



Par projekta

“Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām”

darba uzdevumu izpildi

Projekta vadītājs:

/Ā. Jansons/

Salaspils, 2013

Kopsavilkums

Pārskata periodā, veicot atkārtotus mērījumus priežu un egļu jaunaudzēs, apstiprinājies, ka gan meža tipam, gan meteoroloģiskajiem apstākļiem konkrētajā gadā ir būtiska ietekme uz augusta dzinumu veidošanos. Ņemot vērā, ka klimata izmaiņu ietekmē veidosies tādi apstākļi, kas veicina augusta dzinumu formēšanos, un pētījuma ietvaros konstatēto, ka augusta dzinumi priedei apmēram pusē gadījumu (59-64%) rada arī pēc 1-2 veģetācijas sezonām redzamu padēlu, priežu jaunaudžu ierīkošana šaurlapju un platlapju kūdrēnī, kas saistīta ar paaugstinātu padēlu veidošanās varbūtību, ir rekomendējama tikai pēc šī riska finansiālās ietekmes izvērtēšanas. Pētījumā konstatētā ievērojamā ģenētikas ietekme uz augusta dzinumu un padēlu veidošanos liecina par nepieciešamību tās iekļaut un vērtēt meža selekcijas procesā, izslēdzot no sēklu ražošanas klonus, kuru pēcnācējiem siltākā klimatā varētu būt pazemināta stumbra kvalitāte. Parastajai eglei vismazākais koku ar augusta dzinumiem, padēliem vai vairākām galotnēm īpatsvars konstatēts visvēlāk plaukstošajām ģimenēm, taču arī to vidējais augstums un augstuma pieaugums ir vismazākais (kas, iespējams, saistīts ar relatīvi īsāku augšanas laiku). Otrs īsākais augstuma pieaugums (atšķirības nav statistiski būtiskas) konstatēts visagrāk plaukstošajām ģimenēm, iespējams, sala bojājumu ietekmē (tādi konstatēti 84% šīs plaukšanas grupas koku). Vislielākais koku augstums un augstuma pieaugums, kā arī mazs koku ar augusta dzinumiem un/vai padēliem īpatsvars konstatēts vidēji vēlu plaukstošiem kokiem. Tas apliecina nepieciešamību meža atjaunošanai pielietot genotipus, kas optimāli izmanto veģetācijas perioda garumu.

Pētījuma ietvaros, izvērtējot nobiru un augsnes mitruma izmaiņas, konstatēts, ka Nesterova indekss tās reprezentē I un II ugunsbīstamības klases audzēs, savukārt koriģētais Nesterova indekss precīzāk reprezentē dziļāku augsnes slāņu žūšanu un līdz ar to ugunsgrēku bīstamību. Jaunaudzes, kas pēc meža tipa atbilst zemākas ugunsbīstamības klasei, pēc tajos esošo degmateriālu žūšanas režīma vairāk līdzinās pamatklasei, nevis I ugunsbīstamības klases audzēm. Iegūtie dati tiks izmantoti precīzāku ugunsbīstamību raksturojošu indeksu aprobācijai nākamajā pārskata periodā.

Vēja bojājumu draudu klašu telpiskais sadalījums apliecina, ka meži Dienvidkurzemē ir ievērojami vairāk apdraudēti vējgāzēs un vējlauzēs nekā citas vietas Latvijā, taču arī šajā reģionā konstatējamas „aizvēja salas”.

Sasalstoša lietus veidošanās vēsturiski bijusi ievērojami biežāka Latvijas austrumos nekā rietumos. Zinātniskās literatūras un klimata izmaiņu prognožu analīze nerada pamatu apgalvot, ka nākotnē šo parādību izraisīto atmosfēras procesu kombināciju biežums kādā no Latvijas daļām varētu samazināties. Sasalstoša lietus ietekmē uz kokiem uzkrājas ievērojama ledus masa – parastās priedes audzēs konstatēts, ka tā ir cieši saistīta ar koka virszemes biomasu ($r=0,92$, $p<0,01$), vidēji $1,5\pm 0,27$ reizes to pārsniedzot. Koka caurmērs ir nozīmīgs un statistiski būtisks sasalstoša lietus izraisītu bojājumu apjomu determinējošs parametrs, kā papildus parametrus iespējams izmantot koku augstuma / caurmēra attiecību un koku augstumu. Iegūtie dati nerada pamatu apgalvot, ka audzēs pirmajos 3 gados pēc kopšanas cirtes izpildes (kad tās ir nestabilākas, piemēram, pret vēja radītiem bojājumiem) būtu paaugstināts sasalstoša lietus bojāto valdaudzes koku īpatsvars, taču, īpaši eglei, ir paaugstināts bojāto (pēc kopšanas audzē vēl palikušo) starpaudzes koku īpatsvars. Konstatēta statistiski būtiska meža tipa ietekme uz laužto un saliekto valdaudzes koku īpatsvaru ($p<0,05$).

Klimata izmaiņas saistītas ar paaugstinātu dendrofāgo kaitēkļu bojājumu risku to migrācijas un dzīves cikla izmaiņu rezultātā. Par migrāciju, iespējams, jau notiekošās vidējās gaisa temperatūras paaugstināšanās ietekmē, liecina fakts, ka pēdējos piecos gados Latvijā novērotas 24 kukaiņu sugas, kuru pamatareāli ir uz dienvidiem no mūsu valsts teritorijas. Zinātniskās literatūras analīze liecina, ka tikai 18% apskatīto nozīmīgāko dendrofāgo kaitēkļu sugu nākotnē prognozētajā klimatā nespēs veidot vairāk par vienu paaudzi veģetācijas periodā, tātad ievērojami palielināsies masu uzliesmojumu varbūtība. Vides apstākļi ksilofāgo dendrofāgu un lapgraužu sugām uzlabosies, taču to parazītoīdiem vasaras periodā pasliktināsies; tomēr prognozējams, ka parazītoīdu aktivitāte saglabāsies, tās maksimumam novirzoties agrāk pavasarī un vēlāk rudenī. Sagaidāms, ka palielināsies patogēnu (piemēram, *Bacillus spp.* baktēriju, kuru vairošanās optimālā temperatūra ir augstāka nekā saimniekorganismiem raksturīgā) ietekme.

Pētījumi egļu bruņuts ietekmētajās audzes liecina, ka galvenais šī kukaiņa nozīmīgas ietekmes varbūtības novēršanas paņēmieni ir profilakse, t.i., audžu vitalitāti veicinoši pasākumi. Egļu bruņuts savairošanās gandrīz vienlaicīgi notiek plašā reģionā, pakāpeniski virzoties no dienvidiem uz ziemeļiem, tādēļ, lai prognozētu tās ietekmes periodus, rekomendējams kombinēt informāciju no kaimiņvalstīm ar datiem no meža veselības monitoringa, kurā varētu būt lietderīgi izmantot aerofotogrāfijas – tajās nozīmīgu egļu bruņuts savairošanos iespējams identificēt gadu agrāk nekā novērojumu parauglaukumos uz zemes. Divu gadu periodā pēc bruņuts bojājumiem egļu audzes ietekmē citi dendrofāgie kukaiņi, galvenokārt mizgrauži. Augstākais mizgraužu bojājumu īpatsvars (vidēji 8,7%) ir novājinātajiem (ar augstāko egļu bruņuts bojājumu pakāpi iepriekšējā gadā) kokiem.

Eiropā ir izstrādāts ievērojams skaits modeļu klimata izmaiņu ietekmē iespējamo meža izmaiņu prognozēšanai, kas izmanto ekoloģisko nišu pieeju, t.i., vērtē kādas sugas izplatību atkarībā no tai piemēroto klimatisko faktoru kopas izplatības izmaiņām, ņemot vērā tās areālu šobrīd limitējošos faktorus. Tomēr šīs pieejas kritiska analīze koku sugām (ar ilgu dzīves ciklu – tātad spēju pielāgoties vides apstākļu svārstībām – un plašu izplatības areālu) liecina, ka valdošo koku sugu sastāva nomaiņa, visticamāk, nenotiks tik strauji, kā tiek prognozēts. To nosaka gan sugu izplatības ātruma, gan dažādu citu faktoru (tai skaitā cilvēku saimnieciskās darbības) ietekme, piemēram, esošās veģetācijas pielāgošanās un pret-darbošanās (konkurence) jauno sugu ienākšanai (īpaši jutīgākajā koku dzīves cikla daļā – pirmajos augšanas gados), kā arī putekšņu nodrošinātā gēnu plūsma starp populācijām ar dažādiem adaptīviem pielāgojumiem. Tomēr atsevišķām koku sugām, piemēram, *Quercus cerris*, augšanas apstākļi Latvijā nākotnē būs piemēroti, citām (piemēram, vietējās *Acer platanoides*, *Tilia cordata*, introducētā *Quercus rubra*) klimatiskie apstākļi Latvijā kļūs augšanai labvēlīgāki. Pie otrās grupas pieskaitāms arī dižskābardis, kura audzēs Latvijā pētījuma ietvaros konstatēta dabiskā atjaunošanās ar augstu biežumu. Trešās vecumklases un vecāku dižskābaržu audžu krāja Latvijā vairākumā gadījumu pārsniedz egles un bērza audžu krāju līdzīgā vecumā un meža tipā, neatpaliekot no tā augšanas rādītājiem izplatības areāla centrālajā daļā (Vācijā). Īpaši tas sakāms par mežaudzēm otrajā paaudzē, kuru krāja pārsniedz pat par 30-50 gadiem vecāku pirmās paaudzes audžu krāju.

Pētījums veikts sadarbībā ar Daugavpils universitātes prof. A. Barševski un Latvijas Lauksaimniecības universitātes prof. A. Dreimani un asoc. prof. O. Miezīti, galvenie autori: O. Krišāns, E. Bāders, U. Neimane, J. Rieksts-Riekstiņš, I. Siliņš, J. Donis, G. Šņepsts, J. Zariņš, A. Lazdiņš, A. Šmits, R. Matisons, L. Puriņa.

Saturs

1. Augusta dzinumu veidošanās un stumbra defekti parastās priedes jaunaudzēs	5
1.1. Augusta dzinumu vērtēšanai izvēlētā paraugkopa un uzmērīšanas metodika	5
1.2. Augusta dzinumu vērtēšanas rezultāti	7
1.3. Mikrovides apstākļu un koka vitalitātes ietekme uz augusta dzinumu veidošanos.....	11
2. Padēlu veidošanās jaunaudzes vecumā ietekme uz koka stumbra kvalitāti	14
3. Parastās egles pumpuru plaukšanas laika ietekme uz augusta dzinumu veidošanos.....	21
4. Introducēto koku sugu dabiskā atjaunošanās un augšana.....	27
5. Meža koku sugu migrācija un dispersija	40
6. Fenotipiskā plastiskuma nozīme meža koku adaptācijā	52
7. Radiālā pieauguma veidošanās un to ietekmējošie faktori	63
8. Vēja bojājumu risks atkarībā no mežaudžu parametriem un tā reģionālais sadalījums	75
9. Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz degmateriāla un augsnes mitruma izmaiņām	93
10. Ledus bojājumu novērtējums skuju koku audzēs	115
10.1. Apledējuma raksturojums	115
10.2. Sasalstoša lietus nokrišņu veidošanās	116
10.3. Sasalstoša lietus izraisīta apledējuma novērojumi	128
10.4. Sasalstoša ledus un sniega radītā slodze kokiem.....	133
10.5. Sasalstoša lietus ietekmēto mežaudžu novērtējums	142
11. Sala bojājumu vērtēšanas metodika.....	159
12. Nokrišņu sadalījuma izmaiņu ietekme uz meža atjaunošanu	165
13. Dendrofāgo kaitēkļu sugu savairošanās draudu izvērtējums.....	170
14. Latvijai neraksturīgu kukaiņu sugu izplatības analīze.....	187
15. Sekundāro kaitēkļu savairošanās egles bruņuts bojātās mežaudzēs.....	196
Izmantotie informācijas avoti	207
Pielikumi.....	240

1. Augusta dzinumu veidošanās un stumbra defekti parastās priedes jaunaudzēs

Parastajai priedei (*Pinus sylvestris* L.) dažkārt novērojama papildpieauguma veidošanās veģetācijas perioda otrajā pusē pēc galvenā pieauguma izbeigšanās – t.s. augusta dzinumi. Vairāku autoru pētījumos norādīts, ka augusta dzinumu veidošanās pārsvarā raksturīga jauniem kokiem - līdz ar koku vecumu tā samazinās (Aldén, 1971; Ehrenberg, 1963). Akcentēta vides apstākļu ietekme uz papildpieauguma attīstību (Aldén, 1971), turklāt konstatētas arī ģenētiskas atšķirības augusta dzinumu sastopamībā (Ehrenberg, 1963; West, Ledig, 1964). Vērtējot augusta dzinumu iespējamo negatīvo ietekmi, vairāki autori uzsvēruši, ka papildpieauguma veidošanās var būt saistīta ar stumbra kvalitātes pasliktināšanos (Ehrenberg, 1970; McCabe, Labisky, 1959; West, Rogers, 1965), jo papildpieaugums bieži veicina lielāka zaru skaita veidošanos mieturī, divu mieturu formēšanos vienā veģetācijas sezonā, kā arī sekmē padēlu veidošanos. Augusta dzinumi var izraisīt vadošā dzinuma nomaiņu (Aldén, 1971). Konstatēts, ka augusta dzinumi biežāk sastopami to provenienču pēcnācējiem, kuriem augsts koku ar dubultām galotnēm īpatsvars (Ehrenberg, 1963).

Iepriekšējos pārskata periodos uzsākti pētījumi, salīdzinot koku ar augusta dzinumiem sastopamību atšķirīgu meža tipu un dažāda vecuma jaunaudzēs. Šajā pārskata periodā tie turpināti, raksturojot augusta dzinumu sastopamību tādos meža tipos, kas iepriekš paraugkopā bija salīdzinoši mazāk pārstāvēti, un detalizētāk vērtējot augusta dzinumu ietekmi uz stumbra kvalitāti (padēlu veidošanos).

1.1. Augusta dzinumu vērtēšanai izvēlētā paraugkopa un uzmērīšanas metodika

Augusta dzinumu sastopamība, to veidošanos ietekmējošie faktori, kā arī augusta dzinumu iespējamā saikne ar koku produktivitāti un kvalitāti raksturojošām pazīmēm novērtēta, ievācot datus priežu jaunaudzēs Latvijas centrālajā daļā (56°38'–56°57'Z plat.; 23°39'–24°50'A gar.):

1) 55 pēc nejaušības principa izvēlētās jaunaudzēs meža tipos, kur augusta dzinumu uzskaitē iepriekš nav veikta vai parauglaukumu skaits neliels; audžu vecums 3–5 gadi, slapjaini, āreņi un kūdreņi, priežu tīraudzes (Mrs, Dms, Am, As, Kv, Km, Ks);

2) 10 jaunaudzēs, kur konkrētās sezonas augusta dzinumu uzskaitē iepriekš veikta 2011.gada veģetācijas perioda beigās un 2012.gada veģetācijas perioda beigās – audžu vecums 4–9 gadi, meža tips – damaksnis (3 jaunaudzes), šaurlapju ārenis (3 jaunaudzes), šaurlapju kūdrenis (4 jaunaudzes), priežu tīraudzes.

Kopumā ievāktais materiāls ir plašāks nekā projekta darba uzdevumos paredzētais (55 jaunaudzes, tai skaitā pieci tāda paša vecuma iedzimtības pārbaužu stādījumi), kas saistīts ar nepieciešamību iegūt materiālu precīzākai starpgadu variācijas un padēlu formēšanās novērtēšanai.

Augusta dzinumu novērtēšanai izvēlēti nogabali, kuru platība vismaz 0,5 ha; katrā no tiem ierīkoti 20 aplveida parauglaukumi (parauglaukuma platība 25 m²). Noteikts priežu skaits parauglaukumā, norādot koka atjaunošanās veidu (stādīts vai pašizsējas); koki, kuru

augstums nepārsniedza 1/3 no valdaudzes vidējā koku augstuma, uzskaitīti atsevišķi un turpmākajā datu analīzē nav ietverti. Kokiem, kuriem izveidojušies augsta dzinumi, reģistrēts zaru mieturis, kurā augsta dzinums konstatēts, skaitot 2013.gada pieauguma beigās izveidojušos gala pumpuru par 0.mieturi (1.1(a).att.), 2012.gada pieauguma beigās izveidojušos zaru mieturi par 1.mieturi (1.1(b).att.) utt., atsevišķi norādot augsta dzinumus sānzariem. Līdzīgā veidā (pa mieturiem) reģistrēti arī pārnadžu izraisīti un citi (piemēram, dendrofāgo kukaiņu izraisīti) bojājumi. Uzskaitīts arī, kurā mieturī redzams padēls, divas vai vairākas galotnes (1.2(a).att.), norādot to veidošanās iemeslu (augsta dzinums, bojājums, cits iemesls). Par padēlu uzskatīts zars, kura diametrs vismaz par 1/3 lielāks nekā pārējo zaru vidējais diametrs attiecīgajā mieturī, un šī zara un stumbra veidotais leņķis vismaz par 1/3 šaurāks nekā pārējo zaru veidotais vidējais leņķis. Atzīmēts arī, vai kokam bojājuma ietekmē notikusi galotnes maiņa. Atsevišķi izdalīti gadījumi, kad augsta dzinumu kādā no iepriekšējiem gadiem bija izveidojis centrālais pumpurs, kā rezultātā uz stumbra konstatējams papildus zaru mieturis (divi mieturi vienā veģetācijas sezonā) (1.2(b).att.).



(a)



(b)

1.1.attēls. Augsta dzinums 2013.gada veģetācijas sezonas beigās – 0.mieturī (a) un 2012.gada veģetācijas sezonas beigās – 1.mieturī (b).



(a)



(b)

1.2.attēls. Augsta dzinumu rezultātā veidojusies dubulta galotne (a) vai papildus mieturis (b).

Desmit objektos, kur novērojumi veikti atkārtoti, katram kokam noteikts arī augstums un pēdējo trīs gadu augstuma pieaugumi. Vienā no jaunaudzēm konstatēti ievērojami dendrofāgo kukaiņu bojājumi – no 157 uzskaitītajiem kokiem 67% koku novēroti kukaiņu bojājumi 2012.gada vai 2013.gada pieaugumam. No 28 kokiem, kuriem 2013.gadā šajā jaunaudzē izveidojušies augsta dzinumi, lielākajai daļai (20 kokiem) reģistrēti arī kukaiņu bojājumi. Šis objekts no turpmākās datu apstrādes izslēgts.

Dati ievākti 2013.gada septembrī. Datu apstrāde veikta, izmantojot t-testu, vienfaktora dispersijas analīzi un χ^2 testu.

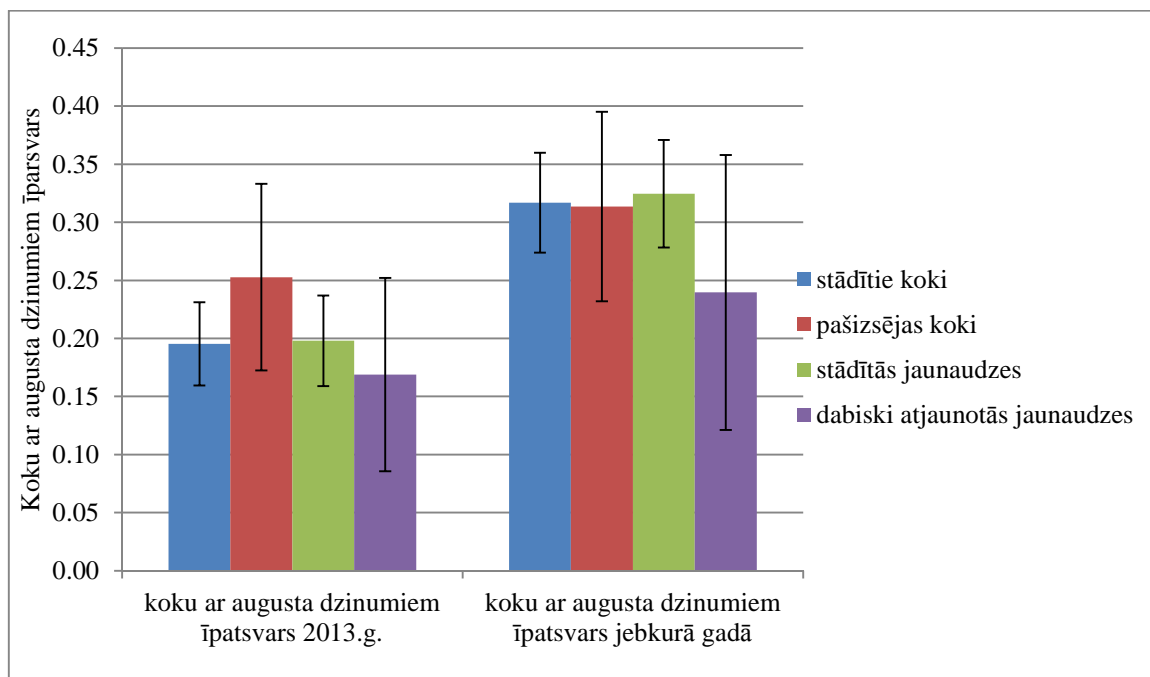
1.2. Augusta dzinumu vērtēšanas rezultāti

Lielākā daļa (50) no augusta dzinumu sastopamības novērtēšanai izvēlētajām 55 jaunaudzēm (3-5 gadu vecumā) bija atjaunotas stādot, un piecās notikusi dabiskā atjaunošanās. Jaunaudzēs, kas atjaunotas stādot, augusta dzinumu sastopamība novērtēta atsevišķi stādītajiem kokiem un pašizsējas kokiem (vērtējot kokus, kuru augstums sasniedz vismaz 1/3 no stādīto koku vidējā augstuma parauglaukumā). Koku ar augusta dzinumiem 2013.gada pieauguma beigās vidējais īpatsvars jaunaudzē stādīto koku grupā bija 19,5% un dabiskas izcelsmes koku grupā 25,3%; koku ar augusta dzinumiem jebkurā zaru mieturī (t.sk. sānzariem), t.i., jebkurā koka dzīves gadā, vidējais īpatsvars jaunaudzē attiecīgi 31,7% un 31,4%. T-testa rezultāti liecina, ka šīs galvenās pētāmās pazīmes - koku ar augusta dzinumiem 2013.gadā vidējais īpatsvars jaunaudzē un koku ar augusta dzinumiem jebkurā zaru mieturī vidējais īpatsvars jaunaudzē - statistiski būtiski neatšķiras stādīto un dabiskas izcelsmes koku grupās ($p>0,05$).

Novērtētas arī koku ar augusta dzinumiem īpatsvara atšķirības stādītajās jaunaudzēs (stādītajiem kokiem) un dabiski atjaunotās jaunaudzēs. T-testa rezultāti liecina, ka galvenās pētāmās pazīmes – koku ar augusta dzinumiem 2013.gadā un visā koka dzīves laikā kopumā vidējais īpatsvars jaunaudzē – statistiski būtiski neatšķiras stādītās un dabiski atjaunotās audzēs ($p>0,05$) (1.3.att.).

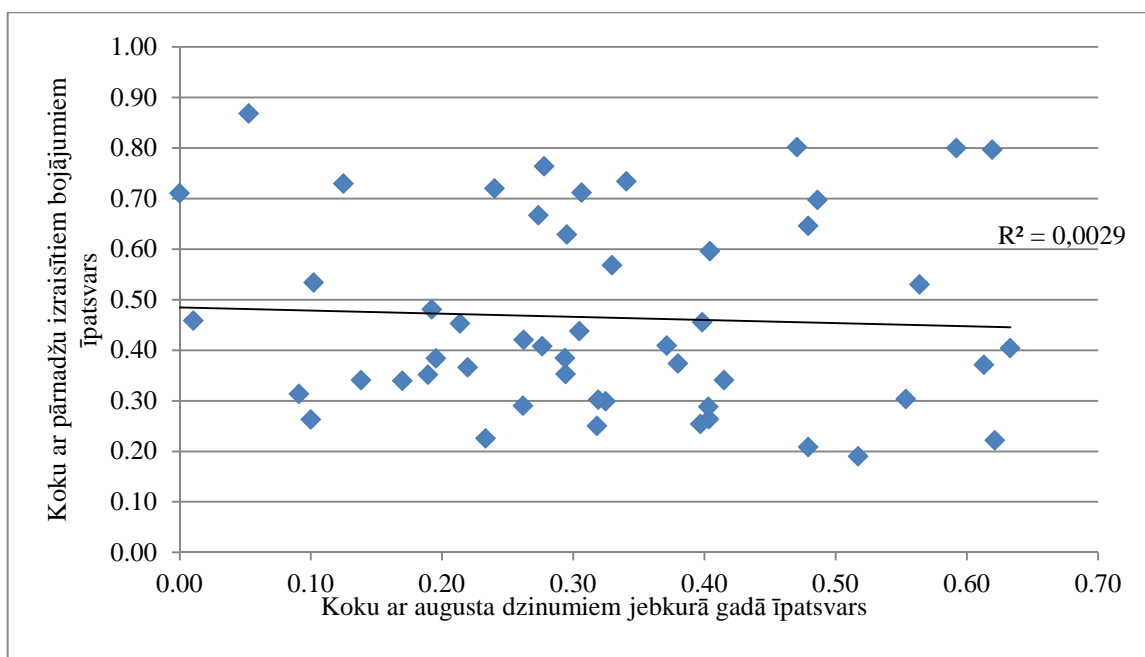
Tātad iegūtais rezultāts liecina, ka augusta dzinumu varbūtējās negatīvās ietekmes samazināšanas nolūkā, aizstājot priedes stādīšanu ar dabisko atjaunošanu, nebūtu iespējams būtiski samazināt augusta dzinumu veidošanos jaunaudzē.

Turpmākajā analīzē izmantoti stādīto koku dati no stādītajām jaunaudzēm.



1.3.attēls. Koku ar augusta dzinumiem īpatsvara salīdzinājums stādītiem un pašizsējas kokiem.

Jaunaudzēs konstatēti pārnadžu izraisīti bojājumi – bojāto koku īpatsvars bija robežās no 19% līdz 86,8% (vidēji 46,5%). Nav konstatēta sakarība starp augusta dzinumu veidošanos un pārnadžu izraisītiem bojājumiem. Tādām augusta dzinumu sastopamību raksturojošām pazīmēm kā augusta dzinumu īpatsvars 2013.gada beigās un augusta dzinumu īpatsvars vismaz vienā gadā visas koka dzīves laikā (t.sk. sānzariem), nav konstatēta korelācija ar pārnadžu bojātu koku īpatsvaru (attiecīgi $r=0,12$ un $r=0,05$; $p>0,05$; 1.4. att.) - līdzīgi iepriekšējā gadā iegūtajiem rezultātiem, kas atspoguļoti starpatskaitē par projekta „Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām” izpildes gaitu.

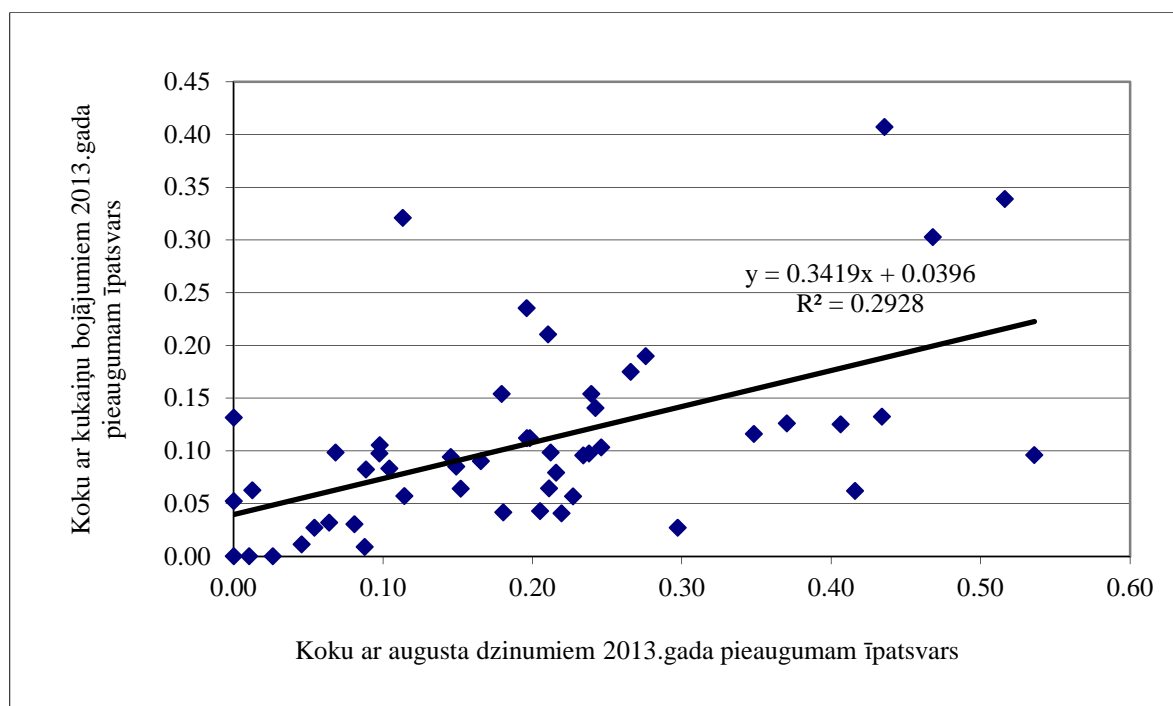


1.4.attēls. Sakarība starp augusta dzinumu veidošanos un pārnadžu izraisītiem bojājumiem.

Tātad pārnadžu izraisīti bojājumi nedz veicina, nedz arī kavē augusta dzinumu veidošanos, tāpēc tālākai augusta dzinumu sastopamības un ietekmes analīzei izmantoti visu stādīto jaunaudžu dati (stādītie koki), neatkarīgi no pārnadžu bojāto koku īpatsvara tajās.

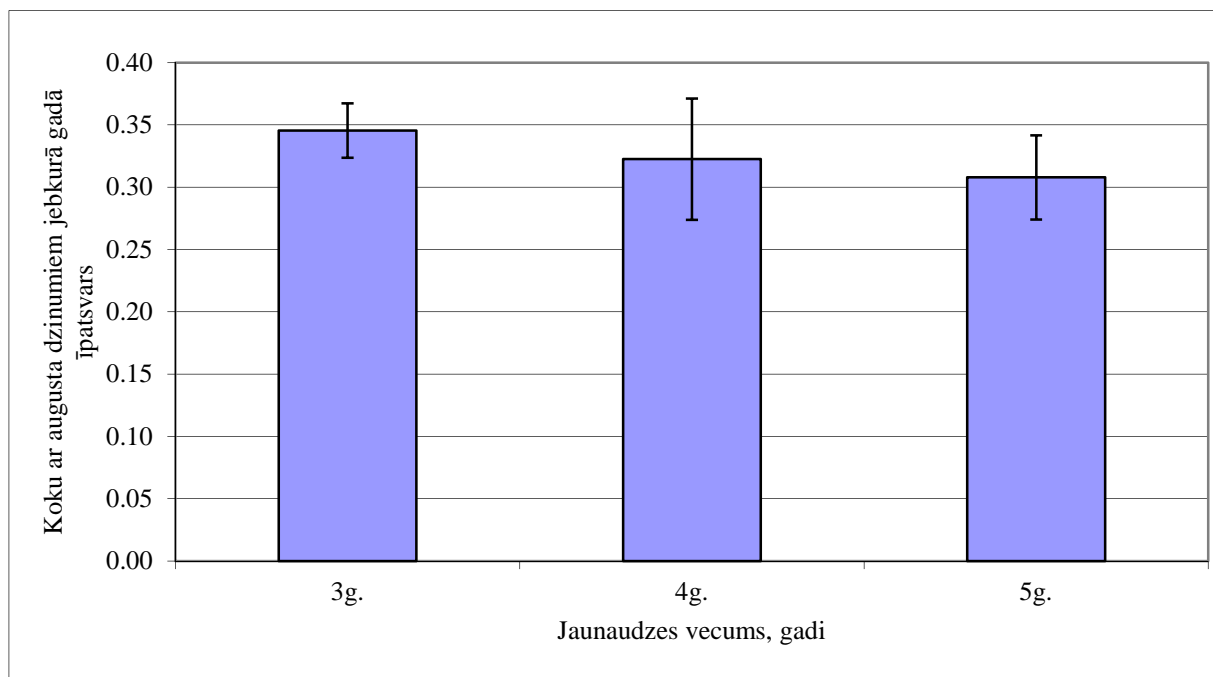
Atšķirīga situācija novērota dendrofāgo kukaiņu bojātajiem kokiem. Vairumam dendrofāgo kukaiņu sugu raksturīgs savairošanās cikliskums, tādēļ iepriekšējos divos gados kukaiņa izraisīti bojājumi netika novēroti. Bojājumi konstatēti lielākoties 2013.gada galotnes dzinumam. Analizējot iespējamo sakarību starp augusta dzinumiem un dendrofāgo kukaiņu izraisītiem bojājumiem, konstatēta pozitīva korelācija ($r=0,54$; $p<0,01$) starp koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru 2013.gada beigās (bet ne citos koka dzīves gados) un kukaiņu radītiem bojājumiem (1.5.att.).

Atkarībā no dendrofāgo kukaiņu izraisīto bojājumu intensitātes, jaunaudzes iedalītas četrās klasēs: 1.klase – bojāto koku īpatsvars $\leq 0,050$; 2.klase $0,051-0,100$; 3.klase $0,101-0,150$; 4.klase $\geq 0,151$ (audžu skaits klasē 10-19). Veicot vienfaktora dispersijas analīzi, konstatēts, ka pastāv būtiskas atšķirības starp šīm klasēm, tikai salīdzinot koku ar augusta dzinumiem 2013.gada beigās īpatsvaru ($p<0,01$), bet ne citos iepriekšējos gados, t.sk., salīdzinot koku ar augusta dzinumiem vismaz vienā gadā (2009.-2013.) īpatsvaru ($p>0,05$). Tāpēc turpmākajā analīzē, pētot augusta dzinumu sastopamību atkarībā no jaunaudzes vecuma un meža tipa, izmantots koku ar augusta dzinumiem vismaz vienā zaru mieturī īpatsvars jaunaudzē.



1.5.attēls. Sakarība starp augusta dzinumu veidošanos un dendrofāgo kukaiņu izraisītiem bojājumiem.

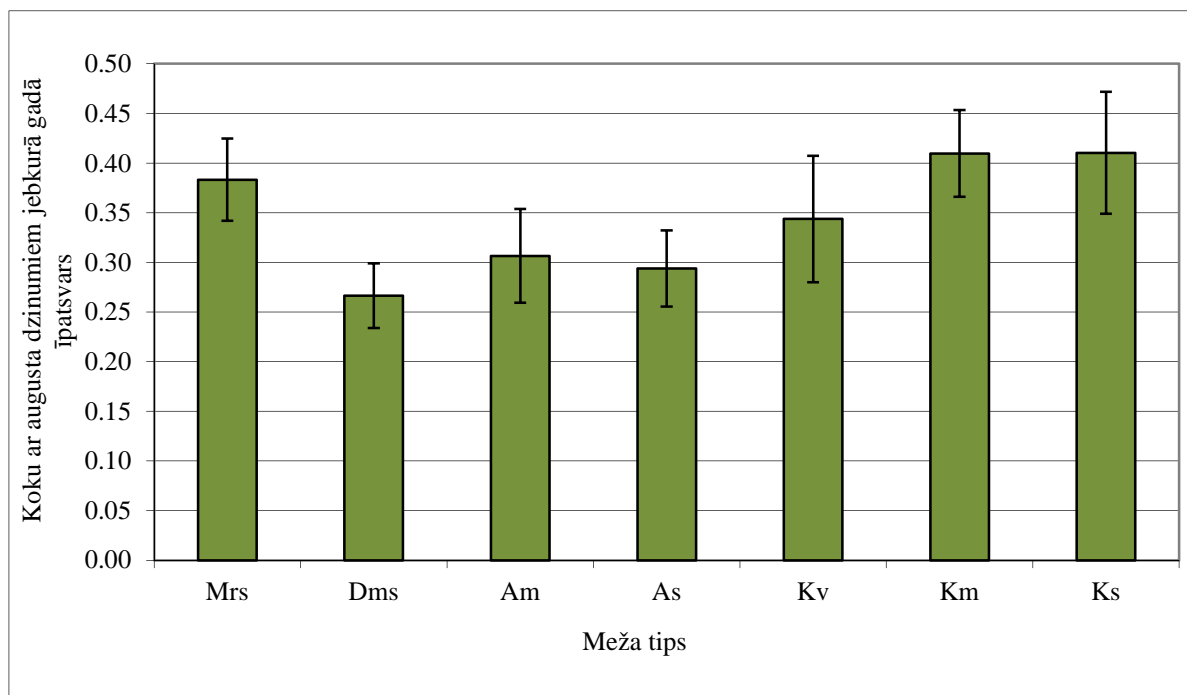
Vienfaktora dispersijas analīzes rezultāti (parauglaukumu līmenī), liecina, ka audzes vecumam nav būtiskas ietekmes ($p > 0,05$) uz koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru jaunaudzē (1.6.att.), kas saskan ar iepriekšējā gadā iegūtajiem rezultātiem, kas atspoguļoti starpatskaitē par projekta „Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām” izpildes gaitu.



1.6.attēls. Koku ar augusta dzinumiem īpatsvars dažāda vecuma jaunaudzēs.

Meža tipam ir statistiski būtiska ietekme ($p < 0,001$) uz koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru (2009.-2013.) jaunaudzēs uz slapjām un nosusinātām minerālaugsnēm un

nosusinātām kūdras augsnēm (vienfaktora dispersijas analīzes rezultāti, parauglaukumu līmenī; 1.7.att.). Vismazākais koku ar augusta dzinumiem īpatsvars konstatēts slapajā damaksnī (26,6%), un tas ir būtiski mazāks nekā mētru un šaurlapju kūdrenī (41%), kā arī slapajā mētrājā (38,3%). Līdzīgi arī 2011.gadā veiktā augusta dzinumu uzskaites datu analīze parādīja, ka priežu jaunaudzēs šaurlapju kūdreņos bija statistiski būtiski ($p < 0,05$) lielāks koku ar augusta dzinumiem īpatsvars (vidēji $23,7 \pm 5,9$ %) nekā pārējos meža tipos.



1.7.attēls. Koku ar augusta dzinumiem īpatsvars dažādu meža tipu jaunaudzēs.

Pētījuma objektos slapajā damaksnī 2013.gadā, salīdzinājumā ar objektiem citos meža tipos, lielākā mērā novērota koku augšanai nelabvēlīgu vides apstākļu ietekme (pastiprināts mitrums un aizzēlums), tomēr kopumā, salīdzinot augusta dzinumu sastopamību dažādos meža tipos, nav konstatējama noteikta tendence koku ar augusta dzinumiem īpatsvara saistībai ar meža tipam raksturīgiem augsnes mitruma un auglības apstākļiem. Tātad rezultāti liecina, ka priedei, atšķirībā no egles, nav vērojama izteikta augusta dzinumu sastopamības palielināšanās tendence, uzlabojoties mikrovides apstākļiem tiešā koka tuvumā.

Raksturojot koku stumbra kvalitāti, stādītājās jaunaudzēs stādīto koku grupā (5399 koki) aptuveni pusei koku vismaz vienā zaru mieturī konstatēts padēls vai divas (vai vairākas) galotnes (turpmāk tekstā – padēli). Lielākā daļa šo padēlu (vidēji 37,4%) veidojušies bojājumu (pārsvarā pārnadžu izraisītu) dēļ; koku īpatsvars ar vismaz vienā zaru mieturī konstatētu padēlu, kas radies bojājuma dēļ (t.sk., notiekot koka galotnes maiņai), atsevišķās jaunaudzēs bija no 12,1% līdz 78,9%. Vidēji 10,2% jaunaudzes koku kā padēla veidošanos izraisošs cēlonis novērots augusta dzinums attiecīgajā zaru mieturī; atsevišķās jaunaudzēs šīs pazīmes vērtība bija no 0 līdz 32,3%. Daļai koku (vidēji 3,7%, maksimāli 15,2%) konstatēts papildus zaru mieturis, kas radies gadījumā, kad papildpieaugums (augusta dzinums) izveidojies tieši centrālajam (vadošajam) pumpuram. Tādu koku īpatsvars, kam augusta dzinuma dēļ izveidojies padēls un/vai papildus zaru mieturis, vidēji bija 13,1% (maksimāli 39,6%) no visiem audzes kokiem.

Pirmajā zaru mieturī (skaitot no galotnes) augusta dzinums reģistrēts 720 kokiem (13,3%). No šiem kokiem lielākajai daļai (63,5%) augusta dzinuma dēļ izveidojies padēls. Otrajā zaru mieturī (skaitot no galotnes) augusta dzinums reģistrēts 3,4% koku. Arī no šiem kokiem lielākajai daļai (59%) izveidojies padēls. Kopumā 886 kokiem (16,4%) novērots augusta dzinums vismaz vienā zaru mieturī (pirmajā vai senāk). No šiem kokiem 64,2% izveidojies vismaz viens padēls augusta dzinuma dēļ, 23,7% izveidojies vismaz viens papildus mieturis, un 82,5% koku izveidojies padēls un/vai papildus mieturis vismaz vienā koka dzīves gadā.

1.3. Mikrovides apstākļu un koka vitalitātes ietekme uz augusta dzinumu veidošanos

Iepriekšējos gados (2011., 2012.) novērtējot jaunaudzēs koku ar augusta dzinumiem īpatsvars nogabalos damakšņa, šaurlapju āreņa un šaurlapju kūdreņa meža tipos bija robežās no 0-43,4% (vidēji 7,6%) 2011.gadā (apsekots 2012. gada ziemā) 3-7 gadus vecās jaunaudzēs (50 objekti) un robežās no 1,4-39,7% (vidēji 12,6%) 2012.gadā 4-8 gadus vecās jaunaudzēs (12 objekti, izvēlēti no 2011.gadā apsekotajiem). Deviņās no šīm audzēm augusta dzinumu sastopamība (5-9 gadu vecumā) novērtēta arī 2013.gada rudenī; koku ar augusta dzinumiem vidējais īpatsvars 3,4% (robežās no 0-5,2%). Tā kā 2013.gada rudenī šajās 9 jaunaudzēs parauglaukumos kokiem tika reģistrēts augusta dzinums ne vien 2013.gada pieauguma beigās, bet arī jebkurā no iepriekšējiem koka dzīves gadiem, tad bija iespējams salīdzināt datus, kas iegūti tieši augusta dzinuma veidošanās laikā un 1-2 gadus vēlāk – tātad analizēt augusta dzinumu izraisītās sekas un to novērtēšanas iespējas vēlākos gados pēc tā izveidošanās. Atsevišķos gadījumos 2013.gadā novērots lielāks augusta dzinumu īpatsvars nekā to veidošanās gadā, kas liecina par šīs pazīmes ievērojamo mainību atkarībā no mikrovides apstākļiem – konkrēta parauglaukuma vietas izvēles. Tomēr lielākoties (70% gadījumu) augusta dzinumu veidošanās gadā konstatēts lielāks augusta dzinumu īpatsvars nekā, uzskaiti veicot vēlākos gados, turklāt situācija ir līdzīga neatkarīgi no tā, vai pēc augusta dzinuma izveidošanās pagājis viens vai divi gadi. Šajā gadījumā atšķirības augusta dzinumu īpatsvarā atkarībā no novērtēšanas brīža nav izskaidrojamas tikai ar konkrēta parauglaukuma apstākļiem. Ja augusta dzinumu nākamajā vai aiznākamajā gadā pēc tā izveidošanās nav iespējams redzēt (uzskaitīt), tad tā ietekmi uz koka stumbra kvalitāti var uzskatīt par mazsvarīgu. Jāņem vērā, ka konkrētā gadā uzskaitītu augusta dzinumu daudzums var būt lielāks nekā attiecīgajā mieturī vēlākajos gados uzskaitītu augusta dzinumu daudzums arī tādēļ, ka pēc konkrētā gada augusta dzinumu uzskaites ziemas periodā var tikt bojāta (visbiežāk pārnadžu nokosta) koka galotne ar augusta dzinumu, sānzaram kļūstot par galotni (sānzariem augusta dzinumi veidojas ievērojami retāk). Vairumā gadījumu augusta dzinums iepriekšējos mieturos ir redzams arī divus gadus pēc tā izveidošanās, tātad iespējama vairāk vai mazāk paliekoša stumbra kvalitātes defekta rašanās – attiecīgajā mieturī veidojas padēls, dubulta galotne vai papildus zaru mieturis.

Par atkārtotu augusta dzinumu veidošanos vienam un tam pašam kokam liecina tas, ka no 4794 kokiem (izslēdzot no analīzes kokus ar 2013.gadā novērotiem kaitēkļu izraisītiem bojājumiem) augusta dzinums vismaz vienā zaru mieturī (pirmajā vai senāk) novērots 791 kokam (16,5%), bet no šiem kokiem 22,8% koku augusta dzinums bija arī 2013.gadā.

Parauglaukumos tika uzmērīts katra koka augstums un pēdējo triju gadu augstuma pieaugumi, kas ļauj analizēt augusta dzinumu veidošanās iespējamu saistību ar koka produktivitāti raksturojošām pazīmēm. Koki (stādītie) pēc to augstuma pieaugumiem tika

sadalīti grupās: virs 60cm, 51-60cm, 41-50cm, 31-40cm un zem 30cm. Analizējot augstuma pieaugumu kokiem ceturtajā dzīves gadā un ceturtais sezonas beigās izveidojušos augusta dzinumus (489 koki), konstatētas statistiski būtiskas atšķirības (χ^2 tests; $p < 0,001$) starp koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru dažādās pieaugumu grupās, turklāt vērojama sakarība, ka pieaugumam samazinoties, samazinās arī augusta dzinumu sastopamība. Tomēr, analizējot augstuma pieaugumu kokiem trešajā dzīves gadā un trešās sezonas beigās izveidojušos augusta dzinumus (317 koki), kā arī piektajā dzīves gadā un piektās sezonas beigās izveidojušos augusta dzinumus (754 koki), nav konstatētas statistiski būtiskas atšķirības (χ^2 tests; $p > 0,05$) starp koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru dažādās pieaugumu grupās. Ietverot kopējā analizē pieaugumu 3.-6.dzīves gadā (ieskaitot) un attiecīgās sezonas beigās izveidojušos augusta dzinumus, koku ar augusta dzinumiem īpatsvars atsevišķās pieauguma grupās ir robežās no 8% līdz 11%, noteikta tendence nav novērojama, un atšķirības nav statistiski būtiskas ($p > 0,05$).

Analizēta arī sakarība starp koku augstumu un augusta dzinumu sastopamību. Koki pēc to augstuma 2013.gada sezonas beigās sadalīti četrās grupās: virs 300cm, 251-300cm, 201-250cm, 151-200cm, līdz 150cm, no vērtējuma izslēgta jaunaudzē 9 gadu vecumā. Analizējot augusta dzinumu sastopamību pirmajā mieturī un otrajā mieturī (skaitot no galotnes), konstatētas statistiski būtiskas atšķirības (χ^2 tests; $p < 0,001$) starp koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru dažādās augstuma grupās (pēdējā gada augusta dzinumu daudzums testa veikšanai nav pietiekamā apjomā). Vismazākais augusta dzinumu īpatsvars (gan pirmajā, gan otrajā mieturī) ir kokiem vislielākā augstuma grupā (virs 300 cm) un vismazākā augstuma grupā (zem 150 cm), kas, iespējams, saistīts ar koku augstuma un vecuma ietekmes kombināciju.

Lai noskaidrotu augusta dzinumu sastopamības iespējamo saistību ar koku vecumu, tika analizēti augusta dzinumu uzskaites dati pirmajā, otrajā un trešajā mieturī, skaitot no koka galotnes, piemēram, koku ar augusta dzinumiem īpatsvars 4 gadus vecā jaunaudzē ir gan koku ar augusta dzinumiem pirmajā mieturī īpatsvars 5 gadus vecā jaunaudzē, gan koku ar augusta dzinumiem otrajā mieturī īpatsvars 6 gadus vecā jaunaudzē, u.tml. Pastāv statistiski būtiskas atšķirības ($p < 0,05$) starp augusta dzinumu īpatsvaru gan dažādā koku vecumā, gan dažādos meža tipos, tomēr ievērojamas (un statistiski būtiskas) ir arī atšķirības starp dažādiem objektiem vienā vecumā un vienā meža tipā; nav konstatējama noteikta ar koku vecumu vai meža tipu izskaidrojama augusta dzinumu īpatsvara palielināšanās vai samazināšanās tendence.

Lai gan damaksnī kopumā 3-6 gadu vecumā vērojama koku ar augusta dzinumiem īpatsvara samazināšanās, bet šaurlapju ārenī un šaurlapju kūdrenī 3-5 gadu vecumā - palielināšanās (analīze parauglaukumu līmenī, $p < 0,05$), tomēr jāuzsver, ka šajā analizē izmantoti „mieturu” uzskaites dati – tāpēc ne visām jaunaudzēm konkrētajā vecumā bija līdzīgi meteoroloģiskie apstākļi (piemēram, piecu gadu vecumu divas jaunaudzes bija sasniegušas 2013.gadā, divas – 2012.gadā, četras – 2011.gadā dažādos meža tipos, viena – 2009.gadā).

Analizējot koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru (augusta dzinums uzskaitīts vismaz vienā no iepriekšējiem koka dzīves gadiem), noteikta ar vecumu saistīta tendence šādu koku īpatsvaram jaunaudzē nav konstatēta: 5 gadus vecās audzēs koku ar augusta dzinumiem īpatsvars ir 41,2%, 6 gadus vecās audzēs 11,8%, septiņus gadus vecās audzēs 28,6%. Tas netieši liecina, ka nozīmīgāka par koka vecuma ietekmi (analizētajā vecuma intervālā damaksnī, šaurlapju ārenī un šaurlapju kūdrenī) ir meteoroloģisko apstākļu ietekme uz augusta dzinumu veidošanos konkrētā veģetācijas sezonā.

Kopumā var secināt, ka gan meža tipam, gan meteoroloģiskajiem apstākļiem konkrētajā gadā ir būtiska ietekme uz augusta dzinumu veidošanos. Tāpat nozīmīgs augusta dzinumu veidošanās cēlonis (neatkarīgi no meža tipa) var būt dendrofāgo kukaiņu bojājumi. Lielākais koku ar augusta dzinumiem īpatsvars novērots konstatēts šaurlapju kūdrenī. Konstatēts, ka augusta dzinumi priecai apmēram pusē gadījumu (59-64%) izraisa arī pēc 1-2 veģetācijas sezonām redzamu padēla veidošanos.

Kompleksi vērtējot 2 sezonu mērījumu datus, var secināt, ka:

- 1) priežu jaunaudzū ierīkošana šaurlapju un platlapju kūdrenī saistīta ar paaugstinātu padēlu veidošanās varbūtību un rekomendējama tikai pēc tās ekonomiskās ietekmes izvērtēšanas;
- 2) ņemot vērā, ka klimata izmaiņu ietekmē veidosies apstākļi, kuros sagaidāma biežāka augusta dzinumu un padēlu veidošanās, kā arī ievērojamo koku ģenētikas ietekmi uz šīm pazīmēm (augusta dzinumu un padēlu veidošanos), rekomendējams tās vērtēt meža selekcijas procesā, neiekļaujot sēklu plantāciju klonu skaitā tādus, kuriem konstatēts augsts pēcnācēju ar augusta dzinumiem īpatsvars.

2. Padēlu veidošanās jaunaudzēs vecumā ietekme uz koka stumbra kvalitāti

Vairums pētnieku par padēlu uzskata zaru, kura veidotais leņķis ar stumbra garenasi ir šaurāks par 30° (Moore, 2009; Schermann et al., 1997; Temel, Adams, 2000). Kā dubultas galotnes, atšķirībā no padēliem, šaura leņķa (<30°) zari definējami gadījumos, kad to diametrs lielāks nekā puse no stumbra diametra (Schermann et al., 1997; Temel, Adams, 2000).

Zaru (t.sk. padēlu) izmēriem un izvietojumam ir izšķiroša ietekme uz koksnes kvalitāti un zāģmateriālu iznākumu. Zarainība gan pazemina zāģmateriālu estētisko kvalitāti, gan maina mehāniskās īpašības. Zari būtiski samazina zāģmateriālu koksnes lieces stiprību un stingrību, jo zara vietā koksnes šķiedru novirzīšanās (izliekšanās, sagriešanās) no stumbra garenass koksne rada mehāniskā ziņā vājākas vietas (Carmer, 1988). Šo īpašību ietekmes dēļ ir izveidoti standarti, kas nosaka kokmateriāla atbilstību attiecīgajam sortimentu veidam definētajām kvalitātes (t.sk. zaru īpašību) prasībām (Eiropas standarti LVS EN 1611-1 un LVS EN 33). Tādējādi zarainība mazina koksnes pieprasījumu tirgū un cenas. Koksnes stiprības un stingrības samazināšanās pakāpe atkarīga no zaru izmēra, izvietojuma, formas un nokalšanas (atmiršanas) stadijas (Carmer, 1988; Megraw, 1996; Schermann et al., 1997; Tong et al., 2013; Xiong, 2010). Lielākas zaru vietas zāģmateriālā veido augošā kokā esošie šaurāka leņķa zari – padēli. Tā kā padēli veidojas kā salīdzinoši resnāki zari un no koka stumbra atdalās šaurā leņķī, tad tie veido salīdzinoši lielāku stumbra tilpuma daļu, līdz ar to samazinot iegūstamo vērtīgo sortimentu apjomu gan kopšanas, gan galvenajā cirtē (Ehrenberg, 1970; Jayawickrama et al., 2009; Schermann et al., 1997; Tong et al., 2013). Koksnes strukturālās izmaiņas var samazināt koka izturību pret vēja izraisītiem bojājumiem (Søgaard et al., 2011).

Padēlu sastopamību ietekmē koku suga, audzē veiktie mežsaimnieciskie pasākumi, vides un ģenētiskie faktori.

Tādi mežsaimnieciskie pasākumi, kā stādīšanas biežums, kopšanas cirtes, mēslošana var ietekmēt resnāku zaru veidošanos. Secinājumi par palielināta stādīšanas biežuma pozitīvo ietekmi uz padēlu sastopamības samazināšanu iegūstami galvenokārt no pētījumu rezultātiem par zaru resnuma atšķirībām. Piemēram, provenienču pētījumā Vācijā parastajai priedei 10 gadu vecumā konstatētas būtiskas zaru resnuma atšķirības dažādām proveniencēm un objektos ar atšķirīgu ierīkošanas biežumu (4444, 6666 un 13333 koku ha⁻¹), turklāt arī proveniences un ierīkošanas biežuma mijiedarbības faktora ietekme izrādījies būtiska. Tātad ne visas proveniences zaru resnuma ziņā vienādi reaģējušas uz stādījuma biežuma atšķirībām (Kohlstock, Schneck, 1998). Pētot Kanādas egles (*Picea glauca* [Moench] Voss) koku zarojuma pazīmes (32 gadu vecumā) ar datortomogrāfijas palīdzību no stādījuma ar ierīkošanas biežuma variantiem 780-12600 koku uz hektāra, novērota tendence, ka kokiem mazākā stādīšanas biežumā zari ir resnāki (Tong et al., 2013). Tomēr, ņemot vērā, ka par padēlu zars klasificējams ne vien tā resnuma, bet, galvenokārt, šaurā leņķa dēļ, tad nozīmīgs augsta stādīšanas biežuma pozitīvais efekts uz padēlu īpatsvara samazināšanu mežaudzē ir apšaubāms.

Veicot kopšanas cirtes, izcērtami ne vien dažādu faktoru bojātie un augšanā atpalikušie, bet arī sliktas kvalitātes koki - ļoti zaraini, līki, kā arī koki ar vairākām galotnēm vai padēliem (Kopšanas ciršu rokasgrāmata, 2008). Iepriekšējā nodaļā analizētajās priežu jaunaudzēs 3-9 gadu vecumā aptuveni pusei koku novērots vismaz viens padēls vai dubulta galotne (radušies dzīvnieku izraisīta bojājuma, augsta dzinuma vai cita iemesla dēļ), turklāt šie stumbra kvalitātes defekti konstatēti gan dominējošiem, gan augšanā atpalikušiem kokiem; savukārt

priežu brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumos 32 gadu vecumā padēls konstatēts vidēji 10-19% koku. Nozīmīgi ir pētījumi, kuros skaidrots, vai un cik lielā mērā padēli, kas kokiem izveidojušies agrīnā vecumā, var ietekmēt stumbra kvalitāti vēlākos gados, iegūstot konkrētus kokmateriālu sortimentus. Zari sākotnēji aug salīdzinoši šaurā leņķī uz augšu, sasniedzot maksimālo diametru, un pēc tam to novietojums kļūst horizontālāks (Ehrenberg, 1963; Franklin, Callahan, 1970; Tong et al., 2013). Atkārtoti nosakot stumbra kvalitātes pazīmes duglāzijai, konstatēts, ka no kokiem, kuriem 12 gadu vecumā novērots padēls, 62% gadījumu tas konstatējams arī 24 gadu vecumā, bet vairums (53%) dubulto galotņu (12 gadu vecumā) atkārtotās uzmērīšanas laikā (24 gadu vecumā) uzskatāmas par padēliem (Temel, Adams, 2000). Vairāki autori (Barber, 1964; Campbell, 1965; Schermann et al., 1997) norādījuši, ka agrīnā vecumā sastopamie stumbra defekti ne vien pazemina pirmajās krājas kopšanas cirtēs iegūstamo kokmateriālu kvalitāti, bet arī pieaugušu koku ekonomisko vērtību, kaut arī līdz ar vecumu šie defekti augošam kokam koksnes pieauguma dēļ nav vizuāli konstatējami. Piemēram, duglāzijai sastopamā stumbra līkumainība starpmieturu posmos vēlākos gados ārēji nav novērojama, tomēr atstāj paliekošu ietekmi uz koksnes kvalitāti stumbra apakšējā nogrieznī – paaugstina reakcijas koksnes īpatsvaru (Campbell, 1965). Līdzīgi rezultāti iegūti arī *Pinus elliotti* pētījumos (Barber, 1964). Stumbra defektiem tā pirmajos nogriežņos (agrīnā – 10-15 gadu vecumā) ir salīdzinoši lielāka ekonomiskā nozīme (Barber, 1964; Schermann et al., 1997). Pietiekami augstas intensitātes kopšanas cirte dod iespēju lielākā mērā samazināt koku ar padēliem īpatsvaru mežaudzē. Tāpat padēlus iespējams nozāģēt, veicot augošu koku atzarošanu, tomēr jāņem vērā, ka pasākums ir dārgs, un padēlu zaru vietas lēnāk aizaug un atstāj lielākas rētas pēc koku atzarošanas (Barber, 1964; Schermann et al., 1997).

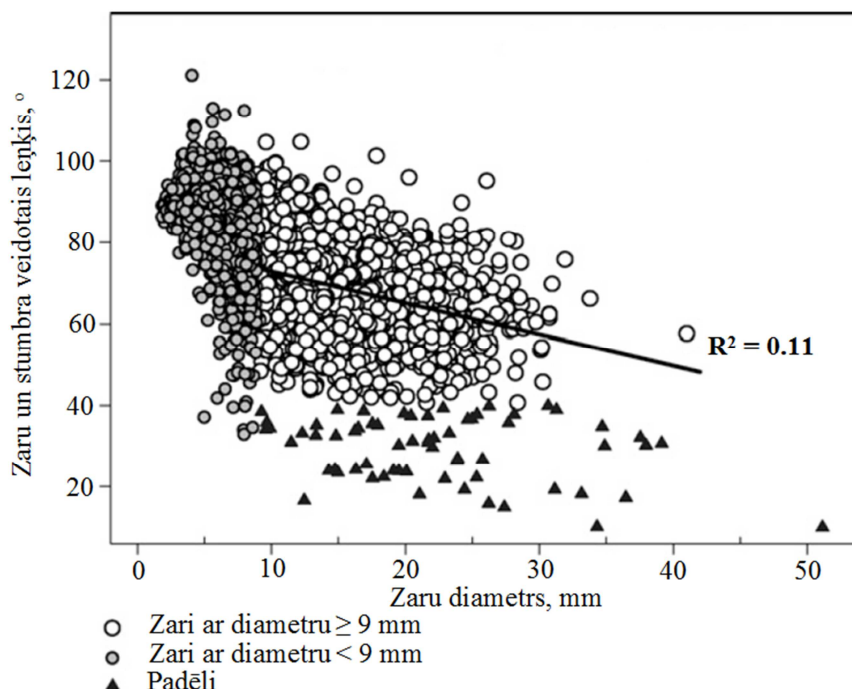
Pētījumos norādīts uz vides faktoru – augsnes auglības un meteoroloģisko apstākļu – ietekmi uz koku ar stumbra (t.sk., vadošā dzinuma) defektiem īpatsvaru, par ko liecina šī īpatsvara atšķirības starp vienas un tās pašas ģimenes pēcnācējiem dažādās stādījumu vietās un dažādos novērojumu gados, piemēram, parastajai priedei Zviedrijā 11 gadu vecumā (Ehrenberg, 1963). Pētījumos novērota stumbra defektu sastopamības palielināšanās tendence kokiem auglīgākā augsnē (Ehrenberg, 1963; Espinosa, 2009). Analizējot mēslošanas ietekmi uz dažādām terpentīna priedes pazīmēm pēcnācēju iedzimtības pārbaužu stādījumos 3 un 12 gadu vecumā Ziemeļkarolīnā, ASV, Espinosa (2009) konstatējis, ka slāpekļa mēslojuma lietošanas rezultātā paaugstinās dubultu galotņu un padēlu sastopamība.

Padēlu veidošanās tendence un līdz ar to šī stumbra kvalitātes defekta ekonomiskā nozīme dažādām koku sugām ir atšķirīga. Duglāzijai (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (MIRB.) FRANCO) dubultas galotnes un padēlus Schermann et al. (1997) norādījuši kā svarīgākos stumbra defektus. Pētot stumbra kvalitāti 80 brīvapputes ģimeņu pēcnācēju stādījumā 9 gadu vecumā, auglīgā augsnē (vidējais koku augstums 6 m), Klusā okeāna piekrastē, Vašingtonas štatā, ASV, konstatētais koku ar vismaz vienu dubultu galotni vai padēlu īpatsvars bija attiecīgi 26% un 46%, ar abiem defektiem – 15%. No kokiem, kam konstatēti šie zarojuma defekti, vairumam koku bija tikai viens padēls (60%) vai viena dubulta galotne (80%), tomēr maksimālais defektu skaits vienam kokam bija 7 padēli un 4 dubultas galotnes.

Vērtējot koku produktivitātes un stumbra kvalitātes pazīmes duglāzijai 90 brīvapputes ģimeņu pēcnācēju stādījumā Klusā okeāna piekrastē, Oregonas štatā, ASV, Temel un Adams (2000) konstatējuši, ka koku ar padēliem īpatsvars 24 gadu vecumā bija 30,2%. Vairumam koku (83%), kam nebija novēroti zarošanās defekti (padēli un/vai dubultas galotnes) 12 gadu vecumā, tie netika konstatēti arī 24 gadu vecumā.

Novērtējot Sitkas egles (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) stumbra kvalitātes defektus Lielbritānijā (64 audzēs 35-50 gadu vecumā, vidējais koku augstums 22,1±4,0 m, stumbra caurmērs 23,0±7,7 cm), secināts, ka koku ar padēliem īpatsvars audzē sasniedz maksimāli 88%, bet vidēji tas ir 37,2% (Moore et al., 2009).

Pētot Kanādas egles (*Picea glauca* [Moench] Voss) koku zarojuma pazīmes ar datortomogrāfijas palīdzību 16 kokiem no stādījuma Kanādā, auglīgā augsnē, 32 gadu vecumā (vidējais koku augstums 12,6 m), vienam kokam vidēji konstatēti 112 nozīmīgi (≥ 9 mm) zari, no kuriem 7% var pazemināt kvalitātes klasi, 3,6% bija padēli, bet 70% - zari, kuru veidotais leņķis ar stumbru bija robežās no 60° līdz 80° (šajā gadījumā leņķis, ko ar garenasi veido līnija koksne no zara sākumpunkta pie serdes līdz tālākajam punktam pie mizas). Padēli konstatēti 15 kokiem no 16, maksimālais padēlu skaits vienam kokam bija 16. Vienam kokam aptuveni 31% padēlu bija starp pieciem resnākajiem zariem. Zaru leņķis samazinājās, palielinoties zara diametram, t.i., resnākiem zariem konstatēts šaurāks zaru un stumbra garenass veidotais leņķis (2.1.att.); 8 no 16 kokiem padēli uzrādīja lielāku zaru resnumu nekā zari platākā leņķī (Tong et al., 2013).



2.1.attēls. Sakarība starp zaru resnumu un zaru un stumbra veidoto leņķi Kanādas eglei 32 gadu vecumā (Tong et al., 2013).

Terpentīna priedei (*Pinus taeda* L.), kas ir ekonomiski nozīmīgākā koku suga ASV dienvidaustrumu daļā, selekcijas programmas ietvaros 50 gadu laikā atlase veikta pēc tādām pazīmēm, kā augšanas ātrums, noturība pret slimībām un stumbra taisnums, bet salīdzinoši maza vērība pievērsta zarošanās defektu – dubultu galotņu un padēlu – sastopamībai, kas nozīmīgi pazemina koksnes kvalitāti un kvantitatīvo iznākumu, līdz ar to tās ekonomisko vērtību. Xiong (2010) veiktā pētījumā terpentīna priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos sešu gadu vecumā, vērtējot sibu ģimeņu pēcnācējus, koku ar dubultām galotnēm vidējais īpatsvars konstatēts 18% (robežās no 4% līdz 80% dažādās stādījumu vietās). Vērtējot klonu pēcnācējus, koku ar dubultām galotnēm vidējais īpatsvars konstatēts 17% (klonu vidējās vērtības robežās no 0% līdz 73%), padēlu vidējais īpatsvars 24% (klonu vidējās vērtības robežās no 3% līdz 50%).

Austrālijā priežu *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* hibrīdu klonu selekcijas programmas īstenošanas ietvaros konstatēts, ka no 1200 kloniem tikai 175 uzrādīja pārākumu vairāku pazīmju kompleksā vērtējumā – pēc stumbra tilpuma un taisnuma, kā arī stumbra formas (zems koku ar dubultu galotni vai padēlu īpatsvars). Kā salīdzinoši augsts (virs vidējā) atzīmēts padēlu īpatsvars 29% no visiem uzmērītajiem klona rametiem.

Parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) iedzimtības pārbaužu stādījumos Zviedrijā konstatēts, ka 11 gadu vecumā pluskoku un mīnuskoku krustojumu pēcnācēju stādījumos koku ar dubultām galotnēm vidējais īpatsvars sasniedz 30%; to lielā mērā nosaka mīnuskoku pēcnācēju vērtējums (Ehrenberg, 1963).

Pētot vides apstākļu nozīmi zarošanās defektu sastopamībā vienas koku sugas ietvaros, vairāki autori akcentējuši sala bojājumu būtisko ietekmi uz dubultu galotņu veidošanos, kad galotnes centrālā pumpura bojājuma dēļ divu vai vairāku sānu pumpuru līdzvērtīga augšana sekmē vairāku galotņu attīstību un savstarpēju konkurenci (Barber, 1964; Franklin, Callaham, 1970). Līdzīgā veidā, jebkuri citi vadošā dzinuma bojājumi – putnu, dzīvnieku, vēja, slimību, kaitēkļu izraisīti – var sekmēt vairāku galotņu veidošanos (Xiong, 2010). Franklin un Callaham (1970) klinškalnu priedei (*Pinus contorta* var. *murrayana* Engelm.) iedzimtības pārbaužu stādījumos piecu gadu vecumā konstatējuši, ka kaitēkļu bojājumu dēļ veidojusies samērā neliela, tomēr nozīmīga daļa no visām reģistrētajām dubultajām galotnēm – 10%. Vairāki autori norādījuši, ka arī augusta dzinumu veidošanās saistīta ar stumbra kvalitātes defektiem. Augusta dzinumu attīstība var pazemināt koku salcietību, piemēram, parastajai eglei (*Picea abies* (L.) Karst.). Salcietība sāk veidoties pēc galotnes pumpura noformēšanās, tāpēc, aktīvai augšanai beidzoties pārāk vēlu, galotnes dzinums var nesasniegt pietiekamu salcietības pakāpi, lai pārciestu rudens salnas. Līdz ar to rudens salnas var tieši bojāt audus vai arī izjaukt salcietības turpmāko attīstību; tas mazina auga izturību pret ziemas sala bojājumiem. Iespējams arī, ka vēla pumpura veidošanās veģetācijas perioda beigās ietekmē pumpura plaukšanas laiku nākamajā pavasarī, un līdz ar to paaugstinās pavasara salnu bojājumu risks (Gabrilavičius, Danusevičius, 2003; Sjøgaard et al., 2011). Augusta dzinumu attīstība var sekmēt vairāku galotņu izveidošanos divējādi: vai nu attīstās konkurētspējīgi augusta dzinumi no galotnes dzinuma sānu pumpuriem, vai arī gala pumpura augusta dzinums nozīmīgi cieš no sala bojājumiem (Pallardy, 2008). Attīstoties augusta dzinumam no sānu pumpura, galotnes dzinums var vēlāk atgūt savu vadošo lomu, un augusta dzinumi tādā gadījumā saglabājas kā liela izmēra zari, vai arī galotnes dzinums var zaudēt savu vadošo lomu, un augusta dzinums tādā gadījumā kļūst par galotni, stumbrs veidojas līks, un sākotnējā galotne saglabājas kā padēls (Ehrenberg, 1970).

Pētījumi par augusta dzinumu ietekmi uz parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) stumbra kvalitāti veikti jau 20.gs. 60.gados (West, Rogers, 1965). Provenienču izmēģinājumā Ņūdžersijā 6 gadu vecumā koku īpatsvars ar augusta dzinumiem bija 22–28%, un pēc diviem gadiem tika novērtēta stumbra kvalitāte – līkumainība un dubultu galotņu īpatsvars. No kokiem, kuriem sestās augšanas sezonas beigās bija izveidojušies augusta dzinumi, 15% novērota dubultas galotnes veidošanās septītā gada pieaugumam, kas bija būtiski ($\alpha = 0,01$) vairāk nekā kokiem bez augusta dzinumiem (6%). Autori novērojuši, ka dubultas galotnes veidošanās pirmajā gadā pēc augusta dzinuma attīstības bieži nav paliekoša – koks cenšas atjaunot galotnes dzinuma vadošo lomu nākamajā veģetācijas sezonā, tāpēc nepieciešami vismaz divu gadu novērojumi, lai novērtētu, vai augusta dzinumu attīstība veicinājusi paliekošas dubultas galotnes veidošanos. Ehrenberg (1963) pētījumā konstatēta saistība starp koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru un koku ar dubultām galotnēm īpatsvaru parastās

priedes krustojumu ģimeņu pēcnācējiem Zviedrijā 8-11 gadu vecumā. Carvell (1956) Rietumvirdžīnijā *Pinus resinosa* Ait. novērojis, ka sešu gadu vecumā 19% koku bija augusta dzinumi, un 76% no šiem kokiem nākamajā augšanas sezonā izveidojās divi vai vairāk spēcīgi vadošie dzinumi, tomēr nav zināms, vai vēlākajos gados dubultā galotne saglabājās.

Tomēr parastajai eglei kokaudzētavas vecumā Hoffmann (1965) nav novērojis būtisku augusta dzinumu ietekmi uz dubultas galotnes veidošanos – no 600 kokiem, kam novēroti augusta dzinumi, tikai diviem pēc tam izveidojusies dubulta galotne. Līdzīgi Danusevičius un Persson (1998) egļu provenienču pēcnācējiem nav konstatējuši sakarību starp augusta dzinumu veidošanos un stumbra kvalitātes pazemināšanos: korelācijas koeficients $r = -0,02$ ($p > 0,05$) starp augusta dzinumu īpatsvaru 5 gadu vecumā un stumbra kvalitātes vērtējumu (koki ar dubultu galotni, diviem stumbriem, padēliem) 9 gadu vecumā. Šajā pētījumā nav konstatēta arī būtiska sakarība starp augusta dzinumu īpatsvaru piektās augšanas sezonas beigās un salnu bojājumiem nākamā gada pavasarī. Sitkas eglei (8 gadu vecumā) novērota augusta dzinumu veidošanās saistība ar vēla rudens sala bojājumiem (Magnesen, 1986). Pētījumā Norvēģijas dienvidaustrumu daļā, analizējot augusta dzinumu iespējamo ietekmi uz egles stumbra kvalitāti, konstatēts, ka kokiem, kuriem novēroti augusta dzinumi, nākamajā gadā aptuveni par 45 % biežāk konstatētas vairākas galotnes nekā kokiem bez augusta dzinumiem, piemēram, 2008.gadā vairākas galotnes konstatētas < 5 % koku, kuriem nebija augusta dzinumu 2007.gadā, bet ~ 45 % koku, kuriem bija augusta dzinumi 2007.gadā; līdzīga situācija novērota arī 2009.gadā (attiecībā pret 2008.gadu) – attiecīgi ~ 10 % un ~ 50 % (Søgaard et al., 2011).

Duglāzijas iedzimtības pārbaužu stādījumā 9 gadu vecumā (Schermann et al., 1997) konstatēta pozitīva ģenētiskā korelācija starp koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru un koku ar stumbra kvalitātes defektiem īpatsvaru ģimenē (padēliem 0,72 un dubultām galotnēm 0,93). Schermann et al. (1997) konstatējuši, ka duglāzijai agrāka plaukšana pozitīvi korelē ($0,39 \pm 0,15$) ar augusta dzinumu īpatsvaru un stumbra defektiem (ģenētiskā korelācija padēliem $0,42 \pm 0,13$ un dubultām galotnēm $0,56 \pm 0,17$). Adams un Bastein (1994) duglāzijai konstatējuši, ka pastāv pozitīva ģenētiskā korelācija starp vidējo koku ar augusta dzinumiem 5, 6, 7 un 10 gadu vecumā īpatsvaru un koku ar dubultām galotnēm īpatsvaru 10 gadu vecumā ($r_A = 0,66$).

Ģenētisko faktoru ietekmi uz dažādu skuju kokų sugu stumbra kvalitātes pazīmēm pētnieki konstatējuši jau 20.gs. vidū, piemēram, analizējot stumbra līkumainību *Pinus elliotii* brīvapputes un kontrolēto krustojumu pēcnācējiem (Mergen, 1950), kā arī salīdzinot stumbra defektu sastopamību parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) pluskoku un mīnuskoku pēcnācējiem (Ehrenberg, 1958; Ehrenberg, 1963). Klinškalnu priedei (*Pinus contorta* var. *murrayana* Engelm.) Franklin un Callahan (1970) iedzimtības pārbaužu stādījumos piecu gadu vecumā konstatējuši, ka ģenētiskie faktori dubultu galotņu veidošanos ietekmē ģimeņu līmenī.

Zaru leņķim raksturīga augstāka ģenētiskās nosacītības pakāpe, salīdzinot ar citām zarojuma pazīmēm, piemēram, zaru resnumu, ko vairāk ietekmē apkārtējās vides apstākļi (Zobel, Jett, 1995). Xiong (2010) veiktajā pētījumā terpentīna priedes iedzimtības pārbaužu stādījumos sešu gadu vecumā individuāliem kokiem iedzimstamības koeficients dubulto galotņu sastopamībai bija zems (0,06), bet ģimenēm $h^2 = 0,59$. Autors secina, ka dubultu galotņu veidošanos ģimeņu līmenī lielā mērā nosaka ģenētiskie faktori, bet individuālu koku līmenī – galvenokārt vides apstākļi. Konstatēta vidēja ģenētiskā korelācija starp dubultu galotņu un padēlu sastopamību (0,68), kas liecina par to, ka abas pazīmes daļēji kontrolē vieni

un tie paši gēni, kas nodrošina iespēju selekcijas rezultātā iegūt pozitīvu efektu abām pazīmēm vienlaikus.

Analizējot *Pinus elliottii* brīvapputes pēcnācēju iedzimtības pārbaužu stādījumus 6-11 gadu vecumā Austrālijā (Dieters, 1996), konstatētas iedzimstamības koeficienta vērtības koku augstumam $h^2=0,19-0,24$, dubulto galotņu īpatsvaram $h^2=0,11-0,13$, padēlu īpatsvaram $h^2=0,10-0,11$; ģenētiskā korelācija koku augstumam $r_b=0,90-0,91$, dubulto galotņu īpatsvaram $r_b=0,79-0,93$, padēlu īpatsvaram $r_b=0,87-0,92$.

Pētot stumbra formas pazīmju ģenētisko nosacītību duglāzijai, aprēķinātās iedzimstamības koeficienta vērtības ģimenēm (padēlu īpatsvaram 0,43, dubulto galotņu īpatsvaram 0,35) brīvapputes pēcnācēju stādījumā 9 gadu vecumā liecina, ka stumbra kvalitāti var uzlabot ar selekcijas palīdzību. Starp padēlu īpatsvaru un dubulto galotņu īpatsvaru konstatēta ģenētiskā korelācija (0,54) ir pozitīva, bet vidēji cieša; tas nozīmē, ka šos abus stumbra defektus tikai daļēji kontrolē vieni un tie paši gēni (Schermann et al., 1997). Dubultu galotņu un padēlu sastopamībai konstatēta cieša pozitīva ģenētiskā korelācija (0,6 līdz 1,0) *Pinus elliottii* brīvapputes pēcnācēju iedzimtības pārbaužu stādījumos 6-11 gadu vecumā Austrālijā (Dieters, 1996). Temel un Adams (2000) norādījuši, ka nepieciešamība atsevišķi uzskaitīt šos abus stumbra zarošanās defektus ir apšaubāma, jo vairums (53%) dubulto galotņu atkārtotās uzmērīšanas laikā duglāzijai 12 un 24 gadu vecumā uzskatāmas par padēliem; ģenētiskā korelācija starp šīm stumbra kvalitātes pazīmēm 12 un 24 gadu vecumā bija augsta ($r_A \geq 0,82$).

Vairākos pētījumos norādīts, ka pastāv pozitīva sakarība starp koka augšanas pazīmēm un stumbra kvalitātes defektu veidošanos. Starp koku augstumu un dubultu galotņu īpatsvaru konstatēta vāja nevēlama ģenētiskā korelācija (0,18) terpentīna priedei sešu gadu vecumā (Xiong, 2010). Zaru izmēriem un padēlu sastopamībai duglāzijai konstatēta pozitīva ģenētiskā korelācija ar stumbra krūšaugstuma caurmēru (attiecīgi $r_A=0,56$ un $r_A=0,41$), turklāt ģenētiskā korelācija starp koku caurmēru un padēlu sastopamību 24 gadu vecumā (0,41) ir mazāka nekā 12 gadu vecumā (0,61) (Temel, Adams, 2000). Analizējot *Pinus elliottii* brīvapputes pēcnācēju iedzimtības pārbaužu stādījumus 6-11 gadu vecumā Austrālijā (Dieters, 1996), dubultu galotņu un padēlu sastopamībai konstatēta vidēja pozitīva ģenētiskā korelācija (0,2 līdz 0,6) ar augšanas pazīmēm (koka augstumu, stumbra caurmēru un tilpumu), turklāt šī korelācija 10 gadu vecumā ir augstāka nekā 6 gadu vecumā (atšķirībā no Temel, Adams (2000) pētījuma rezultātiem duglāzijai).

Duglāzijai 9 gadu vecumā stumbra defektiem konstatēta pozitīva ģenētiskā korelācija ar stumbra caurmēru (padēlu īpatsvaram 0,42 un dubultu galotņu īpatsvaram 0,59), tomēr autori (Schermann et al., 1997) akcentējuši, ka tā ir pietiekami zema, lai sekmīgi veiktu selekciju gan pēc stumbra tilpumu, gan labas stumbra kvalitātes (padēlu un dubultu galotņu samazināta īpatsvara). Līdzīgi Adams un Bastein (1994) duglāzijai brīvapputes ģimeņu pēcnācēju iedzimtības stādījumos 5-13 gadu vecumā, konstatējot pozitīvu ģenētisko korelāciju starp koku augstumu 13 gadu vecumā un koku ar dubultām galotnēm īpatsvaru 10 gadu vecumā ($r_A=0,53$), norādījuši uz iespējam selekcijas rezultātā palielināt koku augstumu, nepalielinot stumbra defektu – dubultu galotņu – sastopamību.

Stumbra kvalitātes defektu sastopamības samazināšana ar selekcijas metodēm ir efektīvāka un lētāka nekā ar mežsaimniecisko pasākumu palīdzību, piemēram, augstu stādīšanas biežumu, sastāva kopšanas cirtēm, augošu koku atzarošanu. Vairāki autori, konstatējot no mežsaimniecības viedokļa nevēlamu ģenētisko korelāciju (parasti zemu vai vidēju) starp koka produktivitātes un stumbra kvalitātes pazīmēm, akcentē nepieciešamību

selekcijas procesā pēcnācēju vērtēšanā iekļaut ne vien produktivitāti, bet arī stumbra kvalitāti raksturojošas pazīmes, kā arī definēt stumbra un koksnes kvalitātes pazīmju ietekmes īpatsvaru uz zāgmateriālu kvalitāti (Adams, Bastein, 1994; Cumbie et al., 2012; Dieters, 1996; Jayawickrama et al., 2009; Schermann et al., 1997; Temel, Adams, 2000; Xiong, 2010), tādējādi ar selekcijas metodēm uzlabojot stumbra kvalitāti.

Kopumā pētījumu par padēlu veidošanos un saglabāšanos turpmākās koka dzīves laikā, tādējādi ietekmējot tā stumbra monetāro vērtību, ir maz, jo šādai izpētei nepieciešami vai nu ļoti ilglaicīgi vienas un tās pašas paraugkopas novērojumi, vai pēdējā desmitgadē izmantotā pieauguša koka iekšējās zarojuma struktūras rekonstrukcija ar datortomogrāfiju, kas ir dārga un laikietilpīga, tādēļ līdz šim veikta ļoti nelielam koku skaitam.

Padēlu veidošanos un saglabāšanos skuju kokiem nosaka gan vide, gan koku ģenētika. Novērota stumbra defektu sastopamības palielināšanās tendence kokiem auglīgākā un/vai ar slāpekļa savienojumiem mēslotā augsnē. Padēlu veidošanās biežums dažādām koku sugām, tāpat kā proveniencēm vai atsevišķiem genotipiem to ietvaros, ir atšķirīgs. Parastajai eglei gan citviet, gan mūsu projektā veiktajos pētījumos nav konstatēta nozīmīga augusta dzinumu un padēlu veidošanās saikne, kā arī augsts koku ar padēliem īpatsvars, savukārt parastās priedes pētījumi liecina par nozīmīgu ģenētikas ietekmi uz augusta dzinumu, kā arī padēlu un/vai dubultu galotņu veidošanos, turklāt daļa no šiem stumbra defektiem saglabājas vismaz jaunaudzes vecumā. Zinātniskajā literatūrā trūkst informācijas par lapu koku padēlu attīstību un to, cik liela daļa padēlu, kas izveidojušies pirmās vecumklases kokiem, saglabājas ilgāk nekā līdz otrās vecumklases beigām.

3. Parastās egles pumpuru plaukšanas laika ietekme uz augusta dzinumu veidošanos

Pārskata periodā saskaņā ar projekta darba uzdevumu analizēti dati no pēcnācēju pārbaužu stādījumiem (nodrošinot iespēju kompleksi apskatīt gan ģenētisko, gan vides faktoru ietekmi), vērtējot koku plaukšanas laika ietekmi uz citām pazīmēm – augusta dzinumu veidošanos, sala bojājumiem.

Egļu populācijās dabā nav novērojama krasa robeža starp eglēm ar dažādu plaukšanas laiku, tāpēc konkrētu fenoloģisko formu izdalīšana ir nosacīta (Vēveris, 1966). Tomēr, analizējot pēcnācēju pārbaužu datus 20.gs. 70.-80.gados, V.Rone konstatējusi nozīmīgu ģenētisko faktoru ietekmi uz egļu plaukšanas laiku (Роне, 1975). Čертовский (Чертовский, 1978) norādījis, ka agri un vēlu plaukstošās egles neatšķiras pēc augšanas ātruma, bet Vēveris (1975) atzīmējis, ka atsevišķu indivīdu vai populāciju agrāka plaukšana liecina par to relatīvo ātraudzību, piemēram, izcilās egles parasti ir audzes agri plaukstošie koki. Savukārt V.Rone (Роне, 1975) konstatējusi, ka koku augstums ir praktiski neitrāls attiecībā pret veģetācijas sākumu, bet labvēlīgos augšanas apstākļos palielinās līdz ar vēlāku veģetācijas perioda nobeigumu, un vēlāks veģetācijas perioda nobeigums 100 % gadījumu saistīts ar augusta dzinumu veidošanos. Vērtējot egļu proveniencu pēcnācējus 8 gadu vecumā, Rones (1984) veiktajā pētījumā konstatēts, ka atsevišķu proveniencu augstuma pārākums atkarīgs no meteoroloģiskajiem apstākļiem stādījuma vietā: eksperimentā Saldū objektā, kur augšanas apstākļi labvēlīgāki, atsevišķu proveniencu novirzes no reģiona vidējā koku augstuma attiecīgajā vecumā ir nelielas, bet Kalsnavas objekta ekstrēmajos apstākļos (augsta pavasara salnu varbūtība) – sasniedz pat 30%. V. Rone novērojusi, ka Kalsnavas objektā atkārtotu pavasara salnu fonā ātraudzīgākajām proveniencēm raksturīga vēlāka plaukšana. Vērtējot četras Latvijas egļu proveniencēs blakus esošos stādījumus, ko kuriem viens ir raksturīgs ar biežākām pavasara salnām, konstatēts, ka korelācijas koeficienta vērtības starp koku augstumu un vēlu plaukšanas laiku ir robežās no 0,21 līdz 0,54 „bezsalnu apstākļos” un no 0,56 līdz 0,85 „salnu apstākļos”. Kalsnavas objektā relatīvi stabilajai Bērzgales proveniencē raksturīga konstanta vēlu plaukstošo genotipu priekšrocība šajā populācijā – neatkarīgi no salnu ietekmes korelācija starp augstumu un plaukšanas termiņu pozitīva un augstāka nekā pārējās trīs proveniencēs. Saldus objektā, kur izteikti salnu bojājumi nav konstatēti, plaukšanas termiņš neietekmē augšanas ātrumu, korelācijas koeficients starp šīm pazīmēm tuvs nullei. Analizējot stādījumus juvenīlā vecumā konstatēts, ka koku, kuru galotnes pumpurs veido augusta dzinumu, īpatsvars ir saistīts ar attiecīgās ģimenes ātraudzību (Rone, 1985). Līdzīgi Hoffmann (1965) egļu proveniencu izmēģinājumā (7 Vācijas proveniencēs, 9–13 gadu vecumā) konstatējis ciešu sakarību starp augusta dzinumu īpatsvaru un proveniencēs pēcnācēju vidējo augstumu ($r = 0,93$). Līdz ar vecumu augstuma atšķirības palielinās, piemēram, 9 gadu vecumā vidējais augstums kokiem bez augusta dzinumiem bija 95 cm, bet kokiem ar augusta dzinumiem – 129 cm; 13 gadu vecumā attiecīgi 294 cm un 390 cm.

Zviedrijā (Danusevičius, Persson, 1998), novērtējot 107 Zviedrijas egļu proveniencēs un 16 proveniencēs no Austrumeiropas 5–9 gadu vecumā, proveniencu vidējo vērtību līmenī eglei konstatēta pozitīva sakarība ($r \approx 0,3$; $p < 0,01$) starp augusta dzinumu īpatsvaru un koku augstumu (gan 5, gan 9 gadu vecumā). Lielāks augusta dzinumu īpatsvars raksturīgs proveniencēm ar vēlāku plaukšanas sākumu ($r \approx 0,25$; $p < 0,05$) un vēlāku pieauguma izbeigšanos ($r = 0,43$; $p < 0,001$). Egles iedzimtības pārbaužu stādījumos konstatēts, ka

ģimenēm ar agrāku pieauguma izbeigšanos Norvēģijas eksperimentā 5 gadu vecumā raksturīgs lielāks augsta dzinumu īpatsvars Somijas eksperimentā 21 gada vecumā (Søgaard et al., 2011).

Parastās egles plaukšanas laika novērtējuma metodika

Sakarības starp egļu plaukšanas laiku un vairākām citām pazīmēm - koku augstumu, augstuma pieaugumu, augsta dzinumu attīstību, padēlu veidošanos, sala bojājumiem - analizētas egļu brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumos (4 netālu izvietotos laukos) Ķeguma novadā 11 gadu vecumā. Kokiem uzmērīts augstums 10 gadu vecumā un 11 gadu vecumā, noteikta augsta dzinumu sastopamība 10. un 11. augšanas sezonas beigās, reģistrēta divu vai vairāku vadošo dzinumu izveidošanās pieaugumam 11. augšanas sezonā, padēlu sastopamība, sala bojājumi (3.1.att.).



3.1.attēls. Sala radītie bojājumi.

Koki atkarībā no jauno dzinumu attīstības pakāpes uzskaites brīdī (2012.gada 4.-7.jūnijā) iedalīti četrās plaukšanas klasēs: 1.klase – vēlu plaukstošie koki (3.2(a)att.), 2.klase – vidēji vēlu (3.2(b)att.), 3.klase – vidēji agri (3.2(c)att.), 4.klase – agri plaukstošie koki (3.2(d)att.).



(a)



(b)



(c)



(d)

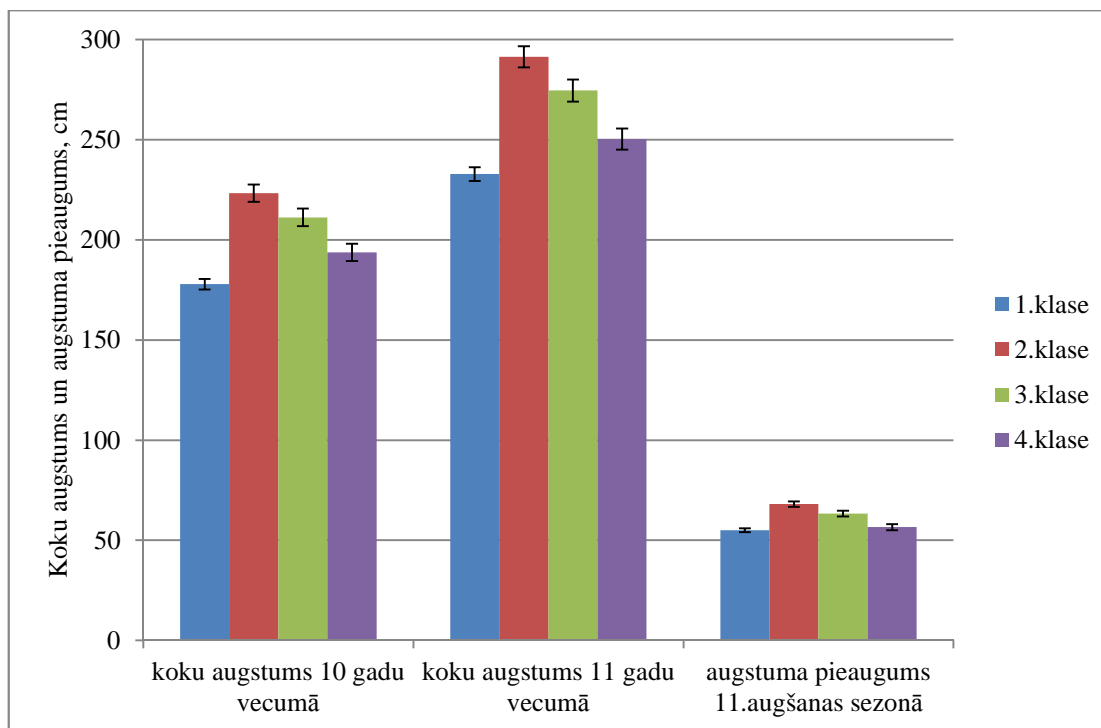
3.2.attēls. Koki dažādās plaukšanas klasēs – vēlu plaukstošie (a), vidēji vēlu plaukstošie (b), vidēji agri plaukstošie (c), agri plaukstošie (d).

Plaukšana vērtēta 10628 kokiem, pazīmju sakarības analizētas 6207 kokiem.

Parastās egles plaukšanas laika ietekmes novērtējums

Koku vidējais augstums Rembates izmēģinājumā 10 gadu vecumā bija $194 \pm 1,9$ cm, bet 11 gadu vecumā $253 \pm 2,4$ cm, augstuma pieaugums 11. augšanas sezonā $59 \pm 0,7$ cm. Analizējot augstuma un pieauguma atšķirības individuāliem kokiem dažādās plaukšanas klasēs (3.3.att.), vislielākais koku augstums un pieaugums konstatēts vidēji vēlu plaukstošiem kokiem (koku augstums 11 gadu vecumā $291 \pm 5,2$ cm; pieaugums $68 \pm 1,4$ cm), mazāki šie rādītāji ir vidēji agri plaukstošiem (attiecīgi $275 \pm 5,5$ cm un $63 \pm 1,5$ cm), agri plaukstošiem ($250 \pm 5,3$ cm un $57 \pm 1,5$ cm) un vismazākie – vēlu plaukstošiem kokiem ($233 \pm 3,5$ cm un $55 \pm 1,0$ cm). Ar vienfaktora dispersijas analīzes palīdzību konstatēts, ka pastāv statistiski būtiskas atšķirības ($p < 0,001$) starp dažādām koku plaukšanas klasēm gan koku augstumam 10 gadu vecumā, gan augstumam 11 gadu vecumā, gan augstuma pieaugumam 11. augšanas sezonā; koku augstums pieaugums statistiski būtiski neatšķiras vienīgi starp vēlu un agri plaukstošo koku klasēm ($p = 0,40$). Iegūtie rezultāti liecina, ka visvēlāk plaukstošie koki nepilnīgi izmanto veģetācijas perioda laikā pieejamos vides resursus, tāpēc to augstums un pieaugums atpaliek no pārējo koku rādītājiem. Savukārt, visagrāk plaukstošie koki, kuriem būtu sagaidāmas vislielākās augšanas pazīmju vērtības, cietuši (iespējams, atkārtoti) agrajās pavasara salnās – šajā klasē sala bojājumi jaunajiem dzinumiem konstatēti 84% koku (vēlu un vidēji vēlu plaukstošo koku klasēs – 0%, vidēji agri plaukstošo koku klasē – 8%). Laikā, kad tika veikts koku iedalījums plaukšanas klasēs (4.-7.jūnijā), agri plaukstošajiem kokiem sala bojājumi bija novērojami galvenokārt sānzariem.

Dažādās plaukšanas klasēs salīdzināts arī koku ar augusta dzinumiem īpatsvars 10. un 11. augšanas sezonas beigās, tādu koku īpatsvars, kam 11. augšanas sezonā attīstījušies divi vai vairāki vadošie dzinumi, un koku ar padēliem īpatsvars.

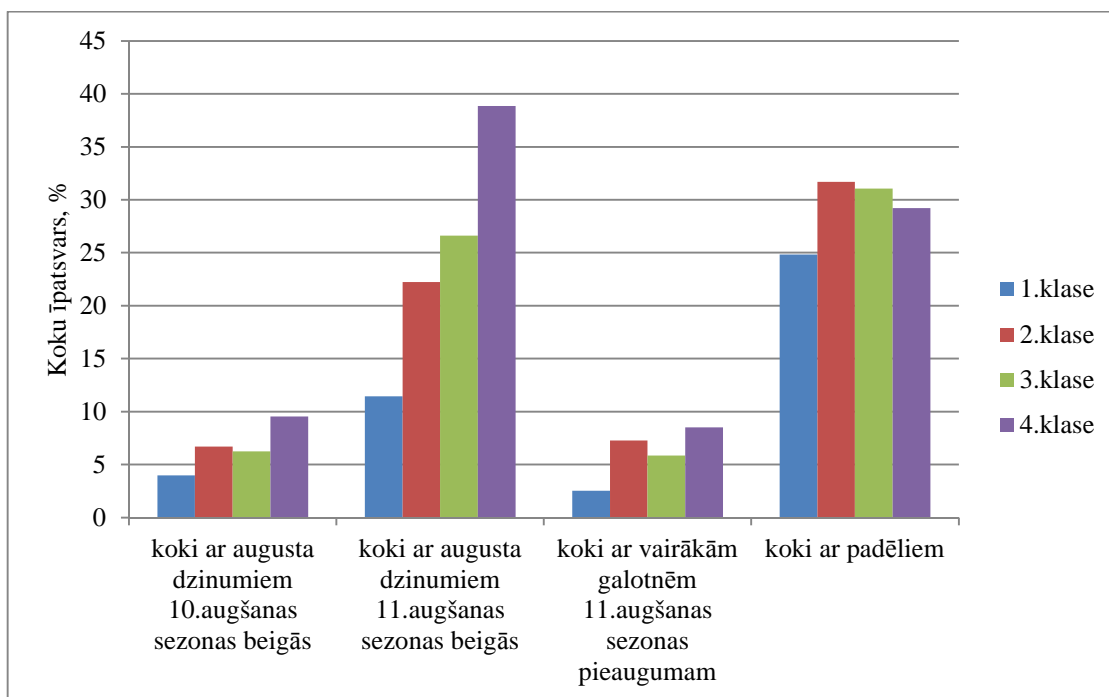


3.3.attēls. Koku augstums un augstuma pieaugums dažādās plaukšanas klasēs.

Koku ar augsta dzinumiem īpatsvars stādījumā 10. augšanas sezonas beigās bija 5,8%, bet 11. augšanas sezonas beigās - 20,8%. No kokiem, kuriem augsta dzinumi bija 10. augšanas sezonas beigās, lielākajai daļai koku (65%) atkārtoti konstatēti augsta dzinumi arī 11. augšanas sezonas beigās, savukārt, no kokiem, kuriem 10. augšanas sezonas beigās nebija augsta dzinumu, tikai 18% koku tie izveidojušies nākamās sezonas beigās; atšķirība bija statistiski būtiska (χ^2 tests; $p < 0,001$). No kokiem, kuriem konstatēti augsta dzinumi 10. augšanas sezonas beigās, 28% koku nākamajā gadā attīstījušies divi (vai vairāki) vadošie dzinumi (no kokiem, kuriem nebija konstatēti augsta dzinumi 10. augšanas sezonas beigās – tikai 4% koku); iespējams, tas noticis gadījumos, kad veģetācijas sezonas beigās augsta dzinums (no vadošā dzinuma sānu pumpura) ir augšanā apsteidzis vadošā dzinuma gala pumpuru. Kokiem, kuriem bijis augsta dzinums 10. augšanas sezonas beigās, vairāku galotņu izveidošanās iespēja nākamajā gadā bija statistiski būtiski lielāka (χ^2 tests; $p < 0,001$) nekā kokiem bez augsta dzinuma 10. augšanas sezonas beigās. Projekta iepriekšējā posmā, veicot mērījumus citā līdzīga vecuma egļu brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumā MPS Jelgavas meža novadā, konstatēts, ka kokiem, kuriem bijis augsta dzinums 9. augšanas sezonas beigās, vairāku galotņu izveidošanās iespēja nākamajā gadā bija statistiski būtiski mazāka nekā kokiem bez augsta dzinuma 9. augšanas sezonas beigās. Secināts, ka egles augsta dzinumu veidošanās un stumbra kvalitātes (vairāku galotņu) vērtējumā iegūtie dati stādījumos neliecina par izteiktu šo pazīmju savstarpēju saistību, tāpēc iespējams, ka vairāku galotņu veidošanos eglei lielākā mērā nekā augsta dzinumi nosaka citi faktori. Tomēr secinājumus par vairāku galotņu (paliekošu) veidošanos ir pārāgri izdarīt, jo, kā norādīts vairākos pētījumos (piemēram, Carvell, 1956; West, Rogers, 1965), augsta dzinumu ietekmes iespējama saistība ar stumbra defektu veidošanos vērtējama vairākus gadus pēc augsta dzinumu uzskaites veikšanas.

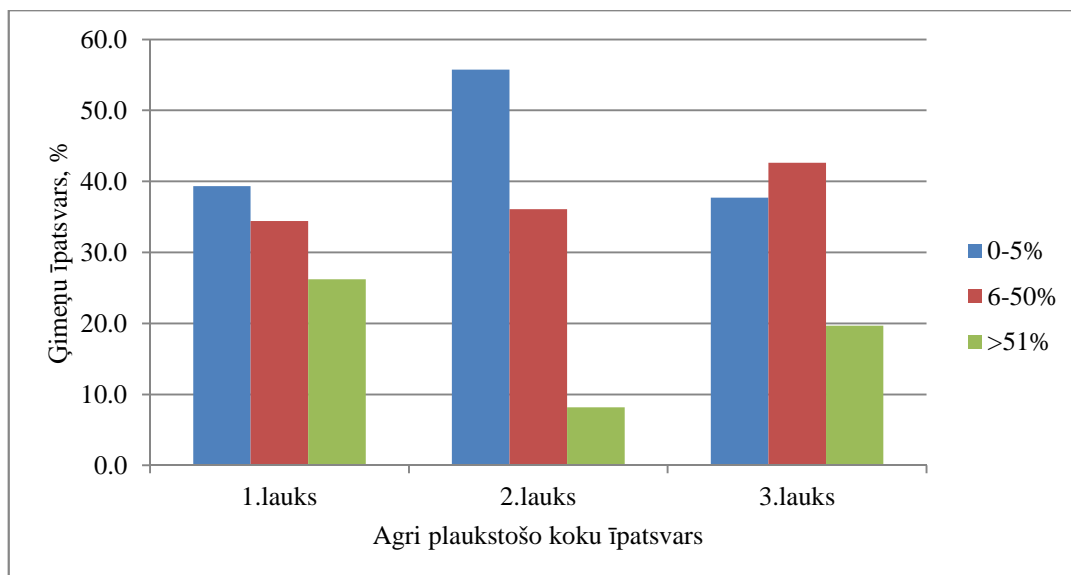
Rembates stādījumā reģistrēti arī koki, kuriem izveidojies padēls, neatkarīgi no tā veidošanās iespējamā iemesla (sala bojājumi, dzīvnieku izraisīti bojājumi u.c.). Koku ar padēliem īpatsvars stādījumā ir 28%.

