei galvenokārt pētījumos Norvēģijā konstatēts, ka vides apstākļi sēklas nobriešanas laikā ietekmē augšanas „programmas” (ritma) izveidošanos, kā rezultātā rodas būtiskas un ilgnoturīgas izmaiņas pēcnācēju fenoloģijā (Yakovlev et al., 2011; Yakovlev et al., 2012). Šim fenomenam ir ne tikai svarīga loma evolūcijā, bet arī praktiska nozīme: ja paaugstināta temperatūra veicina pēcnācēju adaptāciju siltākiem klimatiskajiem apstākļiem, tad meža selekcijā var daudz mazāk vērības veltīt koku augšanas ritma piemērotības temperatūras klimatam izpētei un ietveršanai selekcijas indeksā, jo sēklu plantācijā izvietoto ātraudzīgo klonu pēcnācēji paši pielāgosies siltākam klimatam un spēs pilnvērtīgāk izmantot augšanas apstākļu uzlabošanos. Tomēr līdzšinējo pētījumu apjoms nav pietiekams, lai, tikai balstoties uz zinātniskās literatūras analīzi, šādu atziņu varētu izdarīt. Tāpat jāņem vērā, ka pētījumi galvenokārt veltīti

paša epigenētiskā efekta fenomena pierādīšanai, taču praksē nozīmīgāki ir divi niansētāki jautājumi:

- 1) vai efekts ir tieši proporcionāls temperatūras paaugstinājumam vai kā citādi matemātiski saistāms ar to, t.i., prognozējams, ņemot vērā klimata izmaiņu prognozes?
- 2) vai efekts visiem kloniem izpaužas vienādā mērā?

Tāpat joprojām neatbildēts ir jautājums par epigenētisko efektu lapu koku sugām.

Tādēļ pilnvērtīgas informācijas iegūšanai par nākotnes gada vidējās gaisa temperatūras izmaiņu ietekmi uz vietējās izcelsmes egles, priedes, bērza, melnalkšņa un apses augšanu, ir uzsākts vairāku gadu pētījums. Tā ietvaros tiek (un tiks) salīdzināta tādu koku augšana, kuriem bijuši atšķirīgi apstākļi somatiskās embriogēnēzes laikā (t.i., koki izauguši no sēklām, kas veidojušās atšķirīgā temperatūras režīmā). Pirmais šāda pētījuma etaps, kas realizēts šajā gadā, ir sēklu materiāla ieguve. Tai sākotnēji bija plānots izmantot bērza pluskoku pēcnācēju, kas atlasīti saskaņā ar rezultātiem eksperimentālajos stādījumos, klonus; tomēr tie šajā gadā neziēdēja un, lai nodrošinātu projekta darba uzdevuma izpildi, izvēlēti citu koku sugu kloni.

Šajā (pirmajā) pētījuma sezonā, kas sākās 2016. gada aprīlī, LVMI SILAVA klimata kamerā (23 m² platībā) izvietoja no sēklu plantācijām pārvestus jaunus melnalkšņa un parastās egles pluskoku klonus (8.1.att.). Melnalksnis pārstāvēts ar 2 kloniem (no katra pa vienam rametam), kas pārvesti no Jaunkalsnavas plantācijas, bet egle – ar 6 kloniem (no četriem pa vienam rametam un no diviem pa diviem rametiem), kas pārvesti no Tīrzas plantācijas. Pārvestajiem kokiem uzskaitīja čiekuru aizmetņus: 108 eglei un 41 – melnalksnim.

Audzēšanas kamerā tika nodrošināts nākotnes klimata pārmaiņu scenārijam atbilstošs gaisa temperatūras paaugstinājums – par 4°C augstāks nekā ārvidē, kā arī optimāls mitruma režīms.



7.1.attēls. Klimata kamerā sēklu ieguvei augošie egles un melnalkšņa potējumi.

No klimata kamerā eksperimentālos apstākļos audzētajām eglēm 2016.gada decembrī iegūti kopumā 72 čiekuri (7.1.tab.). Relatīvi zemais iegūto čiekuru skaits saistīts ne tik daudz ar aizmetņu daudzumu, kā ar to bojājumiem (g.k. dendrofāgo kukaiņu), kuru dēļ ne visi aizmetņi saglabājušies un attīstījušies. Arī vairumam iegūto čiekuru vizuāli konstatēti kukaiņu bojājumi (sasveķojumi), tāpēc iegūstamo sēklu daudzumu prognozēt nav iespējams.

Tirzas plantācijā āra apstākļos kokiem čiekuru raža šajā sezonā bija neliela, decembrī tika ievākti visi (7) čiekuri plantācijā; pārstāvēti 5 kloni. Arī šiem čiekuriem iespējami kukaiņu bojājumi. Eglei nākotnes un pašreizējam klimatam atbilstošos apstākļos ienākušos sēklu pēcnācējus paredzēts salīdzināt, primāri izmantojot abos apstākļos pārstāvēto klonu Mad116 (pietiekama iegūto sēklu daudzuma gadījumā).

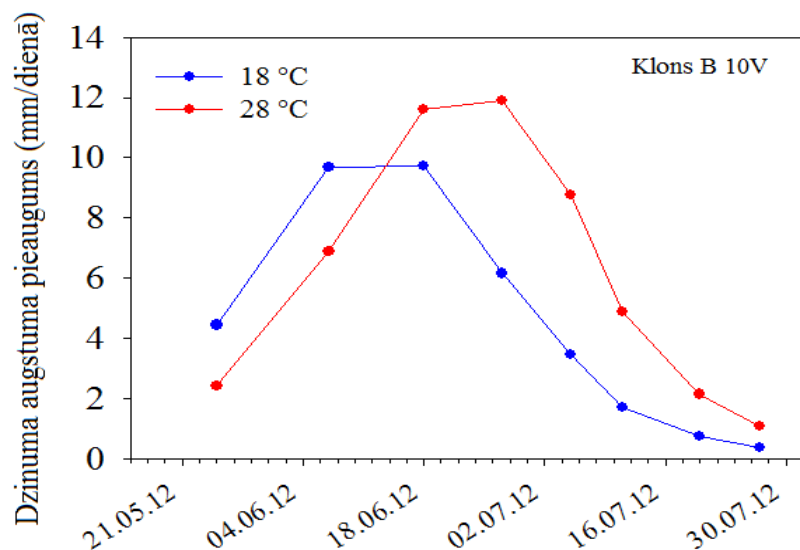
Eksperimentā izmantotie kloni un ievāktie čiekuri/ riekstiņi

| Kontrolētie apstākļi (paaugstināta temperatūra) | | Āra apstākļi | |
|-------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| Klons | Čiekuru/ riekstiņu skaits | Klons | Čiekuru/ riekstiņu skaits |
| Egle | | | |
| Mad25/1 | 1 | Mad29 | 3 |
| Mad113/1 | 7 | Mad116/3 | 1 |
| Mad116/1* | 10 | Mad123 | 1 |
| Mad116/2 | 9 | Mad127 | 1 |
| Mad121/1 | 4 | Sau29 | 1 |
| Mad147/1 | 5 | | |
| Mad147/2 | 11 | | |
| Sau12/1 | 25 | | |
| Melnalksnis | | | |
| RJ6 | 15 | RJ6 | 400 |
| Sa14 | 25 | | |

*treknrakstā - salīdzināšanai primāri izmantojamie čiekuri

Melnalksnim kontrolētos apstākļos iegūti riekstiņi no abiem kokiem. Āra apstākļos riekstiņu ieguve klonam RJ6 veikta Olaines sēklu plantācijā, bet klonam Sa14 – nebija iespējama, jo Jaunkalsnavas plantācijā raža šajā sezonā bija tikai pārvestajam rametam kokiem. Melnalksnim nākotnes un pašreizējam klimatam atbilstošos apstākļos ienākušos sēklu pēcnācējus paredzēts salīdzināt, primāri izmantojot abos apstākļos pārstāvēto klonu RJ6 (pietiekama iegūto sēklu daudzuma gadījumā).