Kā redzams 3.4.attēlā, vismazākais koku ar augusta dzinumiem (gan 10., gan 11. augšanas sezonas beigās) īpatsvars, koku ar vairākiem vadošajiem dzinumiem 11. augšanas sezonas pieaugumam īpatsvars, kā arī koku ar padēliem īpatsvars konstatēts visvēlāk plaukstošajiem kokiem, un, pārsvarā gadījumu, salīdzinoši agrāk plaukstošo koku klasēs īpatsvars palielinās. Piemēram, koku ar augusta dzinumiem 11. augšanas sezonas beigās īpatsvars dažādās klasēs (sākot ar vēlu plaukstošo koku klasi) ir: 11%, 22%, 27%, 39%.



3.4.attēls. Koku ar augusta dzinumiem, vairākām galotnēm un padēliem īpatsvars plaukšanas klasēs.

Analizētas arī agri plaukstošo koku īpatsvara atšķirības (3.5.att.) dažādās ģimenēs trijos laukos (ceturtajā laukā pārstāvētas tikai 15 ģimenes). No visām pārstāvētajām ģimenēm atlasot tikai tās, kuras ir visos trijos laukos (1., 2., 3.), konstatēts, ka pirmajā un otrajā laukā vislielākais ir to ģimeņu īpatsvars (katrā laukā atsevišķi), kurās agri plaukstošo koku īpatsvars nepārsniedz 5% (attiecīgi 39% un 56% ģimeņu), mazāks ir to ģimeņu īpatsvars, kurās agri plaukstošo koku īpatsvars ir robežās no 5% līdz 50% (attiecīgi 34% un 36% ģimeņu), savukārt to ģimeņu īpatsvars, kurās vairāk nekā pusei koku konstatēta agri plaukšana, pirmajā laukā ir 26%, bet otrajā laukā tikai 8% ģimeņu. Iespējams, ka otrajā laukā, kur agrākajos gados konstatēti ievērojami sala bojājumi, nav saglabājušies koki ar izteikti agri plaukšanas laiku, tāpēc to īpatsvars laukā kopumā ir ievērojami zemāks. Trešajā laukā, kurā vides apstākļi egļu augšanai salīdzinoši ir vispiemērotākie, vislielākais ir tādu ģimeņu īpatsvars (43% ģimeņu), kurās agri plaukstošo koku īpatsvars ir 6-50%.



3.5. attēls. Ģimeņu īpatsvars ar dažādu agri plaukstošo koku īpatsvaru trijos stādījuma laukos.

Arī vidējais koku augstums 11 gadu vecumā šajā laukā ir statistiski būtiski ($p < 0,001$) lielāks nekā citos laukos (3.laukā $294 \pm 4,4$ cm, 4.laukā $278 \pm 7,8$ cm, 1.laukā $252 \pm 3,6$ cm, 2.laukā $198 \pm 3,8$ cm). Konstatēta statistiski būtiska korelācija starp agri plaukstošo koku īpatsvaru ģimenēm atšķirīgos laukos. Ģimenēm, kas pārstāvētas 1. un 2.laukā (76 ģimenes), korelācijas koeficients starp agri plaukstošo koku īpatsvaru abos laukos $r = 0,71$ ($p < 0,001$), 93 ģimenēm, kas pārstāvētas 1. un 3.laukā, $r = 0,78$ ($p < 0,001$), bet 61 ģimenei 2. un 3.laukā $r = 0,79$ ($p < 0,001$). Konstatētas atsevišķas ģimenes ar stabilu izteikti augstu agri plaukstošo koku īpatsvaru, piemēram, ģimene Nr.73 (agri plaukstošo koku īpatsvars trijos laukos 84-100%), Nr.93 (76-80%), Nr.38 (60-80%), kā arī ģimenes ar ļoti zemu agri plaukstošu koku īpatsvaru (piemēram, ģimenei Nr.30 nav neviena šāda koka visā izmēģinājumā). Konstatētās sakarības liecina par samērā augstu pazīmes stabilitāti dažādos ekoloģiskajos apstākļos – ar ģenētisko faktoru ietekmi izskaidrojama aptuveni puse no pazīmes variācijas (R^2 ir robežās no 0,56 līdz 0,63).

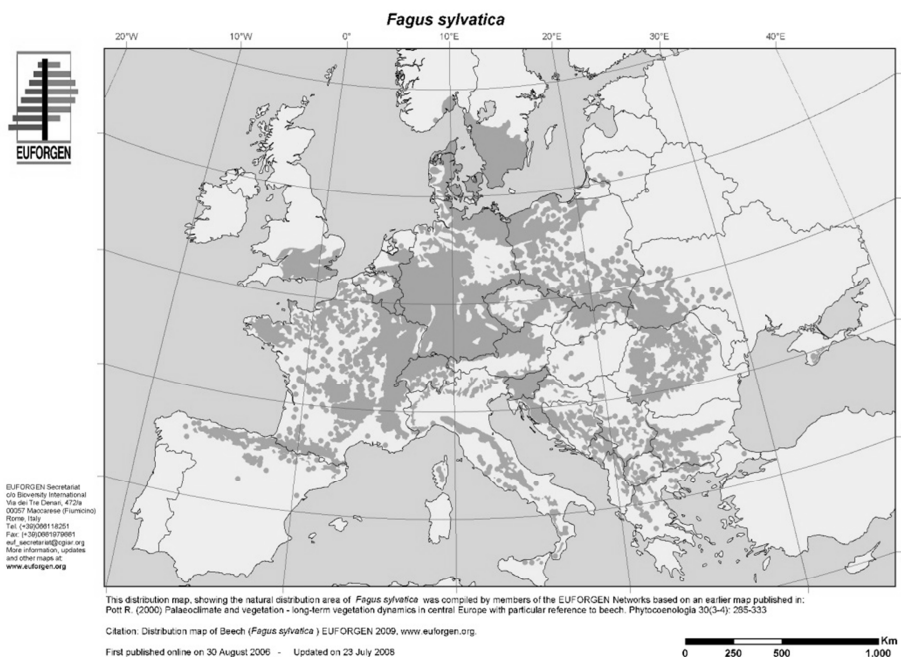
Konstatēts, ka ģimeņu līmenī (pazīmes vērtība ģimenei konkrētā laukā) nepastāv statistiski būtiska sakarība starp agri plaukstošo koku īpatsvaru un koku ar padēliem īpatsvaru ģimenē ($R^2 = 0,004$; $p = 0,31$), kas liecina, ka padēļu veidošanos ietekmē citi faktori, piemēram, dzīvnieku radītie bojājumi.

Kopumā var secināt, ka starp atsevišķām parastās egles Latvijas pluskoku ģimenēm ir ievērojamas plaukšanas laika atšķirības, turklāt ģimeņu ranžējums pēc šīs pazīmes saglabājas relatīvi nemainīgs dažādās stādīšanas vietās (mikrovidēs): $r = 0,79$; $p < 0,001$. Vismazākais koku ar augsta dzinumiem, padēliem vai vairākām galotnēm īpatsvars konstatēts visvēlāk plaukstošajām ģimenēm, taču arī to vidējais augstums un augstuma pieaugums ir vismazākais. Vislielākais koku augstums un augstuma pieaugums, kā arī mazs koku ar augsta dzinumiem un/vai padēliem īpatsvars konstatēts vidēji vēlu plaukstošiem kokiem. Konstatēts, ka visagrāk plaukstošie koki biežāk cieš pavasara salnās – šajā klasē sala bojājumi jaunajiem dzinumiem konstatēti 84% koku (pārējās klasēs: 0 – 8% koku). Iegūtie rezultāti apliecina nepieciešamību izvēlēties pavairošanai kokus, kas optimāli izmanto veģetācijas periodu.

4. Introducēto koku sugu dabiskā atjaunošanās un augšana

Pētījuma ietvaros saskaņā ar darba uzdevumu analizēta dižskābarža augšana un atjaunošanās, kā arī Eiropas lapegles, kuru atsevišķos gadījumos Latvijā pieskaita introducētām koku sugām, audžu ražību raksturojošie dati, kas ievākti parauglaukumos Meža pētīšanas stacijas un Latvijas valsts mežu apsaimniekotās platībās.

Vispārīgās sakarības, kas aprakstītas šī pārskata nodaļā par sugu dabisko migrāciju, liecina, ka mainoties klimatam, mainās arī sugu izplatības areālu robežas (Corlett, Westcott, 2013; Sykes et al., 1996). Klimatam Eiropas austrumu un ziemeļu daļā kļūstot siltākam (IPCC 2007), ir prognozēta nemorālo sugu izplatība ziemeļu virzienā (Hickler et al., 2012; Maiorano et al., 2013). Viena no sugām, kurai Eiropā ir augsta saimnieciskā nozīme un kuras augšanai Latvijā varētu būt potenciāls, ir dižskābardis *Fagus sylvatica* (Hanewinkel et al., 2012). Pēc pašreizējās informācijas dižskābarža izplatības robeža sasniedz Lietuvu un Zviedrijas dienvidu daļu, tādējādi Latvijā tas atrodas ārpus pašreiz pieņemtā dabiskā izplatības areāla (4.1.att.).



4.1.attēls. Dižskābarža izplatība Eiropā (www.euforgen.org).

Iespējams, ka dižskābarža izplatību Latvijā galvenokārt ierobežo zemais migrācijas (izplatīšanās) ātrums (Johnson, Adkisson, 1985), kā arī vēsturiskais meža apsaimniekošanas režīms. Latvijā dižskābardis stādītās audzēs pašreiz ir sastopams Kurzemē: Talsu novadā pie Šķēdes un Priekules novadā pie Kalētiem (Bolte et al., 2007). Zināms, ka dižskābardis Šķēdē ir spējīgs dabiski atjaunoties, tomēr tā jaunu platību kolonizācijas ātrums ir zems (Sabule L., 2009). Koku radiālais pieaugums Šķēdē galvenokārt ir atkarīgs no vasaras nokrišņiem (Sabule L., 2009). Tomēr nav informācijas par dižskābarža augšanu un atjaunošanos pie Kalētiem, kur klimatiskie apstākļi varētu būt piemērotāki šīs koku sugas augšanai –Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas centra (LVĢMC) dati liecina, ka klimats ir okeānisks, gada vidējā temperatūra ir ap +6 °C un nokrišņu summa 700–750 mm gadā. Zviedrijā dižskābardis gandrīz sasniedz 60. ziemeļu paralēli, kas pārsniedz Latvijas lielāko ģeogrāfisko

platumu. Tomēr klimats Zviedrijas dienvidos ir mērenāks – gada vidējā temperatūra ir ap 7 °C, janvāra vidējā temperatūra ap -2 °C un jūlija vidējā temperatūra ap 16 °C, nokrišņi 600–1000 mm gadā (Drobyshev et al., 2008), okeāniskāks, ar salīdzinoši zemu ikgadējo temperatūras amplitūdu (Huntley, Prentice, 1993; van der Schrier et al., 2006), kāds ir uzskatāms par labvēlīgu dižskābarža augšanai (Bolte et al., 2007).

Skuju koki, kam augšanai piemēroto klimatisko apstākļu iestāšanos Latvijā var prognozēt 21. gs. laikā, ir lapegles (*Larix* L.) (Larsson-Stern, 2003). Lapegļu izplatības ziemeļu robeža ir saistāma ar salcietību (cold-hardiness), kuras iegūšanai nepieciešama temperatūru pakāpeniska samazināšanās rudenī un ziemas sākumā, kas ziemeļu reģionos ir pārāk strauja (Jonsson, 1978, pēc Larsson-Stern, 2003). Lapeglēm (piemēram, hibrīdajai) raksturīgs ilgāks augšanas periods (salīdzinājumā ar priedi un egli); tādēļ arī lielāka varbūtība ciest pavasara un rudens salnās (Jonsson, 1978, pēc Larsson-Stern, 2003). Tomēr, balstoties uz Zviedrijā veiktajiem pētījumiem, var spriest, ka klimatisko faktoru kopums Kurzēm pašreiz var tikt uzskatīts par lapeglei piemērotu (Kiellander, 1958, pēc Larsson-Stern, 2003). Pētījumi Šķēdē ir parādījuši, ka lapegle ir ātraudzīga (Dreimanis, 2005), tomēr nepieciešama informācija par augšanas gaitu un tās saistību ar klimatiskajiem faktoriem.

Lapegļu izmēģinājuma stādījumi ir veikti arī Latvijas kaimiņvalstīs. Lietuvā par piemērotu mežsaimniecībai uzskata Eiropas lapegli *L. decidua* (Žiogas et al., 2006); kā piemērotākā mežsaimniecībai Zviedrijā ir minēta hibrīdā lapegle *L. x eurolepis* (Larsson-Stern, 2003). Lai arī lapegle ir mazāk pakļauta slimībām, tomēr tā var būt vairāk pakļauta kaitēkļu bojājumiem, salīdzinot ar vietējām sugām (Gammel, 1988; Žiogas et al., 2006). Augšanai nepieciešamie apstākļi ir līdzīgi kā eglei (pietiekams mitrums, vidēji auglīga augsne), tomēr lapegle ir gaismas prasīga suga (Larsson-Stern, 2003). Lapegles atbilstība vietējai florai ir diskutējama, jo ir atsevišķi pierādījumi, ka lapegle vēsturiski ir bijusi sastopama Baltijas jūras reģionā atlantiskā perioda laikā (Kullman, 1998).

Apsekotās audzes un ievāktu datu apstrāde

Klimatisko faktoru ietekme uz pieaugumu vērtēta, ievācot pieaugumu urbumus valdaudzes kokiem divās mežaudzēs. Dižskābarža audze atrodas Kalētu pagastā, Priekules novadā, tās apkārtnē teritoriju klāj auglīgi lapu koku meži (vēris un gārša), valdošās sugas – liepa, apse, ozols, egle un dižskābardis; struktūra mozaīkveida. Reljefs līdzens, mitruma apstākļi normāli (automorfas augsnes). Saskaņā ar LVĢMC datiem, klimats okeānisks, nokrišņu daudzums paaugstināts, salīdzinot ar Latvijas vidējo vērtību. Eiropas lapegles audze atrodas MPS Auces meža novadā, novietota uz līdzena reljefa, auglīgas minerālaugsnes (vēris). Pirmo stāvu veido lapegle, pamežā dominē lazda, paaugā nelielā skaitā sastopama egle. Pētījuma teritorijā, salīdzinot ar Latvijas vidējām vērtībām, ir ilgāka augšanas sezona un zemāks nokrišņu daudzums (LVĢMC).

Valdaudzes kokiem ar Preslera svārpstu krūšu augstumā ievāca divus (dižskābaržiem) vai vienu (lapeglēm) pieauguma urbumu (koksnes paraugu). Paraugus ievāca tā, lai izvairītos no reakcijas koksnes. Koksnes paraugus apstrādāja pēc Sabule I. (2009) dotās metodikas. Gadskārtu mērījumu rindas apstrādāja, izmantojot standarta dendroklimatoloģijas metodes (pārbaude, šķērsdatēšana un standartizācija). Hronoloģiju izveidei izmantoja dubulto detrendēšanu un autoregresīvo modelēšanu. Klimata ietekmes novērtējumam izmantoja Pīrsona korelācijas un atbildes funkcijas analīzi visam periodam, kā arī tā daļām (moving interval). Klimatiskie dati ņemti no Rīgas meteostacijas, laika periodam no 1900. līdz

2009.gadam. Augšanas un klimata saistību analīze veikta, izmantojot DendroClim2002 datorprogrammu (Biondi, Waikul, 2004).

Dižskābarža mežaudžu produktivitātes (ražības) raksturošanai dati ievākti, veicot atkārtotus mērījumus prof. A. Dreimaņa ierīkotajos ilglaicīgajos parauglaukumos MPS Šķēdes meža novadā (6 audzes vecumā no 58 līdz 125 gadiem). Lapegļu audžu produktivitātes raksturošanai – ierīkojot parauglaukumus to audzēs MPS Auces mežu novadā (19 parauglaukumi audzēs ar vecumu no 37 līdz 82 gadiem).

Dižskābarža dabiskās atjaunošanās raksturošanai pētāmajā mežaudzē Kalētos izveidoja 34 apļveida parauglaukumus ($S = 400 \text{ m}^2$), kuri atradās stādītajā dižskābarža audzē un tās tuvumā. Katrā parauglaukumā visiem pirmā un otrā stāva kokiem nomērīja caurmēru krūšaugstumā, kā arī pa sugām uzskaitīja paaugas un pameža kokus (indivīdus) divās augstuma klasēs ($H \leq 1 \text{ m}$ un $1 < H < 5 \text{ m}$). Sakarību starp paaugas dižskābaržu jaunaudzes biežumu un pirmā stāva koku šķērslaukumu raksturoja ar Pīrsona korelācijas koeficientu. Apgaismojuma apstākļu ietekmes uz dižskābarža atjaunošanos novērtējumam dižskābaržu audzē tika ievietotas transektes, kas šķērsoja dižskābarža paaugas grupas un vietas ar atšķirīgu vainaga atsegumu. Uz katras transektes ik pēc diviem metriem ar WinScanopy sistēmu (Regent Instruments) uzņēma vainaga attēlus. Paaugas raksturošanai uz transektes visā tās garumā tika izvietoti $2 \times 2 \text{ m}$ lieli parauglaukumi, kuros visiem paaugas (t. sk. pameža) kokiem noteikts augstums ($\pm 0,05 \text{ m}$). Dižskābarža atjaunošanās (paaugas koku skaits un augstums) un apgaismojuma parametru saistības, kā arī paaugas konkurence analizēta, izmantojot Pīrsona korelācijas analīzi.

Klimata ietekme uz radiālo pieaugumu

Šķērsdatēšanas un kvalitātes kontroles ietvaros neviena dižskābarža gadskārtu platuma mērījumu sērija netika atmesta. Koki parādīja augstu augšanas gaitas līdzību (mean interseries correlation = 0,689, EPS > 0,868) un augšanas jutību (mean sensitivity = 0,219). Līdz ar to var apgalvot, ka augšanas gaita ir objektīvi atspoguļota izveidotajā hronoloģijā (Wigley et al., 1984). Pārbaudītās gadskārtu rindas aptvēra periodu no 1948. līdz 2013. gadam. Hronoloģijas uzrādīja būtisku korelāciju (atbildes funkciju) ar klimatiskajiem faktoriem (4.1.tab.). Iepriekšējā gada augusta temperatūra parādīja ciešāko korelāciju ar gadskārtu platumu ($r = -0,36$). Šāda cieša negatīva korelācija liecina par iespējamu ūdens deficīta ietekmi uz augšanu, līdzīgi kā novērots citos pētījumos centrālajā un dienvidu Eiropā (Lebourgeois et al., 2005; Rozas, 2001). Lai novērtētu iespējamā ūdens deficīta ietekmi uz dižskābarža augšanu, nākamajā pārskata periodā MPS Šķēdes novadā plānots veikt radiālā pieauguma un augsnes un gaisa temperatūru un mitrumu raksturojošo parametru monitoringu. Pozitīvā gadskārtu platuma saistība ar iepriekšējā oktobra temperatūru liecina par augšanas sezonas garuma ietekmi uz augšanu (līdzīgi kā ozolam) (Matisons, Brūmelis, 2012). Pozitīvās saistības ar maija un jūnija temperatūru norāda, ka temperatūrai augšanas sezonas sākumā ir ietekme uz augšanu, bet šī ietekme nav izteikta. Tomēr, ņemot vērā modelētās klimata pārmaiņas (pasiltināšanos), šis faktors varētu zaudēt ietekmi, koku radiālajam pieaugumam kopumā palielinoties. Negatīvo pieauguma saikni ar nokrišņu daudzumu janvārī un jūnijā ir grūti izskaidrot, bet tā varētu būt saistīta ar patogēnu pastiprinātu attīstību paaugstināta mitruma apstākļos vai arī ar samazinātu saules radiācijas daudzumu mākoņainības dēļ. Klimatisko faktoru ietekme references periodā nav bijusi konstanta. Jūlija temperatūras pozitīva ietekme nav novērojama analizētā perioda sākumā, bet augusta temperatūras negatīva ietekme pastiprinājusies perioda vidū. Līdzīgas sakarības (to izmaiņas) starp dižskābarža augšanu un

klīmatiskajiem faktoriem novērotas arī citviet (Piovesan et al., 2008). Tās arī liecina, ka kopumā klīmatiskie apstākļi kļūst piemērotāki dižskābarža augšanai. Janvāra nokrišņiem negatīvs efekts ir bijis būtisks visu references periodu, tomēr saistību ciešums samazinās pēdējo desmitgažu laikā.

4.1.tabula

Būtiskās ($p = 0,05$) Pīrsona korelācijas un atbildes funkcijas koeficientu vērtības starp klīmatiskajiem faktoriem un dižskābarža gadskārtu hronoloģiju

Faktors	Korelācijas koeficients, r	Atbildes funkcijas koeficienti
Iepriekšējā jūnija temperatūra	0	0,20
Iepriekšējā augusta temperatūra	-0,36	-0,23
Iepriekšējā oktobra temperatūra	0,24	0
Maija temperatūra	0	0,29
Jūlija temperatūra	0,23	0
Janvāra nokrišņi	-0,28	-0,27
Jūnija nokrišņi	-0,21	-0,22

Lapegles gadskārtu platumu rindu šķērsdatēšanas laikā tika atņemtas divas mērījumu rindas, norādot, ka augšanas gaita kopumā audzē ir līdzīga. Atlasītās un šķērsdatētās gadskārtu platuma rindas parādīja augstu augstas frekvences mainības līdzību starp kokiem ($IC = 0,598$, mean sensitivity = 0,289, EPS = 0,891), norādot, ka izveidotās hronoloģijas adekvāti reprezentē lapegles augšanas gaitu pētītajā audzē un ka ievāktais materiāls apjoms ir pietiekams (Wigley et al., 1984). Pārbaudītās gadskārtu platuma rindas ietvēra laika periodu no 1911. līdz 2013. gadam.

Izveidotās lapegles gadskārtu hronoloģijas parādīja būtiskas saistības (korelācija un atbildes funkcija) ar klīmatiskajiem faktoriem (4.2.tab.). Spriežot pēc korelācijas koeficientu vērtības ($r < 0,28$), pārbaudītajiem faktoriem visā references periodā nav izteikti limitējoša ietekme uz lapegles augšanu. No pārbaudītajiem klīmatiskajiem faktoriem iepriekšējā septembra temperatūra parādīja izteiktāko ietekmi uz lapegles gadskārtu platumu (gan korelācijas, gan atbildes funkcijas koeficienti bija būtiski). Ņemot vērā, ka lapeglei augšanas sezona ir ilgāka, salīdzinot ar vietējām sugām (Jonsson, 1978, pēc Larsson-Stern, 2003), paaugstināta temperatūra sezonas beigās var radīt ūdens deficītu, tādējādi samazinot barības vielu rezervju uzkrāšanos (Barbaroux, Breda, 2002) un augšanu nākamajā sezonā. Šāds mehānisms izskaidro arī negatīvo iepriekšējā augusta temperatūras ietekmi. Paaugstināta temperatūra augšanas sezonas beigās var paildzināt salcietības veidošanos, palielinot koku jutību pret agrām salnām (Morin et al. 2007). Negatīva jūnija temperatūras ietekme uz pieaugumu ir skaidrojama ar iztvaikošanas intensificēšanos, kas var radīt ūdens deficītu. Nokrišņu daudzums miera periodā parādīja būtiskas saistības ar gadskārtu platumu, tomēr šādas saistības ir grūti izskaidrojamas. Iepriekšējā novembra nokrišņu daudzuma ietekme varētu būt skaidrojama ar ciklonu darbību, kas vienlaikus atnes nokrišņus, kā arī paaugstina temperatūru un samazina tās svārstības (LVGMC).

Būtiskās ($p = 0,05$) Pīrsona korelācijas un atbildes funkcijas koeficientu vērtības starp lapegles gadskārtu hronoloģiju un klimatiskajiem faktoriem

Klimatiskais faktors	Korelācijas koeficients, r	Atbildes funkcijas koeficienti
Iepriekšējā augusta temperatūra	-0,22	0
Iepriekšējā septembra temperatūra	-0,28	-0,22
Jūnija temperatūra	-0,22	0
Iepriekšējā februāra nokrišņi	-0,21	0
Iepriekšējā novembra nokrišņi	0,22	0

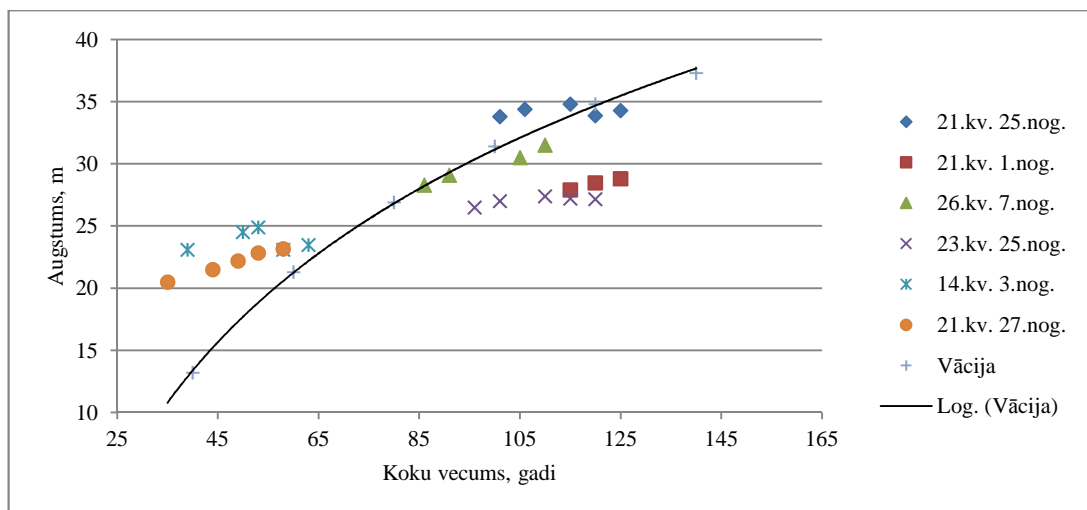
Klimatisko faktoru ietekme un augšanai būtiskie klimatiskie faktori ir mainījušies. Kopš 20. gs. vidus iepriekšējā gada jūlija–septembra temperatūras ietekme (korelācija) ir intensificējusies (r sasniedz 0,48, analizējot 50 gadus garus periodus). Tajā pašā laikā arī jūlija un iepriekšējā novembra nokrišņu daudzuma ietekme (pozitīva korelācija) ir kļuvusi būtiska lapegles radiālajai augšanai. Pozitīvā jūlija nokrišņu ietekme norāda uz sausuma un ūdens deficīta ietekmi uz lapegles gadskārtu platumu variēšanu, līdzīgi kā novērots eglei (Dzenis, 2013). Par iespējamo ūdens deficīta ietekmi uz pētīto lapegļu augšanu liecina arī audzes atrašanās reģionā ar relatīvi zemu nokrišņu daudzumu (LVĢMC).

Tomēr, vērtējot augsto augšanas jutību (ikgadējo variēšanu), jāsecina, ka turpmāk ir nepieciešams veikt padziļinātāku analīzi, ņemot vērā papildus klimatiskos faktorus un to kombinācijas, kā arī izmantot dekāžu klimatiskos datus.

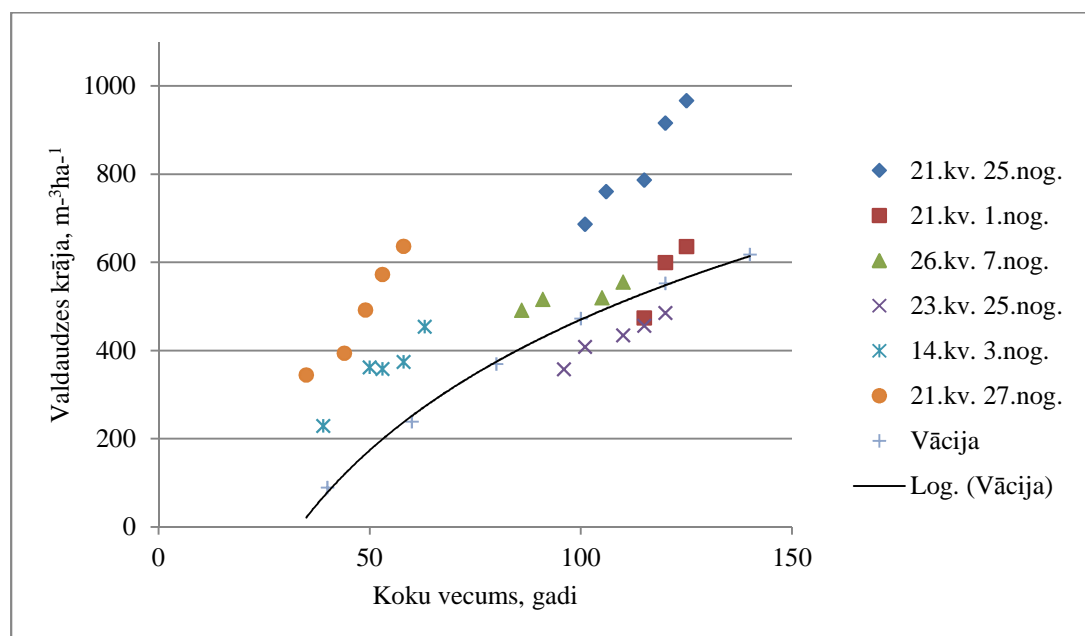
Audzū ražību raksturojošie rādītāji

Informācija par dižskābarža audžu taksācijas rādītājiem un to izmaiņām laikā iegūta, atkārtoti pārmērot prof. A. Dreimaņa ierīkotos parauglaukumus šīs koku sugas audzēs (4.7.tabula nodaļas beigās). Konstatēts, ka gan vidējais koku augstums (4.2.att.), gan krāja (4.3.att.) ir līdzīgi kā šīs koku sugas izplatības areāla centrālajā daļā (Vācijā) optimālos augšanas apstākļos esošajām audzēm. Tas apstiprina dendrohronoloģiskās analīzes secinājumu, ka konkrētās Latvijas vietas apstākļi ir piemēroti dižskābarža audzēšanai un, ņemot vērā klimata izmaiņu prognozes, jau tuvākajā nākotnē visa Latvijas teritorija būs uzskatāma par piemērotu šīs koku sugas audzēšanai. Tāpat rezultāti liecina, ka dižskābarža mežaudzēm otrajā paaudzē Latvijā vērojams straujš valdaudzes krājas pieaugums, pārsniedzot pat par 30-50 gadiem vecāku pirmās paaudzes mežaudžu krāju. To, iespējams, ietekmē vairāku faktoru kombinācija:

- 1) jauno mežaudžu samērā augstais biežums un lēnā koku diferenciācija un atmiršana;
- 2) dabiskā izlase, kā rezultātā izdzīvo un nākamās paaudzes veidošanos nodrošina tikai Latvijas apstākļiem piemēroti genotipi. Lai precīzāk novērtētu šī faktora potenciālo ietekmi, līdz ar to rekomendējot piemērotu pieeju dižskābarža sēklu ieguvei plašākai izmantošanai, nepieciešamas ģenētiskās analīzes.

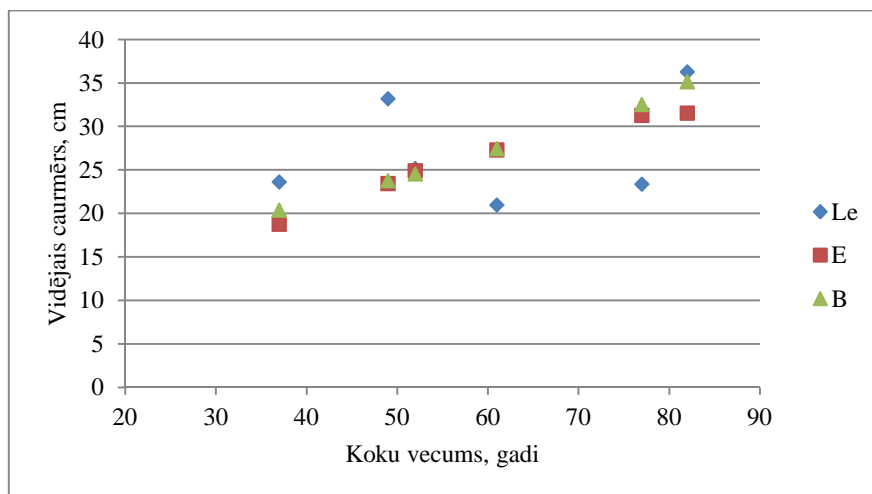


4.2.attēls. Valdaudzes koku vidējā augstuma dinamika mežaudzēs MPS Šķēdes MN un šīs koku sugas izplatības areāla centrālajā daļā (Vācijā).



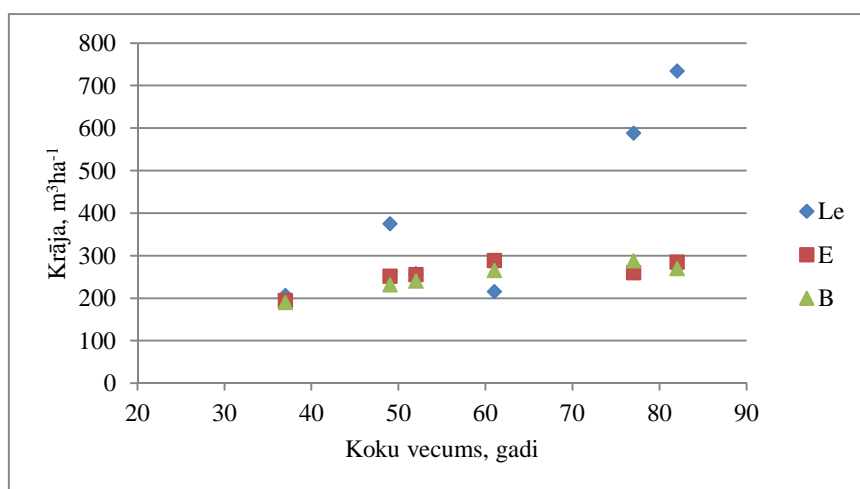
4.3.attēls. Valdaudzes koku krājas dinamika mežaudzēs MPS Šķēdes MN un šīs koku sugas izplatības areāla centrālajā daļā (Vācijā).

Vērī augošo lapegles audžu taksācijas rādītāji salīdzināti ar vidējiem tāda paša vecuma egles un bērza audžu rādītājiem šajā meža tipā (MSI dati). Konstatēts, ka gan koku vidējais caurmērs (4.4.att.), gan augstums šo koku sugu audzēs ir līdzīgi. Lapegļu audzēs vidējo caurmēru daudz nozīmīgāk nekā koku vecuma atšķirības ietekmē audzes biezums – piemēram, audzē ar biezumu 340 koki ha⁻¹ 49 gadu vecumā vidējais koku caurmērs sasniedz 33,2 cm, bet audzē ar biezumu 840 koki ha⁻¹ 77 gadu vecumā – tikai 23,4 cm. Iegūtie rezultāti apliecina lapegles nozīmīgo ātraudzību jaunaudzes un vidējā vecumā, taču analizē iekļauto mežaudžu skaits nav pietiekams, lai nodrošinātu iespēju rekomendēt optimālu stādīšanas biezumu. Tāpat konstatēta nozīmīga meža tipa ietekme: lapegļu audzēm damaksnī gan koku vidējais caurmērs, gan augstums nozīmīgi zemāks nekā vērī.



4.4.attēls. Lapegļu vidējais caurmērs dažāda vecuma audzēs salīdzinājumā ar citu koku sugu vidējo caurmēru.

Ievērojamākās krājas starpības, salīdzinot lapegļu audzes ar bērzu un egļu audzēm, konstatētas 70-80 gadu vecumā (4.5.att.). Rezultāts var būt saistīts gan ar atšķirībām kopšanas režīmā audžu rotācijas periodā, gan audžu biezumu. Tomēr jāņem vērā, ka vērtētās lapegļu audzes šajā vecumā pārsniedz ne tikai vidējo egļu audžu krāju, bet par $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ arī P. Zālīša definēto mērķtiecīgi apsaimniekoto egļu audžu krāju.

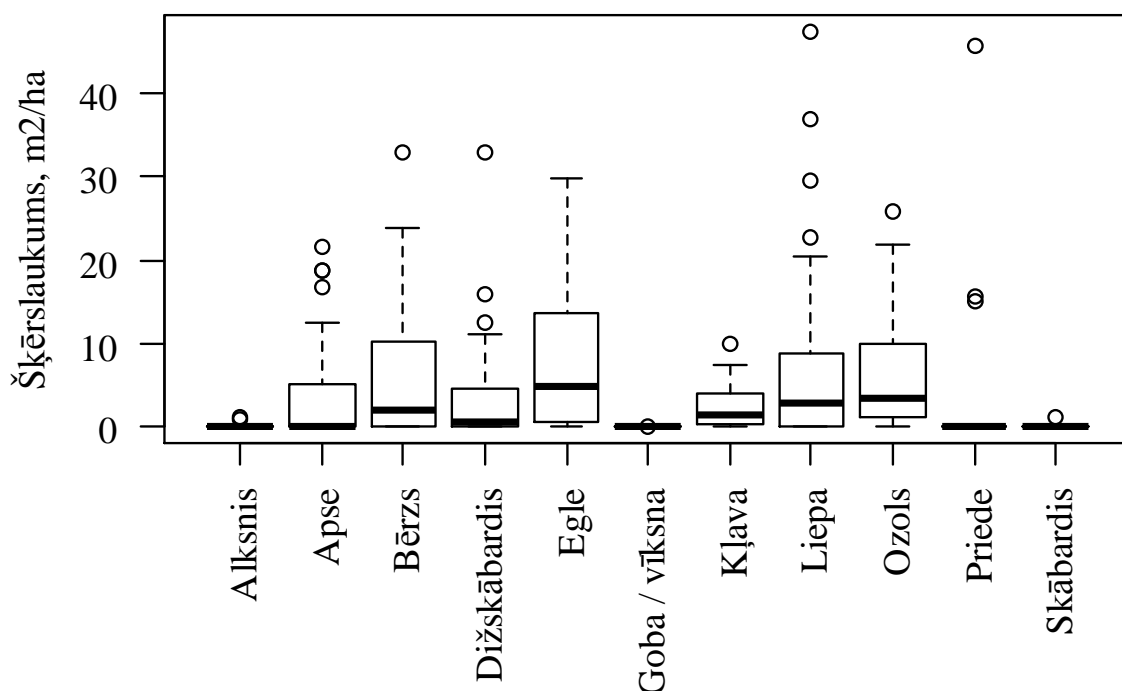


4.5.attēls. Lapegļu audžu vidējā krāja dažāda vecuma audzēs salīdzinājumā ar citu koku sugu vidējo krāju.

Dižskābarža dabiskā atjaunošanās

Dižskābarža dabiskās atjaunošanās vērtēšanai izveidotajos parauglaukumos pirmo stāvu veidoja lapu koki un egles (parauglaukumu dati atspoguļoti 4.6.attēlā).

Izveidotajos parauglaukumos novērota dižskābaržu dabiska atjaunošanās (sējeņi). Paaugas sastāvs parauglaukumos parādīts 4.3.tabulā. Paaugu augstuma klasē līdz vienam metram veidoja galvenokārt kļavas sējeņi, kuru biezums pārsniedza pārējās sugas par kārtu. Augstuma klasē līdz pieciem metriem novērota līdzīga situācija, tomēr kļavas īpatņu skaits bija ievērojami mazāks, turpretim dižskābarža biezums bija līdzīgs kā pirmajā stāvā. Šāda situācija liecina par konkurenci starp dižskābardis un kļavu, kuru dižskābardis spēj veiksmīgi izturēt.



4.6.attēls. Apsekoto parauglaukumu pirmo stāvu veidojošo koku stumbru vidējais šķērslaukums ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$).

4.3.tabula

Mežaudzes parauglaukumos sastopamo paaugas un pameža koku vidējais biežums (koki ha^{-1}) pa augstuma klasēm

Suga	Augstuma klases	
	H < 1 m	1 m < H < 5 m
Dižskābardis	756,61	622,79
Kļava	23405,15	1764,70
Lazda	4,41	9,55
Ozols	7,35	0,00
Liepa	5643,38	3116,92
Egle	319,85	129,41

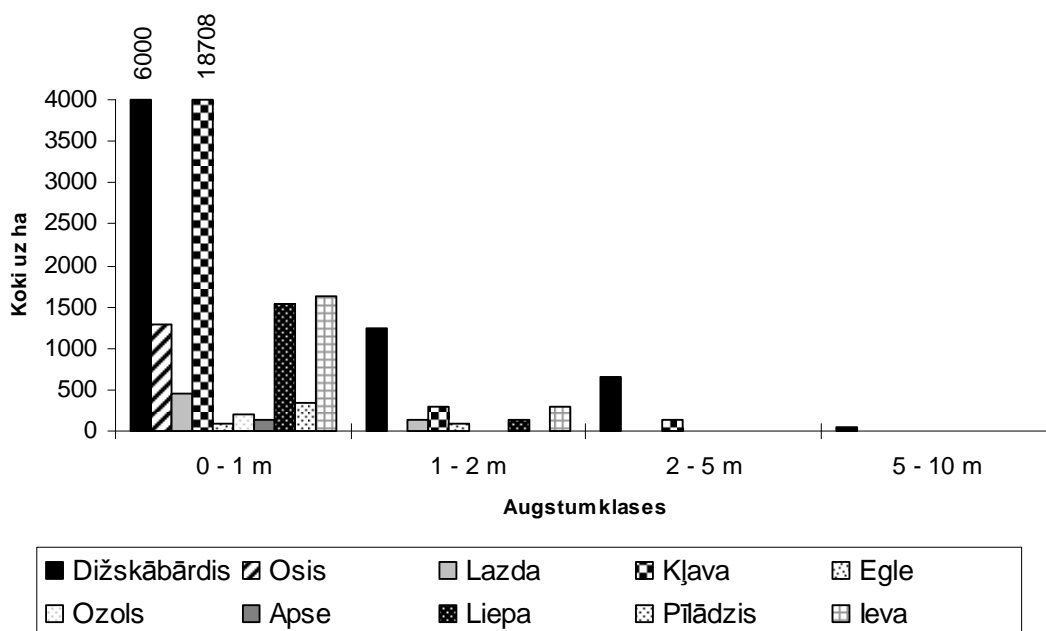
Paaugas dižskābaržu īpatņu skaits (biežums) uzrādīja savstarpējas korelācijas (4.4. tabula), norādot, ka dižskābardis spēj veiksmīgi attīstīties un ka starp dažāda izmēra dižskābarža īpatņiem paaugā nav izteiktas konkurences. Pozitīva korelācija starp dižskābarža paaugas biežumu un liepas paaugas biežumu varētu liecināt par to, ka dižskābarža atjaunošanās notiek paralēli ar citām sugām, iespējams, vietās ar auglīgāku augsnes virskārtu. Pozitīva korelācija ar I un II stāva kļavas šķērslaukumu ir grūti izskaidrojama, jo kļavas vainagam raksturīga liela noēnošana (Mauriņš, Zvirgzds, 2006). Iespējams, ka šāda sakarība ir netieši saistīta ar samazināto paaugas konkurenci trūcīgos apgaismojuma apstākļos zem kļavas vainaga. Tomēr, lai precīzāk raksturotu dižskābaržu sējeņu ekoloģiskās prasības un atjaunošanos, nepieciešamas veikt padziļinātu analīzi stratificēti izdalot parauglaukumus ar atšķirīgu mežaudzes struktūru.

4.4.tabula

Statistiski būtiskie Pīrsona korelācijas koeficienti starp dižskābarža biezumu dažādās augstuma klasēs un citu sugu paaugas biezumu un I un II stāva koku šķērslaukumu
(p-vērtības: ** <0,01; *** < 0,001)

	Dižskābarža paaugas biezums augstuma klasēs		
	H<1 m	1m<H<5m	abās kopā, H<5 m
Dižskābarža paaugas biezums 1 m<H< 5 m	0,98**		
Dižskābarža paaugas biezums, H < 5 m	0,99***	0,99***	
Liepas paaugas biezums 1 m< H < 5 m	0,55***	0,56***	0,56***
Kļavas I un II stāva koku šķērslaukums	0,50**	0,50**	0,50**

Transektos, kur veikta gaismas apstākļu novērtēšana zem vecās audzes vainagu klāja, paaugu veido galvenokārt kļava (~ 60 %) un dižskābardis (~ 25 %); paaugā un pamežā kopumā konstatētas 10 sugas. Paaugas un pameža augstumu struktūra parādīta 4.7.attēlā.



4.7.attēls. Apgaismojuma apstākļu novērtēšanas transektēs konstatētās paaugas un pameža augstumstruktūra.

Starpt kokiem ar augstumu līdz vienam metram dominēja kļava, taču lielākajās augstuma klasēs pārsvarā konstatēts dižskābardis. Paaugas struktūra transektos bija mozaīkveida. Paaugas struktūras parametri parādīja būtiskas saistības ar apgaismojuma parametriem (4.5.tab.).

4.5.tabula

Būtiskie Pīrsona korelācijas koeficienti (treknrakstā) starp paaugas (t. sk. pameža) un apgaismojuma parametriem pētītajās dižskābarža audzēs pie Kalētiem

Koku sugām analizētās pazīmes	<i>Gap Fraction</i>	<i>Openness</i>	Tiešā radiācija	Izkliedētā radiācija	Kopējā radiācija	Brīvības pakāpju skaits
Īpatņu skaits						
<i>Fagus</i>	0,36*	0,33*	0,30	0,20	0,30	39
<i>Tilia</i>	0,65*	0,64*	0,51	0,56	0,57	10
kopā	0,24	0,25	0,03	0,26*	0,12	58
Īpatņu vidējais garums						
<i>Corylus</i>	0,54	0,58*	-0,12	0,66*	0,19	10
<i>Acer</i>	0,04	0,11	-0,15	0,40**	0,03	52
Īpatņu kopējais garums						
<i>Fagus</i>	0,26	0,28	0,12	0,32*	0,20	39
<i>Corylus</i>	0,54	0,57	-0,04	0,59*	0,24	10
<i>Acer</i>	0,06	0,11	-0,11	0,31*	0,02	52
<i>Tilia</i>	0,59*	0,61*	0,53	0,60*	0,59*	10
Kopā	0,27	0,32		0,49**		56

Būtiskuma līmenis, p-vērtības: * < 0,05, ** < 0,01, *** < 0,001.

Vainaga atvērumam (*Gap fraction* un *Openness*) bija būtiska ietekme uz dižskābarža un liepas skaitu, bet to augstums neuzrādīja būtiskas saistības ar apgaismojumu, liecinot, ka šo sugu augšanu pēc iesēšanās nelimitēja apgaismojums. Tomēr apgaismojuma apstākļi nosaka kopējo paaugas biezumu, par ko liecina būtiskā korelācija starp paaugas un pameža sugu kopgarumu un izkliedētās radiācijas daudzumu. Acīmredzot, liela noēnojuma gadījumā (kāds tika konstatēts dižskābarža audzē, kur vidējā apgaismojuma intensitāte zem vainaga bija 8,9 % no apgaismojuma virs vainaga) izkliedētajai radiācijai ir nozīmīga loma paaugas attīstībā. Minimālās apgaismojuma parametru vērtības, pie kurām bija konstatēta dižskābarža paauga bija zemas (4.6.tab.), kas liecina par spēju atjaunoties liela noēnojuma apstākļos Latvijā, piemēram, zem egles valdaudzes.

4.6.tabula

Apgaismojuma parametru (*Gap Fraction*, *Openness*, tiešā, izkliedētā un kopējā radiācija zem vainagiem) minimālās (sliekšņa) vērtības, pie kurām dižskābardis sastopams paaugā audzē pie Kalētiem

Apgaismojuma rādītāji	<i>Gap Fraction</i>	<i>Openness</i>	Tiešā radiācija	Izkliedētā radiācija	Kopējā radiācija
Sliekšnis	2,34	2,6	0,67	0,58	2,2
Relatīvi pret kopējo radiāciju virs vainaga			1,4%	1,2%	4,6%

Kopumā var secināt, ka dižskābarža augšana un dabiskā atjaunošanās stādītajās audzēs un to tuvumā Latvijā ir sekmīga, paaugas koki ir ļoti ēncietīgi un esošajos apstākļos ir spējīgi konkurēt ar citām sugām. Stādītajās audzēs dižskābarža augšanai ziemas temperatūra nav

limitējoša, tomēr radiālo pieaugumu ietekmē ar ūdens deficītu vasarā saistītie klimatiskie faktori. Tādējādi dižskābarža augšanai (audzēšanai) būtu piemērotas teritorijas ar pietiekamu mitruma nodrošinājumu. Dižskābarža audžu krāja vairākumā gadījumu pārsniedz egles un bērza audžu krāju līdzīgā vecumā un meža tipā, neatpaliekot no tā augšanas rādītājiem izplatības areāla centrālajā daļā (Vācijā). Īpaši tas sakāms par mežaudzēm otrajā paaudzē, kuru krāja pārsniedz pat par 30-50 gadiem vecāku pirmās paaudzes audžu krāju. Otrās paaudzes koku augstāko ražību, iespējams, ietekmē vairāku faktoru kombinācija, tai skaitā dabiskā izlase, pielāgojoties Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (līdzīgi kā konstatēts pētījumos par Klinškalnu priedi). Lai precīzāk novērtētu šī faktora potenciālo ietekmi, līdz ar to rekomendējot piemērotu pieeju dižskābarža sēklu ieguvei plašākai izmantošanai meža atjaunošanā, nepieciešamas ģenētiskās analīzes. Tāpat lietderīgi detalizētāk vērtēt atsevišķu klimatisko faktoru (dekāžu un ekstrēmu dati) ietekmi uz dižskābarža radiālo augšanu un saglabāšanos, tai skaitā, veicot eksperimentus kontrolētos apstākļos (piemēram, salcietības testus), kā arī paaugas vecumstruktūras analīzi kontekstā ar meteoroloģiskajiem faktoriem.

Iegūtie rezultāti liecina, ka lapegles augšanu ietekmē iepriekšējā gada vasaras beigu temperatūra, turklāt korelācija ir negatīva. Šādā gadījumā, klimatam kļūstot siltākam, lapegles augšana var tikt apgrūtināta.

4.7.tabula

Atkārtoti pārmērīto dižskābaržu audžu taksācijas rādītāji Šķēdes MN

Kvartāls, nogabals	Kokaudzes daļa	Uzmērīšanas gads	Koku vecums	Koku suga	Biezums	G	M	V	D _g	H _g
					ha ⁻¹	m ² ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m ³	cm	m
21.kv. 27.nog.	Valdaudze	1989	35	Ds	1560.0	33.8	344.6	0.2	16.6	20.5
	Starpaudze			Ds	810.0	4.1	34.6	0.0	8.1	15.6
	Kopā				2370.0	37.9	379.2			
	Valdaudze	1994	44	Ds	1320.0	37.4	393.8	0.3	19.0	21.5
	Starpaudze			Ds	600.0	3.2	26.9	0.0	8.2	15.8
	Kopā				1920.0	40.6	420.7			
	Valdaudze	2003	49	Ds	1290.0	45.4	491.7	0.4	21.2	22.2
	Starpaudze			Ds	540.0	3.2	27.9	0.1	8.7	16.2
	Kopā				1830.0	48.6	519.6			
	Valdaudze	2008	53	Ds	1280.0	49.9	572.4	0.4	22.0	22.8
	Starpaudze			Ds	550.0	3.6	31.0	0.1	9.2	16.1
	Kopā				1830.0	53.5	603.4			
	Valdaudze	2013	58	Ds	1270.0	54.5	636.5	0.5	23.0	23.2
	Starpaudze			Ds	480.0	3.7	31.7	0.1	9.6	16.2
	Kopā				1750.0	58.2	668.2			
14.kv.3.nog.	Valdaudze	1989	39	Ds	720.0	20.0	229.2	0.3	18.8	23.1
				Oz	30.0	1.5	21.9	0.7	25.3	25.1
	Starpaudze			Ds	850.0	5.3	51.0	0.0	8.9	18.0
	Kopā				1600.0	26.8	302.1			

	Valdaudze	2000	50	Ds	710.0	30.3	361.5	0.5	23.3	24.5
				Oz	20.0	1.5	22.2	1.1	31.1	26.5
	Starpaudze			Ds	660.0	4.5	42.8	0.1	9.3	18.2
	Kopā				1390.0	36.3	426.5			
	Valdaudze	2003	53	Ds	630.0	29.6	358.1	0.6	24.5	24.9
				Oz	10.0	1.3	19.4	1.9	41.0	28.4
	Starpaudze			Ds	490.0	3.4	32.4	0.1	9.4	18.3
	Kopā				1130.0	34.3	409.9			
	Valdaudze	2013	58	Ds	650.0	32.7	374.4	0.6	24.8	23.1
	Starpaudze			Ds	490.0	3.9	33.7	0.1	10.0	16.7
	Kopā				1140.0	36.6	408.1			
	Valdaudze	2013	63	Ds	680.0	39.0	454.0	0.7	26.3	23.5
	Starpaudze			Ds	460.0	4.0	35.9	0.1	10.3	16.7
	Kopā				1140.0	43.0	489.9			
23.kv. 25.nog.	Valdaudze	1989	96	Ds	424.0	27.9	357.7	0.8	28.9	26.5
				B	62.0	4.0	59.6	1.0	27.9	26.1
				Oz	19.0	0.9	12.8	0.7	24.5	24.9
	Starpaudze			Ds	357.0	3.0	26.6	0.1	10.4	16.7
				E	29.0	0.5	5.6	0.2	14.6	20.0
	Kopā				891.0	36.3	462.3			
	Valdaudze	1994	101	Ds	424.0	31.3	408.0	1.0	30.7	27.0
				B	48.0	3.7	55.2	1.2	28.9	26.5
				Oz	14.0	0.8	11.5	0.8	26.7	25.7
	Starpaudze			Ds	329.0	3.4	31.7	0.1	11.6	17.7
				E	29.0	0.5	6.3	0.2	15.4	20.5
	Kopā				844.0	39.7	512.7			
	Valdaudze	2003	110	Ds	414.0	33.0	434.5	1.0	31.9	27.4
				B	24.0	2.4	35.8	1.5	32.3	27.6
				Oz	14.0	0.8	11.7	0.8	26.9	25.8
	Starpaudze			Ds	238.0	2.8	26.7	0.1	12.3	18.3
				E	10.0	0.2	2.2	0.2	15.9	20.8
	Kopā				700.0	39.2	510.9			
	Valdaudze	2008	115	Ds	395.0	34.3	456.3	1.1	32.2	27.2
	Starpaudze			Ds	224.0	2.9	27.6	0.1	12.8	18.7
	-			E	14.0	0.2	22.8	1.6	14.3	19.7
				Oz	10.0	0.6	25.4	0.7	27.1	25.9
				B	24.0	2.2	26.2	1.2	34.4	28.2
	Kopā				667.0	40.1	558.4			
	Valdaudze	2013	120	Ds	400.0	36.1	485.1	1.2	32.0	27.1
	Starpaudze			Ds	219.0	3.8	40.4	0.2	7.2	10.6
	-			E	10.0	2.3	2.3	0.2	17.1	21.5
				Oz	5.0	0.3	4.3	0.9	30.0	26.8
				B	24.0	2.2	26.2	1.3	35.1	28.3
	Kopā				658.0	40.5	562.7			

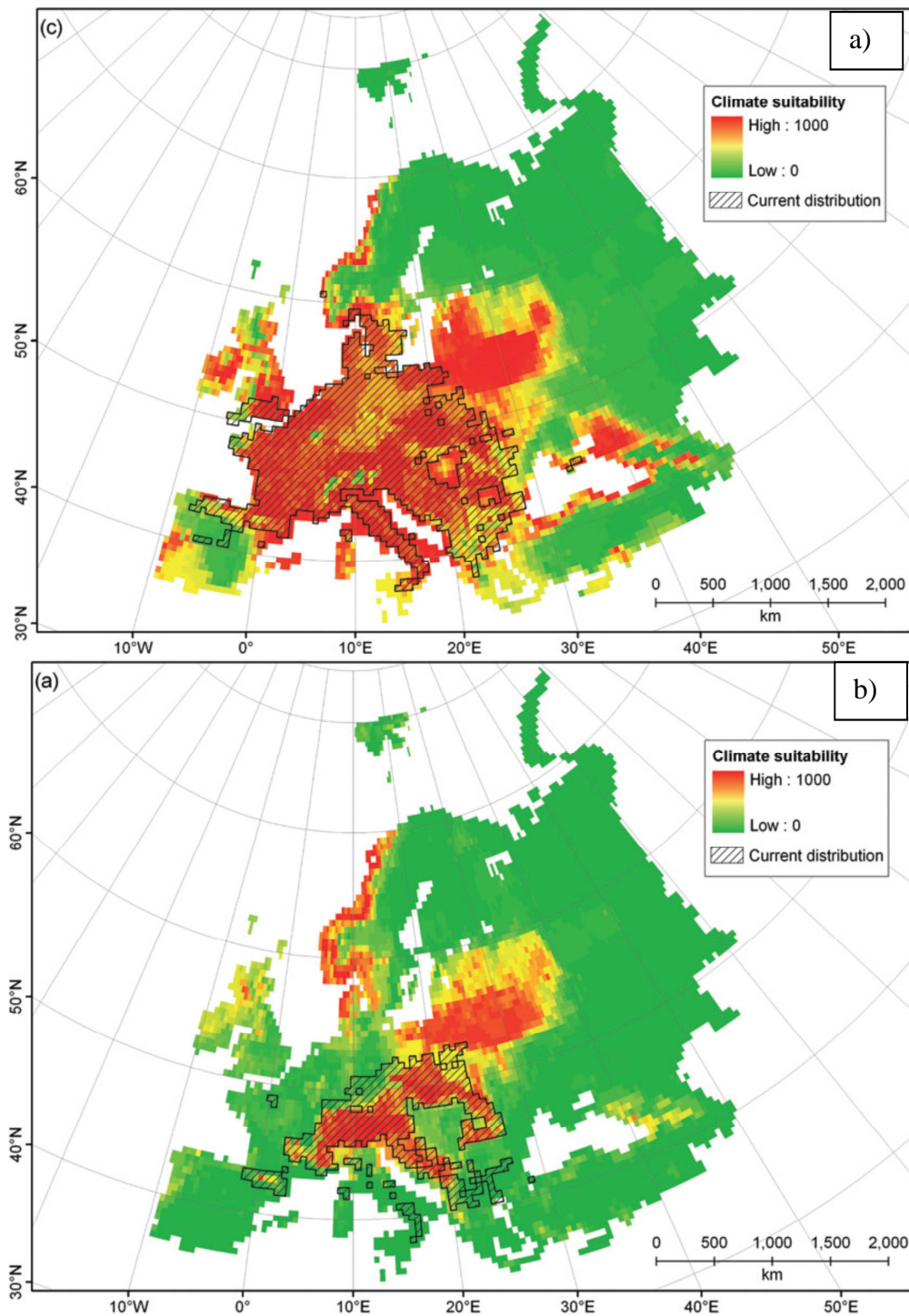
26.kv. 7.nog.	Valdaudze	1989	86	Ds	276.0	36.9	490.9	1.8	41.3	28.3
				E	44.0	4.3	52.1	1.2	35.3	26.3
				Oz	9.0	0.5	5.0	0.6	25.6	22.3
	Starpaudze			Ds	64.0	1.5	13.1	0.2	17.2	17.4
	Kopā				393.0	43.2	561.1			
	Valdaudze	1994	91	Ds	247.0	37.9	515.4	2.1	44.2	29.1
				E	22.0	2.4	29.0	1.3	37.0	26.9
	Starpaudze			Ds	56.0	1.4	13.0	0.2	18.1	18.0
	Kopā				325.0	41.7	557.4			
	Valdaudze	2008	105	Ds	222.0	222.0	519.6	2.3	45.9	30.5
				E	36.0	4.4	59.7	1.7	39.7	28.8
	Starpaudze			Ds	47.0	1.6	16.9	0.4	20.9	21.3
	Kopā				305.0	228.0	596.2			
	Valdaudze	2013	110	Ds	193.0	38.2	554.7	2.9	50.2	31.5
				E	36.0	4.4	59.7	1.7	39.7	28.8
21.kv. 1.nog.	Starpaudze			Ds	44.0	1.8	20.4	0.5	23.0	22.4
	Kopā				273.0	44.4	634.8			
	Valdaudze	2003	115	Ds	280.0	35.7	473.8	1.7	40.3	27.9
	Starpaudze			Ds	107.0	1.7	15.8	0.2	14.3	16.6
	Kopā				387.0	37.4	489.6			
	Valdaudze	2008	120	Ds	280.0	38.8	598.8	2.1	40.7	28.5
	Starpaudze			Ds	97.0	1.3	13.3	0.1	13.0	14.8
	Kopā				377.0	40.1	612.1			
	Valdaudze	2013	125	Ds	280.0	41.0	635.7	2.3	41.8	28.8
	Starpaudze			Ds	87.0	1.1	11.4	0.1	12.8	14.6
21.kv. 25.nog.	Kopā				367.0	42.1	647.1			
	Valdaudze	1989	101	Ds	364.0	42.8	686.3	1.887	38.7	33.8
	Starpaudze			Ds	112.0	2.9	34.4	0.306	17.7	22.9
	Kopā				476.0	45.7	720.7			
	Valdaudze	1994	106	Ds	355.0	45.4	760.6	2.2	40.4	34.4
	Starpaudze			Ds	106.0	2.9	32.5	0.4	18.3	23.3
	Kopā				461.0	48.3	793.1			
	Valdaudze	2003	115	Ds	352.0	47.9	786.2	2.2	41.7	34.8
	Starpaudze			Ds	88.0	2.6	31.8	0.4	19.5	24.6
	Kopā				440.0	50.5	818.0			
	Valdaudze	2008	120	Ds	358.0	50.8	915.9	2.6	41.7	33.9
	Starpaudze				85.0	2.6	37.3	0.4	19.5	23.2
	Kopā				443.0	53.4	953.2			
	Valdaudze	2013	125	Ds	352.0	53.3	966.8	2.8	43.0	34.3
	Starpaudze				85.0	3.3	50.0	0.4	22.1	25.2
	Kopā				437	56.6	1016.8			

5. Meža koku sugu migrācija un dispersija

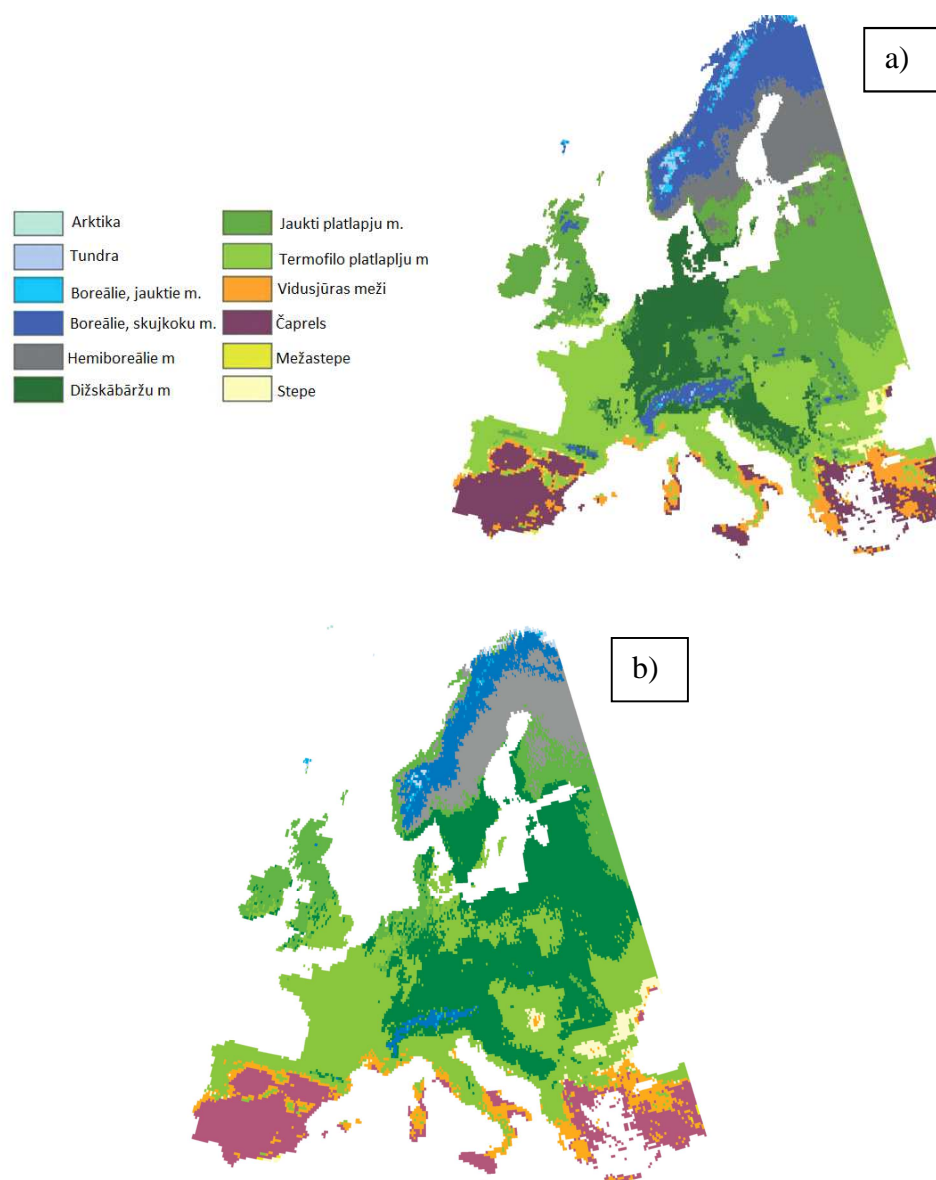
Pārskata periodā analizēti koku sugu migrāciju raksturojošie modeļi, īpašu vērību veltot atsevišķām cieto lapu koku sugām, kā arī apkopots materiāls un metodika provenienču robežu izmaiņu modeļa sagatavošanai vienai koku sugai (modeļa izstrāde paredzēta nākamajā pārskata periodā).

Mainoties vides apstākļiem, piemēram, klimatam, ir novērojama sugu areālu izmaiņas: samazināšanās, palielināšanās vai pārbīde, kad sugas ir spiestas migrēt, lai saglabātu savu ekoloģisko nišu (Corlett, Westcott, 2013; Maiorano et al., 2013; Svenning, Sandel, 2013; Sykes et al., 1996). Lai prognozētu mežu izmaiņas klimata izmaiņu dēļ, Eiropā ir izveidoti daudzi modeļi (Cheaib et al., 2012; Hanewinkel et al., 2012; Hickler et al., 2012; Lindner et al., 2010; Maiorano et al., 2013), un vairums no tiem paredz, ka tuvāko 60 gadu laikā nemorālo sugu izplatības areāli paplašināsies uz ziemeļiem (5.1.att., 5.2.att.), izspiežot ziemeļu sugas (piemēram, parasto priedi) (Reich, Oleksyn, 2008; 5.2.att.).

Tādējādi tuvākajās desmitgadēs būs iespējams vērot dabisku sugu kompleksa nomaiņu. Eiropas dienvidu daļā izplatīsies Vidusjūras reģionam raksturīga veģetācija un koku sugas (Cheaib et al., 2012). Šie pieņēmumi ir balstīti uz klimata izmaiņu scenārijiem, kas paredz paaugstinātu temperatūru Eiropas ziemeļos un ilgstošākus sausuma periodus Eiropas centrālajā un dienvidu daļā, (IPCC 2007). Iepriekš minētie modeļi izmanto ekoloģisko nišu (bioclimatic envelope) pieeju, kas parāda, kāda būs sugas augšanai piemēroto klimatisko faktoru kopu izplatība, balstoties uz pašreizējiem dabiskajiem limitējošajiem faktoriem (Pearson, Dawson, 2003). Tomēr sugu nomaiņai pastāv bioloģiskais (Huntley et al., 2010) un arī saimnieciskais aspekts, kas var kavēt vai arī sekmēt kādas sugas areāla maiņu atkarībā no sugu bioloģiskās un sociālekonomiskās vērtības (Hanewinkel et al., 2012). Sugas spēj pastāvēt ārpus to areāla, bet parasti tās nespēj vairoties un izplatīties (Cox, Moore, 2010). Mežu sastāva izmaiņas var nenotikt tik strauji, kā to pieļautu klimata izmaiņas, jo esošajai veģetācijai ir pielāgošanās spējas, kas var darboties kā „buferis”, nodrošinot to izdzīvošanu un kavējot jaunu sugu ienākšanu (Lenoir et al., 2013). Īpaši tas attiecas uz koku sugām ar garu dzīves ciklu. Bieži, lai suga ienāktu „jaunā” teritorijā, ir nepieciešams traucējums (Petit et al., 2004), lai gan par šādu traucējumu uzskata arī klimata pārmaiņas (Kullman, 2008; Lindner et al., 2010; Sykes, 2001). Vides apstākļu izmaiņu ātrums ir variabls, kā rezultātā sugas izplatīšanās ātrums var būt svarīgs sugas saglabāšanai (suga ar zemu izplatīšanās ātrumu var sastapties ar paaugstinātu konkurenci, pakāpeniski izzust) (Corlett, Westcott, 2013; Howe, Smallwood, 1982; Meier et al., 2012; Svenning, Sandel, 2013). Tomēr klimats var arī ietekmēt (palielināt) sugas izplatīšanās ātrumu (Meier et al., 2012). Tiek uzskatīts, ka sugas izplatīšanās spēja (ātrums un attālums paaudzes laikā) ir viens no faktoriem, kas nosaka dabisko augu sabiedrību (audžu) sastāvu un struktūru (Levin et al., 2003), tādējādi ietekmējot ainavu vai pat ekosistēmu.



5.1.attēls. Dižskābarža (a) un *Abies alba* (b) augšanai piemēroto klimatisko apstākļu prognoze uz 21. gs. beigām (no Maiorano et al., 2013).



Modelēšanā izmantots dinamiskais veģetācijas modelis, izmantojot HadCM3 klimata scenāriju (IPCC 2007). Attēlā uzskatāmi parādīts, ka vides faktori kļūs labvēlīgi lapu koku sugām.

5.2. attēls. Veģetācijas zonu izplatības prognozes Eiropai 21. (a) un 22. gadsimta (b) beigās (no Hickler et al., 2012).

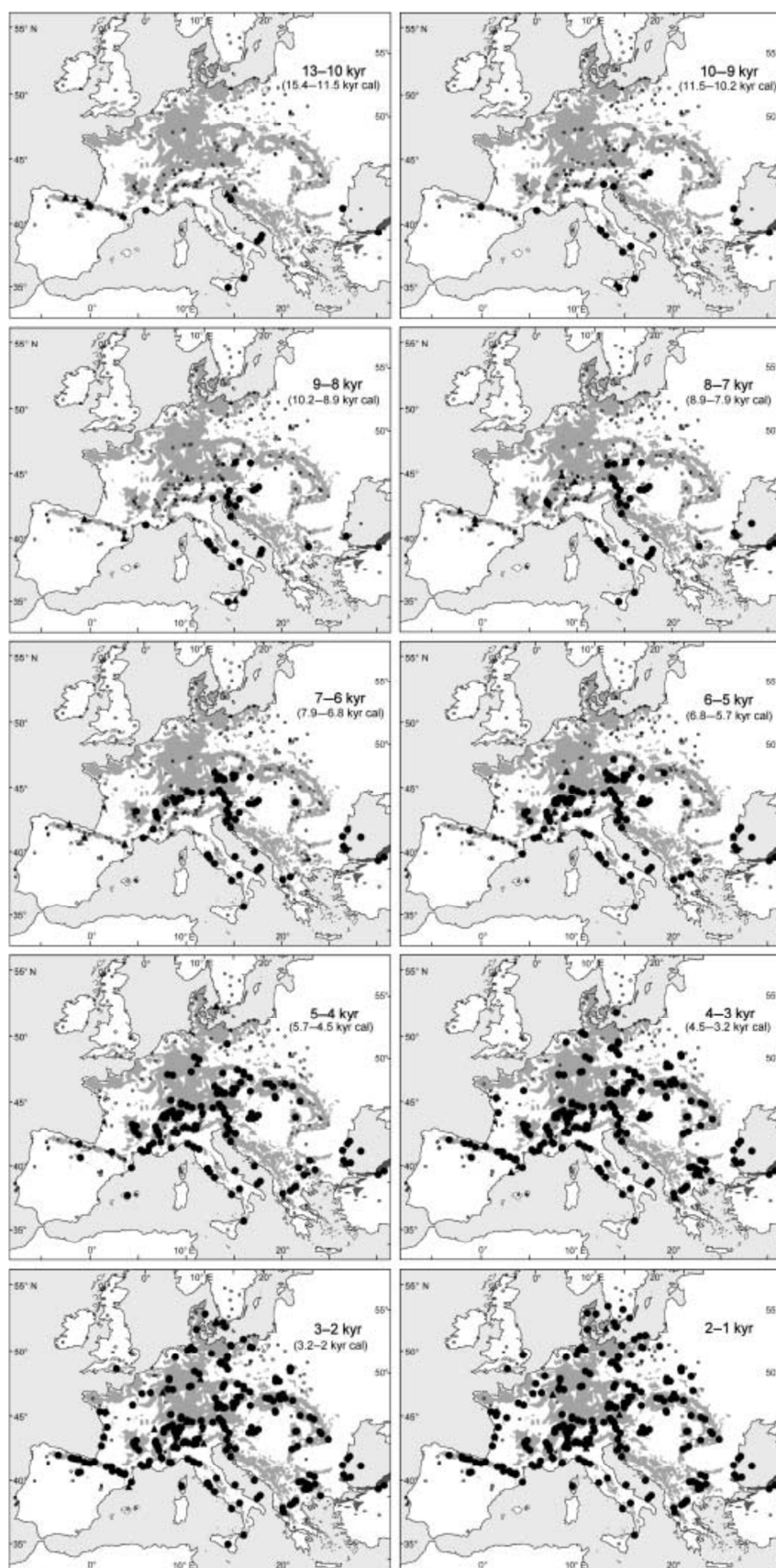
Sugas izplatīšanās spēja savukārt ir atkarīga no vairākiem faktoriem. Kā viens no nozīmīgiem faktoriem ir minamas sēklu īpašības, kas atšķiras starp dažādām sugām (Ennos, 1994). Augiem ar mazām sēklām, kuras izplata vējš, raksturīga augsta izplatīšanās spēja (attālums), turpretim, sugas ar smagām sēklām, ko pārvieto dzīvnieki vai ūdeņi, izplatās relatīvi lēni (nelielos attālos) (Howe, Smallwood, 1982). Piemēram, pētījumi liecina, ka sugas, kuru sēklas izplata vējš, jau pēc dažiem gadiem sāka kolonizēt Sv. Helēnas kalnu, kur pilnīgi visa veģetācija bija iznīcināta vulkāna izvirduma laikā (Dale, 1989). Nokļūstot augšupejošajās (siltajās) gaisa masās, vieglās *Populus* un *Salix* ģinšu sugu sēklas var izplatīties pat simtiem kilometru attāluma; pat *Ulmus* un *Acer* ģinšu sugu sēklas šādā viedā var pārvietoties vairākus kilometrus (Horn et al., 2001). Ņemot vērā meža koku sugām raksturīgo lielo kopējo producēto sēklu skaitu, minētais mehānisms nodrošina augstu varbūtību, ka arī sugas ar smagākām sēklām spēs migrēt ievērojamā attālumā (Clark, 1998; Petit et al., 2004). Lielais sēklu skaits nodrošina, ka dažas no tām pārvarēs ievērojamus

attālumus arī „nestandarta” veidā, piemēram, sēklas, kuras izplata skudras, var tikt izplatītas lielā attāluma, ja tās apēd putns (Higgins et al., 2003). Zīļu un riekstu izplatīšanā arī lielos attālos būtiska loma ir sīļiem (den Ouden et al., 2005; Johnson, Adkisson, 1985). Tomēr izplatīšanās vektors (aģents) nav strikti lietojams kā kritērijs sugas izplatības ātruma novērtējumam (Wilson et al., 2009), jo parasti sēklas tiek izplatītas, līdzdarbojoties vairākiem faktoriem (Levin et al., 2003; Nathan et al., 2008). Vēsturiski sugu izplatības ceļi ir bijuši cieši saistīti ar cilvēka izplatības (migrāciju) ceļiem, norādot uz cilvēka ietekmi un saistību ar sugu izplatīšanos (Lindbladh et al., 2000; Magri, 2008). Cilvēka darbībai mūsdienās ir pieaugoša loma sugu (kokaugu) izplatīšanā, un tā uzskatāma par neatņemamu (koku) izplatīšanās sastāvdaļu, it īpaši sugām ar lēnu izplatīšanās ātrumu (Petit et al., 2004; Wilson et al., 2009). Papildus koku sugu izplatīšanās spēju ietekmē tādi faktori kā laika periods, kurā sēklas saglabā dīgtspēju (Nathan et al., 2008; Petit et al., 2004), un vecums, kurā koks sāk ražot sēklās, respektīvi, kad jaunais indivīds sāk kalpot par sēklu (diasporu) avotu sugas turpmākai izplatībai (Howe, Smallwood, 1982).

Sēklu izplatīšanās ātrums ir minams arī kā gēnu plūsmas sastāvdaļa (lai gan daudz lēnāka nekā ar putekšņiem), kas nodrošina sugas ekoloģisko plastiskumu un spēju pielāgoties mainīgai videi, it īpaši areāla robežu tuvumā (Kremer et al., 2012). Šajā aspektā, lai uzlabotu mežaudžu ražību, ir veikti dažādi introdukcijas un provenienču eksperimenti (Burton, 2011). Tomēr jāņem vērā, ka introducētās sugas, kam piemīt augsta izplatīšanās spēja un daudzveidīgs genoms, var kļūt invazīvas un apdraudēt vietējo sugu vitalitāti vai pastāvēšanu (Despain, 2001), kura ir spēcīgs konkurents ar vietējām sugām it īpaši traucējumu (klimta izmaiņu) dēļ (Sykes, 2001). Šāda situācija ir novērojama Ziemeļamerikā, kur parastā kļava (*Acer platanoides*) plaši izplatās un izkonkurē vietējās kļavu sugas radot ekonomiskus zaudējumus un samazinot bioloģisko daudzveidību (Martin et al., 1999). Tomēr pagaidām skujkoki nav uzskatāmi par invazīviem Eiropas ziemeļos (t.sk. Latvijā) (dati no NOBANIS, <http://www.nobanis.org>). Klimata izmaiņu kontekstā būtiski izvērtēt, kur vietējām koku sugām apstākļi kļūst mazāk piemēroti un to vitalitātes zudums ir dabisks process, kas saistīts ar areāla maiņu, un citu sugu izmantošana meža atjaunošanā būtu attaisnojama ne tikai no ekonomiskā viedokļa.

Lai samazinātu iespējamo klimata pārmaiņu ietekmi uz mežsaimniecību, kā arī palielinātu mežu bioloģisko vērtību, Centrālajā un Rietumeiropā arvien biežāk tiek izmantota platlapju (dižskābarža vai ozola) paaugas izveidošana saimnieciskos mežos (Zerbe, 2002). Šāda prakse ir piemērota Centrāleiropai, kur ir novērota dabiska dižskābarža atjaunošanās kopā ar skujkokiem (Björkman, Bradshaw, 1996; Nagel et al., 2006). Šāda prakse ir piemērota Centrāleiropai, kur vēsturiski notikusi dižskābaržu un skujkoku (*Abies* sp.) cikliska attīstība, kas saistīta ar cilvēka ietekmi (ganīšanu un medību saimniecību) (Vrška et al., 2009). Dižskābardis labi sadzīvo ar egli un spēj atjaunoties zem tās (Bradshaw, Lindbladh, 2005; Götmark et al., 2005b; Nagel et al., 2006). Dižskābarža sējeņiem zem skujkokiem ir raksturīgs grupveida izvietojums, kas galvenokārt saistīts ar izplatīšanās vektoru darbību, nevis mikroklimatiskajiem apstākļiem (Kunstler et al., 2004).

Dižskābarža ziemeļu izplatības robeža joprojām ir zinātnisku diskusiju tēma, tomēr klimata izmaiņu rezultātā dižskābardis varētu dabiski sasniegt Latviju (Bolte et al., 2007). Daži autori uzskata, ka dižskābardis turpina atgūt un paplašināt kādreizējo izplatību (5.3.att.) (Giesecke et al., 2007; Magri, 2008).



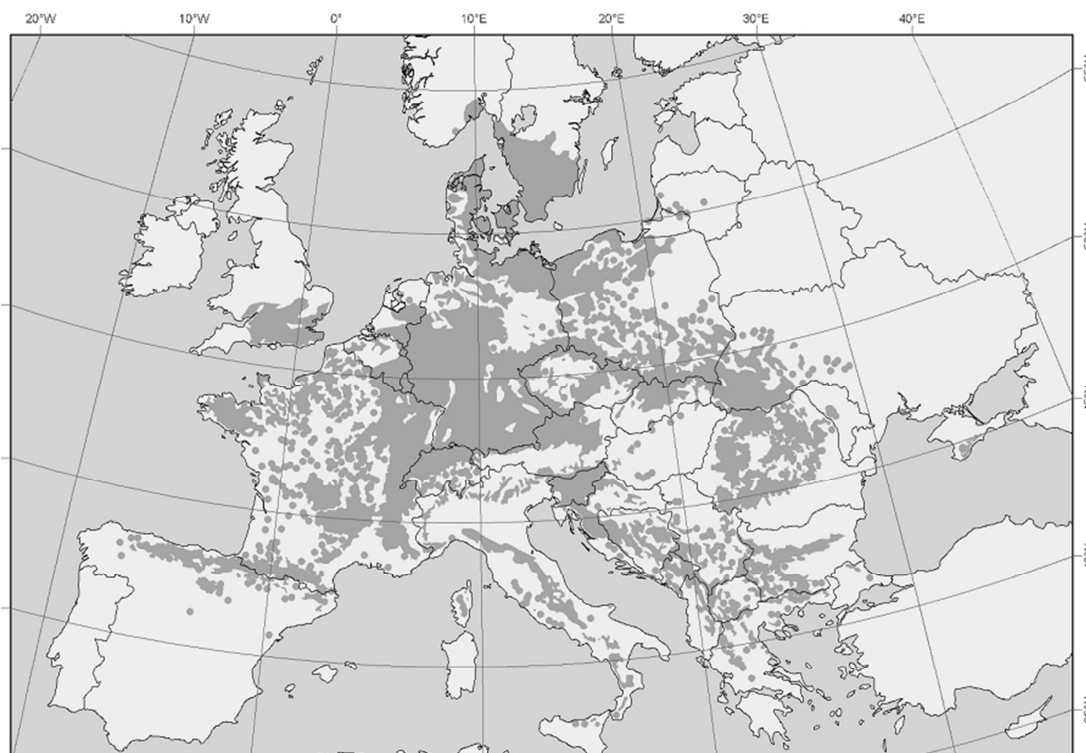
Pelēkais iekrāsojums norāda mūsdienu izplatību, melnie punkti norāda atradnes, kurās putekšņu īpatsvars > 2%
5.3.attēls. Dižskābarža izplatības vēsturiskās izmaiņas pēc ledus laikmeta (pēc Magri, 2008).

Pēdējo 2000 gadu laikā dižskābardis Zviedrijas dienvidos (izplatības areāla ziemeļu daļā) ir ieņēmis arvien plašākas teritorijas (Magri, 2008) un daudzviet pakāpeniski

izkonkurējis ozolu (Niklasson et al., 2002); pēdējās desmitgadēs dižskābarža atjaunošanās ir intensificējusies (Götmark et al., 2005b). Dižskābarža ražas gadi, kas ir nozīmīgi dabiskajai atjaunošanai, paaugstinoties jūlija un septembra temperatūrai, Zviedrijā ir kļuvuši biežāki (Övergaard et al., 2007), liecinot par pieaugošu dižskābarža izplatīšanās potenciālu (Nilsson, Wästljung, 1987). Dabiskā dižskābarža izplatīšanās ir lēna (Götmark et al., 2005b), tā vēsturisko izplatību lielā mērā ir ietekmējusi cilvēka darbība (Bolte et al., 2007), tādēļ precīzu izplatīšanās (areāla izmaiņu) ātrumu ir grūti raksturot. Piemēram, no stādījumiem Latvijā – Šķēdē - dižskābardis izplatās blakus teritorijās ar ātrumu ap 4 m gadā, tomēr šis novērtējums ir stipri aptuvens (Sabule L., 2009). Vēsturiskais izplatīšanās ātrums Eiropā ir bijis variabls (Magri, 2008) un svārstījies no 250 līdz 560 m gadā atkarībā no limitējošo faktoru kompleksa (mazākais ātrums bijis klimata limitētajā areāla ziemeļaustrumu daļā) (Saltre et al., 2013). Introducētajiem kokaugiem raksturīga atjaunošanās un izplatīšanās aizture (pat līdz 170 gadiem) pēc iestādīšanas (Petit et al., 2004), kas arī varētu izskaidrot lēno izplatīšanos Šķēdē.

Dižskābarža sēklas ir smagas un nav piemērotas izplatībai ar vēju. Dabisko dižskābarža izplatīšanos sekmē grauzēji un putni, kā arī sēklas var izplatīties ar ūdeņiem (den Ouden et al., 2005; Götmark et al., 2005b; Nilsson, Wästljung, 1987; Rackham, 2003). Gravitācijas ietekmē sēklas spēj izplatīties vien līdz 20 m attālumā no vainaga robežas (Oddou-Muratorio et al., 2010; Sagnard et al., 2007). Grauzēji izplata sēklas nedaudz lielākos attālumos: no dažiem desmitiem līdz dažiem simtiem metru (Jensen, 1985). Putni (sīļi) var izplatīt dižskābardis lielākos attālumos – līdz 4 km (Johnson, Adkisson, 1985). Liela ietekme uz izplatīšanos (iesēšanos un sekmīgu attīstību) ir riekstu ražas biežumam un intensitātei: lielas ražas gadījumā vairāk sēklu netiek apēstas un veido dīgļstus (Jensen, 1985; Nilsson, Wästljung, 1987). Citu koku sēklu ražas intensitāte var ietekmēt dižskābarža izplatīšanos, ietekmējot barības izvēli putniem (piemēram, ja vienlaicīgi ir ozolu un dižskābaržu sēklu ražas gads, sīlis var izvēlēties baroties ar ozolzīlēm) (Johnson, Adkisson, 1985).

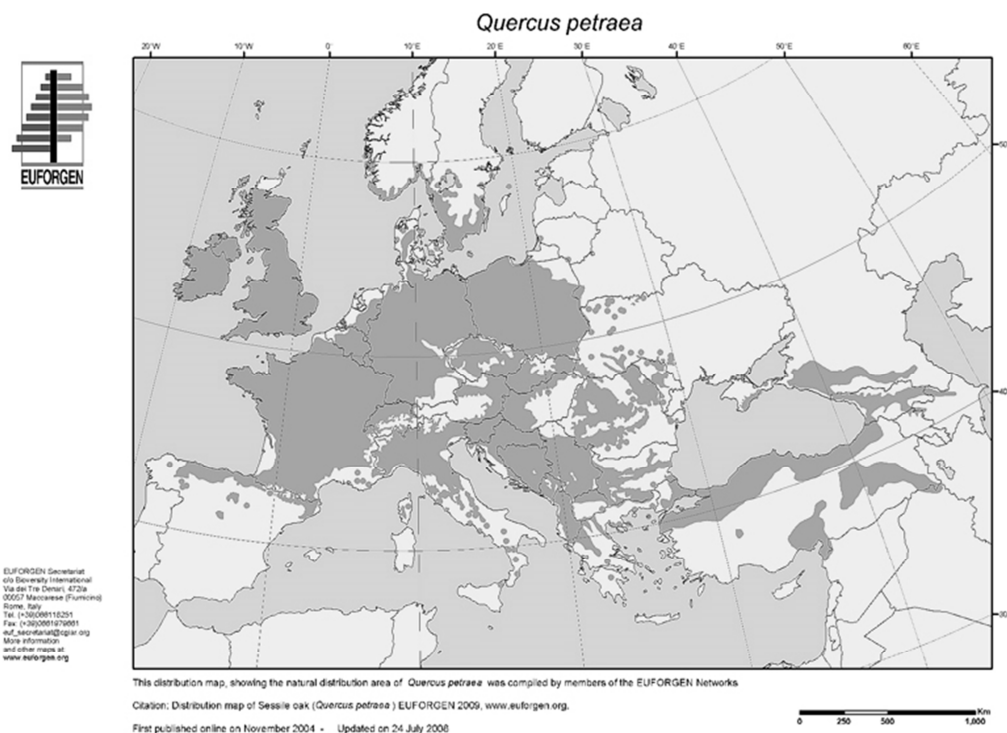
Pašlaik tiek uzskatīts, ka dižskābarža dabiskās izplatības areāla ziemeļu robeža ir Zviedrijas dienvidu daļa (5.4.att.), lai gan atsevišķi stādījumi sastopami Baltijas valstīs (Bolte et al., 2007). Zviedrijā dižskābardis gandrīz sasniedz 60. ziemeļu paralēli, kas pārsniedz Latvijas lielāko ģeogrāfisko platumu. Tomēr klimats Zviedrijas dienvidos ir mērenāks (gada vidējā temperatūra ir ap 7 °C, janvāra vidējā temperatūra ap -2 °C un jūlija vidējā temperatūra ap 16 °C, nokrišņi 600–1000 mm gadā, (Drobyshev et al., 2008)), okeāniskāks, ar salīdzinoši zemu ikgadējo temperatūras amplitūdu (Huntley, Prentice, 1993; van der Schrier et al., 2006), kāds ir uzskatāms par labvēlīgu dižskābarža augšanai (Bolte et al., 2007). Okeāniska un mērena klimata dēļ Zviedrijas dienvidos dabiski veidojas nemorālā tipa (platlapju) meži (Ellenberg, 1988; Sjors, 1963). Latvija (Kurzeme) daļēji atbilst norādītajām dižskābarža temperatūras prasībām (vidējā temperatūra no - 1 līdz - 4 °C janvārī un ap 18 °C jūlijā) (Huntley et al., 1989), jo vidējā temperatūra janvārī ir no -3 līdz -7 °C un jūlijā no 16 līdz 17,5 °C, attiecīgi, jūras piekrastē un austrumu reģionā (LEGMC).



5.4.attēls. Pašreizējā dižskābarža izplatība Eiropā (pēc EUFORGEN 2009a).

Dižskābarža izplatīšanos ziemeļaustrumu virzienā galvenokārt ir noteicis klimats, nevis sēklu izplatīšanās (Saltre et al., 2013). Ir prognozēts, ka turpmākajās desmitgadēs klimats Latvijā un Baltijā varētu kļūt vēl piemērotāks dižskābardim (Maiorano et al., 2013). Tomēr, ņemot vērā dižskābarža augšanas gaitu (Dreimanis, 2005) un dabisku izplatīšanos (atjaunošanos) (Sabule L., 2009) stādījumā Šķēdē, var secināt, ka augšana pašreizējie apstākļi Kurzemē ir dižskābardim labvēlīgi, ko gan arī varētu skaidrot ar dižskābarža pielāgošanās spējām (Kramer et al., 2010, Weber et al., 2013). Tādējādi var spriest, ka, klimatam paliekot siltākam (Lizuma et al., 2007) un ekstrēmi zemu temperatūru gadījumiem kļūstot retākiem (Avotniece et al., 2010), dižskābardim ir potenciāls iekļauties Latvijas florā un kļūt par saimnieciski nozīmīgu sugu nākotnē. Ir sagaidāms, ka nākamo divu gadsimtu laikā dižskābardis varētu kļūt par parastu sugu Latvijas (Baltijas) mežos (Hanewinkel et al., 2012). Lai gan dižskābarža ziemeļu robežu nelimitē kāds atsevišķs faktors, ir uzskats, ka nozīmīga loma ir ziemas temperatūrai (Bolte et al., 2007); Latvijā klimatiskajiem faktoriem nav strikti limitējoša ietekme uz augšanu (Sabule L., 2009). Ļoti iespējams, ka pašreizējās areāla ziemeļu robežas nosaka sugas izplatīšanās ātrums (Bolte et al., 2007; Götmark et al., 2005b). Dižskābarža izplatības austrumu robežu nosaka kontinentalitāte un zemas temperatūras ziemā (Babst et al., 2012; Bolte et al., 2007; Saltre et al., 2013); dižskābarža izplatīšanās varētu būt apgrūtināta Latvijas austrumu daļā, kur klimats ir kontinentālāks, ziemas aukstākas (Temņikova, 1975) un klimatiskie ekstrēmi izteiktāki (Avotniece et al., 2010). Lai gan suga ir jutīga pret sausumu (Dittmar et al., 2003), kas varētu kļūt par ietekmējošu faktoru Ziemeļeiropā nākotnē (IPCC 2007), tomēr dižskābardim piemīt augsts ekoloģiskais plastiskums (Bolte et al., 2007), ko nosaka ātras pielāgošanās spēja un ģenētiskā daudzveidība (Jump et al., 2006; Kramer et al., 2010). Tomēr sausuma ietekme uz augšanu potenciāli varētu būt izteiktāka Latvijas austrumu reģionā, kā jau novērots parastajam ozolam (Matisons et al., 2012). Ziemas temperatūras potenciāli var limitēt sējeņu izdzīvošanu (Bolte et al., 2007).

Kā vēl viena lapu koku suga, kas varētu ienākt Latvijā, ir minama klinšu ozols *Quercus petraea*. Šī suga tiek uzskatīta par parastā ozola dvīņsugu (Scotti-Saintagne et al., 2004), kas nedaudz atšķiras ar ekoloģiju, (Bréda et al., 1993; Sykes et al., 1996) bet kuras izplatības areāls ir centrālā un dienvidu Eiropa (5.5.att., EUFORGEN 2009b). Klimatiskās prasības klinšu ozolam ir ļoti līdzīgas kā dižskābardim: būtiski, lai ziemas aukstākā mēneša vidējā temperatūra būtu virs -3,5 °C (Sykes et al., 1996), kas liek domāt, ka arī pašlaik suga varētu augt Latvijā. Šo faktu apliecina arī atsevišķi izplatības modeļi, kas parāda Latvijas rietumu daļu (Kurzemi) kā šīs sugas augšanai piemērotu jau mūsdienās un daudz plašāku areālu tuvāko 80 gadu laikā (5.6.att.) (Thuiller, 2003).



5.5.attēls. Klinšu ozola (*Quercus petraea*) izplatība Eiropā (EUFORGEN 2009b).

Tomēr areālu robežu izmaiņas mainīgos vides apstākļos lēni augošām sugām ir problemātiska (Bolte et al., 2007). Ozola izplatīšanās spēja ir līdzīga kā dižskābardim (den Ouden et al., 2005; Götmark et al., 2005a; Nilsson, Wästljung, 1987; Rackham, 2003), bet ozolam nav vērojami tik izteikti sēklu ražas gadi (den Ouden et al., 2005). Ozolam, līdzīgi kā dižskābardim, novērojama atjaunošanās zem skujkokiem (Götmark et al., 2005b; Kunstler et al., 2004). Tomēr klinšu ozola izplatīšanās uz ziemeļiem un dabiska ienākšana Latvijā ir diskutabla, jo Zviedrijas dienvidos ozolu atjaunošanos būtiski ietekmē zālēdāji (den Ouden et al., 2005; Götmark et al., 2005a), un limitē citu koku sugu konkurence (Niklasson et al., 2002).



Future distribution by GLM



Future distribution by GAM



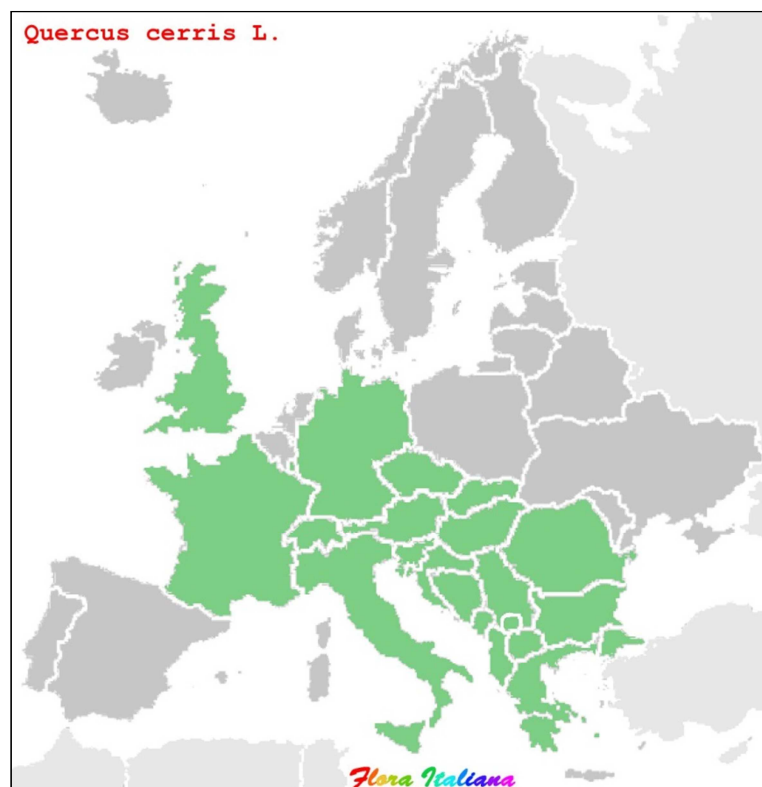
Future distribution by CART



Future distribution by ANN

5.6.attēls. Klinšu ozola (*Quercus petraea*) prognozētā izplatība Ziemeļeiropā balstoties uz dažādiem klimata izmaiņu scenārijiem (pēc Thuiller, 2003).

Ozolu suga, kas potenciāli varētu būt piemērota audzēšanai Latvijā, un kas Dienvidēiropā ir komerciāli nozīmīga un ātraudzīga suga ar īsu rotācijas periodu, ir Austrijas ozols *Quercus cerris* (Amorini et al., 1998). Tā izplatības ziemeļu robeža pašlaik sasniedz Vācijas ziemeļus un Lielbritāniju (5.7.att.). Pašlaik Polijā šī suga tiek uzskatīta par invazīvu (dati no NOBANIS), tādējādi liecinot par šīs sugas augstu izplatīšanās potenciālu. Tomēr pašlaik *Q. cerris* Eiropā ir maz pētīts un pieejama tikai fragmentāra informācija par tā ekoloģiskajām prasībām.



5.7.attēls. *Quercus cerris* izplatības areāls Eiropā
(<http://luirig.altervista.org/flora/taxa/index1.php?scientific-name=quercus+cerris>).

Sarkanais ozols (*Quercus rubra*), kura izcelsme ir Ziemeļamerika, ir piemērots Latvijas apstākļiem. Tā radiālais pieaugums jaunaudzes vecumā var būt lielāks nekā parastajam ozolam (Dreimanis, Šulcs, 2006). Lai gan sarkanā ozola dabiskās izplatīšanās ātrums ir lielāks nekā parastajam ozolam (Riepšas, Straigyte, 2008), tas ir samērā mazs, salīdzinot ar sugām, kuras izplata vējš (Sork, 1984). Tomēr sarkanais ozols ir uzskatāms pa invazīvu sugu Lietuvā (dati no NOBANIS, Riepšas, Straigyte 2008) un par potenciāli invazīvu sugu Latvijā (dati no NOBANIS), kas netieši norāda uz tā izplatīšanās ātruma pieaugumu.

Kļava (*Acer platanoides*) un liepa (*Tilia cordata*), kuras Latvijā atrodas areāla izplatības ziemeļu daļā (Ellenberg, 1988), klimatam kļūstot siltākam (Lizuma et al., 2007), varētu palielināt īpatsvaru mežaudzēs uz auglīgām augsnēm. Kļava Latvijā ir sastopama mistraudzēs auglīgos meža tipos un nogāžu mežos (Mauriņš, 2003). Pēdējo 30 gadu laikā ir novērota kļavas strauja izplatīšanās (Kullman, 2002; 2008; Martin, 1999; Modry et al., 2004) un bieža kļavas paaugas veidošanās dažādos meža tipos zem vainagiem (Mauriņš, 2003), kā arī atvērumos (Bambe, 2009). Ņemot vērā, ka kļava ir samērā ēncietīga suga (Niinemets, 1998), tās pieaugošais īpatsvars paaugā varētu liecināt par kļavas augšanas un dabiskās atjaunošanās uzlabošanos, lai gan liela daļa no sējeņiem iet bojā zālēdāju (brīžu) dēļ (Modry et al., 2004). Par potenciālu kļavas augšanas uzlabošanos liecina arī koksnes veidošanās saistības ar klimatiskajiem faktoriem. Latvijā nokrišņiem nav konstatēta būtiska ietekme uz kļavas augšanu, bet temperatūra augšanas periodā (vasaras vidus un beigas) pozitīvi ietekmē kļavas koksnes pieaugumu (Skuja, 2012), kas, ņemot vērā vidējo temperatūru paaugstināšanos, liecina par iespējamu augšanas apstākļu uzlabošanos. Kļavas sēklas izplata vējš, kas nodrošina strauju sugas izplatīšanos (Mauriņš, Zvirgzds, 2006).

Liepai nav liela ekonomiskā nozīme, tā ir bieža satelītsuga auglīgākajos meža tipos (Priedītis, 1999), kur sastopama paaugā, jo ir ēncietīga juvenīlā vecumā (Mauriņš, Zvirgzds,

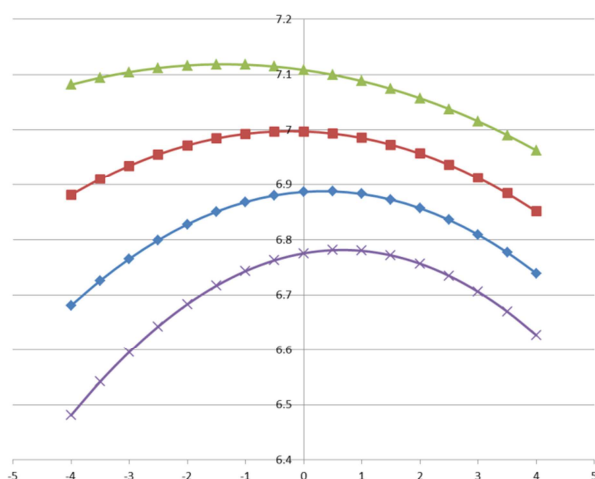
2006). Jaunākie pētījumi ir parādījuši, ka dabiski liepa aizstāj ozolu auglīgās augsnēs un var kļūt par valdaudzes sugu auglīgos meža tipos vēlās sukcesijas stadijās (Brūmelis et al., 2011; Ellenberg, 1988; Ikauniece et al., 2012). Ņemot vērā novēroto liepas un kļavas dabiskās atjaunošanās intensificēšanos un to izplatības paplašināšanos, šo koku sugu iekļaušana turpmākajos mežsaimniecības modeļos varētu būt perspektīvs jautājums mežaudžu struktūru daudzveidības palielināšanai.