Iegūtais sēklu materiāls no kloniem, kas auguši paaugstinātās un neizmainītās temperatūras apstākļos, paredzēts izmantot stādu audzēšanai un augšanas gaitas novērojumiem, izmantojot līdzīgu metodiku kā šī pārskata nodaļā par sējeņu augšanas gaitu aprakstītā. Tas nodrošinās iespējas iegūt līdzīgus salīdzinājumus kā citos pētījumos (7.2. att.), raksturojot temperatūras ietekmi uz augšanas sākumu, intensitāti un augšanas izbeigšanu dažādiem Latvijas egļu un melnalkšņu kloniem, nodrošinot datu bāzi, lai atbildētu uz nodaļas sākumā definētajiem meža apsaimniekošanas praksei būtiskajiem jautājumiem.



7.2.attēls. Augstuma pieauguma dinamika pēcnācējiem atkarībā no temperatūras somatiskās embriogēzes laikā (Kvaalen, Johnsen, 2008).

8. Iegūto rezultātu publicēšana

Saskaņā ar darba uzdevumu plānotā iegūto rezultātu publicēšana – dalība vienā zinātniskā konferencē, viena zinātniskā raksta publicēšana.

Projekta rezultāti prezentēti starptautiskā zinātniskā konferencē “BaltDendro 2016”, kurā piedalījās zinātnieki no 5 valstīm un kas norisinājās šī gada 22.-25. augustā Latvijā, uzstājoties ar referātiem:

Rieksts-Riekstiņš J., Katrevičs J., Čakšs R., Kāpostiņš R., Jansons Ā. (2016) Influence of climatic condition changes on Norway spruce productivity in Latvia.

Puriņa L., Pušpure I., Džeriņa B., Jansons Ā. (2016) Regeneration of *Fagus sylvatica* at the edge of its northern distribution limits.

Jansons Ā., Čakšs R., Krišāns O., Katrevičs J. (2016) Frost hardiness of young coniferous trees grown in different meteorological conditions.

Donis J., Zadiņa M., Šņepsts G., Zariņš J., Puriņa L., Jansons J., Jansons Ā. (2016) Trends of forest fire activity in Latvia.

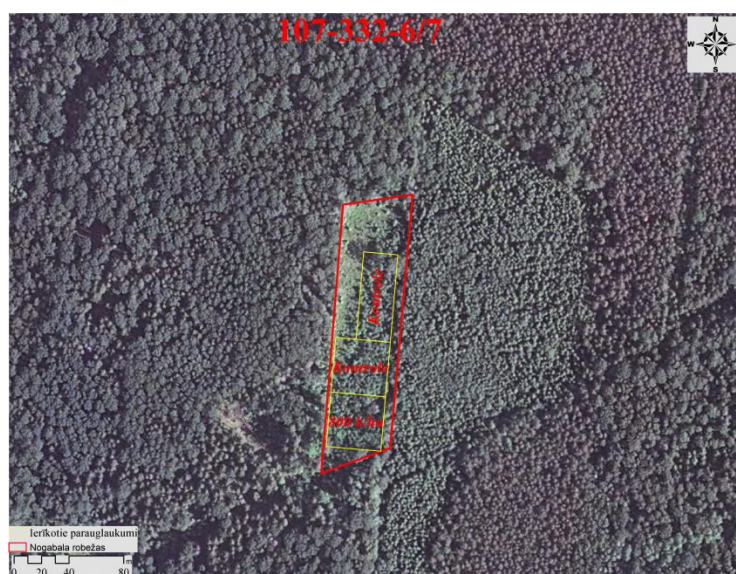
Par projektā iegūtajiem rezultātiem (veicot arī papildus, šī etapa pārskata iepriekšējās nodaļās neparakstītu darbu) sagatavots manuskripts: J. Donis, M. Zadiņa, G. Šņepsts, J. Zariņš, Ā. Jansons (2017) Forest fire regime in Latvia: 1922-2014, kas iesniegts žurnālam *Baltic Forestry*; saņemtas recenzijas un veikti labojumi, tomēr vēl nav saņemts gala atzinums, līdz ar to publikācija tiks pievienota nākamā projekta etapa pārskatam.

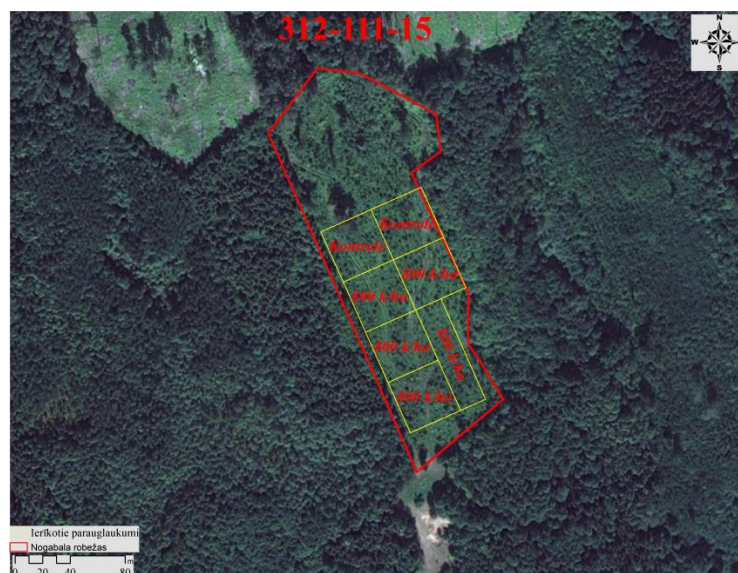
Izmantotā literatūra

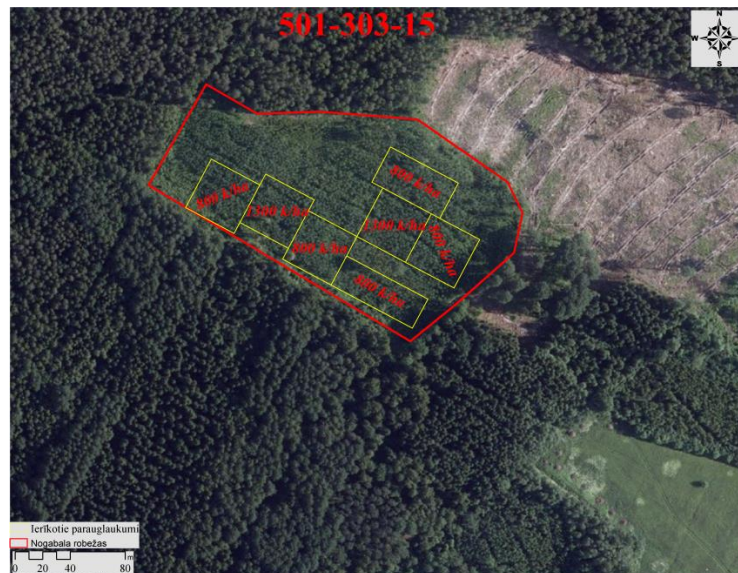
- Barbosa, P., Letourneau, D.K., Agrawal, A.A. (2012). Insect outbreaks revisited. Blackwell Publishing Ltd. 459 p.
- Brautigam, K., Vining, K.J., Lafon-Placette, C., Fossdal, C.G., Mirouze, M., Marcos, J.G., Fluch, S., Fraga, M.F., Guevara, M.A., Abarca, D., Johnsen, Ø., Maury, S., Strauss, S.H., Campbell, M.M., Rohde, A., Diaz-Sala, C., Cervera, M.T. (2013). Epigenetic regulation of adaptive responses of forest tree species to the environment. *Ecology and Evolution*, 3, 399-415.
- Čermák, J., Kučera, J., Bauerle, W. L., Phillips, N., & Hinckley, T. M. (2007). Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes in stem volume in old-growth Douglas-fir trees. *Tree physiology*, 27(2), 181-198.
- Deslauriers A., Rossi S., Anfodillo T. (2007). Dendrometer and intra-annual tree growth: What kind of information can be inferred? *Dendrochronologia*, 25: 113-124.
- Deslauriers A., Rossi S., Turcotte A., Morin H., Krause C. (2011). A three – step procedure in SAS to analyze the time series from automatic dendrometers. *Dendrochronologia*, 29: 151 – 161.
- Fekedulegn, D., Mac Siurtain, M.P., Colbert, J.J. (1999). Parameter estimation of nonlinear growth models in forestry. *Silva Fennica* 33, 327–336.
- Grīnvalds, A. (2016). Stratēģiskās un taktiskās plānošanas sasaistes pilnveidošana galvenajā cirtē. Promocijas darbs Dr.silv. zinātniskā grāda iegūšanai.
- Krebs, C.J. (1999). *Ecological Methodology*. 2nd ed. Benjamin Cummings, Menlo Park, California. 620 pp.
- Kvaalen, H., Johnsen, Ø. (2008). Timing of bud set in *Picea abies* is regulated by a memory of temperature during zygotic and somatic embryogenesis. *New Phytologist*, 177 (1), 49–59.
- Linkosalo, T., Heikkinen, J., Pulkkinen, P., Mäkipää, R. (2014). Fluorescence measurements show stronger cold inhibition of photosynthetic light reactions in Scots pine compared to Norway spruce as well as during spring compared to autumn. *Front Plant Sci*. 2014; 5: 264. Published online 2014 Jun 13. doi: 10.3389/fpls.2014.00264.
- Maxwell K., Johnson G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. - *Journal of Experimental Botany*, 51: 659-668.
- McGarigal, K., McComb, W.C. (1995). Relationships between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range. *Ecological monographs*, 65(3), 235–260.