Provenienču eksperimentu rezultāti gan Latvijā, gan citviet Eiropā pierāda, ka sugas ietvaros starp populācijām pastāv nozīmīgas, ar adaptīviem pielāgojumiem augšanas vietā limitējošajiem vides apstākļiem saistītas, atšķirības. Piemēram, parastās priedes proveniences no Spānijas vai Turcijas spēj izturēt garākus un intensīvākus sausuma periodus, bet ne tik zemas ziemas temperatūras, kā šīs pašas koku sugas proveniences no Latvijas. Provenienču reģionu izdalīšanai būtiski izvēlēties tādas koku pazīmes, kas būtiski ietekmē mērķa pazīmi (saimnieciskajos mežos – valdaudzes koku krāju) un ko, savukārt, iespējami maz ietekmē mikrovides apstākļi (piemēram, atšķirīga koku savstarpējā konkurence). Tādēļ kā vērtējamās pazīmes izvēlētas koku augstums un saglabāšanās.

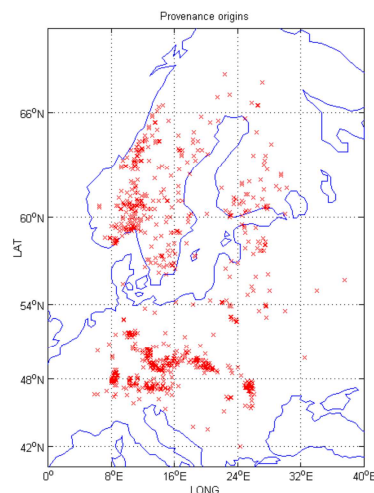
Izmantojot provenienču eksperimentu rezultātus, kur viens un tas pats ģenētiskais materiāls stādīts vairākās vietās, iespējams konstruēt matemātiskos modeļus, kas raksturo koku augstuma vai saglabāšanās izmaiņu atkarībā no vides parametru (izvēloties informatīvākos) izmaiņām. Informācija par provenienču augšanas atšķirībām dažādos reģionos jau ilgstoši tikusi izmantota, nosakot meža reproduktīvā materiāla pārvietošanas zonas. Taču tās tiešu lietošanu, lai definētu provenienču reģionu robežu maiņu klimata izmaiņu kontekstā limitē: 1) pieejamais datu apjoms un kvalitāte (galvenokārt, ņemot vērā, ka nepieciešams materiāls no atšķirīgiem meteoroloģiskajiem, bet līdzīgiem fotoperiodiskajiem apstākļiem); 2) reģionu robežu ģeogrāfiska, nevis klimatiska definēšana.

Izvēlēta metodiskā pieeja, lai definētu klimata izmaiņu ietekmi uz provenienču reģionu robežām, ietver:

- 1) sadarbību ar kaimiņvalstīm, analīzei nodrošinot datus no iespējami plaša ģeogrāfiskā reģiona – ietverot ne tikai proveniences, bet iepriekš neanalizētus ģimeņu stādījumus un nodrošinot maksimāli lielu novērojumu skaitu robustu secinājumu izdarīšanai (5.8.att.);
- 2) jaunāko klimatisko datu izmantošanu, modelī vērtējot ne tikai temperatūras, bet dažādu klimatisko faktoru ietekmi un izvēloties tos parametrus, kam ir statistiski būtiska ietekme uz analizētajām pazīmēm.



(a)



(b)

5.8.attēls. Provenienču no dažādiem reģioniem vidējā augstuma izmaiņas, stādot kokus uz ziemeļiem vai dienvidiem (par noteiktu ģeogrāfiskā platuma grādu skaitu) no izcelsmes vietas (a) un potenciāli pieejamais materiāls (sākotnējā informācija, karte tiks papildināta nākamā gada laikā, ietverot līdz šim neapstrādātu stādījumu datus) atbildes reakcijas uz klimata izmaiņām modelēšanai (b) (M.Berlin, pers.kom.).

Pārskata periodā uzsākta sadarbība, strādājot gan pie metodiskajiem jautājumiem, gan datu materiāla sagatavošanas.

Kopumā zinātniskās literatūras analīze liecina: lai prognozētu mežu izmaiņas klimata izmaiņu ietekmē, Eiropā ir izstrādāts ievērojams skaits modeļu, kas izmanto ekoloģisko nišu (bioclimatic envelope) pieeju, t.i., parāda, kāda būs sugas augšanai piemēroto klimatisko faktoru kopas izplatība un līdz ar to arī vērtētās sugas izplatība, ņemot vērā tās areālu šobrīd limitējošos faktorus. Tomēr šīs pieejas kritiska analīze koku sugām (ar ilgu dzīves ciklu – tāpat spēju pielāgoties vides apstākļu svārstībām – un plašu izplatības areālu) liecina, ka valdošo koku sugu sastāva nomaiņa, visticamāk, nenotiks tik strauji, kā prognozē modeļi. To nosaka gan sugas izplatības ātruma, gan dažādu citu faktoru (tai skaitā cilvēku saimnieciskās darbības) ietekme, piemēram, esošās veģetācijas pielāgošanās un pret-darbošanās (konkurence) jauno sugu ienākšanai (īpaši jutīgākajā koku dzīves cikla daļā – pirmajos augšanas gados), kā arī putekšņu nodrošinātā gēnu plūsma starp populācijām ar dažādiem adaptīviem pielāgojumiem. Būtiski vērtēt šo adaptīvo variāciju sugas ietvaros, nosakot provenienču reģionu iespējamās robežu izmaiņas, ko iespējams darīt, kompleksi analizējot vairākās valstīs esošu provenienču eksperimentu rezultātus.

Vērtējot izplatības areālu prognozes atsevišķām sugām, konstatēts, ka turpmākajās desmitgadēs klimats Latvijā un Baltijā varētu kļūt vēl piemērotāks dižskābardim, tomēr tā izplatību austrumu virzienā ierobežo kontinentalitāte un zemas temperatūras ziemā, kas limitē sējeņu izdzīvošanu. Austrijas ozols *Quercus cerris*, kura izplatības ziemeļu robeža pašlaik ir Lielbritānija, un pēdējās desmitgadēs sasniedz Vācijas ziemeļus un Poliju, ir komerciāli nozīmīga un ātraudzīga suga ar īsu rotācijas periodu un potenciāli varētu būt piemērots audzēšanai Latvijā. Līdzīgi secinājumi izdarāmi par *Quercus rubra*, kas, atšķirībā no iepriekš aprakstītajām, ir Ziemeļamerikas koku suga, Eiropā ieviesusies tikai cilvēka darbības rezultātā. Modeļi liecina, ka vides apstākļi kļūs piemērotāki arī tādu vietējo koku sugu kā *Acer platanoides* un *Tilia cordata* augšanai.

6. Fenotipiskā plastiskuma nozīme meža koku adaptācijā

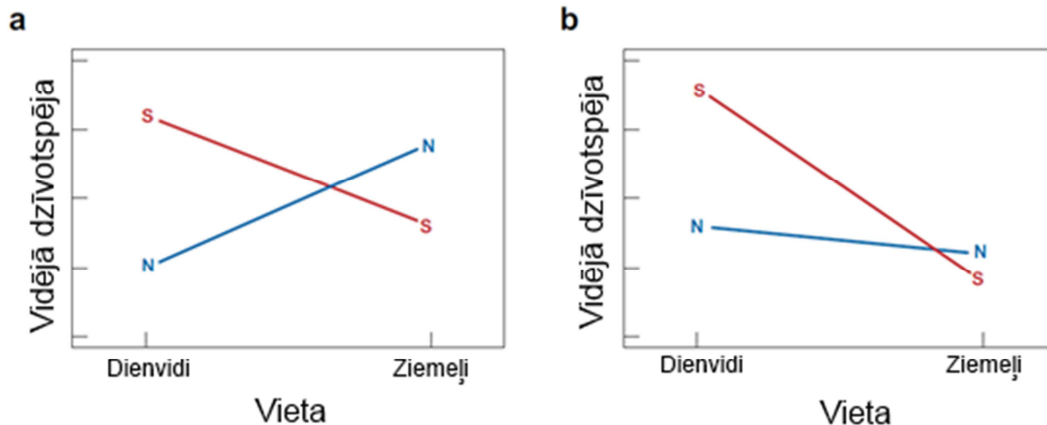
Provenienču eksperimentu rezultāti daudzām koku sugām dažādās pasaules daļās liecina, ka indivīdi no šīm populācijām var izdzīvot un augt ārpus savas pamatteritorijas (dabiskā izplatības areāla). Tomēr starpsugu un iekšsugas konkurence limitē atsevišķu genotipu izplatību. Parasti, salīdzinot lokālās populācijas ar stādījumiem no citām izplatības areāla daļām, labākus dzīvotspējas rādītājus konstatē lokālajai populācijai. Tuvāk izplatības areāla robežām iespējams, ka lokālā adaptācija nespēj kompensēt vides ietekmi. Lokālā adaptācija tiek izteikta kā līdzsvars starp gēnu plūsmu un selekciju. Ģenētiskā diferenciācija un dabiskā selekcija notiek desmitiem un pat simtiem kilometru lielā rādiusā ap pētītām populācijām un ir atšķirīgi atkarībā no sugas, bet ticami gēnu plūsmas dati iegūstami tikai par daudz mazākiem attālumiem. Tā kā datu ieguve par gēnu plūsmu lielos attālos ir apgrūtināta, tad pārsvarā tiek izmantotas dažādas modelēšanas metodes, tomēr tās nesniedz precīzu informāciju par gēnu plūsmas attālumiem (Austerlitz et al., 2004). Tāpat atšķiras gēnu plūsmas attālumi atkarībā no tā, vai tiek apskatīta putekšņu vai sēklu izplatība. Piemēram, parastajai priedei gēnu plūsmas ar putekšņiem attālums noteikts 136 m, kamēr izplatīšanās attālums ar sēklām ir ievērojami mazāks - nepārsniedz 100 m, atsevišķos pētījumos tikai 17-29 m (Robledo-Arnuncio, Gil, 2005), tomēr iespējams, ka putekšņu izplatība notiek ievērojami lielākā attālumā.

Klimata izmaiņas raisījušas pastiprinātu interesi par sugu un populāciju spēju pielāgoties jauniem vides apstākļiem. Koku sugas ir augušas un aug mainīgā vidē. Izplatības areālu maiņu iespējams detektēt, analizējot plastīdu un kodola DNS pašreizējām populācijām (Petit et al., 2003). Salīdzinot molekulāros un kvantitatīvos datus, var secināt, ka selekcija, kas norisinājās pēc pēdējā ledus laikmeta, ir galvenais faktors, kas ietekmē kvantitatīvo pazīmju variāciju mūsdienās (Kremer et al., 2002). Atkāpjoties kontinentālajam ledājam Eiropā, brīvajās teritorijās strauji ieviesās koku sugas. Palinoloģiskajos pētījumos iegūtie dati liecina, ka vairumam koku sugu migrācijas ātrums bija 50-500 metri gadā, bet priedēm pat 1500 metri gadā (Hewitt, 1999). Kā piemēru pētījumiem par koku sugu izplatību pēc ledāju atkāpšanās var minēt melnalksni (*Alnus glutinosa*), kas ir plaši izplatīta suga visā Eiropā, līdz pat Kaukāzam. Dati par melnalkšņa putekšņiem norādīja vairākus iespējamus izdzīvošanas reģionus glaciālā periodā, ieskaitot Francijas rietumus, Itālijas dienvidus, Korsiku, Grieķiju, Karpatus un Turcijas dienvidrietumus. King un Ferris (1998) veiktajā pētījumā analizēja melnalkšņu hloroplastu DNS, izmantojot PCR-RFLP metodi, un noskaidroja, ka Spānijā, Itālijā, Korsikā, Grieķijā, Bulgārijā, Krimā un Turcijā sastopami atšķirīgi haplotipi, kamēr pārējā Eiropā dominē divi haplotipi no Balkānu reģiona. Tas nozīmē, ka genotipi no Balkānu reģiona, bet ne no pārējām teritorijām, pēc leduslaikmeta strauji rekolonizēja Ziemeļeiropu.

Lokālā adaptācija var notikt tādu dabiskās izlases faktoru kā klimata, augsnes izmaiņu un arī patogēnu, parazītu ietekmē. Šādi var tikt ietekmētas atšķirīgas pazīmes (Hedrick, 2006). Piemēram, Benkman et al. (2001) pārbaudīja hipotēzi, vai vāveru (*Tamiasciurus hudsonicus*) klātbūtne ietekmē koevolūcijas iespējamību starp krustknābjiem (*Loxia curvirostra*) un Klinškalnu priedi (*Pinus contorta* ssp. *latifolia*) un tādējādi ierosina ģeogrāfiski mozaīkveida dabisko izlasi. Vāveres ir galvenās Klinškalnu priedes sēklu patērētājs Amerikā. Tomēr atsevišķos izolētos kalnu reģionos šīs vāveres nav sastopamas, un tur galvenais Klinškalnu priedes sēklu patērētājs ir krustknābis. Priedes šajos reģionos bez vāveru ietekmes evolucionējušas apmēram 12000 gadus. Balstoties uz pieejamajiem morfoloģiskajiem,

ģenētiskajiem un paleobotāniskajiem pētījumiem, autori norāda, ka čiekuru pazīmes šajās izolētajās populācijās attīstījušās atšķirīgi nekā čiekuru pazīmes citās populācijās. Izmantoja datus par priežu čiekuru un krustknābju morfoloģiju, ēšanas paradumiem, lai vērtētu vai starp šīm sugām pastāv savstarpējie pielāgojumi, kas indicētu koevolūcijas esamību. Tika konstatēts, ka čiekuru pazīmes, kas raksturo pielāgošanos vāveru atbaidīšanai (lielāka čiekura masa pret sēklu masu), izolētās populācijās nav tik attīstītas kā pārējās. Savukārt čiekuru pazīmes, kas atbaida krustknābjus (lielākas un biežākas čiekuru zvīņas) ir attīstījušās izolētajās populācijās. Lielāko izolēto Klinškalnu priežu populāciju aizņemtajās teritorijās arī krustknābjiem attīstījušies specifiski pielāgojumi – īsāki un mazāk izliekti knābji, nekā citviet sastopamajiem šīs sugas indivīdiem, lai piekļūtu čiekuriem ar biežākajām zvīņām. Piemērs uzskatāmi parāda koevolūcijas ietekmi un pielāgošanos noteiktu, lokālu, vides faktoru kompleksam.

Mežzinātnieki pēta adaptāciju, veidojot stādījumus atšķirīgos vides apstākļos, kur katrā stādījumā iekļauti indivīdi no ģeogrāfiski atšķirīgās vietās augošām populācijām (provenienču pārbaudes). Šo eksperimentu mērķis ir atrast piemērotākos genotipus dažādiem vides un klimatiskajiem apstākļiem, tomēr šādā veidā iespējams iegūt arī svarīgu informāciju par adaptāciju un ģenētisko diferenciāciju koku populācijās (Langlet, 1971; Ying, Yanchuk, 2006). Telpiskā variācija dabiskās izlases laikā var novest pie lokālās adaptācijas un ģenētiskās diferenciācijas starp populācijām. Ekologi ir pētījuši lokālās adaptācijas procesus, pārstādot indivīdus no krasi atšķirīgiem apstākļiem, piemēram, no zemienes uz augstkalnu apgabalu un otrādi. Ja šādos eksperimentos pārstādītie augi uzrāda zemākus augšanas rādītājus kā vietējās populācijas indivīdi, tad tiek uzskatīts, ka vietējā populācija ir lokāli adaptējusies (6.1. att.) (Kawecki, Ebert, 2004).



N – ziemeļu populācija; S – dienvidu populācija

6.1. attēls. Lokālās adaptācijas definīcijas atspoguļojums.

Redzams, ka ziemeļu un dienvidu populācijas dzīvotspēja (vitalitāte) atspoguļo genotipa-vides mijiedarbību. Vienā gadījumā (a) abām populācijām augstākā absolūtā un relatīvā vitalitāte novērojama populācijas izcelsmes vietā, bet otrā (b) – abām populācijām augstākā absolūtā vitalitāte novērojama dienvidos, bet augstāka relatīvā vitalitāte izcelsmes vietā.

Daudzas pazīmes, kuras ir saistītas ar adaptāciju, regulē liels skaits gēnu (Hedrick, 2006). Ģenētiskā diferenciācija ir atkarīga no vides heterogenitātes un līdzsvara starp dabisko izlasi un gēnu plūsmu. Piemēram, svarīga pazīme ir šūnu dalīšanās pārtraukšana – izplatības areāla ziemeļos augošie koki pārtrauc kambija šūnu dalīšanos un pieauguma veidošanu agrāk nekā dienvidos augošie. Šādos apstākļos indivīdi ar optimālo fenotipu ir ar visaugstāko

vitalitāti; fenotipisko īpašību kopumam esot tālāk no optimuma, vitalitāte samazinās. Ja populācijas izplatīšanās attālumi ir mazi un dabiskās izlases ietekme ievērojama, tad ir iespējama adaptācija vides izmaiņām. Ja izplatīšanās attālumi ir lieli un izlases ietekme vāja, tad ģenētiskā diferenciācija nav iespējama. Nelielās populācijās ģenētiskais dreifs var aizkavēt ģenētisko diferenciāciju un lokālo adaptāciju. Aktīva gēnu plūsma no blakus teritorijām var aizkavēt populācijas optimālās vitalitātes sasniegšanu (Alleaume-Benharira et al., 2006). Pielāgojoties atšķirīgiem vides apstākļiem un ietekmējošajiem faktoriem, pastāvīgi variējoša dabiskā izlase var aizkavēt ģenētisko diferenciāciju, un vecināt fenotipiski plastisku genotipu attīstību (Hedrick, 2006). Lai pētītu lokālo adaptāciju, nepieciešams pētīt populāciju tās izcelsmes vietā, kā arī to, kādus rezultātus uzrāda pārvietotā populācija. Lai salīdzinātu datus un aprēķinātu relatīvo vitalitāti, jāizvēlas mērāmos parametrus, kuriem jāatspoguļo vitalitāte.

Lielam skaitam koku sugu raksturīgi ļoti plaši izplatības areāli. Piemēram, Klinškalnu priede (*Pinus contorta*) aug vietās, kur gada vidējā temperatūra variē no -7°C līdz 11°C, kā arī tās izplatība aptver 33 ģeogrāfiskā platuma grādus, un tās aug līdz pat 3900 metrus virs jūras līmeņa (Rehfeldt et al., 2001). Vairumam koku sugu indivīdi spēj izdzīvot un augt ļoti atšķirīgos vides apstākļos, pat tālu no izcelsmes vietas, ja tie iestādīti labi koptās plantācijās, kur netiek pieļauta konkurence ar citām sugām. Klinškalnu priede var saglabāt labus augšanas parametrus (80% no maksimālā) vietās, kur gada vidējā temperatūra ir aptuveni 6 °C un kuras atrodas ārpus sugas izplatības areāla robežas, Eiropā (Rehfeldt et al., 1999).

Parastās priedes populācijām, kas aug starp 50° un 60° Z pl., optimāla vidējās gada gaisa temperatūra temperatūra ir 2,7 °C, bet izdzīvošana tuvu optimumam teritorijās, kur vidējā gada temperatūra variē no 1°C līdz 5°C (Rehfeldt et al., 2003). Tajā pašā pētījumā noskaidrots, ka dažām lapegļu sugām ir vēl plašāks dabiskās izplatības areāls: no vietām ar gada vidējo temperatūru 4,6°C līdz pat 10 °C. Tiek uzskatīts, ka pārvietojot genotipus no vēsākām vietām uz siltākām, paaugstinās saglabāšanās un produktivitātes pazīmju vērtības, un šī sakarība izteiktāka ir teritorijās, kas ir tuvāk sugas izplatības areāla ziemeļu robežai (Hannerz, Westin, 2005; Shutyaev, Giertych, 2000). Pretēji ir Carter (1996) secinājumi, ka no desmit Amerikas dienvidos augošām koku sugām, astoņas labāk augtu vēsākā klimatā. Šīs rezultātu nesakritība skaidrojama gan ar atšķirībām sugu migrācijas virzienos, aizņemot jaunas teritorijas dažādos reģionos, gan klimata mainību ilgstošā periodā un skaidri norāda, ka koku populācijām nepieciešams ilgs laiks (daudzas paaudzes), lai dabiskās izlases ietekmē optimāli pielāgotos noteiktiem, lokāliem apstākļiem.

Sugām un populācijām no atšķirīgiem reģioniem raksturīgas ļoti atšķirīgas reakcijas uz vides maiņu. Atšķirības kvantitatīvajās pazīmēs iespējams detektēt pat starp populācijām, kas aug tikai viena ģeogrāfiskā platuma grāda robežās. Genotipu izplatība ir atkarīga no mijiedarbības ar citiem organismiem un attiecīgo genotipu adaptācijas potenciāla. Pētījumos reti tiek atspoguļoti dati par lokālo adaptāciju. Ja rezultāti tiek standartizēti, tad salīdzināšana tiek veikta ar visu provenienču rezultātiem attiecīgajā vietā vai arī ar „labāko” (pēc kādas pazīmes vai pazīmju kopas) provenienci.

Ar adaptāciju saistītās kvantitatīvās pazīmēs ir daļēji iedzimstošas (Howe et al., 2003). Lielai daļai kvantitatīvo pazīmju tās kodējošie gēni joprojām nav zināmi.

Asociāciju pētījumi par fenotipisko variāciju saistībā ar mainīgiem, ar kvantitatīvām pazīmēm saistītiem lokusiem, kuri variē atšķirīgos vides apstākļos, var palīdzēt detektēt būtiskas adaptīvās ģenētiskās izmaiņas (González-Martínez et al., 2007).

Tiek uzskatīts, ka lielākajā daļā Eiropas gaisa temperatūra tuvāko 100 gadu laikā paaugstināsies par 4 °C (Houghton et al., 2001). Tiek pieņemts, ka pašreizējie koki

nekavējoties veidos fenotipiskās atbildes reakcijas, kuras būs atkarīgas no sugas un konkrētās populācijas. Vēl viena no iespējamām atbildes reakcijām ir sugu migrācija, un ir sugas, kuru areāls mainās jau tagad (Parmesan, 2006). Tomēr, pat pastāvot spēcīgam vides spiedienam, koku dabiskās adaptācijas process būs lēns. Tas saistīts gan ar koku garo dzīves ciklu un līdz ar to lēno paaudžu maiņu, gan nelielo sēklu izplatības attālumu un apgrūtināto dīgstu un jauno koku izdzīvošanu izmainītajā klimatā; savukārt pielāgošanos var veicināt koku ievērojamā ģenētiskā variācija (Savolainen et al., 2004).

Fenotipiskā plasticitāte un tās ekoloģiskie, evolucionārie, fizioloģiskie un molekulārie aspekti

Klimata izmaiņas nenoliedzami ietekmē vidi, tomēr mūsdienu augi ir spējuši pielāgoties mainīgiem klimatiskajiem apstākļiem pēdējo 2,5 miljonu gadu laikā, kas ietver arī glaciālos – postglaciālos ciklus ar krasām temperatūras, nokrišņu un oglekļa dioksīda koncentrācijas svārstībām (Davis, Shaw, 2001). Augu sugu spēju pielāgoties bez jau pieminētās dabiskās izlases un migrācijas nosaka fenotipiskā plasticitāte: katra individuālā genotipa spēja veidot fenotipiskos pielāgojumus noteiktiem vides apstākļiem (Nicotra et al., 2010).

Kādreiz fenotipiskā plasticitāte tika uzskatīta par maznozīmīgu, tomēr šobrīd ir skaidrs, ka tai ir nozīmīga loma visas sugas evolūcijā un tā tiek ģenētiski kontrolēta: individuālie pielāgojumi var tikt nodoti pēcnācējiem (Bradshaw, 2006). Tiek uzskatīts, ka liela ģenētiskā daudzveidība dabiskajās populācijās palielina iespēju tām adaptēties biotiskām un abiotiskām vides izmaiņām, ieskaitot klimata izmaiņas (Jump et al., 2009). Daļa no šīs ģenētiskās daudzveidības nosaka augu spēju detektēt izmaiņas vidē un atbilstoši reaģēt. Katram indivīdam raksturīga fenotipiskā plasticitāte, kas nosaka amplitūdu, kurā indivīds spēj pielāgoties vides apstākļu izmaiņām, kamēr populācijā var būt fenotipiski vēl plastiskāki indivīdi, kuri izdzīvos un nodrošinās populācijas (sugas) pastāvēšanu pat, ja konkrētais indivīds ies bojā.

Variācijas gēnos, kas kodē temperatūras sensorus un transkripcijas faktorus, kuri regulē vernalizācijas procesu, var palīdzēt augu populācijām pielāgoties temperatūras izmaiņām (Lande, 2009).

Literatūrā tiek uzsvērts, ka strauju klimatisko izmaiņu gadījumā fenotipiskā plasticitāte var noteikt auga atbildes reakcijas gan īslaicīgi, gan ilgtermiņā (Nicotra et al., 2010).

Organisma spēja plastiski pielāgot kādu no pazīmēm tiek regulēta molekulārā līmenī. Piemēram, dati liecina, ka attīstības izmaiņas kontrolē signālceļi, kas detektē abiotiskus signālus, tādus kā gaisma, slāpekļa nodrošinājums (Krouk et al., 2009), sausums (Nilson, Assmann, 2010), kā arī biotiskus signālus (Oldroyd, Downie, 2004). Tomēr daudzām fenotipiskajām izmaiņām, ko ietekmē vide, joprojām nav zināmi vides signālus uztverošie mehānismi (Nicotra et al., 2010). Paplašinoties zināšanām par molekulārajiem mehānismiem, kas kontrolē vides ierosinātās izmaiņas augos, būs iespējams iegūt skaidrāku priekšstatu par iespējamajām ekoloģiskajām un evolucionārajām atbildes reakcijām gan savvaļas augiem, gan kultūraugiem. Viena no svarīgākajām pazīmēm, kas tiek ģenētiski kontrolēta, bet spēj plastiski pielāgoties apstākļiem, ir ziedēšanas laiks.

Plasticitāte raksturo noteiktas pazīmes reakciju uz noteiktu vides stimulu, bet neraksturo organismu kopumā. Daļa atbildes reakciju raksturo adaptīvo plasticitāti, kas nodrošina organismam priekšrocības kādos noteiktos apstākļos, kamēr citas ir nenovēršama reakcija uz fizikāliem procesiem vai resursu trūkumu (neadaptīvā plasticitāte). Gan adaptīvajai, gan neadaptīvajai plasticitātei būs nozīme augu reakcijās uz klimata izmaiņām. Adaptīvā plasticitāte var veicināt populācijas izdzīvotspēju jaunā vidē. Tas, cik tuvu plastiskā atbilde ir

jaunajā vidē nepieciešamajam fenotipiskajam optimumam, nosaka, cik liela ietekme būs dabiskajai izlasei un līdz ar to – vai veidosies adaptīvās atšķirības starp populācijām. Neadaptīvā plasticitāte jaunas vides ietekmē var izraisīt populācijā fenotipisko atbildi distancēti no nepieciešamā fenotipiskā optima (Ghalambor et al., 2007). Tiek uzskatīts, ka adaptīvā fenotipiskā plasticitāte vislabāk var attīstīties heterogēnā vidē, kur tomēr vides apstākļi ir paredzami un stabili (van Kleunen, Fischer, 2005). Fenotipiskās plasticitātes pētījumos galvenais ir identificēt tās pazīmes, kurām būs nozīme mainīgas vides apstākļos, un indivīdus, kuri spēs jaunajiem apstākļiem pielāgoties (Chevin et al., 2010). Pēc tam pazīmes var analizēt esošajos vai simulētos klimatiskajos apstākļos, lai noteiktu, kādi molekulārie mehānismi kopīgi regulē šīs pazīmes dažādām sugām. Funkcionālās pazīmes ir tās, ar kuru palīdzību iespējams raksturot sugas ekoloģiju, nomērot viegli kvantificējamus rādītājus, piemēram, sēklu izmēru, augu augstumu, lapu parametrus, lapu masu uz laukuma vienību u.tml. (Cornelissen et al., 2003). Funkcionālās pazīmes tiek izmantotas gan modeļos, kas prognozē augu izplatību, gan arī klimatiskajos modeļos.

Funkcionālo pazīmju adaptīvā plasticitāte var palīdzēt augiem straujāk pielāgoties jauniem apstākļiem, tomēr, vai iespējams prognozēt konkrētās pazīmes plasticitāti, analizējot pašas pazīmes vai arī citus sugas ekoloģiju raksturojošos parametrus, trūkst informācijas.

Visvairāk informācijas pieejams par lapu fenoloģijas, ziedēšanas laika un sēklu un stādu pazīmju plasticitāti. Parmesan un Yohe (2003) veiktajā meta analīzē 87% no apskatītajām augu sugām tika novērotas fenoloģiskās izmaiņas, pavasarim kļūstot agrākam. Šīs izmaiņas var atspoguļot gan ģenētiskās (strauja evolūcija), gan īslaicīgas epiģenētiskās izmaiņas (Franks, Weis, 2008). Morin et al. (2009) veiktajā pētījumā, modelējot divus iespējamus klimata izmaiņu scenārijus (+3,2 °C un +1 °C) un to ietekmi uz lapu plaukšanu 22 Amerikas koku sugām, noskaidroja, ka klimata izmaiņas ietekmēs lapu fenoloģiju gandrīz visām apskatītajām sugām un lapu plaukšana 21. gadsimtā sāksies no piecām līdz 9,2 dienām agrāk, atkarībā no scenārija.

Viņu izstrādātais modelis tomēr paredz, ka pietiekami aukstu temperatūru trūkums, lai pārtrauktu pumpuru miera periodu, tomēr ietekmēs lapu plaukšanas laiku daudzām koku sugām. Daļai mērenās joslas sugu, iespējams būs novērojami vairāki gadi ar pārgru vai novēlotu pumpuru plaukšanu, neizpildoties nosacījumam par nepieciešamo negatīvo temperatūru summu. Viņi arī secināja, ka sugām ar lielāku izplatības areālu novērojamas lielākas fenoloģiskās izmaiņas.

Kā viens no labāk molekulāri izpētītajiem vides izmaiņu ietekmētajiem mehānismiem augā minams ziedēšanas laiks augu ģenētikas modeļorganismam *Arabidopsis thaliana*. *Arabidopsis* ziedēšanas laiks ir atkarīgs no plastiskas transkripcijas faktora gēna FLC (ziedēšanas lokuss C) regulācijas. To regulē epiģenētiskās izmaiņas histonu konformācijā, vernalizācijas ietekmē. Vernalizācija inducē gēnu VIN3, kurš kontrolē proteīnus, kas modificē hromatīnu un tādējādi „apklusina” (*gene silencing*) FLC lokusu. Tā kā transkripcijas faktors FLC darbojas kā vairāku ziedēšanas gēnu represors, FLC epiģenētiski regulēta apklusināšana ļauj augam uzsākt ziedēšanu. FLC epiģenētiska apklusināšana var tikt novērsta tikai nākamajā paaudzē (Simpson, Dean, 2002). Šī gēna homologi un līdzīgi mehānismi konstatēti arī citām augu sugām (Reeves et al., 2007). Kaut arī vernalizācijas procesi sugām ir līdzīgi, tomēr nav iespējams par kādu sugu iegūtu informāciju attiecināt uz evolucionāri tālāk esošām sugām, toties eksperimentālās metodes ir iespējams izmantot arī citu sugu pētījumos.

Ir pētījumi, kuros aprakstīta koku sēklu pazīmju plasticitāte. Piemēram, gan siltāka gaisa temperatūra sēklu nobriešanas laikā, gan mātes auga pakļaušana sausuma stresam var

samazināt sēklu miera perioda ilgumu (Roach, Wulff, 1987). Savukārt paaugstināts oglekļa dioksīda daudzums var ietekmēt sēklu barības rezerves, kā arī samazināt augšanas ātrumu sūnām (Huxman et al., 1998), kamēr kokaugi uz paaugstinātu oglekļa dioksīda daudzumu nereaģē tik krasi (Curtis, Wang, 1998).

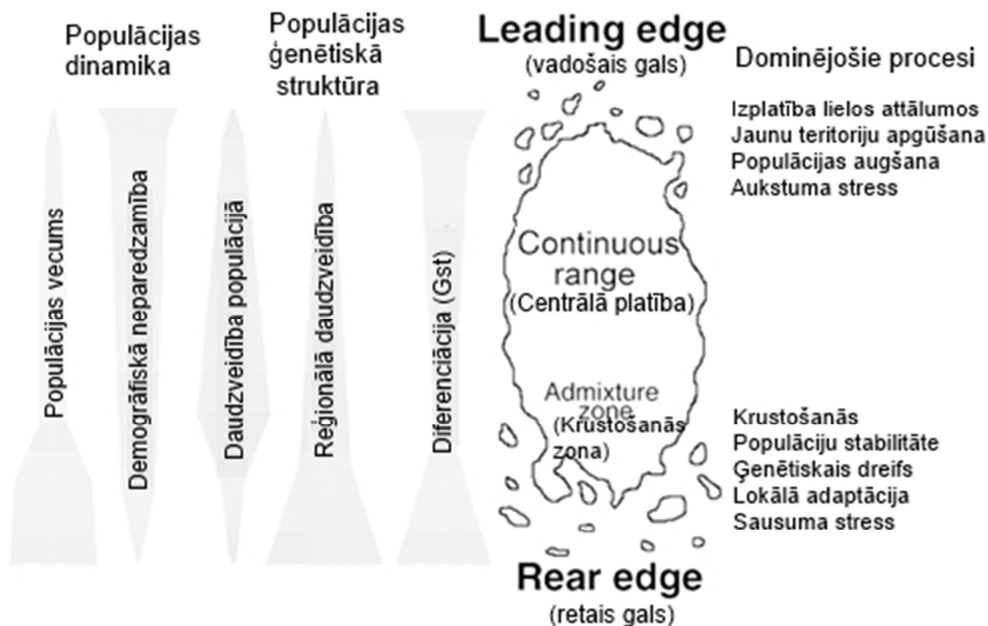
Tomēr liela daļa mehānismu, kuri nodrošina plastiskas atbildes reakcijas uz vides maiņu, un šo mehānismu spēja adaptēties, joprojām nav zināma.

Klimata izmaiņas nākotnē varētu izraisīt atsevišķu sugu izmiršanu, areāla maiņu, izmaiņas galvenajos veģetācijas tipos, kā arī izmaiņas mijiedarbībā starp veģetāciju un atmosfēru. Jau šobrīd ir sugas, kuras pēdējo 16-132 gadu laikā migrējušas polu virzienā ar ātrumu seši kilometri gadā (Parmesan, Yohe, 2003).

Pēdējos gados izstrādāti daudzi sugu izplatības un veģetācijas modeļi, bet lielākajā daļā no tiem nav ņemta vērā esošo genotipu fenotipiskā plasticitāte, kā arī plastiski regulēto fenotipisko pazīmju evolūcija (Chevin et al., 2010).

Plaši izplatīti uz ekoloģiskajām nišām balstīti modeļi, kur tiek ņemts vērā sugas pašreizējais izplatības areāls, klimatiskie apstākļi konkrētajā teritorijā, un izmantotas prognozētās klimatisko apstākļu izmaiņas, lai paredzētu sugu izplatības areālus nākotnē. Šajos modeļos pamatā tiek pieņemts, ka sugas pašreizējā izplatība atklāj visu sugas pašreizējā genofonda ekoloģisko potenciālu un ka sugas aizņemtā ekoloģiskā niša nav laikā mainīga. Tomēr vides apstākļi, kādos pašreiz suga sastopama, var neatspoguļot visu sugas potenciālo areālu. Izplatības areālu var ietekmēt gan dabiskie šķēršļi, piemēram, kalni, jūras, gan mijiedarbība ar citām sugām (Colwell, Rangel, 2009).

Fenotipiskajai plasticitātei ir liela nozīme, paredzot populāciju robežu dinamiku. Populācijas „aizmugurē” (vērtējot areāla izmaiņu virzienu), „retajā galā” (*trailing, rare edge*) plasticitāte var kavēt populācijas atkāpšanos un ietekmēt sugas adaptācijas potenciālu. Sugas kopējās populācijas „vadošajā galā” (*leading edge*), sugai mijiedarbojoties ar citām sugām, var tikt novērotas negaidītas ar plasticitāti saistītas atbildes reakcijas (6.2. att.).



6.2. attēls. Vienas sugas visu populāciju raksturojošās pazīmes un procesi (Hampe, Petit, 2005).

Pēdējā laikā modeļi, kas iekļauj arī fizioloģisko informāciju par sugas variāciju vides apstākļu ietekmē, piedāvā alternatīvu uz korelācijām balstītajiem modeļiem. Pārsvārā šādi modeļi pieejami putnu un rāpuļu sugām, bet ne koku sugām (Kearney, Porter, 2009).

Tiek uzskatīts, ka klimata izmaiņas ietekmēs arī globālo veģetācijas tipu izplatību un to ietekmi uz oglekļa dioksīda līmeni un temperatūru. Dinamiskie globālās veģetācijas modeļi tiek izmantoti, lai prognozētu, kādi funkcionālie augu tipi dominēs konkrētās teritorijās (Morin et al., 2008). Šādas klimata ietekmētas veģetācijas tipa maiņas iespējamās Amazonas lietus mežos, tiem pamazām kļūstot par savannu, kas attiecīgi ietekmēs piesaistītā oglekļa apjomu. Tomēr tas, cik krasas būs veģetācijas tipu izmaiņas, pamatā atkarīgs no esošas veģetācijas spējas adaptēties vides izmaiņām. Plastiskas izmaiņas sausuma vai temperatūras ietekmē parasti tiek novērotas lapu ķīmiskajā sastāvā, biomasas sadalījumā un metabolisma ātrumā augos (Tjoelker et al., 2008).

Istermiņā eksistējošo genotipu plastiskās atbildes reakcijas uz vides izmaiņām noteiks to saglabāšanos, klimatam izmainoties, tomēr šiem plastiskajiem pielāgojumiem var būt nozīme arī sugu evolūcijā. Piemēram, adaptīvā plasticitāte visticamāk veicinās izdzīvotspēju, un samazinās sugām izmiršanas draudus jaunas vides apstākļos, kur liela nozīme būs dabiskās izlases vadītai adaptīvajai evolūcijai (Ghalambour et al., 2007). Arī tā fenotipiskā plasticitāte, kas šobrīd nav adaptīva, var nodrošināt jaunus fenotipus, būtiskus fenotipiskajai evolūcijai, kur par fenotipisko evolūciju sauc ģenētiskās evolūcijas rezultātā radušās fenotipiskās izmaiņas. (Chevin et al., 2010). Šobrīd pētījumos par klimata izmaiņu vadītu evolūciju dabiskos un simulētos apstākļos, nav iekļauta informācija par plastiskām un ģenētiskām evolucionārām izmaiņām.

Gan straujas, gan pakāpeniskas klimata izmaiņas izraisīs dabisko izlasi augu populācijās. Ātras klimata izmaiņas izraisīs strauju izlasi, kurā izdzīvot stresa izturīgākie genotipi, bet pakāpeniskas klimata izmaiņas izraisīs pakāpenisku (lēnu) vieglu, genotipu un populāciju mijiedarbības sugas ietvaros vadītu izlasi. Pastāv arī iespēja, ka, izmainoties vides apstākļiem, notiks izmaiņas visa genoma mērogā, ieskaitot epialēļu veidošanos (Finnegan, 2002). Par epialēlēm sauc vienādus gēnus, kuri atšķiras tikai pēc metilācijas pakāpes un ir saistīti ar fenotipisko plasticitāti (Richards et al., 2010).

Par ģenētisko plasticitāti sauc organisma spēju ģenētiski pielāgoties vides apstākļu izmaiņām. Ģenētiskā plasticitāte atšķiras no fenotipiskās plasticitātes, bet var radīt mehānismu, kas rada fenotipiski plastiskas atbildes reakcijas. Tai ir nozīmīga loma straujas adaptācijas nodrošināšanā, jo epiģenētiskas izmaiņas var notikt daudz straujāk un biežāk nekā DNS sekvences izmaiņas genomā.

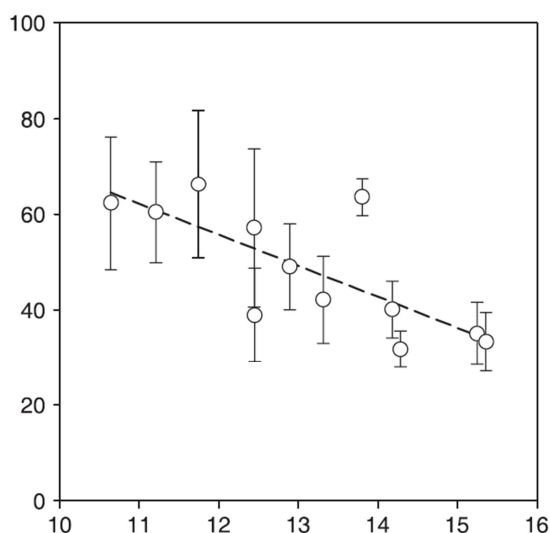
Pētījumi, kuros tiks izmantotas klasiskās plasticitāti pētošās metodes kombinācijā ar epiģenētiskajiem marķieriem, ļaus saistīt ģenētiskos procesus ar fenotipiskās plasticitātes evolūciju (Bossdorf et al., 2008). Nav īsti skaidrs, vai domestikācija un selekcija ir veicinājušas vai samazinājušas fenotipisko plasticitāti. Līnijām, kuru selekcijai kā kritērijs izraudzīta ražas stabilitāte, varētu būt augstāka fenotipiskā plasticitāte, tāpēc ka relatīvi liels skaits morfoloģisko un fizioloģisko pazīmju nodrošina ražas stabilitāti. Selekcija, izmantojot kā kritēriju ūdens uzņemšanas plasticitāti, var izraisīt gan labāku izdzīvotspēju, gan arī lielāku ražu. Tāpat to gēnu identificēšana, kuri nodrošina vides signālu uztveršanu augā, var radīt iespēju selekcionēt augus ar augstāku fenotipisko plasticitāti, lai tiem būtu labāka noturība pret mainīgajiem vides apstākļiem (Nicotra, Davidson, 2010).

Epigēnētiskie efekti

Epigēnētisko atmiņu var skaidrot kā adaptīvās fenotipiskās plasticitātes veidu, kuras efekts saglabājas konkrētajā paaudzē un tiek īstenots ar specifiskām epigēnētiskajām izmaiņām embriogēneses laikā, un ietekmē DNS replikāciju, rekombināciju un gēnu ekspresiju nākamajām paaudzēm (Brautigam et al., 2013). Epigēnētika tiek skaidrota arī kā meiotiski un mitotiski pārmantojamas izmaiņas gēnu funkcijās, kuras neizmaina DNS sekvences (Bonasio et al., 2010).

Molekulārā līmenī epigēnētisko regulāciju veido tādas atgriezeniskās izmaiņas kā DNS metilācija, histonu modifikācijas un mazās RNS. Epigēnētiskās izmaiņas visa genoma mērogā nav konstantas, tās laikā mainās. Epigēnētiskās izmaiņas iesaistītas ģenētiskajā imprintingā, transpozonu apklusināšanā, gēnu ekspresijas regulācijā un heterohromatīna organizēšanā (Boyko, Kovalchuk, 2008).

Šo efektu ilustrē Kvaalen un Johnsen (2008) pētījums par to, kā parastā egle embriogēneses (dīgļa attīstības sēklā) laikā pielāgojas apkārtējās vides temperatūrai, izmantojot epigēnētiskos mehānismus. Vieniem un tiem pašiem genotipiem zigotiskās un somatiskās embriogēneses laikā nodrošinot atšķirīgu temperatūru (18, 23 un 28 °C), un no iegūtā materiāla vienādos apstākļos izaudzējot stādus, konstatēja – jo siltāka temperatūra embriogēneses laikā, jo lielāki koku pirmo divu gadu augstuma pieaugumi un tie vēlāk veido apikālos pumpurus. Atšķirības apikālo pumpuru veidošanās laikā bija līdzvērtīgas tām, kādas konstatējamas 4-6 ģeogrāfiskā platuma grādus atstatus augošām egļu proveniencēm (6.3. att.). Secināts, ka eksistē ģenētiskie mehānismi, kas darbojas pretēji gēnu plūsmas rosinātajai populāciju „unifikācijai” un nodrošina, ka pēcnācēju pumpuru veidošanās laiks tiek pielāgots tam (lokālajam) temperatūras klimatam, kādā aug mātes koks, tādējādi nodrošinot labākas pēcnācēju izdzīvošanas iespējas. Rezultāti indicē to, ka epigēnētiskie mehānismi iedzimst un tiek ģenētiski regulēti.

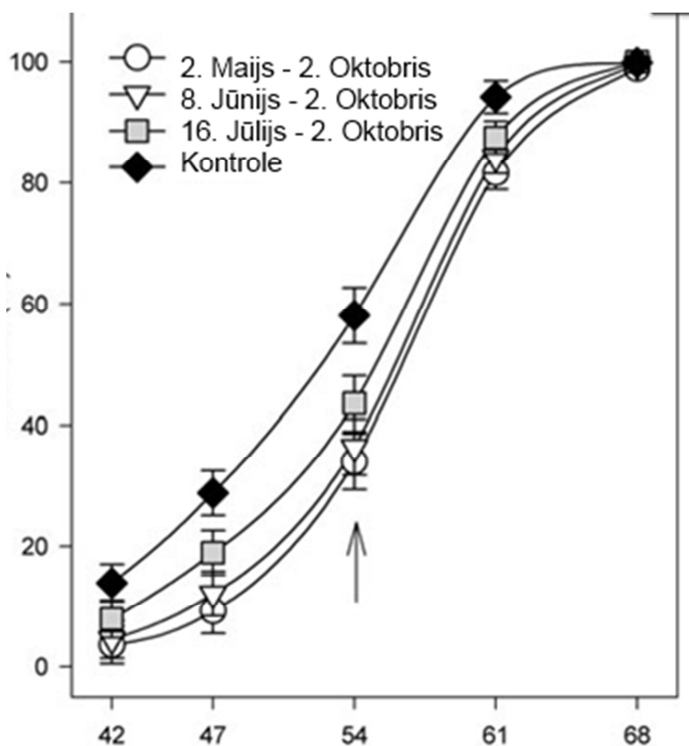


6.3. attēls. Sakarība starp kumulatīvo embriogēnētisko audu indukcija procentu (y ass) un vidējo jūlija temperatūru °C sēklu ievākšanas gadā (x ass), kas raksturo epigēnētisko mehānismu iedzimtību.

Proveniencu un klonālais materiāls ir piemērots epigēnētiskās atmiņas mehānismos iesaistīto gēnu un citu regulējošo elementu identificēšanai.

Johnsen et al. (2005) veica eksperimentu, ievācot sēklas kontrastējošos klimatiskajos apstākļos. Mātes koki tika pakļauti paaugstinātai temperatūrai vairākos laika punktos, sākot

no sievišķās mežozes līdz embriogēnēzei, pēc tam analizējot visus pēcnācējus no šiem krustojumiem. Tika noteikts apikālā pumpura veidošanās laiks, salciētība rudenī un skuju koku fitohormonu transkripcijas līmenis. Netika atrastas atšķirības starp pēcnācējiem, kas varētu tikt saistītas ar temperatūras atšķirībām prezigotiskajās stadijās un apaugļošanas laikā. Bet tika konstatēta sakarība starp pēcnācēju augšanu un dienu skaitu no proembrija stadijas līdz sēklu nobriešanai. Pēcnācēji, kuriem embriogēnēzes laikā bija nodrošināti siltāki apstākļi, veidoja apikālos pumpurus vēlāk un tiem tika konstatēts zemāks fitohormonu Phy un PaChi4 gēnu transkripcijas līmenis. Balsoties uz pētījuma rezultātiem, izvirzīta hipotēze, ka temperatūra zigotiskās embriogēnēzes laikā regulē epiģenētisko atmiņu pēcnācēju stādījumos, ietekmējot pumpuru veidošanās laiku, salciētības nodrošināšanā un embriogēnēzē iesaistītu gēnu ekspresiju parastajai eglei (6.4. att.).



y ass – pumpuru veidošanās, %; x ass - dienu skaits no 1999. gada 1. jūlija līdz eksperimenta beigām;
 līknes - vidējā vērtība no 8 ģimenēm un 12 atkārtojumiem, kur katru atkārtojumu veido 20 stādi no katras ģimenes

6.4. attēls. Pumpuru veidošanās laiks atšķirīgos apstākļos augušu mātes koku pēcnācējiem.

Tiek uzskatīts, ka mazās RNS ir iesaistītas epiģenētiskajā regulācijā. Mazās RNS iesaistītas gēnu regulācijā un gēnu apklusināšanā (Yakovlev et al., 2011). Yakovlev et al. (2010) identificēja 44 jaunas mikroRNS parastajai eglei, no kurām 16 mikroRNS bija atšķirīgi ekspresētas pēcnācējiem ar būtiskām atšķirībām pumpuru veidošanā, bet šāda ekspresija netika konstatēta tām ģimenēm, kuru pumpuru veidošanās nebija ietekmēta, liecinot par šo mikroRNS lomu epiģenētiskajos mehānismos. Tika noskaidrots, ka gēnus PaLPT4, PaGaMYB, PaMYB10 un PaSPB13 visticamāk regulē mikroRNS pab-miR100, 159a, 858 un 156c, un tie saistīti (konstatēta korelācija) ar epiģenētiskās atmiņas regulāciju.

Kapeller et al. (2013) veikuši plašus pētījumus provenienču stādījumos Austrijā, saistībā ar klimata izmaiņām un adaptāciju. Viņi pārbaudīja dažādu skuju koku sugu brīvapputes ģimeņu pēcnācējus atšķirīgos, simulētos apstākļos un noteica kvantitatīvās pazīmes. Viņi

noskaidroja, ka būtiskas atšķirības stādiem nosakāmas gan starp sugām, gan proveniencēm, gan atšķirīgiem sēklu veidošanās gadiem.

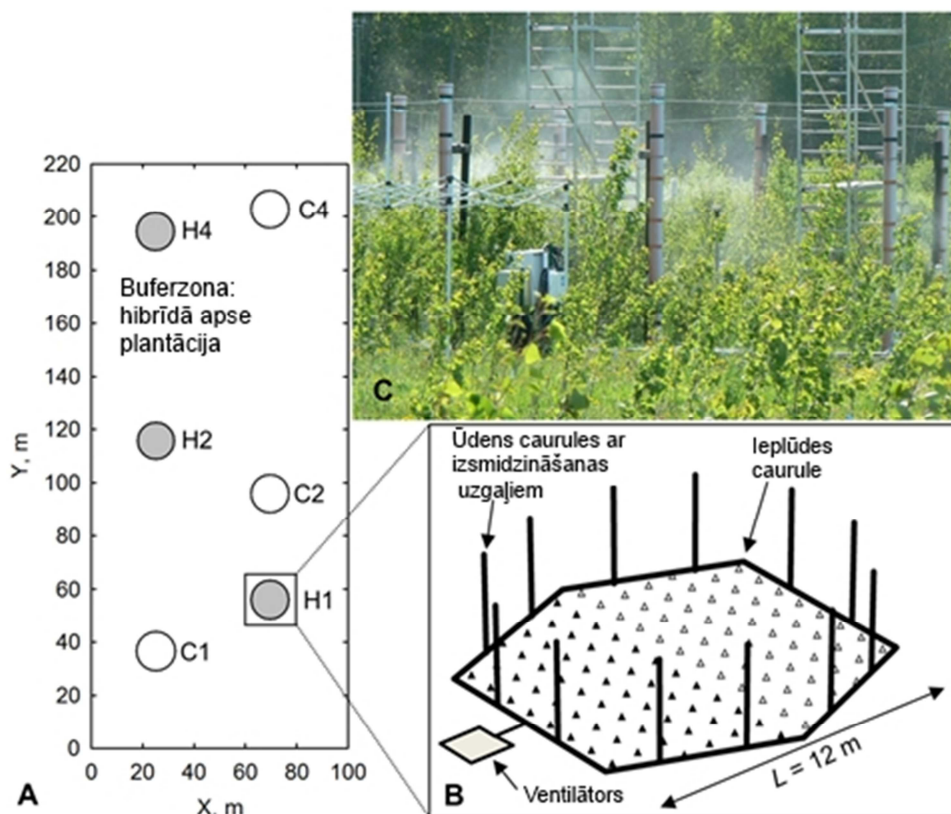
Epigenētiskās variācijas ietekmes uz fenotipisko plasticitāti izpēte palīdzēs izprast augu adaptīvās atbildes reakcijas un izvērtēt riskus, kādam pakļautas daudzgadīgas augu sugas, izmainoties vides apstākļiem īstermiņa vai ilgākā laika periodā.

Fenotipiskās plasticitātes un epigenētisko efektu pētījumos izmantojamās metodes

Fenotipiskās plasticitātes, gēnu plūsmas un epigenētisko mehānismu pētījumos koku sugām plaši tiek izmantoti provenienču eksperimenti gan *in situ* gan *ex situ*, kur tiek noteikti koku fenotipiskie parametri, kā arī dati tiek papildināti, izmantojot dažādas molekulārās bioloģijas metodes. Piemēram, Yakovlev et al. (2010) eksperimenti veikti ar parastās egles pēcnācējiem no diviem kontrolētiem krustojumiem ar atšķirīgiem pumpuru veidošanās laikiem. No abām ģimenēm ievāktas sēklas no indivīdiem, augošiem aukstā vidē un siltā vidē, kopā ievācot četrus dažādus sēklu veidus. Sēklas tika iesētas astoņās augšanas kamerās 22 °C temperatūrā un audzētas garās dienas (18 h gaismā un 6 h tumsā) apstākļos. Pēc astoņu nedēļu audzēšanas četras kameras tika pārprogrammētas uz 12 h gaismas un 12 h tumsas režīmu. Stādiem veikti augšanas, pumpuru veidošanās mērījumi, kā arī pēc 6 un 20 dienām no eksperimenta sākuma ievākti paraugi molekulārajām analīzēm (mikroRNS vērtēšanai). Atšķirīga pieeja provenienču stādījumu ģenētiskajai analīzei piedāvāta Schueler et al. (2012) un Kapeller et al. (2013) publikācijās.

Eksperimenti ar mērķi labāk izprast epigenētiskos efektus plaši veikti papелēm un apsēm. Piemēram, Gourcilleau et al. (2010) publicējuši rezultātus no eksperimentiem ar sešiem *P.deltoides* x *P.nigra* hibrīdiem. Stādi audzēti 17 dienas dažādos apstākļos – ar augsnes mitrumu 32% un augsnes mitrumu no 7-13%. Tiem noteikti ar biomasas veidošanos saistīti parametri – stumbru biomasā, augstums, sakņu biomasā, lapu skaits, kopējā lapu platība, specifiskā lapu platība. Veikta epigenētisko izmaiņu konstatēšana – noteikts kopējā DNS metilācijas līmenis, DNS metiltransferāzes aktivitāte un izoformas, histonu H3 un H4 acetilācija un histonu deacetilāzes aktivitāte un izoformas, bez pārbaudēm nākamajā paaudzē (pēc Brautigam et al., 2013).

Nokrišņu daudzuma un gaisa mitruma izmaiņu ietekmes uz kokiem pētījumiem Igaunijā izveidota eksperimentālā sistēma (FAHM sistēma – 6.5. att.), kurā iespējams kontrolēt šos meteoroloģiskos parametrus. Sākotnējie rezultāti liecina, ka FAHM eksperimentālā sistēma sekmē ūdens aprites koku lapotnē samazināšanos gan palielinātā gaisa mitruma, gan lapu virsmas pazeminātās temperatūras dēļ (Kupper et al., 2011). Šo divu faktoru izmaiņas var būtiski ietekmēt visa koka fizioloģiju, anatomiju un barības vielu uzņemšanu. Citā eksperimentā, izmantojot šo pašu sistēmu un stādījumus, noteikts, ka palielināts gaisa mitrums būtiski samazina koku augstuma pieaugumu, stumbru diametru un koku transpirāciju. Eksperimentos nav analizēta skuju koku atbildes reakcija uz gaisa mitruma izmaiņām.



6.5. attēls. FAHM eksperimenta plāns (Tullus et al., 2012).

Koku sugu un populāciju adaptācijas potenciāla pētījumi kļūst nozīmīgāki klimata izmaiņu kontekstā, nodrošinot precīzāku izpratni par to ietekmi un iespējamajiem adaptāciju veicinošajiem pasākumiem. Sevišķi nozīmīgi tas ir sugām ar garu dzīves ciklu, kur klimata izmaiņu ietekme izpaužas un adaptāciju veicinošus pasākumus ir iespējams veikt tikai ilgākā laika periodā.

Kopumā zinātniskās literatūras analīze liecina: daudzas pazīmes, kuras ir saistītas ar adaptāciju, regulē liels skaits gēnu, un ģenētiskā diferenciācija ir atkarīga no vides heterogenitātes un līdzsvara starp dabisko izlasi un gēnu plūsmu – ja putekšņu un/vai sēkļu izplatīšanās attālumi ir lieli un izlases ietekme vāja, tad ģenētiskā diferenciācija nav iespējama, t.i., aktīva gēnu plūsma no blakus teritorijām var aizkavēt populācijas optimālās vitalitātes sasniegšanu. Aizvien lielāks skaits pētījumu pēdējos gados liecina, ka fenotipiskajai plasticitātei (spējai pielāgoties vides apstākļu izmaiņām, mainot fenotipu) ir nozīmīga loma visas sugas evolūcijā un tā tiek ģenētiski kontrolēta: individuālie pielāgojumi var tikt nodoti pēcnācējiem. Tātad ir iespējams selekcionēt augus ar augstāku fenotipisko plasticitāti, lai tiem būtu labāka noturība mainīgos vides apstākļos. Tas ir būtiski arī meža koku sugām, ņemot vērā samērā plašo klimata izmaiņu prognožu atšķirību un nenoteiktību. Jāņem vērā, ka joprojām liela daļa mehānismu, kuri nodrošina plastiskas atbildes reakcijas uz vides maiņu, ir aktīvs pētījumu objekts (t.i., nav pilnībā izprasti). Līdzīgi tas ir arī attiecībā uz epiģenētisko atmiņu (adaptīvās fenotipiskās plasticitātes veidu) – pētījumos ar parasto egli ir pierādīts, ka tai var būt nozīmīga loma straujas adaptācijas klimatam veicināšanā, tomēr trūkst pētījumu ar citām koku sugām, kā arī zināšanu par šo pazīmi nosakošajiem ģenētiskajiem mehānismiem.

7. Radiālā pieauguma veidošanās un to ietekmējošie faktori

Stumbra caurmērs ir koku augšanu raksturojošs parametrs (Liepa, 1996; Zālītis, 1967), un tā palielināšanās temps (radiālais pieaugums) ir atšķirīgs dažādos koka dzīves posmos (Pallardy, 2008). Koku stumbru radiālā pieauguma dinamika ir atkarīga no sugas un indivīda (genotipa), kā arī no augšanas vides apstākļiem un to izmaiņām (Bouriaud et al., 2005; Carrer, Urbinati, 2004; Zālītis, 1967) veģetācijas periodā.

Koka stumbra radiālais pieaugums veidojas, laterālajā meristēmā attīstoties sekundārajiem audiem (Pallardy, 2008). Sekundāro augšanu nodrošina divas sānu meristēmas — kambijs jeb vaskulārais kambijs un felogēns jeb korķa kambijs (Plomion et al., 2001). Laterālās meristēmas šūnas koka stumbrā ir izvietotas cilindroidāli — vaskulārais kambijs atrodas stumbrā, zaros un pārkoksnējušās saknēs starp sekundāro aplievu (ksilēmu) un sekundāro lūksni (floēmu) (Carlquist, 2001; Pallardy, 2008), bet korķa kambijs atrodas koka šķērsriezuma profila ārpusē starp lūksni un korķa kārtu.

Kambijs ir veidotājaudi, kas atrodas starp vadaudiem — koksni un lūksni, un ir sastopams ne tikai stumbrā, bet arī saknēs un pat lapu lielākajās dzīslās (Pallardy, 2008). Koku un krūmu kambijs ir izvietots nepārtraukta šūnu gredzena veidā, turpretī lakstaugu kambijs atrodas atsevišķu šūnu grupu veidā vadaudu kūlīšos (Lachaud et al., 1999). Kambija šūnas ir iegarenas un to garums vairākkārt pārsniedz platumu (Pallardy, 2008). Vaskulārā kambija šūnu dalīšanās veido sekundāro koksni un sekundāro lūksni (Wilson et al., 1966), bet korķa kambija šūnu dalīšanās rezultātā veidojas floēma (Pallardy, 2008).

Stumbra šķērsgriezumā kambija zonas biezums mainās atkarībā no sezonas un koku sugu augšanas īpašībām (Pallardy, 2008). Miera periodā kambija zonas biezums var būt no vienas līdz vienpadsmit šūnām atkarībā no koku sugas, piemēram, priežu dzimtas kokiem novērojami 4 – 11 kambija šūnu slāņi (Alfieri, Evert, 1968); veģetācijas periodā dažādos posmos konstatējamās atšķirības ir lielākas (Murmanis, 1971; Pallardy, 2008). Kopumā lēni augošām koku sugām kambija zona ir no sešām līdz astoņām šūnām bieza, bet ātraudzīgajām — no 12 līdz 40 (Bannan, 1962).

Koka sekundārās augšanas gaitā pēc meristematiskās šūnu dalīšanās (Hertzberg et al., 2001; Plomion et al., 2001) daļa no jaunajām šūnām diferencējas, iegūstot konkrētu specializāciju organismā, bet pārējās saglabā savas sākotnējās meristematiskās dalīšanās īpašības (Pallardy, 2008; Poorter, 1989).

Kambija šūnas dalās divos virzienos — antiklināli un periklināli (Bailey, 1919). Radiālā pieauguma veidošanās gaitā vaskulārā kambija šūnas vispirms dalās antiklināli (Evert, Bharati, 1970). Tādējādi palielinās floēmas un ksilēmas iniciālšūnu skaits stumbra šķērsriezuma perimetrā (Pallardy, 2008). Šūnām nokļājot visu perimetru, tiek novērsta iespējamu starpšūnu pārrāvumu rašanās šūnu periklinālās dalīšanās rezultātā, kas palielina stumbra šķērsriezuma rādiusu. Kambija šūnām daloties mitotiski (Tepper, Hollis, 1967), izveidojas derivātšūnu slānis, kas ieskauj iniciālšūnas. Tās derivātšūnas, kas izveidojas stumbra šķērsriezuma iekšpusē, diferencējas kā sekundārā ksilēma, bet ārpusē esošās veido sekundāro floēmu (Richardson, Dinwoodie, 1960). Jauni vadaudi uz iekšpusi no vaskulārā kambija (sekundārā koksne) un uz ārpusi (sekundārā lūksne) veidojas, daloties smailajām iniciālšūnām, kuras ir izstieptas paralēli stumbra garenasij (Carlquist, 2001; Lachaud et al., 1999; Pallardy, 2008).

Sekundāro segaudu veidotājmeristēma — felogēns, kas sākotnēji attīstās no primārajiem segaudiem, vienas šūnas biezumā ir izvietots starp felodermu un felēmu. Peridermas ārējais slānis — felēma — ir veidots no korķa, nodrošinot koku pret ūdens zudumiem un nelabvēlīgiem vides apstākļiem (Pallardy, 2008). Veidojoties sekundārās koksnes radiālajam pieaugumam, paralēli norisinās arī felogēna šūnu dalīšanās un peridermas pieaugums pa stumbra šķērsgriezuma perimetru. Kokam kļūstot vecākam un sekundārajiem segaudiem atmirstot, izveidojas terciārie segaudi jeb mizas kreve (Pallardy, 2008).

Radiālā pieauguma veidošanās koka sezonālajā augšanas ciklā

Koku sekundāro audu un līdz ar to arī radiālā pieauguma veidošanās mērenajā klimata joslā (Mäkinen et al., 2008) ir sezonāla. Hemiboreālajā dabas zonā veģetācijas cikla sākumu nosaka gaisa temperatūru diennakts vidējo vērtību summas pieaugums un fotoperioda pagarināšanās (Rousi, Heinonen, 2007; Romberger, 1963). Iestājoties atbilstošam dienas garumam (Li et al., 2003) un/vai sasniedzot noteiktu gaisa temperatūru pozitīvu vērtību summu, sākas pavasara augšana. Dažādām sugām, proveniencēm un genotipiem nepieciešamās temperatūru summas un/vai dienas garuma sliekšnis ir atšķirīgs (Sarvas, 1972; Leinonen, 1996; Li et al., 2003). Evolucionārās attīstības gaitā ir notikusi adaptācija izcelsmes vietas apstākļiem, nodrošinot, ka vietējo populāciju koku augšana sākas iespējami agri pavasarī, tomēr ne tik agri, lai sakristu ar maksimālo pavasara salnu varbūtības periodu (Leinonen, 1996).

Sākoties veģetācijas sezonai, temperatūras un fotoperioda izmaiņu ietekmē notiek endogēno augšanas regulatoru aktivizācija, stimulējot koku apikālo un sekundāro augšanu (Pallardy, 2008; Romberger, 1963). Augšanas regulatoru iedarbība veicina šūnu dalīšanos un līdz ar to arī radiālā pieauguma veidošanos (Pallardy, 2008). Miera perioda beigu fāzē norisinās hidrolītisko enzīmu sintēze un aktivizācija, nodrošinot augšanai svarīgo ogļhidrātu rezervju mobilizāciju (Pallardy, 2008). Koka audu rehidratācija nodrošina pumpuru plaukšanai nepieciešamo vielu transportu (Mäkinen et al., 2008), un straujais ūdens pieplūdums izraisa sākotnēju stumbra caurmēra palielināšanos, bet vēlāk, pēc pumpuru izplaukšanas, koka stumbra uzblīdums samazinās (Mäkinen et al., 2008; Pallardy, 2008).

Garuma pieauguma veidošanās sākumā kambija šūnas visagrāk sāk dalīties jaunā dzinuma pamatnē līdz 3 cm attālumā no tās (Pallardy, 2008). Radiālā pieauguma veidošanās sākas pakāpeniski virzienā no koka galotnes uz stumbra pamatni, jo jaunajos dzinumos sintezētie augšanu stimulējošie fitohormoni tiek novadīti uz zemāk esošajiem zariem un stumbra daļām (Little, Savidge 1987; Pallardy, 2008). Augšanas hormonu pārvietošana nosaka atšķirīgu kambija šūnu aktivitātes līmeņu sadalījumu kokā. Pakāpeniskās izmaiņas nosaka jaunajos dzinumos sintezēto hormonu pārvietošanas ātrums, kas ir aptuveni 1 cm h^{-1} (Little, Savidge 1987).

Līdzīgi kā gadskārtējā radiālā pieauguma sākumā, arī tā veidošanās noslēgumā ir vērojamas pakāpeniskas kambija šūnu dalīšanās aktivitātes izmaiņas (Aloni, Zimmermann, 1983). Lielāks pārvietošanas attālums nosaka mazāku piegādātā augšanas hormona apjomu un līdz ar to arī lēnāku pieauguma veidošanos (Aloni, Zimmermann, 1983; Fraser, 1952; Little, Savidge 1987; Pallardy, 2008). Hormonu koncentrācija kambijā samazinās virzienā uz leju no galotnes uz stumbra pamatni, pārtraucot sekundāro augšanu, kas kopumā norisinās ilgāk nekā primārā (Romberger, 1963). Piemēram, parastajai priedei (vecumā no 50 līdz 60 gadiem) ir novērots ksilēmas pieauguma gradients, kas samazinās virzienā no galotnes uz stumbra pamatni (Kozłowski, Pallardy, 1997; Wight, 1933).

Laterālās meristēmas šūnu augšana ir atkarīga no genotipa un vides apstākļiem (Pallardy, 2008). Nākamās sezonas sākuma radiālā pieauguma veidošanās ir saistīta ar meteoroloģiskajiem apstākļiem iepriekšējā sezonā (Romberger, 1963). Agrīnās koksnes veidošanās sākumā pirmās dalīšanas uzsāk ksilēmas mātes šūnas, kas ir iepriekšējās sezonas noslēgumā daļēji diferencējušās vaskulārā kambija šūnas. Tās ir izvietotas starp vaskulāro kambiju un iepriekšējā sezonā veidoto koksni un to darbībai ir nozīmīga loma ūdens, augšanas hormonu un barības vielu piegādē turpmākā radiālā pieauguma attīstībai kambija šūnās (Pallardy, 2008; Romberger, 1963). Pavasara sākumā, salīdzinot ar kambija iniciālo slāni un floēmu, ksilēmas mātes šūnām ir novērojama visaktīvākā dalīšanās (Romberger, 1963).

Pavasara augšanas sezonas sākumā floēmas parenhīmas šūnu izplešanās norisinās aptuveni nedēļu pirms ksilēmas šūnu veidošanās sākuma (Pallardy, 2008). Agrākai floēmas audu aktivizācijai pavasara sākumā ir nozīmīga loma turpmākajā ksilēmas veidošanās procesā, jo tiek nodrošināts sākotnējais ogļhidrātu transports tālākai augšanas gaitas uzsākšanai (Alfieri, Evert, 1968; Romberger, 1963). Priežu dzimtas kokiem, tāpat arī apsēm, robīnijām un citiem lapu kokiem (Alfieri, Evert, 1968; Davis, Evert, 1968; Derr, Evert, 1967; Evert, 1963; Tucker, Evert, 1969), pavasarī floēmas šūnu diferencēšanās var notikt pat pusotru mēnesi pirms ksilēmas šūnu pieauguma sākuma. Priedēm pirmās pavasara aktīvās šūnas ir no iepriekšējās augšanas sezonas saglabājušās nobriedušās floēmas šūnas 2 līdz 4 slāņu biezumā. Turpmāko 4 nedēļu laikā priežu dzimtas sugām izveidojas līdz trim ceturtdaļām no visa sezonas pieauguma (Alfieri, Evert, 1968). Konstatēts, ka parastajai priedei Latvijas apstākļos viss attiecīgā gada radiālais pieaugums izveidojas 80 – 100 dienās (Zālītis, 1967).

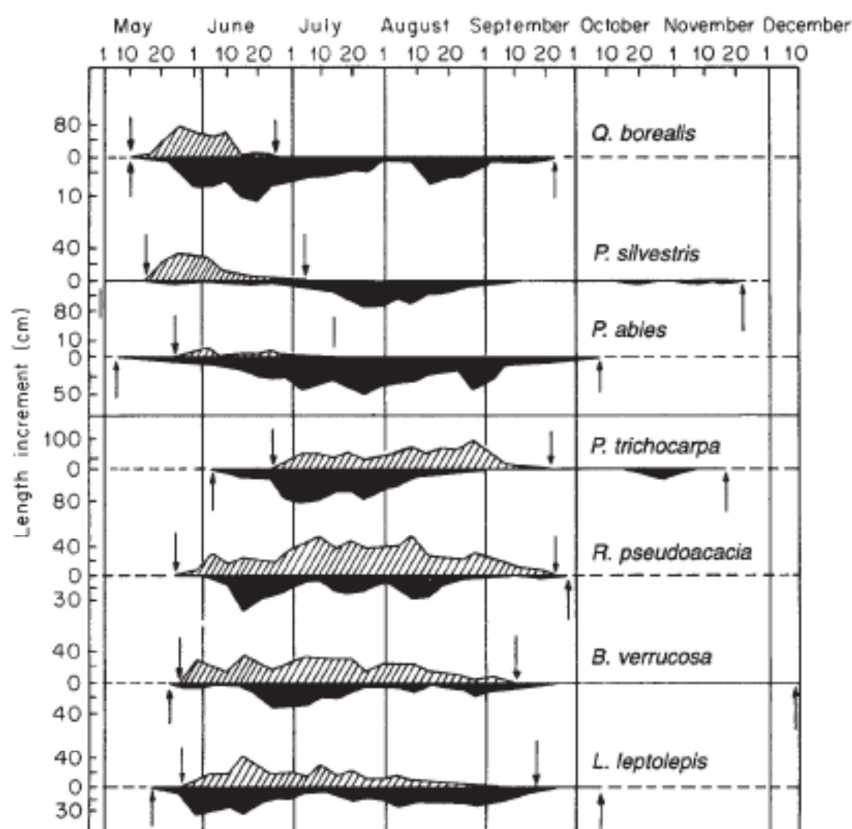
Dažādām koku sugām ir atšķirīgas pieauguma veidošanas stratēģijas (Pallardy, 2008), jo sekundārie audi (vadaudi) atsevišķām sugām var sākt veidoties vēl pirms pumpuru plaukšanas un jaunu barības vielu sintēzes (Pallardy, 2008; Romberger, 1963), kokam mobilizējot iepriekš uzkrātās rezerves. Segsēkļu koksnē esošie vadaudi ir trahejas — gari, no dzīvām šūnām izveidojušies kapilāri, kuru izvietojuma sadalījums ir atkarīgs no sugas pavasara augšanas stratēģijas (Frankenstein et al., 2005; Pallardy, 2008). Segsēkļu koksne var būt arī difūzi (vienmērīgi) poraina visas gadskārtas platumā gan agrīnaj, gan vēlīnajā koksnē (alkšņi, bērzi, skābardis, dižskābardis, kļavas, liepas u.c.) vai apločporaina (Dolacis, 1998), kur vadaudi ir izvietoti agrīnajā (pavasara) koksnē (ozoli, oši, gobas, vīksnas) (Carlquist, 2001; Pallardy, 2008). Kailsēkļu koksni veido vienkāršākas vadaudu struktūras — traheīdas, kas ir garas, nedzīvas šūnas ar pārkoksnētiem šūnapvalkiem (Carlquist, 2001).

Apločporainajiem un difūzi porainajiem kokiem pavasara augšanas uzsākšanās norisinās atšķirīgos laikos — attiecīgi pirms un pēc pumpuru plaukšanas. Ozoliem, gobām, vīksnām, ošiem un citām apločporainajām koku sugām veģetācijas sezonas sākumā kambija šūnu dalīšanās var sākties 2 līdz 6 nedēļas pirms pumpuru plaukšanas, kad norisinās traheju veidošanās (Frankenstein et al., 2005). Pavasara koksnes vadaudi veidojas no pārziemojušām, daļēji diferencētām iepriekšējās augšanas sezonas kambija derivātšūnām, kurās uzkrājušies augšanas hormoni (Digby, Wareing, 1966; Frankenstein et al., 2005; Savidge, Wareing, 1981). Radiālā pieauguma veidošanās var sākties pirms pumpuru plaukšanas (Frankenstein et al., 2005). Ir novērots, ka lielo pavasara traheju veidošanās apločporainajos kokos norisinās vienlaicīgi visā stumbrā un zaros, un veidošanās izbeidzas līdz ar pumpuru plaukšanu (Little, Savidge, 1987). Difūzi poraino un kailsēkļu koku sugu kambija aktivitāte uzsākas reizē ar pumpuru plaukšanu jaunā dzinuma pamatnē. Kambija šūnu aktivitāte pieaug virzienā uz stumbra pamatni, tomēr dižskābardim (*Fagus sylvatica* L.) ir novērots, ka augšanas sezonas

sākumā kambija aktivitāte var sākties vienlaicīgi visā koka stumbrā un zaros (Lachaud, Bonnemain, 1981; Little, Savidge, 1987).

Hemiboreālajā zonā koku sugām pavasarī sakņu augšana sākas agrāk nekā pumpuru plaukšana vai sekundāro audu veidošanās, un visbiežāk sakņu augšanai ir garāks augšanas periods salīdzinājumā ar augstuma vai radiālā pieauguma veidošanos (Pallardy, 2008). Sakņu augšana var turpināties vairākas nedēļas pēc garuma pieauguma noformēšanās vai saglabāties visā miera perioda laikā, ja tam ir labvēlīga augsnes temperatūra (Oleksyn et al., 1998; Pallardy, 2008). Tiek uzskatīts, ka parastās priedes sakņu augšana apstājas pie negatīvām augsnes temperatūrām (7.1. att.) (Oleksyn et al., 1998); Lyr un Hoffmann (1967) norāda, ka parastās priedes sakņu augšanas sākas divas nedēļas pirms garuma pieauguma veidošanās sākuma.

Sakņu pieaugumu ir grūti noteikt, un tas ir atkarīgs no edafiskajiem, meteoroloģiskajiem un ģenētiskajiem faktoriem (Lyr, Hoffmann, 1967). Laboratoriskos eksperimentos iegūti ģeneralizēti rezultāti rāda, ka parastajai priedei sakņu augšana sākas maijā sākumā un ilgst līdz novembra beigām, bet aktīvākā augšana norisinās jūlija beigās, divas nedēļas pēc garuma pieauguma veidošanās beigām. Nozīmīga sakņu pieauguma veidošanās beidzas septembrī. Parastajai eglei tādos pašos meteoroloģiskajos apstākļos sakņu augšana sākās vēlāk un beidzas agrāk nekā priedei (Lyr, Hoffmann, 1967; Pallardy, 2008), tās kulminācija ir vairākas nedēļas pēc garuma un radiālā pieauguma veidošanās beigām (Lyr, Hoffmann, 1967).



Ar iesvītrojumu ir apzīmēts dzinumu augšanas periods un intensitāte, bet ar melno – sakņu. Bultiņas apzīmē augšanas perioda sākumu un beigas

7.1.attēls. Sezonālās sakņu augšanas atšķirības dažādām koku sugām (Lyr, Hoffmann, 1967; Pallardy, 2008).

Dažādu faktoru ietekme uz radiālo pieaugumu

Radiālā pieauguma veidošanos kompleksi nosaka koka genotips un savstarpējā mijiedarbībā esošu vides faktoru ietekme (Lechowicz, 1984; Schulze et al., 2005). To ietekmējošie eksogēnie faktori ir: augsnes un gaisa temperatūras un mitruma režīms, barības vielu un Saules radiācijas pieejamība, kaitēkļu un patogēnu darbība, vēja ietekme un cilvēka darbība (t.sk. vides piesārņojums) (Liepa et al., 1991; Schulze et al., 2005).

Apkārtējās vides ietekme uz radiālo pieaugumu atspoguļojas tā veidošanās intensitātes izmaiņās tikai pēc noteikta laika (Kozłowski, Pallardy, 1997). Reakcijas laiks uz vides izmaiņām atkarīgs gan no šo izmaiņu intensitātes, gan koku sugas, gan koka vecuma (Dobbertin, 2005). Nekavējoša atbildes reakcija uz vides apstākļu izmaiņām novērojama tikai bioķīmiskā līmenī (Cannell, 1989; Schulze et al., 2005). Atkarībā no reakcijas uz stresa faktoriem izšķir stresa tolerantās, konkurentās un rudērālās augšanas stratēģijas (Schulze et al., 2005).

Parastā priede ir raksturojama kā stresa toleranta suga (Schulze et al., 2005), kam Latvijas apstākļos juvenīlā vecumā ir novērota augšanas reakcijas pret vides izmaiņām novēlošanās par aptuveni diviem gadiem (Zālītis, 2006). Piemēram, kontrolētos apstākļos pakļaujot priedes un egles paaugstinātam augsnes mitrumam, priedes reakcija bija novērojama otrajā sezonā pēc eksperimenta sākuma. Konstatēts, ka stresa apstākļos koki mobilizē iekšējās rezerves bojājumu novēršanai un pilnvērtīgas augšanas atjaunošanai, un šajā brīdī papildus stress var izrādīties limitējošs (Possen et al., 2011; Schulze et al., 2005). Jau minētajā eksperimentā, trešās veģetācijas sezonas noslēgumā iestājoties agrām rudens salnām, nokalta visi sākotnēji (pirms trim sezonām) pārmitrai augsnei pakļautie koki, kamēr kontroles (pārmitriem apstākļiem nepakļautie) koki saglabājās (Zālītis, 2006).

Parastajai eglei, salīdzinot ar priedi, ir zems tolerances līmenis pret pārmitriem vai sausiem augsnes apstākļiem: eksperimentā iekļautajām eglēm tika novērota gan nekavējoša, gan nākamās sezonas reakcija uz augsnes aerācijas pasliktināšanos mitruma ietekmē – gan limitējot augšanu, gan ietekmējot saglabāšanos (Rothe et al., 1999; Zālītis, 2006; Zālītis 2012). Līdzīgi arī Seidling et al. (2012) konstatē, ka mitrākos apstākļos augušo egļu nākamā gada pieaugums negatīvi korelē ar paaugstinātu nokrišņu apjomu, kamēr sausākos apstākļos pie tāda paša nokrišņu apjoma nākamā gada radiālais pieaugums uzrāda pozitīvu saistību. Iepriekšējās veģetācijas sezonas mitruma apstākļi — augstāks nokrišņu apjoms — ir nozīmīgi arī dižskābarža radiālā pieauguma veidošanās intensitātei. Kā priedei, tā arī dižskābardim un eglei ir nozīmīgas arī iepriekšējo augšanas sezonu un tekošās sezonas pavasara sākuma gaisa temperatūras (Seidling et al., 2012).

Kokam ir primārie sensori, kas, reaģējot uz vides izmaiņām, pārraida signālu uz augšanas meristēmām, lai izstrādātu atbildes reakciju. Sākotnējā reakcija uz vides izmaiņām notiek pumpuros, lapās, jauno dzinumu epidermas šūnās un smalkajās uzsūcošajās saknēs: aktīvi augošajās koka daļās (Kozłowski, Pallardy, 1997).

Katrai koku sugai un arī atsevišķiem genotipiem to ietvaros ir noteikts augšanas apstākļu optimums, kura robežās norisinās visaktīvākā augšana (Liepa et al., 1991); tā pārsniegšana vai nesasniegšana izraisa stresa reakciju, kuras ietekmē augšana palēninās vai pat apstājas (Liepa et al., 1991; Schulze et al., 2005). Mijiedarbojoties vairākiem vides faktoriem, ietekme uz koku augšanu var būt citāda, nekā viena faktora iedarbības rezultātā (Liepa et al., 1991).

Vides apstākļu uzlabošanai pielieto tādas mežsaimnieciskās metodes kā audžu kopšana, meliorācija, mēslošana, kaitēkļu un patogēnu apkarošana, pārnadžu bojājumu prevencija u.c.

Konkurences un dabisko traucējumu samazināšana un barības vielu pieejamības paaugstināšana palielina pieauguma veidošanās intensitāti nākamajās augšanas sezonās (Zālītis, 2006; 2012).

Nozīmīgu nelabvēlīgu vides apstākļu izmaiņu ietekmē (piemēram, augšanai būtisku resursu nepietiekamība konkurences rezultātā, patogēnu iedarbība) kambija šūnas dažās vietās var būt atmirušas vai miera stāvoklī, neveidojot pilnu gadskārtas gredzenu. Atbildes reakcija var būt arī kambija šūnu dalīšanās apstāšanās, veidojot tā dēvētās „neīstās” gadskārtas. Šajā gadījumā, vides apstākļiem atkal uzlabojoties pirms miera perioda, atjaunojas arī radiālā pieauguma veidošanās (Bouriaud et al., 2005; Pallardy, 2008). Tādējādi sezonas kopējā pieauguma šķērsgrīzumā agrīnajai koksnei pa vidu izveidojas blīvāks šūnu slānis, kas līdzinās vēlīnajai koksnei, bet neatbilst veģetācijas sezonas noslēgumam (Pallardy, 2008).

Radiālā pieauguma sezonālās dinamikas mērījumu metodes un to pielietojums

Zinātniskajos pētījumos (Alfieri, Evert, 1968; Bouriaud et al., 2005; Evert un Bharati, 1970; Gričar et al., 2007; Gričar, Čufar, 2008; Mäkinen et al., 2008; Pesonen et al., 2004) par koku radiālo pieaugumu veidošanos veģetācijas perioda ietvaros izmanto atšķirīgas stumbra caurmēra pieauguma noteikšanas metodes.

Viens no izplatītākajiem pieauguma monitoringa mērinstrumentiem ir lentas dendrometrs (Pesonen et al., 2004), kas fiksē koka stumbra apkārtmēra svārstības (Mäkinen et al., 2008). Mērierīces darbības principa pamatā ir pa stumbra šķērsgrīzuma perimetru nospiesta metāla lenta, kuras viens gals ir uztiets uz spoles. Stumbram piebriestot vai saraujoties, līdz ar caurmēra izmaiņām mainās arī stumbru aptverošās lentas posma garums, ko iespējams nolasīt un/vai reģistrēt automātiski (Mäkinen et al., 2008; Pesonen et al., 2004).

Lentas dendrometra priekšrocība: ņemot vērā, ka tiek fiksētas caurmēra izmaiņas visā stumbra perimetrā noteiktā augstumā, ir iespējams novērot koka stumbra ūdens satura izmaiņu diennakts ritmu (Deslauriers et al., 2007); trūkums: nav iespējams veikt precīzu kambija aktivitātes un ksiloģenēzes monitoringu. Nozīmīgākās atšķirības starp ksiloģenēzi un stumbra apkārtmēra izmaiņām vērojamas pavasarī, kad kokā norisinās rehidratācijas process (atjaunojas ūdens saturs pēc ziemas miera perioda) (Mäkinen et al., 2008).

Stumbra caurmēra izmaiņas var fiksēt arī ar punkta dendrometriem (Zweifel, Häsler, 2001) kuri, līdzīgi kā lentas dendrometri, mēra stumbra izplešanās vai saraušanās dinamiku un var būt nolasāmi gan manuāli, gan automātiski (Mäkinen et al., 2008; Zweifel, Häsler, 2001). Punkta dendrometrs nenodrošina informāciju par stumbra pilna apkārtmēra izmaiņām (Mäkinen et al., 2008).

Precīzai radiālā pieauguma noteikšanai tiek pielietotas invazīvās paraugošanas metodes — pinings un mikrourbšana (Mäkinen et al., 2008; Schmitt et al., 2000; Seo et al., 2007).

Pininga (pinning) metode paredz regulāru, ar smalku adatu veiktu, mehānisku kambija šūnu bojāšanu, iedurot adatu jaunākajā ksilēmas gadskārtā (Seo et al., 2007). Kambija šūnas pārstāj dalīties izdarītā bojājuma kanāla malās, un dažas šūnu rindas tālāk no tā notiek nediferencēto audu — kallusa — veidošana (Pallardy, 2008). Tādējādi ir iespējams hronoloģizēt radiālā pieauguma veidošanos, par laika atskaiti pieņemot mehāniskā bojājuma izdarīšanas brīdi (Seo et al., 2007). To dara, eksperimenta beigās no koka izņemot bojātās koksnes paraugus un analizējot laboratorijā: ar mikroskopu skaita ksilēmas šūnas pirms un pēc adatas dūriena, ko iezīmē kambija šūnu dalīšanās pārtraukšanās un ksilēmas augšanas

apstāšanās tiešā pininga kanāla tuvumā (Mäkinen et al., 2008; Schmitt et al., 2000; Seo et al., 2007).

Veicot mikrourbšanu, ievāc ksilēmas jaunākās gadskārtas paraugus vēlākai laboratoriskai izpētei — šūnu skaitīšanai. Koksnes serdeņu iegūšanai var izmantot ķirurģiskās adatas vai speciālus maza diametra svārpstus (Mäkinen et al., 2008).

Abas invazīvās radiālā pieauguma noteikšanas metodes ir vienlīdz precīzas ksilēmas šūnu veidošanās sākuma noteikšanai. Savstarpēji salīdzinot visu trīs mērījumu metožu rezultātus, parastajai priedei un eglei Somijas apstākļos 2003. un 2004. gada veģetācijas sezonā ar invazīvajām metodēm noteiktā radiālā pieauguma veidošanās sākums, kulminācija un beigas bija novērotas vidēji par 20 dienām vēlāk nekā ar dendrometru (Mäkinen et al., 2008). Pēc dendrometru datiem Somijas ziemeļos un dienvidos stumbra caurmēra palielināšanās sākās vienlaicīgi — kalendārā gada 131. dienā, bet, analizējot ksilēmas šūnu augšanu, Somijas dienvidos priedes un egles pieaugumu veidošanās uzsākās par 10 dienām agrāk nekā ziemeļos (Mäkinen et al., 2008).

Vienas sugas ietvaros abas invazīvās paraugošanas metodes var uzrādīt atšķirīgus ksilēmas augšanas kulminācijas laikus. Parastajai priedei jaunākās, vēl nenobriedušās, vāji lignificējušās ksilēmas šūnas mikrourbšanas gaitā var tikt saspiešanas, bet pininga rezultātā kambija šūnu slānis var tikt deformēts (Mäkinen et al., 2008; Pallardy, 2008). Šūnu mehāniskās izturības palielināšanos nodrošina sekundāro sienīņu attīstība, kas norisinās vēlāk — pēc pašu šūnu izveidošanās, un priedei šis process ir lēnāks nekā eglei (Mäkinen et al., 2008; Pallardy, 2008). Tā rezultātā saspiešanās parastās priedes ksilēmas jaunākās šūnas mikrourbšanas paraugos var netikt izdalītas, radot augšanas gaitas ritma interpretācijas kļūdas (Mäkinen et al., 2008).

Novērojumu parauglaukumu raksturojums

Pārskata perioda ietvaros saskaņā ar darba uzdevumu veikti radiālā pieauguma dinamikas mērījumi 6 parauglaukumos pēcnācēju pārbaužu stādījumos un dabiski atjaunojušās mežaudzēs. Novērojumu parauglaukumi atrodas Latvijas rietumos Dundagas novadā un valsts centrālajā daļā — Siguldas, Ķeguma un Vecumnieku novados. Parauglaukumu atrašanās vietās — Piejūras zemienē Latvijas ziemeļrietumos, Viduslatvijas zemienē un Gaujas senielejā ir savstarpēji atšķirīgi lokāli klimatiskie apstākļi (Draveniece, 2007; Klavins, Rodinov, 2010).

Latvijas teritorijā virzienā no rietumu piekrastes uz kontinenta iekšieni, mitrajām, okeāniskajām gaisa masām transformējoties, samazinās gaisa mitrums. Tas nosaka diennakts gaisa temperatūras vērtību amplitūdas palielināšanos un atšķirīgu kontinentalitātes pakāpi virzienā uz valsts austrumiem (Draveniece, 2007; Krauklis, Zariņa, 2002). Klimata kontinentalitātes atšķirības raksturo aprēķinātais Konrāda kontinentalitātes indekss, kura vērtība tuvu 0 ir izteikti okeāniskos apstākļos, bet tuvu 100 — krasi kontinentālos. Dundagas novadā indekss ir robežās no 23 līdz 24, bet Siguldas, Vecumnieku un Ķeguma novados parauglaukumu atrašanās vietās: no 27 līdz 29 (Draveniece, 2007). Šāds kontinentalitātes sadalījums atspoguļojas, piemēram, janvāra un jūlija mēnešu vidējo temperatūru atšķirībās: Baltijas jūras piekrastē janvāra mēneša vidējā temperatūra ir par 3 °C augstāka, bet jūlija mēneša vidējā gaisa temperatūra ir par 1,5 °C zemāka nekā Viduslatvijā. Projekta iepriekšējo posmu atskaitēs aprakstīts, ka okeāniskāku apstākļu ietekmē piekrastē veģetācijas periods var uzsākties vidēji par vienu nedēļu agrāk nekā Latvijas centrālajā un austrumu daļā.

Gaujas senielejā viens no koku augšanu noteicošajiem faktoriem ir reljefs. Ielejas nogāzes slīpums, atkarībā no ekspozīcijas, rada noteiktus gaismas un temperatūras apstākļus, kas atšķiras no līdzena reljefa mežos esošajiem (Āboliņš, Eniņš, 1979; Bамbe, 2010; Mežaka et al., 2005). Ūdens nesošo starpslāņu klātbūtne senielejas nogāzēs (Āboliņš, Eniņš, 1979) nodrošina pastāvīgu mitruma režīmu senielejas un tās sāngravu gultnēs (Bамbe, 2010).

Dabiski atjaunojušās, pieaugušās mežaudzēs uz valdaudzes kokiem mērinstrumenti izvietoti parauglaukumos Dundagas novadā (koku sugas: parastā priede (*Pinus sylvestris* L.), āra bērzs (*Betula pendula* Roth.), melnalksnis (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) un parastā egles (*Picea abies* (L.) H.Karst.), Siguldas novadā (āra bērzs, parastā priede) un Vecumnieku novadā (parastā apse (*Populus tremula* L.)).

Pēcncēju pārbaužu stādījumos, izvēloties paraugkokus ar atšķirīgu stumbra tilpumu, mērinstrumenti izvietoti: LVM Vecumnieku iecirknī un SIA Rīgas meži Daugavas mežniecībā (parastā priede) un Ķeguma novadā (āra bērzs un hibrīdā apse).

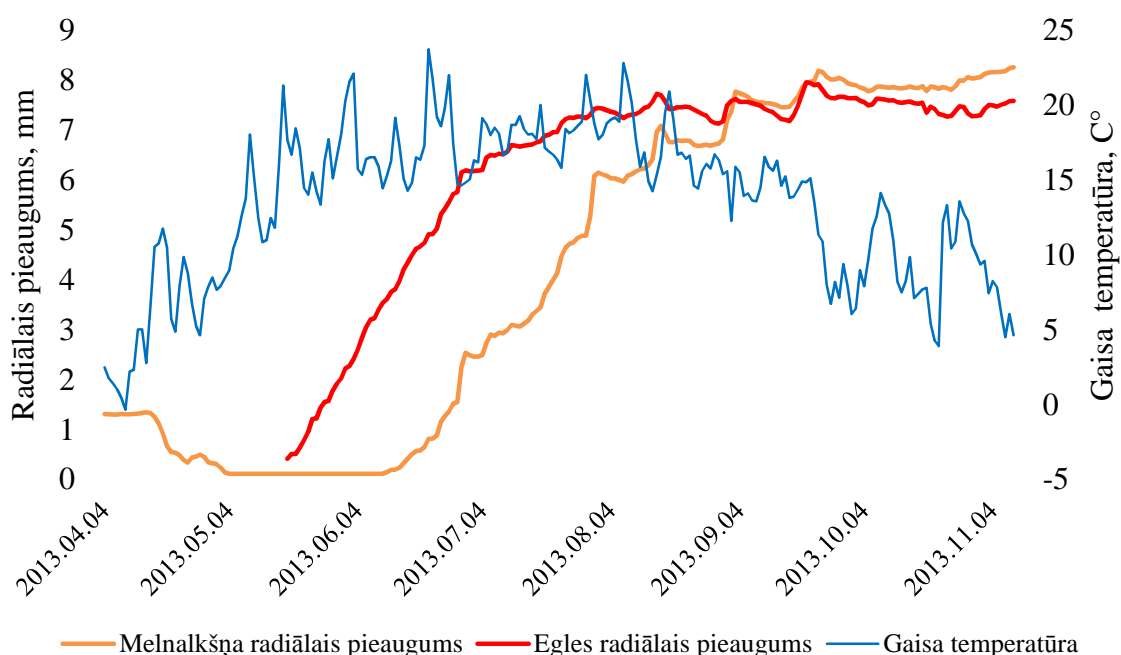
Paraugkokiem mērierīces uzstādīja veģetācijas perioda sākumposmā.

Radiālā pieauguma veidošanās dinamika

Iegūtie rezultāti aprakstīti, izmantojot kā piemēru melnalkšņa caurmēra pieauguma dinamiku vienā no parauglaukumiem.

Aprīļa pirmajā pusē, kad parauglaukumos Dundagas novadā uzstādīti pirmie mērinstrumenti, mežaudzēs vēl bija sniega sega un tām blakus izvietotajā apšu hibrīdu fenoloģisko novērojumu eksperimentā konstatēts, ka pumpuru plaukšana norisinājusies maija sākumā. Tomēr konstatēts, ka gan melnalkšņa, gan egles stumbra rehidratācija mērinstrumentu uzstādīšanas laikā jau bija sākusies: melnalkšnim laika posmā no 4. līdz 17. aprīlim tās ietekmē notika stumbra uzbriešana par 1,3 mm (7.2. att.).

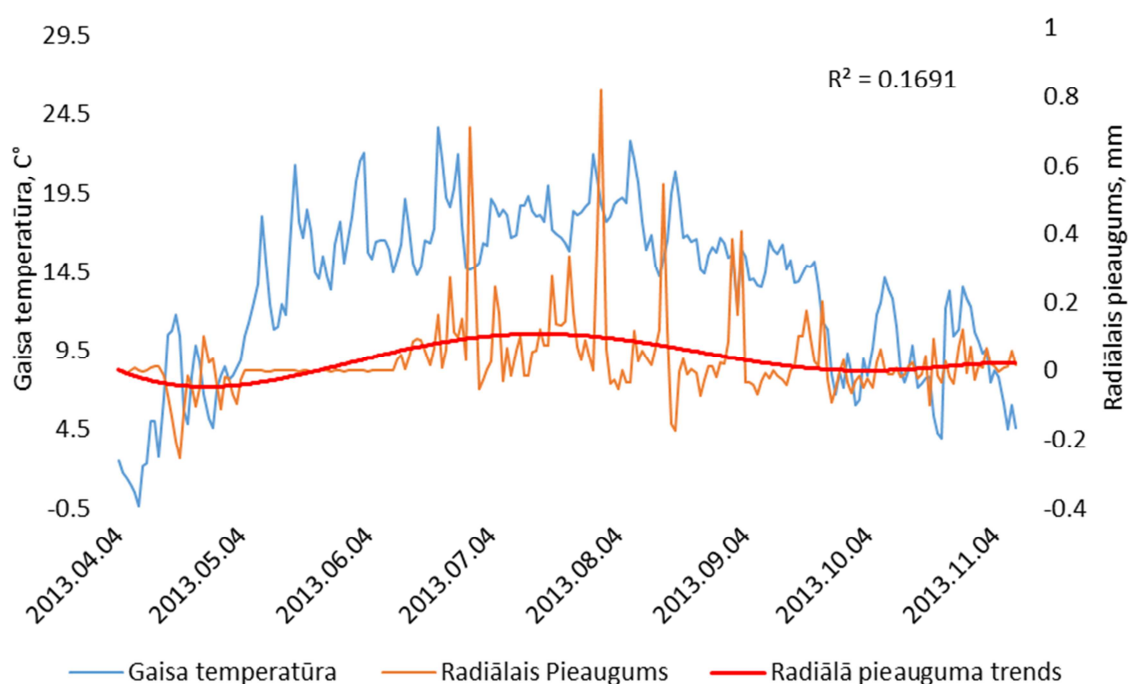
Gaisa temperatūrai novērojumu perioda sākumā ir negatīva korelācija ar melnalkšņa stumbra caurmēra pieaugumu (7.5. att.), jo, pieaugot gaisa temperatūrai, samazinās stumbra uzblīdums (7.2. un 7.3. att.).



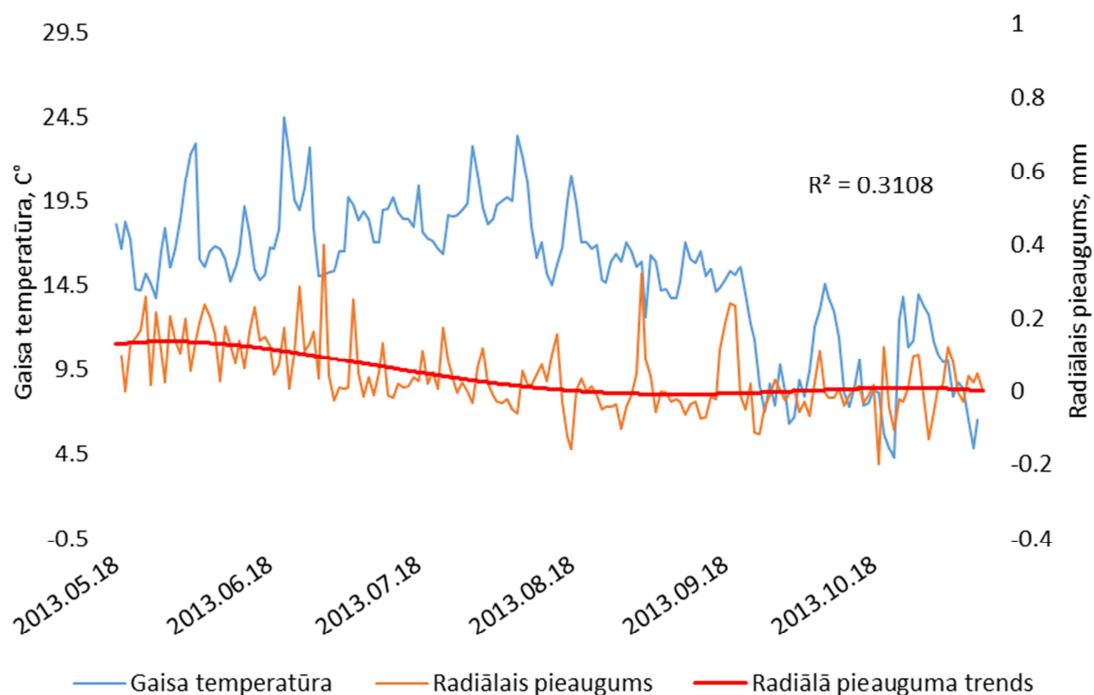
7.2. attēls. Melnalkšņa un egles stumbra radiālā pieauguma veidošanās kumulatīvā līkne un gaisa temperatūras vērtību svārstības Dundagas novadā 2013. gada veģetācijas sezonā.

Maija pirmajā dekādē – pēc veģetācijas perioda sākumā novērotās stumbra uzblīduma mazināšanās – iestājās periods, kurā netika fiksētas caurmēra svārstības (7.2. un 7.3. att.). Šis periods ilga līdz maija pēdējai dekādei, kad, gaisa temperatūras pozitīvā ietekmē (7.4. att.) atsākās caurmēra palielināšanās. Novērotās sakarības ir līdzīgas kā konstatētas pētījumā par Japānas ciedru (*Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don) (Mäkinen et al., 2008; Yamashita et al., 2006), un liecina, ka šajā periodā sākusies ksilēmas pieauguma veidošanās (Mäkinen et al., 2008). Lai fiksētu precīzu ksilēmas pieauguma veidošanās sākuma datumu, nepieciešama atkārtota paraugu ievākšana un mikroskopiska analīze, kas pētījuma ietvaros netika veikta.

Eglei strauju radiālā pieauguma veidošanos novēroja agrāk nekā melnalksnim, tā, līdzīgi kā melnalksnim, ilgst aptuveni mēnesi – līdz jūlija pirmajai dekādei (7.2. un 7.3. att.). Vasaras pirmajā daļā (maija beigas - jūnija sākums) egles radiālā pieauguma veidošanās intensitātes korelācija ar gaisa temperatūru ir pozitīva, taču statistiski nebūtiska (7.6. att.).

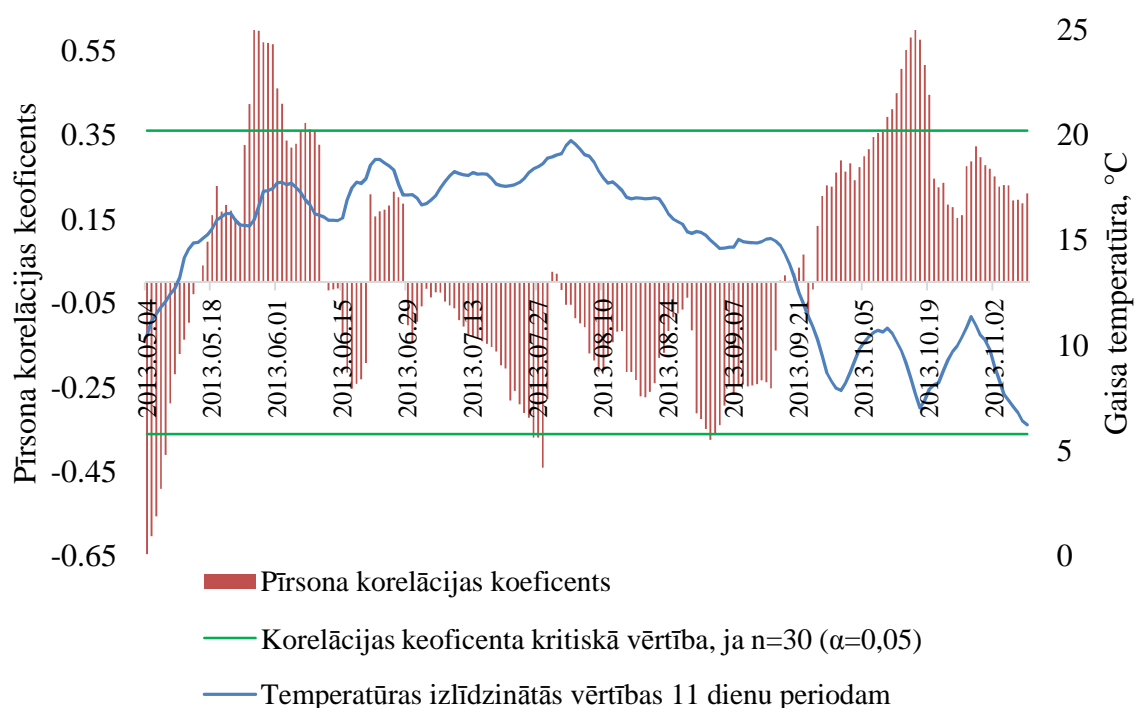


7.3. attēls. Melnalkšņa radiālā pieauguma diennakts vidējo vērtību dinamika Dundagas novadā 2013. gada veģetācijas sezonā.

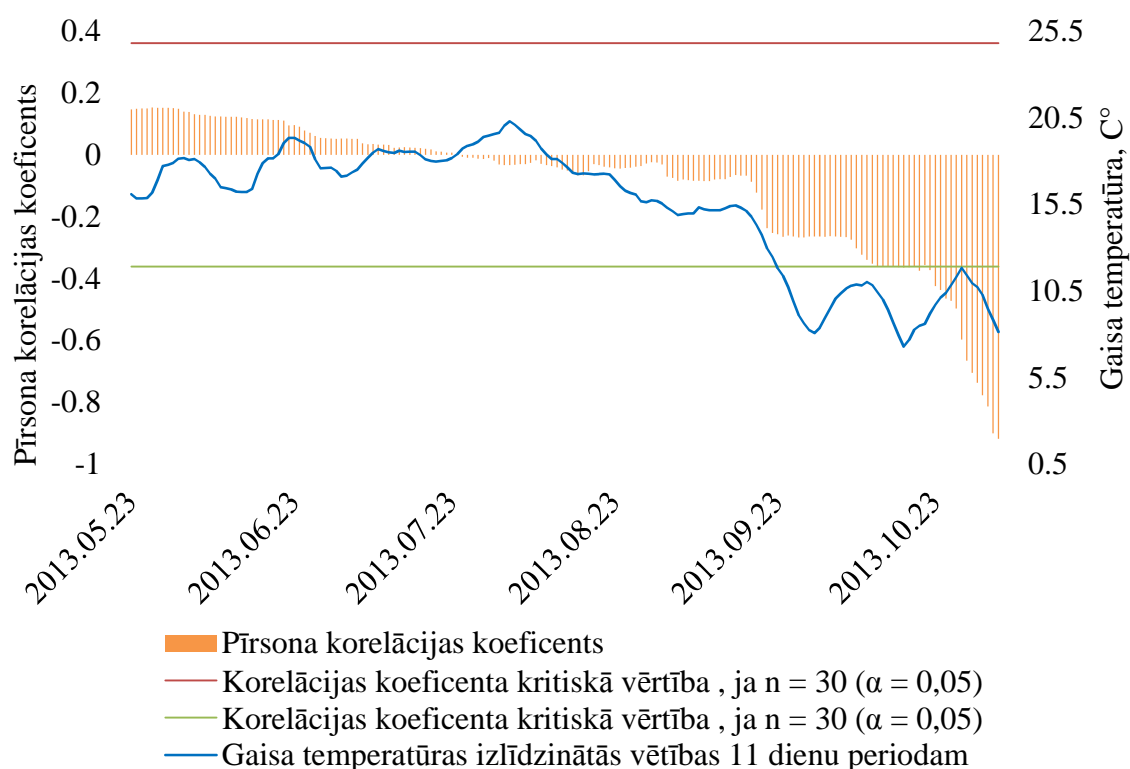


7.4. attēls. Egles radiālā pieauguma diennakts vidējo vērtību dinamika Dundagas novadā 2013. gada veģetācijas sezonā.

Melnalksnim maija beigu un jūnija sākuma gaisa temperatūrai ir būtiska ietekme uz caurmēra palielināšanos; pārējā veģetācijas perioda posmā (līdz septembra sākumam) gaisa temperatūras loma ir būtiska tikai jūlija vidū (7.5. att.), kad tās korelācija ar caurmēra pieaugumu ir negatīva. Gaisa temperatūras paaugstināšanās vasaras vidū, iespējams, veicināja augsnes mitruma samazināšanos, kas melnalksnim kā higrofītiskai sugai ir ļoti nozīmīgs (Hacke, Sauter, 1996). Sezonas ietvaros novērotās caurmēra pieauguma fluktuācijas ap vidējo vērtību (7.2. att.) varētu būt saistītas ar koka stumbra ūdens satura izmaiņām (Mäkinen et al., 2008; Zweifel et al., 2006). Zems nokrišņu apjoms un augsta gaisa temperatūra melnalksnim (līdzīgi kā citām koku sugām noteiktos veģetācijas perioda posmos) var būt caurmēra pieauguma veidošanos limitējoša faktoru kombinācija; savukārt augsta temperatūra un regulāri, pietiekami nokrišņi caurmēra pieauguma veidošanos var stimulēt (Hacke, Sauter, 1996). Tādēļ nākamajā novērojumu sezonā būtisks arī tādu meteoroloģisko parametru kā nokrišņu, augsnes mitruma un gruntsūdens līmeņa svārstību monitorings, lai nodrošinātu iespēju saistīt caurmēra pieauguma dinamiku ar nākotnē prognozēto klimatisko apstākļu kompleksu, ne tikai vienu parametru (temperatūru).



7.5. attēls. Gaisa temperatūras vidējo vērtību izlīdzinātā līkne un Pīrsona korelācijas koeficienta vērtības starp gaisa temperatūru un stumbra caurmēra pieaugumu melnalksnim.



7.6. attēls. Gaisa temperatūras vidējo vērtību izlīdzinātā līkne un Pīrsona korelācijas koeficienta vērtības starp gaisa temperatūru un stumbra caurmēra pieaugumu eglei.

Salīdzinot gaisa temperatūru un caurmēra pieaugumu līknes abām koku sugām redzama vienas līdz divu diennakšu nobīde, kas norāda uz augšanas procesa regulācijas ātrumu attiecībā pret vides apstākļu izmaiņām. Novērojama arī nozīmīga augstākās radiālās pieauguma

veidošanās intensitātes nobīde starp koku sugām, un atšķirības atbildes reakcijā uz paaugstinātu gaisa temperatūru vasaras vidū.

Plānotās nākamā projekta posma aktivitātes

Apkopojot pirmās novērojumu sezonas rezultātus un gūto pieredzi, izstrādāts aktivitāšu plāns nākamās, 2014. gada, novērojumu sezonas darbu veikšanai.

Datu ievākšanai par temperatūras svārstībām augsnē (kam potenciāli varētu būt ietekme uz caurmēra pieauguma veidošanās sākuma laiku un tā intensitāti vasarā), jau šajā rudenī parauglaukumos divos atšķirīgos dziļumos izvietoti temperatūras sensori, kas nākamā gada sākumā (pēc augsnes atkušanas) tiks papildināti ar augsnes mitruma sensoriem. Tāpat jau šajā rudenī divos no parauglaukiem izveidotas gruntsūdens līmeņa svārstību monitoringa vietas.

Caurmēra pieauguma mērījumus paredzēts uzsākt jau marta sākumā, tādējādi novēršot neprecizitāti, kas konstatēta šīs sezonas sākumā, un nodrošinot iespēju noteikt stumbra paresnīšanās sākuma laiku. Savlaicīgi uzsākti miera perioda beigu posma rehidratācijas mērījumi nodrošinās pilnīgāku informāciju par meteoroloģisko apstākļu izmaiņu ietekmi uz veģetācijas perioda sākuma procesiem, kā arī sekundārā pieauguma veidošanās sākumu determinējošajiem mehānismiem dažādām koku sugām. Parauglaukumos paredzēti arī fenoloģijas novērojumi, saistot caurmēra pieauguma izmaiņas ar citiem koka sezonālā cikla procesiem, piemēram, augstuma pieauguma veidošanos.

Iegūtie rezultāti nodrošinās pilnīgāku priekšstatu par caurmēra pieaugumu ietekmējošajiem faktoriem, augšanas sezonas sākuma un beigu fizioloģiskajiem procesiem meteoroloģisko apstākļu kontekstā. Tie tiks izmantoti kā daļa no informācijas, prognozējot klimata izmaiņu ietekmi uz koku pieaugumu.

8. Vēja bojājumu risks atkarībā no mežaudžu parametriem un tā reģionālais sadalījums

Vēja bojājumu draudu klases

Pārskata periodā sagatavotais vēja bojājumu risku aprēķins balstīts uz „Pārskatīto vējainuma novērtēšanas metodi un vējgāžu draudu klasifikāciju”, kas aprakstīta Quine, White (1993).

Teritorijas vēja bojājumu draudu klasifikācijas (TVBDK) metode ir modelis, kas paredzēts, lai prognozētu vēja radīto bojājumu draudus vidēja vai ilgtermiņa plānošanas procesā pietiekami plašās teritorijās. Metode audzes līmenī lietojama tikai papildināta ar specifisku, uz empīriskiem datiem vietējā mērogā balstītu informāciju. Šajā gadījumā izmantojama informācija arī par kokaudzes struktūru, augsni, blakus esošo izcirtumu izvietojumu u.tml. Tāda veida aprēķinus var veikt, izmantojot datorprogrammu Forestgales (ir LVMI „Silava” rīcībā) vai citu līdzīgu.

Teritorijas vēja bojājumu draudu klasifikācijā ir iekļautas sekojošas komponentes:

- Vēja zonas rādītājs (wind zone score);
- Augstuma rādītājs (elevation score);
- Topogrāfiskās ekspozīcijas rādītājs (topex score);
- Aspekta rādītājs (DAMS score).

Detalizētākai modelēšanai izmantojams arī augsnes rādītājs.

Teritorijas vēja bojājumu draudu klašu aprēķināšanas metodika

Oriģinālajā metodikā **vēja zonas rādītāju vērtības (Wind zone score - WZS)** atspoguļotas kartes veidā ar izolīnijām. Lai varētu izstrādāt analoģu WZS karti Latvijas apstākļiem, tā balstīta uz fundamentālā vēja ātruma klasēm atbilstoši Noteikumiem par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-01 "Būvklimatoloģija" (2001.gada 23.augusta Ministru kabineta noteikumi Nr. 376). Fundamentālās vēja ātruma vērtības Latvijā salīdzinātas ar atbilstošajām vērtībām Lielbritānijas būvnormatīvos (Basic wind speed), un tās savukārt salīdzinātas ar WZS vērtībām Quine un White (1993) dotajā kartē. Izvērtējot vizuāli vidējo vērtību (Wind zone score vs Basic wind speed) atbilstību Lielbritānijas kartēs izvēlētos nejaušos punktus, sākotnēji pieņemts, ka fundamentālajam vēja ātrumam 19ms^{-1} atbilst WZS 2, 20ms^{-1} atbilst WZS 3, 21ms^{-1} atbilst WZS 4, 22ms^{-1} atbilst WZS 5, 23ms^{-1} atbilst WZS 6, 24ms^{-1} atbilst WZS 7, 25ms^{-1} atbilst WZS 9 un 26ms^{-1} atbilst WZS 11.

MK noteikumos dotās fundamentālā vēja ātruma vērtības meteostacijām transformētas uz WZS vērtībām. WZS vērtību aprēķināšanai starp meteostacijām izmantota ArcGIS 10.1 rīka *Geostatistical Analyst* izvēlne *Global polynomial interpolation* ar vērtību 2. Lai iegūtu rādītāju vērtības arī Latvijas robežu tuvumā, pieņemts, ka kaimiņvalstīs pierobežā esošajās meteostacijās fundamentālā vēja ātrums ir tāds pats, kā tuvākajai Latvijā esošajai meteostacijai.

Nākotnes klimata izmaiņu ietekmes novērtējumam projekta ietvaros iepriekšējos posmos veiktie vēja ātrumu aprēķini liecina, ka fundamentālā vēja ātruma vērtības būtiski nemainīsies, tādēļ aprēķinos izmantojamas šī brīža vērtības.

Atbilstoši Quine un White (1993), **augstuma rādītāja vērtība (Elevation score - ES)** ir lineāri saistīta ar augstumu virs jūras līmeņa metros, kuru apraksta vienādojums:

$$ES = H(m.v.j.) * 0,0176, \text{ kur} \quad (8.1)$$

ES – augstuma rādītāja vērtība

H (m.v.j.) – augstums virs jūras līmeņa metros.

Augstums virs jūras līmeņa aprēķināts ArcGIS 10.1, izmantojot Conversion tool un The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 3arcs (USGS (2006), Shuttle Radar Topography Mission, 3 Arc Second scene 2.0, Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland, February 2000), pārveidojot to rastra kartē ar pikseļu izmēru 50*50m. Pēc tam aprēķinātas atbilstošās ES vērtības.

Topogrāfiskās ekspozīcijas TOPEX vērtības (Topex score -TS) aprēķinātas ArcGIS 10.1, izmantojot SRTM karti (USGS, 2006) ar konvertēto pikseļu izmēru 50*50m. Aprēķināta pikseļa ekspozīcija grādos 8 kardinālajos virzienos, kā arī kopējā ekspozīcija, ņemot vērā attiecīgā virziena 40 tuvāko kaimiņu pikseļu augstuma vērtības. Aprēķiniem izmantots algoritms, kuru uzrakstījis A. Mojs (Arnold Moy, The University of British Columbia(UBC), Vancouver, Canada, Centre for Applied Conservation Research, for "The windthrow Research Group, UBC" led by Dr. Stephen J. Mitchell.).

TOPEX rādītājs aprēķināts, izmantojot šādu sakarību: ja kopējā TOPEX vērtība ir mazāka par 0, tad TOPEX rādītājs ir 8,4; ja TOPEX vērtība ir lielāka par 60, TOPEX rādītāja vērtība ir 0. Savukārt diapazonā no 0 līdz 60 grādiem TOPEX rādītāja vērtību aprēķina atbilstoši sekojošai sakarībai:

$$TOPEX \text{ score} = 0,0008x^2 - 0,1861x + 8,3452, \text{ kur} \quad (8.2)$$

X – Topex vērtība.

Aspekta detālās metodes rādītāju (DAMS) veido divas komponentes – aspekta efekts un piltuves efekts.

Aspekta efekts ir iepriekš izrēķināto TOPEX attiecīgo kardinālo virzienu vērtības reizinātas ar 8.1.tabulā doto vēja bojājumu draudu klases rādītāju.

8.1.tabula

Aspekta efekts								
Aspekts	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Draudu klases rādītājs	+49	-19	-17	+48	+27	-63	-59	+34

Piltuves efekts aprēķināts, izmantojot sakarību (Quine, White, 1993):

$$PE = 0,1074 * \sqrt{(N-E+S-W)^2 + (NE-SE+SW-NW)^2}), \text{ kur} \quad (8.3)$$

$N, E, S, W, NE, SE, SW, NW$ – kardinālie virzieni

Aspekta detālās metodes rādītājs aprēķināts, izmantojot sakarību:

$$DAMS \text{ score} = (Aspect \text{ effect} + funnel \text{ effect}), \text{ kur} \quad (8.4)$$

$Aspect \text{ effect}$ – aspekta efekta rādītājs
 $Funnel \text{ effect}$ – piltuves efekta rādītājs

Augsnes efekta (Soil effect score - SES) noteikšanai par pamatu izmantota Envirotech augšņu karte, kas pieejama GIS Latvija 9.2. Tā ArcGIS 10.1 programmā pārveidota rastra kartē ar pikseļu izmēru 50*50m.

Pielīdzināšana oriģinālajai metodikai veikta, balstoties uz sekojošiem pieņēmumiem. Kūdras augsnēs sakņu zona ir seklāka par 25cm (atbilstoši augsnes rādītāja vērtība 10), gleja augsnēs sakņu zona ir seklāka par 45 cm (atbilstoši augsnes rādītāja vērtība 5). Pārējos gadījumos augsnes rādītāja vērtība 0.

Kopējā teritorijas vēja bojājumu draudu klase (TVBDK) aprēķināta pēc formulas (Quine, White, 1993):

$$VBDS = WZS + ES + TS + DAMS + SES, \text{ kur} \quad (8.5)$$

WZS – vēja zonas rādītājs,
 ES – augstuma vērtības rādītājs,
 TS – topogrāfiskās ekspozīcijas rādītājs,
 $DAMS$ – aspekta detālās metodes rādītājs,
 SES – augsnes efekts.

Atbilstoši aprēķinātajām vēja bojājuma draudu vērtībām, tās tiek grupētas vēja bojājumu draudu klasēs (8.2.tab.).

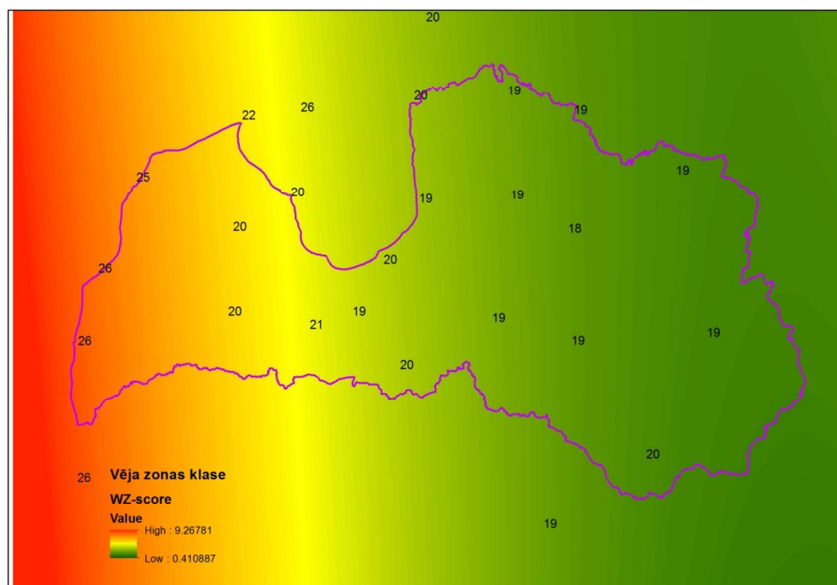
8.2.tabula

Vēja bojājumu draudu klases (modificēts pēc Quine, White, 1993)

Vēja bojājumu draudu vērtību diapazons (oriģinālā vērtība)	Vēja bojājumu draudu vērtību diapazons (modificēts)	Vēja bojājumu draudu klase
0-7,5	0-7,75	1
8,0-13,5	7,751-13,75	2
14,0-19,0	13,751-19,25	3
19,5-24,5	19,251-24,75	4
25,0-30,0	24,751-30,25	5
30,5<	30,251<	6

Teritorijas vēja bojājumu draudu klases aprēķins

Vēja zonas rādītāja vērtības (Wind zone score) atspoguļotas 8.1.attēlā.

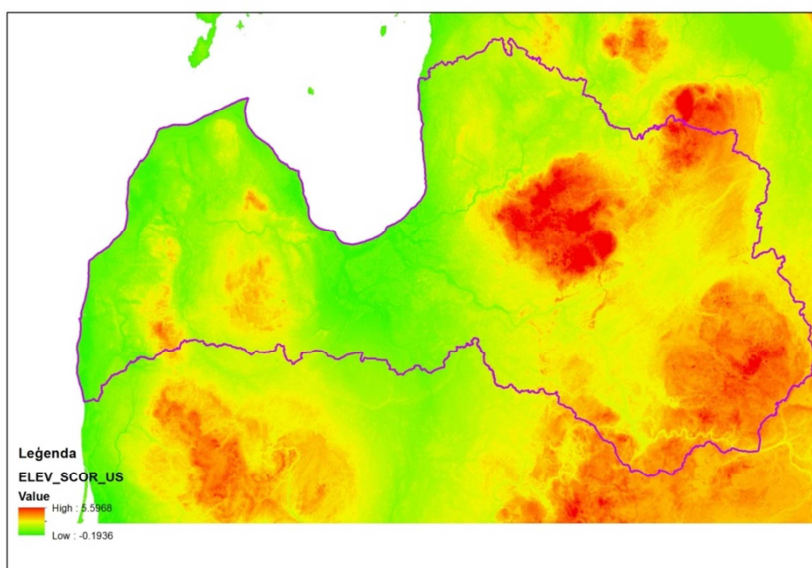


Skaitļi – fundamentālā vēja pamatātruma vērtība meteostacijā.

8.1.attēls. Vēja zonas rādītājs.

Fundamentālā vēja pamatātruma vērtība katrā novērojumu punktā noteikta, izmantojot informāciju par katra gada maksimālo vidējo vēja ātrumu 10 minūšu laikposmā neatkarīgi no vēja virziena un gadalaika. Katra gada maksimālā vēja ātruma vērtība pārrēķināta 10 metru augstumam virs līdzena, atklāta lauku apvidus ar teritorijas nelīdzenuma garumu z_0 0,05 m. Pārrēķins veikts atbilstoši Pasaules Meteoroloģijas organizācijas ieteiktajai metodikai. Vēja pamatātrums ar varbūtību 0,02 (reizi 50 gados) aprēķināts, izmantojot Gumbela varbūtību sadalījumu. Atbilstoši modelim vēja zonas rādītāju vērtības Latvijas teritorijā mainās no 9 Latvijas dienvidrietumos līdz 2 Latvijas austrumos.

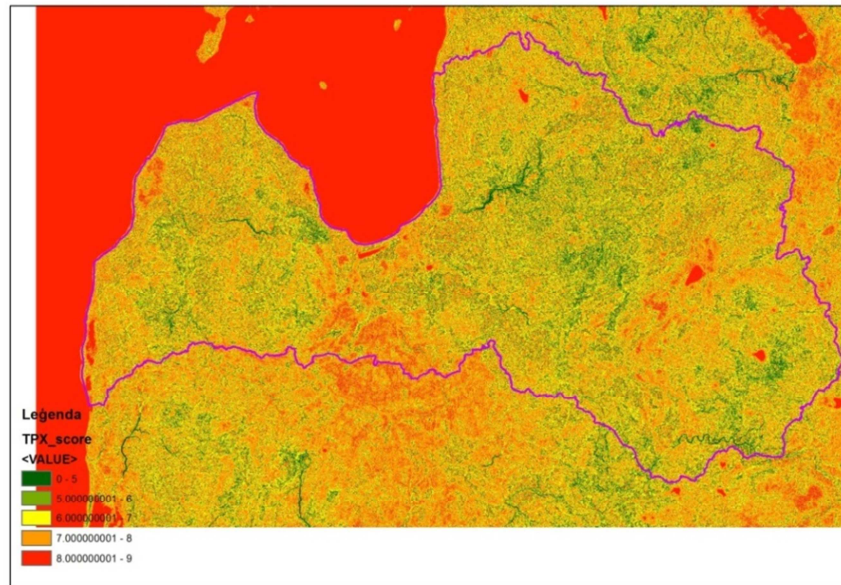
Augstuma rādītāja vērtības (Elevation score) atspoguļotas 8.2 attēlā.



8.2.attēls. Augstuma rādītājs.

Atbilstoši modelim, augstuma rādītāju vērtības Latvijas teritorijā mainās no 0 Latvijas dienvidrietumos līdz 5,47 Vidzemes centrālajā augstienē.

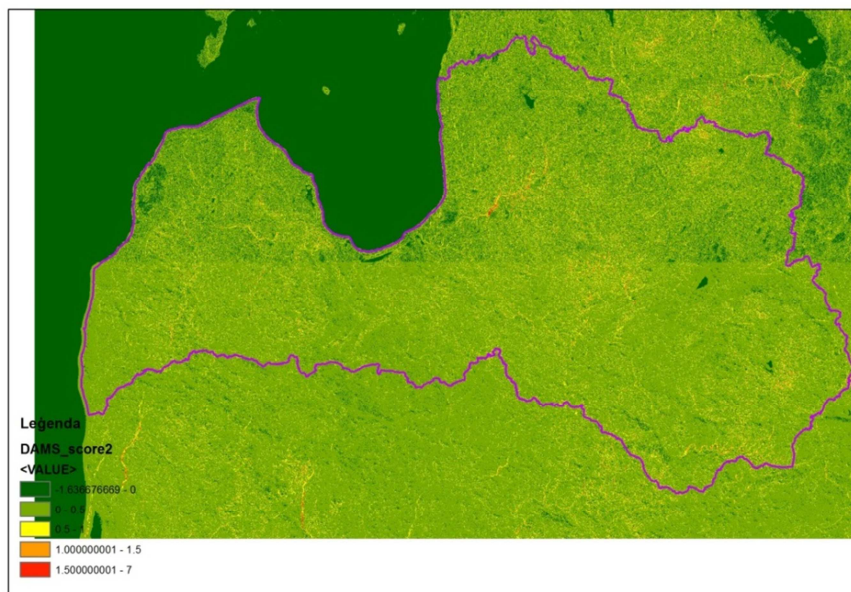
Topogrāfiskās ekspozīcijas rādītāja vērtības (Topex score) atspoguļotas 8.3. attēlā.



8.3.attēls. Topogrāfiskās ekspozīcijas rādītājs.

Atbilstoši modelim, topogrāfiskās ekspozīcijas rādītāju vērtības Latvijas teritorijā mainās no 0 līdz 8,3. Vidējā vērtība ir 7,95, kas nozīmē, ka lielākajā daļā gadījumu punkti eksponēti tāpēc, ka atrodas vai nu līdzenumā vai arī virsotnē.

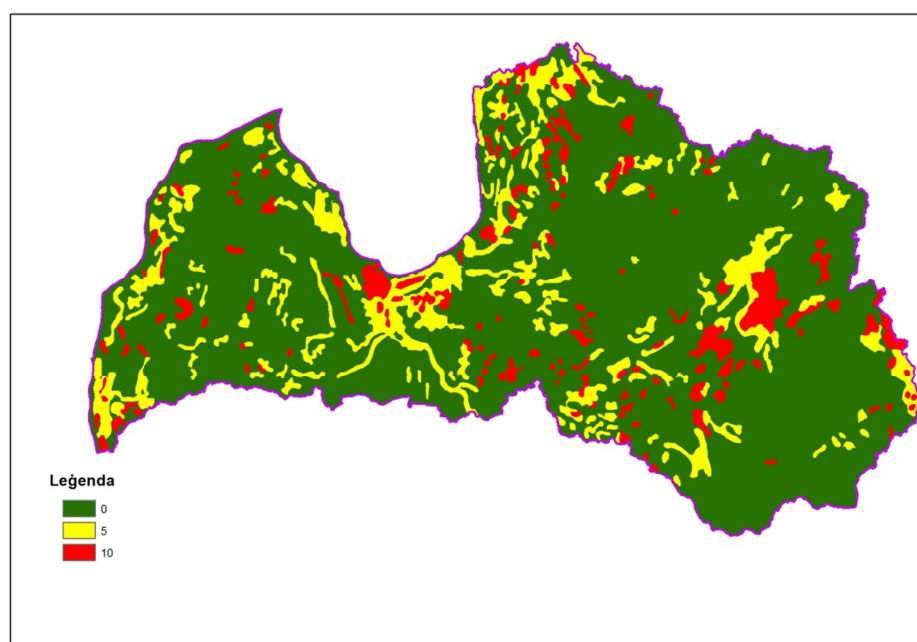
Aspekta detālās metodes rādītāja (DAMS score) vērtības atspoguļotas 8.4. attēlā.



8.4.attēls. Aspekta detālās metodes rādītājs.

Atbilstoši modelim topogrāfiskās ekspozīcijas rādītāju vērtības Latvijas teritorijā mainās no -1,6 līdz 7.

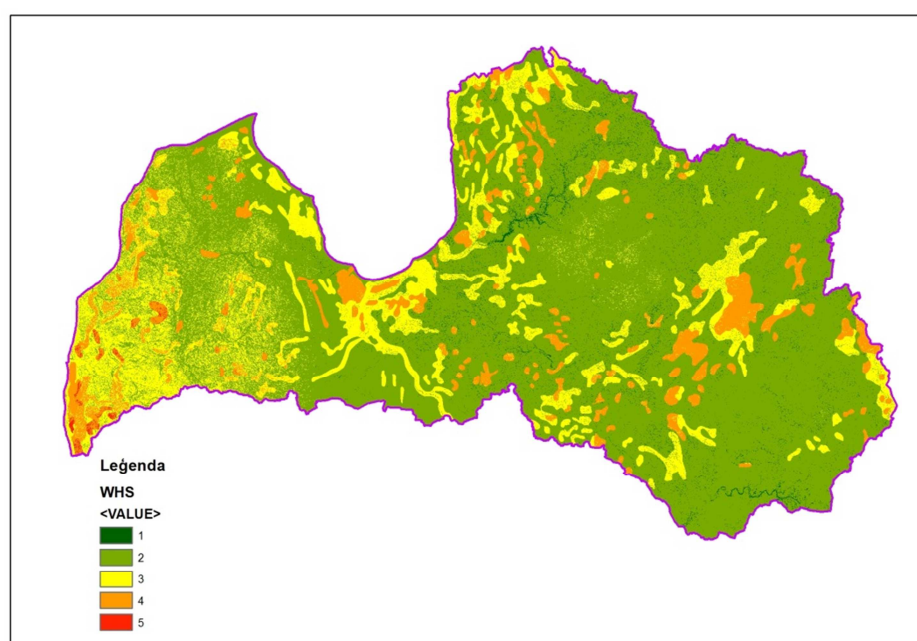
Augsnes efekta rādītāja vērtības atspoguļotas 8.5. attēlā.



8.5.attēls. Augsnes efekta rādītājs.

Atbilstoši modelim, augsnes efekta rādītāju vērtības Latvijas teritorijā mainās no 0 līdz 10.

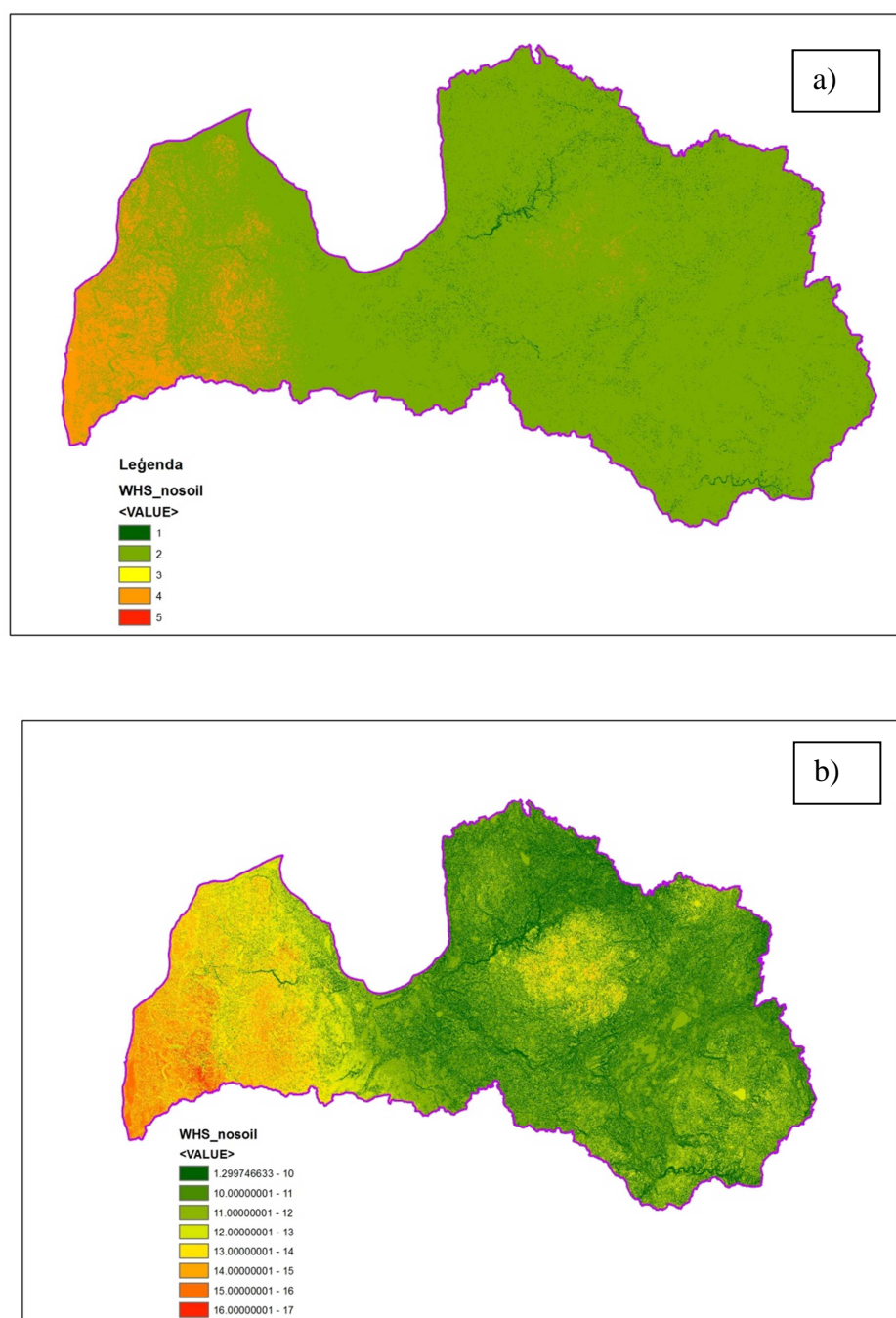
Kopējās teritorijas vējgāžu draudu klases vērtības atspoguļotas 8.6. attēlā.



8.6.attēls. Kopējās vēja bojājumu draudu klases.

Atbilstoši modelim, kopējās vēja bojājumu draudu klases Latvijā ir no 1 līdz 5. Atbilstoši pieņemtajai metodikai, Lielbritānijā var būt arī 6.draudu klase.

Kopējās teritorijas vējgāzu bojājumu draudu klases vērtības atspoguļotas 8.7.attēlā.



8.7.attēls. Kopējais teritorijas vējgāzu bojājuma draudu klases bez augsnes tipa ietekmes vērtējuma (a) un ietverot augsnes tipa ietekmes vērtējumu (b).

Atbilstoši modelim kopējais Vēja bojājuma draudu klase, ja neņem vērā augšņu ietekmi Latvijā ir no 1 līdz 4. Atbilstoši pieņemtajai metodikai Lielbritānijā var būt arī 5. un 6.draudu klase, savukārt teritorijas vēja bojājumu draudu rādītājs sasniedz 18 vienības. Vidējā VBDK ir 11.36 ± 1.72 . Izvērtējot Latvijas teritorijas sadalījumu pa vēja bojājumu draudu klasēm (8.3. tabula), konstatēts, ka 18% no Latvijas teritorijas VBDK <10; savukārt lielāka par 16 tikai 0.2% no Latvijas teritorijas. Visaugstākā VBDK ir Dienvidkurzemes un Ziemeļkurzemes mežsaimniecībās.

Vēja bojājumu draudu klašu īpatsvars LVM mežsaimniecībās

Vēja bojājumu draudu klase	AV	DK	DL	RV	VD	Z	ZK	ZL	Vidēji
	KODS_100	KODS_200	KODS_300	KODS_400	KODS_500	KODS_600	KODS_700	KODS_800	
<10	30,6	0,7	21,8	24,7	23,4	9,5	2,1	22,1	17,8
10,01-12,0	59,0	5,8	68,8	61,5	67,3	45,5	17,6	69,5	52,0
12,01-14,0	10,3	38,3	9,3	13,0	9,0	40,3	63,5	8,0	21,2
14,01-16,0	0,1	53,6	0,0	0,7	0,3	4,7	16,8	0,3	8,9
16,01<	0,00	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
Vidēji	10,5	14,0	10,7	10,7	10,7	11,8	12,9	10,7	11,4

Vēja bojājumu draudu noapaļotās vērtības ir ievades dati datorprogrammā ForestGale vēja režīma aprēķināšanai konkrētajā vietā. Tā kā mūsu iepriekšējie pētījumi neliecina, ka būtu prognozējamās būtiskas izmaiņas vēja režīmā, iespējams aprēķinos izmantot tikai šī brīža vēja bojājumu draudu vērtības vai – potenciālā riska mazināšanas piesardzības apsvērumu dēļ – aprēķināt vēja bojājumu draudus nākotnē, atbilstoši par 1 vienību palielinot šobrīd aprēķinātās vēja zonas rādītāju vērtības, jo pārējie apstākļi uzskatāmi par relatīvi nemainīgiem (reljefs, ekspozīcija utt.). Apsaimniekojot mežus, varētu mainīties augsnes aktīvo sakņu slāņa biezums, izmainot augsnes hidroloģisko režīmu. Veiktie pētījumi apstiprina jau agrāk zināmos faktus, ka Dienvidkurzeme ir ievērojami vairāk apdraudēta vējgāzēs un vējlauzēs nekā citas vietas Latvijā, taču aprēķini norāda uz to, ka arī Dienvidkurzemē ir „aizvēja salas”. Tālākajā pētījumu gaitā nepieciešams veikt aprēķinus par audžu apdraudētību un vēja radītu bojājumu risku dažādu meža apsaimniekošanas scenāriju gadījumā.

Vēja bojājumu riska pakāpes novērtējums atkarībā no mežaudzes parametriem

Izstrādājot „Teritorijas vēja bojājumu draudu klasifikāciju”, konstatēts, ka aprēķinātās *TVBDS* (Teritorijas vēja bojājumu draudu skalas) vērtības Latvijai ir robežās no 2 līdz 18. Vidējā vērtība ir 11 un standartnovirze 1,76. Izmantojot datorprogrammu *Forestgale 2.2*, aprēķināta vēja bojājumu riska pakāpe atbilstoši sekojošiem nosacījumiem: priežu audzes - IV, II un I bonitāte (3 gradācijas klases), sākotnējais biežums 5000 koki ha⁻¹; egļu audzes - II un I bonitāte (2 gradācijas klases), sākotnējais biežums 2500 koki ha⁻¹. Aprēķini abām koku sugām veikti 2 augšņu variantiem – minerālaugšnes ar vidēji dziļu sakņu horizontu (40-80cm) un seklās kūdras augsnes (līdz 40cm).

Vidējā koka (D_g) vēja bojājuma varbūtība aprēķināta sekojošām vecuma grupām: 20 gadi, 40 gadi, 80 gadi; priedei – arī 100 gadi.

Modelētas sekojošas situācijas (turpmāk – piesliešanās veids) mežaudzei attiecībā uz tai blakus (valdošo vēju pusē) esošo nogabalu: 1) vēja pusē pieaudzis mežs, 2) svaigs 50m plats izcirtums, 3) svaigs 100m plats izcirtums. Mežaudzes apsaimniekošanas alternatīvas: 1) bez

kopšanas, 2) kopšana aptuveni 40 gadu vecumā; 3) novēlota kopšana 10 gadus vēlāk nekā standarta kopšana.

Aprēķinātā audzes vēja bojājumu draudu klases saistītas ar vēja bojājumu atgriešanās perioda garumu:

Audzes vēja bojājumu draudu klase	Vēja bojājumu atkārtošanās periods
1	>100 gadi
2	100-50 gadi
3	50 līdz 33 gadi
4	33-20 gadi
5	20-10 gadi
6	<10 gadiem

Kopumā veiktie pētījumi apstiprina jau agrāk zināmos faktus, ka Dienvidkurzeme ir ievērojami vairāk apdraudēta vējgāzēs un vējlauzēs nekā citas vietas Latvijā, taču aprēķini norāda uz to, ka arī Dienvidkurzemē ir „aizvēja salas”.

Izvērtējot iegūtās modeļu prognozes, konstatēts, ka bojājumu draudu novērtējums līdzīgos apstākļos eglei ir zemāks nekā priedei. Šī nesakritība ar vispār pieņemto un konstatēto Latvijā, visticamākais, ir saistīta ar modeli ForestGales ietvertajiem algoritmiem, kā arī empīriskā materiāla apjomu, kas ir datorprogrammas vienādojumu pamatā. Taču nozīmīgs faktors noteikti ir arī tas, ka modeļu izstrādē ir izmantoti veseli koki, taču, kā zināms, Latvijā vidēji 23% no eglēm ir ar trupes pazīmēm, un trupējošo koku īpatsvars ir lielāks vecākās audzēs.

Nekoptās audzēs bojājumu draudu novērtējums daļā gadījumu ir zemāks nekā savlaicīgi izkoptās audzēs. Tas, visticamākais, saistīts ar “prognozēto” koku mijiedarbību, t.i., koku kolektīvo stabilitāti. Biezā audzē augošiem kokiem ir mazāki vainagi un sekojoši arī mazāks vēja iedarbībai eksponētās vainaga virsmas laukums.

Bojājumu draudu novērtējums II bonitātes priežu audzēs, sausieņu mežos

Piekļaušanās veids	Audzes kopšanas veids	Audzes bojājuma veids	Jaunaudze (20 gadi)					Vid. Vecuma audze (40 gadi)					Vid. Vecuma audze (60 gadi)					Briestaudze (80 gadi)					Pieaugusi audze (100 gadi)				
			Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)				
			10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Mežs	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	1	1	1	6	6	1	1	2	6	6	1	1	1	5	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	1	1	2	6	6	1	1	2	6	6	1	1	3	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	4	6	1	1	1	3	6	1	1	1	3	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	4	1	1	1	1	3	1	1	1	1	5
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	5	1	1	1	1	3	1	1	1	1	4
Izcirtums (50 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	3	6	6	6	1	5	6	6	6	1	4	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6	1	1	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6	1	1	3	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	1	6	6	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
Izcirtums (100 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	3	6	6	6	1	5	6	6	6	1	4	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6	1	1	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6	1	1	6	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	1	6	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6

Audzes vēja bojājumu draudu klase	Atgriešanās periods
1	>100 gadi
2	100-50 gadi
3	50 līdz 33 gadi
4	33-20 gadi
5	20-10 gadi
6	<10 gadiem

Bojājumu draudu novērtējums I bonitātes priežu audzēs, sausieņu mežos

Piekļaušanās veids	Audzes kopšanas veids	Audzes bojājuma veids	Jaunaudze (20 gadi)					Vid. Vecuma audze (40 gadi)					Vid. Vecuma audze (60 gadi)					Briestaudze (80 gadi)					Pieaugusi audze (100 gadi)				
			Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)				
			10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Mežs	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	2	6	6	1	1	6	6	6	1	1	6	6	6	1	2	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	2	6	6	1	1	4	6	6	1	1	3	6	6	1	1	3	6	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	1	1	1	4	6	1	1	1	4	6	1	1	1	5	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	5	1	1	1	1	3	1	1	1	1	4
Izcirtums (50 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	5	1	4	6	6	6	1	6	6	6	6	1	6	6	6	6	1	6	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	5	1	4	6	6	6	1	4	6	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	2	6	1	1	6	6	6	1	3	6	6	6	1	4	6	6	6	1	5	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	2	5	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	5	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6	1	1	6	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	5	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
Izcirtums (100 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	5	1	4	6	6	6	1	6	6	6	6	1	6	6	6	6	1	6	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	5	1	4	6	6	6	1	4	6	6	6	1	2	6	6	6	1	3	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	2	5	1	2	6	6	6	1	3	6	6	6	1	4	6	6	6	1	5	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	5	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	5	1	1	4	6	6	1	1	6	6	6	1	1	6	6	6	1	1	6	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	5	1	1	5	6	6	1	1	6	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6

Vēja bojājumu draudu klase	Atgriešanās periods
1	>100 gadi
2	100-50 gadi
3	50 līdz 33 gadi
4	33-20 gadi
5	20-10 gadi
6	<10 gadiem

Bojājumu draudu novērtējums IV bonitātes priežu audzēs, kūdreņos

Piekļaušanās veids	Audzes kopšanas veids	Audzes bojājuma veids	Jaunaudze (20 gadi)					Vid. Vecuma audze (40 gadi)					Vid. Vecuma audze (60 gadi)					Briestaudze (80 gadi)					Pieaugusi audze (100 gadi)				
			Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)				
			10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Mežs	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	1	1	1	5	6	1	1	1	4	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	1	1	1	4	6	1	1	1	2	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	3	6	1	1	1	3	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	2	6	1	1	1	1	5
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3
Izcirtums (50 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	6	6	1	1	6	6	6	1	1	5	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	6	6	1	1	6	6	6	1	1	3	6	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	6	6	1	1	4	6	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	6	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
Izcirtums (100 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	6	6	1	1	6	6	6	1	1	5	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	6	6	1	1	6	6	6	1	1	3	6	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	4	6	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6	1	1	3	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6

Vēja bojājumu draudu klase	Atgriešanās periods
1	>100 gadi
2	100-50 gadi
3	50 līdz 33 gadi
4	33-20 gadi
5	20-10 gadi
6	<10 gadiem

Bojājumu draudu novērtējums II bonitātē priežu audzēs, kūdreņos

Piekļaušanās veids	Audzes kopšanas veids	Audzes bojājuma veids	Jaunaudze (20 gadi)					Vid. Vecuma audze (40 gadi)					Vid. Vecuma audze (60 gadi)					Briestaudze (80 gadi)					Pieaugusi audze (100 gadi)				
			Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)					Vēja režīms (VBDS)				
			10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Mežs	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	2	6	6	1	1	3	6	6	1	1	3	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	1	1	1	6	6	1	1	2	6	6	1	1	1	5	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6	1	1	2	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	4	6	1	1	1	3	6	1	1	1	3	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	2	1	1	1	1	4
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	5	1	1	1	1	3	1	1	1	1	4
Izcirtums (50 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	4	6	6	1	2	6	6	6	1	3	6	6	6	1	3	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6	1	1	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	6	6	6	1	1	6	6	6	1	1	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6	1	1	3	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	2	6	6	1	1	4	6	6	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	1	6	6	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
Izcirtums (100 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	4	6	6	1	2	6	6	6	1	4	6	6	6	1	3	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6	1	1	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	6	6	6	1	2	6	6	6	1	2	6	6	6
	Savlaicīga kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	2	6	6	1	1	5	6	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6	1	1	6	6	6	1	1	5	6	6	1	1	5	6	6

Vēja bojājumu draudu klase	Atgriešanās periods
1	>100 gadi
2	100-50 gadi
3	50 līdz 33 gadi
4	33-20 gadi
5	20-10 gadi
6	<10 gadiem

Bojājumu draudu novērtējums II bonitātes egļu audzēs, sausieņu mežos

Piekļaušanās veids	Audzes kopšanas veids	Audzes bojājuma veids	Jaunaudze (20 gadi)					Vid. Vecuma audze (40 gadi)					Briestaudze (60 gadi)					Pieaugusi audze (80 gadi)				
			Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)				
			10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Mežs	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	4	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	5
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Izcirtums (50 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	1	1	3	6	6	1	1	5	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	4	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	2	1	1	1	2	5	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6
Izcirtums (100 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	1	1	3	6	6	1	1	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	2	1	1	1	1	5	1	1	1	6	6	1	1	3	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	6	1	1	3	6	6

Vēja bojājumu draudu klase	Atgriešanās periods
1	>100 gadi
2	100-50 gadi
3	50 līdz 33 gadi
4	33-20 gadi
5	20-10 gadi
6	<10 gadiem

Bojājumu draudu novērtējums I bonitātes egļu audzēs, sausieņu mežos

Piekļaušanās veids	Audzes kopšanas veids	Audzes bojājuma veids	Jaunaudze (20 gadi)					Vid. Vecuma audze (40 gadi)					Briestaudze (60 gadi)					Pieaugusi audze (80 gadi)				
			Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)				
			10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Mežs	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	1	1	1	3	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Izcirtums (50 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	3	1	1	2	6	6	1	2	6	6	6	1	3	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	3	1	1	1	5	6	1	1	3	6	6	1	1	3	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	3	6	6	1	1	2	6	6
Izcirtums (100 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	3	1	1	2	6	6	1	2	6	6	6	1	3	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	3	1	1	1	6	6	1	1	4	6	6	1	1	4	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	4	6	6	1	1	3	6	6

Vēja bojājumu draudu klase	Atgriešanās periods
1	>100 gadi
2	100-50 gadi
3	50 līdz 33 gadi
4	33-20 gadi
5	20-10 gadi
6	<10 gadiem

Bojājumu draudu novērtējums II bonitātes egļu audzēs, kūdreņos

Pieklaušanās veids	Audzes kopšanas veids	Audzes bojājuma veids	Jaunaudze (20 gadi)					Vid. Vecuma audze (40 gadi)					Briestaudze (60 gadi)					Pieaugusi audze (80 gadi)				
			Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)				
			10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Mežs	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	3	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	5
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Izcirtums (50 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	2	5	1	1	2	6	6	1	1	5	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	4	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	5	6	1	1	1	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6
Izcirtums (100 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	2	6	6	1	1	5	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	6	1	1	3	6	6

Vēja bojājumu draudu klase	Atgriešanās periods
1	>100 gadi
2	100-50 gadi
3	50 līdz 33 gadi
4	33-20 gadi
5	20-10 gadi
6	<10 gadiem

Bojājumu draudu novērtējums I bonitātes egļu audzēs, kūdreņos

Piekļaušanās veids	Audzes kopšanas veids	Audzes bojājuma veids	Jaunaudze (20 gadi)					Vid. Vecuma audze (40 gadi)					Briestaudze (60 gadi)					Pieaugusi audze (80 gadi)				
			Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)					Vēja režīms (DAMS)				
			10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Mežs	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	5	6	1	1	1	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	1	1	1	3	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Izcirtums (50 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	2	1	1	1	5	6	1	1	6	6	6	1	2	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	2	1	1	1	5	6	1	1	2	6	6	1	1	2	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	3	6	6	1	1	2	6	6
Izcirtums (100 m)	10 gadus nokavēta kopšana	izgāzta audze	1	1	1	1	2	1	1	1	5	6	1	1	6	6	6	1	2	6	6	6
	10 gadus nokavēta kopšana	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	4	6	6	1	1	5	6	6
	Nekopta audze	izgāzta audze	1	1	1	1	2	1	1	1	5	6	1	1	3	6	6	1	1	3	6	6
	Nekopta audze	nolauzta audze	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	1	1	4	6	6	1	1	3	6	6

Vēja bojājumu draudu klase	Atgriešanās periods
1	>100 gadi
2	100-50 gadi
3	50 līdz 33 gadi
4	33-20 gadi
5	20-10 gadi
6	<10 gadiem

Simulācijā izmantoto audžu taksācijas rādītāji

Priežu audzes

	Audzes kopšanas veids	20 gados			40 gados			60 gados			80 gados			100 gados		
		H, m	D, m	N ha-1	H, m	D, m	N ha-1	H, m	D, m	N ha-1	H, m	D, m	N ha-1	H, m	D, m	N ha-1
P 4	10 gadus nokavēta kopšana	7,3	0,07	4386	8,6	0,09	4057	13,0	0,14	1538	15,8	0,19	902	17,3	0,23	730
	Savlaicīga kopšana	7,3	0,07	4386	8,6	0,09	2954	13,0	0,15	1303	15,8	0,20	845	17,3	0,24	689
	Nekopta audze	7,3	0,07	4386	8,6	0,09	4057	13,0	0,13	2922	15,8	0,16	2311	17,3	0,18	1975
P 2	10 gadus nokavēta kopšana	6,6	0,07	4565	13,5	0,14	1826	18,5	0,23	678	21,9	0,30	451	23,7	0,35	376
	Savlaicīga kopšana	6,6	0,07	4565	13,5	0,16	1206	18,5	0,25	604	21,9	0,33	410	23,7	0,38	343
	Nekopta audze	6,6	0,07	4565	13,5	0,13	2829	18,5	0,19	1765	21,9	0,25	1257	23,7	0,28	995
P 1	10 gadus nokavēta kopšana	9,5	0,10	3858	17,4	0,19	995	23,1	0,31	413	26,8	0,41	287	28,8	0,46	243
	Savlaicīga kopšana	9,5	0,10	3265	17,4	0,23	668	23,1	0,36	353	26,8	0,46	253	28,8	0,51	216
	Nekopta audze	9,5	0,10	3858	17,4	0,18	1993	23,1	0,26	1149	26,8	0,33	850	28,8	0,36	751

Egļu audzes

	Audzes kopšanas veids	20 gados			40 gados			60 gados			80 gados		
		H, m	D, m	N ha-1	H, m	D, m	N ha-1	H, m	D, m	N ha-1	H, m	D, m	N ha-1
E 2	10 gadus nokavēta kopšana	7,50	0,09	2427	12,60	0,15	2204	17,70	0,24	875	21,30	0,30	578
	Nekopta audze	8,30	0,10	2741	12,66	0,15	2475	17,76	0,20	1858	21,28	0,24	1491
E 1	10 gadus nokavēta kopšana	9,50	0,12	2311	16,24	0,20	1313	22,24	0,31	512	26,10	0,39	361
	Nekopta audze	8,50	0,10	2713	16,28	0,18	2047	22,28	0,25	1392	26,28	0,31	1082

9. Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz degmateriāla un augsnes mitruma izmaiņām

Pārskata periodā saskaņā ar darba uzdevumu veikta datu ievākšana par nedzīvā materiāla (augšnes virskārta, nobiras, neliela izmēra nokaltuši koki) mitruma izmaiņām veģetācijas periodā novērojumu punktos mežaudzēs un kontrolēta mitruma apstākļos. Iegūtie rezultāti izmantoti vairāku ugunsbīstamības indeksu parēķināšanā, tomēr detalizētu pieeju, raksturojot ugunsbīstamības izmaiņas prognozēto klimata izmaiņu ietekmē, saskaņā ar projektā plānu paredzēts izstrādāt nākamajā pārskata periodā.

Līdz šim Latvijā ugunsbīstamības novērtējumam izmantots 1968.g. PSRS Hidrometeocentra izstrādātais kompleksais ugunsbīstamības rādītājs, kurš ir pārveidots agrāk izmantotais Ņesterova 1939.g. izstrādātais ugunsbīstamības indekss. Daudzviet pasaulē šo pārveidoto indeksu dēvē par Ņesterova indeksu (NI). Ņesterova indeksa vērtību nosaka 3 rādītāji – temperatūra, rasas punkta temperatūra un nokrišņu daudzums iepriekšējā diennaktī. Tomēr virkne pētījumu liecina, ka žūšanas process ir atkarīgs arī no citiem rādītājiem, piemēram, vēja ātruma, kā arī no degmateriāla (ar to saprotot dažāda lieluma organiskās daļas gan augsnē, gan uz tās, piemēram, nobiras) īpašībām (blīvuma, novietojuma, sākotnējā mitruma u.c.).

$$NI = \sum_{i=1}^W T_i * (T_i - D_i) \quad (9.1)$$

kur:

NI = Ņesterova indekss;

W = dienu skaits kopš lietuss > 3mm;

T_i = i -tās dienas pusdienas laika t ($^{\circ}C$);

D_i = i -tās dienas rasas punkta t ($^{\circ}C$).

Atbilstoši oficiālajai metodikai, Ņesterova indeksu sāk uzskaitīt pavasarī pēc sniega nokušanas, kad temperatūra paceļas virs $0^{\circ}C$, un turpina summēt, līdz nokrišņu daudzums diennakts laikā pārsniedz 3mm. Ja lietuss daudzums pārsniedz 3mm diennaktī, Ņesterova indeksa vērtību pieņem kā atbilstošu 0. Beidz skaitīt rudenī, kad $T < 0^{\circ}C$. Šajā pētījumā NI vērtības uzskaitītas no 01.marta līdz 31.oktobrim.

Meteoroloģisko apstākļu noteiktā ugunsbīstamība dalīta 9.1.tabulā aprakstītajās klasēs.

9.1.tabula

Meža ugunsbīstamības kompleksā rādītāja klases (Roga, 1979)

Meža ugunsbīstamības klase	Meža ugunsbīstamība	
	Vasaras pirmā puse (IV,V,VI)	Vasaras otra puse (VII,VIII,IX)
I klase (0-300)	zema	nav
II klase (301-1000)	vidēja	zema
III klase 1001-4000)	augsta	vidēja
IV klase (4001-1000)	sevišķi augsta	augsta
V klase (10000<)	ārkārtēja	sevišķi augsta
		ārkārtēja, ja 15000<

2012.gadā pētījuma ietvaros konstatēts, ka Nesterova indekss labi korelē ar I un II ugunsbīstamības klases meža zemju augsnes virskārtas mitrumu, bet tam ir zema korelācija ir dziļāko organisko slāņu mitrumu, kā arī zemākas ugunsbīstamības meža zemju virskārtas mitrumu, tādēļ 2013.gadā ievākts papildus materiāls un pārbaudīti arī citi indeksi:

- Modificētais Nesterova indekss;
- Modificētais Portugāles indekss.

Modificētais Nesterova indekss izteikts ar sekojošu sakarību;

$$MNI = K \sum_{i=1}^W T_i * (T_i - D_i) \quad (9.2)$$

kur:

MNI = Modificētais Nesterova indekss;

W = dienu skaits kopš lietuss > 19mm;

T_i = i -tās dienas pusdienas laika t ($^{\circ}C$);

D_i = i -tās dienas rāsas punkta t ($^{\circ}C$).

K_i – vērtības no 9.2. tabulas, kuras ir atkarīgas no lietus daudzuma iepriekšējā dienā.

9.2.tabula

Koeficienta K vērtības

Nokrišņi (mm)	0	0,1-0,9	1,0-2,9	3,0-5,9	6,0-14,9	15,0-19,0	>19
K	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0

9.3.tabula

Meža ugunsgrēka risks atkarībā no modificētā Nesterova indeksa

Uguns riska līmenis	Modificētais Nesterova indekss	Meža ugunsgrēka risks
I	100 – 1000	ļoti zems
II	1001 – 2500	zems
III	2501 – 5 000	vidējs
IV	5 001 – 10 000	augsts
V	> 10 000	ekstrēms

Modificētais Portugāles indekss, kas veidots uz Nesterova indeksa pamata, izteikts ar sekojošu sakarību:

$$PI = r \sum_{k=i}^{i-1} I(k) + T_i * (T_i - D_i) \quad (9.3)$$

kur:

PI = Portugāles indekss;

T_i = i -tās dienas pusdienas laika t ($^{\circ}C$);

D_i = i -tās dienas rāsas punkta t ($^{\circ}C$).

r – koeficients atkarībā no nokrišņu daudzuma iepriekšējā dienā (k), kura vērtības ir 9.4. tabulā.

9.4.tabula

Koeficienta r vērtības

Nokrišņi (mm)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-10	10<
r	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1

Papildus materiāls ievākts jau 2012. gadā ierīkotajos pētījumu objektos 3 dažādās Latvijas vietās – Piejūras zemienē (Mazirbe), Ventaszemē (Ugāle) un Austrumzemgalē (Vecumnieki).

Meteoroloģiskie rādītāji novērtēti, izmantojot pārvietojamās meteostacijas *Vantage Pro2*, kuras uzstādītas atklātā vietā (vismaz 100m attālumā no dabiskiem vai mākslīgiem šķēršļiem). Iegūti sekojoši meteoroloģiskie rādītāji: gaisa temperatūra, relatīvais mitrums, vēja ātrums (10m augstumā), nokrišņu (lietus) daudzums.

Audzes izvēlētas atbilstoši sekojošiem nosacījumiem:

- 1) atrodas ne tālāk par 2,5 km (pa gaisa līniju) no meteostacijas;
- 2) pārstāv dažādus meža tipus un dažādas degamības klases, valdošā suga priede, egļe, bērzs, apse;

Objektu sadalījums pa ugunsbīstamības klasēm un valdošajām sugām atspoguļots 9.5.tabulā, bet sadalījums pa meža tiptiem un ugunsbīstamības klasēm 9.6.tabulā.

9.5.tabula

Paugauglaukumu skaits sadalījumā pa ugunsbīstamības klasēm un valdošajām sugām

Valdošā suga	Ugunsbīstamības klase								Kopā
	I	I/II*	I/III	I/IV	II	III	IV	V	
Priede	3	4	6	5	3	12	3	2	38
Egle			4			5	3		12
Bērzs			2			7	1		10
Apse							1		1
Izcirtums			1		2	4	1		8
Kopā	3	4	13	5	5	28	9	2	69

* 1.skaitlis – ugunsbīstamības klase pēc MK noteikumiem, 2.skaitlis – ugunsbīstamības klase pēc MK noteikumos norādītās meža tipu klasifikācijas

9.6.tabula

Paugauglaukumu skaits sadalījumā pa ugunsbīstamības klasēm un meža tiptiem

Meža tips	Ugunsbīstamības klase								Kopā
	I	I/II*	I/III	I/IV	II	III	IV	V	
As			6			10			16
Dm			3			9			12
Dms				3			2		5
Km			2			3			5
Ks			2			6			8
Mr		4			5				9
Mrs				2			2		4
Nd								2	2
Sl	3								3
Vr							5		5
Kopā	3	4	13	5	5	28	9	2	69

* 1.skaitlis – ugunsbīstamības klase pēc MK noteikumiem 02.17.2004. Nr.82), 2.skaitlis – ugunsbīstamības klase pēc MK noteikumos meža tipu klasifikācijas.

Paugauglaukumos novērtēts:

- 1) augsnes mitrums, izmantojot augsnes mitruma mērītāju (*Soil moisture meter*), katrā uzmērīšanas reizē parauglaukumā vismaz 2 vietās. Katrā parauglaukumā novērtējums veikts vismaz 10 (10-15) reizes sezonā 2012.gadā un 18 (16-22) reizes sezonā 2013.gadā.
- 2) nobiru un zemsedzes mitrums, izmantojot DMM600 (*Duff moisture meter*) CAMPBELL SCIENTIFIC atbilstoši rokasgrāmatā norādītajai metodikai. Mitrums mērīts augsnes virskārtā 0-2 cm (ieskaitot nobiras), 2-5 cm dziļumā (daļēji sadalījušos nobiru slānis) un 5-10 cm dziļumā (humusa slānis) jeb

- „trūdzesmes”). Mērījumi katrā parauglaukumā katrā mērīšanas dienā veikti vismaz 2 atkārtojumos. Mērījumi veikti katrā objektā 4-5 reizes sezonā 2012.gadā, un vidēji 4-5 (1-10) reizes sezonā 2013.gadā.
- 3) iepriekšējā gadā nozāģētu koksnes paraugu (priedes stumbra nogrieznis bez mizas apmēram 1m garumā, ar caurmēru 6-8 cm) mitrums, izmantojot koksnes mitruma mērītāju *Wood Moisture meter* T500. Koksnes paraugi novietoti uz zemsedzes parauglaukuma centra tuvumā. Mērījumi veikti 11-15 reizes sezonā 2012.gadā un 17 (16-20) reizes sezonā 2013.gadā.
 - 4) papildus iepriekš plānotajam, lai raksturotu sniega izkušanas rezultātā izveidojušos ūdens daudzumu pavasarī, Ugālē un Mazīrbē katrā parauglaukumā 5 punktos noteikts sniega segas biezums un tās blīvums;
 - 5) papildus iepriekš plānotajam, lai raksturotu gaismas apstākļus un to saikni gan ar sniegā esošā ūdens daudzumu, gan tiešās saules radiācijas piekļuvi degmateriālam, divas reizes sezonā (lapotā un bezlapotā stāvoklī) piecos punktos katrā parauglaukumā veikta gaismas uzmērīšana, izmantojot fotoaparātu Nikon Coolpix 8400 ar platleņķa (fish-eye) fotoobjektīvu (FC-E9) un iegūtos attēlus analizējot ar datorprogrammu WinSCANOPY O-Mount.
 - 6) kontrolētos mitruma apstākļos veikts nedzīvā materiāla mitruma izmaiņu novērtējums, lai nodrošinātu papildus datus nokrišņu un ugunsbīstamības saiknes raksturošanai

Ugunsbīstamības raksturojums

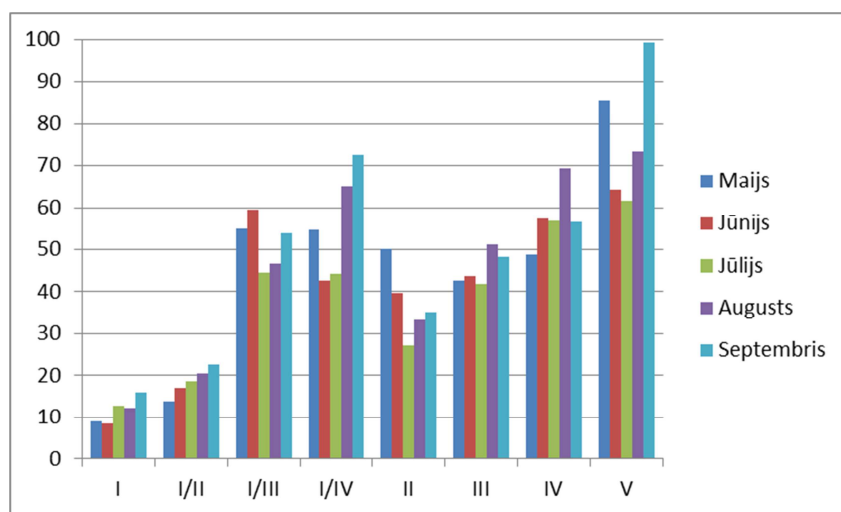
Vidējais augsnes virskārtas mitrums atšķiras dažādās ugunsbīstamības klasēs. Mežaudzēs silā un jaunaudzēs lānā, mētrājā, viršu ārenī un viršu kūdrenī augsnes virskārtas mitrums ir būtiski zemāks nekā pārējās ugunsbīstamības klasēs. Savukārt skujkoku jaunaudzēs III un IV ugunsbīstamības meža tipos augsnes virskārtas mitrums ir līdzīgs III un IV ugunsbīstamības meža tipu mitrumam, nevis I ugunsbīstamības klases mitrumam (9.7.tab., 9.1.att.).

9.7. tabula

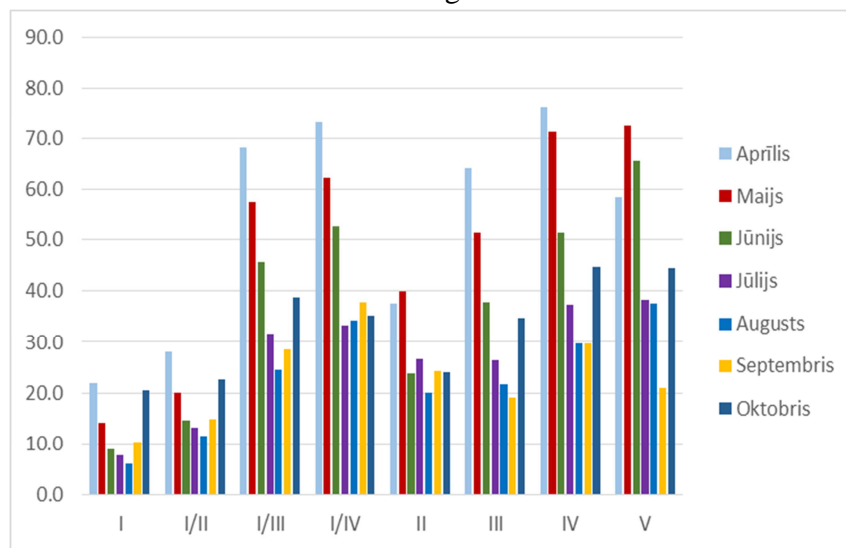
Vidējais augsnes mitrums pa mēnešiem un ugunsbīstamības klasēm (%)

Gads	Mēnesis	Meža ugunsbīstamības klase								
		I	I/II	I/III	I/IV	II	III	IV	V	vidēji
2012	Maijs	8,9	13,8	54,9	54,7	50,2	42,6	48,7	85,5	44,7
	Jūnijs	8,6	17,0	59,6	42,8	39,7	43,7	57,4	64,1	45,6
	Jūlijs	12,7	18,7	44,4	44,4	27,1	41,7	56,7	61,5	41,7
	Augusts	12,1	20,5	46,7	65,0	33,4	51,3	69,4	73,5	49,7
	Septembris	15,9	22,5	53,9	72,6	35,2	48,3	56,6	99,3	49,0
	Oktobris						43,0			43,0
	Vidēji	11,5	18,5	51,9	52,1	36,1	45,6	59,9	70,1	45,9

2013	Aprīlis	21,8	28,2	68,3	73,3	37,5	64,3	76,3	58,4	58,0
	Maijs	14,0	20,0	57,6	62,4	40,0	51,4	71,3	72,6	51,5
	Jūnijs	9,0	14,6	45,7	52,8	23,9	37,7	51,5	65,6	39,5
	Jūlijs	7,7	13,1	31,6	33,4	26,5	26,4	37,3	38,3	27,7
	Augusts	5,9	11,5	24,6	34,2	20,1	21,6	29,7	37,5	22,9
	Septembris	10,2	14,8	28,5	37,9	24,3	19,1	29,7	21,0	22,4
	Oktobris	20,6	22,6	38,9	35,1	24,1	34,8	44,8	44,4	34,6
	Vidēji	11,0	16,8	42,3	48,8	29,3	35,6	49,2	54,9	36,9



2012. gads



2013. gads

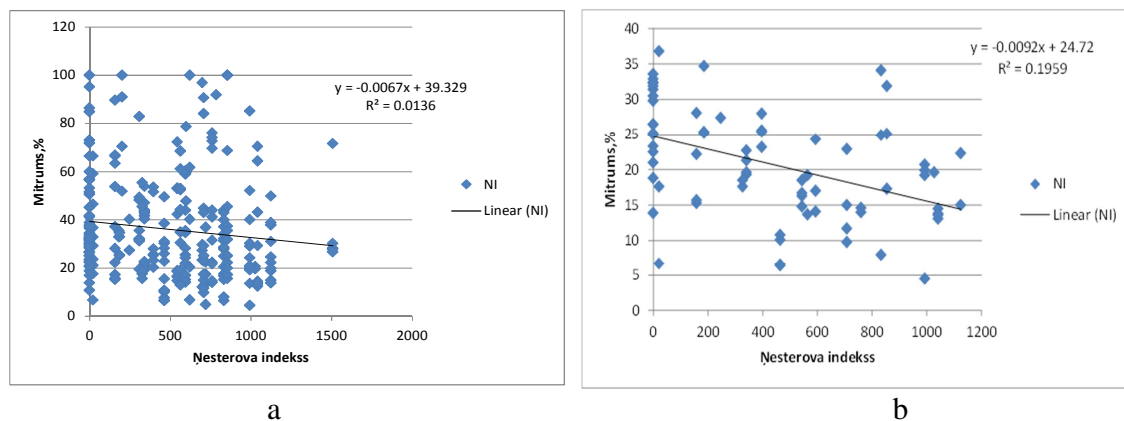
Ugunsbīstamības klase: 1.skaitlis – ugunsbīstamības klase pēc MK noteikumiem Nr.82 no 17.02.2004.,
2.skaitlis – ugunsbīstamības klase pēc MK noteikumiem, ņemot vērā tikai meža tipu.

9.1.attēls. Augsnes virskārtas mitrums (%) dažādas ugunsbīstamības parauglaukumos
2012. un 2013.gadā.

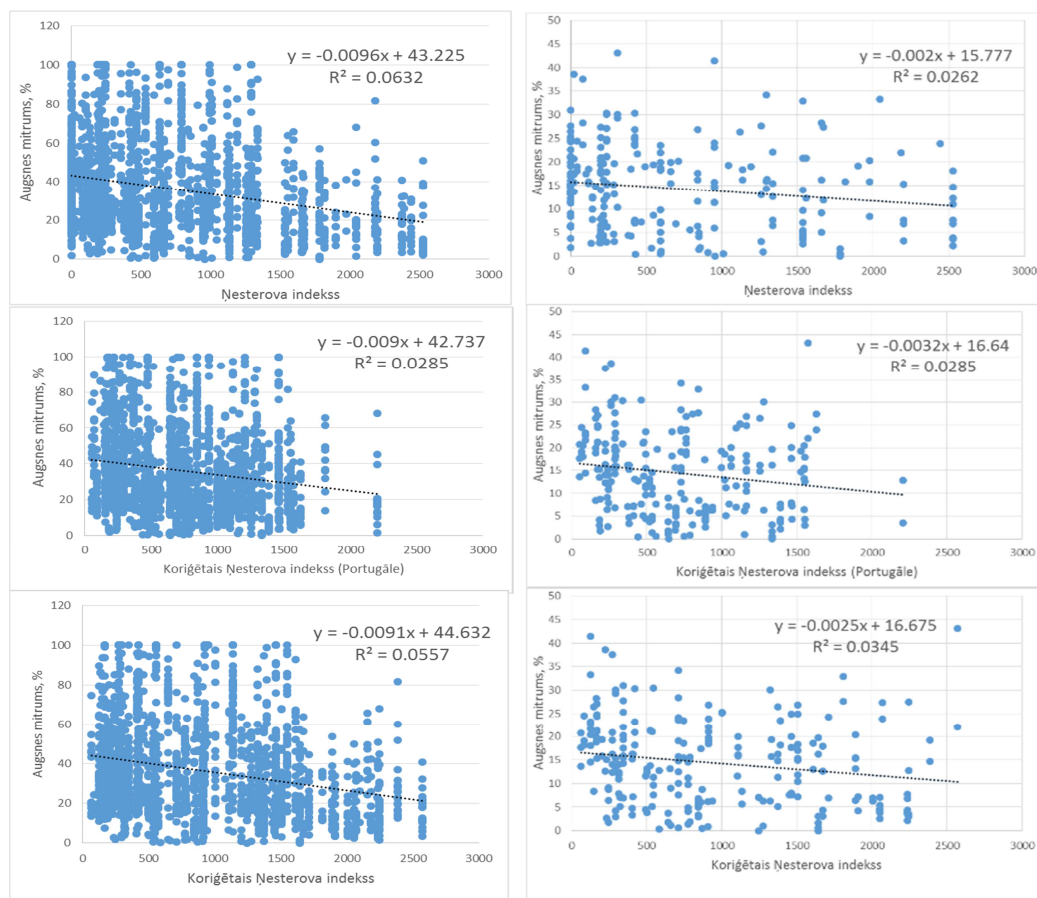
Gan 2012. gadā, gan 2013. gadā I un I/II ugunsbīstamības klases parauglaukumos augsnes mitrums ir būtiski ($p < 0,001$) zemāks nekā pārējās ugunsbīstamības klasēs (dispersijas analīzē, veicot gradācijas klašu salīdzināšanu, izmantots Tjukija tests (*Tukey HSD*)).

Augsnes mitrums un ugunsbīstamība pēc Nesterova indeksa

2012. gadā, NI mainoties no 0 līdz 1500, augsnes virskārtas mitruma un Nesterova indeksa vērtību kopsakarība ir relatīvi vāja ($r = -0,11$). I un II ugunsbīstamības klases parauglaukumiem aprēķinātā NI sakarība jau ir ievērojami ciešāka: $r = -0,44$ (9.2.att.). Tomēr arī tā izskaidro tikai 19% no datu izklīdes. Arī 2013. gadā, kad NI mainās no 0 līdz 2500, augsnes virskārtas mitruma un Nesterova indeksa vērtību kopsakarības ir relatīvi vājas ($r = -0,25$). Aprēķinātā NI sakarība I un II ugunsbīstamības klases parauglaukumiem ($r = -0,16$) ir ievērojami vājāka nekā 2012. gadā. Nedaudz augstākas korelācijas vērtības ir koriģētajam Portugāles indeksam: $r = -0,17$ līdz $-0,19$. KOnstatēts, ka I un II ugunsbīstamības klases audzēs augsnes virskārtas mitrums nepārsniedza 40%, tajā pašā laikā citās ugunsbīstamības klasēs mitrums sasniedza arī 100%.



9.2.attēls. Sakarības starp augsnes virskārtas mitrumu un Nesterova indeksa vērtībām visos objektos 2012.g. (a) un I un II ugunsbīstamības klases audzēs pēc meža tipa 2012.g. (b).



a

b

9.3.attēls. Augšnes virskārtas mitruma sakarība ar Nesterova indeksa, koriģētā Nesterova indeksa (Portugāle), koriģētā Nesterova indeksa vērtībām visos objektos 2013.g. (a) un I un II ugunsbīstamības klases audzēs klasificējot pēc meža tipa 2013.g. (b).

Mitruma izmaiņas nobirās, zemsedzē un augšnes humusa slānī

Salīdzinot mitruma daudzumu dažādos dziļumos (virsējais nobiru slānis, daļēji sadalījušos nobiru slānis 2-5 cm dziļumā un vidēja „trūdzeme” 5-10 cm dziļumā), gan 2012.gadā, gan 2013.gadā var konstatēt līdzīgas sakarības: I un II klasē mitruma daudzums ir mazāks nekā pārējās ugunsbīstamības klasēs, bet III un IV ugunsbīstamības klases meža tipos arī skujkoku jaunaudzēs nobiru un humusa slāņa mitrums ir līdzīgāks kategorijai, kura noteikta atbilstoši meža tipam, nevis I klases ugunsbīstamības meža tipiem (9.4.att., 9.8.tab., 9.9.tab.).

9.8.tabula

Vidējais nobiru, daļēji sadalījušos nobiru un trūdzemes slāņa mitrums 2012.gadā

Mēnesis	Ugunsbīstamības klase								Vidēji
	I	I/II	I/III	I/IV	II	III	IV	V	
Vidējais nobiru slāņa mitrums, %									
Aprīlis	3,2	6,0	15,8	17,4		12,2	23,0	13,7	13,0
Maijs	4,3	6,3	11,1	12,2	0,7	7,6	20,6		9,0
Jūnijs	6,4	10,8	24,0	15,3	23,4	14,0	12,5	9,3	15,0
Jūlijs	12,1	12,9	19,7	28,4	12,4	15,4	23,5	27,7	18,6
Augusts	22,8	20,7	27,0	40,2	22,7	20,6	31,9	45,8	26,6
Septembris	23,0	8,5	30,8		27,0	17,0	32,5		22,1
Vidēji	12,3	13,5	21,9	26,2	15,6	15,7	23,5	28,2	18,9
Vidējais daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums, %									
Aprīlis	20,0	24,3	41,1	46,8		30,1	42,3	50,3	36,4
Maijs	14,2	12,5	27,9	35,4	7,6	25,4	49,7		25,5
Jūnijs	11,5	17,6	37,3	35,5	20,8	24,6	28,9	28,0	27,2
Jūlijs	25,3	23,7	36,9	40,8	23,3	28,2	41,0	46,7	32,6
Augusts	25,6	29,2	38,2	47,9	27,9	30,3	47,6	51,2	35,8
Septembris	22,0		41,1		37,0	26,0	41,5		31,8
Vidēji	20,5	22,3	36,6	41,6	22,6	27,8	41,8	45,8	31,9
Vidējais trūdzemes slāņa mitrums, %									
Aprīlis	43,0	24,4	49,4	50,7		42,1	56,0	59,7	46,2
Maijs	23,1	25,1	37,5	44,7	30,7	36,9	53,7		37,0
Jūnijs	16,1	23,8	42,6	43,3	27,9	30,8	43,8	47,0	34,8
Jūlijs	24,2	25,1	43,0	49,0	34,0	35,6	48,8	53,7	39,2
Augusts	26,5	30,4	44,5	50,2	32,4	37,0	55,0	58,5	40,8
Septembris			47,9		37,0	29,8	50,5		37,6
Vidēji	23,0	26,4	43,3	47,6	32,2	35,3	50,8	55,0	38,9

9.9.tabula

Vidējais nobiru, daļēji sadalījušos nobiru un trūdzemes slāņa mitrums 2013.gadā

Mēnesis	Ugunsbīstamības klase								Vidēji
	I	I/II	I/III	I/IV	II	III	IV	V	
Vidējais nobiru slāņa mitrums, %									
Aprīlis	25,7	21,8		34,8		11,0			27,3
Maijs	11,6	8,9	18,8	19,1	10,2	16,3	29,8	48,8	17,9
Jūnijs	5,3	5,4	22,3	23,0	1,9	12,2	27,6	46,8	17,4
Jūlijs	11,0	13,4	22,6	14,4	2,2	16,1	27,8	35,7	16,6
Augusts	4,8	4,2	13,3	21,4	3,3	9,5	16,8	32,0	11,6
Septembris	14,5	11,0	15,0	29,8	30,0	11,4	28,8		16,0
Oktobris	36,3	38,8	44,1	43,7	36,7	35,8	38,7	56,0	40,3
Vidēji	11,9	11,7	21,8	23,4	10,7	15,4	28,2	45,3	18,6

Vidējais daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums, %									
Aprīlis	35,3	33,8		48,5		40,3			41,4
Maijs	27,1	22,9	40,8	44,5	30,9	34,5	52,8	56,3	37,4
Jūnijs	24,2	22,2	41,4	39,2	11,8	28,5	50,6	55,5	34,6
Jūlijs	17,2	21,4	29,3	32,4	9,7	20,1	42,0	41,3	25,3
Augusts	14,6	13,9	21,7	34,8	12,6	15,7	31,8	37,0	20,8
Septembris	16,2	20,1	23,7	37,3	30,5	17,5	31,0		21,9
Oktobris	39,7	36,5	44,9	44,6	29,3	37,1	48,2	55,7	41,1
Vidēji	22,4	22,4	36,5	39,5	22,8	27,2	47,0	51,5	31,7
Vidējais trūdzemes slāņa mitrums, %									
Aprīlis	35,7	38,0		52,5		38,0			44,7
Maijs	34,3	31,1	47,1	50,9	40,2	43,0	57,4	58,6	45,3
Jūnijs	29,8	29,8	46,6	46,0	24,8	37,8	56,8	56,7	42,5
Jūlijs	17,3	23,4	32,8	41,7	16,4	24,4	51,6	50,7	32,0
Augusts	9,5	14,5	27,6	42,0	17,7	18,8	43,9	47,0	26,5
Septembris	9,0	25,5	25,0	43,8	33,0	18,7	39,0		25,1
Oktobris	14,0	21,3	43,8	42,4	27,2	33,2	48,0	58,3	38,1
Vidēji	23,0	26,2	41,0	45,8	30,9	33,3	53,0	55,5	38,1

Veicot vienfaktora dispersijas analīzi, konstatēts, ka pastāv statistiski būtiskas atšķirības starp nobiru slāņa mitrumu dažādās degamības klasēs ($p < 0,001$), un, izmantojot Tjukija testu, konstatēts, ka būtiskas atšķirības ir starp V klasi un I, I/II, II, III klasēm (9.10.tab.).

9.10.tabula

Homogēnās degamības grupas pēc virsējo nobiru slāņa mitruma ($p < 0,05$; Tjukija tests)

Ugunsbīstamības klase	Vidējais nobiru slāņa mitrums, %	Degamības grupas	
		1	2
II	14,05	****	
I/II	14,79	****	
I	15,60	****	
III	16,04	****	
I/III	22,68	****	****
I/IV	26,60	****	****
IV	28,25	****	****
V	43,86		****

Vidēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums starp I; I/II; II, III un I/III, I/IV; IV; V ugunsbīstamības klasēm atšķiras būtiski (9.11.tab.).

9.11.tabula

Homogēnās degamības grupas pēc daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitruma ($p < 0,05$; Tjukija tests)

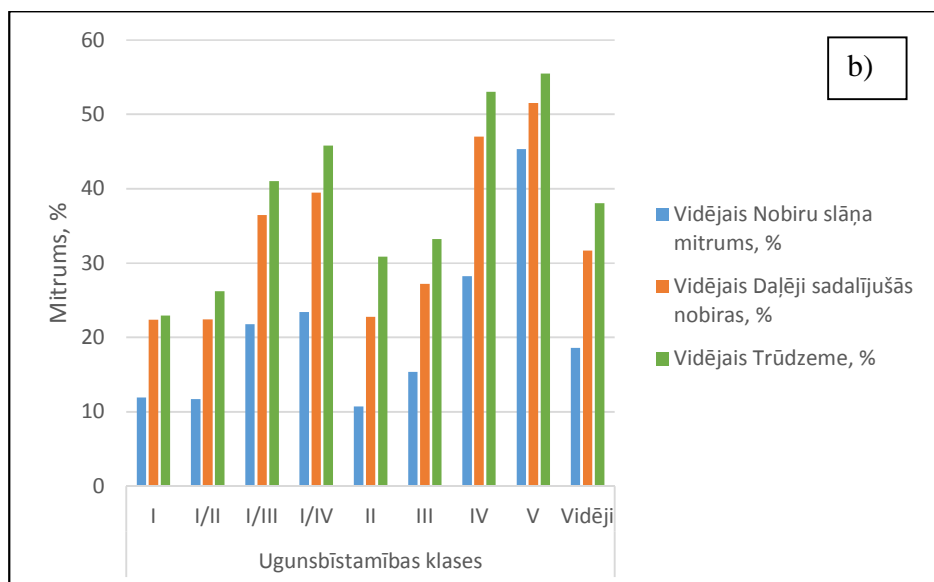
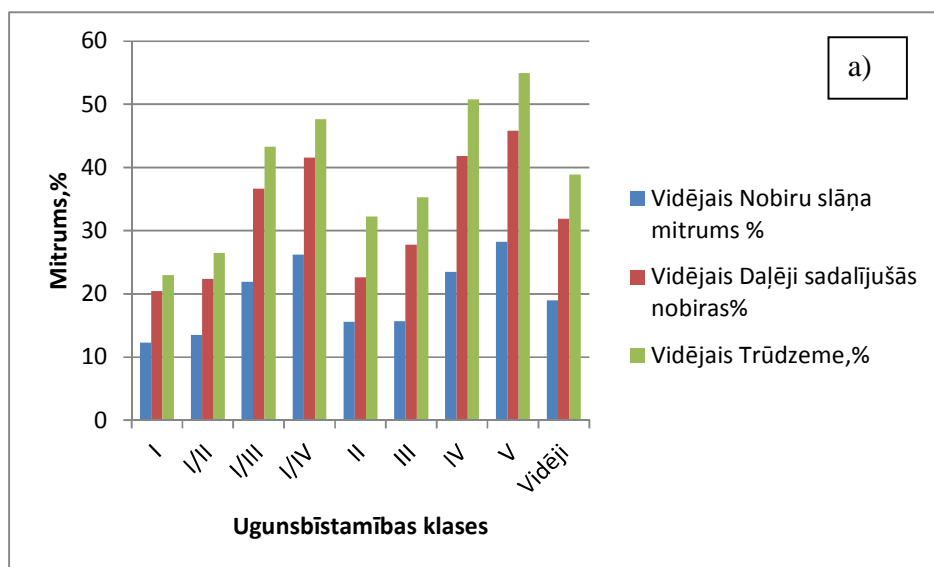
Ugunsbīstamības klase	Vidējais daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums, %	Degamības grupas			
		1	2	3	4
II	20,80	****			
I/II	24,40	****			
I	24,90	****	****		
III	27,67	****	****	****	
I/III	33,63	****	****	****	****
I/IV	40,19		****	****	****
IV	42,73			****	****
V	49,16				****

Trūdzemes slāņa mitrums starp I, I/II, II, III un I/III, I/IV, IV, V klasēm atšķiras būtiski (9.12.tab.).

9.12.tabula

Homogēnās degamības grupas pēc trūdzemes slāņa mitruma ($p < 0,05$; Tjukija tests)

Ugunsbīstamības klase	Vidējais trūdzemes slāņa mitrums, %	Degamības grupas		
		1	2	3
I	21,37	****		
I/II	26,23	****	****	
II	26,55	****	****	
III	30,56	****	****	
I/III	37,15		****	****
I/IV	45,61			****
IV	49,45			****
V	55,33			****

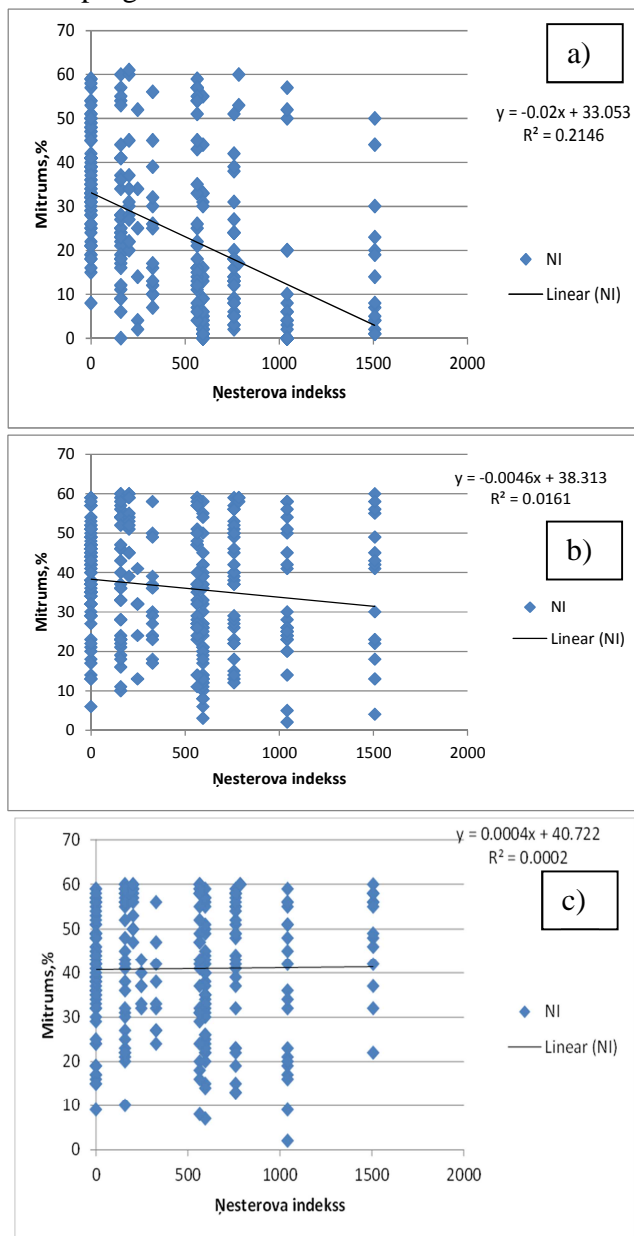


9.4.attēls. Vidējais mitruma daudzums dažādos slāņos dažādu ugunsbīstamības klašu parauglaukumos 2012.gadā (a) un 2013.gadā (b).

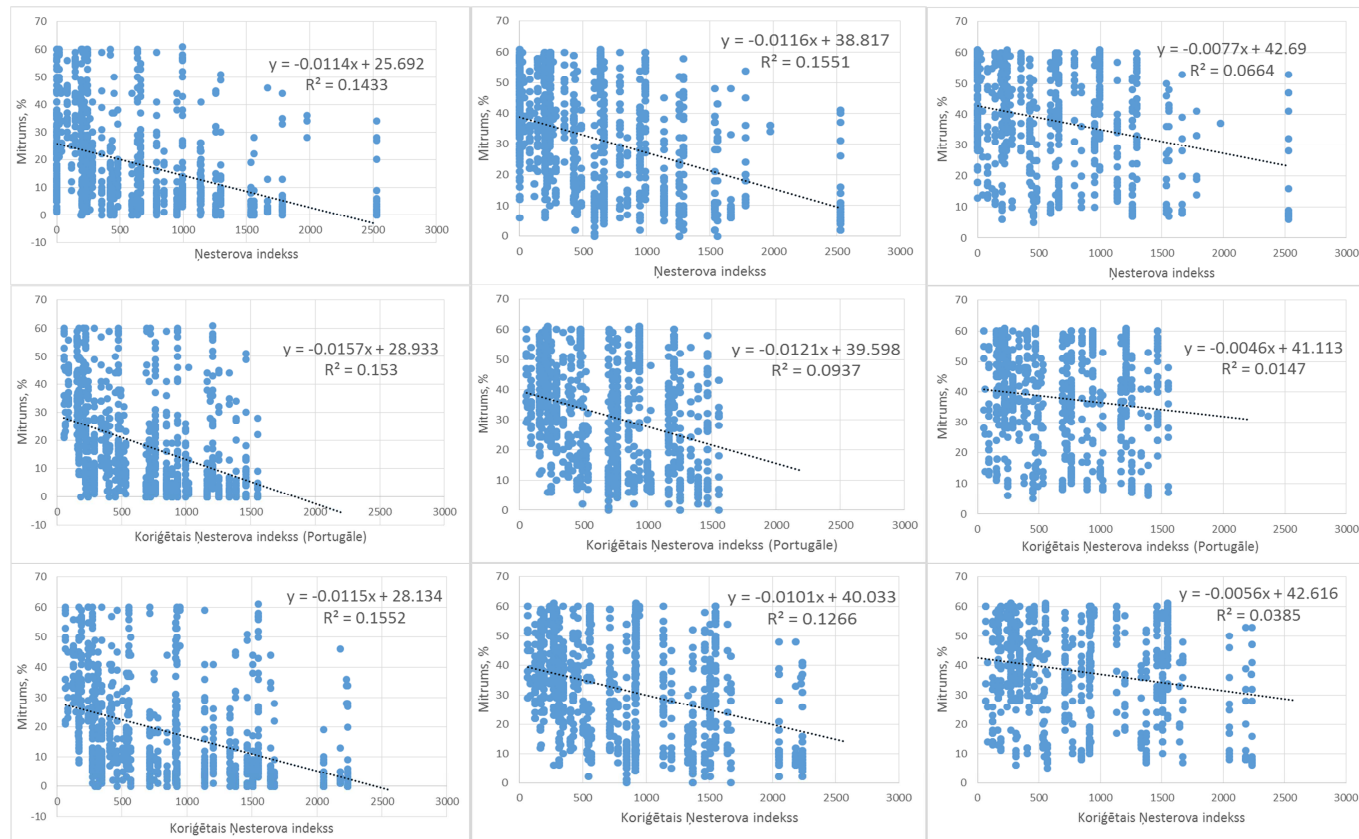
Sakarība starp Nesterova indeksu un virsējo nobiru slāņa mitrumu 2012. gadā ir negatīva un vidēji cieša: $r=-0,46$. Savukārt dziļākos slāņos šī sakarība ir ievērojami vājāka – daļēji sadalījušos nobiru slānim mitruma korelācija ar NI: $r=-0,13$, bet humusa slānim, kas atrodas 5-10cm dziļumā: $r=0,01$ (9.5. att.).

Sakarība 2013. gadā starp virsējo nobiru slāņa mitrumu un Nesterova indeksu ir negatīva un vāja (9.6.att.): $r=-0,39$. Daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitruma korelācija ar NI arī ir samērā vāja: $r=-0,38$, bet humusa slānim tā ir $r=-0,26$. Portugāles indeksam attiecīgās korelācijas koeficienta vērtības ir $r=-0,31$; $-0,39$ un $-0,12$ (nobiru slānis; daļēji

sadalījušos nobiru slānis un trūdzemes slānis), bet koriģētajam Ņestrova indeksam attiecīgi $r=-0,36$; $-0,39$ un $-0,20$. Tādējādi secināms, ka Ņestrova indekss vislabāk korelē ar augsnes virskārtas nobiru mitrumu, kas norāda uz aizdegšanās iespēju, bet Portugāles indekss labāk atspoguļo daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitruma izmaiņas, kas varētu noderēt ugunsbīstamības prognozēšanai.



9.5.attēls. Ņestrova indeksa sakarība ar mitrumu nobiru slānī (a), daļēji sadalījušos nobiru slānī (b) un trūdzemes slānī (c) 2012.gadā.



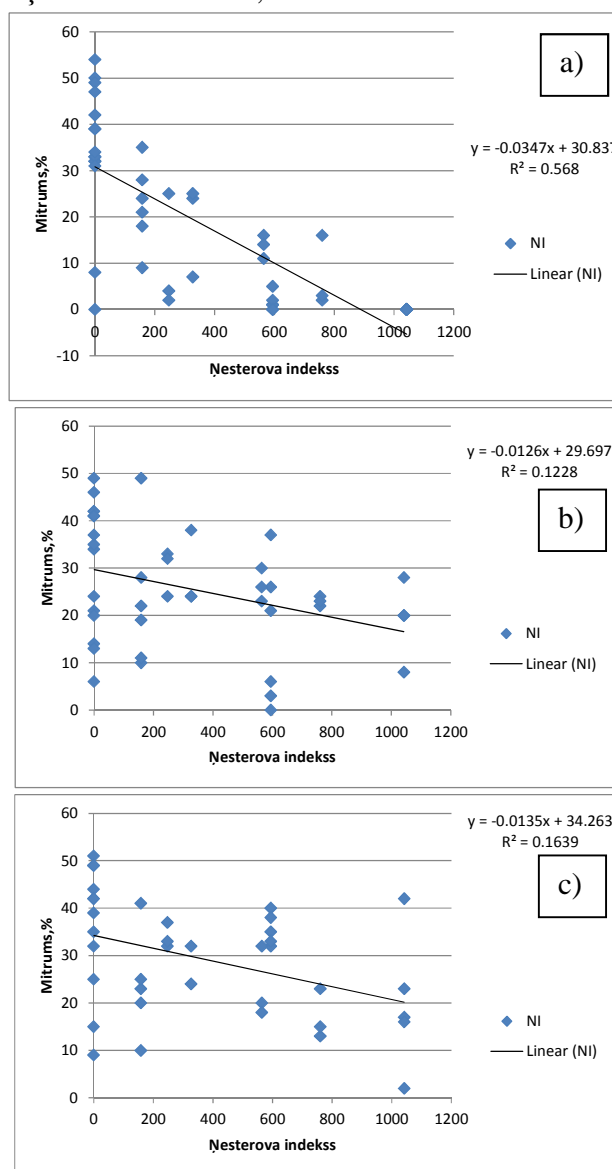
a)

b)

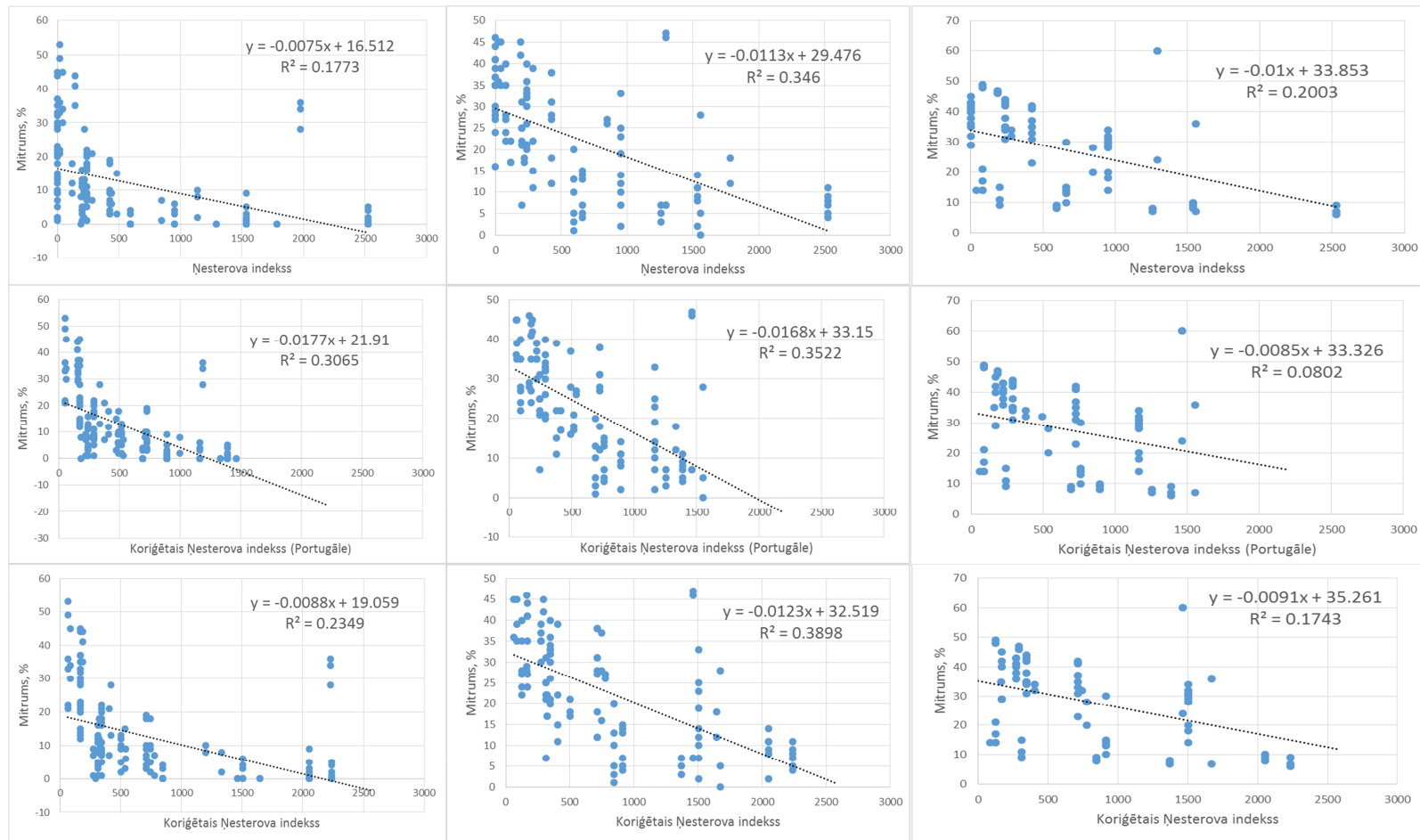
c)

9.6.attēls. Nobiru slāņa mitrums (a), daļēji sadalījušos nobiru slāņa (b) un trūdzemes slāņa (c) mitrums sakarības ar Nesterova indeksu, koriģēto Nesterova indeksu (Portugāle) un koriģēto Nesterova indeksu 2013.gadā.