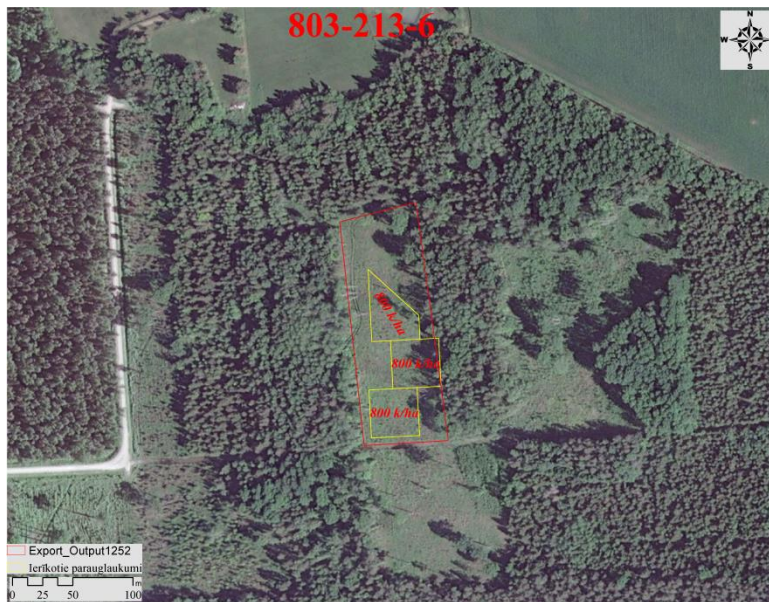
- Nevalainen, S., Matala, J., Korhonen, K. T., Ihalainen, A., Nikula, A. (2016). Moose damage in National Forest Inventories (1986–2008) in Finland. *Silva Fennica* vol. 50 no. 2 article id 1410. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1410>.
- Olsson, P.-O., Jönsson, A.M., Eklundh, L. (2012). A new invasive insect in Sweden – *Physokermes inopinatus*: Tracing forest damage with satellite based remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 285, 29–37.
- Papageorgiou, G. C. (Ed.). (2007) *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis* (Vol. 19). Springer Science & Business Media.
- Steppe, K., & Lemeur, R. (2004). An experimental system for analysis of the dynamic sap-flow characteristics in young trees: results of a beech tree. *Functional Plant Biology*, 31(1), 83-92.
- 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.
- Michelot, A., Simard, S., Rathgeber, C., Dufrêne, E., & Damesin, C. (2012). Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. *Tree physiology*, tps052.
- Vandegheuchte, M.B., Janssen, C.R. (2011). Epigenetics and its implications for ecotoxicology. *Ecotoxikology*, 20, 607–624.
- Welling, A., Palva, T. (2006). Molecular control of cold acclimation in trees. *Physiologia Plantarum*, 127 (2), 167–181.
- Yakovlev, I., Fossdal, C.G., Skråppa, 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 (2), 63-76.
- Yakovlev, I., Lee, Y.K., Rotter, B., Skråppa, T., Olsen, J.E., Johnsen, Ø. (2011). Molecular dissection of an adaptive epigenetic memory mechanism in Norway spruce. IUFRO Tree biotechnological conference 2011: From genomes to integration and delivery, June 26 – July 2, 2011, Bahia, Brazil, Meeting Abstracts, 38–39.
- Yamashita K., Okada N., Kamo K., 2006. Application of the wiredendrometer for monitoring the radial growth of trees: a comparison with the conventional band dendrometer and the pinning method (in Japanese with English abstract and legends). *Mokuzai Gakkaishi* 52:8–18 pp.