Savukārt, 2012.gadā I un II ugunsbīstamības klases parauglaukumos sakarības ir ievērojami augstākas – mitruma korelācija ar Nesterova indeksa vērtību nobiru slānī ir $r=-0,82$, vidēji sadalījušos nobiru slānī $r=-0,39$, bet „trūdzemes” slānī $r=-0,40$ (9.7. att.). 2013.gadā I un II ugunsbīstamības klases parauglaukumos mitruma korelācija ar Nesterova indeksa vērtību nobiru slānī ir vājāka nekā 2012.gadā - $r=-0,42$ (9.8.att.), vidēji sadalījušos nobiru slānī mitruma korelācija ir vidēji cieša: $r=-0,59$, bet „trūdzemes” slānī vāja: $r=-0,45$. Portugāles indeksam visaugstākā ir korelācija ar vidēji sadalījušos nobiru slāņa mitrumu ($r=-0,59$), bet koriģētajam Nesterova indeksam korelācija ar vidēji sadalījušos nobiru slāņa mitrumu ir $r=-0,62$.



9.7.attēls. Virsējā nobiru slāņa mitruma (a), daļēji sadalījušos nobiru slāņa (b) un trūdzemes slāņa (c) sakarība ar Nesterova indeksu I un II ugunsbīstamības klašu parauglaukumos 2012.gadā.



a)

b)

c)

9.8.attēls. Virsējā nobiru slāņa mitruma (a), daļēji sadalījušos nobiru slāņa (b) un trūdzemes slāņa (c) sakarība ar Nesterova indeksa, koriģētā Nesterova indeksa (Portugāle), koriģētā Nesterova indeksa vērtībām I un II ungsbīstamības klašu parauglaukumos 2013.gadā.

Mitruma izmaiņas koksnes paraugos

Uz zemes virskārtas novietoto koksnes paraugu mitrums dažādos mēnešos ievērojami neatšķiras starp parauglaukumiem dažādās ugunsbīstamības klasēs gan 2012.gadā, gan 2013.gadā (9.9.att.).

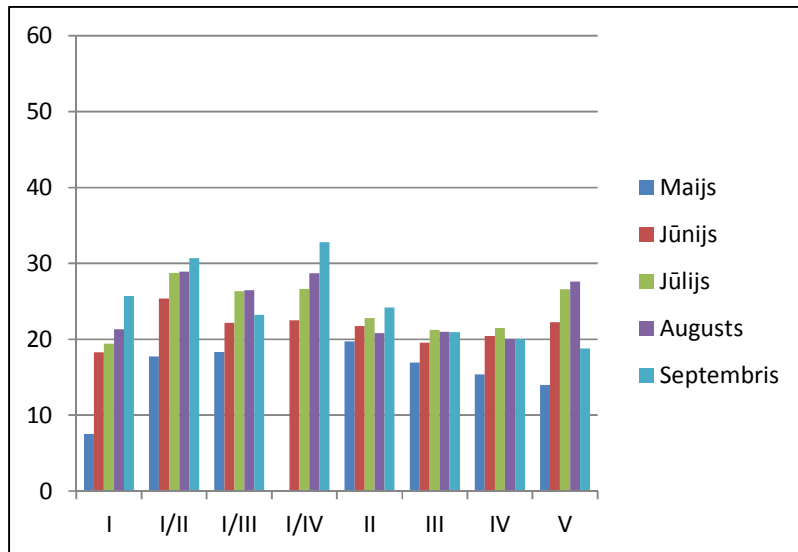
Vērtējot koksnes mitruma izmaiņas pa mēnešiem 2012.gadā (jūnijs –septembris), nav konstatētas ievērojamas atšķirības - Tjukija testa vērtības visos gadījumos ir $p > 0,05$. Līdzīgi nav konstatētas arī būtiskas atšķirības starp dažādu ugunsbīstamības klašu audzēm ($p > 0,05$). Maija mērījumi analizē netika izmantoti, jo, tā kā paraugi tika izvietoti mežā tikai maijā, to sākotnējo mitrumu noteica iepriekšējie glabāšanas apstākļi.

Vērtējot koksnes mitruma izmaiņas 2013.gadā (maijs – septembris), nav konstatētas statistiski būtiskas atšķirības starp vidējo koksnes paraugu mitrumu dažādās ugunsbīstamības, taču konstatētas atšķirības starp mēnešiem (9.13.tab.).

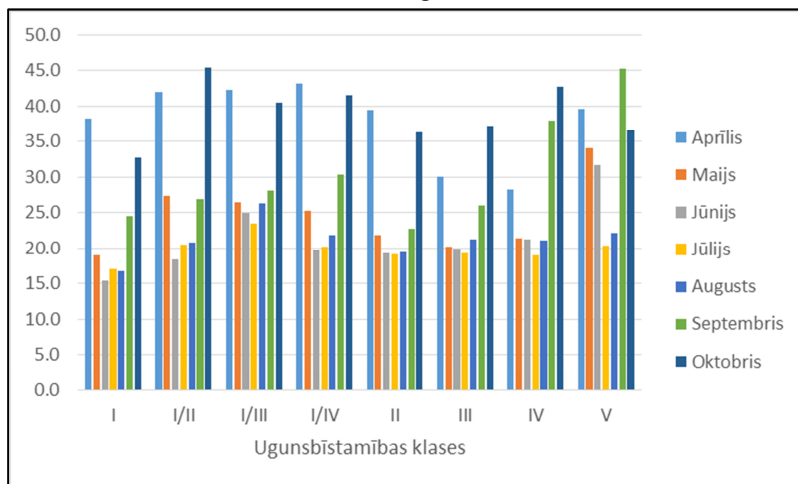
9.13.tabula

Koksnes paraugu mitrums dažādos mēnešos 2013.gadā

Mēnesis	Koksnes paraugu vidējais mitrums, %	1	2	3
Jūlijs	19,89	****		
Augusts	21,22	****		
Jūnijs	21,34	****		
Maijs	24,46	****	****	
Septembris	30,24		****	
Aprīlis	37,85			****
Oktobris	39,13			****



2012. gads

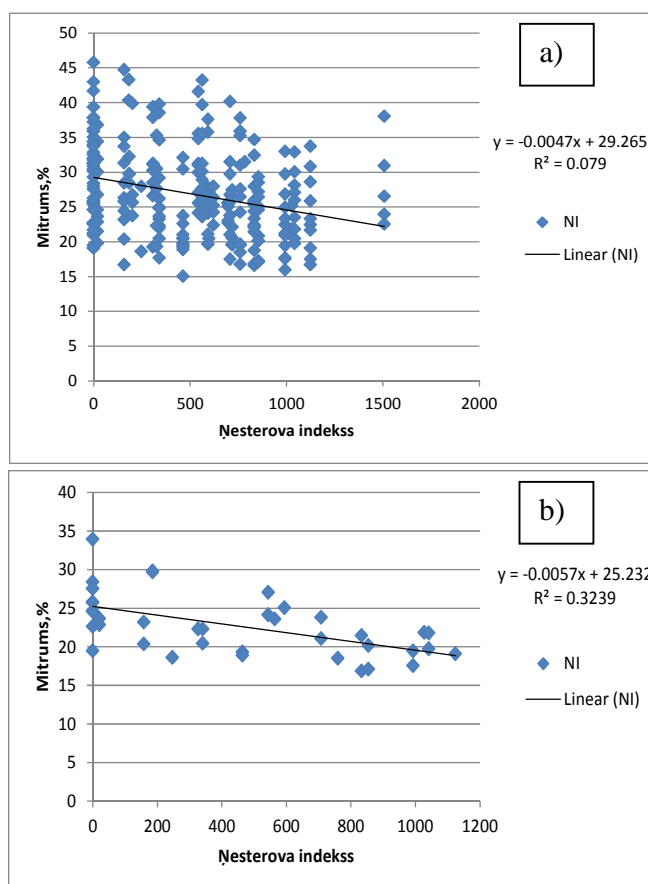


2013. gads

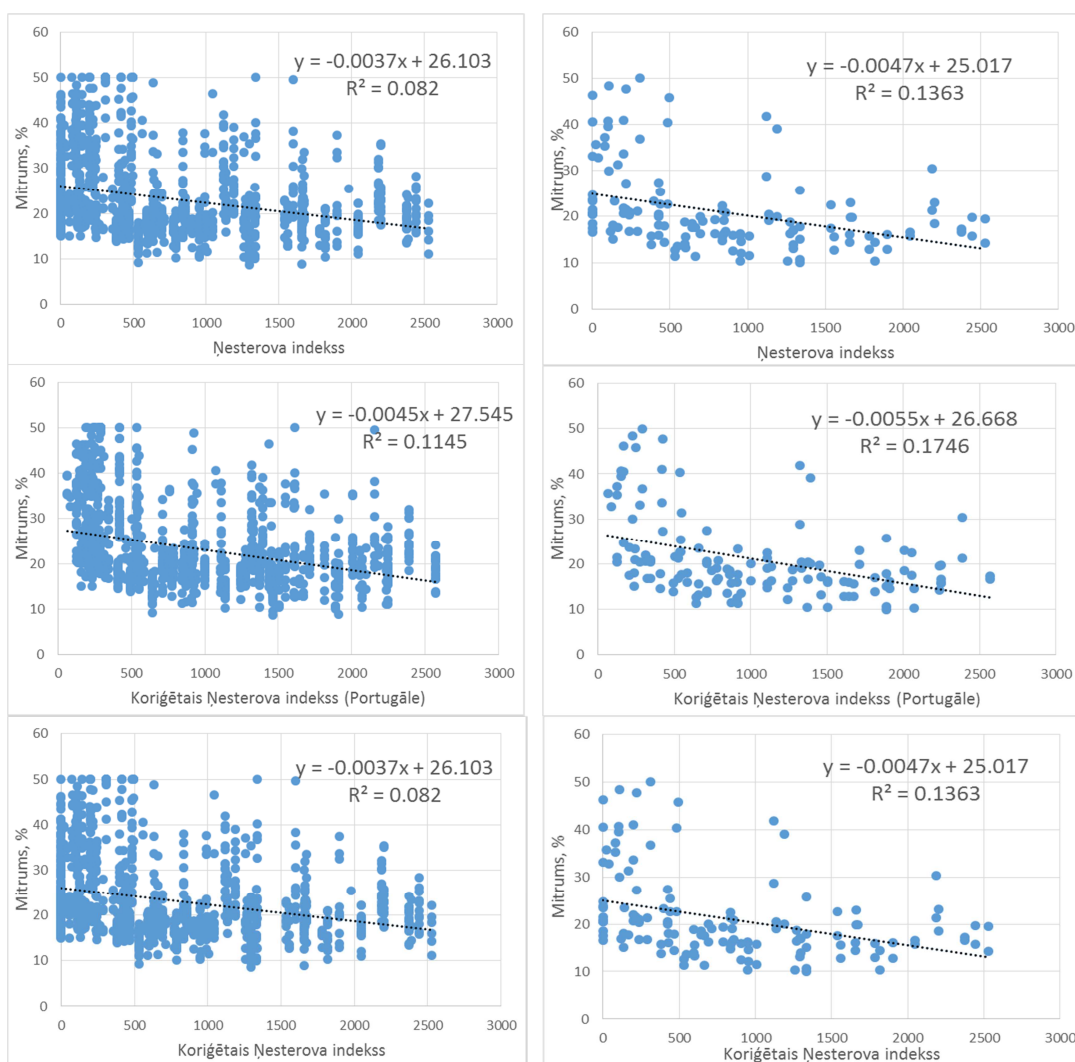
9.9.attēls. Koksnes paraugu mitrums dažādās ugunsbīstamības klasēs
2012.gadā un 2013.gadā.

Starp mērījuma dienai aprēķināto Nesterova indeksa vērtību un koksnes parauga mitrumu 2012. gadā konstatēta negatīva, vāja korelācija ($r=-0,28$). I un II ugunsbīstamības klašu audzēs šī sakarība ir vidēji cieša: $r=-0,56$ (9.10.att.).

Starp koksnes parauga mitrumu un mērījuma dienai aprēķināto Nesterova indeksa vērtību 2013. gadā konstatēta negatīva vāja korelācija ($r=-0,29$). Arī I un II ugunsbīstamības klašu audzēs šī sakarība ir vāja: $r=-0,37$ (9.11.att.).



9.10. attēls. Koksnes paraugu mitruma un attiecīgās mērījuma dienas Nesterova indeksa vērtības sakarība visos objektos (a) un I un II ugunsbīstamības klases audzēs (b) 2012.gadā.



a)

b)

9.11.attēls. Koksnes paraugu mitruma un attiecīgās mērījuma dienas Nesterova indeksa, koriģētā Nesterova indeksa (Portugāle), koriģētā Nesterova indeksa vērtību sakarības visos objektos (a) un I un II ugunsbīstamības klases audzēs (b) 2013.gadā.

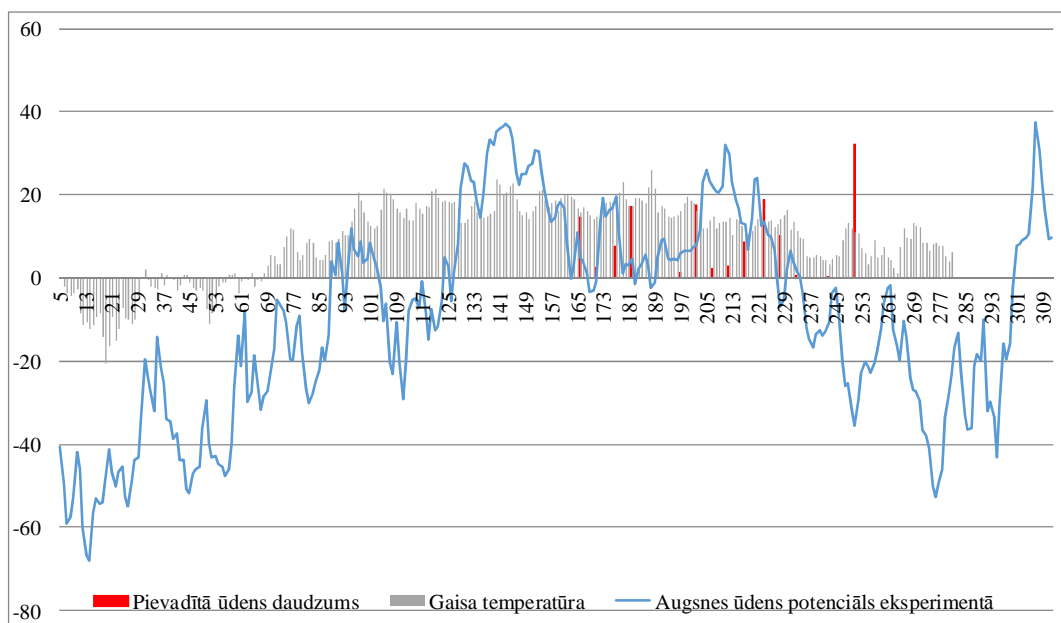
Augstākām NI vērtībām koksnes paraugu mitrums 2012.gadā ir zemāks. Taču pie NI vērtības 0, koksnes parauga mitrums var mainīties no 19 līdz pat 48%, tajā pašā laikā arī pie NI vērtības 1500, koksnes paraugu mitrums var sasniegt pat vairāk nekā 35%. Savukārt, I un II ugunsbīstamības klases audzēs vidējais koksnes paraugu mitrums ir zemāks salīdzinājumā ar visu audžu vidējo – attiecīgi 19% un 25%.

Tāpat kā 2012. gadā, arī 2013. gadā pie augstākām NI vērtībām koksnes paraugu mitrums ir zemāks. Taču pie NI vērtības 0, koksnes parauga mitrums var mainīties no 15 līdz pat 50%, tajā pašā laikā pie NI vērtības 2500, koksnes parauga mitrums var sasniegt 22%. Savukārt, I un II

ugunsbīstamības klases audzēs vidējais koksnes paraugu mitrums ir zemāks salīdzinājumā ar visu audžu vidējo – attiecīgi 14% un 22%.

Parauglaukumos Mazirbē konstatēta cieša korelācija starp gaismas apstākļus (bezlapotā stāvoklī) raksturojošajiem rādītājiem un ūdens daudzumu sniegā ziemas beigās; šāda korelācija nav konstatēta parauglaukumos Ugālē, iespējams tādēļ, ka uzmērīšana laikā jau bija sākusies sniega kušana. Mazirbes parauglaukumu dati kombinācijā ar publicētiem novērojumiem Vesetnieku stacionārā tiks izmantoti nākamajā pārskata periodā paredzētā precīzāka ugunsbīstamības prognožu modeļa sagatavošanā.

Papildus dati nokrišņu un ugunsbīstamības saiknes raksturošanai iegūti daļēji kontrolētos apstākļos 3 meža tipos vērtējot nedzīvā materiāla un augsnes mitruma izmaiņas. Iegūtie rezultāti liecina, ka vasaras otrajā pusē nelielam pievadītajam nokrišņu daudzumam dienas laikā (līdz 10 mm) ietekme uz nedzīvā materiāla mitrumu saglabājas tikai dažas stundas un tam nav konstatējamas ietekmes uz augsnes mitrumu 20 cm dziļumā (9.12. att.). Lielāka pievadītā ūdens daudzuma (10-20 mm) ietekme saglabājas ilgāk, taču augsnē izpaužas ar līdz pat 2 diennakšu novēlošanos.



9.12.attēls. Augsnes ūdens potenciāls Dm atkarībā no dienas no gada sākuma, gaisa temperatūras un pievadītā mitruma daudzuma

Ņemot vērā, ka šajā sezonā nebija iespējams eksperimentā kontrolēt temperatūras režīmu, iegūtie dati izmantojami tikai jau esošu sakarību novērtēšanai Latvijas klimatiskajos apstākļos, nevis modeļa konstruēšanai. Tādēļ nākamajā pārskata periodā, izmantojot 2013. gadā izbūvēto infrastruktūru, paredzēts novērtēt kompleksu temperatūras un pievadītā mitruma apjoma ietekmi uz dažādas sausuma pakāpes nobiru un augsnes (izmantojot iepriekšējo sezonu empīrisku novērojumu datus par to mitrumu mežaudzēs) mitrumu – nosakot gan nobīdi laikā no nokrišņu sākšanās līdz ietekmi, gan ietekmes ilgumu dažādos meteoroloģiskajos apstākļos.

Kopumā, izvērtējot nobiru un augsnes mitruma izmaiņas, konstatēts, ka Nesterova indekss labi atspoguļo nobiru mitruma izmaiņas I un II ugunsbīstamības klases audzēs, savukārt koriģētais Nesterova indekss (Portugāles), labāk atspoguļo zemāku slāņu žūšanu un ugunsgrēku bīstamību. Jaunaudzes, kas pēc meža tipa atbilst zemākas ugunsbīstamības klasei, pēc tajos esošo degmateriālu žūšanas režīma vairāk līdzinās pamatklasei, nevis I ugunsbīstamības klases audžu degmateriāla žūšanas režīmam.

10. Ledus bojājumu novērtējums skuju koku audzēs

10.1. Apledojuma raksturojums

Atmosfēras parādību izraisīts objektu virsmu apledojums ir meteoroloģiskais faktors, kā rezultātā uz koku stumbriem un vainagiem palielinās mehāniskā slodze, radot to deformācijas vai neatgriezeniskus bojājumus.

Starptautiskā standarta ISO-12494 atmosfēriskā apledojuma definīcija nosaka, ka apledojuma veidošanās ir jebkurš process, kurā ledus un sniegs uzkrājas uz atmosfērā eksponēta objekta virsmas (Foder, 2001). Pēc ģenēzes ir izdalāmi divi atšķirīgi atmosfēras parādību izraisīti objektu virsmas apledošanās procesi:

- 1) nokrišņu apledojums, kas iekļauj sasalstošu lietu un slapju sniegu;
- 2) miglas un dūmakas apledojums, kas izraisa sarmu (Makkonen, Ahti, 1995).

Sasalstošs lietus jeb atkala ir parādība, kad lietus veidā izkrituši nokrišņi, sasniedzot Zemes virsmu, sasalst (Drage, 2005). Šāds process norisinās krasī atšķirīgas temperatūras gaisa masu saskares joslā, kur siltā gaisa masa atrodas virs aukstajām, veidojot 300 līdz 1200 m biezu piezemes aukstā gaisa slāni. Šādā gadījumā no siltā slāņa izkritušie lietus nokrišņi Zemes virsmu sasniedz sīku, cietu, pilnīgi caurspīdīgu lodīšu veidā 1-3 mm diametrā. Dažreiz lodītes centrā ir nesasalis ūdens - tādējādi, atsitoties pret cietu virsmu, tā sašķīst un veido apledojumu. Procesa gaitā ūdens atsišanās apjoms no virsmas ir lielāks nekā tā sasalšanas ātrums, un liekais, no virsmas notecējušais ūdens var veidot lāstekas (Fikke et al., 2005).

Uz objektu virsmām izveidojies caurspīdīgs, homogēns ledus slānis jeb garoza var radīt līdz 900 kg m^{-3} lielu slodzi, bet slapja sniega izraisīts apledojums - 300 līdz 600 kg m^{-3} . Ledus slāņa radīto slodzi izsaka tā svars attiecībā pret objekta kopējās apledojošās virsmas laukuma (Makkonen, Ahti, 1995). Teorētiski maksimālā apledojuma slodze ir 917 kg m^{-3} , bet dabiskos apstākļos tās izveidošanās iespējamību ierobežo ledū iekļautie atmosfēras gāzu ieslēgumi, padarot apledojuma kārtu vieglāku. Akumulētā ledus struktūra un fizikālās īpašības, kuras var izmantot apledojuma raksturošanai, variē atkarībā no meteoroloģiskajiem apstākļiem apledojuma veidošanās laikā (Fikke et al., 2005).

Slapja sniega nokrišņi veidojas apstākļos, kad atmosfēras augšējos aukstajos slāņos izkritušais sniegs pirms Zemes virsmas sasniegšanas ir šķērsojis 0° C izotermu 300 - 400 m augstumā un nokļūst atmosfēras slānī ar pozitīvu gaisa temperatūru. Slapja sniega nokrišņus veido ledus kristāli, ūdens un gaisa ieslēgumi, kuru attiecības, atkarībā no vides apstākļiem, var būt atšķirīgas. Slapja sniega nokrišņu materiāla īpašību variāciju nosaka siltumapmaiņas procesu ietekmējošie faktori - gaisa temperatūra, vēja ātrums un snigšanas intensitāte, kuru izmaiņu ietekmē mainās nokrišņu ūdens saturs un gaisa ieslēgumu apjoms. Apstākļos, kad gaisa temperatūra ir tuvu nullei pēc Celsija skalas, ir zems vēja ātrums un augsta snigšanas intensitāte, slapja sniega nokrišņos ir mazs ūdens saturs. Tādējādi nokrišņos ir augsts gaisa ieslēgumu apjoms, un materiāla agregātstāvoklis ir tuvs daļēji transformēta sniega īpašībām. Šādos apstākļos nogulumu blīvums ir mazāks par 100 kg m^{-3} , bet slapja sniega nokrišņiem, kas veidojas siltākos apstākļos un kuros ūdens saturs ir virs 40 %, blīvums var sasniegt 500 kg m^{-3} (Dalle, Admirat, 2011). Sniega agregātstāvokļa transformācijas zonu uz ūdeni, tātad arī slapja sniega veidošanos,

iezīmē gaisa temperatūra no 0° līdz 2,5° C. Intensīvas snigšanas laikā uz elektropārvades līnijām var izveidoties līdz 5 - 10 kg m⁻¹ liela slodze (Dalle, Admirat, 2011).

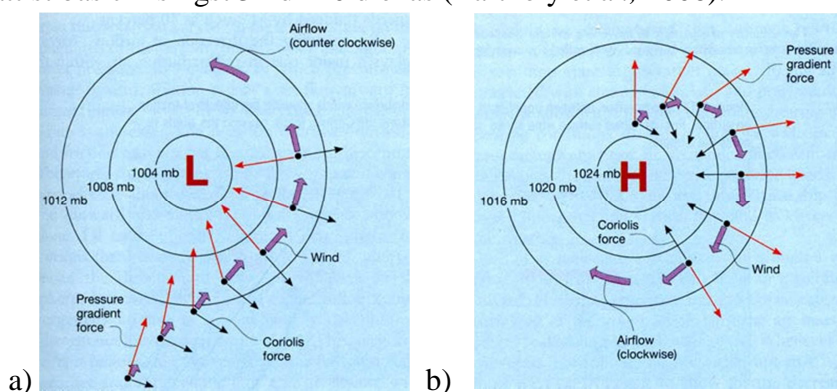
Miglas un dūmakas izraisīts apledojs veidojas kā sarma apstākļos, kad piezemes gaisa slāņa atdzēsētie ūdens pilieni saskaras ar virsmu, kuras temperatūra ir zem 0°C. Visizteiktākās šādas ģenēzes apledojuma izpausmes ir kalnu apvidos un uz augstceltnēm, kur augstākos atmosfēras slāņos atdzisušās gaisa masas ir piesātinātas ar mitrumu. Nozīmīga sarmas apledojuma veidošanās ir tieši atkarīga no vēja ātruma pieauguma un gaisa temperatūras samazināšanās (Fikke et al., 2005).

10.2. Sasalstoša lietus nokrišņu veidošanās

Galvenais laikapstākļu ietekmējošais faktors Latvijas teritorijā ir valdošie rietumu vēji, kuru ietekmē pārvietojas Ziemeļatlantijas cikloni. Konverģentajā gaisa masu kustībā tiek iesaistītas pēc ģenēzes un īpašībām atšķirīgas gaisa masas, kuru savstarpējās mijiedarbības veido atmosfēras frontes. Sasalstoša lietus nokrišņu veidošanos nosaka arī atmosfēras fronšu pārvietošanās raksturs. Sasalstoša lietus nokrišņu lokalizāciju Latvijas teritorijā ietekmē tiešais Baltijas jūras tuvums un tās krasta līnijas morfoloģija, respektīvi, ziemas sezonas sākumā ieplūstošo auksto gaisa masu izraisītā Rīgas līča iztvaikojuma kondensācija un vēlāka nokrišņu izkrišana uz sauszemes.

Cikloni un anticikloni

Atmosfēras apgabalu ar zemu gaisa spiedienu tā centrā sauc par ciklonu. Tā diametrs var būt no dažiem simtiem līdz pāris tūkstošiem kilometru. Gaisa masu kustība šajā zema spiediena apgabalā notiek virzienā no perifērijas uz centru, un tādā pašā virzienā ir novērojams atmosfēras spiediena samazināšanās gradients, kur tā vērtības var būt vidēji no 980 līdz 1000 hPa (735 - 750 mmHg). Atmosfēras spiediena gradients nosaka pieaugošu gaisa masu pārvietošanās ātrumu virzienā uz centru (10.1.att.). Gaisa masu pārvietošanās ciklonā Ziemeļu puslodē notiek pretēji pulksteņrādītāju kustības virzienam, bet dienvidu puslodē — pulksteņrādītāju kustības virzienā (Parsons, Hobbs, 1983). Ciklona pārvietošanās ātrums ir aptuveni 1200 kilometri dienā, un tā kopējais attīstības cikls ilgst 3 līdz 10 dienas (Bartholy et al., 2006).

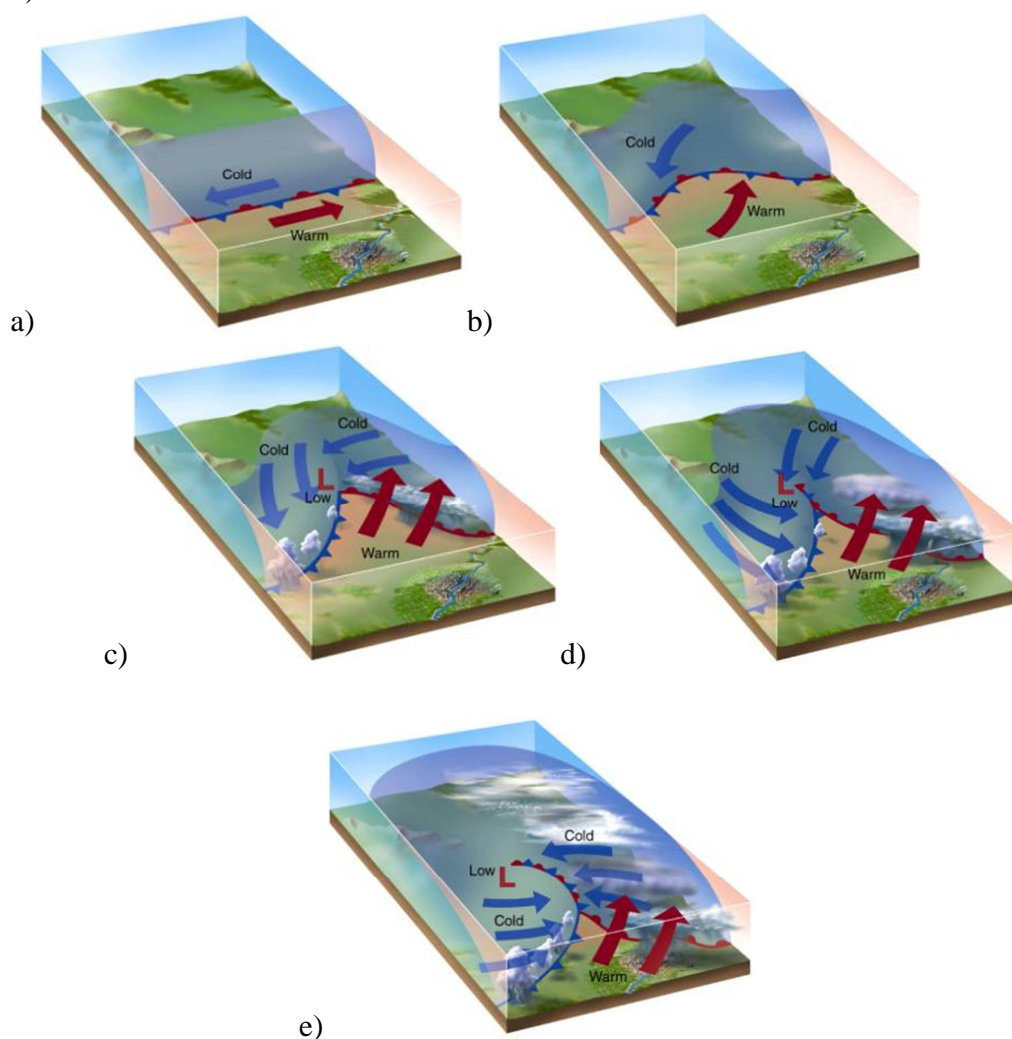


Apzīmējumi un to tulkojumi: mb - gaisa spiediens milibāros; L - zema (ang. *low*) atmosfēras spiediena centrs; H - augsta (ang. *high*) atmosfēras spiediena centrs; wind - vējš; Pressure gradient force - spiediena gradienta spēks; Coriolis force - Koriolisa spēks; Airflow (clockwise/counter clockwise) - gaisa plūsma pa un pretēji pulksteņrādītāju kustības virzienam

10.1. attēls. Shematisks gaisa masu plūsmu attēlojums zema (a) un augsta (b) atmosfēras spiediena apgabalos (<http://www.ees.rochester.edu>).

Laika apstākļus Latvijā ietekmējošie cikloni veidojas Atlantijas okeāna ziemeļu daļā, kur atrodas visa gada garumā pastāvīgs zema atmosfēras spiediena apgabals - Islandes minimums. Tur attīstījušos ciklonus uz Eiropu pārnēs ziemeļu puslodes mērenās joslas valdošie rietumu vēji (Jordi, Sultan, 2009; Ozola, Zirnītis, 1958).

Cikloģenēzē novērojamajā gaisa masu cirkulārajā pārvietošanās gaitā (10.2. att.) izveidojas siltās un aukstās atmosfēras frontes, jo konverģences procesā, no dienvidiem ciklonā iesaistītās gaisa masas tiek piekļautas ziemeļos esošajām aukstākajām, un otrādi, pārvietojot siltās un aukstās gaisa masas pretējos virzienos, attiecīgi uz aukstajiem un siltajiem reģioniem (Bartholy et al., 2006).



Apzīmējumi un to tulkojumi: cold - aukstā gaisa masa; warm - siltā gaisa masa; low - zema atmosfēras spiediena centrs. Ar sarkanām bultām ir apzīmēta siltās gaisa masas plūsma, ar zilām - aukstās gaisa masas plūsma. Zila līnija ar triksturiem - aukstā atmosfēras fronte. Sarkana līnija ar pusapļiem - siltā atmosfēras fronte

10.2. attēls. Cikloģenēzes gaita: (a) gaisa masu robežu kolīzija; (b) konverģences sākums ap zema atmosfēras spiediena apgabala centru; (c) siltās un aukstās atmosfēras frontes izveidošanās; (d) oklūzijas frontes izveidošanās un aukstā gaisa uzvirzīšanās siltajam sektoram; (e) oklūzijas frontes attīstība un siltā sektora sarūkšana - cikloģenēzes noslēgums (<http://www.atmos.illinois.edu>).

Cikloģenēzi raksturo tropisko un polāro gaisa masu savstarpējo robežu kolīzija (10.2. att.), kā rezultātā norisinās siltā gaisa pacelšanās un konverģenta griešanās ap zema spiediena apgabala centru, atmosfēras spiedienam turpinot samazināties. Uz rietumiem no zema spiediena apgabala centra norisinās polāro, auksto gaisa masu konverģenta plūsma uz to pretēji pulksteņrādītāju kustības virzienam, izveidojot un pārbīdot auksto atmosfēras fronti no zema spiediena apgabala centra virzienā uz dienvidrietumiem. Tajā pašā laikā līdzīgs process norisinās uz austrumiem no zema spiediena apgabala centra, kur siltā tropiskā gaisa masa ar konverģentu kustību virzās uz ciklona centru. Tur izveidojas siltā atmosfēras fronte. Nokrišņu izkrišana norisinās konvekcijas ietekmē gar abām frontēm un ciklona centrā (Serreze, 2009). Ciklonā esošās gaisa masu konverģentās kustības un tālāk konvekcijas rezultātā, pēc ciklona augšējo slāņu sasniegšanas, gaisa masu kustība norisinās diverģenti, turpinot tālāku cirkulāciju ciklona ietvaros. Tādējādi aukstais gaiss tiek nests uz dienvidiem, siltais uz ziemeļiem (Bartholy et al., 2006).

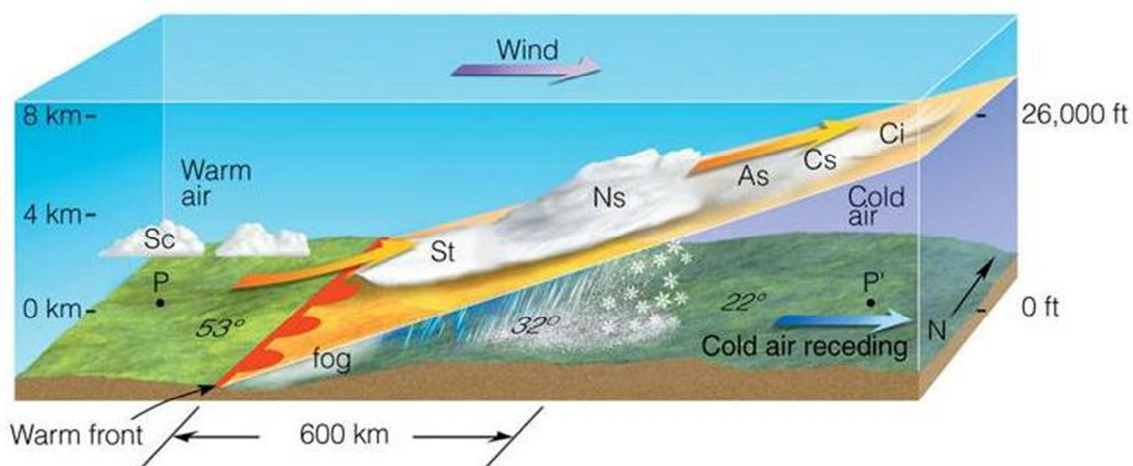
Uz dienvidiem no zema spiediena apgabala centra starp abām atmosfēras frontēm izveidojas siltā gaisa sektors (10.2. att.), kas ziemas sezonā ir enerģijas avots aukstajai fronteī. Siltajā sektorā, pazeminoties atmosfēras spiedienam, norisinās siltā gaisa akumulācija. Lielāks kontrasts starp silto un auksto ciklona sektoru nosaka aktīvāku piespiedu konvekciju aukstās frontes uzvirzīšanās gadījumā, veidojot ļoti intensīvus nokrišņus (Schultz, Geraint, 2011).

Ciklona aukstās atmosfēras frontes gar Zemes virsmu pārvietojas ātrāk nekā siltās, tādējādi cikloģenēzes gaitā norisinās siltās frontes pārtveršana. Rezultātā izveidojas situācija, kad siltā sektora gaiss tiek uzcelts augstāk atmosfērā un, saskaroties trijām dažādu temperatūru gaisa masām, izveidojas oklūzijas fronte (Schultz, Geraint, 2011).

Ciklonam pretēja procesa izpausme ir anticiklons (10.1. att.), kad izveidojas augsta atmosfēras spiediena apgabals un gaisa masas diverģences ietekmē plūst uz anticiklona perifēriju. Latvijas teritorijai uzvirzās anticikloni, kuri ir attīstījušies no Azoru, Āzijas vai arktiskajiem maksimumiem - visa gada garumā pastāvīgiem augsta atmosfēras spiediena apgabaliem. Sibīrijas anticiklonu ietekmē Latvijā ieplūst kontinentālās gaisa masas (Draveniece, 2007; Schultz, Geraint, 2011). Ilgstoši nekustīgā anticiklonā tā augšējos slāņos var akumulēties silts un mitrs gaiss, izraisot smidzinošu nokrišņu izkrišanu. Procesā gaitā ūdens pilieni šķērso auksta gaisa slāni, kurā tie atdziest un, sasniedzot Zemes virsmu, var izveidot apledojumu (Splawinski et al., 2012).

Atmosfēras frontes

Potenciāli sasalstošu lietu izraisīti apstākļi Latvijas teritorijā ļoti bieži ir novērojami, ieplūstot siltajām vidusplatumu vai tropiskajām gaisa masām, kas cikloniskās darbības gaitā var izveidot siltās atmosfēras frontes (10.2. un 10.3. att.). Parādība izpaužas kā siltās gaisa masas uzvirzīšanās aukstajai, siltākajai lēni slīdot pa aukstās gaisa masas virsmu virzienā uz augšu.

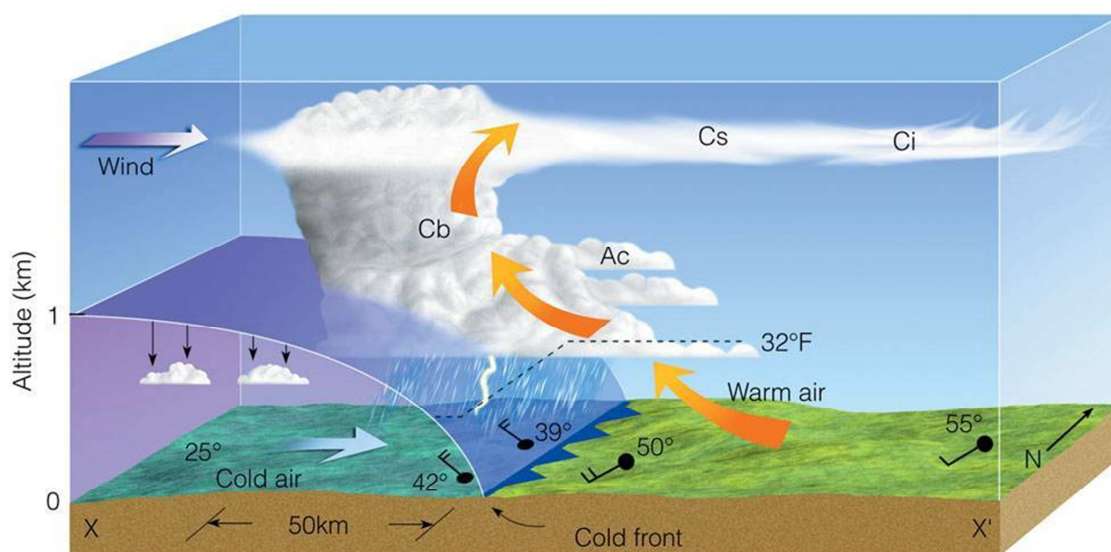


Apzīmējumi un to tulkojumi: warm air - siltā gaisa masa; wind - vējš; warm front - siltā atmosfēras fronte; fog - migla; cold air - aukstā gaisa masa; cold air receding - aukstās gaisa masas ātruma samazināšanās; Sc - Stratocumulus (slāņu gubumākoņi); St - Stratus (slāņmākoņi); Ns - Nimbostratus (lietus slāņmākoņi); As - Altostratus (augstie slāņmākoņi); Cs - Cirrostratus (spalvu slāņmākoņi); Ci - Cirrus (spalvmākoņi); P - laikapstākļu novērojumu punkts

10.3. attēls. Shematisks siltās atmosfēras frontes attēlojums (<http://apollo.lsc.vsc.edu>).

Procesa gaitā siltā augšupejošā gaisa adiabatiski atdziest, kondensējas, un var veidoties nokrišņi ūdens pilienu veidā. Atkarībā no zemāk esošās aukstās gaisa masas slāņa biezuma un temperatūras, no siltā gaisa slāņa izkritušie nokrišņi zemākajos atdziest vai pilnībā sasalst, veidojot sasalstoša lietus, daļēji sasalušu ledus lodīšu vai sniega nokrišņus, kas, akumulējoties uz virsmas, sasalst. Palielinoties aukstās gaisa masas biezumam, pakāpeniski samazinās gaisa temperatūra tajā. Tas nosaka nokrišņu ātrāku kristalizēšanos un to izkrišanu cietā veidā. Tādējādi sasalstošu nokrišņu izkrišana norisinās noteiktā siltās atmosfēras frontes joslā, kur meteoroloģiskie apstākļi nosaka no augstāk esošā siltā gaisa slāņa izkritušā lietus strauju atdzišanu, šķērsojot zemāk esošu, aptuveni 1 km biezu auksto gaisa slāni. Sasalstoša lietus veidošanās var norisināties joslā, kas nav platāka par 50 kilometriem no siltās frontes sākuma (Draveniece, 2007; Hoskins, Bretherton, 1972; Orlanski et al., 1985; Taylor et al., 1983).

Salīdzinoši reti Latvijas teritorijā sasalstoša lietus nokrišņus izraisa aukstās frontes (10.2. un 10.4. att.), kad, aukstajai gaisa masai uzvirzoties siltākajai, norisinās konvekcija, un siltā tā rezultātā adiabatiski atdziest. Tādējādi rodas tāds pats nokrišņu veidošanās mehānisms kā siltās frontes ietekmē, tikai šoreiz nokrišņi izkrīt joslā aiz frontes joslas aukstajā gaisa masā.



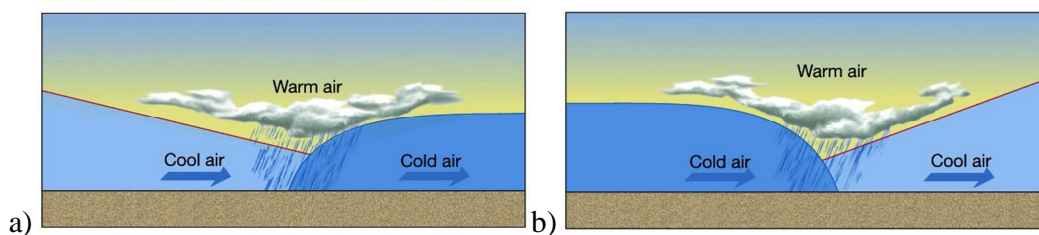
Apzīmējumi un to tulkojumi: altitude - augstums; wind - vējš; cold air - aukstā gaisa masa; warm air - siltā gaisa masa; cold front - aukstā atmosfēras fronte; Ac - Alotumulus (augstie gubumākoņi); Cb - Cumulonimbus (gubu lietumākoņi); Cs - Cirrostratus (spalvu slāņmākoņi); Ci - Cirrus (spalvmākoņi); N - ziemeļu virziens; melnie punkti ar līnijām to sānos - vēja virziena azimuta rādītājs

10.4. attēls. Shematisks aukstās atmosfēras frontes attēlojums (<http://apollo.lsc.vsc.edu>).

Ļoti reta situācija Latvijas apstākļos ir arktiskās frontes izraisītie sasalstošie nokrišņi, kas veidojas, kontinentālai polārai gaisa masai pārvietojoties aiz okeāniskas polārās. Tā rezultātā frontes priekšā esošais siltākais un mitrākais okeāniskais polārais gaiss paceļas, veidojot nokrišņus, kas, sasniedzot Zemes virsu, šķērso aukstāko gaisa slāni. Polārās gaisa masas ir samērā plānas, un tas nodrošina augšējos atmosfēras slāņos lietus veidā izkritušo nokrišņu lēnāku sasalšanu vai tikai atdzišanu. Tādējādi virsmas apledojums veidojas, ūdenim uzkrājoties un sasalstot uz aukstas virsmas, un sasalstošo nokrišņu skartā josla var būt lielāka par 50 kilometriem no frontes (Roger, Vidale, 1995).

Oklūzijas fronte izveidojas, ciklona aukstajai fronteī panākot silto (10.2. un 10.5. att.), jo aukstā fronte ciklonā pārvietojas ātrāk. To nosaka auksto un silto gaisa masu savstarpējo blīvumu atšķirības. Aukstais gaiss ir blīvāks, un ciklonā tas strauji plūst uz leju, izspiežot uz augšu vieglāko silto gaisa masu ciklona siltajā sektorā. Tādējādi, aukstajai fronteī pārtverot silto, saskaras triju dažādu temperatūru gaisa masas. Rezultātā izveidojas situācija, ka siltais gaiss pie Zemes virsmas vairs neatrodas, jo ir pārvirzīts uz atmosfēras augšējiem slāņiem, bet tā vietā piezemes slānī viena aukstā gaisa masa uzvirzās otrai aukstā gaisa masai (Schultz, Geraint, 2011).

Atkarībā no tā, vai uzvirzās aukstā vai mazāk aukstā gaisa masa, oklūzijas fronteī var novērot siltās vai aukstās frontes iezīmes (10.5. att.). Ja mazāk aukstā gaisa masa virzās uz izteikti auksto, veidojas siltās atmosfēras frontes pazīmes, jo uzvirzīšanās gaitā, spiežot augšējos slāņos esošo silto gaisa masu vēl augstāk, kondensācijas rezultātā izkrīt nokrišņi, kuri, sasniedzot zemāk esošo izteikti auksto gaisa slāni, strauji atdziest vai sasalst. Ja piezemes gaisa temperatūra ir negatīva, tad var veidoties apledojums, atdzisušajam lielumam sasalstot uz objektu virsmām (Schultz, Geraint, 2011).



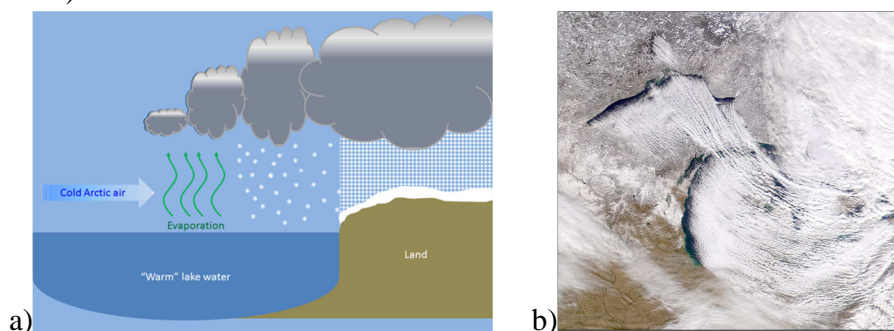
Apzīmējumi un to tulkojumi: cold air - aukstā gaisa masa; warm air - siltā gaisa masa; cool air - mazāk aukstā gaisa masa

10.5. attēls. Shematisks siltā (a) un aukstā (b) tipa oklūzijas frontes attēlojums (<http://www.ux1.eiu.edu>).

Oklūzijas fronte ar aukstās atmosfēras frontes iezīmēm veidojas izteikti aukstākajai gaisa masai uzvirzoties mazāk aukstajai (10.5. att.). Tādā situācijā norisinās augstāk esošā siltā gaisa vēl straujāka konvekcija, veidojot intensīvākus nokrišņus. Ziemas sezonā Latvijā ir vairāk novērojamas siltā tipa oklūzijas frontes, jo ciklonam aizmugurē ieplūstošais okeāniskais gaiss ir siltāks nekā priekšā esošais kontinentālais. Oklūzijas frontē sasilstoša lietus nokrišņi ir novērojami salīdzinoši reti, jo oklūzijas fronte reti uzvirzās jau ļoti aukstam piezemes gaisam. Tomēr, ja ziemā piezemes gaisa temperatūras ir ļoti zemas un notiek nesen izveidojušās oklūzijas frontes uzvirzīšanās, tad sasilstoša lietus nokrišņi ir ļoti iespējami, jo norisinās siltajai atmosfēras fronteī raksturīgie procesi (Schultz, Geraint, 2011).

Ezera efekts

Daudzviet pasaulē, atkarībā no ūdens objektu izvietojuma attiecībā pret sauszemi, ir vērojams tā sauktais ezera efekts ("*Lake Effect*") (Bricis, 2009). Tā gaitā, aukstai gaisa masai pārvietojoties virs liela ūdens objekta (ezers, līcis, iekšējā jūra), norisinās ūdens tvaiku kondensācija. Ūdenim kā vielai piemīt liela īpatnējā siltumietilpība, kas nodrošina ilgstošu siltuma akumulāciju ūdens objektā līdz pat ziemas sezonas sākumam. Tādējādi veidojas ievērojamas temperatūru atšķirības starp ieplūstošajām ziemas sezonas gaisa masām un ūdens objekta virsmu, kas akumulētā siltuma ietekmē iztvaiko. Ieplūstot aukstai gaisa masai un ūdens tvaikiem adiabatiski atdziestot, norisinās kondensācija un nokrišņu mākoņu veidošanās (10.6. att.) (Bricis, 2009).



Apzīmējumi un to tulkojumi: Zila bulta (cold arctic air) - auksts arktiskais gaiss; land - sauszeme; "warm" lake water - "siltas" ezera ūdens; evaporation - iztvaikošana

10.6. attēls. Ezera efekts: (a) shematisks attēlojums; (b) ezera efekta izraisītas sniega vētras satelītuzņēmums Lielo ezeru reģionā Ziemeļamerikā. (<http://mrcc.isws.illinois.edu>; <http://earthobservatory.nasa.gov>).

Nokrišņi bieži var būt intensīvi, un vēja ietekmē tie sasniedz sauszemi. Eiropas reģionā šis process norisinās mērenajā klimatiskajā joslā - Ziemeļjūras un Baltijas jūras piekrastēs, savukārt Ziemeļamerikā - Lielo ezeru reģionā un Hudzona līča dienvidu piekrastē. Eiropā rudens sezonā vai tās beigās, cikloniskās darbības rezultātā, ieplūstot aukstam subpolāram vai arktiskam gaisam no Skandināvijas pussalas, virs siltākās Ziemeļjūras un Baltijas jūras ūdens virsmas norisinās ūdens tvaiku kondensācija jau minētā ezera efekta ietekmē. Tādējādi piekrastes reģioni saņem lielu nokrišņu daudzumu, un šajos, pēc gaisa temperatūrām krasī atšķirīgajos vertikālā gradienta apstākļos, var veidoties cietie nokrišņi un arī sasalstošs lietus (Norton, Bolsenga, 1993).

Latvijas teritorijā ezera efekts ("*Lake Effect*") (Bricis, 2009) ir vērojams virs Rīgas līča, kad ciklona ietekmē virs tā pārvietojas gaiss ar zemāku temperatūru nekā tā ir ūdens virsmai. To ierosina no ziemeļiem plūstošās gaisa masas, veidojot nokrišņus Latvijas centrālajā daļā. Ziemas sezonas sākumā no Sibīrijas ieplūstošās aukstās gaisa masas ezera efekta ietekmē var veidot nokrišņus Kurzemē. Ezera efekts praktiski nevar izraisīt nokrišņus Latvijas austrumu daļā, jo, no Ziemeļatlantijas plūstošās piesātinātās, okeāniskās gaisa masas siltumapmaiņas rezultātā ātri zaudē savu enerģiju. Praktiski vienmēr šādas ģenēzes nokrišņi sāk izkrist turpat virs Rīgas līča, vēl nesasniedzot sauszemi (Bricis, 2009; Draveniece, 2007).

Ezera efekts pasaules kontekstā ir pazīstams kā process, kas ziemas sākumā rada spēcīgas sniega vētras gan Lielo ezeru reģionā Ziemeļamerikā, gan Rietumeiropā - Ziemeļjūras rietumu un dienvidu piekrastēs. Novērojumi Ziemeļamerikā liecina, ka spēcīgie ziemas sākuma nokrišņi izkrīt vien dažu kilometru platā joslā no ezeru krasta, bet maksimāli līdz pat 200 km attālumam. Šajās ziemas sākuma vētrās uzkrātā sniega daudzums veido 25% - 50% no kopējā gada apjoma (Braham, Kelly, 1982), bet viena notikuma laikā var izveidoties pat līdz 120 cm bieža sniega kārtā (Hjelmfelt, 1990; Niziol et al., 1995).

Lielo ezeru reģionā sasalstošu lietu ezera efekts izraisa salīdzinoši reti, visbiežāk tas nosaka atdziestošo nokrišņu izkrišanas lokalizāciju. Reģionā sasalstošs lietus ir novērojams visas ziemas sezonas laikā, un to visbiežāk izraisa silto tropisko gaisa masu ieplūšana, veidojot siltās atmosfēras frontes. Ziemas sākumā siltumapmaiņa no vēl neaizsalušajām ezeru virsmām paaugstina aukstās gaisa masas piezemes slāņa temperatūru, novēršot tā atdzesējošās īpašības siltās atmosfēras frontes veidošanās gadījumā (Bricis, 2009; Hoskins, Bretherton, 1972; Ozola, Zirnītis, 1958; Roger, Vidale, 1995). Siltajai fronteī turpinot virzību tālāk no ezeriem, tās lejas daļā esošās aukstās gaisa masas pakāpeniski atdziest un tādējādi sasalstoša lietus nokrišņi izkrīt dziļāk kontinenta iekšienē (Cortinas, 2000). Līdzīgi tas ir vērojamas arī Latvijas teritorijā Rīgas līča akumulētā siltuma apmaiņas ietekmē (<http://ww2010.atmos.uiuc.edu>).

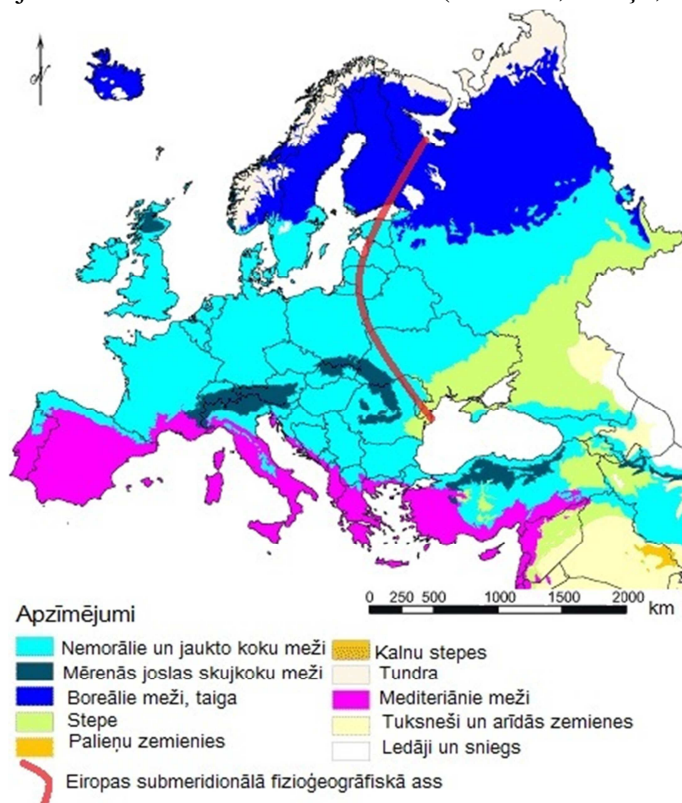
Okeanitāte un kontinentalitāte

Eiropas mērenās joslas vidus daļā, kur atrodas Latvijas teritorija, laikapstākļus un klimatu nosaka virs Atlantijas okeāna veidojušos gaisa masu pārnese globālās atmosfēras cirkulācijas ietvaros, jo šajā reģionā troposfēras augšējos slāņos valda meandrējošais rietumu plūdums. Tādējādi Latvijas teritorijā ieplūstošās gaisa masas galvenokārt ir okeāniskas izcelsmes, un no kontinentālajām tās atšķiras ar paaugstinātu mitruma saturu. Kontinentālās gaisa masas satur maz mitruma, un to ietekmē gan ziemā, gan vasarā ir lielas diennakts temperatūru amplitūdas. Mitro okeānisko gaisa masu ieplūšana palielina nokrišņu daudzumu un gaisa mitrumu. Pārvietojoties virs sauszemes, okeāniskās gaisa masas transformējas, iegūstot kontinentālās iezīmes.

Transformācija notiek nevienmērīgi, jo procesu ietekmē Baltijas jūras dziļā iestiepšanās kontinentā, mazinot kontinentalitātes izpausmes (Blackmon et al., 1977; Peel et al., 2007). Okeāniskajām gaisa masām pārvietojoties virs Skandināvijas pussalas, strauji samazinās to mitrums, bet savukārt, tām sasniedzot Baltijas jūras austrumu piekrasti - mitruma saturs gaisā ir pat palielinājies (Draveniece, 2007).

Latvijas teritorija atrodas divu dabas zonu robežareālā, ko sauc par Eiropas submeridionālo fizioģeogrāfisko asi (10.7. att.). Tā ir okeānisko un kontinentālo gaisa masu dominances apgabalu saskares josla (Krauklis, Zariņa, 2002) jeb robežšķirtnes starp divām atšķirīgām dabas zonalitātes sistēmām, kas stiepjas no Baltijas jūras austrumu piekrastei piegulošā apgabala uz Donavas lejteci pie Melnās jūras. Šajā apvidū par klimatoloģiski vidējo gaisa masu kļūst transformēts okeāniskais gaiss, kur tā īpatsvars pārsniedz 50% (Draveniece, 2007). Uz rietumiem no tās Eiropas "pussalā" klimatiskās ietekmes noteicošā loma ir Atlantijas okeānam un tā jūrām - nemorālajai un mediterānajai dabas zonai (Draveniece, 2007; Krauklis, Zariņa, 2002).

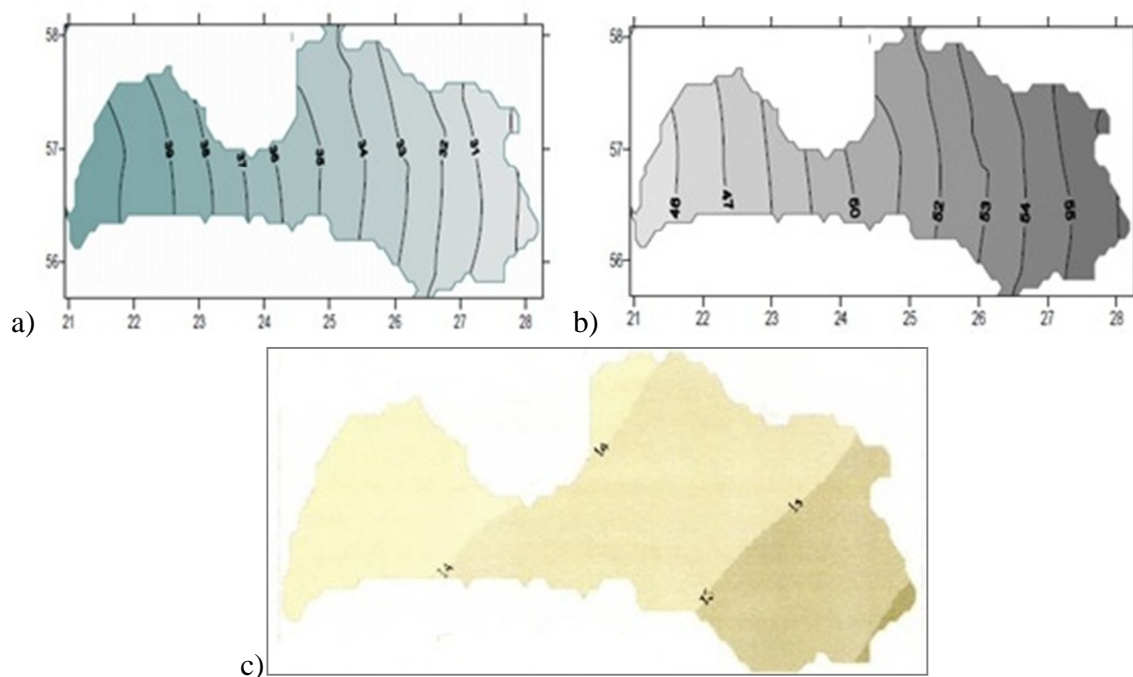
Submeridionālās fizioģeogrāfiskās ass austrumu pusē gan nemorālā, gan mediterānā dabas zona ir stipri reducēta. Tādējādi Eiropas iekškontinentālo daļu skar raksturīgās ciklonālās rietumplūsmas nestās gaisa masas, kuras jau ir zaudējušas okeāniskās īpašības. Šajos apgabalos ir izteikta augsnes atdzišana ziemā, nosakot ilgstošāku bioloģiskā miera periodu nekā ass rietumu pusē. Dabas zonu nomaiņa ir vērsta ziemeļu - dienvidu virzienā, bet uz submeridionālās ass zonālā pāreja pārkārtojas arī rietumu-austrumu virzienā (Krauklis, Zariņa, 2002).



10.7. attēls. Eiropas submeridionālā fizioģeogrāfiskā ass
(Krauklis, 2006; <http://chalk.richmond.edu>).

Klimatiskos apstākļus Latvijas teritorijā ietekmē rietumvēju plūsmas pārvietoto okeānisko gaisa masu pārnese, ko var apskatīt arī kontekstā ar Eiropas submeridionālo fiziogēogrāfisko robežšķirtni. Latvijas teritorijā ieplūstošās mitrās okeāniskās gaisa masas, pārvietojoties virs sauszemes, virzienā uz kontinenta iekšieni transformējas un iegūst kontinentālo gaisa masu īpašības - samazinās gaisa mitrums, tādēļ palielinās diennakts gaisa temperatūru amplitūda. Tādējādi Latvijas teritorijā rietumu - austrumu virzienā ir atšķirīga kontinentalitātes pakāpe (Draveniece, 2007; Krauklis, Zariņa, 2002). Latvijas teritoriju submeridionālā fiziogēogrāfiskā robežšķirtne šķērso vidusdaļā pa līniju Sēlijas paugurvalnis - Viduslatvijas nolaidenums - Augstrozes paugurvalnis - Burtnieka līdzenums (Draveniece, 2007).

Klimata kontinentalitātes - okeanitātes raksturošanai var izmantot kontinentālo un okeānisko gaisa masu atkārtotamību (dienu skaits gadā) (10.8. att.), bet šādā veidā iegūti klimatisko apstākļu raksturojumi nav savstarpēji salīdzināmi reģionālā griezumā. Ikvienu gaisa masu ir kā atsevišķs integrāls rādītājs, kas sevī ietver vairāku meteoroloģisko elementu noteiktu vērtību diapazonu (Draveniece, 2007). Eiropā okeāniskās gaisa masas transformējas, attālinoties no Atlantijas okeāna, un tām pārvietojoties dziļāk kontinenta iekšienē, pakāpeniski pieaug transformēta okeāniska gaisa īpatsvars. Tajā pašā laikā kontinentālo gaisa masu īpatsvars palielinās salīdzinoši lēni. Latvijas teritorijā kontinentālo gaisa masu biežums palielinās ziemeļrietumu - dienvidaustrumu virzienā (Draveniece, 2007).



10.8. attēls. Okeānisko (a), transformēto okeānisko (b) un kontinentālo (c) gaisa masu vidējā atkārtotamība Latvijā dienās bez atmosfēras frontēm, % (Draveniece, 2007).

Mainoties gaisa masu pārnesei pagulvirsmā, atsevišķi klimatiskie parametri izpaužas atšķirīgi, tāpēc izmanto indeksus, kuri ir izveidoti, pamatojoties uz gaisa temperatūru gada amplitūdu (Draveniece, 2007; Snow, 2005). Piemēram, Johansona kontinentalitātes indekss

$$k = \frac{1,7E}{\sin f} - 20,4,$$

kur E ir mēnešu vidējo gaisa temperatūru gada amplitūda ($^{\circ}\text{C}$) un f ir meteoroloģiskās novērojumu stacijas ģeogrāfiskais platums.

Šis ir visplašāk izmantotais rīks kontinentalitātes kvantificēšanai, kura aprēķināšanai izmanto mēnešu vidējo gaisa temperatūru gada amplitūdu jeb starpību starp maksimālajām un minimālajām mēnešu vidējām vērtībām un mērījumu punkta ģeogrāfiskā platuma grādus (Toros et al., 2008). Iegūtās vērtības no 0 līdz 33 apzīmē okeānisku/marītīmu klimatu, no 34 līdz 66 kontinentālu, bet no 67 līdz 100 ļoti kontinentālus klimatiskos apstākļus (Filatov et al., 2005).

Kenera klimata okeanitātes aprēķināšanas metodes pielietošanas koncepcija paredz pavasara un rudens temperatūru salīdzināšanu:

$$k_1 = \frac{100(T_o - T_a)}{E},$$

kur T_o un T_a ir oktobra un aprīļa vidējās gaisa temperatūras un E - mēnešu vidējo gaisa temperatūru gada amplitūda ($^{\circ}\text{C}$). Indeksā aprēķināšanas metodes autors tā izstrādi pamatoja ar faktu, ka pavasara mēnešu vidējās temperatūras ir zemākas nekā rudenī (Gavilan, 2005). Oktobra un aprīļa mēnešu vidējo gaisa temperatūru savstarpējo starpību izsaka pret mēnešu vidējo gaisa temperatūru gada amplitūdu. Iegūtās negatīvās vai zemās pozitīvās vērtības norāda uz klimata kontinentalitāti, bet to pieaugums apzīmē okeanitātes palielināšanos. Vērtības no 10 un lielākas - apzīmē izteiktu okeanitāti (Toros et al., 2008).

Konrāda indeksa (Minetti, 1989) atspoguļotais kontinentalitātes ģeogrāfiskais izkārtojums Latvijas teritorijā (10.9. att.) norāda uz pakāpenisku kontinentalitātes pieaugumu rietumu - austrumu virzienā. Indeksa vērtība ir tuvu 0 izteikti okeāniskos apstākļos, bet tuvu 100 - krasi kontinentālos. Latvijas teritorijā vērtību svārstības ir no 21 Baltijas jūras piekrastē līdz 32 Latgales augstienes austrumu daļā (Draveniece, 2007). Konrāda indeksu izsaka šādi:

$$K = \frac{1,7 A}{\sin(\varphi + 10^{\circ})} - 14,$$

kur A - aukstākā un siltākā mēneša temperatūru starpība un φ - novērojumu vietas ģeogrāfiskais platums (Draveniece, 2007).

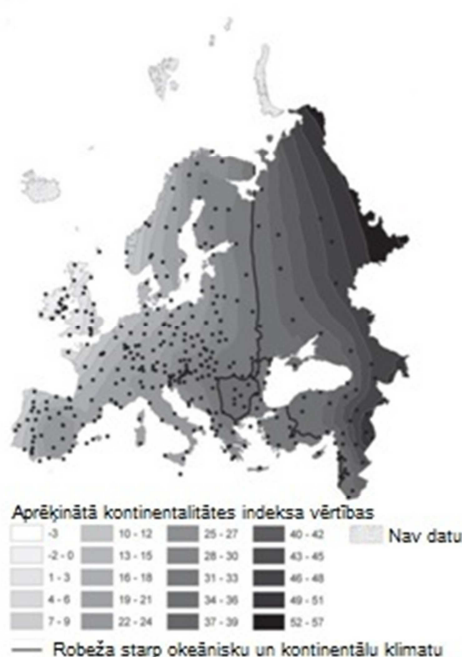


10.9. attēls. Konrāda kontinentalitātes indeksa ģeogrāfiskais sadalījums Latvijas teritorijā (pēc 30 meteoroloģisko novērojumu staciju datiem) (Draveniece, 2007).

Konrāda indekss ir biežāk lietotais Ziemeļamerikā, bet Eiropā viens no visplašāk izmantotajiem ir Gorczyński vienādojums (Gorczyński, 1922):

$$k = \frac{1,7(A - 12\sin\theta)}{\sin\theta} = \frac{1,7A}{\sin\theta} - 20,4,$$

kur k ir kontinentalitātes indekss, izteikts procentos, A ir gaisa temperatūru gada amplitūda (°C) un θ ir ģeogrāfiskais platums grādos (Mikolaskova, 2009). Izmantojot datus no 232 Eiropas meteoroloģisko novērojumu stacijām, ir aprēķināts termālās kontinentalitātes sadalījums Eiropā (10.10. att.). Iegūtie rezultāti uzrāda kontinentalitātes palielināšanos virzienā no ziemeļrietumiem uz dienvidaustrumiem, atspoguļojot identisku okeanitātes samazināšanās tendenci Latvijas teritorijā modelētajai (10.9. att.).



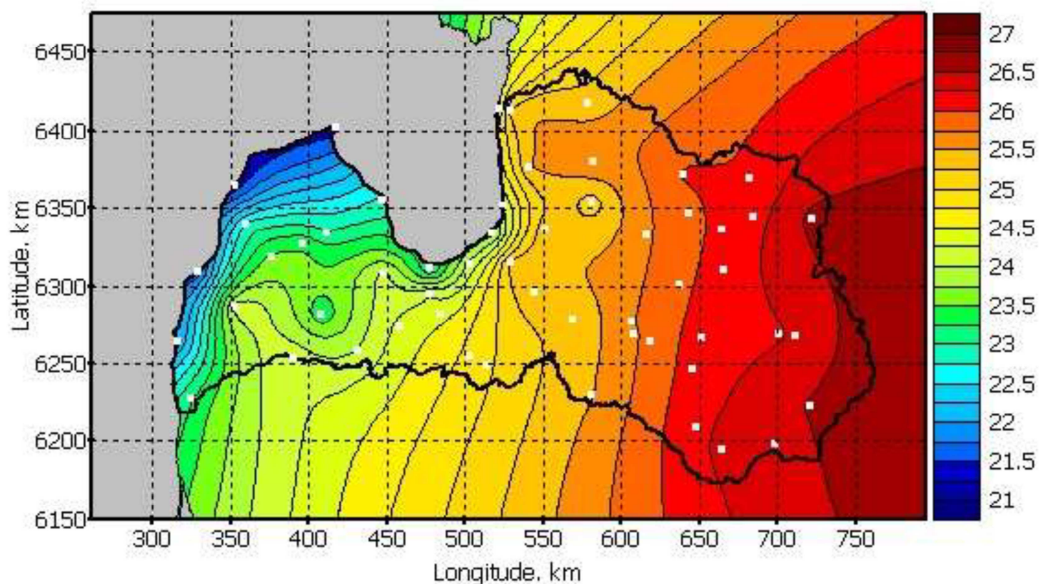
10.10. attēls. Termālās kontinentalitātes ģeogrāfiskais sadalījums Eiropā pēc Gorczyński vienādojuma (Mikolaskova, 2009).

Nākotnes klimatisko izmaiņu scenāriji

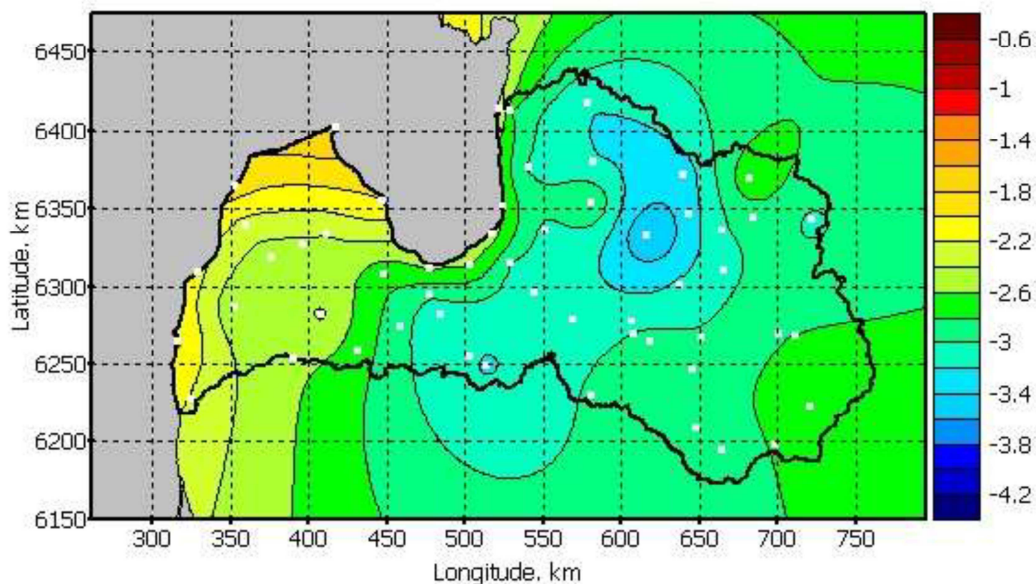
Konrāda kontinentalitātes indeksa vērtību ģeogrāfiskais sadalījums Latvijas teritorijai (10.9. att.) ir izveidots, balstoties uz gada mēnešu vidējo temperatūru vērtībām. Gaisa temperatūras gada amplitūdas reģionālais sadalījums meteoroloģisko novērojumu perioda 31 gada laikā (10.11. att.) rāda, ka temperatūru starpības palielinās no rietumiem uz austrumiem - no 21 °C Baltijas jūras piekrastē līdz 27 °C Latvijas austrumu reģionā. Potenciālās prognozētās nākotnes klimata izmaiņas (10.12. att.) Latvijas teritorijai paredz šādu reģionālu kontinentalitātes izpausmju mazināšanos, izlīdzinoties mēnešu vidējo gaisa temperatūru reģionālajām atšķirībām (Jansons et al., 2010).

Gaisa temperatūru gada amplitūdas samazinājums tiek prognozēts, balstoties uz potenciālo ziemas sezonas vidējo rādītāju samazinājumu. Klimata izmaiņu scenāriji šim gadsimtam, kas parakstīti projekta iepriekšējos pārskatos, rāda, ka gada vidējā temperatūra pieaugs visās sezonās.

Attiecīgi pēc sabalansēta tipa attīstības scenārija (A1B) vidējo izmaiņu gadījumā, par: 4,6 – 5,8 °C janvārī, 2,2 – 4,0 °C aprīlī, 2,5 – 4,3 °C jūlijā un 3,6 – 4,3 °C oktobrī. Kopumā 21.gs beigās, salīdzinot ar mūsdienām, Eiropas ziemeļu daļā un Baltijas jūras reģionā gada vidējā gaisa temperatūra pieaugs par vidēji par 3.2 °C, bet gada nokrišņu summa palielināsies par 9%.



10.11 attēls. Mēnešu vidējo gaisa temperatūru vērtību gada amplitūdas (°C) reģionālais sadalījums Latvijas teritorijā laika posmā no 1961. līdz 1990. gadam.



10.12. attēls. Mēnešu vidējo gaisa temperatūru vērtību gada amplitūdas (°C) reģionālā sadalījuma izmaiņas Latvijas teritorijā tuvajā (2021. - 2050.g.) nākotnē (vidējo izmaiņu scenārijs).

Salīdzinot prognozētās meteoroloģisko parametru nākotnes gada vidējās vērtības Eiropas kontekstā ar mūsdienām, Latvijas teritorijas nākotnes klimatisko apstākļu mūsdienu analogi ir novērojami Vācijas ziemeļrietumos, Rietumdānijā, Dienvidanglijā, Rietumfrancijas centrālās daļas Vjennas upes lejteces apvidū vai Slovēnijā (<http://www.ornl.gov>). Šie reģioni raksturojas kā Eiropas nemorālā dabas zona ar izteikti okeānisku klimatu. Tomēr lokāli klimatiskos apstākļus šajos apvidos ietekmē kalni ar augstumjoslojuma izpausmēm, kā arī ekspozīciju un ieplaku efektiem (Krauklis, Zariņa, 2002), izmainot arī atmosfēras parādību izraisīta virsmas apledojuma izveidošanās lokalizāciju un raksturu. Latvijas teritorijas klimatisko apstākļu okeānisko pazīmju dominances pieaugums nozīmē arī Ziemeļatlantijas cikloģenēzes ietekmes palielināšanos uz meteoroloģiskajiem apstākļiem ziemas periodā (Bartholy et al., 2006).

10.3. Sasalstoša lietus izraisīta apledojuma novērojumi

Augstkalnu un arktiskie apvidi ir teritorijas, kur atmosfēras parādību izraisīts apledojums rada visnopietnākās problēmas infrastruktūrai un satiksmes drošībai. Šajos reģionos veiktais regulārais apledojuma apjoma monitorings speciāli ierīkotos novērojumu punktos ar standartizētu datu ieguves metodiku (Fikke et al., 2005) nodrošina atmosfēras apledojuma parādību telpisku modelēšanu un atsevišķu iespējamo problēmu prevenciju.

Globālā skatījumā informāciju par apledojuma risku izplatību nosaka attiecīgo meteoroloģisko notikumu novērojumu datu pieejamība, bet šāda tipa mērījumi nav plaši izplatīti, un standartizēto novērojumu staciju dati ir nepietiekami. Atmosfēras apledojuma parādību monitorings visbiežāk tiek veikts saistībā ar paaugstinātu mehānisko slodžu risku, piemēram, lidostās, uz augstsprieguma elektrolīnijām vai augstceltnēm. Eiropas sadarbības organizācija zinātnes un tehnoloģiju jomā (COST) apvieno to dalībvalstu atmosfēras parādību izraisīta apledojuma monitoringu sistēmas, un iegūtā informācija nodrošina vienotu apledojuma parādību Eiropas mēroga modelēšanu un tālāku kartēšanu (Fikke et al., 2005). Attiecīgā monitoringa un prognozēšanas sistēma fokusējas tikai uz miglas, dūmakas un sarmas izraisīta infrastruktūras virsmas apledojuma problēmām Eiropā.

Novērojumu programmas ietver vairāku iespējamo meteoroloģisko parādību (piemēram, sarma, sniegs un slapjš sniegs) izraisīta apledojuma vai paaugstināta slogojuma monitoringu. Sasalstoša lietus kompleksā ģenēze ir iemesls, kāpēc nav korekti veikt tā izveidošanās starpreģionālos salīdzinājumus nākotnes prognožu kontekstā. Nav iespējams ticami pielīdzināt sasalstoša lietus izveidošanās Vācijas ziemeļrietumu mūsdienu apstākļus prognozētajam nākotnes klimatam Latvijas teritorijā. Uz līdzšinējos instrumentālos meteoroloģiskos novērojumus reģistrētajām gada vidējām gaisa temperatūrām balstītās nākotnes klimata izmaiņu prognozes nevar sniegt pilnīgu priekšstatu par sasalstoša lietus parādības izpausmēm nākotnē. Lietus nokrišņu izraisīta apledojuma izveidošanos nosaka apstākļu kopa, ietverot gan globālos, gan lokālos meteoroloģiskos apstākļus un konkrētās teritorijas fiziogēogrāfisko stāvokli. Tādējādi virsmas apledojumu izraisīta, sasalstoša lietus parādības veidošanās starpreģionāla salīdzināšana ir ļoti komplicēta. Ir tikai iespējams izvērtēt cēloņsakarības un sekas kādā noteiktā fiziogēogrāfiskā apvidū un izdarīt secinājums par procesiem un to izpausmēm attiecīgajos apstākļos. Savstarpēji potenciāli salīdzināmi pētījumi ir veikti pat ar vairāku gadu desmitu ilgiem

laika intervāliem. Tātad tas nozīmē arī atšķirīgu globālo meteoroloģisko fonu, kas, iespējams, ir ietekmējis sasalstošo nokrišņu parādības reģionālo raksturu.

Vienu no pētījumiem ar mērķi noskaidrot sasalstošu nokrišņu izveidošanās klimatoloģiskās atšķirības Eiropas reģionā (Carrière et al., 2000) veica Francijas meteoroloģiskais dienests 20.gadsimta deviņdesmitajos gados. Novērojumu tīklu veidoja SYNOP (surface synoptic observations) tipa automātiskie meteoroloģisko novērojumu punkti, kuri bija izvietoti ļoti plašā teritorijā, ņemot vērā Eiropas dabas reģionalitāti, tajā skaitā arī augstumjoslojumu (10.13. att.).



Apzīmējumi: ▲ - novērojumu punkts. Atkārtosšanās intervāls ik pēc katrām 0,2 %, attiecīgi no mazākā uz lielāko trīsstūri no 0,02 % līdz 1,4 %

10.13. attēls. Sasalstoša lietus nokrišņu atkārtosšanās ziemas sezonās no 1995. līdz 1998. gadam (Carrière et al., 2000).

Pētījumu veica laika posmā no 1995. līdz 1998. gadam, un novērojumu sezonas ilga no novembra līdz februārim. Novērojumu gaitā ir iegūti ziņojumi par virsmas apledojuma izveidošanos, kas ataino sasalstoša lietus vai smidzinoša lietus notikumu atkārtosšanās biežumu Eiropā, sniedzot priekšstatu par 15 līdz 19 gadus senu sasalstoša lietus notikumu periodu Rietumeiropā, ko definēja kā apledojuma slāņa izveidošanos uz Zemes vai objektu virsmas lietus laikā (Carrière et al., 2000).

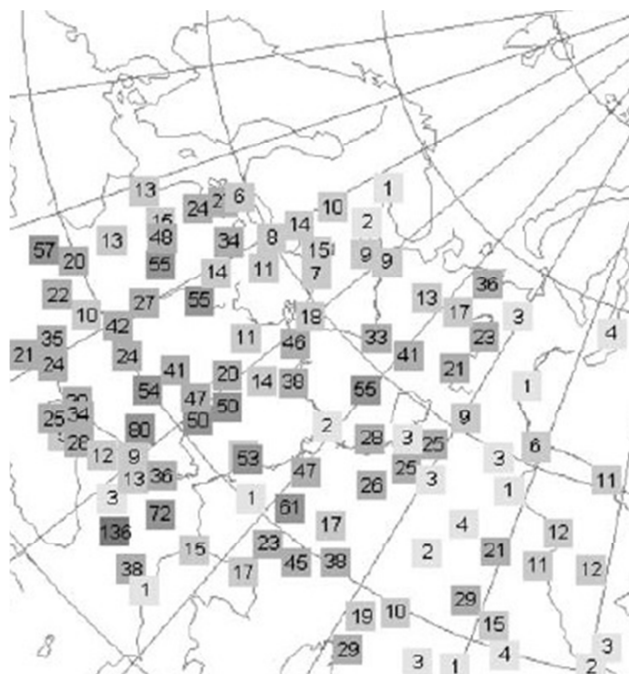
Lielākā daļa (90%) no pētījumā apsekotajām 434 meteoroloģisko novērojumu stacijām (10.13. att.) atradās zemāk par 500 m vjl. Kalnos izvietotās stacijas, piemēram, Francijas Centrālajā masīvā vai Abruco Apenīnos, deva ļoti regulārus ziņojumus par apledojuma izveidošanos diennakts laika posmā no 06:00 līdz 12:00 (Carrière et al., 2000), kas, protams, izskaidrojams ar kondensāta strauju atdzišanu uz aukstām virsmām kalnu apstākļos (Ryerson, 1988).

Rietumeiropā laika posmā no 1995. līdz 1998. gadam ir bijuši vairāki ziņojumi par ilgstošiem sasalstošu nokrišņu notikumiem ziemas sezonu sākumā, piemēram, 14 stundu ilgs smidzinošs, sasalstošs lietus Frankfurtē pie Mainas 1996. gada 17. decembrī. No novērojumu periodā iegūtajiem datiem ir aprēķināts notikumu atkārtosšanās reģionālais sadalījums, kas rāda,

ka sasalstoša lietus nokrišņi lielākoties skar Ziemeļeiropas, izņemot Dāniju, un Centrāleiropas reģionus. Rietumeiropas piekrastes teritorijās paaugstinātās okeanitātes ietekmē, izkritušie lietus nokrišņi relatīvi retāk tiek atdzesēti līdz sasalšanas temperatūrai. Jāņem vērā, ka Centrāleiropā viens no sasalstoša lietus izveidošanās faktoriem ir visai plašie augstumjoslojumu apgabali, kas, mijiedarbībā ar augstāku kontinentalitāti, nosaka zemākas piezemes gaisa temperatūras. Tādējādi tiek nodrošināts pastāvīgāks lietus nokrišņus dzesējošais gaisa slānis (Carrière et al., 2000). Centrāleiropā, tajā skaitā arī tās kalnu un augstieņu masīvos, novērotās sasalstoša lietus parādības ir ar visaugstāko aprēķināto atkārtēšanos (10.13. att.) (Carrière et al., 2000).

Sasalstoša lietus nokrišņu atkārtēšanās Eiropas reģionālo sadalījumu skaidro ar kontinentalitātes un okeanitātes reģionālajām izpausmēm, kas ir atšķirīgas, piemēram, Vācijas dienvidos un Čehijas rietumos salīdzinājumā ar Ziemeļjūras dienvidu piekrasti (10.10. att.). Lai arī Centrāleiropas valstis atrodas šķietami iekškontinentālos apvidos, tām aprēķinātās kontinentalitātes skaitliskās vērtības ir līdzīgas kā Latvijas teritorijai noteiktās. To izskaidro Eiropas "pussalas" konfigurācija attiecībā pret okeānisko, mitro gaisa masu un Sibīrijas iekškontinentālo gaisa masu pārnesei.

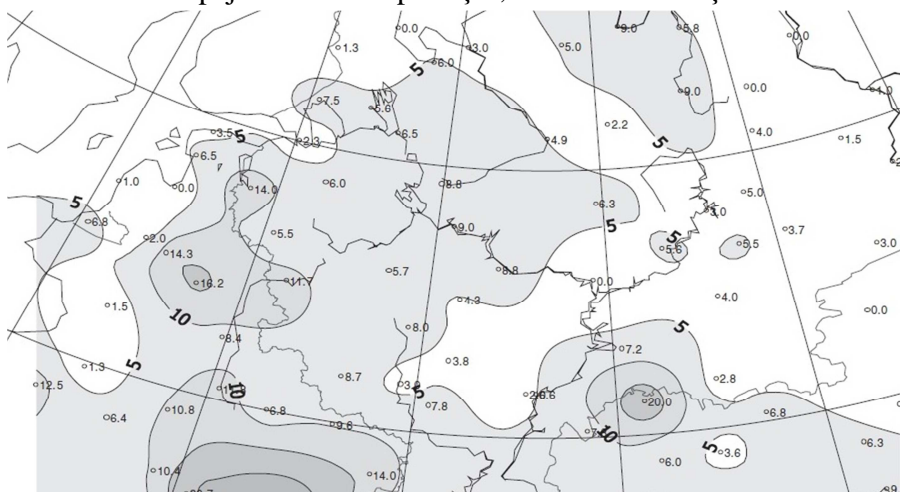
Aptuvenam reģionālam salīdzinājumam ir apskatāms 2006. gadā publicēts Krievijas zinātnieku veikts pētījums. Tajā ir analizēti dati no bijušās PSRS teritorijā veiktajiem sasalstoša lietus novērojumiem 220 punktos laika posmā no 1971. līdz 1990. gadam, izmantojot datus (Bezrukova et al., 2006) ar stundas intervālu no 80 novērojumu stacijām (10.14. att.). Līdzīgi kā Francijas meteorodienestā veiktajā pētījumā, arī šajā gadījumā tika fiksēts brīdī, kad lietus nokrišņu laikā ir izveidojies ledus slānis uz Zemes vai objektu virsmas.



10.14. attēls. Kopējais sasalstošo nokrišņu notikumu skaits Eiropas austrumos laika posmā no 1981. līdz 1990. gadam (Bezrukova et al., 2006).

Austrumeiropas reģionā novērotās apledojuma noturības rādītāju augstāko vērtību telpiskais sadalījums sakrīt ar kalnu un augstieņu reģioniem, lai arī kopumā dziļāk iekškontinenta apstākļos un ziemeļu virzienā apledojuma noturības ilgums palielinās. Reljefa pacēluma apvidos arī iezīmējās lokālas atšķirības, piemēram, vēja puses un ziemeļu ekspozīcijas nogāzēs apledojums saglabājās ilgāk (Bezrukova et al., 2006). Kontinentalitātes reģionālā sadalījuma raksturs (10.9. att.) Latvijas teritorijā sakrīt ar novēroto lietus nokrišņu sasalšanas potenciālu uz atdzesētām virsmām (Bezrukova et al., 2006), kas pieaug virzienā no rietumiem uz austrumiem (10.15. att.). Austrumlatvijā fiksētais lietus nokrišņu ilgums pie negatīvām gaisa temperatūrām ir divas reizes lielāks nekā citos mūsu valsts reģionos (<http://worldweather.wmo.int>).

Cikloniskās darbības ietekmē ziemas sākuma posmā Latvijas teritorijā izveidojas situācija ar atkušņiem un lietu valsts rietumos, kas graduāli austrumu virzienā pāriet sasalstoša, smidzinoša lietus un sniega veidā, jo samazinās gaisa temperatūra uz Zemes virsmas, samazinoties Baltijas jūras siltumatdeves ietekmei (10.15. att.). Tāpēc, izveidojoties siltajai atmosfēras fronteī, dziļāk iekškontinentālos apstākļos izkritušie lietus nokrišņi aukstā gaisa ietekmē sasalst, sasniedzot Zemes virsmu. Baltijas jūras tiešā tuvumā ziemas sākumā jūras ūdens akumulētais siltums spēj nodrošināt apstākļus, lai lietus nokrišņi nesasaltu.

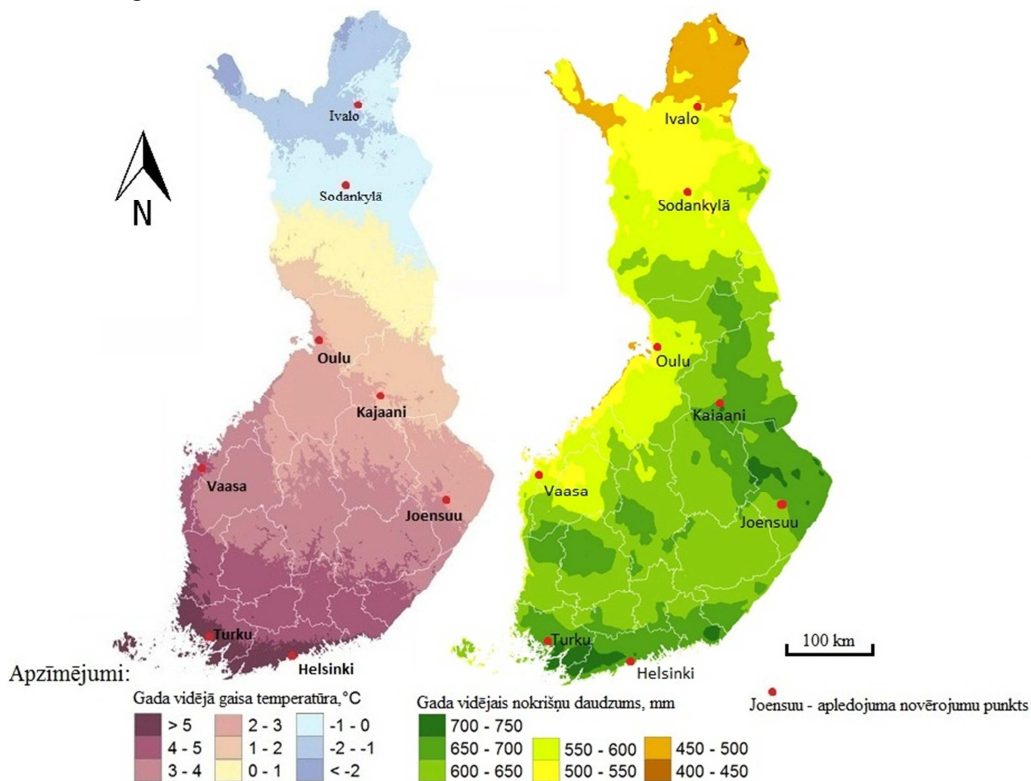


10.15. attēls. Februāra mēneša vidējais lietus nokrišņu ilgums stundās pie negatīvām gaisa temperatūrām (1971 - 1990) (Bezrukova et al., 2006).

Kā labs papildinājums Austrumeiropas raksturojumam ir Somijā izstrādāts pētījums, kas ietver 23 gadu (1965 - 1988) ilgus novērojumus valsts lidostu teritorijās (10.16. attēls). Krievijas un Somijas pētījumos novērojumu periodu atbilstība nodrošina iespēju izvērtēt sasalstošo nokrišņu reģionālās raksturiezīmes. Somijas pētījumā izvēlētais novērojumu vietas reprezentēja valsts dienvidu daļu (Turku, Helsinki), piekrasti (Vaasa, Oulu, Turku, Helsinki), valsts centrālo (Kajaani), austrumu (Joensuu) un ziemeļu daļu (Ivalo, Sodankylä). Ziemeļos reljefa pacēluma apstākļos apledojuma monitoringa stacijas izvietotas aptuveni 500 m v.j.l. augstumā (Makkonen, Ahti, 1995).

Somijā papildus sasalstoša lietus notikumu fiksēšanai noteica arī tā rezultātā akumulētā ledus slodzes apjomu un šim mērķim izmantoja modificētu Makkonen modeli. Nokrišņu apledojuma veidošanās novērojumus veica reizi sešās stundās uz 10 m relatīvajā augstumā novietota 5 cm diametra cilindra. Nokrišņu tipa definēšanai tika pieņemts, ka sasalstošs, viegls un

smidzinošs lietus, atšķirībā no parasta sasalstoša lietus, ir nokrišņi, kuru pilieni nepārsniedz 0,5 mm diametru, un tie izkrīt no *Stratus* (slāņu) vai *Stratocumulus* (slāņu gubu) tipa mākoņiem. Novērojumu nozīmīgumu klasificēja pēc tā ilguma - sasalstošam lietus vismaz 30 minūtes, bet sasalstošam, vieglam smidzinošam lietus - 60 minūtes (Makkonen, Ahti, 1995).

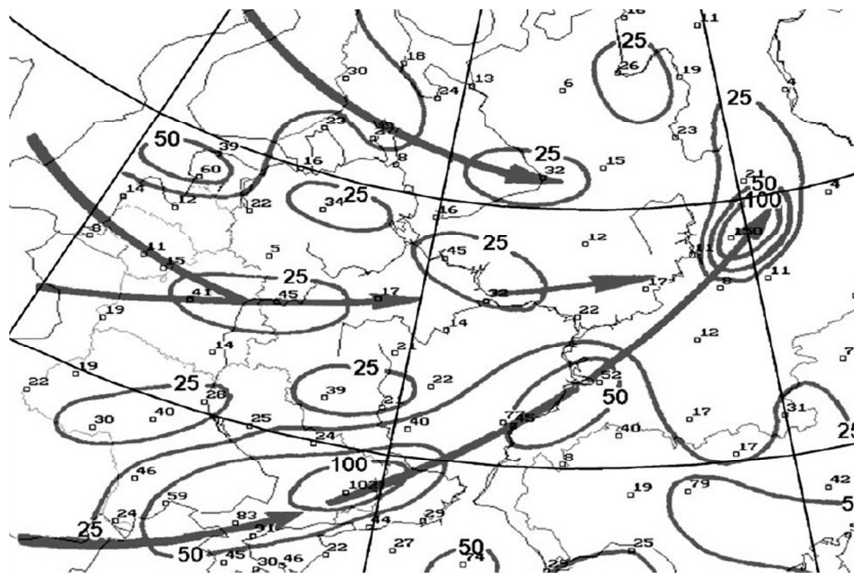


10.16. attēls. Apledojuma novērojumu punkti Somijas lidostās (Makkonen, Ahti, 1995).

Somijā kopumā visa gada laikā novēroti vidēji 0,65 nozīmīgi sasalstošo nokrišņu notikumi, un to ģeogrāfiskā mainība bija ļoti zema. Pētījuma rezultāti rāda, ka 18 % no apledojumu izraisošajām atmosfēras parādībām ir sasalstošs lietus un 79 % - smalks, smidzinošs, sasalstošs lietus. Novēroto nozīmīgo notikumu ģeogrāfiskās izplatības reģionalitātes raksturs atspoguļojas kopējā nokrišņu sadalījumā visas valsts mērogā (10.16. att.). Apvidos ar zemāku gada vidējo nokrišņu summu ir mazāks nozīmīgo sasalstošo nokrišņu notikumu skaits, un otrādi. Novērojumu vietās ar lielu skaitu nozīmīgo notikumu to atkārtotāšanās intervāls bija īsāks un reģistrētais nogulumu akumulācijas apjoms bija salīdzinoši zems (Makkonen, Ahti, 1995).

Līdzīgi kā Latvijas teritorijā, arī Igaunijā un Karēlijas zemes šauruma apvidū, Baltijas jūras ziemas siltumapmaiņas ietekmē, no 1971. līdz 1990. gadam novērotā vidējā lietus nokrišņu ilguma pie negatīvām gaisa temperatūrām vērtības pieaug iekšzemes virzienā (Bezrukova et al., 2006). Baltijas jūras piekrastē šāda tendence atspoguļojas arī Somijā veiktajos novērojumos, kad piekrastē pie salīdzinoši augstas viena notikuma nokrišņu intensitātes maksimālais akumulēto nogulumu apjoms ir zemāks nekā pie mazākas nokrišņu intensitātes iekškontinentālos apstākļos. Šīs atšķirības ir konstatētas, piemēram, starp Oulu un Sodankilas novērojumiem (10.16. att.) (Makkonen, Ahti, 1995). Oulu – Rietumsomijas kontinentalitātes pakāpe (10.10. att.) ir tāda pati kā Viduslatvijai un Rietumigaunijai (Mikolaskova, 2009).

Uz austrumiem no Eiropas submeridionālās ass (10.7. att.) spilgti izpaužas okeānisko un kontinentālo gaisa masu savstarpējā mijiedarbība (10.17. att.), kad ziemeļrietumu un jo īpaši dienvidrietumu ciklonu nestās siltās vidusplatumu gaisa masas saskaras ar Sibīrijas anticiklona pārvietotajām aukstajām gaisa masām (Bezrukova et al., 2006).



10.17. attēls. Februāra mēneša vidējā sasalstoša lietus izraisītā apledošanas noturība stundās uz novērojumu stieplēm un ciklonu iekškontinentālās pārvietošanās trajektorijas (1971 - 1990) (Bezrukova et al., 2006).

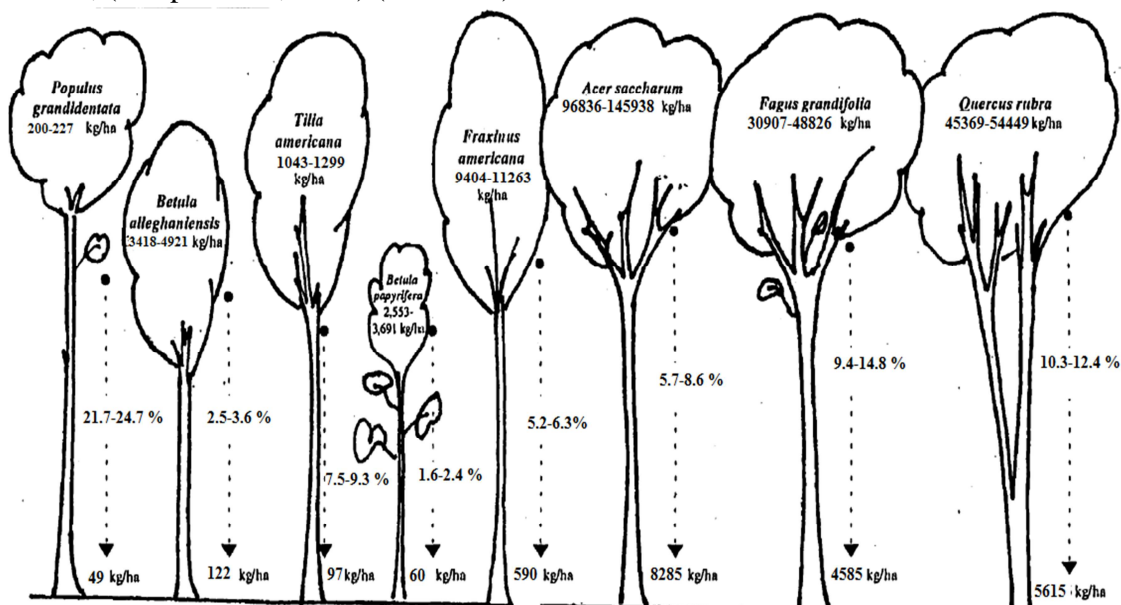
Latvijas teritorijā priekšziemas periodā – novembra beigās – pieaug ziemas gaisa masu – arktisko un subpolāro apakštipu īpatsvars. Šajā periodā dažkārt ieplūst arī subtropiska vai vidusplatumu tipa gaisa masas, izraisot pasiltināšanos vai atkušņus. Ieplūstošās gaisa masas var būt gan okeāniska, gan kontinentāla tipa – attiecīgi mitras (relatīvais mitrums $\geq 80\%$) un sausas (relatīvais mitrums $< 50\%$) (Draveniece, 2007).

10.4. Sasalstoša ledus un sniega radītā slodze kokiem

Sasalstoša lietus apledojums var radīt ļoti nopietnus koku mehāniskos bojājumus, izraisot to bojāeju vai ievērojami samazinot virszemes biomasas apjomu un fotosintezējošo auga daļu kopējās virsmas laukumā. Šāda ledus akumulācija ir viens no visbiežākajiem un postošākajiem dabiskajiem traucējumiem mērenajā klimata joslā (Goodnow et al., 2008; Irland, 2000; Olthof et al., 2003).

Ledus vētras izmaina dzīvās un nedzīvās biomasas proporciju mežā, samazina vainaga augstumu un lapu platības indeksu, izraisot organisko vielu satura palielināšanos augsnē. Nobiru apjoms, kurš rodas pēc vētras, ir nozīmīgs faktors, aprēķinot oglekļa bilanci meža ekosistēmā (Hooper et al., 2001). Vienas ledus vētras laikā kopējais biomasas apjoms nobiru veidā var pieaugt par 10 līdz 20 reizēm salīdzinājumā ar ikgadējo vidējo nobiru apjomu, piemēram,

Amerikas Savienotajās Valstīs pēc 1998. gada ledus vētras *Mont St. Hilaire* cilvēku saimnieciskās darbības neskartā mērenās zonas lapu koku mežā nobiru apjoms sasniedza 19,4 tonnas ha⁻¹, (Hooper et al., 2001) (10.18.att.).