I pielikums: ierīkoto objektu shēmas un apraksts











Jaunaudžu taksācijas rādītāji (kontroles parces)

| Kvart. Apg. | Kv. | Nog. | Biezums, koki ha ⁻¹ | Egle | | Bērzs | | Melnalksnis | | Apse | | Ozols | | Osis | | Liepa | | Kārkli | | Pīlādzis | | Lazda | |
|----------------|-----|------|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | D, cm | H, dm | D, cm | H, dm | D, cm | H, dm | D, cm | H, dm | D, cm | H, dm | D, cm | H, dm | D, cm | H, dm | D, cm | H, dm | D, cm | H, dm | D, cm | H, dm |
| 103 | 179 | 3 | 7650 | | | 1.8 | 7 | 3.5 | 22 | | | | | | | 1.8 | 6 | | | | | | |
| 107 | 332 | 6 | 2800 | 5.0 | 58 | 7.7 | 58 | | | | | | | | | 7.4 | 84 | | | | | 7.2 | 55 |
| 312 | 111 | 15 | 4700 | 6.5 | 65 | 5.7 | 46 | | | 4.9 | 34 | | | 4.8 | 49 | 4.6 | 45 | | | | | | |
| 401 | 33 | 4 | 15900 | 8.7 | 106 | 6.3 | 35 | 7.1 | 35 | 6.4 | 35 | | | | | 4.8 | 28 | 5.2 | 26 | 2.3 | 12 | 5.2 | 26 |
| 405 | 185 | 13 | 2900 | 2.6 | 24 | 5.6 | 41 | | | | | 3.7 | 45 | | | 4.5 | 48 | | | | | | |
| 501 | 303 | 15 | 2100 | | | 7.5 | 58 | | | | | | | | | 3.8 | 27 | | | | | | |
| 501 | 446 | 10 | 2650 | | | 6.5 | 65 | | | 6.1 | 50 | 4.0 | 38 | 4.1 | 40 | 4.1 | 47 | | | | | | |
| 506 | 116 | 36 | 1300 | | | 2.0 | 5 | | | | | | | | | 3.8 | 32 | | | | | | |
| 608 | 109 | 6 | 31900 | | | 3.7 | 16 | 4.0 | 24 | 3.9 | 18 | | | 2.7 | 14 | 4.1 | 34 | | | | | 2.7 | 16 |
| 803 | 213 | 6 | 1900 | | | 3.1 | 17 | 3.5 | 34 | | | | | | | 2.7 | 24 | | | | | | |
| 803 | 224 | 19 | 7200 | 2.0 | 2 | 2.1 | 9 | | | 1.6 | 5 | | | | | 1.8 | 9 | | | | | | |
| 803 | 228 | 32 | 3200 | 2.8 | 31 | 3.5 | 19 | 2.6 | 16 | 4.0 | 20 | | | | | 4.5 | 35 | | | | | | |