10.18.attēls. Izmaiņas biomasas sadalījumā mērenās zonas lapu koku mežā pēc 1998. gada ledus vētras *Mont St. Hilaire* (Hooper, 1999).

Ziemeļeiropā snieglauzes visbiežāk notiek vēlā rudenī vai agrā pavasarī. Šajā laikā raksturīgas biežas temperatūras svārstības un slapjš sniegs, kā arī novērots sasalstošs lietus vai sarmas veidošanās. Savukārt Centrāleiropā šādi bojājumi visbiežāk notiek laikā no septembra līdz maijam (Rottman, 1985). Katru gadu Ziemeļeiropas un Centrāleiropas meža masīvos sniega, ledus un sarmas bojājumu rezultātā tiek zaudēti vidēji 4 milj. m³ koksnes (Rottmann, 1985). Lielbritānijā, Ziemeļjorkšīras Vukehamas mežos, 1987. gadā notikušās vētras laikā kopējais sniega un sasalstoša lietus radīto zaudējumu apjoms sasniedza 80 tūkst. m³ (Wright, Quine, 1993). Vācijā sniega izraisīti bojājumi konstatēti vidēji ik pa 3 līdz 7 gadiem (Rottman, 1985). Zviedrijā pagājušā gadsimta otrajā pusē kopumā bijušas 10 ziemas, kurās Zviedrijas mežsaimniecībai tika nodarīti nozīmīgi zaudējumi; sniega vētrās konstatēto bojājumu apmērs variēja robežās no 100 000 līdz 1 milj. m³ katru ziemu (Schroeder, Eidmann, 1993).

Ledus akumulācijas izraisīto bojājumu apjomu ietekmē ne vien meteoroloģiskie apstākļi, kādos rodas apledojums, bet arī floras un faunas reakcija uz ledus akumulēšanos (Bragg et al., 2003). Apledojuma ietekme vērtējama gan individuāla koka, gan audzes un ainavas (meža masīva) līmenī (Irland, 2000).

Meteoroloģiskie apstākļi, kas nosaka slodzi un postījumus, to izmaiņu prognozes

Ledus akumulācijas izraisītos bojājumus mežaudzē nosaka uz koka esošā apledojuma, slapja sniega vai to kombinācijas masa. Bojājumu apjoms palielinās nenasalušas augsnes, kā arī pastiprināta vēja apstākļos; vējš ietekmē kokus gan tieši - palielinoties slodzei uz kokiem, gan netieši - veicinot apledojuma un/vai sniega masas sadalījuma asimetriju (gan uz atsevišķiem zariem, gan koka vainagā kopumā). Koka mehāniskā noturība ir atkarīga ne vien no sniega un

ledus apjoma, bet arī no to akumulēšanās radītās slodzes ilguma uz stumbru un vainagu. Kopējais ledus veidošanās laiks un akumulācijas apjoms ir atkarīgs no nokrišņu intensitātes, meteoroloģiskā notikuma ilguma, temperatūras un citiem faktoriem (Bragg et al., 2003). Postījumu apmērs cieši saistīts ar vēju, sniegu un lietu, kuri bieži norisinās vienlaicīgi ar apledošanas veidošanos. Ziemeļamerikā veiktajos novērojumos ir konstatēts, ka sasalstoša lietus nokrišņu laikā vēja ātrums un nokrišņu intensitāte ir zema līdz vidēja. Vēja ātruma izmaiņas ietekmē sasalušo nokrišņu akumulācijas apjoma sadalījumu uz koka vainaga. Bezvēja apstākļos nogulumu akumulācija ir simetriska pa visu vainaga perimetru, bet vēja ietekmē veidojas asimetriska nogulumu akumulācija, pārsvarā vienā koka pusē (Peltola, 2006).

Lielākās sniega un ledus slodzes uz kokiem veidojas, kad apkārtējā gaisa temperatūra nokrišņu laikā (sarma, sniegs, slapjš sniegs, sasalstošs lietus) ir robežās no -3° līdz $+1^{\circ}$ C, parasti neliela vēja klātbūtnē. Šādos apstākļos sniegs ļoti labi pielīp pie koka stumbra un zariem (Carter et al., 2005; Gregow, 2013; Valinger et al., 1993). Ledus parasti veidojas, kad lietus krīt uz atdzesētas virsmas, kuras temperatūra ir zemāka par 0° C (Bragg et al., 2003). Lietus un miglas pilieni, kuri zemās temperatūrās akumulējās uz kokiem, ledus un sarmas veidā rada papildus 50 līdz 60% lielu slodzi (Nykänen et al., 1997). Ledus un sarmas bojājumu raksturs ir ļoti līdzīgs tiem bojājumiem, ko kokiem nodara sniega akumulēšanās (Nykänen et al., 1997). Sniega bojājumi sākas, kad uz vainaga un stumbra akumulētā sniega masa pārsniedz kritisko (koka mehāniskās izturības) robežu.

Akumulētā ledus apjoms uz kokiem variē plašās robežās; Ziemeļamerikā vētra tiek uzskatīta par ledus vētru, ja uz koka zaru un stumbra virsmām tiek akumulēts vismaz 6 mm biezs ledus slānis (Ireland, 2000), taču ledus kārtā var izveidoties pat 15 cm biezumā (Bragg et al., 2003). Ir zināmi gadījumi, kad Ziemeļamerikā notikušās ledus vētrās, ledus slāņa biezums sasniedzis 20 cm, un 15 m augsts koks ar vainaga diametru 6 m ledus vētras laikā akumulējis pat 4,5 tonnas ledus (Oliver, Larson, 1996). Pastāv uzskats, ka nozīmīgi bojājumi kokiem rodas, kad ledus slānis uz zariem pārsniedz 1-2cm (Greene et al., 2007). Uz koku stumbriem vidējais novērotais akumulētā ledus slāņa biezums Amerikas Savienoto Valstu ziemeļaustrumos ir aptuveni 2,5 cm, bet ekstremālos apledošanas notikumos ir fiksēts 20 cm biezs ledus slānis, tādējādi palielinot zaru svaru līdz pat 100 reizēm (Hauer et al., 2008).

Prognozēto klimata izmaiņu rezultātā Somijas dienviddaļā samazināsies sasalušas augsnes periods no 4-5 mēnešiem līdz 2-3 mēnešiem (Kellomäki et al., 2010). Šāda klimata scenārija gadījumā vairāk tiks bojātas jaunaudzis un vidēja vecuma priedes un bērza audzes; koki biežāk tiks izgāzti ar visām saknēm (Kellomäki et al., 2010; Peltola et al., 1999). Kā liecina projekta iepriekšējos pārskatos aprakstītās prognozes, kopumā 21.gs beigās, salīdzinot ar mūsdienām, Eiropas ziemeļu daļā un Baltijas jūras reģionā gada vidējā gaisa temperatūra pieaugs vidēji par $3,2^{\circ}$ C, bet gada nokrišņu summa palielināsies par 9%.

Klimata izmaiņu scenāriji šim gadsimtam liecina, ka vidējā temperatūra pieaugs visās sezonās. Saskaņā ar attīstības scenāriju A1B vidējo izmaiņu gadījumā globāli prognozēta temperatūras paaugstināšanās par $4,6 - 5,8^{\circ}$ C janvārī, $2,2 - 4,0^{\circ}$ C aprīlī, $2,5 - 4,3^{\circ}$ C jūlijā un $3,6 - 4,3^{\circ}$ C oktobrī. Savukārt Somijā zinātnieki prognozē, ka tuvākajos 60 gados vidējā gaisa temperatūra šajā valstī pieaugs par $4 - 7^{\circ}$ C (pēc A1B attīstības scenārija); tiek prognozēts arī, ka ziemas periodā palielināsies spēcīgu lietusežu gadījumu skaits un nokrišņu daudzums pieaugs

par 20- 30 % (Jylhä et al., 2009), kas tādējādi palielina iespējamību, ka veidosies sasalstošais lietus, un palielināsies nokrišņu apjoms sniega veidā. Gregow (2013), par pamatu izmantojot no 1961. līdz 1990. gadam veiktus novērojumus, modelējis izmaiņas sniega izkrišanas biežumā Somijas teritorijai. Autors skaidro, ka laika periodā no 1990. līdz 2020. gadam visā valstī vidēji dienu skaits gadā ar sniega slodzēm, lielākām par 20 kg m⁻², samazināsies par 11 %, bet laika periodos no 2020. līdz 2050. gadam un no 2070. līdz 2099. gadam - attiecīgi par 23% un 56 %. Savukārt modelējot izmaiņas atsevišķi Somijas dienvidu un austrumdaļai, tiek prognozēts, ka laika periodā no 1990. līdz 2020. gadam šajā valsts daļā pieaugs gadījumu skaits ar lielām sniega slodzēm virs 30 kg ha⁻² (Gregow et al., 2011). Sagaidāms arī, ka Somijas dienviddaļā un austrumdaļā laika periodos no 2020. līdz 2050. gadam pieaugs par 22-45 % (salīdzinot ar laika periodā no 1990. līdz 2020. gadam) liela apjoma sniega izkrišanas biežums (Carter et al., 2005; Gregow, 2013; Raisanen, 2008).

Bojājumi un noturību nosakošie faktori atsevišķiem kokiem (individuāla koka līmenī)

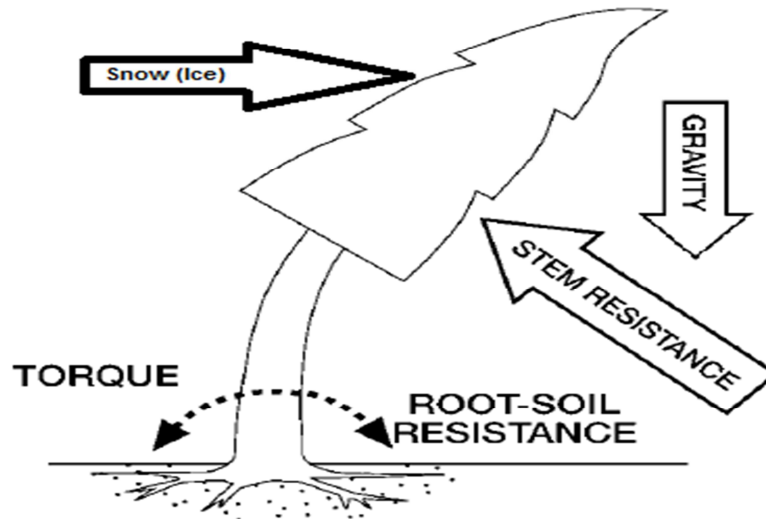
Nozīmīgākās koku īpašības, kas nosaka to noturību pret apledojuma slodzi, dažādām sugām ir ļoti atšķirīgas. Ledus bojājumu apmērs atkarīgs no konkrētās sugas, koksnes blīvuma un zarainības, ko savukārt ietekmē audzes biezība un koku augšanas ātrums. Ledus vētru atkātošanās, bojājuma raksturs, koku tolerance pret ledus un sniega akumulāciju, noturība pret infekcijām un kukaiņu uzbrukumiem nosaka koka turpmāko dzīvotspēju. Koku stumbru strukturālā integritāte, galvenokārt atkarīga no akumulētā ledus daudzuma un koksnes fiziskāli mehāniskajām īpašībām (Bragg et al., 2003). Individuālu koku spēja izturēt ledus slodzi ir cieši saistīta ar vairākiem faktoriem – koksnes stiprību, stumbra taisnumu, sakņu sistēmas vitalitāti, vainaga simetriskumu un zarojuma struktūru. Novirzes vai nepilnības kādā no šiem rādītājiem var veicināt bojājumu rašanos (Päätaalo et al., 1999).

Kopumā visnenoturīgākie pret ledus akumulācijas slodzi ir mežaudžu malās un atvērumos vai klajumos augoši koki ar neproporcionāliem un platiem vainagiem (Larson, 1963). Bieži bojājumu cēlonis ir nevienmērīga nokrišņu akumulēšanās, ko veicina koka morfoloģijas īpatnības un vainaga asimetrija, kas nosaka nevienmērīgu un mainīgu slodzes sadalījumu (Turcotte et al., 2012).

Nogulumiem akumulējoties vienā vainaga pusē, uz stumbru tiek radīta slodze horizontālā virzienā, nedaudz to noliecot, un papildus tai šajā brīdī uz stumbru sāk darboties gravitācijas spēks, radot slodzi vertikālā virzienā. Brīdī, kad pieliktais spēks (sniega un ledus slodze) nav līdzsvarā ar pretdarbības spēku, sistēma sabrūk vai deformējas, respektīvi, kad stumbra vai sakņu rezistence ir mazāka par papildus slodzi, tad stumbrs vai saknes lūzt (10.19.att.) (Peltola, 2006).

Pētījumos Ziemeļamerikā konstatēts, ka terpentīna priedēm (*Pinus taeda* L.) 18 - 20 gadu vecumā koki, kuri bija noliekti no stumbra garenass ne vairāk kā par 40°, spēja atgūt vertikālu stāvokli 2 gadu laikā, 40° līdz 60° leņķī noliektie koki 2 gadu laikā spēja atliekties, saglabājot nelielu ieliekumu, savukārt, ja koki bija saliekušies vairāk kā par 60°, tad tie neizdzīvoja (Bragg, Shelton, 2010; Nykänen et al., 1997). Tomēr kokiem, kuri ilgāku laiku (vismaz piecus gadus) ir bijuši saliekti (vismaz par 20-25° no stumbra garenass), konstatētas koksnes kvalitāti pazeminošas problēmas, tāpēc saliektas priedes iesaka izvākt, jau veicot sniega un/vai ledus

vētras radīto seku likvidācijas pasākumus, negaidot to iespējamo atliekšanos (Patterson, Hartly, 2007).



Apzīmējumi un to tulkojumi: Snow (Ice) – sniegs (ledus); gravity- gravitācijas spēks; stem resistance - stumbra rezistence, torque – lūzuma moments; root-soil resistance - sakņu rezistence

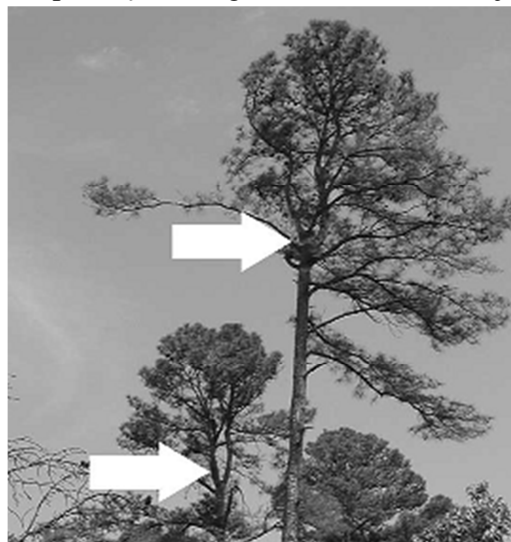
10.19.attēls. Stumbra noturība pret mehāniskiem bojājumiem (Peltola, 2006).

Priedei (*Pinus sylvestris*) un bērzam (*Betula pendula* un *Betula pubescens*) sasalušas augsnes apstākļos kā sniega un ledus bojājumus lielākoties novēro stumbra lūzumu vai liekumu, savukārt nesasalušas augsnes apstākļos var novērot koka izgāšanos ar visām saknēm, kas parasti vairāk raksturīgi eglei (*Picea abies* (L.) H.Karst) tās salīdzinoši seklās sakņu sistēmas dēļ (Gregow, 2013). Koku izgāšana var notikt, ja akumulētā sniega un ledus slodze pārsniedz sakņu stiprību (Valinger et al., 1993). Koku izgāšanās raksturīga veciem kokiem ar lielu stumbra caurmēru un vainagu (Peltola et al., 1999), tomēr koku izgāšanās sastopama arī jaunās un koptās audzēs (Hlásny et al., 2011). Sakņu noturību pret izgāšanos var izteikt ar formulu: $\text{augstums} \times d^2$, kas nozīmē, ka stumbra caurmēra ietekme uz koku izgāšanos ir ievērojami lielāka nekā augstuma ietekme. Ņemot vērā, ka ziemas periodā meža augsnes pārsvarā ir sasalušas, tad koku izgāšanās risks ir zemāks, salīdzinājumā ar stumbra lūzumu vai liekumu rašanās iespēju (Peltola et al., 1999). Gadījumos, kad vēja slodze uz vainagu pieaug vienlaicīgi ar vismaz 20 kg m^{-2} lielu sniega slodzi, stumbra lūzumi var rasties biežāk nekā koku izgāšana ar visām saknēm (Gregow, 2013).

Sniega uzkrāšanās un ledus veidošanās var izraisīt arī atsevišķu zaru nolūšanu. Šajā aspektā liela nozīme ir leņķim, ko veido zars ar stumbra garenasi – jo platāks šis leņķis, jo lielāka sniega akumulēšanās iespēja uz tiem. Tomēr uz zariem, kas nedaudz noliekušies uz leju no horizontālā stāvokļa (raksturīgs eglei) liela sniega daudzuma akumulēšanās varbūtība ir mazāka (Haurer et al., 2008; Nykänen et al., 1997). Pētījumā par Sitkas egles (*Picea sitchensis*) zaru izturību pret akumulēta ledus mehānisko iedarbību noskaidrots, ka zars, kura garums lielāks par 30 cm un kuram ir pieci pāri perpendikulāru laterālo dzinumu, lūst, slapja sniega kārtas slānim sasniedzot 4 - 8 cm biezumu; sniega kārtas pārbaudēs bija uzklāta vienmērīgā slānī visā zara un tā laterālo dzinumu garumā. Salīdzinājumam, 30 cm bieza slapja sniega kārtas var radīt $5 - 10 \text{ kg m}^{-2}$ lielu

slodzi (Tomaszewski, Ruszczak, 2013). Vienkāršoti aprēķini rāda, ka vislielākais lieces moments uz zariem ir aptuveni 0,2 m attālumā no stumbra (Greene et al., 2007).

Vidēja sniega un ledus apjoma akumulācijas gadījumos bojājumi var izpausties kā vainaga augšējās daļas (galotnes) lūzumi, bet liela sniega un ledus apjoma izraisīti bojājumi - kā stumbra lūzumi (Irland, 2000; Nykänen et al., 1997; Zubizareta – Gerendiain et al., 2012). Atšķirības lūzuma augstumā nosaka koka suga un vecums, taču visbiežāk novērots, ka lūzums noticis zonā 25-30% no koka augstuma, mērot no stumbra pamatnes (Nykänen et al., 1997). Piemēram, eglei raksturīgi jaunāko dzinumu lūzumi, savukārt parastajai priedei un bērzam lūzumi raksturīgi vainaga vidū, tieši zem vainaga vai tuvāk sakņu kaklam. Ja lūzums bijis vainaga daļā un koks spējis atjaunoties, tad tam parasti izveidojas vairākas galotnes (10.20.att.). Lūzums zaļā vainaga zonā samazina ikgadējo pieaugumu, un pasliktinās koka pozīcija audzē; bieži vien koki pietiekami ātri atgūst vitalitāti, tomēr iespējama koksnes vērtības samazināšanās (Nykänen et al., 1997). Ja lūzums noticis zemāk par zaļo vainagu, tad koks aizies bojā.

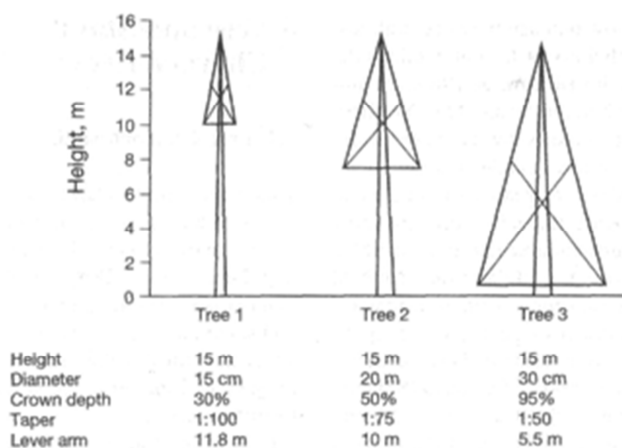


10.20.attēls. Sniega un ledus izraisītas stumbra un vainaga deformācijas (Bragg et al., 2003).

Vienas un tās pašas sugas ietvaros vienas mežaudzes līmenī stumbra lūšanas atšķirības nosaka atšķirīgais koksnes relatīvais blīvums stumbros; koksnes blīvums mainās dažādās stumbra zonās (Bragg et al., 2003). Kokiem ar mazāku koksnes blīvumu ir mazāka rezistence pret bojājumiem nekā kokiem ar blīvāku koksni (Bragg et al., 2003). Lenhart et al. (1977) noskaidrojuši, ka terpentīna priedei (*Pinus taeda* L.) saknēs un stumbra vainaga daļā relatīvais koksnes blīvums ir mazāks nekā stumbra pamatnes daļā. Koksnes blīvums stumbra garumā samazinās vidēji par 44 kg m⁻³ virzienā uz augšu (Patyakin et al., 1990). Šīs atšķirības ļauj izprast, kādēļ koki galvenokārt lūzt vainaga daļā vai tiek izgāzti. Koku lūšanu pie pamatnes parasti izraisa stumbra koksnes kvalitāti ietekmējoši defekti, piemēram, trupe, māzeri u.c. (Bragg et al., 2003).

Stumbra lūzumi vai koku izgāšanās visbiežāk novērojama kokiem, kuri aug audzes malās, kur papildus sniega slodzei ir lielāka arī vēja ietekme. Koki ar slaidākiem stumbriem var salūzt pie salīdzinoši mazākām slodzēm nekā tāda paša augstuma un sugas koki ar lielāku stumbra caurmēru. Šauri, koniski vai piramidāli vainagi (eglei) ir rezistentāki pret sniega bojājumiem nekā citas vainaga formas (piemēram, apaļi, plati vainagi, „vāzes” formas, kā gobai, ozolam), jo

tiem ir mazāks horizontālās virsmas laukums Päätaalo et al. (1999) konstatējuši, ka stumbra raukums ir galvenais faktors, kurš nosaka vēja bojājumu apjomu priežu un egļu audžu malās augošajiem kokiem, tāpat autori norāda, ka stumbra raukums ietekmē sniega bojājuma apmērus priežu un egļu audzēs. Gadījumos, kad uz priedes un egles vainagu un stumbru ir vismaz 60 kg m^{-2} liela sniega slodze un papildus tai 9 m s^{-1} liela vēja ietekme, slaidākiem stumbriem (kokiem ar augstumu no 12 līdz 24 m, h/d attiecība ir vismaz 0,83) ir lielāks risks lūzt, savukārt sniega bojājumu īpatsvars samazinās, palielinoties stumbra raukumam. Stumbra raukuma koeficients ir nozīmīgs rādītājs arī ledus bojājumu gadījumos; koki ar slaidiem stumbriem cieš vairāk nekā koki ar lielu stumbra raukuma koeficientu, kritiskā robeža ir no 0,90 līdz 1,00 (Bragg et al., 2003; Cannell, Morgan, 1989; Nykänen et al., 1997). Nykänen et al. (1997) norādījuši, ka kokiem ar slaidiem stumbriem, kuriem stumbra raukuma koeficients (h/d) bija robežās no 0,90 līdz 1,00 (15 m augstums un 15 cm caurmērs), vairāk cieta no sniega bojājumiem nekā koki ar zemāku stumbra koeficientu. Dažām sugām, piemēram, ozoliem, klajumos augošie koki spēj izveidot spēcīgu zarojuma struktūru, kas ir spējīga izturēt apledošanas slogojumu (10.21.att.).



Apzīmējumi un to tulkojumi: Height, m – augstums, m; diameter - caurmērs; crown depth- vainaga garums; taper - stumbra raukums; lever arm – gravitācijas punkts; tree-koks)

10.21.attēls. Vainaga garuma, stumbra raukuma un koka gravitācijas centra ietekme sniega un ledus bojājumam (Nykänen et al., 1997).

Bojājumi un noturību nosakošie faktori mežaudzēm

Mežaudžu līmenī ledus akumulācija var radīt gan lokālus, gan plaša mēroga bojājumus vai pat pilnīgu audzes sabrukumu. Ledus bojājumi darbojas arī kā dabiskais traucējums audzes struktūras attīstībā, jo vidēji smagu bojājumu gadījumā var notikt dabiska mehāniski noturīgāko un morfoloģiski vairāk pielāgojušos sugu vai indivīdu atlase audzes vai meža masīva ietvaros. Bieži vien pēc sniega vētrām audzē mainās sugu sastāvs, mazāk rezistentās sugas nomaina rezistentās. Ja audzē kādi no kokiem ir zaudējusi daļu vainaga, saglabājot koka dzīvotspēju, tad mazāk skartie un nebojātie koki iegūst priekšrocības augšanas konkurences apstākļos. Audzes krājas pieaugums samazinās līdz brīdim, kad audzē esošajiem kokiem ir atjaunots pietiekams kopējais lapu/skuju virsmas laukums fotosintēzes nodrošināšanai (Irland, 2000). Sasalstošais

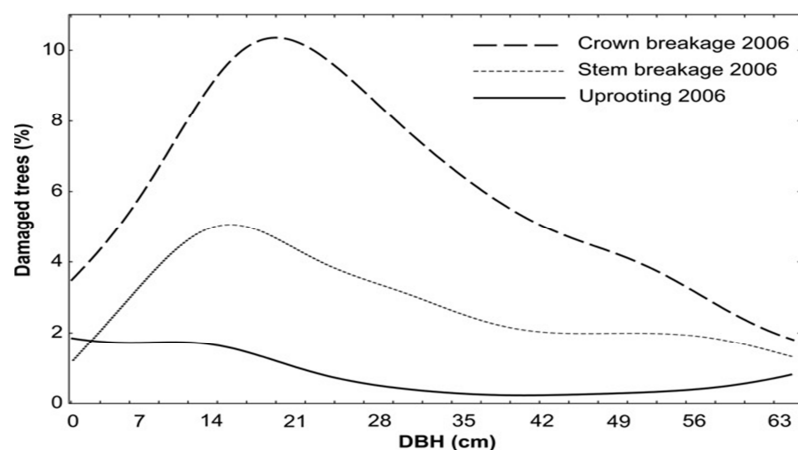
lietus un sniega bojājumi var palielināt patogēnu un kukaiņu uzņēmību (Jönsson et al., 2009; Nykänen et al., 1997).

Mežaudzes kopējo noturību pret atmosfēras apledojumu un atsevišķu koku bojājumu veidu (lauzta galotne vai lūzums stumbra vidusdaļā, sakņu plīsumi nenasalušas augsnes apstākļos (Irland, 2000), liekti vai ar saknēm izgāzti koki (Croxtan, 1939)) nosaka virkne biotisko, abiotisko un edafisko faktoru: sugu sastāvs, vecumstruktūra, biezība, vainagu telpiskais izvietojums un to forma, mežaudzes fiziogēogrāfija (Turcotte et al., 2012), vēja stiprums un, protams, akumulētā ledus daudzums (Haur et al., 2008). Sniega un ledus izraisīto bojājumu pētījumos norādīts, ka to apmērs lielā mērā atkarīgs no koku dimensijām, stumbra koksnes pieauguma, kopšanas pasākumu vēstures. Iepriekš minētie faktori saistīti ar stādīšanas biežumu, augšanas apstākļiem, biezību, izvēlēto kopšanas režīmu un audzes vecumu (Goodnow et al., 2008).

Ziemeļeiropā skuju koku audzēs ir novēroti smagāki sniega un ledus bojājumi nekā lapu koku audzēs (Nykänen et al., 1997); ziemas periodā lapas ir nobirušas, bet skuju kokiem skujas saglabājas un līdz ar to ir arī lielāks virsmas laukums, kur akumulēties nokrišņiem (Petty, Worrell, 1981; Päätaalo et al., 1999). Citos pētījumos turpretī norādīts, ka skuju koki spēj izturēt līdz 40 - 50 kg m⁻² (Nykänen et al., 1997; Zajaczkowski, 1991) lielu slodzi (aptuveni 50 cm bieza sniega kārtā), bet lapu koki lūzt, sākot ar 25 kg m⁻² lielu slodzi (Rottman, 1985). Literatūrā ir minēts, ka lapu koki šāda situācija ar paaugstinātas slodzes apstākļiem parasti novērojama, kad atmosfēras apledojums kā sezonāls ekstrēms izveidojas rudenī vēl pirms lapu nokrišanas (Turcotte et al., 2012). Taču Latvijā ir bijuši gadījumi, kad ledus spēcīgi bojājis bērza audzes, kad kokiem lapas jau bija nobirušas, nesenākais no tiem 2012. gada decembrī. Cilvēka saimnieciskās darbības neskartās platībās (nekoptas audzes ar augstiem, tieviem kokiem) skuju koki var lūzt pat pie nelielas sniega slodzes (10-25 kg m⁻²), kamēr audzēs, kurās veikti dažādi mežsaimnieciski pasākumi, koki ir spējīgi paciest lielākas sniega slodzes - šādās audzēs konstatēti sniega izraisīti stumbra lūzumi pie 54-60 kg m⁻² lielas sniega slodzes (Peltola et al., 1999; Päätaalo, 2000). Nekoptās priežu audzēs kokiem raksturīgs mazs stumbra raukums (Nykänen et al., 1997; Päätaalo, 2000; Valinger et al., 1993). Šādās audzēs ar lielu biežumu, mazu stumbra raukumu, nesimetriskiem un augstiem koku vainagiem, koki ir uzņēmīgāki pret vēja, sniega un ledus bojājumiem. Pārsvārā gadījumu cieš dominējošie audzes koki, taču ir bijuši gadījumi, kad audzē cietuši koki ar augstumu zem vidējā audzes augstuma vai nomāktie koki (Nykänen et al., 1997). Novērtā būtiska atšķirība bojājuma smagumā starp audzē esošajiem kokiem, ņemot vērā to stāvokli audzē: ja audzes dominējošajiem kokiem raksturīgākais bojājums ir galotnes zaudēšana, tad zem audzes vidējā augstuma augošie un nomāktie koki lūza zem zaļā vainaga (Nykänen et al., 1997; Päätaalo et al., 1999; Zubizareta – Gerendiain et al., 2012).

Jaunaudzēs liela sniega akumulācijas gadījumos bojājumi mēdz būt lielāki, jo šīs audzes ir biezas, ar vājākiem stumbriem un īsiem, asimetriskiem vainagiem. Šādās audzēs liels ir grupveida bojājumu (koku izgāšanās) risks; reti novēroti stumbra lūzumi (Nykänen et al., 1997). Vidēja vecuma un vecākām audzēm raksturīgi stumbra lūzumi, kuri notiek, kad stumbra liekšanās rezistence ir mazāka par sakņu stiprību, piemēram, eglei stumbra rezistenci pret lūzumiem raksturo funkcija d³ (Nykänen et al., 1997; Petty, Worrell, 1981). Hlásny et al. (2011) savā pētījumā atklājuši, ka stumbra lūzumi pieaugušos egļu – dižskābaržu mežos visvairāk

konstatēti 16 – 20 cm caurmēra grupā (10.22.att.). Vidēja vecuma un vecākās audzēs stumbra izgāšanās ar visām saknēm lielā mērā ietekmē vēja stiprums, sniega slodze un zemes gravitācijas spēks; konstatēts, ka 30-100 gadus vecās audzēs koki var izgāzties, ja sniega slodze uz stumbru un zariem ir 17-53 kg m⁻² koptās audzēs un 10-23 kg m⁻² nekoptās audzēs (Päätaalo, 2000).



Apzīmējumi un to tulkojumi: damaged trees (%) - bojāto koku īpatsvars; DBH (cm)- koka krūšaugstuma caurmērs, cm; crown breakage- vainaga lūzums; stem breakage – stumbra lūzums; uprooting- koka izgāšanās ar visām saknēm

10.22.attēls. Caurmēra ietekme uz bojājumu īpatsvaru egles – dižskābarža audzēs (Hlásny et al., 2011).

Audzēs noturību veicinošie faktori

Rūpīgi izvēloties pareizos apsaimniekošanas paņēmienus, ir iespējams samazināt bojājumus vai pat izvairīties no tiem. Valinger et al. (1993) secina, ka ar kopšanas pasākumiem iespējams par 40 % samazināt bojājumu risku. Audzes izretināšanas rezultātā tiek atbrīvota telpa atstāto koku vainagu ekspansijai, kas jaunajos, labvēlīgajos apstākļos notiek ļoti strauji. Pēc kopšanas kokiem jāaklimatizējas jaunajiem apstākļiem, parasti tas notiek dažu gadu laikā (līdz trīs gadiem) pēc kopšanas pasākumiem, pieaugot stumbra caurmēram un nostiprinoties sakņu sistēmai (Zubizareta – Gerendiain et al., 2012). Pēc kopšanas zaru garuma pieaugumi ir visai lieli, bet zaru radiālais pieaugums, kas nodrošina lieces izturību, veidojas lēnāk. Tā rezultāta jaunie, garie dzinumi ledus slodzes ietekmē lūst.

Mežaudzes, kurās nesen bijusi kopšanas cirte, pieskaitāmas pie aplidojuma bojājumu riska grupas, kā arī tās ir pakļautas sniega un vēja bojājumiem (Bragg et al., 2003). Jāizvairās no kopšanas paaugstināta riska audzēs, piemēram, blakus plašiem izcirtumiem valdošo vēju virzienā. Veicot kopšanas pasākumus šādās audzēs, Carvell et al. (1957) iesaka vienā paņēmienā neizvēt vairāk par 30 % no koku skaita; prioritāri ir jāizvēc slaidākie stumbri, koki ar lieliem vainagiem. Vienāda vecuma audzes iesaka aizstāt ar dažāda vecuma un augstuma koki, šāda apsaimniekošanas veida rezultātā var iegūt lielāku dominējošo koku stumbra raukumu (Valinger et al., 1993). Pārbiezinātās priedes un egles audzēs (6900 koku ha⁻¹) sniega bojājumi konstatēti biežāk nekā, ja audzē stādīts 1700 līdz 3000 koku ha⁻¹, kas norādīts kā ieteicamais audzes biezums bojājumu riska samazināšanai (Nykänen et al., 1997).

Audzēs kopšanu ieteicams veikt, kad audzē notikusi vainagu saslēgšanās un koki nav pārsnieguši 10 m augstumu; šādi kopjot, iespējams palielināt stumbra raukumu. Kopšanu neiesaka atlikt ilgāk par laiku, kad koki sasniedz 20 m augstumu, jo vēlāk paaugstinās audzes bojājumu risks (Nykänen et al., 1997). Nekoptās audzēs raksturīgs, ka koku vainagi ir cieši sakļāvušies un uz tiem akumulējas liels apjoms izkritušā sniega, savukārt retākās audzēs, kur koku vainagi nav cieši sakļāvušies kopā, tikai daļa no izkritušā sniega akumulējās uz koka vainaga, bet daļa - uz zemes. Kopjot iesaka ievērot vienmērīgu lielo un mazo dimensiju koku izvietojumu, tādā veidā iespējams novērst liela apjoma sniega akumulāciju uz koku galotnēm, pretstatā nevienmērīgam dažādu dimensiju koku izvietojumam, kad audzes jaunākie, mazāka izmēra koki aug grupās, veidojot lielāku sniega akumulācijas virsmas laukumu, un tādā veidā palielinot iespējamo slodzi uz kokiem un līdz ar to arī bojājumu risku (Nykänen et al., 1997). Gan nekoptās audzēs (Gregow, 2013), gan kopšanā „no augšas” (izvēcot 25 % no audzes šķērslaukuma - tikai dominējošos kokus) palielinās bojājumu iespējamība, tādēļ iesaka kopt „no apakšas”, izvēcot augšanā atpalikušos un nomāktos kokus (Gregow, 2013; Nykänen et al., 1997). Kopjot „no apakšas”, kopšanas intensitāte neietekmē ledus un sniega izraisītu bojājumu apjomu, izņemot gadījums, kad vidējās intensitātes (25 % no audzes šķērslaukuma) kopšanas cirtes rezultātā tiek atstāti zemas kvalitātes, nomākti koki, jo šādi koki nespēj aklimatizēties jaunajiem apstākļiem un var tikt bojāti (Carvell et al., 1957; Valinger et al., 1993). Veicot kopšanu „no apakšas”, paaugstinās bojājumu risks audzē var saglabāties turpmākos piecus gadus, bet, veicot kopšanu „no augšas” – astoņus gadus (Nykänen et al., 1997).

10.5. Sasalstoša lietus ietekmēto mežaudžu novērtējums

Pārskata periodā bija paredzēts ievākt materiālu ledus un sniega bojājumu statistiskam novērtējumam priežu un egļu audzēs 100 nogabalos katrai koku sugai. Ledus bojājumu skartajā teritorijā pēc taksācijas datiem (valdošā suga, vecums, meža tips, nogabala platība) izlozētas un apsekotas 263 audzes, kurās izvietoti parauglaukumi un veikta sākotnējā inventarizācija (uzmērīšana). Saskaņā ar sākotnējās inventarizācijas rezultātiem, parauglaukumos raksturojot koku sugu sastāvu, vecumu, bojājumus, turpmākiem mērījumiem (katrā nogabalā palielinot parauglaukumu skaitu līdz 10) izvēlētas 163 audzēs, kopumā uzmērot 30198 kokus (10.1.tab.). Papildus apsekošana (inventarizācija – 10.1. tab.) veikta mistraudžu atasei un egļu audzēs uzmērīšanas darbu beigu posmā, raksturojot bojājuma pakāpes varbūtējās izmaiņas un fiksējot, vai audzē jau nav veikta izstrāde. Ledus masas uz kokiem raksturošanai 12 dažāda vecuma priežu audzēs (3.kv.21.nog., 9.kv.54.nog., 14.kv.10 un 12.nog., 26.kv.22.nog., 27.kv.26.nog., 32.kv.15.nog., 43.kv.28., 29., 31., 34.nog., 66.kv.19.nog.) pēc nejaušības principa izvēlēti kopumā 57 valdaudzes koki (caurmērs 3-18 cm) un veikta to virszemes biomasas svēršana ar aplēdējumu un pēc ledus nokušanas.

Sasalstoša lietus bojāto audžu taksācijas rādītāji

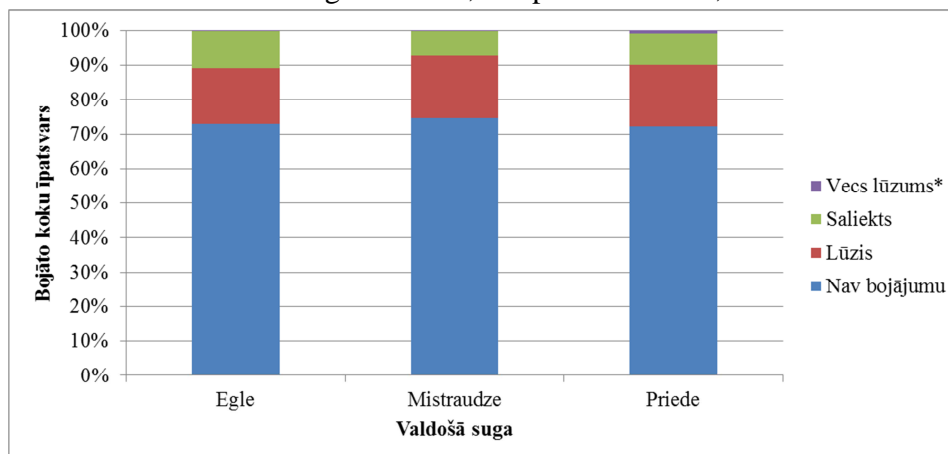
Valdošā suga	A-10 ^a	Nogabalu skaits ^b	D, cm ^c	H, m ^c	Uzmērīto koku skaits ^c		Bojātie koki ^c		G m ² ha ⁻¹	hd ⁻¹ I stāva koki	
					I stāvs	II stāvs	I stāvs	II stāvs		Vesēlie	Bojātie
Egle	2	1	14	11	196	73	10	34	16	0,83	1,42
	4	11 (7)	17	17	1167	1092	365	496	27	1,01	1,18
	6	14 (8)	22	22	1340	1030	436	302	32	1,00	1,04
	7	3	24	22	224	162	53	47	31	0,94	1,05
	8	7 (1)	26	25	562	594	110	126	39	0,98	0,98
	9	4	30	27	307	288	51	78	38	0,96	0,98
	10	6	27	24	521	454	95	108	37	0,93	1,04
	11	4	30	25	311	374	58	114	38	0,90	0,94
	12	1	33	28	61	118	6	37	36	0,89	0,92
Mistrots	5	3 (1)	22	22	1377	793	267	341	33	0,80	1,07
	6	7 (4)	24	23	914	551	217	264	31	0,95	1,12
	8	4	28	27	431	269	196	164	35	1,04	1,11
Priede	2	12 (12)	8	6	2504	1002	810	317	5	1,03	1,11
	4	7 (7)	14	14	150	29	66	10	17	0,86	0,99
	5	4 (1)	18	19	1305	562	400	146	24	0,96	1,04
	6	19 (16)	20	21	1252	858	337	216	26	0,94	1,02
	7	2 (1)	25	22	87	42	29	17	19	0,98	1,17
	8	15 (7)	26	24	1372	1090	294	280	29	0,89	0,93
	10	18 (6)	28	26	306	182	123	56	33	0,99	1,10
	11	1	23	23	768	494	225	142	35	0,98	1,03
	12	20 (3)	28	24	352	288	61	36	31	1,00	1,05
Pirms inventarizācijas apsektās audzes ^d		88 (38)	24	22	7993	4529	2327	1393	29	0,97	1,06
Pēc inventarizācijas apsektās audzes ^d		75 (36)	20	18	7514	5816	1882	1938	28	0,94	1,08

^a Vecuma desmitgades.^b Iekavās aiz apsektoto nogabalu skaita dots nogabalu skaits, kuros veikta kopšana.^c Analizēti tikai pirmā un otrā stāva koki.^d Daļai objektu tika veikta apsekošana pirms mērījumu uzsākšanas (apsekošanas laikā konstatēja, vai nogabalā nav notikuši bojājumu likvidēšanas darbi, vai mežaudzes sastāva formula atbilst metodikā izvirzītajiem kritērijiem u.c.).

Bojāto koku īpatsvars

Nemot vērā sugas iespējamo ietekmi uz bojājumu īpatsvaru, analizējot rezultātus, audzes tika sadalītas pa valdošajām sugām (izmantojot mežaudzes sastāva formulu no taksācijas datiem). Tika izveidotas trīs grupas ar nogabaliem - egle, mistraudze un priede. Grupas "egles" un "priedes" veidoja audzes, kuru mežaudzes formulā sastāva koeficients valdošai sugai bija lielāks vai vienāds ar septiņi (attiecīgi egles $\geq 7E$ un priedes $\geq 7P$), bet mistraudzēs sastāva koeficients valdošai sugai (egle vai priede) bija pieci vai seši (piemēram, 5E5P, 6E4P, 6E4B u.tml.). Konstatēts, ka bojāto un nebojāto koku skaits priedes, egles un mistrotās audzēs ir atšķirīgs. Priedes audzēs kopumā uzmērīti 12265 koki, no kuriem 4754 bija bojāti, egles audzēs uzmērīti 7643 koki, no kuriem bojāti bija 2847 koki, savukārt mistrotās audzēs uzmērīti 2008 koki, no kuriem bojāts bija 681 koks. Rezultāti liecina, ka bojāto koku īpatsvars egles un priedes audzēs

būtiski neatšķiras ($p>0,05$) un ir attiecīgi 28% un 27% (10.23.att.). Salīdzinot koku bojājumu – laužts vai saliekts (ar vārdu „saliekts” šeit un turpmāk tekstā apzīmēti koki, kuriem konstatēta stumbra novirze no vertikālās ass vismaz par 15 grādiem) – konstatēta būtiska ($p<0,05$) koku sugas ietekme uz saliekto un laužto koku īpatsvaru. Visās audzēs lūzušo koku ir aptuveni divas reizes vairāk nekā saliekto koku: 16% laužto koku egles audzēs, 18% priedes audzēs, 18% mistraudzēs un 11% saliekto koku egles audzēs, 7% priedes audzēs, 9% mistraudzēs.

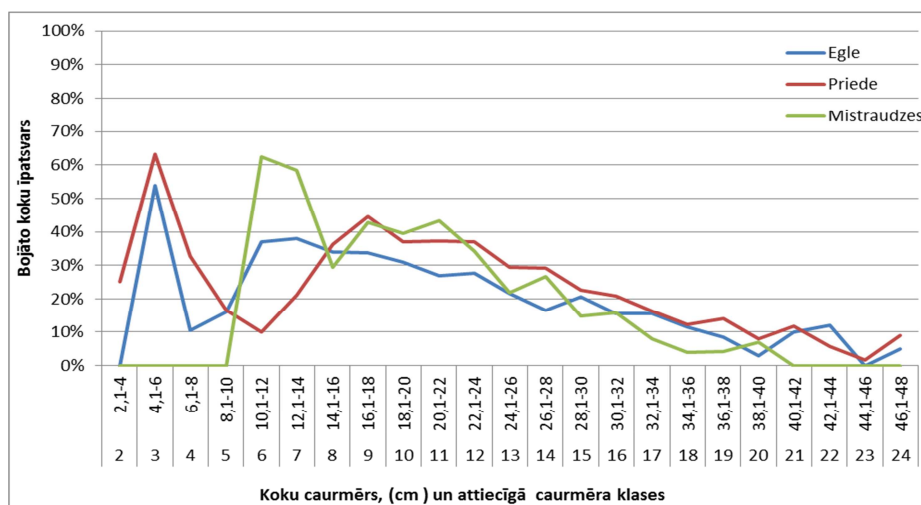


* tāds lūzums, kurš radies iepriekšējā sezonā pirms novērojuma uzsākšanas (noteikts vizuāli).

10.23.attēls. Bojāto koku īpatsvars priedes, egles un mistrotās audzēs.

Bojāto koku īpatsvars pa caurmēra pakāpēm

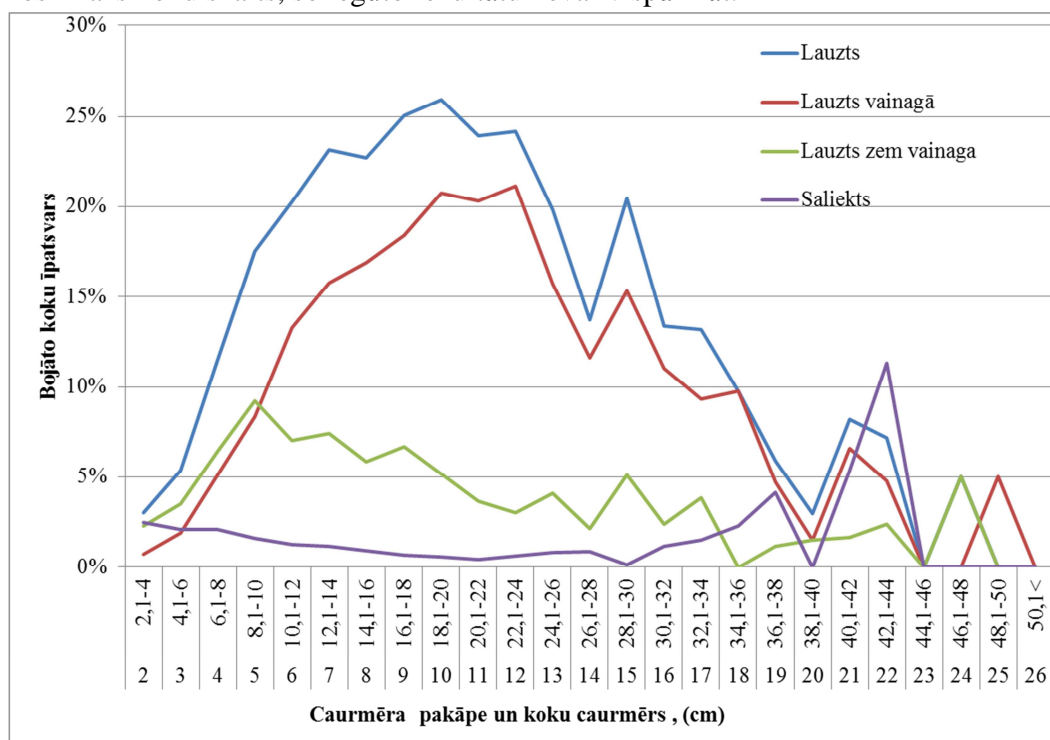
Analizējot kopējo bojāto valdaudzes koku īpatsvaru (10.24.att.), konstatēts, ka lielākais bojāto koku īpatsvars (63 %) bija priedes audzēs trešajā (4,1-6 cm) caurmēra pakāpē, šajā pašā caurmēra pakāpē augsts bojāto koku īpatsvars (54 %) novērots arī egles audzēs, savukārt mistrotās audzēs vislielākais bojājumu īpatsvars (62 %) konstatēts sestajā (10,1 -12 cm) caurmēra pakāpē. Kopumā gandrīz visās caurmēra pakāpēs no sasalstošā lietusa radītajiem bojājumiem vairāk cietuši valdaudzes koki priedes audzēs, taču visās audzēs novērota līdzīga tendence, ka, pieaugot stumbra caurmēram, samazinās bojāto valdaudzes koku īpatsvars. Mistrotās audzēs bojāto koku īpatsvars ir nedaudz (bet statistiski būtiski - p -vērtība $<0,05$) zemāks nekā egles vai priedes audzēs.



10.24.attēls. Bojāto valdaudzes koku īpatsvars pa dažādām valdošajām sugām

Egles audzēs valdaudzes kokiem zaļais vainags veido vidēji 57 % no stumbra kopgaruma, bet konstatētais vidējais relatīvais lūzuma augstums ir 76 % no stumbra kopgaruma (skaitot no stumbra pamatnes). Analizējot kokus pa 2 cm caurmēra pakāpēm, konstatēts, ka egles audzēs laužo koku īpatsvars pieaug vienmērīgi, līdz sasniedz 26% laužo koku caurmēra pakāpē 18,1-20 cm, un strauji samazinās līdz caurmēra pakāpei 26,1-28 cm, sasniedzot 12% īpatsvaru (10.25.att.). Laužo koku īpatsvars atkal paaugstinās caurmēra pakāpē 28,1-30 cm, kur konstatēti 20% laužo koku, taču, caurmēram vēl palielinoties, laužo koku īpatsvars egles audzēs atkal samazinās; netika konstatēti laužti koki caurmēra pakāpēs, lielākās par 46,1-48 cm.

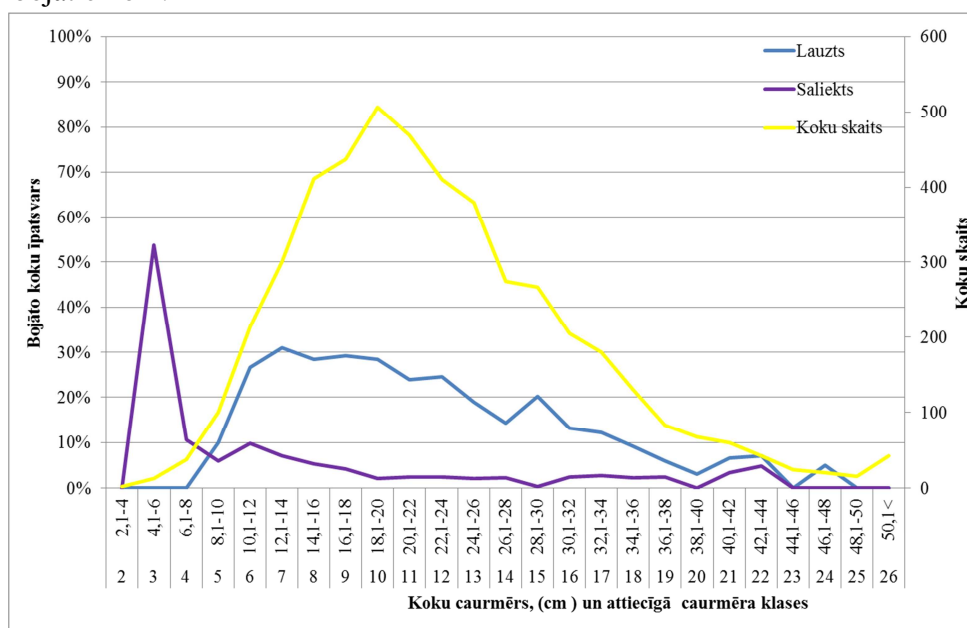
Analizējot stumbra lūzuma vietu (laužts vainagā vai zem pirmā zaļā zara), konstatēts, ka egles audzēs koki ar lūzumiem zem vainaga veidoja 31% no laužo koku īpatsvara; noskaidrots, ka egles audzēs lūzumi zem vainaga raksturīgi tievākiem kokiem, jo lielākais šādu koku īpatsvars konstatēts 8,1-10 cm caurmēra pakāpē (9%). Novērots, ka koku īpatsvars ar lūzumiem zem koka vainaga, variējot pakāpeniski samazinās caurmēra pakāpēs 10,1-36 cm (attiecīgi no 7 līdz 0 %), bet lūzumi zaļajā vainagā pakāpeniski pieaug līdz 22,1-24 cm caurmēra pakāpei, sasniedzot 21%, savukārt caurmēra pakāpēs 22,1-50,1 cm bojājumu īpatsvars variējot pakāpeniski samazinās. Egles audzēs tievākiem kokiem saliekšanās risks ir neliels - konstatēts, ka saliekto koku īpatsvars caurmēra pakāpēs zem 28,1-30 cm ir robežās no 0,1 līdz 2,5 % no visiem uzmērītajiem kokiem egles audzēs; saliekto koku īpatsvars palielinās, sākot ar caurmēra pakāpi 28,1-30 cm, sasniedzot 11 % no visiem uzmērītajiem kokiem. Visaugstākais bojāto (saliekto) koku īpatsvars konstatēts 40,1-42 cm un 42,1-44 cm caurmēra pakāpēs, bet, tā kā šajās caurmēra pakāpēs tika uzmērīts salīdzinoši mazs koku skaits, šo iegūto rezultātu nevar vispārināt.



10.25.attēls. Sasalstoša lietuss bojāto egļu īpatsvars dažādās caurmēra pakāpēs.

Analizējot egļu audzēs bojāto valdaudzes koku īpatsvaru (10.26.att.), konstatēts, ka intervālā 4,1-8 cm caurmēra pakāpēs konstatēti tikai saliekti koki, attiecīgi 54 % un 11 % (tomēr jāņem vērā, ka šajās caurmēra pakāpēs tika uzmērīti maz koku - 51). Caurmēra pakāpēs robežās no 8,1-22 cm saliekto koku īpatsvars samazinās no 11 % līdz 2 %, bet, vēl palielinoties valdošo koku caurmēram, saliekto koku īpatsvars svārstās starp 2 % un 3 %. Tas nedaudz pieaug 42,1-44 cm caurmēra pakāpē, kur konstatēti 5 % saliekto koku, bet, sākot ar caurmēra pakāpi 44,1-46 cm, saliektie koki netika konstatēti.

Egļu audzēs laužti valdaudzes koki konstatēti, sākot 8,1-10 cm caurmēra pakāpi (10 % laužto koku); caurmēra pakāpēs 10,1-20 cm laužto koku īpatsvars variē robežās no 27 % līdz 31 %. Novērots, ka laužto koku īpatsvars pakāpeniski samazinās, sākot ar 20,1-22 cm caurmēra pakāpi, kur konstatēti 24 % laužto koki; bet, sākot ar caurmēra pakāpi 48,1- 50 cm, netika konstatēti bojātie koki.

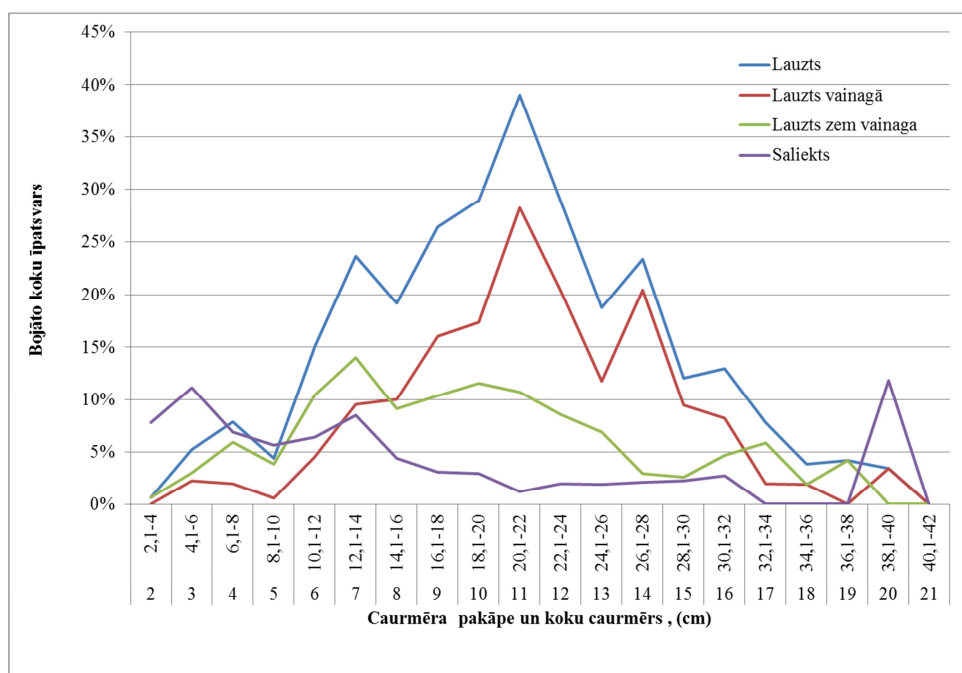


10.26.attēls. Sasalstoša lietus bojāto valdaudzes egļu īpatsvars dažādās caurmēra pakāpēs.

Mistrotās audzēs laužto koku īpatsvars strauji pieaug caurmēra pakāpēs 2,1-22 cm, sasniedzot 39 %, savukārt caurmēra pakāpēs 22,1-40 cm laužto koku īpatsvars strauji samazinās līdz trīs procentiem (10.27.att.).

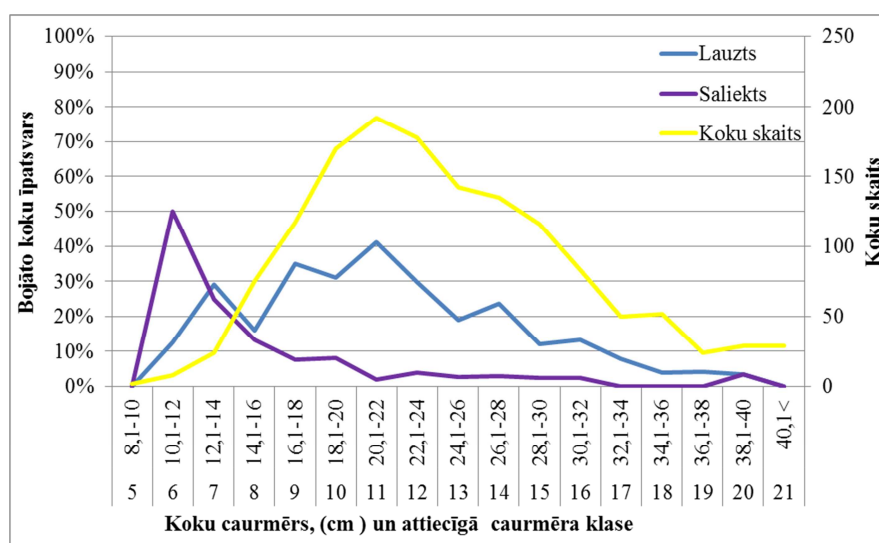
Līdzīgi kā egļu audzēs, mistrotās audzēs lūzumi zem vainaga biežāk konstatēti tievākiem kokiem, lielākais to īpatsvars ir caurmēra pakāpēs 12,1-20 cm), kur lūzumi zem koka vainaga variē robežās no 11 % līdz 14 %, un lūzumiem zem koka vainaga ir tendence pakāpeniski samazinās sākot ar caurmēra pakāpi 20,1-22 cm līdz pat caurmēra pakāpei 38,1-40 cm, kur nav konstatēts neviens koks ar lūzumu zem vainaga.

Mistrotās audzēs saliekto koku īpatsvars lielāks ir tievākiem kokiem caurmēra pakāpēs 2,1-14 cm - tas variē robežās no 5 % līdz 11 %, bet saliekto koku īpatsvars samazinās caurmēra pakāpēs 14,1-38 cm, kurās tas variē robežās no 0 līdz 4%. Novērots, ka caurmēra pakāpē 38,1-40 cm saliekto koku īpatsvars palielinājies līdz 11 %; šajā caurmēra pakāpē ir neliels (8) novērojumu skaits.



10.27.attēls. Sasalstoša lietus bojāto koku īpatsvars atkarībā no to caurmēra mistrotās audzēs.

Konstatēts, ka mistrotās audzēs starp valdaudzes kokiem vislielākais saliekto koku īpatsvars ir 10,1-12 cm caurmēra pakāpē (50%), taču jāņem vērā, ka tajā ir ļoti mazs uzmērīto koku skaits (8). Saliekto koku īpatsvaram ir tendence strauji samazināties caurmēra pakāpēs 10,1-22 cm - attiecīgi no 25 % līdz 2 %. Savukārt valdaudzes saliekto koku īpatsvars caurmēra pakāpēs 22,1-32 cm variē mazā amplitūdā no 2 % līdz 4 %, bet caurmēra pakāpēs virs 32,1-34 cm saliekti koki netika konstatēti (izņēmums 38,1-40 cm caurmēra pakāpe, kur konstatēja 3 % saliektu koku) (10.28.att.). Novērots, ka laužto valdaudzes koku īpatsvars, variējot plašā amplitūdā, pieaug līdz 20,1-22 cm caurmēra pakāpei, sasniedzot 41 % laužtu koku, bet, laužto koku īpatsvaram lielākās caurmēra pakāpēs pakāpeniski samazinoties, konstatēta mazāka variācija.

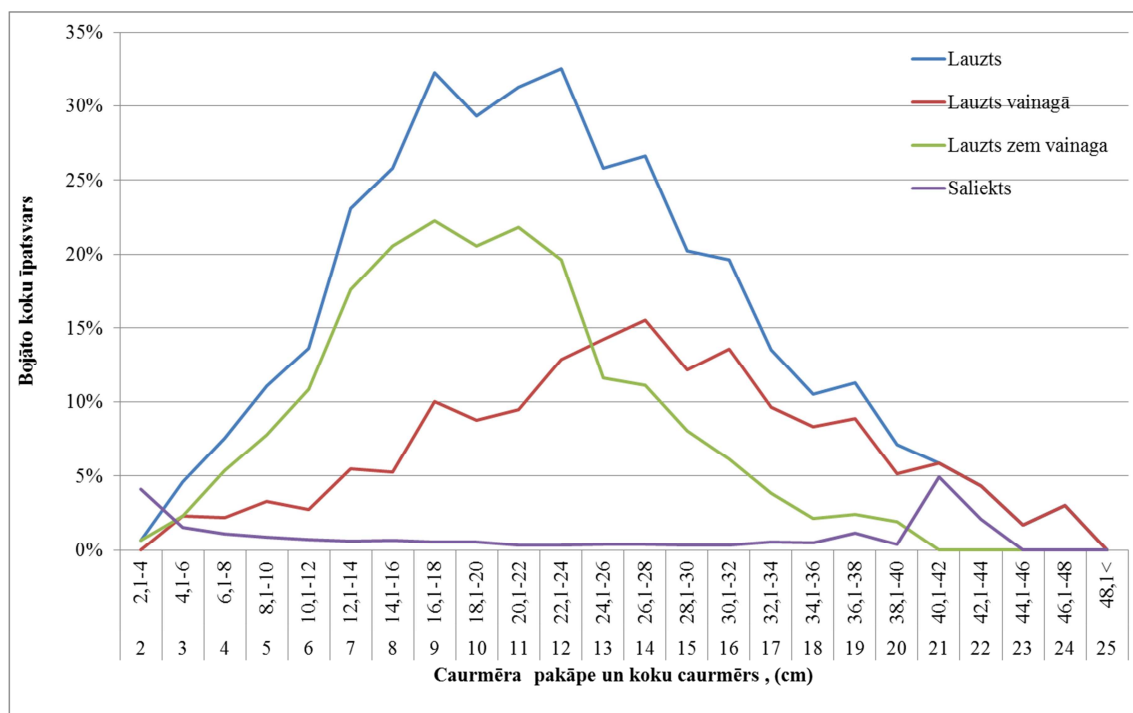


10.28.attēls. Sasalstoša lietus bojāto valdaudzes koku īpatsvars atkarībā no caurmēra mistraudzēs

Priedes audzēs laužo koku īpatsvars strauji pieaug caurmēra pakāpēs 2,1-18 cm - no 1 % līdz 32 %, bet vislielākais īpatsvars konstatēts 24,1-26 cm caurmēra pakāpē, kur 33 % no visiem kokiem šajā caurmēra pakāpē bija laužti. Kokiem ar caurmēra pakāpi 26,1-28 cm un vairāk, novērota strauja laužo koku īpatsvara samazināšanās (10.29.att.).

Salīdzinot lūzumus zem zaļā vainaga un zaļajā vainagā, novērots, ka lūzumi zem vainaga vairāk izteikti tievākiem kokiem, kamēr lūzumi vainagā biežāk konstatēti resnākiem kokiem. Vidējais zaļā vainaga kopgarums valdaudzes kokiem priedes audzēs, salīdzinājumā ar egles audzēm, ir nedaudz mazāks – zaļais vainags veido vidēji 52 % no stumbra kopgaruma, bet vidējais relatīvais lūzuma augstums ir 64 % no stumbra kopgaruma, skaitot no stumbra pamatnes. Caurmēra pakāpēs 2,1-18 cm strauji pieaug koku ar lūzumiem zem vainaga īpatsvars (no 1 % līdz 22 %), kamēr koku īpatsvars ar lūzumu vainagā šajā caurmēra intervālā pieaug pakāpeniski no 1 % līdz 10 % un katrā caurmēra pakāpē ir vismaz divas reizes mazāks par koku īpatsvaru ar lūzumiem zem vainaga. Koku īpatsvars ar lūzumiem zem vainaga caurmēra pakāpēs 16,1-24 cm variē robežās no 20 % līdz 22 %, savukārt, sākot ar 24,1-26 cm caurmēra pakāpi, šādu bojājumu īpatsvars strauji sarūk un caurmēra pakāpēs, lielākās par 40,1-42 cm, koku ar lūzumiem zem vainaga nav. Lūzumi zaļajā vainagā caurmēra pakāpēs 18,1-28 cm palielinās no 9 % līdz 16 %, bet, caurmēram vēl palielinoties, vainagā laužo koku īpatsvars sarūk. Laužo koku īpatsvara pieauguma tendence starp lūzumiem vainagā vai zem tā izmainās 24,1-26 cm caurmēra pakāpē, sākot ar šo caurmēra pakāpi lūzumi vainagā, nevis zem tā veido lielāku daļu no visiem lūzumiem (10.29.att.).

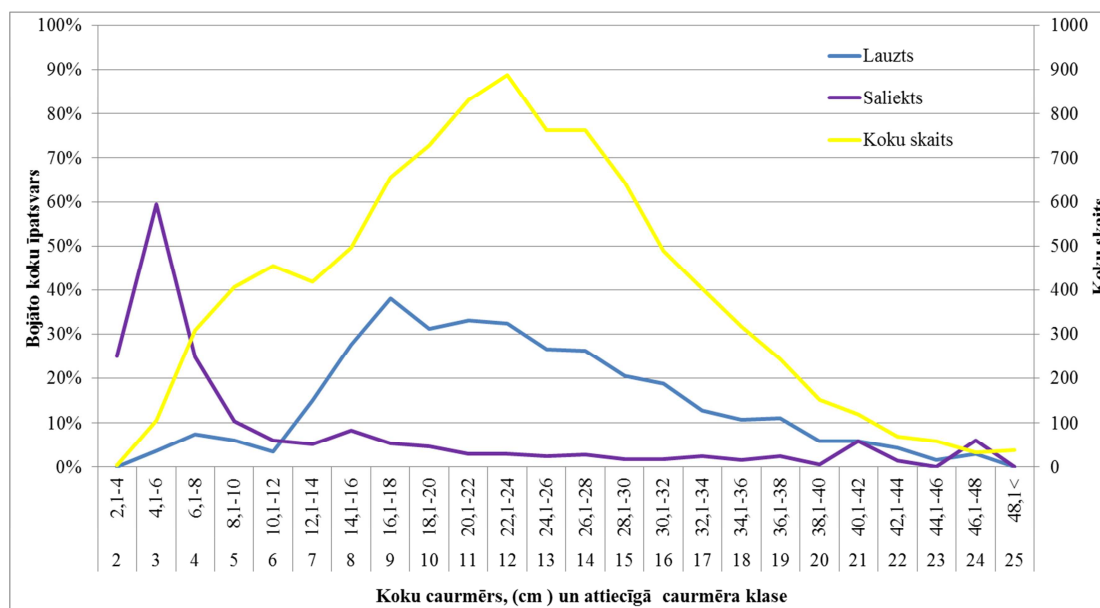
Priedes audzēs novērots mazs saliekto koku skaits: visvairāk tie konstatēti 40,1-42 cm caurmēra pakāpē (4,9 %), līdzīgs īpatsvars konstatēts 2,1-4 cm caurmēra pakāpē (4,1 %).



10.29.attēls. Sasalstoša lietūs bojāto priežu īpatsvars atkarībā no to caurmēra.

Salīdzinot laužto un saliekto koku īpatsvaru priedes audzēs esošajiem valdaudzes kokiem, 10.30. attēlā redzams, ka ievērojami lielāks saliekto koku īpatsvars ir caurmēra pakāpēs 2,1-12 cm, bet tas strauji samazinās caurmēra pakāpēs 4,1-22 cm, attiecīgi no 59 % līdz 3 %. Priedes audzēs konstatēts, ka caurmēra pakāpēs 22,1-40 cm saliekto valdaudzes koku īpatsvars ir robežās no 1 % līdz 3 %, bet nedaudz pieaug 40,1-42 cm caurmēra pakāpē, kur konstatēti 6 % saliekto koku; līdzīga sakarība novērota arī egles un mistrotās audzēs.

Mazs laužto koku īpatsvars starp valdaudzes kokiem novērots caurmēra pakāpēs 2,1-12 cm), kur tas ir robežās no 1 % līdz 7 %, bet par 34 % laužto koku īpatsvars pieaug caurmēra pakāpēs intervālā 12,1-18 cm. Sasniedzot maksimālo laužto koku īpatsvaru (38 %), 14,1-18 cm caurmēra pakāpē, laužto koku īpatsvars, palielinoties caurmēram, pakāpeniski samazinās.



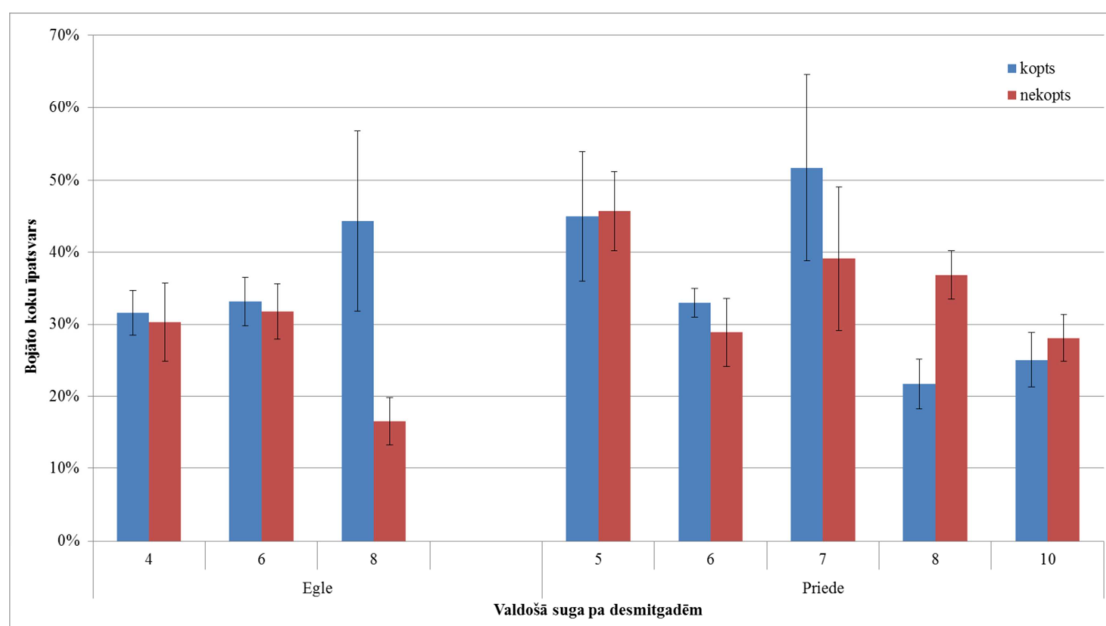
10.30.attēls. Sasalstoša lietūs bojāto valdaudzes priežu īpatsvars dažādās caurmēra pakāpēs.

Kopšanas ietekme uz bojāto koku īpatsvaru

Kopšanas ciršu ietekmes novērtēšanai audžu kopa sadalīta 2 grupās: audzes, kur kopšana veikta nesen – pēdējos trīs gados pirms sasalstošā lietūs bojājumiem – un tādas, kur kopšana veikta senāk. Analīzē izmantoti valdaudzes koku dati. Konstatēta nozīmīga bojāto koku īpatsvara variācija gan starp audzēm (parauglaukumiem) vienas vecumklases ietvaros, gan starp vecumklasēm un audzēm ar atšķirīgu valdošo koku sugu (10.31.att.). Starp audzēm konstatētas arī ievērojamas vidējā šķērslaukuma un koku caurmēra atšķirības.

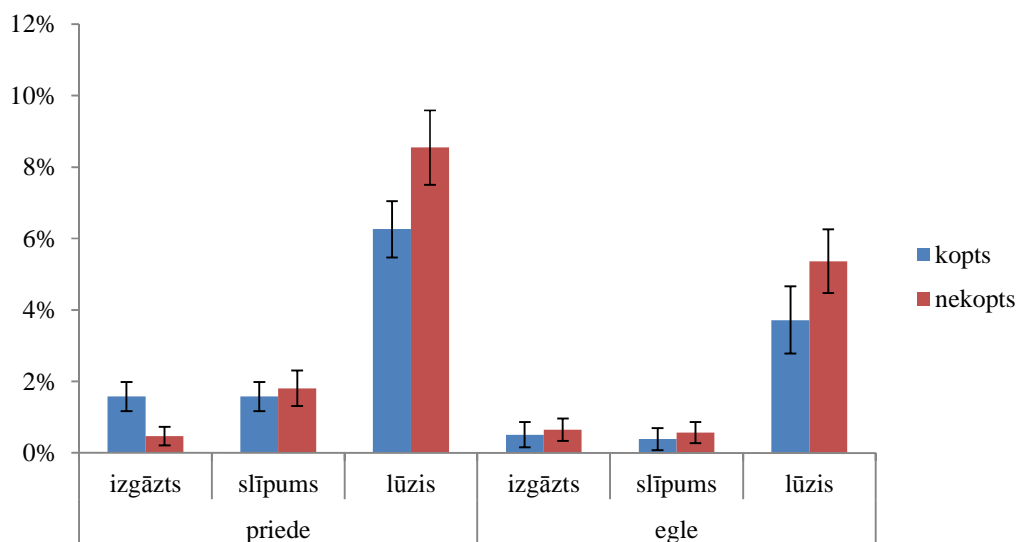
Egles audzēs konstatēts augstāks bojāto valdaudzes koku īpatsvars koptajās nekā nekoptajās audzēs (vidēji attiecīgi 36% un 26%), tomēr atšķirība ir nozīmīga (koptajās audzēs 44 %, nekoptajās 17 % bojāto koku) un statistiski būtiska tikai mežaudzēm astotajā desmitgadē. Priedes audzēs 5.-7. desmitgadē konstatēts augstāks bojāto valdaudzes koku īpatsvars koptajā nekā nekoptajās audzēs (vidēji attiecīgi 43% un 38%), atšķirības nav statistiski būtiskas. Būtiskas atšķirības, līdzīgi kā egles audzēs, konstatētas astotajā desmitgadē, kur nekoptajās audzēs bojāto valdaudzes koku īpatsvars ir augstāks nekā koptajās (attiecīgi 37% un 22%).

Mistraudzēs bojāto valdaudzes koku īpatsvars vidēji ir augstāks koptajās audzēs salīdzinājumā ar nekoptajām (vidēji attiecīgi 38% un 33%), taču atšķirība nav statistiski būtiska.

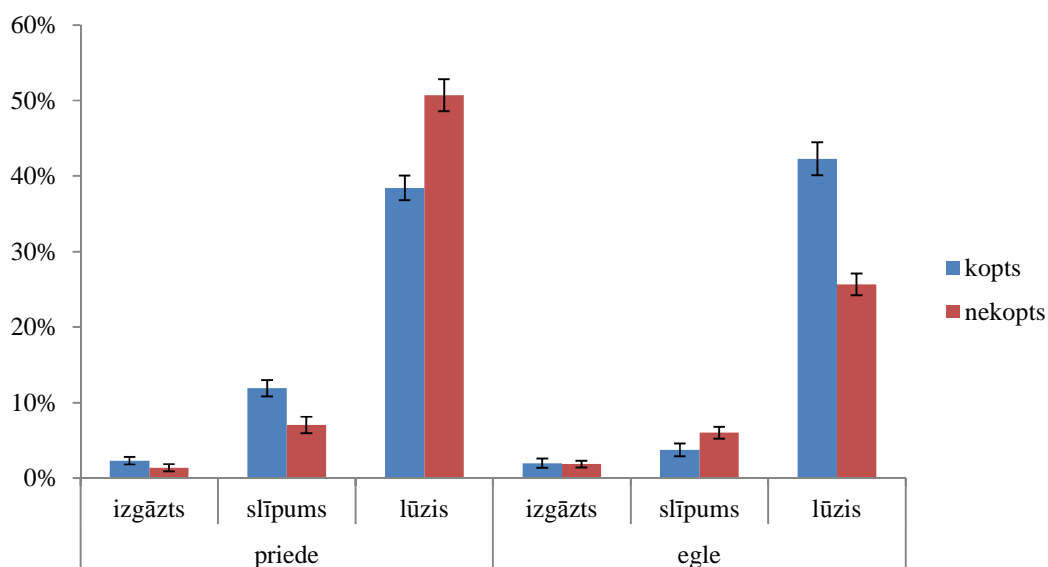


10.31. attēls. Sasalstoša lietus bojāto valdaudzes koku īpatsvars koptās un nekoptās audzēs.

Konstatēts, ka sasalstoša lietus bojāto koku īpatsvars būtiski augstāks ir gan priedes, gan egles audžu otrajā stāvā (10.32.a un 10.32.b att.). Priedes gan pirmajā, gan otrajā stāvā statistiski būtiski vairāk laužtas ir nogabalos, kur nav veikta kopšana, citas vērtētās atšķirības ir nelielas un statistiski nebūtiskas. Savukārt egles statistiski būtiski vairāk bojātas otrajā stāvā koptajās audzēs (daļa no tām varētu būt pēc kopšanas saglabātie otrā stāva koki). Iegūtie rezultāti apliecina koku caurmēra nozīmīgo ietekmi to noturības pret sasalstoša ledus bojājumiem nodrošināšanā.



10.32(a). attēls. Sasalstoša lietus bojāto pirmā stāva koku īpatsvars koptās un nekoptās audzēs pa bojājumu veidiem.



10.32(b). attēls. Sasalstoša lietus bojāto otrā stāva koku īpatsvars koptās un nekoptās audzēs pa bojājumu veidiem.

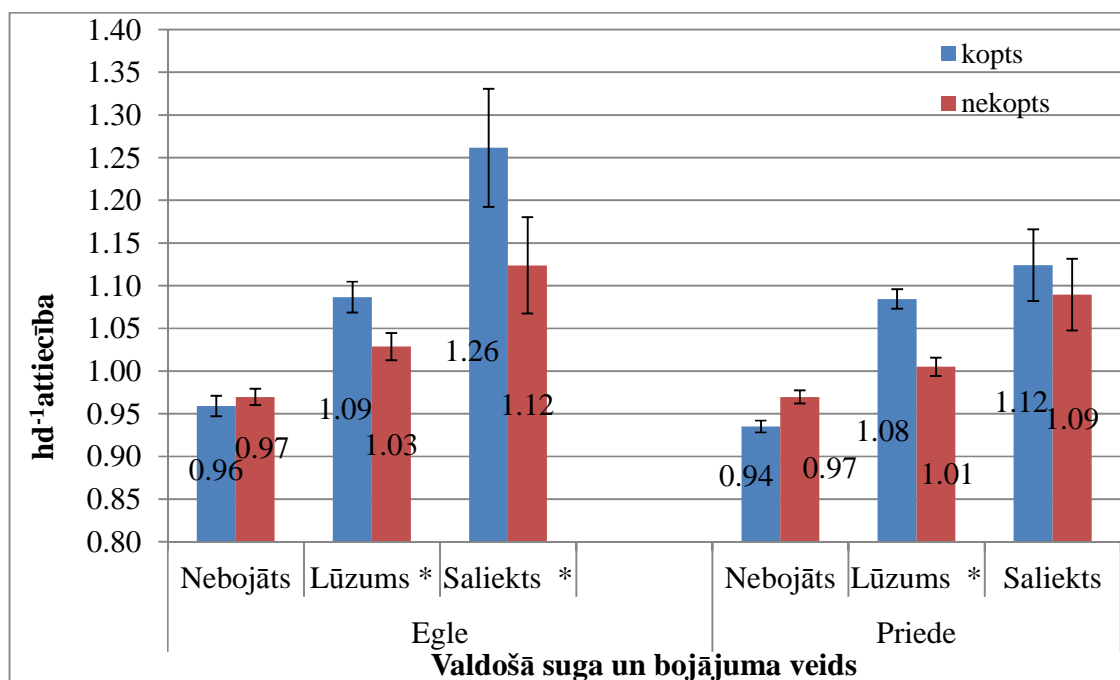
Kopumā rezultāti nerada pamatu apgalvot, ka kopšanas cirtes rezultātā audzē būtiski palielinātos sasalstoša lietus ietekmē bojāto valdaudzes koku īpatsvars, netieši liecinot par citu faktoru nozīmīgāko lomu audzes bojājumu intensitātes noteikšanā.

Vērtējot kopējo bojāto koku īpatsvaru, konstatēts, ka, neatkarīgi no valdošās koku sugas, tas ir augstāks nesen koptās nekā nekoptās mežaudzēs, turklāt egļu audzēs atšķirība ir statistiski būtiska ($p < 0,05$). Bojāto koku īpatsvara atšķirības koptajās un nekoptajās mistraudzēs līdzīgas (bet nav statistiski būtiskas) kā egles audzēs, taču priedes audzēs tās ir nenozīmīgas un nav statistiski būtiskas.

Stumbra raukuma ietekme uz bojāto koku īpatsvaru

Analizējot augstuma un caurmēra attiecību (turpmāk tekstā „h/d attiecība”), konstatēts, ka starp vidējām h/d attiecības vērtībām koptās un nekoptās audzēs ir statistiski būtiska atšķirība (10.33.att.). Konstatēts, ka egļu audzēs netaudz mazāka h/d attiecība ir nebojātajiem kokiem gan nekoptās, gan koptās audzēs (attiecīgi 0,96 un 0,97; $p > 0,05$). Savukārt vidējā h/d attiecība lauztajiem kokiem netaudz, bet statistiski būtiski ($p < 0,05$), augstāka ir koptās audzēs (1,09) nekā nekoptās (1,03). Lielākās vidējās h/d attiecības konstatētas saliektiem kokiem koptās un nekoptās audzēs (attiecīgi 1,26 un 1,12; $p < 0,05$). Mistraudzēs, līdzīgi kā egles audzēs, konstatēta h/d atšķirība starp nebojātajiem kokiem koptās un nekoptās audzēs (attiecīgi 0,97 un 1,00; $p < 0,05$), kā arī starp saliektajiem kokiem šajās audzēs (attiecīgi 1,26 un 1,14; $p > 0,05$).

Priedes audzēs vismazākā vidējā h/d attiecība konstatēta nebojātajiem kokiem gan koptās, gan nekoptās audzēs, attiecīgi 0,94 un 0,97 ($p > 0,05$). Koptajās priedes audzēs (līdzīgi kā egles audzēs) konstatēta netaudz augstāka vidējā h/d attiecība lauztajiem kokiem nekā nekoptajās audzēs, attiecīgi 1,08 un 1,01 ($p < 0,05$). Savukārt saliektajiem kokiem priedes audzēs nav konstatēta statistiski būtiska atšķirība h/d attiecībā koptās un nekoptās audzēs (10.33.att.).



* p-vērtība < 0,05 starp h/d attiecībām koptās un nekoptās audzēs

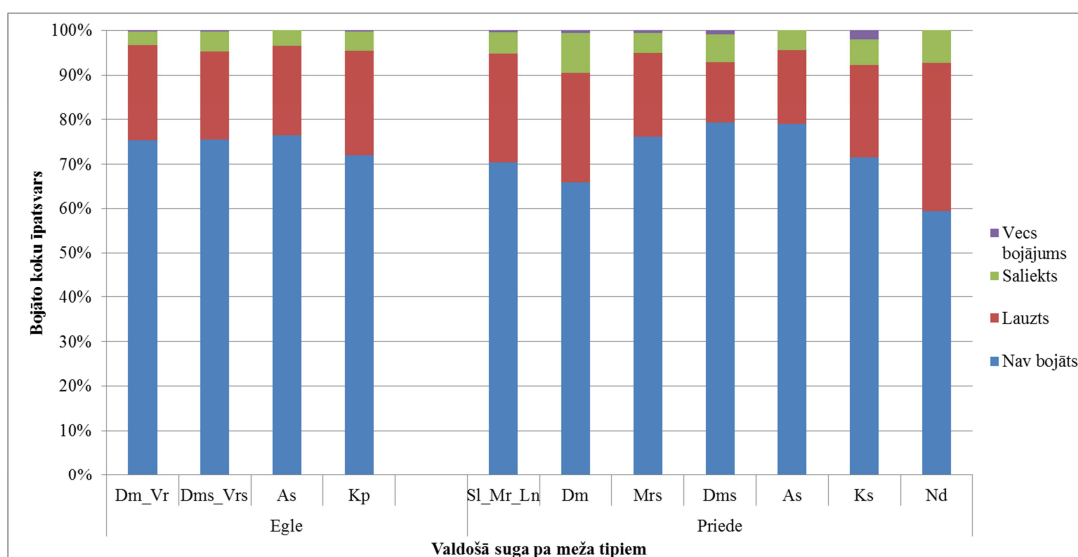
10.33.attēls. Valdaudzes koku augstuma un caurmēra attiecība atkarībā no bojājuma veida (nav bojāti; laužti un saliekušies) pa valdošajām sugām koptās un nekoptās audzēs.

Kopumā var secināt, ka sasalstoša lietus nebojāto valdaudzes koku h/d attiecība ir zemāka nekā bojātajiem kokiem (attiecīgi 0,97 egles un 0,94 priedes audzēs nebojātajiem kokiem, 1,06 egles un 1,05 priedes audzēs laužtajiem kokiem un 1,18 egles un 1,11 priedes audzēs saliektajiem kokiem); starp šīm vērtībām konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ($p < 0,05$).

Meža tipa ietekme uz bojājuma īpatsvaru

Atsevišķi meža tipi paraugkopā pārstāvēti ar ļoti mazu novērojumu skaitu, tādēļ aprēķinu vajadzībām to dati apvienoti, veidojot šādas grupas: egles audzēs damaksnis un vēris (Dm_Vr), slapjais damaksnis un slapjais vēris, (Dms_Vrs), priedes audzēs – sils, mētrājs un lāns (Sl_Mr_Ln). Noskaidrots, ka bojāto valdaudzes koku īpatsvars variē plašā amplitūdā, lielākais bojāto koku īpatsvars (39%) konstatēts šaurlapju ārenī (As) mistrotās audzēs, bet vismazākais bojāto koku īpatsvars konstatēts slapjajā damaksnī (Dms) priedes audzēs (14%) (10.34.att.). Konstatēta statistiski būtiska meža tipa ietekme uz laužto un saliekto valdaudzes koku īpatsvaru ($p < 0,05$). Iespējams, ka šīs konstatētās atšķirības saistītas ar meža tipa ietekmi uz koku h/d attiecību.

Lielākais laužto koku īpatsvars egles audzēs konstatēts Kp (23%), mazāks As un Dms_Vrs (20%) un Dm_Vr (21%). Meža tipa ietekme ir statistiski būtiska tikai gadījumā, ja analizē ietver Kp parauglaukumu datus. Mistrotās audzēs laužto koku īpatsvars variē ļoti plašā amplitūdā, konstatēts, ka visvairāk laužto koku ir As (39%), Dm laužto koku īpatsvars ir 24%, bet Ks – 19 %. Meža tipa ietekme ir statistiski būtiska tikai gadījumā, ja analizē ietver As parauglaukumu datus. Priedes audzēs laužto koku īpatsvars variē no 14% Dms līdz 33% Nd.



10.34.attēls. Sasalstoša lietūs bojāto valdaudzes koku īpatsvars dažādos meža tipos

Visvairāk saliekto koku (12 %) konstatēti As mistraudzēs, salīdzinoši daudz saliekto koku konstatēti Dm priedes audzēs (9 %), mazāk – arī egles un mistrotās audzēs (tikai 3-4%). Priedes audzēs konstatēts salīdzinoši lielāks saliekto koku īpatsvars nekā citās audzēs, tas variē robežās no 4 % (As) līdz 9 % (Dm). Mistraudzēs vislielākais saliekto koku īpatsvars ir As (12%), Ks konstatēti 7% saliekto koku, bet vismazāk šādu koku bija damaksnī (3%).

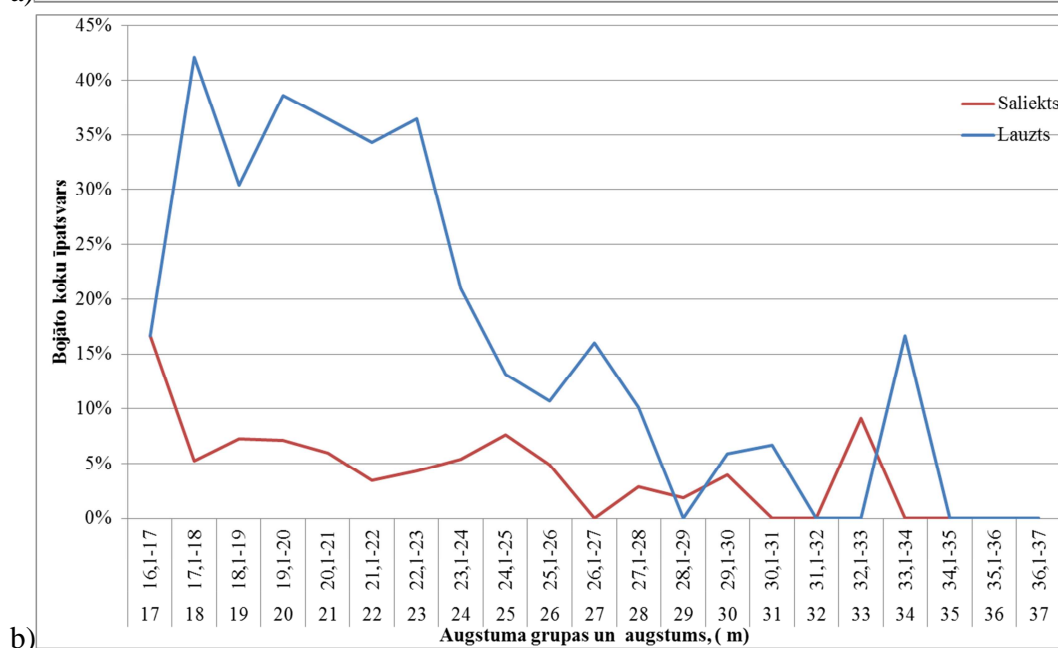
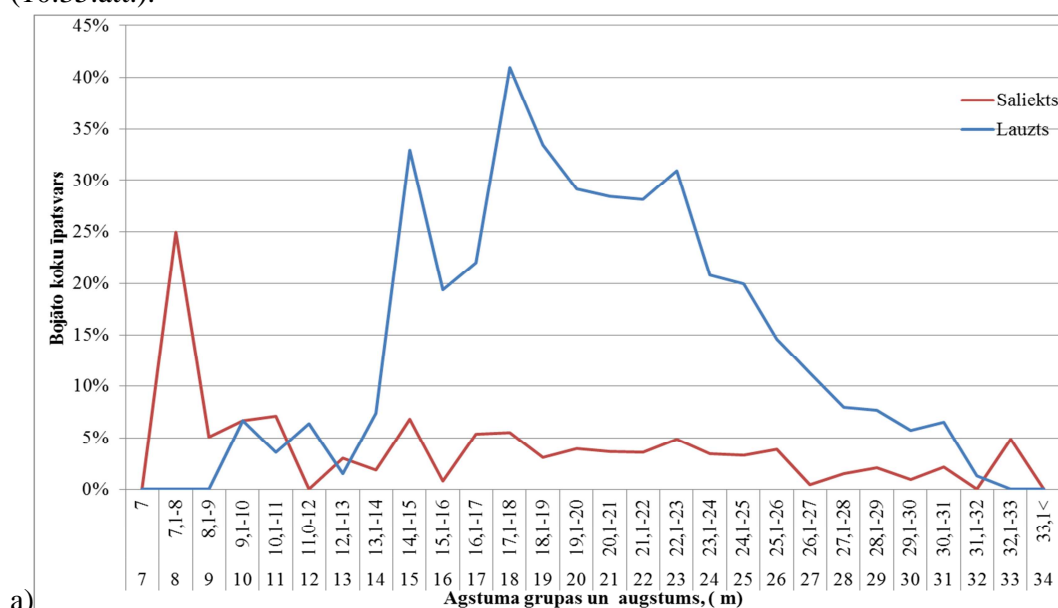
Koka augstuma ietekme uz bojāto koku īpatsvaru

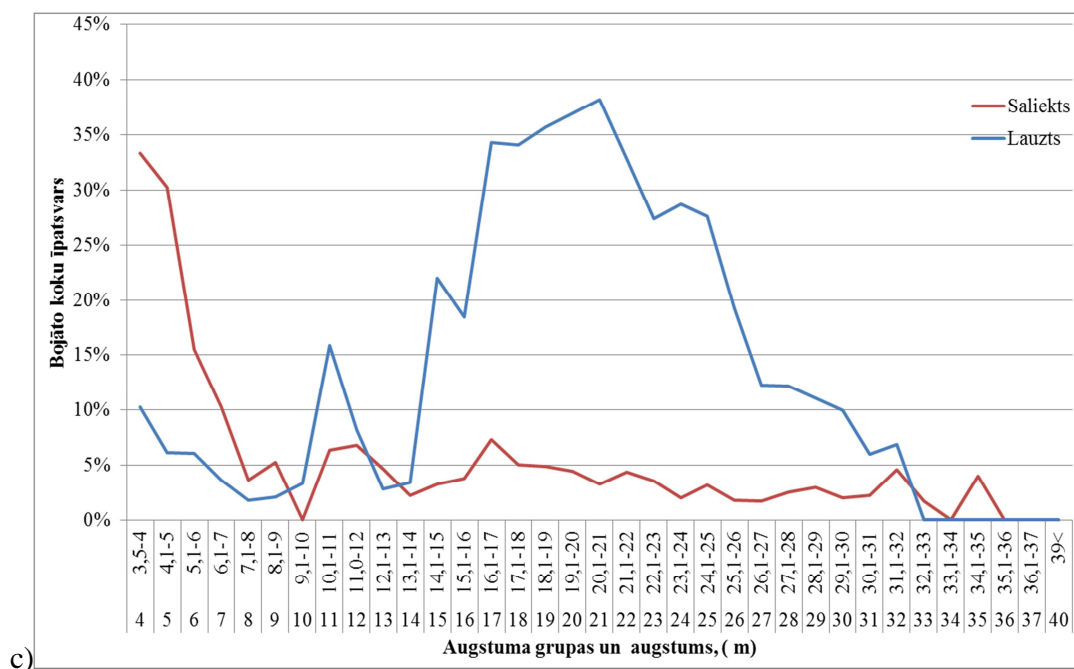
Koku augstuma ietekmes uz bojāto koku īpatsvaru analīzē iekļauti tikai valdaudzes koki. Egles audzēs lūzumi konstatēti, sākot ar 10. augstuma grupu, un intervālā no 10. līdz 13. augstuma grupai laužo koku īpatsvars ir neliels (2-7 %). Lauzto koku īpatsvars strauji pieaug no 13. līdz 15. augstuma grupai, attiecīgi no 2 % līdz 33 %, bet robežas no 16. līdz 17. augstuma grupai novērots bojājumu īpatsvara kritums, attiecīgi uz 19 % un 22 %. Vislielākais bojāto koku īpatsvars egles audzēs konstatēts 18. augstuma grupā, kur 41 % no visiem uzmērītajiem kokiem bija laužti, bet intervālā no 18. līdz 33. augstuma grupai novērojams, ka bojāto koku īpatsvars strauji samazinās, un kokiem, augstākiem par 33. augstumu grupu, lūzumus vairs nekonstatēja (10.35.att.).

Mistraudzēs lielākais laužo koku īpatsvars (42 %), konstatēts 18. augstuma grupā. Augsts laužo koku īpatsvars saglabājas intervālā no 18. līdz 23. augstuma grupa (vidēji 36 %), bet, palielinoties koku augstumam, novērots, ka laužo koku īpatsvaram ir tendence strauji samazināties. Intervālā no 26. līdz 35. augstuma grupai bojāto koku īpatsvars variē plašā amplitūdā (0-17 %).

Priede audzēs laužo koku īpatsvars samazinās no 10 % līdz 2 % intervālā no 2. līdz 8. augstuma grupai, tad pieaug līdz 16 % 11. augstuma grupā, bet intervālā no 14. līdz 21. augstuma grupai strauji pieaug no 3 % līdz 38 %. Līdzīgi kā egles un mistrotās audzēs, pieaugot augstuma grupai, laužo koku īpatsvars strauji samazinās, līdz 33. augstuma grupā nav konstatēti laužti koki (10.35.att.).

Egles audzēs vislielākais saliekto koku īpatsvars (25 %) konstatēts 8. augstuma grupas kokiem. Savukārt saliekto koku īpatsvars pakāpeniski sāk samazināties, sākot ar 9. augstuma grupu, kur konstatēti 5 % saliekto koku, līdz pat 34. augstuma grupai, kur netika konstatēti bojāti koki, tomēr jāpiebilst, ka visā šajā intervālā saliekto koku īpatsvars variē no 1 % līdz 7 %. Mistraudzēs 17. augstuma grupā konstatēts vislielākais saliekto koku īpatsvars (17 %). Robežās no 16. līdz 33. augstumu grupai bojājumu īpatsvars pakāpeniski samazinās, tomēr saliekto koku īpatsvars variē ļoti plašā amplitūdā (no 0 līdz 9 %). Priedes audzēs, salīdzinājumā ar citām audzēm, konstatēts vislielākais saliekto koku īpatsvars (33% - 4. augstuma grupā). Saliekto koku īpatsvars strauji samazinās no 4. līdz 8. augstuma grupai (no 33 % līdz 4 %), bet robežās no 9. līdz 17. augstuma grupai saliekto koku īpatsvars variē plašā amplitūdā no 0 līdz 7 %; intervālā no 18. līdz 35. augstuma grupai saliekto koku īpatsvars pakāpeniski samazinās no 7 % līdz 0% (10.35.att.).



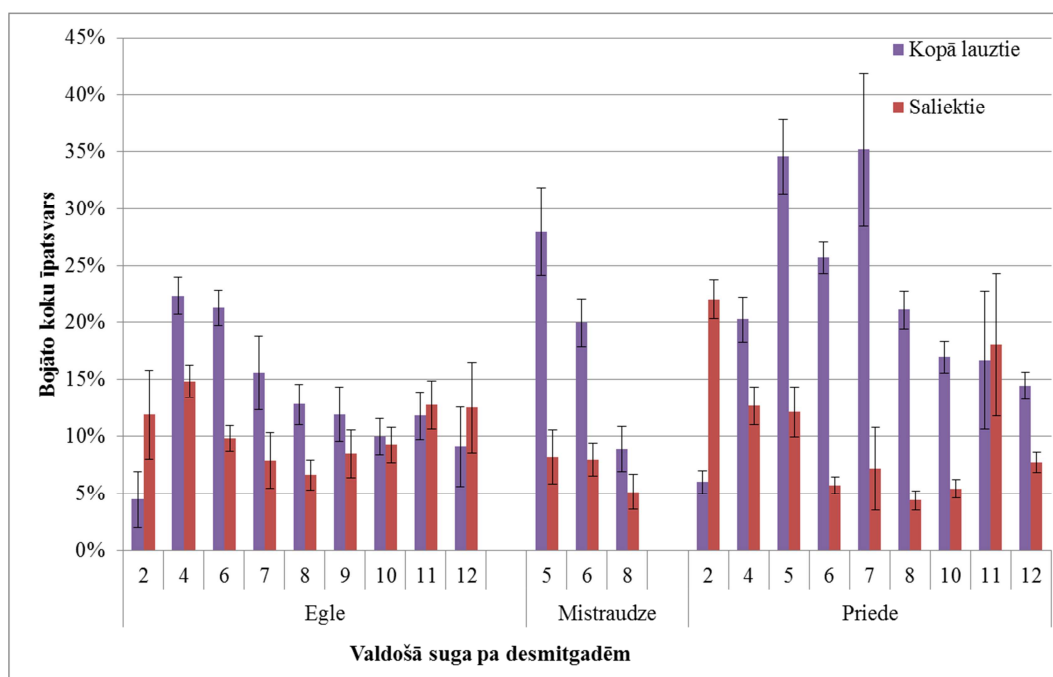


10.35.attēls. Sasalstoša lietus bojāto koku īpatsvars egles audzēs (a), mistraudzēs (b), priedes audzēs (c).

Audzēs vecums un bojājumu īpatsvars

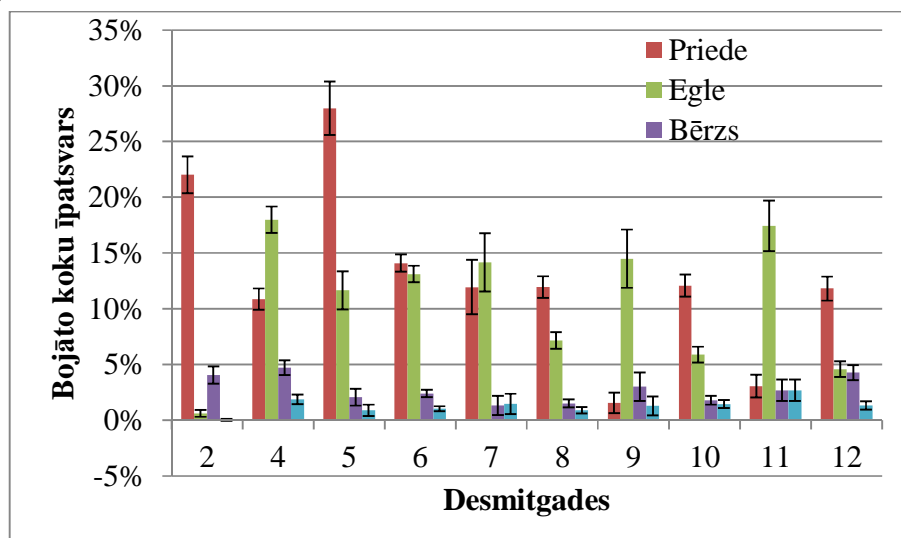
Egles audzēs augstākais laužo koku īpatsvars ir 4. un 6. desmitgadē (attiecīgi 22 % un 21 %), bet, palielinoties koku vecumam, laužo koku īpatsvaram ir tendence vienmērīgi samazināties, un 12. desmitgadē konstatēti tikai 9% laužo koku. Mistraudzēs visvairāk laužo koku konstatēts 5. desmitgadē, kur laužti bija 28% koku, bet 6. un 8. desmitgadē laužo koku bija ievērojami mazāk, attiecīgi 20 % un 9 %. Priedes audzēs vismazāk laužo koku bija 2. desmitgades audzēs, bet lielākais to īpatsvars konstatēts 5. un 7. desmitgadē, kur laužti bija 35 % koku (10.36.att.).

Egles audzēs saliekto koku visvairāk (15 %) konstatēts 4. desmitgadē; vecumam palielinoties līdz 8. Desmitgadei, saliekto koku īpatsvars pakāpeniski samazinās līdz 8 %, taču, vecumam turpinot pieaugt, atkal palielinās, sasniedzot 13 % saliekto koku 11. un 12. desmitgades audzēs (10.37.att.). Priedes audzēs vislielākais saliekto koku īpatsvars (22 %) konstatēts 2. desmitgadē; novērots, ka no 6. līdz 10. desmitgadei saliekto koku īpatsvars nav augsts, un tas variē robežās no 4 % līdz 8 %; augsts saliekto koku īpatsvars konstatēts 11. desmitgadē (10.36.att.).



10.36. attēls. Vecuma ietekme uz bojājuma veidu un īpatsvaru dažādu sugu valdošajās audzēs.

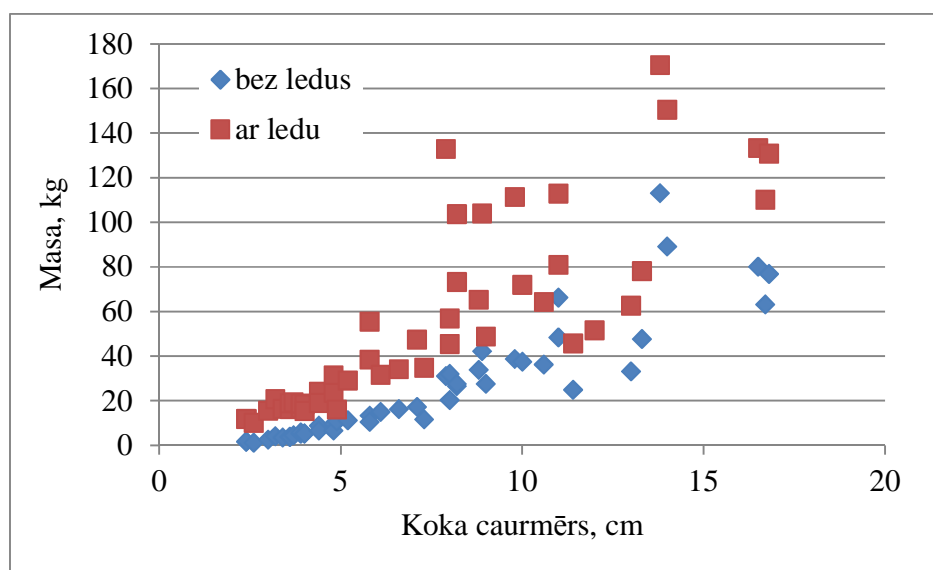
Sasalstoša lietus radītu bojājumu īpatsvara sadalījums pa vecuma desmitgadēm dažādām koku sugām atspoguļots 10.37.attēlā. Konstatēts, ka priedēm izteikti vairāk bojājumu ir 2. un 5. desmitgadē, attiecīgi 22 % un 28 %, bet citās desmitgadēs (izņemot 9. un 11. desmitgadi) bojājumu īpatsvars saglabājas līdzīgs (11 % līdz 14 %). Salīdzinot ticamības intervālus, starp desmitgadēm vienas koku sugas ietvaros, kā arī starp dažādām koku sugām vienas desmitgades ietvaros, konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ($p < 0,05$). Eglēm visvairāk bojātu koku tika konstatēti 4. un 11. desmitgadē, attiecīgi 18 % un 17 % no visiem kokiem šajās desmitgadēs, bet vismazāk – 2. un 12. desmitgadē, attiecīgi 1 % un 5 % koku ar bojājumiem. Bērza bojājumi nedaudz vairāk konstatēti jaunākās audzēs (2. un 4. desmitgadē) un vecās audzēs (12. desmitgade).



10.37.attēls. Sasalstoša lietus bojāto koku īpatsvars dažādu koku audzēs.

Ledus masas uz kokiem

Vērtējot datus no kopumā 57 valdaudzes kokiem var secināt, ka ledus masa uz nolauztajiem kokiem ir vidēji $1,5 \pm 0,27$ reizes lielāka par paša koka biomasu dabiski mitrā stāvoklī. Korelācijas starp koka biomasu un ledus masu uz tā ir cieša un statistiski būtiska ($r=0,92$, $p<0,01$). Koka biomasa ar ledu, līdzīgi kā bez ledus, eksponenciāli atkarīga no tā caurmēra (10.38. att.). Tomēr iegūtie rezultāti liecina, ka kritiskā ledus masas viena un tā paša caurmēra kokiem var nozīmīgi atšķīries, kas, iespējams, varētu būt saistīts ar koku vainagu asimetriju vai vēja ietekmi, kuras rezultātā arī mazāka ledus masas var izraisīt koka lūšanu.



10.38. attēls. Lauztu valdaudzes priežu virszemes masas ar un bez ledus

Kopumā var secināt, ka koka caurmērs ir nozīmīgs un statistiski būtisks sasalstoša lietuvu izraisītu bojājumu apjomu determinējošs parametrs, kā papildus parametrus iespējams izmantot koku augstuma / caurmēra attiecību un koku augstumu. Koku caurmēra saikne ar sasalstoša ledus bojāto koku īpatsvaru ir atšķirīga abām analizētajām koku sugām un nav nemanīga visā analizētajā koku caurmēru intervālā, tādēļ bojājumu riska vērtēšanai, saskaņā ar projekta plānu izstrādājot modeli 2014. gadā, nepieciešams analizēt sakarības atsevišķās koku caurmēru grupās. Parastajai priedei saliekto vai izgāzto koku īpatsvars valdaudzes kokiem samazinās strauji un lineāri, caurmēram pieaugot no 4 līdz 12 cm ($R^2 = 0,95$, taisnes virziena koeficienta $p < 0,01$), un ievērojami lēnāk, taču tāpat lineāri, caurmēram pieaugot no 14 līdz 34 cm ($R^2 = 0,66$, taisnes virziena koeficienta $p < 0,01$). Lielāka caurmēra kokiem novērojamas izteiktas svārstības bojāto koku īpatsvarā, kas skaidrojamas ar nelielu šādu caurmēra pakāpju koku skaitu paraugkopā, līdz ar to būtiskas sakarības nav konstatētas ($p = 0,92$). Lauzto koku īpatsvaram nav izteiktas sakarības ar koku caurmēru grupā līdz 20 cm, lielākās caurmēra pakāpēs novērojams straujš bojāto koku īpatsvara pieaugums ($R^2 = 0,99$, $p < 0,001$) un no 30 cm caurmēra – pakāpeniska bojāto koku īpatsvara samazināšanās, ($R^2 = 0,86$, $p < 0,001$). Lauzto koku īpatsvars līdzīgi arī eglei pakāpeniski pieaug valdaudzes kokiem caurmēru grupā no 10 līdz 30 cm, taču, caurmēram

turpinot palielināties līdz 42 cm, vērojama pretēja tendence – laužto koku īpatsvars pakāpeniski samazinās (abos gadījumos $R^2 = 0,86$, $p < 0,001$).

Iegūtie dati nerada pamatu apgalvot, ka audzēs pirmajos 3 gados pēc kopšanas circes izpildes (kad tās ir nestabilākas, piemēram, pret vēja radītiem bojājumiem) būtu paaugstināts sasalstoša lietus bojāto valdaudzes koku īpatsvars, taču, īpaši eglei, ir paaugstināts bojāto (pēc kopšanas audzē vēl palikušo) starpaudzes koku īpatsvars.

Konstatēta statistiski būtiska meža tipa ietekme uz laužto un saliekto valdaudzes koku īpatsvaru ($p < 0,05$), kas, iespējams, saistīta ar atšķirībām koku h/d attiecībā. Paraugkopas apjoma dēļ nebija iespējama detalizēta meža tipu atšķirību analīze, tikai atsevišķu sakarību konstatācija. Lielākais laužto koku īpatsvars egles audzēs konstatēts Kp (23%), mazāks As un Dms_Vrs (20%) un Dm_Vr (21%). Meža tipa ietekme ir statistiski būtiska tikai gadījumā, ja analīzē ietver Kp parauglaukumu datus. Priedes audzēs lielākais laužto koku īpatsvars konstatēts Nd (33%).

11. Sala bojājumu vērtēšanas metodika

Pārskata periodā saskaņā ar darba uzdevumu ievākts 2 koku sugu – parastās priedes un parastās egles – eksperimentālais materiāls: eglei no 2 proveniencēm, reprezentējot Latvijas rietumu un austrumu daļu, priedei no 4 proveniencēm: divām no Latvijas (Misa un Smiltene) un 2 no Vācijas augstumu daļas (reģiona, kur klimats līdzīgs tam, kāds prognozēts Latvijā gadsimta beigās), izvēloties labāk augošās (lielākā valdaudzes koku krāja 39 gadu vecumā) proveniences eksperimentālajā stādījumā a/s Latvijas valsts meži Vecumnieku iecirknī, un no katras 3 koku ar lielāko augstumu un vismaz vidēju (2 balles) zaru resnuma vērtējumu, kā arī taisnu stumbru, bez padēliem vai citiem defektiem. Kā papildus materiāls priedei izmantoti Lietuvas un Igaunijas sēklu plantāciju vidējie paraugi, kas iegūti, sadarbojoties ar šo valstu meža selekcionāriem. Eksperimentiem paredzēti 200 stādi no katra variantā, ko galvenokārt limitē kopējā sēklu materiāla pieejamība Vācijas proveniencu kokiem stādījumos Latvijā.

Pārskata periodā izvērtēti iespējamie sala bojājumi ziemas perioda klimatisko apstākļu ietekmē un iespējamā metodika, uzsākot empīrisko datu ieguvu par prognozēto klimata izmaiņu ietekmi uz sala bojājumu varbūtību meža kokiem.

Sala bojājumi augos rodas, sasalstot nesaistītajam ūdenim un audos veidojoties ledus kristāliem. Radušos kristālu izmērs ir ievērojami (vairākas reizes) lielāks nekā starpšūnu telpa, tāpēc tie mehāniski kairina protoplazmu – liela kristālu daudzuma rašanās gadījumā kairinājums izraisa neatgriezenisku protoplazmas koagulāciju un šūnas bojāeju (Mauriņa, 1974). Lai panāktu maksimālu salizturību, augam nepieciešams pārtraukt fizioloģisko procesu norisi un uzsākt miera periodu (Repo et al., 2000b; Vogg et al., 1998). Adaptācijas laikā šūnās notiek ķīmiskas un biofizikālas pārmaiņas – palielinās nepiesātināto lipīdu daudzums, kas nodrošina labu membrānu caurplūstamību pat zemās temperatūrās (Yoshida, 1984). Šo fizioloģisko pārmaiņu nozīmi raksturo, piemēram, parastās priedes skujuas, kas vasarā nav spējīgas pārciest pat -10°C salu, bet ziemā var saglabāties līdz pat -80°C temperatūrā (Vogg et al., 1998). Miera perioda iestāšanos un tā pārtraukšanu pavasarī dažādām koku sugām nosaka atšķirīgi mehānismi, kas nodrošina reakciju uz temperatūras un/vai fotoperioda izmaiņām (Repo et al., 2000a). Salizturības stāvokli labi raksturo fotosintēzes aktivitāte – norūdītam augam (kas fizioloģiski sagatavojies ziemas miera periodam) tā ir zema, nenorūdītam – augsta (Repo et al., 2000a; Vogg et al., 1998).

Sala bojājumu intensitāte atkarīga no auga salcietības pakāpes un temperatūras izmaiņu (pazemināšanās) gradienta. Ja augs sagatavojies ziemas miera periodam un šūnās pirms sala ūdens daudzums ir neliels, tad nav tik izteikta ledus kristālu veidošanās, sasalstot ūdenim starpšūnu telpā un radot negatīvu spiedienu, kas izsūc brīvo ūdeni no šūnas (var sasalst ap 80% šūnā esošā ūdens) un atstāj koncentrētu šūnas saturu, tādējādi izraisot osmotisko stresu (Vogg et al., 1998). Atkarībā no temperatūru samazināšanās ātruma, vai nu uz šūnapvalka vai starpšūnu telpā, vai šūnūlā veidojas ledus kristāli, kas mehāniski bojā šūnu struktūras. Gadījumos, kad temperatūras svārstības notiek sevišķi strauji – temperatūras krišana dažu stundu laikā par 20°C , novērojama sala gadskārtas rašanās. Sala gadskārtas veido traheīdu šūnas ar deformētiem un plāniem šūnapvalkiem. Šādu gadskārtu veidošanās nereti limitē koka maksimālo vecumu (Lee et al., 2007).

Ievērojamākos bojājumus sals var nodarīt jauniem kokiem, kad notiek aktīvākā augšana (Vogg et al., 1998; Repo et al., 2000a), t.i. aktīva šūnu stiepšanās, un šūnās ir daudz ūdens, lai šos procesus nodrošinātu. Sasalstot ūdenim vaskulārajos augos, tajā esošās gāzes izdalās, jo nav spējīgas šķīst ledū, tāpēc veido gāzu burbuļus. Iestājoties siltākam laikam, gāzu burbuļi saplūst, traucējot (nosprostojot) vielu transportu, sevišķi, šauros vadaudos ($<15\ \mu\text{m}$) (Field, Brodribb, 2001). Sala izturība paaugstinās, brīvo ūdeni saistot, ievadot šūnā glikozi, saharozi, sāli vai eļļas. Daudzas koku sugas, tuvojoties ziemas sezonai, rezerves cieti pārvērš eļļās (Mauriņa, 1974), kas nodrošina arī vielu transporta iespējas kokā, jo nepiesātinātajām taukskābēm arī zemās temperatūrās saglabājas labāka plūstamība. Piemēram, zīdkokam *Morus bombycis* veģetācijas periodā šūnu plazmatiskajā membrānā sastopami galvenokārt steroli, bet, iestājoties vēsākam laikam, tos nomaina linolskābe (Yoshida, 1984).

Sala bojājumu rašanos var veicināt dažādi citi vides faktori, piemēram, paaugstināta CO_2 koncentrācija gaisā (Murray et al., 1994), tāpat arī bora deficīts augsnē, kas parastajai eglei būtiski pazemina apikālo pumpuru vitalitāti, un ziemas periodā sals izraisa šo pumpuru bojāeju (Räisänen et al., 2006). Tādējādi tiek zaudēta apikālā dominance un apgrūtināta koka augšana.

Salcietības testu veikšanas metodiskie aspekti (*indicējot plānotos pētījumu virzienus*):

1) salcietības pārbaudēm nepieciešamo sējeņu skaitu variantā nosaka pārbaužu reižu skaits un pārbaudāmais materiāls – jo tas ģenētiski nevienmērīgāks, jo lielāks koku skaits nepieciešams katrai pārbaudes reizei. Piemēram, sēklu plantāciju vidējiem paraugiem, proveniencēm/populācijām izmantojami 40-50 koki (*atziņas šai jautājumā ir pretrunīgas, tādēļ tās lietderīgi pārbaudīt darbu izpilde procesā*), kloniem – 4 rameti vienai pārbaudes reizei (11.1. att.);



11.1. attēls. Salcietības pārbaudēm paredzēti egļu spraudēni.

2) plānojot pētījumus veikt ilgākā laika periodā (vairākus gadus), svarīgi, lai būtu pieejams un tajos tiktu iekļauts viens un tas pats kontroles materiāls (piemēram, noteikta

gada vienas sēklu plantācijas vidējais paraugs), nodrošinot iespējas salīdzināt rezultātus starp gadiem un variantiem;

3) eksperimentālā materiāla audzēšanas periodā būtiski nodrošināt to marķēšanu (piemēram, izmantojot uz fotopapīra drukātus un uz plastikāta paliktņa uzlīmētus marķējumus) un iespējami vienādus apstākļus visiem kokiem (11.2. att.), tādēļ klimata kamerā izvietotajās kastēs netiek izmantoti konteineri, sējvietas tiek randomizētas, un kastu novietojums periodiski mainīts (piemēram, tās izvietojot uz galdiem, ko vienkāršāk pārvietot telpā, un pārvietojot kastes uz galda). Tiek atzīmēti stādi, kas kastēs izvietoti malas rindās, šo informāciju ņemot vērā datu analīzē.



11.2. attēls. Materiāla audzēšana salcietības testiem.

4) salcietību nozīmīgi ietekmē gan koka vecums (neizturīgāki ir līdz 2 gadus veci koki), gan izmērs (neizturīgāki ir mazāka izmēra koki), tādēļ šie faktori jāņem vērā, plānojot eksperimentu. Būtiski pirms eksperimentu uzsākšanas nomērīt koku augstumu un sakņu kakla caurmēru, iegūstot datus, ko izmantot kā kovarianti turpmākajā analīzē;

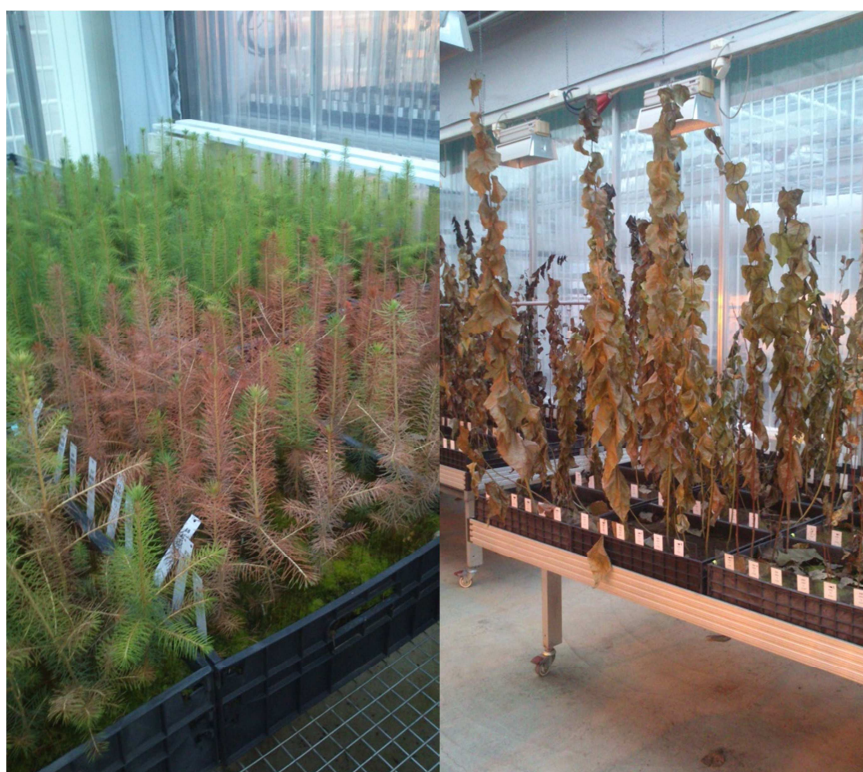
5) veicot salcietības testus, būtiski pasargāt koka sakņu sistēmu, tādēļ saldēšanas kamerā gar konteineru malām izvieto izolācijas materiālu (11.3. att.) un eksperimentu veikšanai neizmanto nesen laistītus stādus.



11.3. Sakņu aizsardzība salcietības testu veikšanā.

6) audzējot stādmateriālu salcietības eksperimentiem, iespējams izmantot vienu no divām pieejām: a) audzēt noteiktā (kādam klimata izmaiņu scenārijam atbilstošā) temperatūrā kontrolētos apstākļos; b) kontroles materiālu audzēt ārējā vidē un eksperimentālo – klimata kamerā, kur temperatūra atbilst ārējās vides temperatūrai, kas paaugstināta par noteiktu, konstantu grādu skaitu (atbilstoši kādam no klimata izmaiņu scenārijiem), piemēram, $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, tādā gadījumā, kad ārvidē $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, tad augšanas kamerā $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$, kad ārvidē $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, tad kamerā $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ utt. Otrā pieeja nodrošina dabisko fluktuāciju ietekmes saglabāšanu, taču arī zemāku eksperimenta prognozējamību un atkārtojamību, jo nav iespējams iepriekš paredzēt, kāda būs konkrētā veģetācijas sezona. Piemēram, Somijā konstatēts, ka 10 gadu periodā vienā novērojumu punktā gada aktīvo temperatūru summas amplitūda sasniedz pat $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ir robežas no $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ līdz $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$). *Nemot vērā, ka prognozētais temperatūras pieaugums pa sezonām ir atšķirīgs, iespējams temperatūru kamerā salīdzinājumā ar temperatūru ārvidē paaugstināt dažādi atšķirīgos veģetācijas perioda posmos, iegūstot prognozētajam klimatam vēl vairāk pietuvinātu augšanas sezonu.*

7) sala bojājumu raksturošanai skuju kokiem iespējams izmantot 6 ballu skalu, novērtējot primāro (un, ja nepieciešams, atsevišķi arī sekundāro) skuju ietekmēto daļu (% no skujas garuma); papildus atzīmējot dažādas konstatētās anomālijas. Lapu kokiem bojājumu pakāpi nav iespējams noteikt nekavējoties, tādēļ tos pēc salcietības testa jāuzglabā konstantā temperatūrā, bojājumus raksturojot pavasarī, kad novērtē augstākā dzīvā (plaukstošā) pumpura augstumu proporcionāli pret kopējo stumbra garumu (11.4.att.);



11.4. attēls. Eksperimentālais materiāls pēc salcietības testiem.

8) sala bojājumu novērtēšanu var veikt arī ar elektriskās pretestības analīzi (*electrical impedance analysis*), kas balstīta uz eklektiskās pretestības samazināšanos starpšūnu telpā, ko izraisa jonu noplūdes no šūnas caur sala ietekmē bojāto plazmatisko membrānu. Mērījumus veic iespējami drīz pēc sala ietekmes un visam eksperimentālajam materiālam vienā laikā, lai nodrošinātu iegūto rezultātu savstarpēju salīdzināmību. Datus iegūst, caur audu paraugu vadot maiņstrāvu – strāvas stiprumu, kas iziet caur starpšūnu telpu, un šūnām nosaka maiņstrāvas frekvenci un audu tipu, audu bojājumus raksturo pretestības atšķirības starp tiem. Metode ir destruktīva, tomēr nodrošina objektīvu novērtējumu par bojājumiem šūnu līmenī (Repo et al., 2000a; Repo et al., 2000b).

9) lapu un skuju bojājumu noteikšanai var izmantot arī elektrolītu noplūdes metodi, iegūstot informāciju par joniem, kas izplūst no šūnām sala ietekmē bojāto šūnapvalku dēļ. Noplūstošie elektrolīti uzkrājas apoplastā, ko skalo ar destilētu ūdeni un nosaka šķīduma elektrisko vadītspēju. Salīdzinot elektrisko vadītspēju paraugiem, kas pakļauti salam, un kontrolei, iespējams noteikt aukstumizturības pakāpi (Repo et al., 2000a). Konstatēts, ka elektrolītu noplūde uzrādīja izteiktu korelāciju ar augstuma pieaugumu nākamajā veģetācijas periodā pēc sala ietekmes (McKay, 1992);

Analizējot iespējamās sala bojājumu intensitātes un biežuma izmaiņas klimata izmaiņu ietekmē, būtiski ņemt vērā salcietības veidošanās un mazināšanās sezonālo ciklu un to nosakošos faktorus konkrētai koku sugai. Kritiskie ar klimata izmaiņām saistītie aspekti ir pārāk lēna salcietības veidošanās rudens periodā, salcietības zudums ilgstošā atkustnī ziemas periodā, kā arī pārāk strauja salcietības zaudēšana pavasara periodā.

Lielākajā daļā pētījumu vērtēti sala bojājumi, kas saistīti ar meteoroloģisko apstākļu ietekmi uz izmaiņām salcietības veidošanās posmā (rudē), tādēļ lietderīgi, uzsākot līdzīgus eksperimentus Latvijā, veikt literatūras datu apkopojumu par šo pētījumu rezultātiem. Konstatēts, ka pēc koku salcietības izveidošanas rudē (reakcijas uz dienas garuma samazināšanos, raksturīga daļai koku sugu), ilgāku laiku saglabājos siltiem apstākļiem, tā atkal samazinās. Tas izraisa paaugstinātu sala bojājumu risku, ko lietderīgi novērtēt, izmantojot ne vien Latvijas, bet arī to reģionu, kuru klimats Latvijā nākotnē tiek prognozēts (Vācijas), saimnieciski nozīmīgāko koku sugu provenienču vai sēklu plantāciju vidējo paraugu materiālu. Šāda materiāla izvēle ir būtiska arī, lai analizētu ar plaukšanu saistīto nepieciešamo negatīvo temperatūru summu (*chilling requirement*) un līdz ar to pavasara salnu bojājumu ietekmi. Kombinējot informāciju par gaisa temperatūrām un to ietekmi augsnes temperatūru, mitrumu un uz koku sasilšanu bezsniega ziemas periodā ar relatīvi augstu temperatūru, būtiski vērtēt bojājumus, kas sasilstot veidosies ne tikai koku virszemes daļai, bet arī saknēm. Paredzēts, ka ietekmei (eksperimentam) pakļautais stādmateriāls tiks audzēts vēl vismaz 1-2 sezonas (potenciāli – atšķirīgos klimatiskajos apstākļos) – tādējādi iegūstot datus par faktisko sala bojājumu ietekmi uz koku saglabāšanos un augšanu. Eksperimentos nozīmīgi iekļaut dažāda vecuma un veida stādmateriālu.

Salcietības pētījumos lielākā vērība veltīta parastajai priedei un parastajai eglei, taču trūkst informācijas par koku sugām, kuru nozīme Latvijā varētu pieaugt klimata izmaiņu kontekstā, piemēram, dižskābardi, alkšņu sugām. Analizējot kontrolēto krustojumu vai klonu materiālu, iespējams iegūt kvantitatīvu informāciju par dažādu genotipu fenotipisko plasticitāti, kas līdz šim ļoti maz pētīta, taču var nozīmīgi ietekmēt koku adaptācijas potenciālu.

12. Nokrišņu sadalījuma izmaiņu ietekme uz meža atjaunošanu

Pārskata periodā saskaņā ar darba uzdevumu analizēta nokrišņu sadalījuma izmaiņu ietekme uz meža atjaunošanu 3 meža tipiēm atbilstošos apstākļos, izmantojot 3 koku sugu vairāku veidu stādmateriālu, kas paredzēts atšķirīgiem Latvijas reģioniem. Ņemot vērā, ka eksperimentam paredzētā infrastruktūra LVMI Silava gada sākumā vēl nebija pieejama, ierīkots pagaidu eksperimentālais objekts, papildinot 2012. gada sākumā izveidoto, kurā iespējams kontrolēt mitruma, bet ne temperatūras režīmu. Meža tipiēm atbilstošā augsne iegūta pieaugušās mežaudzēs un iebērtā izolētās bedrēs (katram meža tipam divas) ar platību 10 m² un dziļumu 0,5 m (12.1. att.).



12.1. attēls. Eksperimenta bloku ierīkošana.

Kopumā stādi randomizēti izvietoti 6 blokos, kas atbilst meža tipam un nokrišņu režīmam: damaksnis kontrole (nokrišņu režīms nemainīts) (DmK), damaksnis eksperiments (nokrišņu režīms izmainīts) (DmI) – šie divi bloki ierīkoti jau 2012. gada sākumā; sils kontrole (SIK), sils izmainīts (SII); šaurlapju kūdrenis kontrole (KsK) un šaurlapju kūdrenis izmainīts (KsI) (12.2. att.).

2013. gadā veikti periodiski koku augstuma pieauguma mērījumi. Veģetācijas sezonas beigās stādmateriāls izrakts, tā biomasa sadalīta komponentēs (saknes, stubrs ar zariem, lapas vai skujujas), veikta svēršana, mitruma noteikšana, saknēm – skanēšana un to garuma (pa dažādām diametra grupām) aprēķināšana ar programmu WinRHIZO.

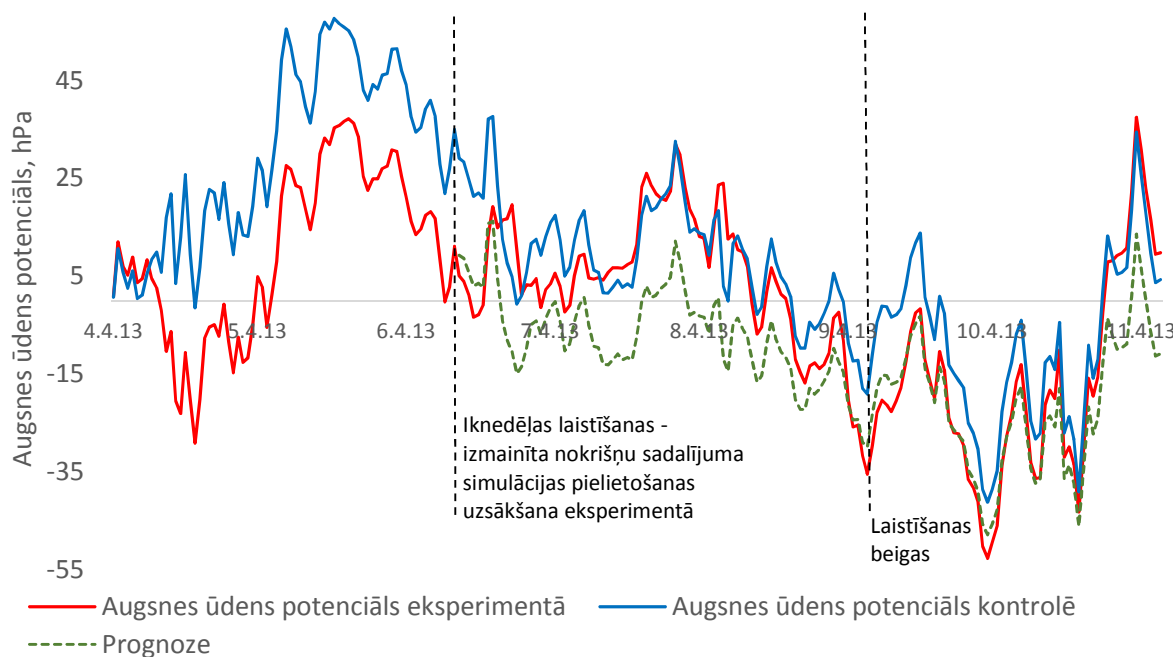


12.2. attēls. Ierīkotais eksperiments.

Eksperimentā laistīšana tika veikta reizi 6 līdz 8 dienās, pievadītā ūdens apjoms aprēķinot kā attiecīgā perioda nokrišņu summu (tātad saskaņā ar klimata izmaiņu prognozēm mainot nokrišņu sadalījumu, bet ne kopējo apjomu), tajā pašā laikā kontrolē beznokrišņu periodi nebija garāki par 5 dienām (vidēji 3 dienas).

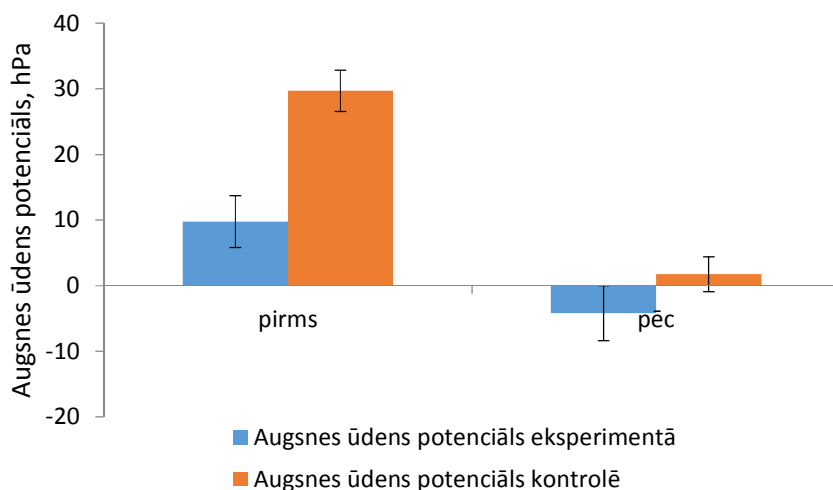
Platībā tika veikti augsnes ūdens potenciāla mērījumi gan kontroles, gan izmainīta nokrišņu sadalījuma stādīvietās. References periodā (pavasārī, pirms mitruma režīma kontroles uzsākšanas), kas izmantots, lai vērtētu kontroles un eksperimentālās platības mitruma režīmu sinhronitāti, sākotnēji augsnes ūdens potenciāls bijis zems, jo 2013. gada augšanas sezonas sākumā ļoti ilgi saglabājās sniega sega (12.3. att.). Augsnes ūdens potenciāls strauji pieauga pēc atkušņa iestāšanās, un jūnija sākumā, īsi pirms references perioda beigām, novērots visaugstākais vidējais diennakts nokrišņu apjoms.

Pīrsona korelācijas koeficients starp kontroles un eksperimenta augsnes ūdens potenciāliem references periodā (pirms laistīšanas uzsākšanas) ir $r=0,86$, bet kontrolētā mitruma režīma periodā sakarība ir kļuvusi vēl ciešāka ($r=0,90$). Vidējā augsnes ūdens potenciāla atšķirības starp kontroli un eksperimentu references periodā ir statistiski būtiskas ($p<0,05$), bet pēc mitruma režīma kontroles uzsākšanas (pievadot vidēji $8,05 \text{ mm m}^{-2}$ ūdens vienā laistīšanas reizē) – nav būtiskas ($p>0,05$) (12.4. att.). References perioda augsnes mitruma izmaiņas izmantotas, prognozējot turpmākās sezonas eksperimenta izmēģinājuma augsnes ūdens potenciāla vērtību svārstības (12.3. att.). Prognoze ir ar lineāro regresiju veikts ūdens potenciāla novērtējums izmainītajā mitruma režīmā, kas balstās uz sakarību ar ūdens potenciālu kontrolē (novērtētu references periodā). Redzams, ka sākumā prognoze rāda sistemātiski zemākas vērtības nekā reālās, taču eksperimenta perioda beigās prognozes novērtējums faktiski sakrīt ar reālajām vērtībām.



12.3 attēls. Augšnes ūdens potenciāla izmaiņas.

Vasaras vidū (jūlijā un augusta sākumā) ir reģistrētas augstākās diennakts vidējās gaisa temperatūru vērtības, un taču šajā periodā augšnes ūdens potenciālam visos blokos novērotas tikai īslaicīgas bez izteiktas ilglaicīgas tendences (12.3. att.).

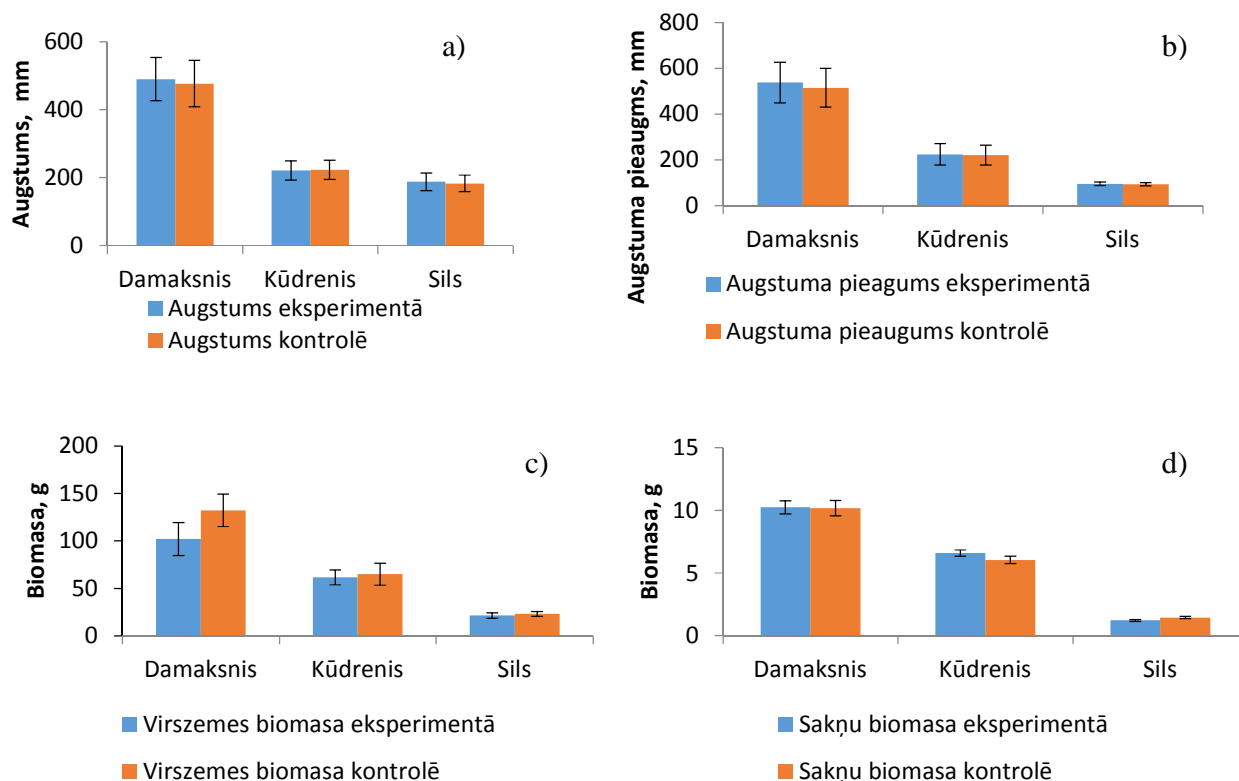


12.4. attēls. Vidējā augšnes ūdens potenciāla vērtību atšķirības kontrolē un eksperimentā pirms un pēc laistīšanas uzsākšanas.

Iespējams, ka iegūtos rezultātus ietekmējušas neprecizitātes laistīšanā (nefiksējot precīzu tās veikšanas laiku), kā arī pārāk vēla laistīšanas uzsākšana (neizolējot platību pirms maksimālā augšnes ūdens potenciāla sasniegšanas) vai kļūdas bloku izolācijā, nenovēršot pilnīgi visu horizontālo un vertikālo ūdens plūsmu.

Līdzīgi kā augsnes mitrumu, arī koku augstuma pieaugumu veidošanās dinamiku (augšanas intensitāti) mitruma režīma regulēšana (eksperiments) neietekmēja.

Nav konstatētas statistiski būtiskas atšķirības ($p>0,05$) nedz vidējai koku sakņu un virszemes biomasai, nedz vidējam kopējam augstuma pieauguma garumam vienam un tam pašam stādmateriāla veidam kontroles un eksperimenta (kontrolētā mitruma režīma) blokos (12.5 att.).



12.5 attēls. Koku sākotnējā augstuma (a), augstuma pieauguma (b), absolūti sausas virszemes biomasas (c) un sakņu biomasas (d) salīdzinājums dažādos meža tipos blokos ar neietekmētu (kontrolē) un regulētu (eksperiments) mitruma režīmu.

Divfaktoru dispersijas analīzes rezultāti liecina, ka visām trim saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām (priedei, eglei un bērzam) nozīmīgākie augstuma pieaugumam ietekmējošie faktori 2013. gadā ir stādmateriāla veids un meža tips (augšnes apstākļi) ($p<0,001$). Konstatēts, ka damaksnī augstuma pieaugums ievērojami pārsniedz pārējos divos meža tipos novēroto. Rezultāts ir divu faktoru – lielāka stādmateriāla (koku augstuma veģetācijas sezonas sākumā) un augsnes – ietekmes kombinācija. Turklāt koku vidējā augstuma atšķirības starp meža tipiņiem veģetācijas sezonas sākumā nav tik izteiktas kā to vidējā pieauguma atšķirības.

Meža tipam (augšnei) un stādmateriāla veidam ir statistiski būtiska ($p<0,001$) ietekme uz virszemes biomasu gan priedēm, gan bērziem un eglēm. Līdzīgas sakarības konstatētas, vērtējot sakņu biomasu: gan meža tipa, gan stādmateriāla veida ietekme ir statistiski būtiska. Eglei,

atšķirībā no citām koku sugām, konstatēts, ka sakņu biomasu statistiski būtiski ietekmē arī mitruma režīms ($p < 0,001$). Tas saskan ar literatūrā atrodamo informāciju par egles relatīvi augstāko jutību pret sausuma stresu.

Konstatēts, ka visām sugām un stādmateriālu veidiem Pīrsona korelācijas koeficienti starp egļu un virszemes biomasu bija augsti un statistiski būtiski un koku virszemes biomasu bija ievērojami lielāka par sakņu biomasu. Vērtējot biomasas sadalījumu, konstatēts, ka regulētā mitruma režīmā (eksperimentā) salīdzinājumā ar nemainīto mitruma režīmu viena un tā paša meža tipa ietvaros vienam un tam pašam stādmateriāla veidam lielākā daļa no kopējās biomasas novirzīta sakņu (īpaši fizioloģiski aktīvo jeb uzsūcošo sakņu ar diametru mazāku par 2 mm) veidošanai. Līdzīgu sakarību uzrāda arī sakņu kopgarumi pa to diametru klasēm, kas noteikti ar WinRHIZO programmu (12.6 att.). Iegūtie rezultāti saskan ar citos pētījumos fiksēto koku atbildes reakciju uz sausuma stresu. Tomēr konstatētās atšķirības nav statistiski būtiskas, liecinot par relatīvi nelielu stresa ietekmi šajā eksperimentā.



12.6. attēls. Dažādu stādmateriāla veidu sakņu sistēmas un to analīze WinRHIZO programmā

Iegūtie rezultāti liecina, ka līdzšinējais eksperimentam piemērotais nokrišņu apjoma sadalījuma izmaiņu režīms (kas atbilst mērenu klimata izmaiņu scenārijam) nerada paliekošu negatīvu ietekmi uz koku saglabāšanos un augšanu, tādēļ turpmākajos pētījumos lietderīgi novērtēt kompleksu mitruma režīma izmaiņu un temperatūras paaugstināšanās ietekmi, kā arī izvērtēt tādu mitruma režīmu, kāds tiek prognozēts saskaņā ar būtisku klimata izmaiņu scenāriju.

13. Dendrofāgo kaitēkļu sugu savairošanās draudu izvērtējums

Nodaļā ietverts Latvijas saimniecībai nozīmīgāko dendrofāgo kaitēkļu sugu savairošanās draudu izvērtējums uz parazītoīdu ekoloģijas un klimata scenāriju (un situācijas tiem atbilstošās teritorijās) fona.

Dendrofāgo kukaiņu masveida savairošanās ir neatņemama mežsaimniecības problēma, kas būtiski ietekmē valsts ekonomiku (Schonrogge, Crawley, 2000; Stireman et al., 2005; Wilson et al., 2005). Mežu ekosistēmām draudus rada arī potenciāli invazīvās sugas, kuru invāzijas risku palielina intensīvā starpvalstu tirdzniecība (Menu et al., 2000; Niemela, Mattson, 1996; Petzoldt, 2002; Robinson, 2005). Dendrofāgu savairošanās vēstures izpēte liecina, ka to uzliesmojumu biežums laika gaitā pieaug, un tiem ir cieša saistība ar globālām klimata izmaiņām (Fleming, Volney, 1995; Hance et al., 2007; Kollár et al., 2009; Stireman et al., 2005). Pirmās ziņas par kaitēkļu masveida uzliesmojumiem pasaulē ir aprakstītas, tikai sākot ar 18. gadsimtu (Hance et al., 2007; Moraal, Akkerhuis, 2010; Stireman et al., 2005; Wilson et al., 2005).

Vairākus mizgraužu, koksngraužu, smecernieku un lapu alojošo lapseņu un tauriņu sugu ir raksturīgi skaidri izteikti savairošanās cikli, kas periodiski, neatkarīgi no izplatības reģiona, atkārtojas. Jāatzīmē, ka miera periods starp uzliesmojumiem šīm kukaiņu sugām ir noteikts, tāpēc savairošanās kļūst aptuveni paredzamas (Brockhoff et al., 2006; Estay et al., 2008; pēc IPCC 2007 datiem). Savukārt, to uzliesmojumu norise, kuriem nav skaidru ciklisku iezīmju, skaidrojama ar pēkšņām reģionālām klimata izmaiņām – piemēram, pēkšņu sausumu vai karstumu (Battisti, 2006; Berryman, 1996). Turklāt, informācija liecina, ka sezonālās klimatiskās izmaiņas, kas ietekmē kaitēkļu uzliesmojumus, netieši veicina to parazītoīdu savairošanos nākamajā gadā (Allard et al., 2003; Ashworth, 2001; Wilson et al., 2005). Lai gan daudzām kaitēkļu sugām ir noskaidroti savairošanos veicinošie klimatiskie apstākļi, līdz šim nebija tiešas skaidrības, kā tie saistāmi ar kaitēkļiem nozīmīgāko parazītoīdu bioloģiju, un kā tas ietekmē saimnieka – parazīta savstarpējās attiecības (Ford, Shaw, 1991; Hill et al., 1999; Kollár et al., 2009; Schroeder 2008).

Pašlaik Latvijā vairāk ir pētīta ekoloģija sekojošām meža kaitēkļu sugām: priežu sprīžotājam (*Bupalus piniarius*), egļu mūķenei (*Lymantria monacha*), priežu pūcītei (*Panolis flammea*), priežu parastai zāglapsenei (*Diprion pini*), priežu rūsganai zāglapsenei (*Neodiprion sertifer*), priežu sfīngam (*Hyloicus pinastri*), egļu astoņzobu mizgrauzim (*Ips typographus*), lielajam priežu smecerniekam (*Hylobius abietis*). Pētījumu rezultātā ir noskaidroti praktiski aspekti šo sugu monitoringam, kontrolei. Latvijā 2008. gadā pirmo reizi notika viena no pasaulē agresīvākajiem kaitēkļiem – ozolu mūķenes (*Lymantria dispar*) savairošanās. Pirms tam nebija praktiski nekādas informācijas par šī dendrofāga ekoloģiju Latvijā. Šis gadījums pierāda, ka jāpievērš uzmanība tām sugām, kuras Latvijā konstatētas salīdzinoši nesen vai arī sastopamas līdzīgu klimatisko apstākļu reģionos citur pasaulē.

Šī pētījuma mērķis ir sniegt informāciju par jau apskatītu un jaunu (karantīnas) kaitēkļu sugu iespējamiem sagaidāmajiem savairošanās riskiem tuvāko 100 gadu laikā Latvijas teritorijā – mainoties klimatiskajiem apstākļiem, turklāt noskaidrot, kā šo savairošanos var ietekmēt to būtiskākie parazītoīdi un veģetācijas perioda izmaiņas nākotnē.

Pētījuma ietvaros vākta un apkopota informācija par nozīmīgāko dendrofāgo sugu ekoloģiju, tai skaitā no teritorijām, kurās klimats līdzīgs kā Latvijā nākotnē prognozētais. Informācija par atsevišķu sugu bioloģiskajiem parametriem apkopota pielikumos (1.,2.,3.pielikums). Noskaidroti būtiskākie meža kaitēkļu parazitoīdie organismi (balstoties uz kaitēkļu mirstības pētījumiem), kā arī optimālā temperatūra to maksimālajai auglībai (apskatot informāciju, kas iegūta to reprodutivitātes pētījumos). Savairošanās kritisko punktu izvēlei atlasīti literatūrā pieejamie dati par savairošanās reģionos esošajiem klimatiskajiem apstākļiem (pārsvārā gaisa temperatūras), kombinējot tos ar Latvijā un pasaulē veiktajiem vidējo temperatūru prognožu modeļiem (pamatā izmantojot U.Bethera (2012) un IPPC (2007) datus). Lai novērtētu kaitēkļu kritiskos savairošanās sākumperiodus nākotnē, tika atlasītas vidējās un maksimālās temperatūras vasarā, sākot no maija līdz septembrim (kas ir pieci mēneši – literatūrā aprakstītais vidējais „silto” mēnešu optimums, kas nepieciešams vairumam meža kukaiņu sugu normālai attīstībai vasaras laikā) (Lynn, 2009; Moretti et al., 2010). Zinot to, ka vairumam meža kaitēkļu sugu uzliesmojumus veicina vasaras temperatūras virs 25 °C, kas ilgākas par vienu nedēļu (Hance et al., 2007; Singh, Satyanarayana, 2009; Venette, Abrahamson, 2011), starp vidējām un maksimālajām „silto” mēnešu temperatūrām (pēc LVGMA datiem) aprēķināts vidējais rādītājs (turpmāk tekstā - vidējais izkliedes rādītājs). Kopējais vidējais izkliedes rādītājs starp maksimālo un vidējo temperatūru Latvijā vasarā ir 24,4 °C. Starpības starp šo rādītāju un kaitēkļa savairošanās vidējām temperatūrām, kā arī starp parazitoīda vidējām attīstībai optimālām temperatūrām ļauj noskaidrot kaitēkļu kritiskos savairošanās sākumperiodus nākotnē, un vai tos ietekmēs parazitoīdu bioloģija.

Papildus uzskaitītajiem analizēti šādi faktori – patogēnu maksimālai reprodukcijai optimālās temperatūras, dendrofāgu un to parazitoīdo organismu attīstībai kritiskais lietavu perioda ilgums un laiks vasarā. Veikts kritisko sausuma periodu un salcietības rādītāju salīdzinājums uz klimata scenāriju fona. Zinot parazitoīdu attīstības laikus vasarā un prognozētās veģetācijas perioda izmaiņas, iespējams paredzēt to savairošanās perspektīvas un lomu dendrofāgu ierobežošanā. Salcietības un sausumizturības dati ļauj spriest par dendrofāgu pielāgotību reģionālām meteoroloģiskām izmaiņām.

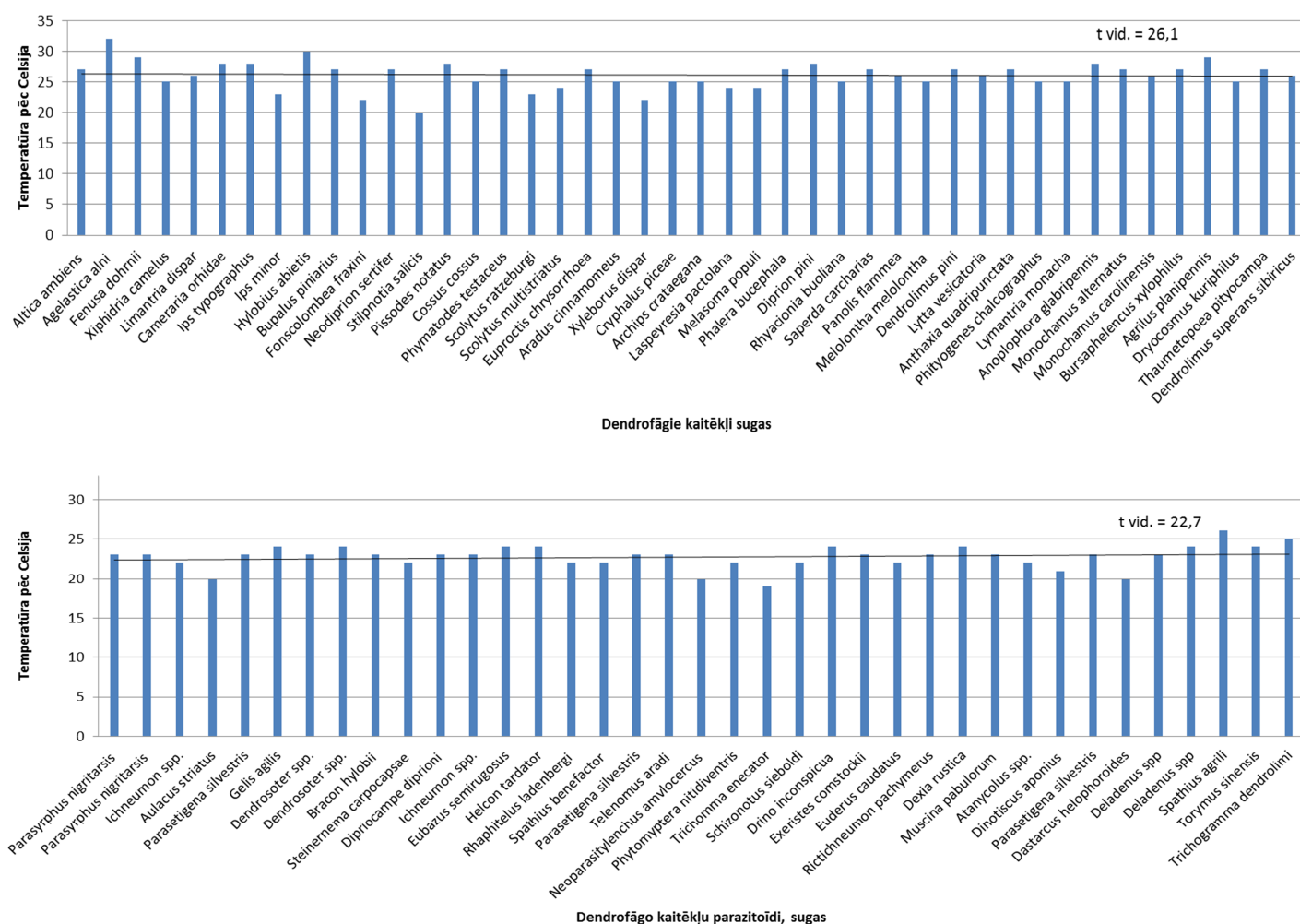
Lietavu un sausuma periodu ietekmes novērtējums dendrofāgiem salīdzinājumā ar parazitoīdiem ir atlasīts atšķirīgi. Novērtēta lietaino un „beznokrišņu” dienu ietekme uz dendrofāgu preimago (pamatā kāpuru) attīstību, bet parazitoīdiem – uz imago. Šāds salīdzinājums ir loģisks un skaidrojams ar abu organismu grupu bioloģiju, jo parazitoīdu imago un dendrofāgu preimago stadijas ir pārsvārā sastopamas paralēli vienā laika periodā. Šādā veidā noskaidrots, ar kuru nepārtraukto lietavu vai sausuma dienu sāk būtiski samazināties dendrofāgu kāpuru barošanās un parazitoīdu saimnieku meklējumi, un kad abu organismu grupu mirstība pārsniedz 50% robežu. Šie dati iegūti, balstoties uz kaitēkļu un parazitoīdu mirstības pētījumiem laboratorijās un lauka apstākļos, novērtējot šo organismu populāciju izmaiņas.

Atlasīti arī pēc literatūras datiem būtiskākie kaitēkļu patogēni, noskaidrojot tiem optimālās savairošanās temperatūras, lai vērtētu efektīvākos kontroles aģentus kaitēkļu monitoringā, un kāda ir to izmantošanas perspektīva nākotnē. Zinot, ka konkrētiem kukaiņiem – kaitēkļiem ir specifiski attīstības ciklu garumi (Brockerhoff et al., 2006; pēc IPCC 2007 datiem),

ir apkopota informācija par vienai kukaiņu paaudzei nepieciešamā veģetācijas perioda ilgumu vienā vasarā, tā salīdzināta ar esošo un nākotnē paredzēto veģetācijas periodu garumu. Salīdzināšana veikta pēc atbilstības, nolieguma principa. Analīzei papildus iekļautas karantīnas sugas, kas apdzīvo attālus, Latvijai līdzīgus klimatiskos reģionus: *Anoplophora glabripennis*, *Monochamus alternatus*, *Monochamus carolinensis*, *Bursaphelencus xylophilus*, *Agrilus planipennis*, *Dryocosmus kuriphilus*, *Thaumatopoea pityocampa*, *Dendrolimus superans sibiricus*.

Klimatisko faktoru ietekme uz dendrofāģajiem kukaiņiem un to parazītoīdiem

Aplūkojot pieejamo informāciju, noskaidrots, ka pastāv uzskatāma atšķirība starp maksimālai reprodukcijai nepieciešamajām temperatūrām dendrofāģiem un to parazītoīdiem. Kaitēkļu vairākums zināmo maksimālo pēcnācēju skaitu sasniedz vidējie pie 26,1°C, kamēr to parazītoīdi – vidēji pie 22,7 °C (13.1.att.).



13.1.attēls. Kaitēkļu savairošanās un to parazītoīdu reprodutivitātei optimālo temperatūru sadalījums pa sugām.

Augstākās savairošanās temperatūras raksturīgas lapgraužiem (*A. ambiens* – pat virs 30°C). Salīdzinoši augstas (vidēji 22,7 °C) savairošanās temperatūras raksturīgas tieši ksilofāgiem – koksngraužiem, mizgraužiem, smecerniekiem un krāšņvabolēm, jo to preimago attīstības sekmes lielā mērā atkarīgas no pieejamā ūdens daudzuma koksnē, kas koki nereti ir vienīgais vielu apmaiņas depozīts ilgstošos stresa apstākļos - karstuma, sausuma periodos (Raniuss, Janson, 2000; Schroeder, 2002; Tan et al., 2010).

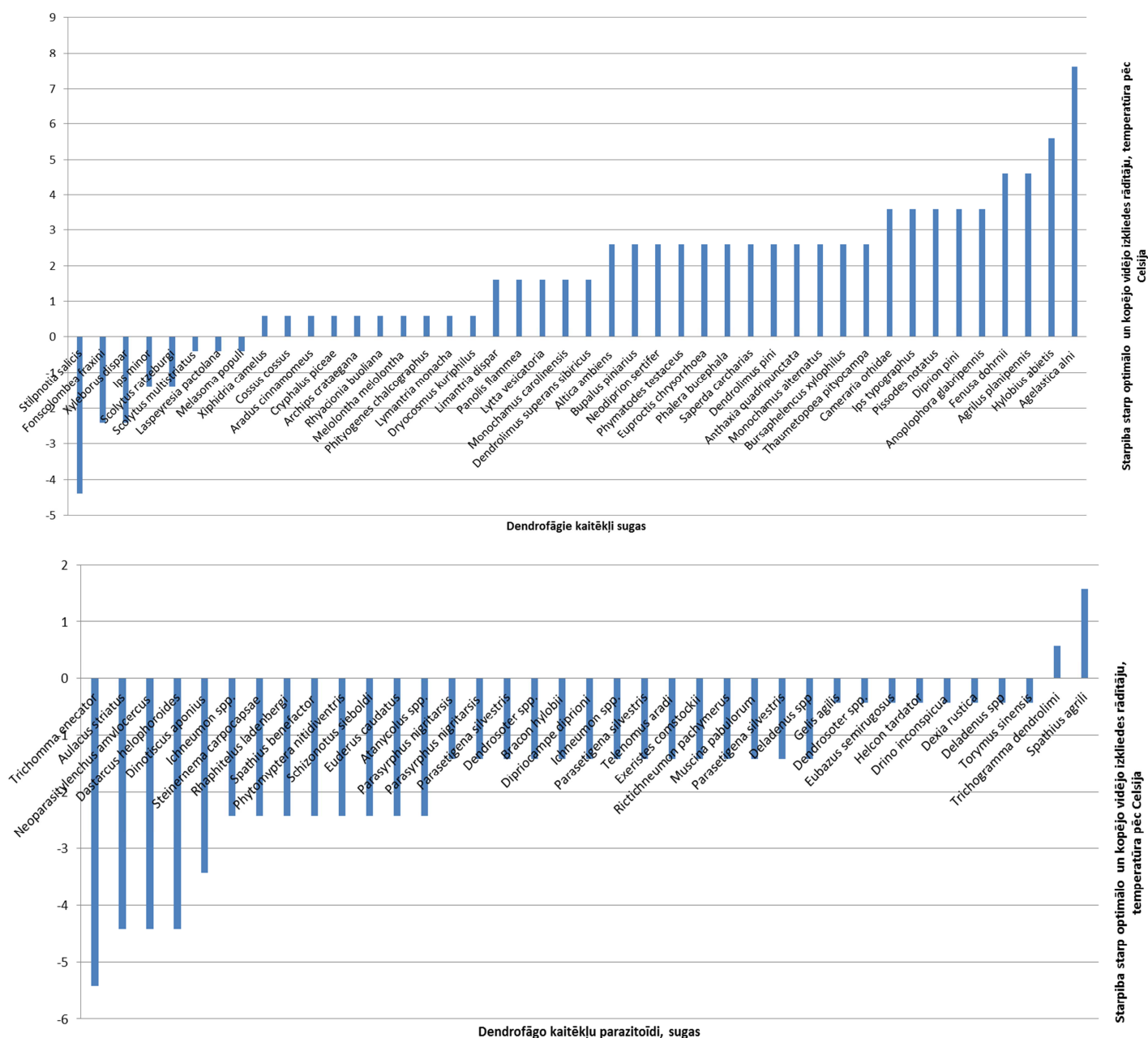
Ksilofāgu savairošanās pie salīdzinoši augstām temperatūrām bieži skaidrojama ar to pielāgošanos baroties izdegušās meža platībās, vējgāzēs un izcirtumos, kur raksturīga palielināta saules radiācija (Lombardero et al., 2000; Mellec et al., 2011; Ozols, 1985). Turklāt, pastāv teorija, ka labvēlīgos augšanas apstākļos koki visaktīvāk izmanto ķīmiskos aģentus, kas kavē ksilofāgu preimago attīstību koksnē (Bakke, 1968; Bouget, Duelli, 2004).

Daudzu dendrofāgo tauriņu vidējā savairošanās temperatūra pārsniedz vidējo rādītāju dendrofāgajiem kukaiņiem (pamatā *Lymantriade* dzimta), jo salīdzinoši karstākā gaisā to mātītes aktīvāk izdala feromonus, tādējādi ievērojami palielinot iespējas apaugļoties (Dwyer et al., 2004; Stefanescu et al., 2003; Toffolo et al., 2006).

Dendrofāgu parazitoīdiem raksturīgas specifiskas savairošanās temperatūras, parasti – nelielā intervālā (Grillenberger et al., 2009; Yang et al., 2010). Tie bieži savairojas pēc kaitēkļu uzliesmojumiem nākamajā gadā, kad nereti novērojamas salīdzinoši zemākas vidējās sezonas temperatūras, salīdzinot ar iepriekšējo, kaitēkļa populācijas uzliesmojuma, gadu (Haris, 2009; Moiroux et al., 2012). Piemēram, vairākumam olu parazītu karstumā pieaug enerģijas un ūdens patēriņš. Ņemot vērā, ka vairākums parazitoīdu ir salīdzinoši mazāki par saimniekorganismiem un to imago nebarojas, domājams, ka karstā, sausā laikā mātītes, aktīvi meklējot saimniekorganismus, būtiski reducē pēcnācēju skaitu, daļu iznēsājamo olu lizējot ūdens un enerģijas saglabāšanas nolūkā (Moiroux et al., 2012). Lai gan vairākums universālo parazitoīdu ir aktīvi temperatūrā virs 25°C, saimniekam specifiskiem vidēji ir jāveic salīdzinoši lielāks attālums saimniekorganisma meklējumos (Moiroux et al., 2012; Tarmo et al., 1996). Turklāt, vairākums no apskatītajiem parazitoīdiem ir speciālisti – jo parazitē tikai noteiktas sugas, dzimtas ietvaros.

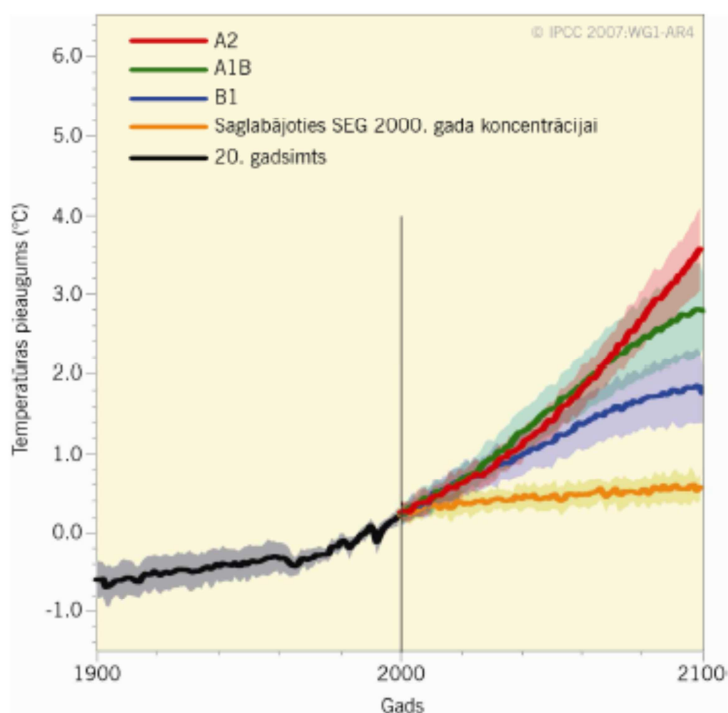
Atšķirības starp optimālajām savairošanās temperatūrām netieši liek domāt, ka kaitēkļi savairojas tajos temperatūras intervālos, kuros nespēj optimāli vairoties tiem specifiskie parazitoīdi. Tomēr šādam apgalvojumam nav viennozīmīga pamata, jo saimniekorganismu un parazītu savstarpējo bioloģiju ietekmē konkrētu sezonālo klimatisko svārstību ierosināta to uzvedības un ekoloģisko stratēģiju maiņa (Tauber et al., 1986).

Noskaidrojot kopējo vidējo izkliedes rādītāju starp maksimālo un vidējo temperatūru vasarā, un tā vērtību atskaitot no optimālo savairošanās temperatūru vērtībām, iegūta starpība, kas parāda to grādu skaitu pēc Celsija, kuri nepieciešami, lai sasniegtu absolūtos savairošanos apjomus līdz kritiskajam līmenim, ļaujot sugai pārsniegt ekoloģisko kapacitāti (13.2.att.).

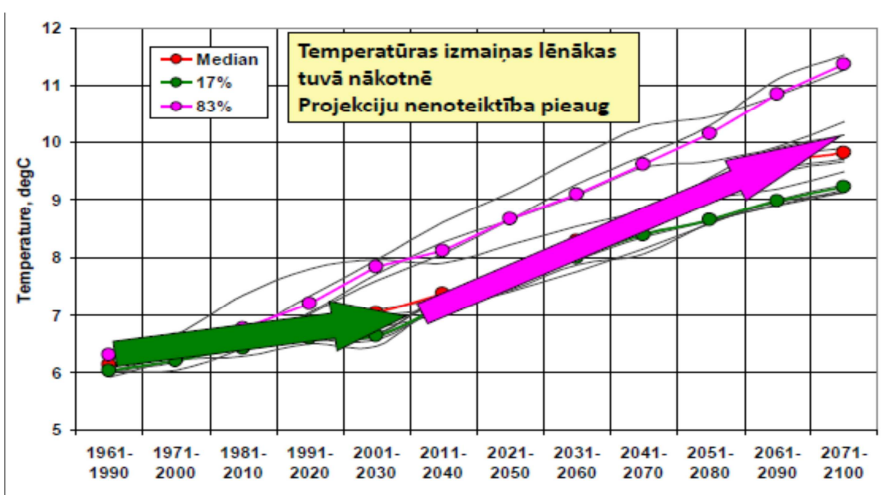


13.2.attēls. Starpība starp dendrofāgu un to parazītoīdu attīstībai optimālajām temperatūrām un maksimālajām vasaras vidējām temperatūrām (vidējo izkliedes rādītāju) Latvijā.

kritiskos savairošanos apjomus sasniegs pie A2 un A1B scenārijiem (13.3. un 13.4. att.), ietverot tās, kurām noskaidrotā pozitīvā starpība sasniedz 2,5 – 4°C (13.2.att.), – kas ir par 18 būtiskāko kaitēkļu sugām vairāk nekā B1 scenārija gadījumā. Savukārt, domājams, ka tādu kaitēkļu sugu kā *Fenusa dohrnii*, *Agrilus planipennis*, *Hylobius abietis*, *Agelastica alni* savairošanās intensitāte sasniegs maksimumu gadsimta beigās vai vēl vēlāk, jo to starpības vērtības pārsniedz 4 °C, kas ir aprēķinātais vidējais temperatūras pieaugums vasarā nozīmīgu pārmaiņu scenārijā tālā nākotnē (2071.-2100. g.) (13.2. un 13.4. att.).



13.3.attēls. Zemes vidējās temperatūras pieauguma raksturs atkarībā no siltumnīcefekta gāzu izmešu pieauguma un sabiedrības attīstības scenārijiem (IPCC, 2007).



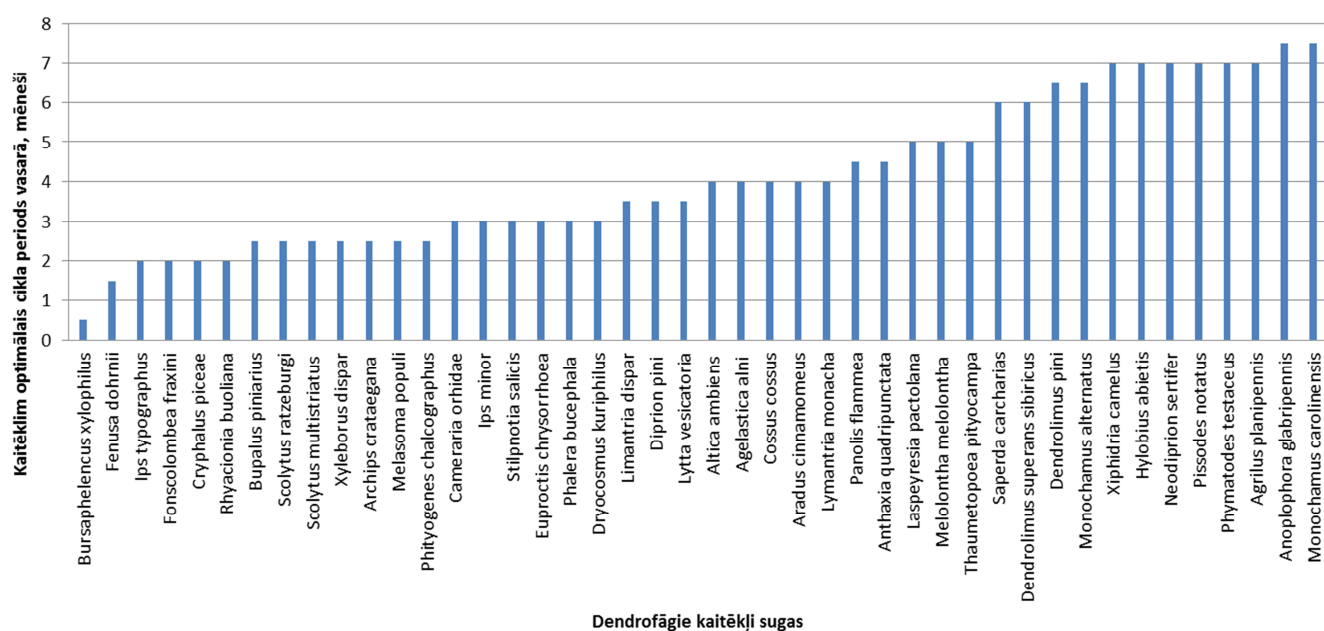
13.4.attēls. Klimata parametrs: gada vidējā temperatūra Rīgā 1961. - 2100. (projekta pārskats, 2010).

Vairumam parazītoīdu sugu raksturīgas negatīvas starptību vērtības (vidēji $-1,69^{\circ}\text{C}$). Vairākums parazītu sugu ir aktīvi sezonas periodos, kad saimniekorganisms ir neaktīvs vai mazaktīvs – parasti rudenos un pavasaros, kad gaisa temperatūras ir zemas, bet pietiekošas, lai saglabātu parazīta aktivitāti. Klimata izmaiņu ietvaros pieaugot vidējām gaisa temperatūrām rudenos un pavasaros, parazītoīdu aktivitātei nākotnē joprojām pieņem divus scenārijus:

1) tā samazināsies un samazināsies arī pēcnācēju skaits, līdz ar to kaitēkļu populācijas būtiskāk ietekmēs citi limitējošie faktori;

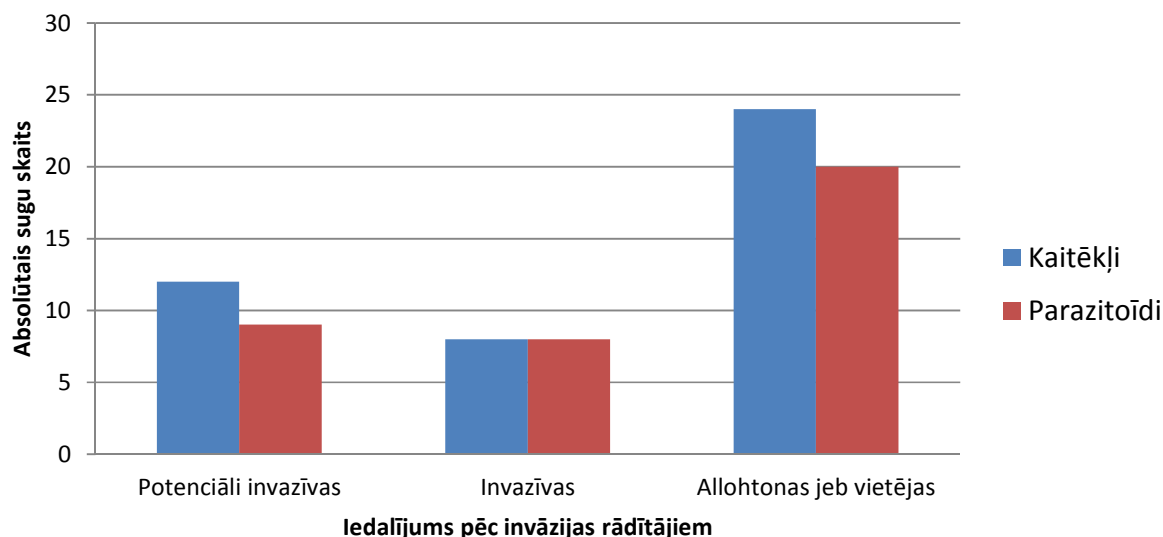
2) tā novirzīsies uz agrākiem laika periodiem pavasarī un vēlākiem rudenī, saglabājot vai nedaudz samazinot pēcnācēju skaitu, kā arī savu ekoloģisko nozīmi kaitēkļu limitācijā (Shaw, Huddleston 1991; Anonymous 2008a).

Pašlaik Latvijā veģetācijas periods vidēji ilgst 5,5 – 6 mēnešus. Saskaņā ar projekta iepriekšējos pārskatos atspoguļoto informāciju, vidēju izmaiņu scenārijs paredz agrāko salnu iestāšanos tuvā nākotnē vidēji no oktobra beigām (veģetācijas periods – 6,5 mēn.), bet tālā – vidēji no novembra sākuma (veģetācijas periods – 7 mēn.); savukārt, nozīmīgu izmaiņu scenārijā tuvākā nākotnē – no novembra sākuma (veģetācijas periods – 7,5 mēn.), bet tālā nākotnē - pat no decembra vidus (veģetācijas periods vidēji sasniegs 8 mēn.). Šādu izmaiņu scenārijs viennozīmīgi norāda, ka nākotnē r – stratēģiem būtiski pieaugs paaudžu skaits sezonā, palielinot kaitēkļu populāciju kopapjomus, paaugstinot ikgadējo mežu defoliācijas intensitāti. Kaitēkļiem palielinot paaudžu skaitu sezonā, būtiski pieaug to savairošanās risks. Gandrīz pusei no apskatā ietvertajiem dendrofāgiem vienas paaudzes attīstība norit līdz 3 mēnešiem (13.5.att.). Tas nozīmē, ka šīs kaitēkļu sugas teorētiski spēs sasniegt pat 3 paaudzes gadā nozīmīgu pārmaiņu scenārijā tālā nākotnē. Tikai 18% no apskatā ietvertajām sugām nepalielinās paaudžu skaitu tālā nākotnē vienas sezonas ietvaros, jo to attīstības cikli ilgst vidēji 7 – 7,5 mēnešus (13.5. att.).



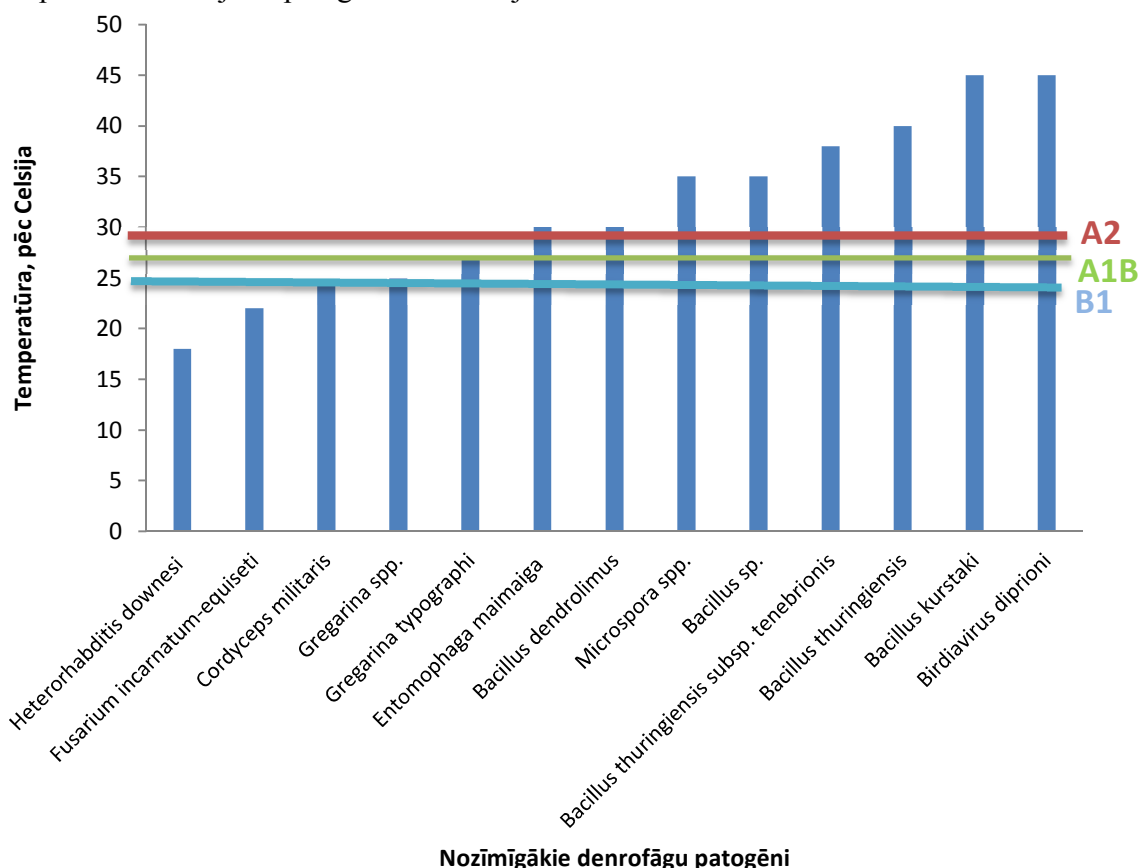
13.5.attēls. Dendrofāgo kaitēkļu sugu optimālai attīstības piemēroto periodu ilgums mēnešos vasaras laikā Latvijā.

Apskatot dendrofāgo kaitēkļu un to parazītoīdu sadalījumu pēc invāzijas rādītājiem, redzams, ka pastāv līdzīgas sadalījuma proporcijas starp abiem (13.6. att.). Tas nozīmē, ka invāzijas potenciāls un varbūtība vairākiem kaitēkļu sugu ir līdzīgs ar to būtiskākajiem parazītoīdiem.



13.6.attēls. Dendrofāgu un to parazītoīdo organismu sugu sadalījums pēc invāzijas riska rādītājiem.

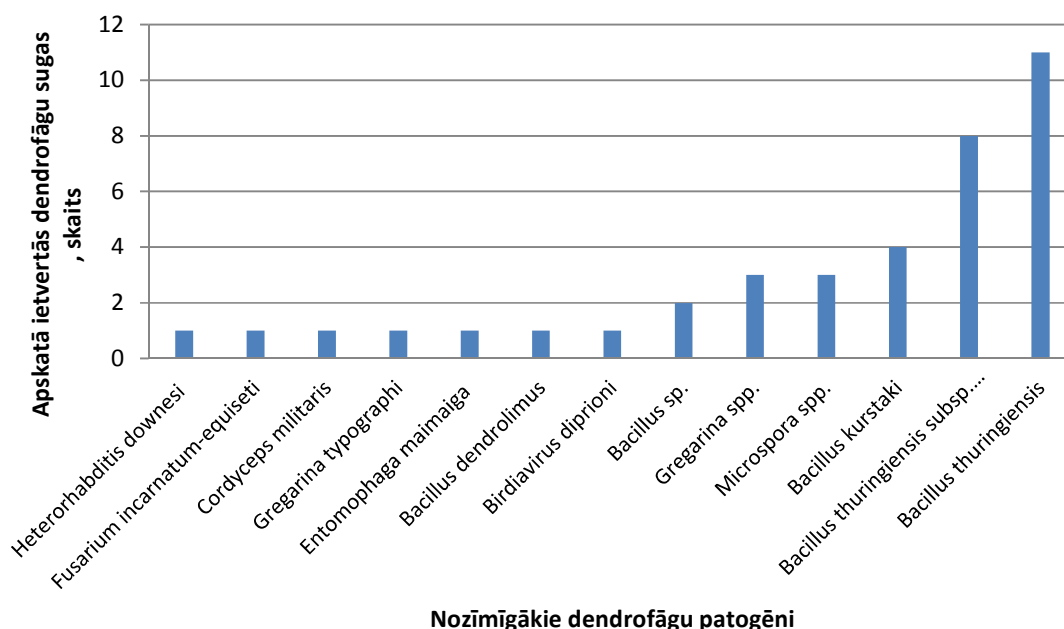
Aplūkojot pieejamo informāciju, noskaidrots, ka pastāv uzskatāma atšķirība starp dendrofāgu patogēniem raksturīgajām optimālajām savairošanās temperatūrām (13.7.att.). Ņemot vērā IPPC 2007.g. klimata prognozes, redzams, ka nākotnē nozīmīgu klimatisko izmaiņu gadījumā (A2 scenārijs) būtiska nozīme dendrofāgu limitācijā būs bakteriālajiem un vīrussaturošajiem kontroles preparātiem. Piemēram, vairākuma *Bacillus* spp. optimālās temperatūras vidēji par 11,4 °C pārsniedz A2 scenārija vidējo temperatūru Eiropā (13.7.att.). *Bacillus* ģints savairošanās vidējais diapazons starp dažādām sugām sasniedz 20 °C, kamēr pārējiem apskatā ietvertajiem patogēniem – vidēji 7–12°C.



13.7.attēls. Dendrofāgo kaitēkļu patogēnu optimālās savairošanās temperatūras salīdzinājumā ar prognozētajām (IPPC, 2007.g., scenāriji A2, A1B, B1).

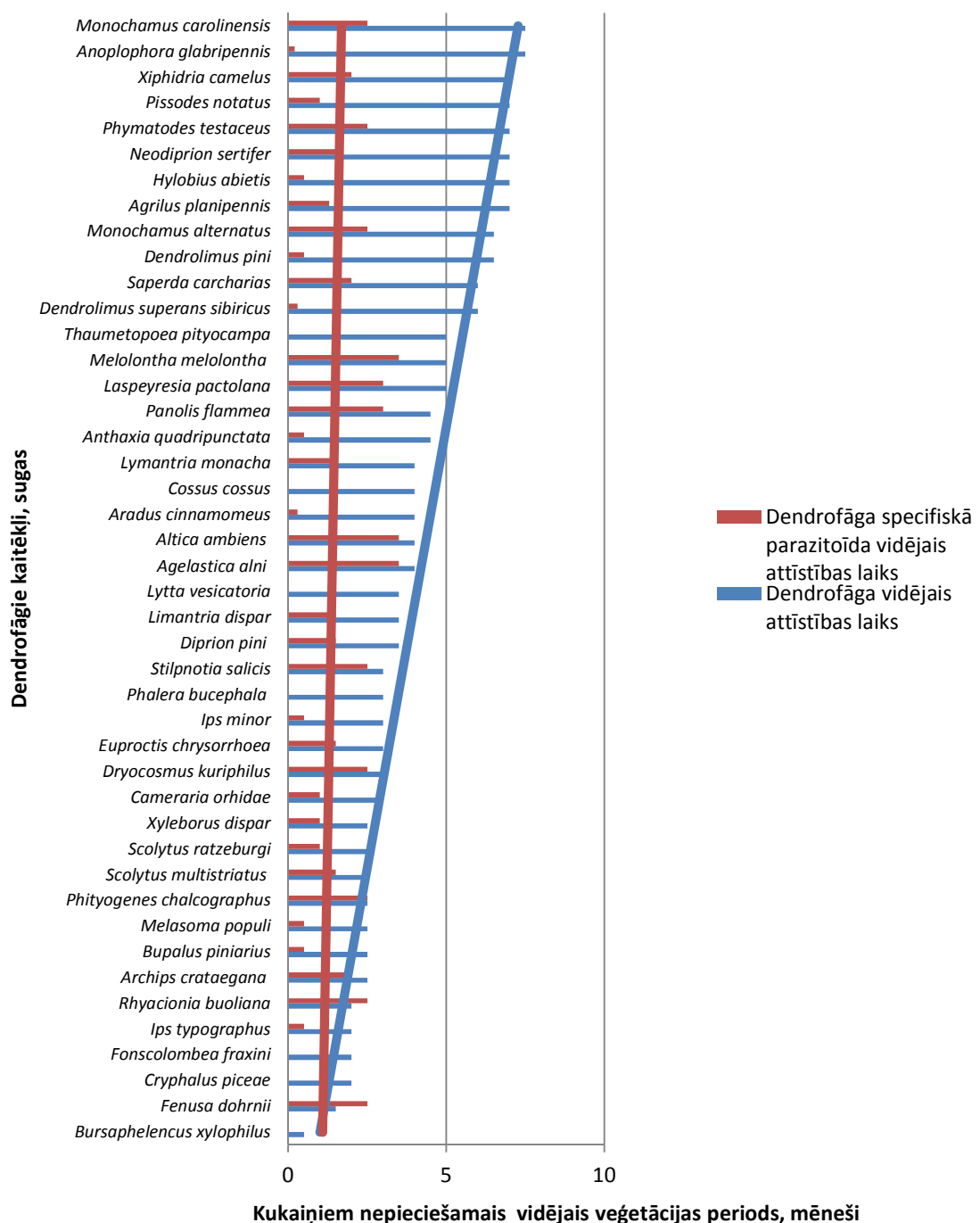
Tas liek domāt, ka tieši tauriņi, zāglapsenes, lapgrauži, un mizgrauži būs tie dendrofāgi, kuru savairošanos tālā nākotnē visvairāk ierobežos tieši bakteriālo un vīrusu patogēnu ietekme, - to pierāda arī lielāks *Bacillus thuringiensis* invadējamo saimniekorganismu sugu skaits salīdzinājumā ar pārējiem patogēniem (13.8.att.). Savukārt, tikai divu patogēnu (*Cordyceps militaris* un *Gregarina* spp.) savairošanās sasniedz optimumu pie B1 scenārija (13.7.att.), bet A1B scenārija gadījumā sagaidāma dažādu mikrosporiju, *Entomophaga* spp. un dažu *Bacillus* spp. ietekme. Domājams, ka pie A1B scenārija, tieši dendrofāgie tauriņi un zāglapsenes cietīs no tiem specifisku patogēnu ietekmes. Savukārt, *Heterorhabditis downesi* ietekme uz *Hilobius abies* (lielo priežu smecernieku) un *Fusarium incarnatum – equiseti* ietekme uz *Dryocosmus kuriphilus*

(pangu lapseni) nākotnē varētu samazināties (13.7.att.). Pastāv teorija, ka, samazinoties mēreniem klimatiskajiem apstākļiem raksturīgo patogēnu ietekmei, klimata izmaiņu rezultātā to nišu aizņems subtropiskiem reģioniem raksturīgie analoģu kukaiņu taksonu patogēni (Dumphy, Chadwick, 1984).



13.8.attēls. Nozīmīgāko dendrofāgu patogēnu sadalījums pēc saimniekorganismu (dendrofāgu) skaita.

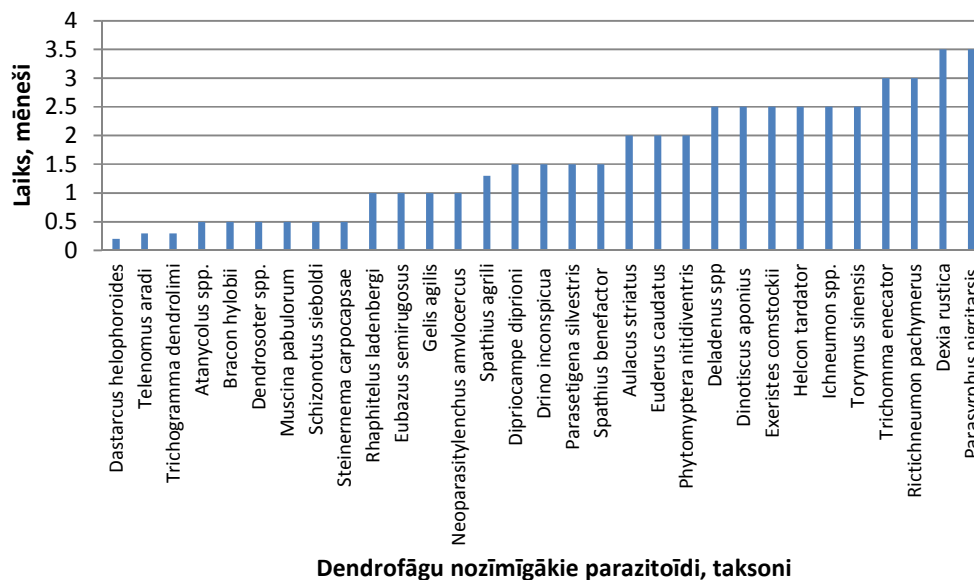
Vidējais dendrofāgu attīstības garums ir 4,1 mēneši, kamēr to parazitoīdu attīstības cikls vidēji ir 1,7 mēneši veģetācijas periodā (13.9. att). Turklāt, dendrofāgu sugām ar salīdzinoši garākiem attīstības cikliem nav raksturīgi parazitoīdi ar salīdzinoši garākiem attīstības cikliem ($R^2 = 0,03$) – salīdzinājumā ar pārējām parazitoīdu sugām, kā tas sākotnēji tika pieņemts (13.9.att.). Tas skaidrojams ar parazitoīdu pielāgošanos saimniekorganismu dzīves ciklam koevolūcijas procesā (Dowden, 1939; Hudson et al., 2012; Wallner 1987).



13.9.attēls. Dendrofāgo kukaiņu un to specifisko parazitoīdu sugu attīstības ciklu garumu salīdzinājums veģetācijas periodā.

Tomēr informācija literatūrā un iegūtie rezultāti liek domāt, ka tie parazitoīdi, kas ir aktīvi galvenā veģetācijas perioda sākumposmā un beigu posmā, spēs pielāgoties nozīmīgā izmaiņu scenārija gaitai, un to ietekme novirzīsies uz agrākiem laika periodiem pavasarī un vēlākiem rudenī, nedaudz samazinot pēcnācēju skaitu, kā arī savu ekoloģisko nozīmi kaitēkļu limitācijā. To pierāda arī apskatā ietvertās koksngraužu sugas, kuru attīstības ciklu garumi pārsniedz mūsu

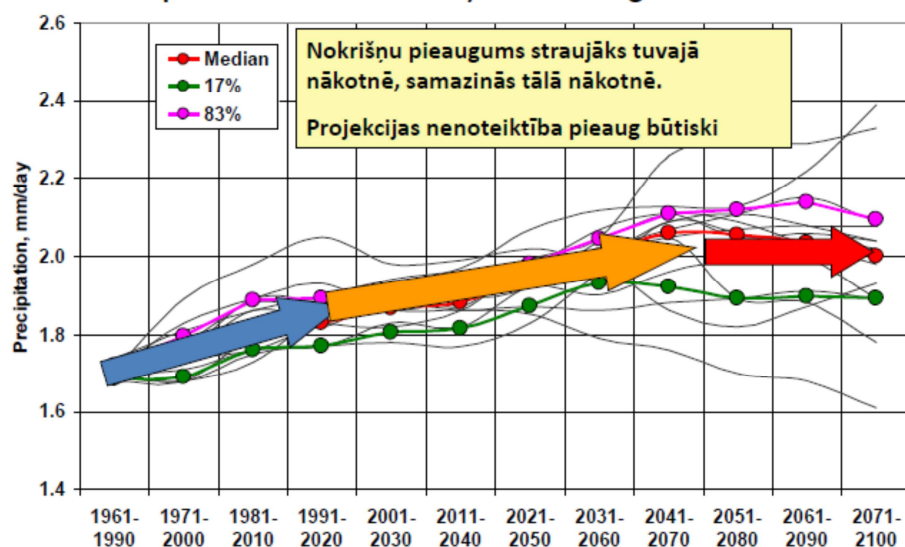
apstākļiem raksturīgo 5,5 mēnešu veģetācijas periodu; izplatības reģions aptver gan mērenās zonas Viduseiropā, gan taigas areālus Ziemeļeiropā, - bet tiem specifisko parazītoīdu sugu sastāvs saglabājas nemainīgs teritorijās ar atšķirīgu klimatu (Wallner 1987; Yang et al., 2005). Interesanti, ka tieši lapgraužu parazītoīdiem (pamatā *Tachinidae* kāpurmušas) ir visgarākie attīstības cikli (13.9. un 13.10. att.), kas gandrīz pilnībā aizņem dendrofāga attīstības ciklu. Turklāt, kāpurmušu optimālās savairošanās temperatūras ir zemākas par 25 °C (Frouz et al., 2003; Hanski 1977).



13.10.attēls. Nozīmīgāko parazītoīdo organismu attīstības laika sadalījums galvenajā veģetācijas periodā.

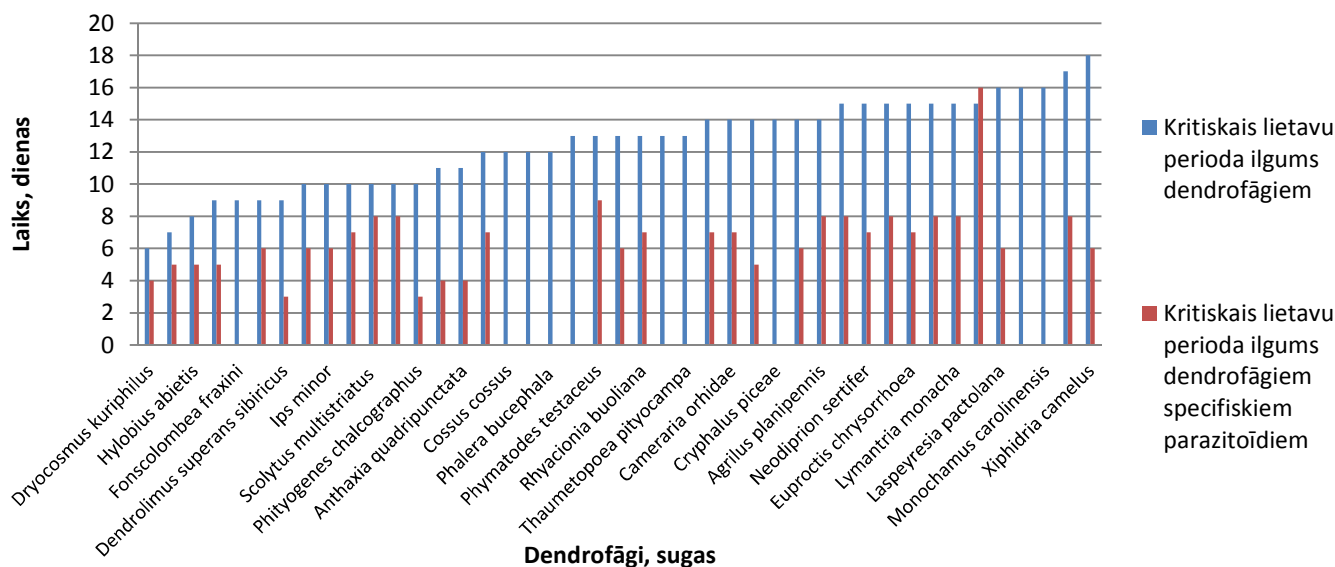
Jauniegtie dati apstiprina iepriekš izvirzītos secinājumus par lapukoku apdraudētību tālā nākotnē (sk. projekta 2011. gada pārskatu), jo efektīvāka ir to parazītoīdu ietekme, kuru attīstības cikla garums vasaras periodā ir vismaz 3 reizes mazāks nekā to saimniekorganismiem (McManus, Liebhold, 2002; Wallner, 1987). Apskatot nozīmīgāko parazītoīdo organismu attīstību, redzams, ka 43% parazītoīdu taksonu tā ir vismaz 3 reizes īsāka nekā to saimniekiem (13.9. un 13.10. att.).

Projekta iepriekšējos pārskatos ietvertā informācija liecina, ka vidējām temperatūrām nākotnē pieaugot, pieaugs arī evapotranspirācijas intensitāte un vidējais nokrišņu apjoms gadā (13.11.att.). Vairākums modeļu liecina, ka veģetācijas periodā palielināsies par 5 dienām gārāku bezlietus periodu biežums, tomēr iespējami arī atsevišķi garāki lietavu periodi. Lietavu periodi var būtiski ietekmēt visu kukaiņu mirstību, jo vairākums sugu to laikā pārtrauc pārvietošanos un barošanos (Andresen, 2004; Liberal et al., 2011; McManus, Liebhold, 2002; Morgan, 1986).



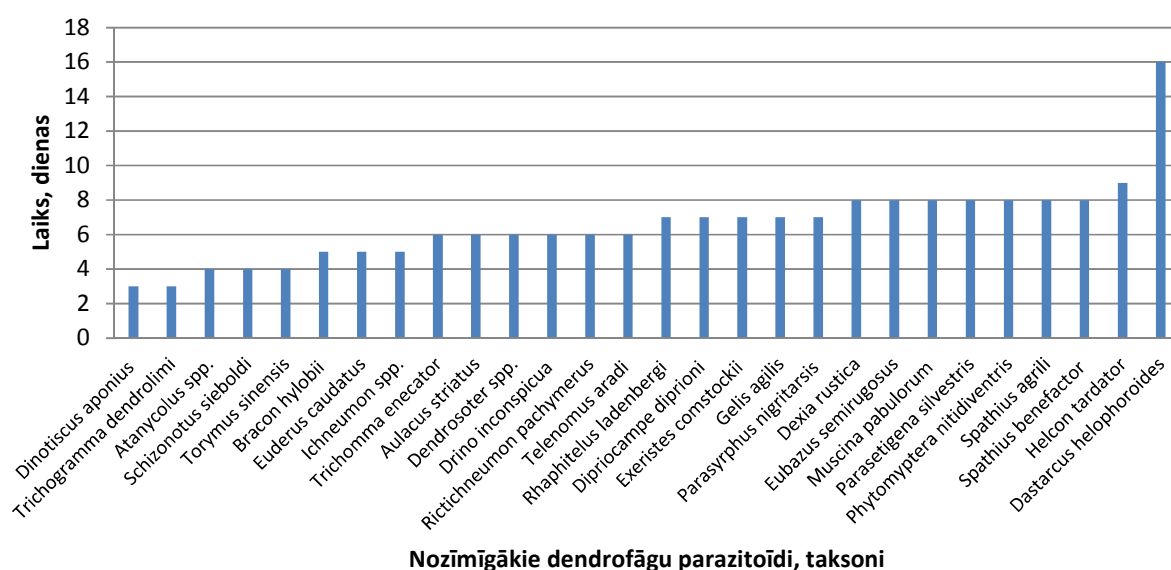
13.11.attēls. Klimata parametrs: gada nokrišņu summa Rīgā 1961.-2100. (projekta pārskats, 2010).

Apskatot dendrofāgu un to specifisko parazitoīdu kritisko lietavu periodu atšķirīgos rādītājus (13.12. att.), noskaidrots, ka dendrofāgiem tas vidēji sastāda 12,5 dienas, bet parazitoīdiem – 6,6 dienas. Starp dendrofāgu sugām garākie kritisko lietavu periodi ir koksngraužiem un māņragastēm (13.12. att.), kas daļēji skaidrojams ar to izteikti slēpto dzīvesveidu, salīdzinoši garākajiem preimago periodiem, atrodoties koksnē (Kenis et al., 2004; Yang et al., 2005).



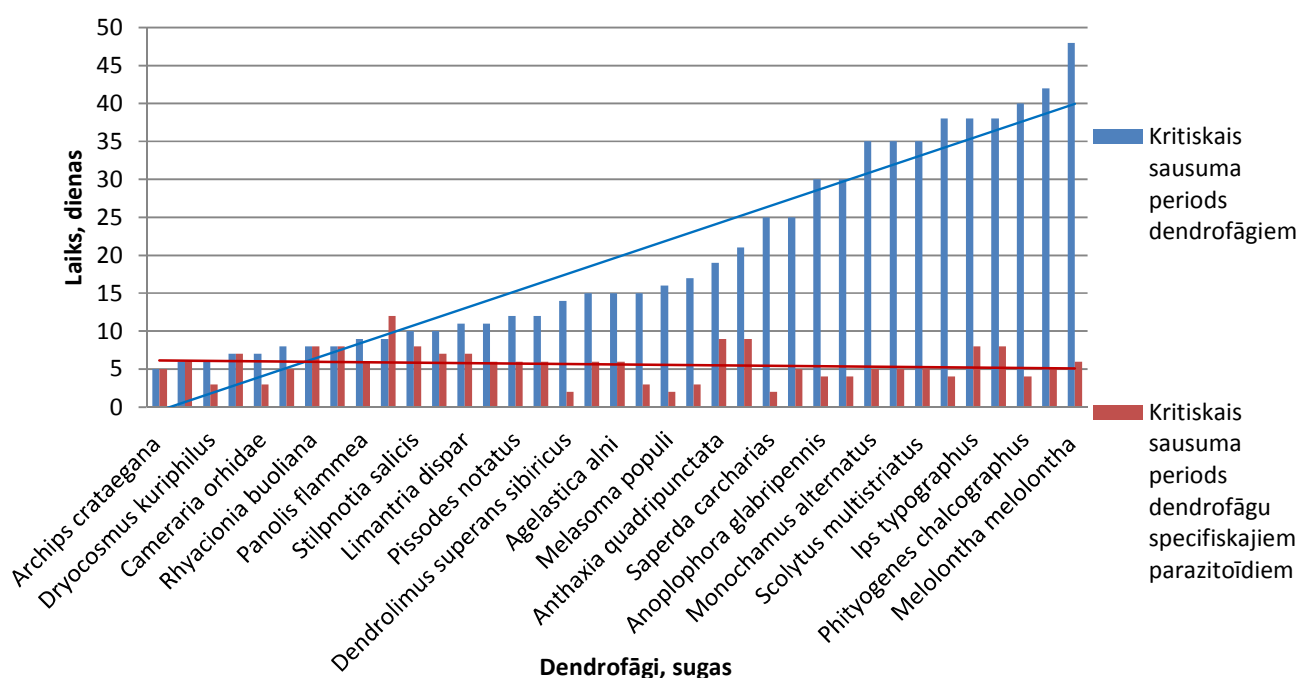
13.12.attēls. Nozīmīgāko dendrofāgu un to specifisko parazitoīdu kritisko lietavu periodu salīdzinājums.

Relatīvi zema parazitoīdu lietavu „panesamība” skaidrojama ar salīdzinoši lielu parazitisko lapseņu īpatsvaru starp apskatītajiem parazitiskajiem organismiem kopumā (13.13. att.). Parazitisko lapseņu spārnu virsmas laukums ir relatīvi neliels, tāpēc tie samirkst vieglāk, (piemēram, salīdzinot ar kāpurmušām – ar salīdzinoši lielāku spārnu virsmu) ievērojami samazinot lidotspējas. Šādā veidā lapsenes nespēj sevi reproduktīvi realizēt, ļaujot dendrofāgiem netraucēti palielināt populāciju apjomus uz to samazināta parazitisma rēķina (Compton, 2000; Mechi, 1999). Iegūtie dati liek domāt, ka nākotnē parazītu ietekme kopumā uz meža kaitēkļu ekoloģiju kļūs mazsvarīgāka, atklājot brīvas nišas citiem kaitēkļu populāciju limitējošiem faktoriem.



13.13.attēls. Nozīmīgāko parazitoīdu kritisko lietavu periodu sadalījums.

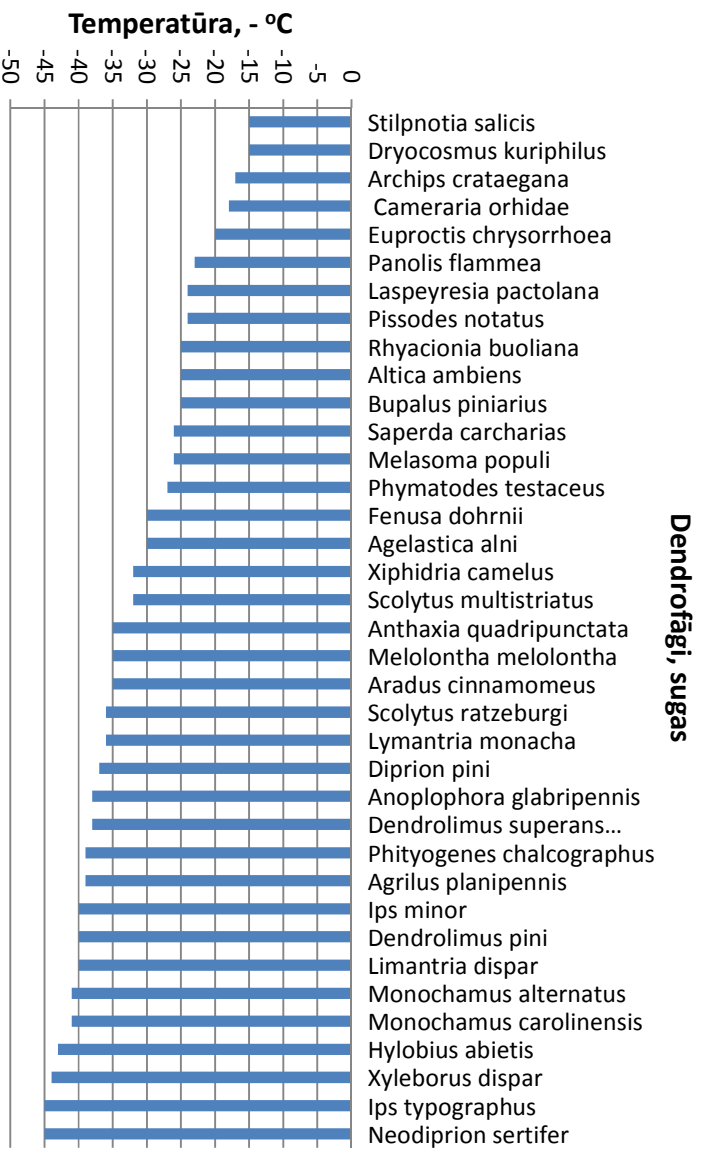
Iegūstot datus par atšķirīgiem sausuma izturības intervāliem abām organismu grupām, noskaidrots, ka no dendrofāgiem ekoloģiskajiem apstākļiem, kadi veidosies saskaņā ar nozīmīgu klimata izmaiņu scenāriju, vislabāk spēs pielāgoties tieši ksilofāgi (13.14. att.), jo to attīstība notiek slēgtā, no saules radiācijas pasargātā vidē – koksne, kur tie salīdzinoši veiksmīgi izmanto koka uzkrātās ūdens rezerves sava preimago cikla attīstībai (Giuggiola et al., 2010; Tauber et al., 1986). To pierāda salīdzinoši lielākas kritiskā sausuma perioda vērtības, piemēram, mizgraužiem, koksngraužiem un krāšņvabolēm (13.14. att.). Turklāt, sausuma izturība samazinās tieši proporcionāli, samazinoties dendrofāgo kaitēkļu ķermeņa izmēram (piemēram, alotājkodēm) - tātad, ūdens depoizētā (Giuggiola et al., 2010). Tomēr atsevišķu pangu lapseņu un lapgraužu sugas spējīgas izturēt salīdzinoši ilgstošus sausuma periodus (kā *F. dornii* un *A. alni*), kas skaidrojams ar to izcelsmi – pamatareāliem Eiropas dienvidu un centrālajā daļā (Meshkova, 2009; Tauber et al., 1986).



13.14.attēls. Nozīmīgāko dendrofāgu un to specifisko parazītoīdu kritiskā sausuma perioda salīdzinājums.

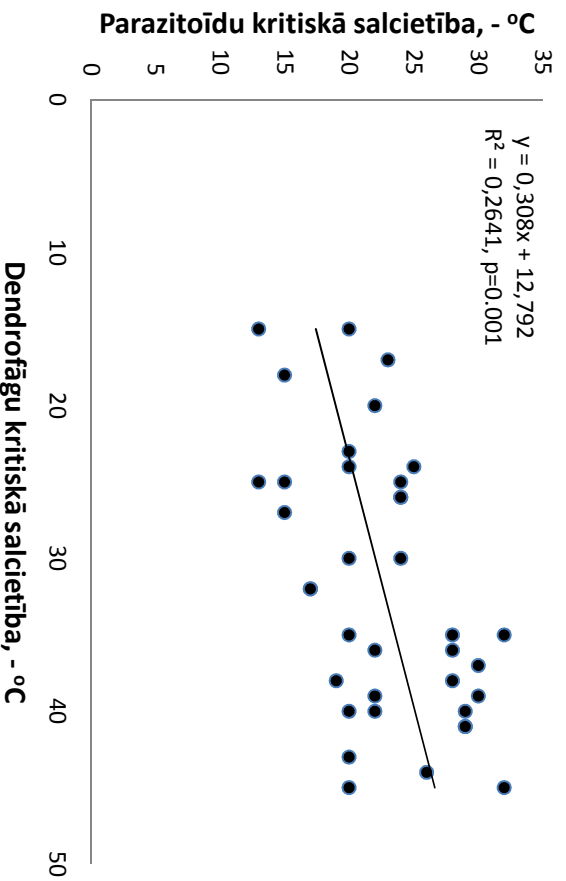
Sausuma periodos visapdraudētākie ir tieši tauriņu un lapgraužu kāpuri, jo pie ekstrēmas evapotranspirācijas augu lapas izstrādā aizsargvaska kārtu, kas ievērojami apgrūtina šo dendrofāgu barošanos (Grinnan et al., 2013; Singh, Choudhary, 2003). Regresijas analizē noskaidrots, ka nav būtiskas sakarības starp dendrofāgu un to parazītoīdu sausumizturībām ($R^2 = 0,02$), turklāt pusei parazītoīdo organismu sausumizturība ir vidēji vairāk nekā 4 reizes mazāka nekā to saimniekorganismiem (13.14. att.). Tas ļauj domāt, ka daļai dendrofāgu sugu, mainot izplatības reģionus klimatisko izmaiņu rezultātā, mainīsies arī to parazītiskie organismi, un mazāka loma būs specifiskiem, vēsturiskajiem parazītoīdiem.

Salu labāk iztur ksilofāgi (13.15. att.), kas skaidrojams ar to vēsturisko pielāgotību klimatiskiem apstākļiem to izcelsmes areālos, kuri pārsvarā atrodas Palearktiskas, Nearktiskas ziemeļu reģionos – tundras, taigas biotopos (Bale, Hayward, 2010; Langer, Hance, 2000). Tāpat no analizētajām dendrofāgu sugām salu salīdzinoši labāk pārvār mūķeņu dzimtas tauriņi (13.15. att.), jo pārziemo olu stadijā (Denlinger et al., 2005). Šo tauriņu olu izmēri un fizioloģiskais sastāvs traucē veidoties ledus kristāliem to iekšpusē pie ekstrēmi zemām temperatūrām. Dažu zāglapseņu sugu, piemēram, *Neophridion sertifer* eonimfas, ziemojot augsnē, spēj izturēt salu, kas ir zemāks par $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (13.15. att.).



13.15.attēls. Nozīmīgāko kaitēkļu kritisko salcietību sadalījums.

Turklāt, pastāv vāja, bet uzskatāma tieši proporcionāla sakarība starp dendrofāgu un to parazītoīdu kritiskām salcietībām. Vairākumam dendrofāgo kaitēkļu sugu ar salīdzinoši zemāku salcietību raksturīgi parazītoīdi ar proporcionāli zemāku salcietību – un otrādi (13.16. att.).



13.16.attēls. Sakarība starp dendrofāgiem un to parazītoīdiem organismiem raksturīgajām kritiskām salcietībām.

Domājams, to ietekmē ilgstoši evolucionāri procesi, kuru rezultātā parazīti „saskaņojusi” savas pārziemošanas stratēģijas saimniekorganismu attīstības cikliem. Turklāt, šāda pielāgošanās notikusi pēc Ledus laikmeta, kad klimats bijis salīdzinoši „vēsāks” (Bale, Hayward, 2010; Tauber et al., 1986). Tāpēc, iespējams, parazītu salīdzinoši vājā pielāgotība saimniekorganismu sausumizturībai pēc pēdējā gadsimta pētījumiem (13.14. att.) netieši norāda, ka klimatiskās izmaiņas – globālā sasilšana – notiek relatīvi strauji, un šī adaptācija vēl nav izstrādājusies.

Veiktās metaanalīzes rezultāti liecina:

- 1) piepildoties būtisku klimata izmaiņu scenārijam, ievērojami palielināsies ksilofāgo dendrofāgu un lapgraužu sugu savairošanās risks, kas skaidrojams ar to pielāgotību attīstīties dzīvotnēs ar palielinātu saules radiāciju, kuras, savukārt, ir nelabvēlīgas tiem specifisko parazītu attīstībai. Tomēr noskaidrots, ka attiecīgo parazītu aktivitāte saglabāsies, novirzoties uz „agrākiem” laika posmiem pavasarī un salīdzinoši „vēlu” rudeni; palielināsies patogēnu ietekme. To pierāda arī abu organismu grupu – saimnieku-parazītu - savstarpēji līdzīgā izplatība areālos ar dažādiem klimatiskiem apstākļiem;
- 2) koksgraužu, mizgraužu, tauriņu un lapgraužu savairošanos nākotnē salīdzinoši efektīvi var ierobežot ar *Bacillus spp.* baktēriju palīdzību, jo to vidējais savairošanās diapazons par vidēji 20 °C pārsniedz saimniekorganismiem raksturīgās optimālās vairošanās temperatūras;
- 3) domājams, ka 82% no apskatītajām sugām ir paaugstināts ekstensīvu masu uzliesmojumu risks nākotnē (saskaņā ar jebkuru no klimata izmaiņu scenārijiem), jo prognozējams, ka tikai 18% apskatīto dendrofāgo kaitēkļu sugu nespēs veidot vairāk par vienu paaudzi vienu paaudzi galvenā veģetācijas perioda laikā;
- 4) garāki sausuma periodi samazinās to dendrofāgo kaitēkļu sugu savairošanos, kurām raksturīgi salīdzinoši nelieli ķermeņa izmēri – t.i., mazāks ūdens depoizts;
- 5) dendrofāgo kaitēkļu sugām ar relatīvi augstu salcietību ir raksturīgi parazīti ar tieši proporcionāli augstu salcietību. To izskaidro specifisko parazītu sugu laika gaitā izveidojusies adaptācija dzīvei reģionos ar līdzīgiem vai analogiem klimatiskiem apstākļiem kā to saimniekiem.

14. Latvijai neraksturīgu kukaiņu sugu izplatības analīze

Pēdējos gados novērota vairāku kukaiņu sugu ekspansija dienvidu -ziemeļu virzienā, kas, iespējams, liecina par klimata izmaiņām. Mūsdienu tautsaimniecībai ir aktuāla maksimāli efektīva un pilnīga koksnes resursu izmantošana un globāla tirdzniecība. Taču, nav izslēgts, ka tās ietvaros, pārvadājot koksni vai tās produktus, Latvijā var nokļūt arī dažas nozīmīgas koksnes vai koku kaitēkļu sugas, kas var būtiski ietekmēt vietējo faunu, jo atsevišķas konkrētajai teritorijai jaunās sugas ir ekspansīvas un ātri ieņem jaunus biotopus, no tiem izspiežot vietējās sugas. Lai konstatētu izmaiņas kukaiņu sugu sastāvā un nepieciešamības gadījumā savlaicīgi varētu izmantot augu aizsardzības metodes, būtisks ir kukaiņu sugu monitorings. Pārskatā apkopota informācija no datiem, kas 5 gadu garumā vākti Daugavpils Universitātes Sistemātiskās bioloģijas institūta veiktā vaboļu monitoringa dažādos biotopos ietvaros, kombinējot ar projektā ievāktu informāciju.

Materiāla ievākšanai kukaiņu sugu monitoringam izmantotās metodes:

- 1) vākšana ar entomoloģisko tīkliņu - viena no pamatmetodēm, pētot fitofāgos kukaiņus. Ar entomoloģisko tīkliņu kādu laiku „pļaujot” pa zāli vai krūmiem (parasti 10 – 20 vēzieni), tiek ievākti kukaiņi, kas uzturas uz dažādām augu daļām. Daudzas kukaiņu sugas ar šo metodi iespējams ievākt arī lidošanas laikā. Metode izmantota galvenokārt cīsmās, uz meža ceļiem;
- 2) Logu lamatas tiek izmantotas lidojošu kukaiņu ķeršanai (14.1.att.). Logu lamatu izgatavošanai tika izmantotas 40 x 60 cm lielas organiskā stikla vai baltas plastmasas plāksnes, pie kuru vienas malas piestiprināts izstieptas formas trauks. Kā fiksators tika izmantots apmēram 50% tosola vai retāk 5% etiķa šķīdums, ar ko piepilda trauku līdz pusei. Biotopos logu lamatas novieto vertikāli, ne zemāk kā virs lakstaugu stāva. Lidojošie kukaiņi, atduroties pret plāksni, iekrīt traukā ar fiksējošo šķīdumu. Materiāls no šīm lamatām tika izņemts aptuveni reizi mēnesī;
- 3) Malēzes lamatas arī paredzētas lidojošu kukaiņu ķeršanai un tiek novietotas uz zemes (14.2.att.). Lamatas sastāv no trim H-veidā savienotām sienām (metālisks karkass ar tīklveida materiālu). Augstākās sienas augšējā stūrī piestiprināts trauks ar fiksatoru (50% tosola vai – retāk – 5% etiķa šķīdumu). Lamatas darbojas pēc šķēršļa principa. Lidojošie kukaiņi saduras ar lamatu centrālo sienu, paceļas augšā, meklējot augstāku vietu lidojuma uzsākšanai, un nokļūst traukā ar fiksatoru;
- 4) Augsnes (Barbera) lamatām tika izmantotas plastmasas glāzītes ar diametru 6 cm (14.3.att.). Parauglaukumos augsnes lamatas tika izvietotas pēc transektas metodes – lamatas ieraka augsnē vienā līnijā aptuveni 2 m attālumā vienu no otras. Glāzītes ieraka augsnē tā, lai to augšējā mala būtu vienā līmenī ar augsni. Trauka malām cieši jāpieguļ pie augsnes, lai kukaiņi neaizrāpotu tam garām. Lai kukaiņi neizklūtu no lamatām, tajās nedrīkst būt iekrituši sīki zari vai zāļu stieбри. Pēc lamatu uzstādīšanas tajās līdz pusei ielēja fiksējošo šķīdumu, kas nepieciešams vaboļu iemidzināšanai un konservēšanai. Kā fiksators tika izmantots 4-5% etiķa šķīdums vai 50% tosola šķīdums. Lamatas ar fiksējošo šķīdumu aizpildīja līdz pusei. Lai augsnes lamatās neiekļūtu vārdes, cirši un citi sīkie grauzēji, uz katras glāzītes uzlik koka mizas gabalus. Tas pasargāja lamatas arī no

pielīšanas ar ūdeni lietus laikā. Lamatās iekritušie kukaiņi tika izņemti vidēji vienu reizi četrās nedēļās.



14.1. att. Logu lamatas (Windows traps) (pēc http://www.ifm.liu.se/biology/ecology/conservation_ecology/jansson/)



14.2. att. Malēzes lamatas (Malayse trap) (A.Barševskis foto)



14.3. att. Augsnes lamatas cirmsā pie Ogresgala, 2012. g. augusts (A.Barševskis foto)

Izmantoti dati no šādiem parauglaukumiem:

- 1) Ilgas (Daugavpils novads, Skrudalienas pagasts, Silenes dabas parks);
- 2) Ļubesti (Daugavpils novads, Līksnas pagasts, apmēram 200 m aiz Žīdu ezera);
- 3) Muravki (Daugavpils novads, Elernes pagasts);
- 4) Svente (Daugavpils novads);
- 5) Jersika (Līvānu novads, Jersikas pagasts);
- 6) Dunava (Jēkabpils novads, Dunavas pagasts);
- 7) Ogresgals (Ogres novads);
- 8) Lejasciems (Gulbenes novads);
- 9) Taurkalne (Vecumnieku novads, Valles pagasts);
- 10) Ķemeru (Jūrmala, Ķemeru Nacionālais parks);
- 11) Stende (Talsu novads);
- 12) Moricsala (Ventspils novads, Moricsalas dabas rezervāts);
- 13) Šlītere (Dundagas novads, Slīteres Nacionālais parks);
- 14) Vīdāle (Dundagas novads, Slīteres Nacionālais parks);
- 15) Rudbārži (Kuldīgas novads).

Kopumā dažādos parauglaukumos novērojumu periodā ievākti vairāk nekā 14 000 vaboļu īpatņu, kas pārstāv ~850 vaboļu sugas. Daļa materiāla pētījumu ietvaros nav identificēta līdz sugas līmenim, bet tikai līdz ģints vai atsevišķos gadījumos – līdz dzimtas līmenim. Apskatā no kopējā materiāla klāsta ietvertas Latvijas faunai neraksturīgas sugas, kuru adaptācija Latvijā varētu būt saistīta ar klimata izmaiņu ietekmi (14.1. tab.), kā arī tādas Latvijas faunā zināmas un pat plaši izplatītas sugas, kurām novērota strauja īpatņu skaita palielināšanās pēdējos gados, kas var liecināt par klimata izmaiņu ietekmi uz vietējo faunu. Katrai sugai 14.1. tabulā norādīts parauglaukumu skaits, kuros suga konstatēta, un īpatņu skaits, kas ievākti attiecīgajā gadā. Dati veidoti, sasummējot visos parauglaukumos ievāktajā materiālā konstatēto īpatņu skaitu. Atradņu izvietojums vairāk vai mazāk pārklāj visu Latvijas teritoriju un nodrošina iespēju izdarīt secinājumus par sugu skaita dinamiku dažādās vietās. Liela daļa materiāla, īpaši no dzimtām *Staphylinidae*, *Cryptophagidae*, *Lathridiidae*, *Mordellidae* u.c. nav noteikta līdz sugas līmenim, tāpēc iespējams, ka sugu, kurām pēdējos gados novērota ekspansija dienvidu – ziemeļu virzienā, ir vairāk.

Uzskaites rezultāti

Npk	Suga	Parauglaukumu skaits/Īpatņu skaits				
		2009	2010	2011	2012	2013
	Carabidae					
1.	<i>Cicindela arenaria viennensis</i> (Schrank, 1781)	0	0	1/29	1/67	1/234
2.	<i>Nebria brevicollis</i> (Fabricius, 1792)	4/19	5/16	5/12	3/13	4/15
3.	<i>Pterostichus quadrioveolatus</i> (Letzner, 1852)	6/89	6/45	7/98	9/123	9/345
4.	<i>Calathus melanocephalus</i> (Linnaeus, 1758)	15/87	15/145	15/201	15/285	15/378
5.	<i>Paradromius linearis</i> (Olivier, 1795)	1/5	1/7	1/4	2/7	3/12
	Leiodidae					
6.	<i>Sciodrepoides alpestris</i> (Jeannel, 1934)	1/1	0	1/2	3/5	3/9
	Scarabaeoidae					
7.	<i>Oxythyrea funesta</i> (Poda, 1761)	5/12	7/34	8/67	10/88	11/102
8.	<i>Hoplia graminicola</i> (Fabricius, 1792)	2/6	3/19	5/16	5/13	7/21
	Buprestidae					
9.	<i>Trachys troglodytes</i> (Schönherr, 1817)	1/1	1/2	1/1	3/5	4/5
	Malachiidae					
10.	<i>Malachius marginellus</i> (Olivier, 1790)	3/9	3/18	5/23	6/21	8/35
	Nitidulidae					
11.	<i>Epurea distincta</i> (Grimmer, 1841)	5/14	5/32	5/>40	8/43	8/54
12.	<i>Glischrochilus quadrisignatus</i> (Say, 1835)	1/1	1/3	1/2	2/2	2/5
13.	<i>Glischrochilus grandis</i> (Tournier, 1872)	3/4	3/6	3/5	6/11	7/15
	Mycetophagidae					
14.	<i>Mycetophagus ater</i> (Reitter, 1879)	1/1	1/1	1/3	1/2	1/4
	Mordellidae					
15.	<i>Mordellistena sp.</i>	15/34	15/39	15/34	15/98	15/123

	Tenebrionidae					
16.	<i>Crypticus quisquilius</i> (Linnaeus, 1761)	15/21	14/33	14/26	15/39	15/133
	Oedemeridae					
17.	<i>Oedemera subrobusta</i> (Nakane, 1954)	4/9	4/20	6/19	5/25	7/19
18.	<i>Oedemera femorata</i> (Scopoli, 1763)	3/6	3/9	3/8	4/9	6/14
	Cerambycidae					
19.	<i>Leptura bifasciata</i> (Müller, 1776)	3/5	3/9	4/9	6/9	6/12
20.	<i>Agapanthia violacea</i> (Fabricius, 1775)	0	0	0	0	1/3
21.	<i>Phytoecia pustulata</i> (Schrank, 1776)	0	0	0	0	1/2
22.	<i>Phytoecia virgula</i> (Charpentier, 1825)	4/8	6/11	7/14	7/13	8/16
	Curculionidae					
23.	<i>Larinus turbinatus</i> (Gyllenhal, 1835)	0	1/3	3/7	4/11	7/19
24.	<i>Charagmus gressorius</i> (Fabricius, 1792)	1/3	1/7	1/6	2/7	3/9

Cicindela arenaria viennensis (Schrank, 1781)

Smilšvabole, kura Eiropā izplatās ziemeļu virzienā, apgūstot smilšainas, saulainas vietas priežu mežos vai to tuvumā. Līdz šim tās areāls bija Dienvidbaltkrievijā, Ukrainā, Polijā un uz dienvidiem no šīm teritorijām. Pirmo reizi Baltijā konstatēta pēdējo 10 gadu laikā. Latvijā pagaidām zināmas 3 atradnes Latvijas dienvidaustrumu daļā. Ļoti stabila populācija izveidojusies meža karjerā un tā apkārtnē pie Sventes. Pēdējo 3 gadu laikā, īpaši 2013.gadā, novērota būtiska šīs sugas kukaiņu skaita palielināšanās Sventes biotopā. Kukaiņi izplatās pa meža ceļiem, cirstmām, kvartālstigām. Suga ir plēsīga, meža ekosistēmu zoofāgs. Tās ietekme uz citām sugām Latvijas apstākļos nav pētīta, taču nekādas būtiskas izmaiņas pirmajos gados nav novērotas..

Nebria brevicollis (Fabricius, 1792)

Skrejvaboļu suga, kas plaši izplatīta Rietumeiropā un Centrāleiropā. Latvijā šī suga nebija atrasta vairāk nekā 150 gadus; tā parādījās un ātri izplatījās visā valsts teritorijā dažu gadu laikā pagājušā gadsimta 90. gados. Joprojām šī suga ir sastopama visā valsts teritorijā, taču tās īpatņu skaits populācijās ir nostabilizējies vai pat ar tendenci mazliet samazināties. Iespējams, skaita svārstības ietekmē ilgstošs liels sals ziemā. Zoofāgs. Būtiska šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta.

Pterostichus quadrifoveolatus (Letzner, 1852)

Skrejvaboļu suga, kas sastopama kserotermiskos biotopos. Šī suga ir mūsu faunas elements; saistībā ar klimatiskajām izmaiņām uzmanība jāpievērš arī šai vietējai sugai. Īpaši daudzskaitlīga tā ir meža degumos vairākus gadus pēc ugunsgrēka. Dabiskajos biotopos (nedegušos) pēdējo divu gadu laikā novērots būtisks īpatņu skaita pieaugums. Karstas vasaras ir īpaši labvēlīgas šīs sugas attīstībai. Zoofāgs. Būtiska šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta.

Calathus melanocephalus (Linnaeus, 1758)

Eiritopa skrejvaboļu suga. Tā ir mūsu faunas elements; saistībā ar klimatiskajām izmaiņām uzmanība jāpievērš arī šai vietējai sugai. Suga sastopama dažādos biotopos, arī mitros. Īpaši daudzskaitlīga tā ir meža izcirtumos. Dabiskajos biotopos pēdējos trīs gados novērots būtisks īpatņu skaita pieaugums. Karstas vasaras, acīmredzot, ir īpaši labvēlīgas arī šīs mazāk kserotermiskās sugas attīstībai. Būtiska šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta.

Paradromius linearis (Olivier, 1795)

Līdz šim tika uzskatīts, ka Latvijā tā ir reta skrejvaboļu suga, kas sastopama kāpās. Pēdējos gados novērota sugas izplatība iekšzemē, pļavās, mežmalās, cirsmās. Vairākās vietās, kur vaboļu pētījumi tiek regulāri veikti jau vismaz ceturtdaļgadsimtu, šī suga ir fiksēta tikai pēdējos gados. Suga nav ekspansīva, taču Latvijā katru gadu tiek konstatēta kāda jauna šīs sugas atradne. Zoofāgs. Būtiska šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta.

Sciodrepoides alpestris (Jeannel, 1934)

Šī ir mazpazīstama vaboļu suga, kas pirms dažiem gadiem publicēta kā jauna Latvijas faunai. Pēdējos gados novērotas vairākas jaunas šīs sugas atradnes. Pašlaik droši nevar apgalvot, ka suga izplatās. Iespējams, tā ir bijusi sastopama Latvijā arī agrāk, taču jaukta ar citām ģintīm. Taču nav izslēgts, ka tieši pēdējos gados šī suga nonākusi Latvijā un izplatās tās teritorijā. Nepieciešami papildus pētījumi. Būtiska šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta.

Oxythyrea funesta (Poda, 1761)

Dienvīdu suga, kura ekspansīvi izplatās Latvijā. Informācija par šīs sugas ienākšanu Latvijas faunā ir publicēta (Bukejs, Barševskis, Rudāns, 2006). Pašlaik tā izplatījusies lielākajā Latvijas daļā. Būtiska šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta, taču nepieciešami pētījumi. Suga ir antofīla - izēd ziedus, galvenokārt – ziedputekšņus.

Hoplia graminicola (Fabricius, 1792)

Suga ir vietējās faunas elements, kas apdzīvo galvenokārt smilšainus kserotermiskus biotopus. Saistībā ar klimatiskajām izmaiņām uzmanība jāpievērš arī šai vietējai sugai. Novērots, ka pēdējos gados suga ir plašāk izplatījusies. To apliecina arī mūsu pētījumu dati. Karstas vasaras ir īpaši labvēlīgas šīs sugas attīstībai. Būtiska šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta, taču nepieciešami pētījumi. Iespējams, ka tā var bojāt koku dīgļstus.

Trachys troglodytes (Schönherr, 1817)

Ļoti reti sastopama - kserotermiskās pļavās un mežmalās uz pēterenēm (*Centaurea*) - krāšņvaboļu suga. Latvijā pēdējos gados konstatētas vairākas jaunas atradnes. Visticamāk, pateicoties karstajām vasarām, suga vairāk izplatās. Šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav konstatēta.

Malachius marginellus (Olivier, 1790)

Šī suga Latvijā pirmo reizi novērota pagājušā gadsimta deviņdesmitajos gados. Suga turpina izplatīties. Pēdējos gados konstatētas vairākas jaunas atradnes. Šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav konstatēta.

Epurea distincta (Grimmer, 1841)

Šī ir spīduļu dzimtas suga, kas attīstās uz piepes. Suga Latvijā izplatījās pagājušā gadsimta 90.gados, galvenokārt gar Daugavas ieleju. Tās izplatība turpina pieaugt.

Glischrochilus quadrisignatus (Say, 1835)

Tā ir mazpazīstama, introducēta Ziemeļamerikas suga, kas turpina izplatīties Eiropā, un atrasta arī Latvijā.

Glischrochilus grandis (Tournier, 1872)

Šī ir mazpazīstama dienvidu suga, kas izplatījusies Baltkrievijā un konstatēta arī Latvijā, galvenokārt lapkoku mežos. Suga Latvijā turpina izplatīties. Jāveic novērojumi par šīs sugas ietekmi uz Latvijā sastopamo vietējo *G. hortensis*, jo abas sugas sastopamas vienos un tajos pašos biotopos.

Mycetophagus ater (Reitter, 1879)

Ļoti reta sēņgraužu suga. Latvijā pagaidām konstatēta tikai Latvijas dienvidaustrumos – Ilgās, kur ir stabila šīs sugas populācija. Tā kā Lai gan sugas pamatareāls atrodas samērā tālu no Latvijas, šai dienvidu sugai jāpievērš uzmanība. Nav informācijas par tās tālāku izplatību Latvijā, taču to nevar izslēgt.

Crypticus quisquilius (Linnaeus, 1761)

Suga ir vietējās faunas elements; tā apdzīvo galvenokārt smilšainus kserotermiskus biotopus. Saistībā ar klimatiskajām izmaiņām uzmanība jāpievērš arī šai vietējai sugai. Novērots, ka pēdējos gados suga ir plašāk izplatījusies un palielinājis īpatņu skaits populācijās. To apliecina arī mūsu pētījumu dati. Karstas vasaras ir īpaši labvēlīgas šīs sugas attīstībai. Būtiska sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta, taču nepieciešami pētījumi. Iespējams, ka arī šī suga var bojāt koku dīgstus, taču nepieciešami pētījumi šīs hipotēzes apstiprināšanai.

Oedemera subrobusta (Nakane, 1954)

Šī ir austrumu, dienvidaustrumu suga, kura izplatās rietumu – ziemeļrietumu virzienā. Informācija par šīs sugas atrašanu Latvijas faunā ir publicēta (Barševskis, 2008). Pašlaik suga

izplatījusies lielākajā Latvijas daļā. Būtiska šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta, taču nepieciešami pētījumi. Suga ir antofīla, izēd ziedputekšņus.

Oedemera femorata (Scopoli, 1763)

Suga ir vietējās faunas elements, kas apdzīvo galvenokārt smilšainus biotopus. Novērots, ka pēdējos gados suga ir plašāk izplatījusies, ko apliecina arī mūsu pētījumu dati. Būtiska šīs sugas ietekme uz meža ekosistēmām nav fiksēta, taču nepieciešami pētījumi. Suga izplatās galvenokārt Kurzemē un Zemgalē, Latgalē joprojām reti sastopama. Iespējams, tās izplatību limitē zemās temperatūras ziemā.

Leptura bifasciata (Müller, 1776)

Suga ir vietējās faunas elements, sastopama galvenokārt Latvijas dienvidaustrumu daļā. Šī koksngraužu suga, kas attīstās celmos, Latvijā līdz šim tika uzskatīta par retu. Parasti vienā vietā tā ir mazskaitlīga - vienkopus tiek novēroti tikai daži īpatņi. Pēdējos desmit gados suga kļuvusi daudz biežāk sastopama Latvijas dienvidaustrumos un izplatās visā Latvijā. Pēdējos gados šī dienvīdū suga konstatēta arī Igaunijā.

Agapanthia violacea (Fabricius, 1775)

Šī ir ekspanzīva koksngraužu suga, kas no Centrāleiropas pēdējos gados strauji izplatās ziemeļu virzienā. Pēdējos dažos gados Polijā konstatētas vairākas jaunas atradnes (Dr. J. Gutowski u.c. mutiska informācija). Šogad suga pirmo reizi konstatēta Latvijā, Daugavpils novada Ilgās – 3 eksemplāri. Visticamāk, arī Latvijā šī suga strauji izplatīsies turpmākajos gados. Suga ir zālaugu stublājgrauzis; mežsaimniecībā kaitējumu nenodara.

Phytoecia pustulata (Schrank, 1776)

Šī ir kserotermiskās vietās sastopama koksngraužu suga, kas, iespējams, pēdējos gados no Centrāleiropas izplatās ziemeļu virzienā. Šogad suga pirmo reizi novērota Latvijā - kserotermiskās pļavās Daugavpils novada Muravkos, Dabas parka „Daugavas loki” teritorijā – 2 eksemplāri. Suga ir zālaugu stublājgrauzis; mežsaimniecībā kaitējumu nenodara. Suga zināma arī Lietuvā. Biotopā, kur suga konstatēta, koleopteroloģiskie pētījumi tiek veikti daudzus gadus, taču agrāk neviens šīs sugas īpatnis nav konstatēts.

Phytoecia virgula (Charpenter, 1825)

Šī ir kserotermiskās vietās sastopama koksngraužu suga, kas arī, iespējams, no Centrāleiropas pēdējos gadu desmitos izplatās ziemeļu virzienā. Sākotnēji suga bija novērota tikai Latvijas dienvidaustrumu daļā. Pašlaik suga izplatījusies plašāk, taču galvenokārt – gar Daugavas ieleju. Suga ir zālaugu stublājgrauzis; mežsaimniecībā kaitējumu nenodara. Suga zināma arī Lietuvā.

Larinus turbinatus (Gyllenhal, 1835)

Šī mazpazīstamā un mazizpētītā suga Latvijā parādījusies pēdējos gados un tagad strauji izplatās. Sastopama galvenokārt uz zālaugiem, mežmalās, mežmalu pļavās. Nepieciešami papildus pētījumi par sugas bioloģiju.

Charagmus gressorius (Fabricius, 1792)

Arī šī smecernieku suga, kas izplatīta Dienvidbaltkrievijā, Polijāun citur, pēdējos gados sākusi strauji izplatīties ziemeļu virzienā. Latvijā mazpazīstama un maz izpētīta suga. Nepieciešami papildus pētījumi par bioloģiju.

Iegūtie rezultāti liecina, ka:

- 1) pēdējos piecos gados novērotas vismaz 24 kukaiņu sugas, kuru pamatareāli ir uz dienvidiem no Latvijas, taču tās ir konstatētas un izplatās valsts teritorijā. Daļa no šīm sugām ir ekspansīvas, taču neviena nav nozīmīgs kaitēklis. Visticamāk, šo sugu izplatība ziemeļu virzienā liecina par klimata izmaiņām;
- 2) saistībā ar klimatiskajām izmaiņām būtiski veikt monitoringu arī vietējām dendrofāgo kukaiņu sugām, kuru attīstībai īpaši labvēlīgas ir karstas vasaras;
- 3) lielākā daļa sugu, kas var liecināt par klimata izmaiņām, visbiežāk parādās Latvijas dienvidaustrumu daļā un jūras piekrastē, pagaidām retāk – Latvijas centrālajos un ziemeļu rajonos, taču gadījumi ar *Oxythrea funesta* vai *Leptura bifasciata* liecina, ka sugas var diezgan strauji izplatīties gandrīz visā valsts teritorijā. Kā vietējai faunai netipisko sugu izplatības koridori, pirmkārt, varētu būt Daugavas senleja (īpašs mikroklimats, dienvidu ekspozīcijas ielejas nogāzes). Otrkārt, tās varētu būt atklātās lauksaimniecībā izmantojamās teritorijas, atmatas un pļavas, kas pieguļ Baltkrievijas un Lietuvas teritorijām. Pa tām, kā koridoriem, ienāk virkne vietējai faunai neraksturīgu sugu. To apstiprina pētījumi, kas veikti Daugavpils novada Ilgās, kur atklātās teritorijas robežojas ar plašu meža masīvu, un katru gadu tiek konstatētas šādas sugas;
- 4) iespējams turpināt šāda veida pētījumus un mēģināt modelēt atsevišķu mežsaimniecībai nozīmīgu dienvidu sugu iespējamo izplatību ziemeļu virzienā.

15. Sekundāro kaitēkļu savairošanās egles bruņuts bojātās mežaudzēs

Nodaļas ietvaros analizēta sekundāro kaitēkļu (mizgraužu) savairošanās egles bruņuts bojātās parastās egles audzēs un sagatavot rekomendācijas risku mazināšanai

Pētījuma ietvaros iepriekšējos gados analizēti egļu bruņuts (*Physokermes piceae*) bojājumi parastās egles audzēs, šajā pārskatā galveno vērību veltot sekundāro kaitēkļu monitoringam bojātajās audzēs un rekomendāciju sagatavošanai audžu apsaimniekošanai.

Nozīmīgākie kaitēkļi egļu audzēs

Apsēkotās egļu audzēs no kaitēkļiem bieži sastopams pūkainais egļu mizgrauzis (*Polygraphus polygraphus* L.), sevišķi uz tiem kokiem, uz kuriem konstatētas rizomorfas. Parastās egles mežos vaboles visbiežāk parādās aprīlī-maijā un parasti otrreiz jūlijā-augustā. Kukainis uzbrūk galvenokārt 20 - 40 gadus vecām egļu audzēm, īpaši jau novājinātām (Amann, 1971), savukārt V.Šmits (1960) raksta, ka tas uzbrūk dažāda vecuma, galvenokārt, apēnotās vietās augošiem, novājinātiem kokiem. Dažreiz kukainis sastopams uz ārēji pilnīgi veselīgiem kokiem, kuriem gada laikā nobirst skujas un tie nokalst. Procesu paātrina dzeņveidīgie putni, kuri, meklējot mizgrauža kāpurus, nomizo koku visā garumā. Pūkainais egļu mizgrauzis apdzīvo koku stumbru un resnākos zarus. Vabole iegareni ovāla, brūna, ar tumši brūnu, gandrīz melnu galvu un iedzelteniem galvas taustekļiem un kāju pēdām, garums vidēji 2,4 mm. Mātes ejas ir 3-6, tās ir 2-6 cm garas un 1,2 mm platas, pilnas ar mizas miltiem, no pārošanās telpas atiet starveidā. Kāpurejas līkumotas, savā starpā sapinušās. Pūkainais egļu mizgrauzis ir pavadoņsuga sēnēm un bakteriālajām slimībām, kas aizņem koka stumbra daļu virs sēņu un slimību bojātās vietas (Ozols, 1985).

Zem atlupušas mizas uz stumbriem konstatēti egļu smecernieka-sveķotāja (*Pissodes harcyniae* Hrbst.) un mazā egļu koksngrauža (*Tetropium castaneum* L.) bojājumi un sēņotnes pārveidnes-rizomorfas, kas sēņu augošajos auglķermēnos veic vadorgānu funkcijas. Rizomorfas raksturīgas *Armillaria* spp. sēnēm. V. Šmits (1960) raksta, ka bieži uz kokiem, kuros ieviesušies mizgrauži, atrodas arī dažādas sēnes. Sēņu attīstība nelabvēlīgi ietekmē koku, bet ne kukaiņu attīstību, piemēram, sēne *Armillaria mellea*, dzīvodama parazītiski uz koka, to daļēji novājina, radot labvēlīgus apstākļus *Ips typographus* L. attīstībai. Savukārt, skujskoku koksni zilinošā sēne *Ophiostoma pillifera*, kas ieviešas pēc *Trypodendron* Steph. uzbrukuma, strauji attīstās, novājinot koku, tādējādi radot labvēlīgus apstākļus mizgraužu uzbrukumam.

Bieži sastopams kaitēklis apsekotajās audzēs ir egļu sešzobu mizgrauzis (*Pityogenes chalcographus* L.). Vaboles vidēji 2 mm garas, cilindriskas, brūnas, ar gaišāku virsspārnu galotnes daļu, spīdīgas. Lido no maija līdz jūnija beigām, mazāk intensīva lidošana turpinās visu vasaru. Līdz koku 40 gadu vecumam bojā visu stumbru, bet vecākām eglēm – vidusdaļu, galotnes daļu un zarus. Izvēlas galvenokārt novājinātus augošus kokus un nocirstus kokus, kur meža sanitārās tīrības apstākļi slikti. Par to, vai šie mizgrauži invadē arī pilnīgi veselus kokus, dažādu pētnieku domas dalās. Zem mizas no kopulācijas telpas atiet 3-6 mātes ejas gandrīz perpendikulāri stumbra asij, to garums līdz 6 cm, kāpurejas līdz 4 cm, savstarpēji paralēlas. Gadā

attīstās viena paaudze, retāk divas (Ozols, 1985; Šmits, 1960). Vaboles kopā ar egļu astoņzobu mizgrauzi parastās egles audzēm reizēm nodara ļoti lielu kaitējumu (Amann, 1971).

Egļu dubultzobu mizgrauzis (*Ips duplicatus* Sahlb.) ir līdzīgs egļu astoņzobu mizgrauzim, bet invadē jaunākas un tievākas egles, bojā stumbra daļu ar plānu mizu. Mātes ejas īsākas un šaurākas (2,0 - 2,5 mm) nekā egļu astoņzobu mizgrauzim, kā arī mazliet likumainākas, un dziļāk skar aplievu. Šai mizgraužu sugai ir lielākas gaismas prasības, un tā nav tik plastiska kā astoņzobu mizgrauzis, tāpēc mazāk izplatīta. Invadē galvenokārt izretinātas audzes, mežmalas un izcirtumos palikušos kokus (Amann, 1971; Ozols 1985).

Egļu astoņzobu mizgrauzis (*Ips typographus* L.) ir viens no galvenajiem parastās egles audžu kaitēkļiem (Šmits, 1960; Синадский, 1983). Tas ir bīstams ne tikai Latvijā (Bičevskis, Ozols, 1983), bet arī visā Eirāzijā (Christiansen, Bakke, 1988). Šis kaitēklis parasti savairojas vēja gāztās vai citādi novājinātās eglēs vai nemizotos baļķos, kas ir virs 12 cm diametrā. Skandināvijā raksturīga viena paaudze gadā (Šmits, 2009), bet Latvijā samērā bieži (siltajās vasarās) sekmīgi attīstās divas paaudzes (Bičevskis, Ozols, 1983; Ozols, 1968, 1985). Vecās vaboles ziemo zemsegā 2 - 5 cm dziļumā, lielākoties zem veco koku vainagu klāja. Tikai neliela daļa vaboļu paliek ziemot attīstības vietās zem mizas, pa lielākai daļai uz gulošiem stumbriem (Ozols, 1985). Latvijā lidošana sākas aprīļa otrajā pusē, maija sākumā. Pirmā paaudze izlido jūnijā vai jūlija sākumā, bet otrā paaudze – augusta beigās, septembrī (Bičevskis, Ozols, 1983). Pētītajās parastās egles audzēs konstatēti I un II paaudzes egļu astoņzobu mizgrauža bojājumi. Lai egles astoņzobu mizgrauža vaboles spētu kolonizēt dzīvu koku, tām jāsapulcējas pietiekami lielā skaitā, lai pārvarētu koka pretestību (Mulock, Christiansen, 1986). Mežos izplatās ligzdveidīgi, kā sekas pēc dažādiem meža augšanu traucējošiem faktoriem (Amann, 1971). Tā kā egļu astoņzobu mizgrauža sekmīgai attīstībai ir nepieciešami egles stumbri, kas ir resnāki par 12 cm diametrā, zari un galotnes nav tieši piemēroti to attīstībai (Šmits, 2009). Pēc 2005. gada vētras egļu audzēs, kuras aug kūdreņos un āreņos, novērotas cita kaitējuma īpatnības, kas ārēji līdzīgas egļu astoņzobu mizgrauža kaitējumam vasaras otrajā pusē. Šim kaitējumam specifiska skuju dzeltēšana un nobiršana egļu galotnē (Bičevskis, 2006) - kā egļu minerālvielu aprites traucējumu sekas (Zālītis, Lībiete, 2004). Pētījuma parauglaukumos egļu astoņzobu mizgrauža bojājumu vietās ir konstatēta zilējuma sēne, jo pieaugušās vaboles pārnēsā šīs sēnes sporas *Ophistoma polonicum* (Šmits, Bičevskis, 1997). Tā kā koki jau egļu bruņuts un mizgraužu novājināti, tad ir iespēja tos iekarot arī koksngraužiem. Pētītajās audzēs ir sastopami egļu mazā spīdīgā koksngrauža bojājumi. Tievākos kokus, kuriem ir visaugstākā bruņuts bojājuma pakāpe, ir bojājuši arī egļu smecernieki-sveķotāji *Pissodes harcyniae* Hrbst., kuri jutīgi reaģē uz koku vismazāko novājinātību.

Datu ievākšanas metodika

Egles bruņuts bojātās parastās egles audzēs 2010. g. ierīkotajos stacionārajos parauglaukumos PL platība 500 m², R=12,62 m) visi uzskaitītie koki iedalīti bojātos un nebojātos. Par bojātiem kokiem uzskatītas egles, kurām vispirms sākusi brūnēt galotne, un pēc tam bojājumi parādījušies arī vainaga lejasdaļā. Bojātie koki tika uzskaitīti 3 bojājumu pakāpēs: 1. līdz 1/3 no vainaga (kalstoša koka galotne, pārējās vainaga daļās bojājumi ir nelieli); 2. līdz 2/3

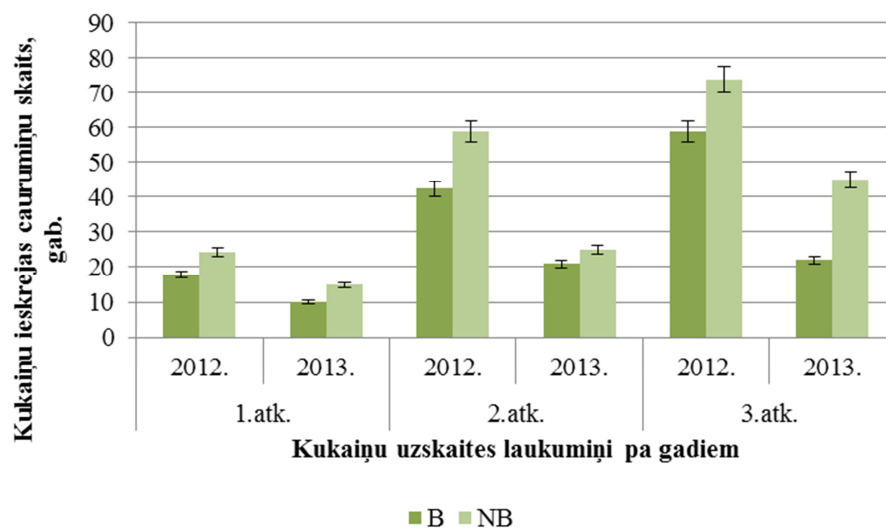
no koka vainaga (koks zaudējis lielāko daļu skuju, būtiski bojājumi visā vainagā); 3. koks zaudējis visas skujas (iespējami nelieli zaļi jaunie dzinumi) (Lazdiņš, 2010).

Tālāk apsekoti un uzmērīti egļu 8-zobu mizgrauža un citu stumbra kaitēkļu bojātie koki, lai izvērtētu mizgraužu izraisītu augošu egles koku stumbru bojājumus un aprēķinātu bojātās koksnes apjomu uz vienu ha, kā arī uzskaitīti un uzmērīti koki, kuri nokaltuši citu iemeslu dēļ. Tas veikts 2012. gadā 23 audzēs un 2013. gadā 17 audzēs, katrā audzē 2 parauglaukumos (egles bruņuts nebojātā vai mazāk bojātā un bojātā daļā). Katrai eglei apsekoti 6 dm² (30 x 20 cm) lieli mizas laukumi trīs atkārtojumos (tieši virs sakņu kakla, 50 cm un 100 cm virs sakņu kakla). Uzskaites laukumi vērsti uz lielā parauglaukuma centru. Katrā mizas laukumā uzskaitītas visas ieskrejas, kas norāda jauno saimju skaitu (Šmits, 2005). Uzskaitē veikta gan pirmajai (2012.g.), gan otrajai (2013.g.) egļu astoņzobu mizgrauža paaudzei. Otrajā gadā uzskaitīti koki, kuri spējuši atvairīt stumbra kaitēkļu uzbrukumu (Ozols, 1985). Egļu astoņzobu mizgrauža jūlijā un augustā bojātām eglēm var būt bojāta tikai stumbra vidus un galotnes miza. Tādi mizgraužu bojājumi ieraugāmi tikai pēc tam, kad mizu bojātajā posmā noknābā putni. Mizgrauža savairošanās gados tas var būt ziemā (Bičevskis, 2006). Minēto apstākļu dēļ audzēs veikta novērtēšana otrajā gadā.

Analizējot mizgraužu bojājumus, izmantots audžu novērtējums ballēs: „0” - bojāto koku stumbru skaits uz ha (%) - līdz 3%, „1” - 3-10% un „2” - virs 10% (Bičevskis, 2006).

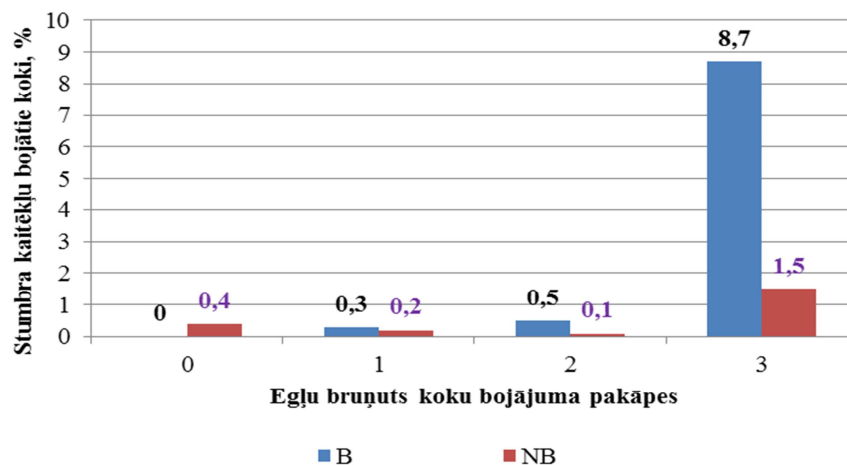
Egļu audžu apsekošanas rezultāti

Kukaiņu vairošanās, attīstība un izplatīšanās ir atkarīga no vides apstākļiem, kādos tie dzīvo. Stumbra kaitēkļu savairošanos parasti sekmē citu kaitēkļu bojājumi, dažāda veida slimības, vēja un uguns ietekme, mitruma režīma izmaiņas, mehāniskie bojājumi, atmosfēras piesārņojums u.c. Pētītajās audzēs ir konstatēti stumbra kaitēkļu bojājumi egļu bruņuts novājinātās parastās egles mežaudzēs. Egļu bruņuts bojājuma rezultātā, kokiem novājinoties, to izturība samazinās, un rodas labvēlīgi apstākļi citu kukaiņu attīstībai. Fizioloģiski novājinātiem kokiem ir zems sveķu un osmotiskais spiediens, tiem izdalās maz vielu, kuras spēj nonāvēt kukaiņus, samazinās arī koka bioloģiskā aktivitāte, audu ķīmiskais sastāvs mainās kukaiņiem izdevīgā virzienā. Par to liecina kukaiņu lielais skaits uz koka stumbra (15.1.att.). Vidējais kukaiņu ieskreju skaits 60 dm² 2012. gadā ir 40 bojātajās (B) un 53 neskartajās vai mazāk bojātās audžu daļās (NB), attiecīgi 2013. gadā B - 17 un NB - 28. Kukaiņu ieskreju skaits līdz ar augstumu no sakņu kakla palielinās. 2013. gadā ir spējuši atveseļoties tikai tie koki, kuriem kukaiņu uzskaites laukumā konstatētas 1 - 10 ieskrejas, visi pārējie ir nokaltuši.



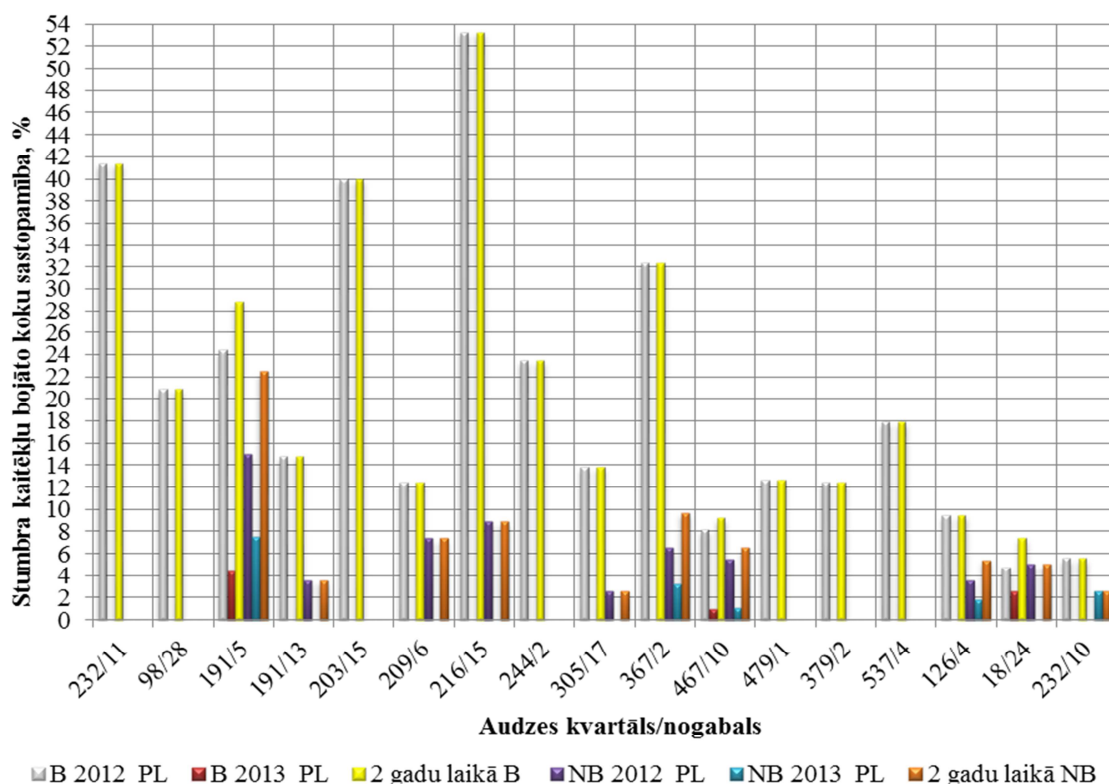
15.1.attēls. Kukaiņu ieskrejas caurumiņu skaits uzskaites laukumos pa gadiem.

Divu gadu periodā mežaudzēs no stumbra kaitēkļiem visvairāk ir cietuši koki, kuriem konstatēta visaugstākā egļu bruņuts bojājuma pakāpe (15.2.att.) gan bojātajās (B), gan neskartajās vai mazāk bojātās audžu daļās (NB). No visiem trešajā pakāpē iedalītajiem kokiem, stumbra kaitēkļu bojāti ir 8,7% koku bojātajās audžu daļās un 1,5% koku mazāk bojātajās audžu daļās, Stumbra kaitēkļu bojājumi ir sastopami (0,4 %) arī vizuāli veselos kokos egļu bruņuts neskartajās vai mazāk bojātās audžu daļās.



15.2.attēls. Stumbra kaitēkļu bojātie koki (%) atkarībā no egles bruņuts koka bojājuma pakāpes.

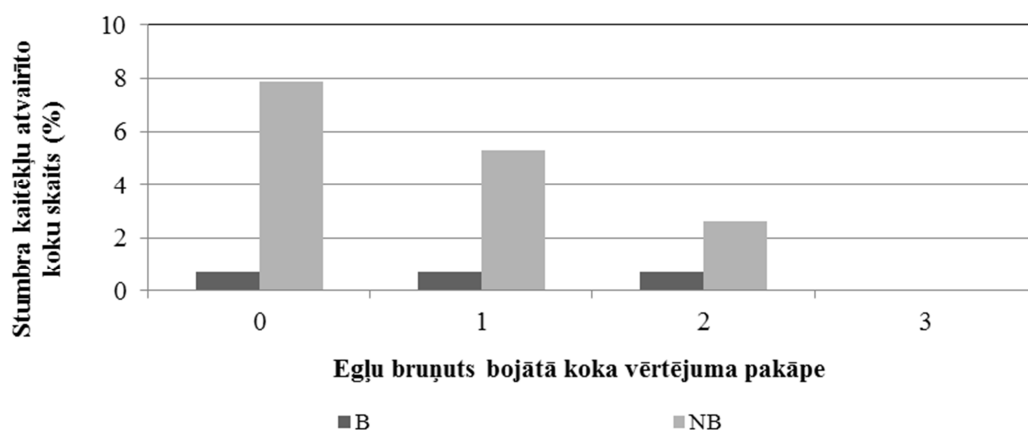
Pastāv būtiskas atšķirības starp stumbra kaitēkļu bojāto koku skaitu (%) audzes bojātajā (B) un mazāk skartajā vai veselajā audzes (NB) daļā ($p < 0,001 < \alpha = 0,05$), jo egļu bruņuts bojājuma rezultātā novājinātiem kokiem ir pazemināts sveķu spiediens, kuri mehāniski un ķīmiski aizsargā kokus pret stumbra kaitēkļu uzbrukumiem, kā arī ir mainījies spiediens mizas lūksnes slānī. Kā redzams 15.3.attēlā, vienas audzes B daļā stumbra kaitēkļu bojāto koku skaits (%) pārsniedz 50%.



15.3.attēls.Stumbra kaitēkļu bojājumi egļu bruņuts bojātajā (B) un veselajā vai mazāk skartajā (NB) parauglaukumā parastās egles audzēs.

Bojāto koku sastopamība 2012. gadā audzes bojātajā (B) daļā ir 8,5% no visiem uzskaitītajiem kokiem, un 2013. gadā bojāto koku apjoms ir samazinājies un veido tikai 0,4%; savukārt mazāk skartajā vai veselajā (NB) daļā bojāto koku īpatsvars 2012. gadā – 1,7% un 2013. gadā – 0,6%.

Ja pioniermizgrauži kādas nejaušības dēļ nokļūst attīstībai neatbilstošā kokā (koks par maz novājināts), tie parasti nogrimst sveķos un nevienu atraktantu neizdala, līdz ar to vairs nepiesaista citus savas sugas īpatņus konkrētajam kokam. Tāpēc daļa no 2012. gadā bojātajiem kokiem ir spējuši mobilizēt iekšējās rezerves, veiksmīgi pārvarot traucējumus stumbrā, atjaunojot normālu stāvokli un sekmīgi atvairot stumbra kaitēkļu uzbrukumus. Egles bruņuts bojātajos (B) parauglaukumos ir atveseļojušies 2,1 % no visiem stumbra kaitēkļu bojātajiem kokiem, savukārt mazāk skartajā vai veselajā audzes (NB) daļā – 15,8 %. Par to liecina uz koka stumbriem sacietējušie sveķu pilieni, kur konstatēti stumbra kaitēkļu mēģinājumi ieieņties mizā. Stumbra kaitēkļu bojāto koku atveseļošanās samazinās līdz ar egļu bruņuts bojājuma pakāpes palielināšanos (15.4.att.).



15.4.attēls. Koku īpatsvars ar atvairītiem stumbra kaitēkļu traucējumiem (%) egļu bruņuts bojātajā (B) un mazāk skartajā vai veselajā audzes daļā (NB) atkarībā no egļu bruņuts koka bojājuma pakāpes.

Izvērtējot kukaiņu bojāto koku krāju (15.1., 15.2.tab.), var secināt, ka stumbra kaitēkļu bojāto koku un citu iemeslu dēļ nokaltušo koku krāja apsekotajos parauglaukumos atšķiras, bet, kopumā vērtējot, tā ir zemāka par aritmētisko vidējo. Parastās egles audzēs koku krājas minimālā un maksimālā vērtība egļu bruņuts bojātajā (B) parauglaukumā ir $3,3 - 19,7 \text{ m}^3$ un veselajā vai mazāk skartajā (NB) parauglaukumā – $2,7 - 20,5 \text{ m}^3$, attiecīgi kukaiņu bojāto koku krāja B daļā – $0,1 - 10,3 \text{ m}^3$ ($3,2 - 57,5 \%$ no parauglaukuma koku krājas) un NB daļā $0,0 - 2,1 \text{ m}^3$ ($0,0 - 24,6 \%$), un citu iemeslu dēļ nokaltušo koku krāja B daļā $0,0 - 5,0 \text{ m}^3$ ($0,0 - 53,2 \%$) un NB daļā – $0,0 - 1,2 \text{ m}^3$ ($0 - 15,5 \%$).

15.1.tabula

Krāja egļu bruņuts bojātajā (B) un veselajā vai mazāk skartajā (NB) parauglaukumā parastās egles audzēs

Audzes kvartāls/ nogabals	Krāja, m^3					
	NB PL	B PL	kukaiņu boj.dēļ nokalt. koki NB PL	kukaiņu boj.dēļ nokalt.koki B PL	citu iemeslu dēļ nokalt. koki NB PL	citu iemeslu dēļ nokalt. koki B PL
17-1	11,3	8,7	0,6	3,3	0	0
98-28	13,1	12,3	0	2,2	0	0,6
191-5	19,7	20,5	2,1	4,7	0,3	0,8
191-13	9,45	8,2	0	0,6	0,2	0,5
203-15	7,75	9,4	0	0,3	1,2	5
209-6	3,25	2,7	0,8	0,1	0,3	0,3
216-15	16,2	17,9	1,5	10,3	1,2	0

Audzes kvartāls/ nogabals	Krāja, m ³					
	NB PL	B PL	kukaiņu boj.dēļ nokalt. koki NB PL	kukaiņu boj.dēļ nokalt.koki B PL	citu iemeslu dēļ nokalt. koki NB PL	citu iemeslu dēļ nokalt. koki B PL
244-2	4,7	5,0	0	1,0	0	0,2
305-17	15,35	14,8	0,3	0,9	0	0,5
367-2	6,9	6,7	0,2	1,4	0	1,6
467-10	17,65	19,3	1,8	0,6	0	0,4
479-1	11,4	12,6	0	1,1	0	0,6
479-2	16,85	12,3	0	1,0	0	0
537-4	19,3	17,2	0	4,3	0,2	0
126-4	7,95	6,8	1,0	0,3	0,1	0,3
18-24	15,9	12,8	0,6	0,9	0,4	0,2
232-10	13,7	13,3	0,2	0,5	0	0,5

Audzes vidējā krāja bojātajā daļā ierīkotajos parauglaukumos $11,8 \pm 1,24$ m³, mazāk bojātajā vai nebojātajā daļā $12,4 \pm 1,23$ m³, savukārt kukaiņu bojāto koku krāja B daļā $2,0 \pm 0,62$ m³ un NB – $0,5 \pm 0,17$ m³, citu iemeslu dēļ nokaltušo koku krāja B daļā $0,7 \pm 0,29$ m³ un NB – $0,2 \pm 0,09$ m³. Tabulā (15.2.tab.) redzams, ka gan kukaiņu, gan citu iemeslu dēļ bojāto koku krājas ekscess ir lielāks par 0 ($E > 0$), tas nozīmē, ka bojāto koku sadalījums ir izstiepts, un raksturīga varianšu grupēšanās centrālajās klasēs ap vidējo aritmētisko, savukārt egļu bruņuts bojātajā (B) un veselajā vai mazāk skartajā (NB) parauglaukumā kopējās krājas ekscess ir mazāks par 0 ($E < 0$), tas liecina, ka sadalījumam ir raksturīga varianšu koncentrācija arī malējās klasēs (15.2.tab.).

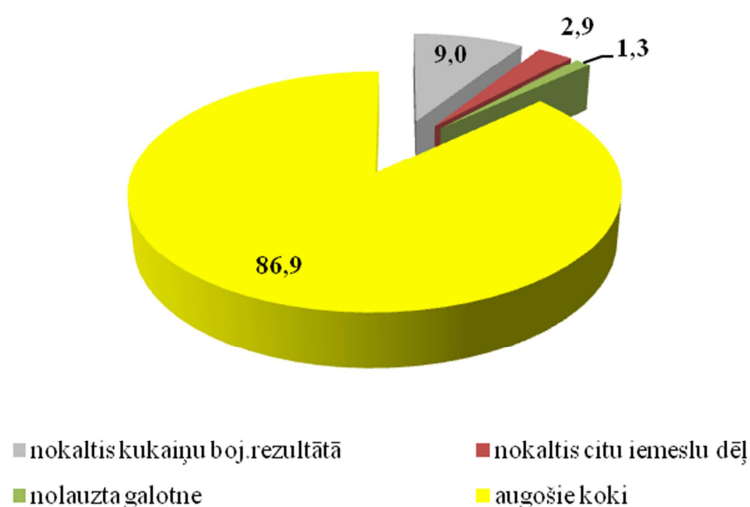
15.2.tabula

Krājas statistiskie rādītāji egļu bruņuts bojātajā un veselajā vai mazāk skartajā parauglaukumā parastās egles audzēs

Statistiskie rādītāji	Krāja, m ³					
	NB PL	B PL	kukaiņu boj.dēļ nokalt. koki NB PL	kukaiņu boj.dēļ nokalt.koki B PL	citu iemeslu dēļ nokalt. koki NB PL	citu iemeslu dēļ nokalt. koki B PL
Aritmētiskais vidējais	12,4	11,8	0,5	2,0	0,2	0,7

Statistiskie rādītāji	Krāja, m ³					
	NB PL	B PL	kukaiņu boj.dēļ nokalt. koki NB PL	kukaiņu boj.dēļ nokalt.koki B PL	citu iemeslu dēļ nokalt. koki NB PL	citu iemeslu dēļ nokalt. koki B PL
Standartklūda	1,23	1,24	0,17	0,62	0,09	0,29
Standartnovirze	5,1	5,1	0,7	2,6	0,4	1,2
Dispersija	25,7	26,3	0,5	6,5	0,2	1,4
Ekscesa koeficients	-1,0	-0,8	0,5	6,9	3,4	12,8
Asimetrijas koeficients	-0,3	0,0	1,2	2,5	2,0	3,5
Amplitūda	16,5	17,8	2,1	10,2	1,2	5,0
Minimums	3,3	2,7	0,0	0,1	0,0	0,0
Maksimums	19,7	20,5	2,1	10,3	1,2	5,0
Absolūtais lielums	210	200	9	34	4	11
Novērojumu skaits	17	17	17	17	17	17
Ticamības līmenis	2,61	2,64	0,35	1,31	0,20	0,61

Pētītajās parastās egles audzēs, kuras cietušas no egļu bruņuts bojājumiem, kopumā cita veida bojājumi tika konstatēti 13,1 % koku (15.5.att.), tai skaitā, stumbra kaitēkļu bojāti 9 % koku, citu iemeslu dēļ nokaltuši (zilējumu sēnes bojājumi un rizomorfas, bet stumbra kaitēkļu bojājumi uz šiem kokiem nav konstatēti) 2,9 % koku, un abiotisko faktoru ietekmē bojāti (nolauzta galotne) 1,3 % koku.



15.5.attēls. Koku procentuālais sadalījums (%) pa bojājumu veidiem.

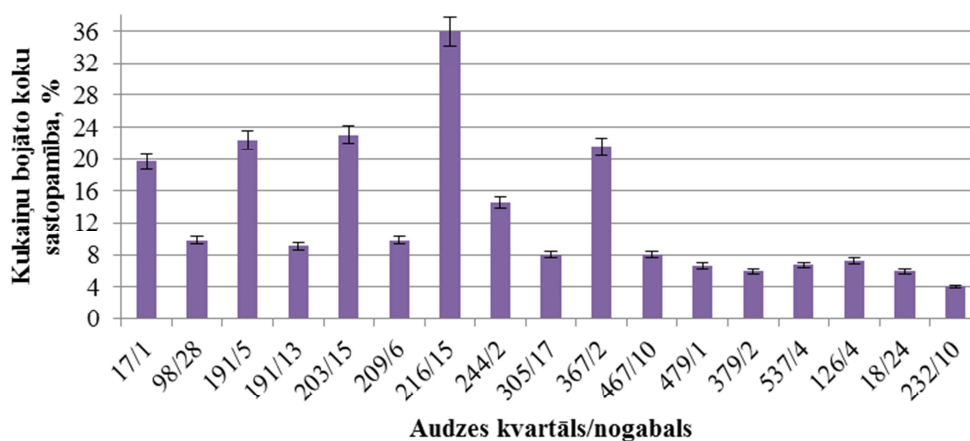
Egļu bruņuts bojātajās parastās egles audzēs rezultāti par koku stumbra kaitēkļu postījumiem apkopoti 15.3. tabulā un 15.6. attēlā. Visās audzēs bojāto koku skaits audzē pārsniedz 3 %. Bojāto koku īpatsvars 3-10 % robežās konstatēts 11 apsekotajās parastās egles audzēs, bet sešās audzēs bojāto koku īpatsvars pārsniedz 10 %.

15.3. tabula

Stumbra kaitēkļu bojājumu novērtējums egļu bruņuts bojātajās parastās egles audzēs

Novērtējums ballēs	Bojāto koku stumbru skaits uz ha, %	Parastās egles audžu kvartāli/nogabali	Audzū skaits
0	< 3 %	nav	0
1	3 – 10 %	98/28, 191/13, 209/6, 305/17, 467/10, 479/1, 379/2, 537/4, 126/4, 18/24, 232/10	11
2	> 10 %	17/1, 191/5, 203/15, 216/15, 244/2, 367/2	6

Visnozīmīgākie bojājumi ir audzēs, kurās no stumbra kaitēkļiem konstatēts egļu astoņzobu mizgrauzis. Tā sekmīgai attīstībai nepieciešami egles stumbri, kas ir resnāki par 12 cm diametrā, tāpēc egles audzēs šī kaitēkļa invadētas visresnākās egles, kuras cietušas arī no egļu bruņuts bojājumiem. Izpētot bojātos kokus, konstatēts, ka 2012. gadā no egļu astoņzobu mizgrauža abām paaudzēm cietušie koki audzēs ir nokaltuši 2013. gadā. Šai sugai bieži kā pavadītājsuga konstatēts egļu sešzobu mizgrauzis. Bojāto koku īpatsvars šajās audzēs ir no 10 % līdz 36 % (15.6.att.). Divās audzēs nozīmīgi bojājumi konstatēti egļu sešzobu, pūkainā jeb zvīņainā mizgrauža un sēņu bojājuma rezultātā, jo uz 2013. gadā nokaltušajiem kokiem tika konstatētas rizomorfas. Šajās audzēs nokaltušo koku skaits veido 10 % un 15 %.



15.6.attēls. Stumbra kaitēkļu bojāto augošu egles koku stumbru īpatsvars (%) egļu bruņuts bojātajās parastās egles audzēs uz ha.

Kokiem, kuriem zem mizas ir redzamas rizomorfas, sastopamas tādas kukaiņu sugas kā dubultzobu mizgrauzis, pūkainais mizgrauzis, egļu koksngrauži, koksnes mizgrauzis u.c. Uz tievākiem nokaltušo koku stumbriem 2013. gadā konstatēti egļu smecernieka-sveķotāja (*Pissodes*

harcyniae Hrbst.) un mazā egļu koksngrauža (*Tetropium castaneum* L.) bojājumi un sēņotnes pārveidnes-rizomorfas.

Pētījumi egļu bruņuts ietekmētās audzēs liecina:

- 1) divu gadu periodā mežaudzēs no stumbra kaitēkļiem visvairāk ir cietuši koki, kuriem konstatēta visaugstākā egļu bruņuts bojājuma pakāpe gan bojātajās (B), gan neskartajās vai mazāk bojātajās audžu daļās (NB). No kokiem ar trešo egļu bruņuts bojājumu pakāpi stumbra kaitēkļu bojājumi konstatēti 8,7% koku audzes bojātajā daļā un 1,5% koku nebojātajā daļā, – no kokiem ar pirmo un otro vērtējuma pakāpi - no 0,1% līdz 0,5%;
- 2) bojāto koku sastopamība 2012. gadā audzes bojātās (B) daļas parauglaukumā veido 8,5% no visiem uzskaitītajiem kokiem un 2013. gadā - 0,4%, savukārt mazāk skartajā vai veselajā audzes (NB) daļā 2012. gadā – 1,7% un 2013. gadā – 0,6%. Pastāv būtiskas atšķirības starp stumbra kaitēkļu bojāto koku skaitu (%) audzes bojātajā (B) un mazāk skartajā vai veselajā audzes (NB) daļā ($p < 0,001 < \alpha = 0,05$);
- 3) egļu bruņuts bojāto audžu (B) parauglaukumos ir atveseļojušies 2,1% no visiem stumbra kaitēkļu bojātajiem kokiem, savukārt mazāk skartajā vai veselajā audzes (NB) daļā – 15,8%. 2013. gadā ir spējuši atveseļoties tikai tie koki, kuriem kukaiņu uzskaites laukumos konstatētas 1 - 10 ieskrejas, visi pārējie ir nokaltuši. Stumbra kaitēkļu bojāto koku atveseļošanās samazinās līdz ar egļu bruņuts bojājuma pakāpes palielināšanos;
- 4) kukaiņu bojājumu un citu iemeslu dēļ nokaltušo koku krāja apsekotajos parauglaukumos atšķiras, bet, kopumā vērtējot, tā ir zemāka par audžu aritmētisko vidējo gan audzes bojātajā (B), gan mazāk skartajā vai veselajā (NB) daļā;
- 5) egļu bruņuts bojātajā (B) audzes daļā kukaiņu bojāto koku krāja ir 0,1 - 10,3 m³ (3,2 – 57,5% no parauglaukuma kopējās koku krājas) un NB daļā 0,0 – 2,1 m³ (0,0 – 24,6%); citu iemeslu dēļ nokaltušo koku krāja B daļā 0,0 – 5,0 m³ (0,0 – 53,2 %) un NB daļā 0,0 – 1,2 m³ (0 – 15,5 %);
- 6) audzēs ierīkoto parauglaukumu krājas vidējā vērtība B daļā 11,8±1,24 m³, NB daļā 12,4±1,23 m³, savukārt kukaiņu bojāto koku krājas - B daļā 2,0±0,62 m³ un NB – 0,5±0,17 m³, citu iemeslu dēļ nokaltušo koku krājas – B daļā 0,7±0,29 m³ un NB – 0,2±0,09 m³;
- 7) egļu bruņuts bojātās parastās egles audzēs 2012. gadā egļu astonzobu mizgrauža abu paaudžu bojātie koki 2013. gadā ir nokaltuši. Šai sugai bieži kā pavadītājsuga konstatēts egļu sešzobu mizgrauzis;
- 8) visās novērtētajās audzēs bojāto koku īpatsvars audzē pārsniedz 3 %. Bojāto koku īpatsvars 3-10 % robežās konstatēts 11 apsekotajās parastās egles audzēs, bet sešās audzēs bojāto koku īpatsvars pārsniedz 10 %.

Rekomendācijas egļu bruņuts bojājumu prevencijai un bojāto audžu apsaimniekošanai

1. Trīs gadu novērojumi egļu bruņuts bojātajās audzēs liecina, ka galvenais risku novēršanas paņēmieni ir profilakse, t.i., meža meliorācijas sistēmu uzturēšana darba kārtībā, mežaudžu mēslošana ar koksnes pelniem vai kāliju saturošiem minerālmēsliem pēc krājas kopšanas un, iespējams, arī meža atjaunošanas laikā.
2. Riskam visvairāk pakļautajos meža tipos (šaurlapju un platlapju kūdreņos un āreņos) jāorientējas uz egļu mežaudzēm ar īsu apriti, t.i., galveno cirti jāplāno pēc caurmēra, lai mazinātu risku, kas saistīts ar atkārtotu bruņuts savairošanos, un mazinātu zaudējumus, kas var rasties, izstrādājot audzi sanitārajā cirtē.
3. Egļu bruņuts savairošanās vispirms notiek novājinātās egļu audzēs, tāpēc nozīmīgs profilaktisks pasākums ir šādu potenciālo slimību perēkļu platības samazināšana, veicot sanitārās cirtes, ja nav iespējams atjaunot egļu vitalitāti ar mēslojumu vai meliorācijas sistēmu atjaunošanu.
4. Mizgrauži un citi sekundārie kaitēkļi vissmagākos bojājumus rada kokiem, kuru vainagi visvairāk cietuši no egļu bruņuts uzbrukuma, tāpēc jāpievērš pastiprināta uzmanība mizgraužu populācijas stāvoklim, it īpaši potenciālajās egļu bruņuts izplatīšanās vietās un, pastāvot mizgraužu savairošanās riskam, egļu bruņuts bojātās audzes, kā arī mazvērtīgās audzes, kas varētu ciest no egļu bruņuts, pirmām kārtām, jāzāģē sanitārajā cirtē vai jāveic profilaktiski meža veselības uzlabošanas pasākumi.
5. Pieredze, kas gūta 2010. gadā, norāda uz to, ka egļu bruņuts savairošanās gandrīz vienlaicīgi notiek plašā reģionā, pakāpeniski virzoties no dienvidiem uz ziemeļiem, tāpēc komunikācija ar kolēģiem no valstīm uz dienvidiem no Latvijas un savlaicīga problēmas identificēšana ļauj savlaicīgi sagatavoties egļu bruņuts apkarošanai.
6. Egļu bruņuts ir pamanāma no zemes tad, kad jau ir par vēlu un masveidīgie bojājumi jau sākušies, tāpēc meža veselības monitoringā, tajā skaitā 1. līmeņa meža monitoringa parauglaukumos, jāparedz profilaktiska egļu bruņuts populācijas novērošana. Vēl efektīvāka būtu “aerofoto transektu” ierīkošana un regulāra pārlidošana (vismaz vienreiz sezonā) potenciāli bīstamajās teritorijās. Egļu bruņuts bojātās audzes aerofotouzņēmumos var atlasīt gan manuāli, gan automātiski, izmantojot, piemēram, veģetācijas indeksa atšķirības veselajos un bojātajos egļu nogabalos.

Izmantotie informācijas avoti

1. Āboliņš O., Eniņš G. (1979). Gaujas senieleja. Rīga, Liesma. 135 lpp.
2. Adair J.R. (2005). The biology of *Dasineura dielsi* Rübsaamen (Diptera: Cecidomyiidae) in relation to the biological control of *Acacia cyclops* (Mimosaceae) in South Africa. Australian Journal of Entomology, 44: 446-456.
3. Adams W.T., Bastien J.-C. (1994). Genetics of second flushing in a French population of coastal Douglas-fir. Silvae Genetica, 43 (5/6): 345-352.
4. Aebi A., Schonrogge K., Melika G., Quacchia A., Alma A., Stone G.N. (2007). Native and introduced parasitoids attacking the invasive chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. OEPP/EPPO, Bulletin OEPP/EPPO, 37: 166-171.
5. Aldén T. (1971). Influence of CO₂, moisture and nutrients on the formation of Lammas growth and prolepsis in seedlings of *Pinus sylvestris* L. Studia Forestalia Suecica, 93: 1-21.
6. Alfieri F.J., Evert R.F. (1968). Seasonal development of the secondary phloem in *Pinus*. American Journal of Botany, 5: 518-528.
7. Ali F., Wharton D.A. (2013). Cold tolerance abilities of two entomopathogenic nematodes, *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis bacteriophora*. Cryobiology, 66 (1): 24-29.
8. Allard G.B., Fortuna S., Lee S.S., Novotny J., Baldini A., Courtinho T. (2003). Global information on outbreaks and impact of major forest insect pests and diseases. 7th World Forestry Congress paper. Canada.
9. Alleaume-Benharira M., Pen I.R., Ronce O. (2006). Geographical patterns of adaptation within a species' range: interactions between drift and gene flow. Journal of Evolutionary Biology, 19: 203-215.
10. Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. Forest Ecology and Management, 259: 660-684.
11. Aloni R., Zimmermann M.H. (1983). The control of vessel size and density along the plant axis. A new hypothesis. Differentiation, 24: 203-205.
12. Amann G. (1971). Kerfe das Wald. 6.izdevums. München, Neumann Verlag, 140-141.
13. Amorini E., Bruschini S., Cutini A., Lorenzo M.G., Fabbio G. (1998). Treatment of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) coppices. Structure, biomass and silvicultural options. Annali dell Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, 27:121-129.
14. Andreadis S.S., Spanoudis C.G., Athanassiou C.G., Savopoulou-Soultani M. (2013). Factors influencing supercooling capacity of the koinobiont endoparasitoid *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae). Pest Management Science. Abstract. 2 p.

15. Andresen E. (2004). Effects of season and vegetation type on community organization of dung beetles in a tropical dry forest. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Scientific review, 291-300.
16. Anonymous (2001). Monthly mean maximum & minimum temperature and total rainfall based upon 1901-2000 data. Public review. 61 p.
17. Anonymous (2005). *Dendrolimus sibiricus* and *Dendrolimus superans*. Data sheets on quarantine pests. OEPP/EPPO Bulletin 35: 390-395.
18. Anonymous (2008a). Climate change impacts on pest animals and weeds. Fact sheets. 6 p.
19. Anonymous (2008b). Communicating climate change. An initiative of the National Agriculture and Climate Change Action plan. Review paper. 6 p.
20. Anonymous (2008c). Exotic pest threats. Sirex woodwasp *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae). UMD Entomology Bulletin. 6 p.
21. Anonymous (2011). New pest response guidelines. Exotic wood-boring and bark beetles. USDA public review paper. 256 p.
22. Anonymous (2012). Bark beetles and their management. Review paper. 25 p.
23. Apple J.L., Joern A. Effects of temperature and rainfall manipulation on insect and pathogen damage to *Solidago canadensis*. Poster. 1 p.
24. Ashworth A.C. (2001). Perspectives on beetles and climate change. American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology, Tulsa, Oklahoma. Proceeding bulletin, 47. 18 p.
25. Augustaitis A. (2006). Pine sawfly (*Diprion pini* L.) – related changes in Scots pine crown defoliation and possibilities of recovery. Polish Journal of Environmental Study, 16 (3): 363-369.
26. Austara Ø. (1971). Cold-hardiness in eggs of *Neodiprion sertifer* (Geoffr.) (Hymenoptera: Diprionidae) under natural conditions. Norsk Entomologisk Tidsskrift, 18: 45-48.
27. Austerlitz F., Dick C.W., Dutech C., Klein E.K., Oddou-Muratorio S., Smouse P.E., Sork V.L. (2004). Using genetic markers to estimate the pollen dispersal curve. Molecular Ecology, 13: 937–954.
28. Avotniece Z., Rodinov V., Lizuma L., Briede A., Kļaviņš M. (2010). Trends in frequency of extreme climate events in Latvia. Baltica, 23: 135–148.
29. Babst F., Poulter B., Trouket V., Tan K., Neuwirth B., Wilson R., Carrer M., Grabner M., Tegel W., Levanic T., Panayotov M., Urbinati C., Bouriaud O., Ciais P., Frank D. (2012). Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. Global Ecology and Biogeography, 22: 706–717.
30. Bailey I.W. (1919). Phenomena of cell division in the cambium of arborescent gymnosperms and their cytological significance. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 5(7): 283-285.
31. Bakke A. (1968). Ecological studies on bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) associated with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Norway with particular reference to the influence of temperature. Medd. Nor. Skogsforsøksves, 21: 443-602.

32. Bale J.S., Hayward A.L.S. (2010). Insect overwintering in a changing climate. *The Journal of Experimental Biology*: 980-994.
33. Bambi B. (2009). Veģetācijas dinamika vēri pēc 2005. gada janvāra vējgāzes Krustkalnu dabas rezervātā. *Mežzinātne*, 19: 5–27.
34. Bambi B. (2010). Nogāžu un gravu meži. Auniņš A. (red.) Eiropas Savienības aizsargājami biotopi Latvijā. Noteikšanas rokasgrāmata. Latvijas Dabas fonds, Rīga, 260-263.
35. Bannan M.W. (1962). The vascular cambium and tree-ring development. In: Kozlowski T.T. (ed.) *Tree Growth*. New York, Ronald, 3–21.
36. Barbaroux C., Breda N. (2002). Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. *Tree Physiology*, 22: 1201–1210.
37. Barber J.C. (1964). Inherent variation among slash pine progenies at the Ida Cason Callaway foundation. U.S. For. Serv. Res. Pap. Southeast For. Exp. Sta. 10. 90 p.
38. Barševskis A. (2008). *Oedemera subrobusta* (Nakane, 1954) (Coleoptera: Oedermeridae) – new species for Baltic fauna. *Acta Biol. Univ. Daugavp.*, 8 (2): 283-286.
39. Bartholy J., Pongracz R., Pattanty M. (2006). European cyclone track analysis based on ECMF ERA - 40 data sets. *International Journal of Climatology*, 26: 1517–1527.
40. Battisti A. (2006). Insect populations in relation to environmental change in forests of temperate Europe. *Invasive Forest Insects, Introduced Forest Trees, and Altered Ecosystems*, 127-140.
41. Benkman C.W., Holimon W.C., Smith J.W. (2001). The influence of a competitor on the geographic mosaic of coevolution between crossbills and lodgepole pine. *Evolution*, 55(2): 282-294.
42. Berryman A.A. (1996). What causes population cycles of forest Lepidoptera? *Trends in Ecology and Evolution* 11 (1): 28-32.
43. Beters U. (2012). Nākotnes klimata projekcijas Latvijai. Klimata parametri un indikatori. Latvijas klimatam līdzīgi reģioni pasaulē un Eiropā. Prezentācijas materiāls. 29 lpp.
44. Bezrukova N.A., Jeck R.K., Khalili M.F., Minina L.S., Naumov A.Y., Stulov E. A. (2006). Some statistics of freezing precipitation and rime for the territory of the former USSR from ground-based weather observations. *Atmospheric Research*, 82: 203–221.
45. Bičevskis M. (2006). Egļu astoņzobu mizgrauža savairošanās ierobežošanas sekmju novērtējums AS LVM valdījumā esošajos mežos pēc 2005.gada janvāra vētras. Projekta starpatskaite. LVMI Silava. 28 lpp.
46. Bičevskis M., Ozols G. (1983). Egļu astoņzobu mizgrauža bioloģija un sintētiskā feromona lietošana. *Jaunākais mežsaimniecībā*, 25: 48-56.
47. Biondi F., Waikul K. (2004). DENDROCLIM2002: AC++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers and Geosciences*, 30: 303–311.
48. Björkman L., Bradshaw R. (1996). The immigration of *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* (L.) Karst. into a natural forest stand in southern Sweden during the last 2000 years. *Journal of Biogeography*, 23: 235–244.

49. Blackmon M.L., Wallace J.M., Ngar-Cheung L., Steven L., Mullen S.L. (1977). An observational study of the northern hemisphere wintertime circulation. *Journal of Atmospheric Sciences*, 34: 1040–1053.
50. Blunck H. (1950). Zur Kenntnis des Massenwechsels von *Pieris brassicae* L. mit besonderer Berücksichtigung des Dürrejahres 1947. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 32 (2): 141–171.
51. Bolte A., Czajkowski T., Kompa T. (2007). The north-eastern distribution range of European beech—a review. *Forestry*, 80: 413–429.
52. Bonasio R., Tu S., Reinberg D. (2010). Molecular signals of epigenetic states. *Science*, 330 (6004): 612–616.
53. Bossdorf O., Richards C.L., Piñolucci M. (2008). Epigenetics for ecologists. *Ecology Letters*, 11: 106–115.
54. Bouget C., Duelli P. (2004). The effects of windthrow on forest insect communities: A literature review. *Biological Conservation* 118: 281–299.
55. Bouriaud O., Leban J.M., Bert D., Deleuze C. (2005). Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree physiology*, 25(6): 651–660.
56. Boyko A., Kovalchuk I. (2008). Epigenetic control of plant stress response. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 49: 61–72.
57. Bradshaw A.D. (2006). Unraveling phenotypic plasticity - why should we bother? *New Phytologist*, 170: 644–648
58. Bradshaw R.H.W., Lindbladh M. (2005). Regional spread and stand-scale establishment of *Fagus sylvatica* and *Picea abies* in Scandinavia. *Ecology*, 86: 1679–1686.
59. Bragg D., Shelton M. (2010). Recovery of planted loblolly pine 5 years after severe ice storms in Arkansas. *Southern Journal of Applied Forestry*, 34(1): 13–20.
60. Bragg D.C., Shelton M.G., Zeide B. (2003). Impacts and management implications of ice storms on forests in the southern United States. *Forest Ecology and Management*, 186: 99–23.
61. Braham R.R., Jr., Kelly R.D. (1982). Lake-effect snowstorms on Lake Michigan, USA. In: Agee E.M., Asai T. (eds.) *Cloud Dynamics*. D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 87–101.
62. Branson D.H. (2008). Influence of a large late summer precipitation event on food limitation and grasshopper population dynamics in a Northern great plains grassland. *Environmental Entomology* 37 (3): 686–695.
63. 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.
64. Bréda N., Cochard H., Dreyer E., Granier A. (1993). Field comparison of transpiration, stomatal conductance and vulnerability to cavitation of *Quercus petraea* and *Quercus robur* under water stress. *Annals of Forest Science*, 50: 571–582.

65. Bricis T. (2009). Rīgas līča ietekme uz nokrišņu ģeogrāfisko sadalījumu Latvijā. Bakalaura darbs, Latvijas Universitāte. 34 lpp.
66. Brockerhoff E.G., Liebhold A.M., Jactel H. (2006). The ecology of forest insect invasions and advances in their management. *Canadian Journal of Forestry Research*, 36: 263-268.
67. Brūmelis G., Dauškane I., Ikauniece S., Javoiša B., Kalviškis K., Madžule L., Matisons R., Strazdina L., Tabors G., Vimba E. (2011). Dynamics of natural hemiboreal woodland in the Moricsala Reserve, Latvia: the studies of K. R. Kupffer revisited. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26: 54–64.
68. Buck H.J. (2008). Effects of natural disturbances caused by the Siberian moth, *Dendrolimus superans sibiricus* (Tschetverikov), and fire on the dynamics of boreal forests in Krasnoyarsk Krai, Russia. University of Michigan. Doctoral dissertation. 88 p.
69. Bukejs A., Barševskis A., Rudāns E. (2006). *Oxythyrea funesta* (Poda, 1761) (Coleoptera: Scarabaeidae: Cetoniinae) in the fauna of Latvia. *Acta Biol. Univ. Daugavp.*, 6 (1-2): 51-56.
70. Burton L.D. (2011). Introduction to forestry science, 3rd ed. Delmar, Clifton Park. 544 p.
71. Campbell R.K. (1965). Phenotypic variation and repeatability of stem sinuosity in Douglas-fir. *Northwest Science*, 39: 47-59.
72. Cannell M.G., Morgan J. (1989). Branch breakage under snow and ice loads. *Tree Physiology*, 5(3): 307–317.
73. Cannell M.G.R. (1989). Physiological basis of wood production: A review. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 4: 459-490.
74. Carillo M.A., Heimpel G.E., Cannon C.A., Hutchinson W.D. (2005). Cold hardiness of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of pyralid moths. *Journal of Insect Physiology*, 51 (7): 759-768.
75. Carlquist S. (2001). Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Berlin, Springer. 457 p.
76. Carmer S.M., Stahl D.C., Fohrell W.B., McDonald K.A. (1988). Exploring the relationship between local grain angle and initial fracture in lumber subject to tensile load. *Proceedings of International conference on timber engineering (Vol.2.)*. Seattle, WA. 566-575.
77. Carrer M., Urbinati C. (2004). Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology*, 85(3): 730-740.
78. Carrière J.M., Lainard C., Le Bot C., Robart F. (2000). A climatological study of surface freezing precipitation in Europe. *Meteorological Applications*, 7: 229–238.
79. Carter K.K. (1996). Provenance tests as indicators of growth response to climate change in 10 north temperate tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 26: 1089–1095.
80. Carter T.R., Jylhä K., Perrels A., Fronzek S., Kankaanpää S. (2005). FINADAPT scenarios for the 21st century. Alternative futures for considering adaptation to climate change in Finland. FINADAPT Working Paper 2. Finnish Environment Institute Mimeographs, 332. 42 p.
81. Carvell K.L. (1956). Summer shoots cause permanent damage to red pine. *Journ. Forestry* 54: 271.

82. Carvell K.L., Tyron E.H., True K.P. (1957). Effects of glaze on the development of Appalachian hardwoods. *Journal of Forestry*, 55: 130-132.
83. Cheaib A., Badeau V., Boe J., Chuine I., Delire C., Delire E., François C., Gritti E.S., Legay M., Pagé C., Thuiller W., Viovy N., Leadley P. (2012). Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters*, 15: 533–544.
84. Chevin L.-M., Lande R., Mace G.M. (2010). Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: towards a predictive theory. *PLoS Biology*, 8: e1000357.
85. Christiansen E., Bakke A. (1988). The spruce bark beetle of Eurasia. Dynamics of forest insect populations (ed. by A. A. Berrymann). Plenum, New York, 479-503.
86. Christiansen E., Bakke A. (1997). Does drought really enhance *Ips typographus* epidemics? A Scandinavian perspective. Proceedings: Integrating cultural tactics into the management of bark beetle and reforestation pests. USDA Forest Service General Technical Report NE-236: 163-171.
87. Clark J.S. (1998). Why trees migrate so fast: confronting theory with dispersal biology and the paleorecord. *The American Naturalist*, 152: 204–224.
88. Coleman T.W., Seybold S.J. (2011). Collection history and comparison of the interactions of the Goldspotted oak borer, *Agrilus auroguttatus* Schaeffer (Coleoptera: Buprestidae), with host oaks in Southern California and Southeastern Arizona, U.S.A. *The Coleopterists Bulletin*, 65 (2): 93-108.
89. Colwell R.K., Rangel T.F. (2009). Hutchinson's duality: the once and future niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 106: 19651–19658.
90. Compton S.G. (2000). The flight heights of Chalcid wasps (Hymenoptera, Chalcidoidea) in a lowland Bornean rain forest: Fig wasps are the high fliers. *Biotropica*, 32 (3): 515-522.
91. Corlett R.T., Westcott D.A. (2013). Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology and Evolution*, 28: 482–488.
92. Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D.E., Reich P.B., ter Steege H., Morgan H.D., van der Heijden M.G.A., Pausas J.G., Poorter H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51: 335–380.
93. Cortinas J. (2000). A climatology of freezing rain in the Great Lakes region of North America. *Monthly Weather Review*, 128: 3574–3588.
94. Cox C.B., Moore P.D. (2010). *Biogeography: an ecological and evolutionary approach*. John Wiley & Sons, Hoboken. 506 p.
95. Croxton W.C. (1939). A study of the tolerance of trees to breakage by ice accumulation. *Ecology*, 20(1): 71–73.
96. Cumbie W.P., Isik F., McKeand S.E. (2012). Genetic improvement of sawtimber potential in loblolly pine. *Forest Science*, 58(2): 168-177.
97. Curtis P.S., Wang X. (1998). A meta-analysis of elevated CO₂ effects on woody plant mass, form, and physiology. *Oecologia*, 113: 299–313.

98. Dale V.H. (1989). Wind dispersed seeds and plant recovery on the Mount St. Helens debris avalanche. *Canadian Journal of Botany*, 67: 1434–1441.
99. Dalle B., Admirat P. (2011). Wet snow accretion on overhead lines with French report of experience. *Cold Regions Science and Technology*, 65: 43–51.
100. Danusevičius D., Persson B. (1998). Phenology of natural Swedish populations of *Picea abies* as compared with introduced seed sources. *Forest Genetics*, 5: 211–220.
101. Davis J.D., Evert R.F. (1968). Seasonal development of the secondary phloem in *Populus tremuloides*. *Botanical Gazette*, 129: 1–8.
102. Davis M.B., Shaw R.G. (2001). Range shifts and adaptive responses to quaternary climate change. *Science*, 292: 673–679.
103. den Ouden J., Jansen P.A., Smit R. (2005). Jays, mice and oaks: predation and dispersal of *Quercus robur* and *Q. petraea* in North-western Europe. In: Forget P.M., Lambert J.E., Hulme P.E., Vander Wall S.B. (eds.) *Seed fate: predation, dispersal and seedling establishment*. CABI, Oxfordshire, 223–239.
104. Denlinger D.L., Lee Jr. R.E., Yocum G.D., Kukal O. (2005). Role of chilling in the acquisition of cold tolerance and the capacitation to express stress proteins in diapausing pharate larvae of the gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 21 (4): 271–280.
105. Derr W.F., Evert R.F. (1967). The cambium and seasonal development of the phloem in *Robinia pseudoacacia*. *American Journal of Botany*, 54: 147–153.
106. Deslauriers A., Rossi S., Anfodillo T. (2007). Dendrometer and intra-annual tree growth: what kind of information can be inferred? *Dendrochronologia*, 25(2): 113–124.
107. Despain D.G. (2001). Dispersal ecology of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) in its native environment as related to Swedish forestry. *Forest Ecology and Management*, 141: 59–68.
108. Dieters M.J.J. (1996). Genetics parameters for Slash pine (*Pinus elliottii*) grown in south-east Queensland, Australia: Growth, stem straightness and crown defects. *Forest Genetics*, 3(1): 27–36.
109. Digby J., Wareing P.F. (1966). The effect of applied growth hormones on cambial division and the differentiation of the cambial derivatives. *Annals of Botany*, 30(3): 539–548.
110. Dittmar C., Zech W., Elling W. (2003). Growth variations of common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe—a dendroecological study. *Forest Ecology and Management*, 173: 63–78.
111. Dobbertin M. (2005). Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research*, 124(4): 319–333.
112. Dolacis J. (1998). *Mežtehnikas, mežsaimniecības un kokrūpniecības terminu vārdnīca*. Rīga, Antēra. 672 lpp.
113. Dowden B.P.B. (1939). *Schizonotus sieboldi*, an important parasite of the imported willow leaf beetle (*Plagioderia versicolora*). *Journal of Agricultural Research*, 58 (8): 581–592.

114. Drage M.A. (2005). Atmospheric icing and meteorological variables: Full scale experiment and testing of models. Doctoral thesis, The University of Bergen. 134 p.
115. Draveniece A. (2007). Okeāniskās un kontinentālās gaisa masas Latvijā. *Latvijas Veģetācija*, 14: 135.
116. Dreimanis A. (2005). Mežsaimniecības vēsturiskā mantojuma zinātniska izpēte un izvērtējums Šķēdes mežu novadā – atskaite. Jelgava. 87 lpp.
117. Dreimanis A., Šulcs V. (2006). Sarkanā ozola *Quercus rubra* L. mežaudzes Šķēdes mežu novadā. *LLU raksti*, 17: 78–87.
118. Drobyshev I., Niklasson M., Eggertsson O., Linderson H., Sonesson K. (2008). Influence of annual weather on growth of pedunculate oak in Southern Sweden. *Annals of Forest Science*, 65: 512 (1–14).
119. Dunphy G.B., Chadwick J.M. (1984). Physical factors influencing the growth of protoplasts of *Entomophaga grylli*. *Canadian Journal of Microbiology*, 30 (11): 1315–1318.
120. Dwyer G., Dushoff J., Yee S.H. (2004). The combined effects of pathogens and predators on insect outbreaks. *Nature*, 430: 341–345.
121. Dzenis J. (2013). Klimatisko faktoru rekonstrukcijas modeļa izveide pēc parastās priedes *Pinus sylvestris* L. un parastās egles *Picea abies* (L.) Karst. gadskārtu platumu mainības. Maģistra darbs, Latvijas Universitāte. 52 lpp.
122. Edwards T., Kull C., Alverson K. (2002). Past global changes. *PAGES International Project. News – review paper*, 10 (2): 1–24.
123. Ehrenberg C. (1970). Breeding for stem quality. *Unasylva*, 24: 23–31.
124. Ehrenberg C.E. (1958). Über Entwicklungsanomalien in Kreuzungs-nachkommenschaften bei *Pinus sylvestris* L. [On anomalous development of progeny from crossing in Scots pine.] *Meddel. Statens Skogsforskn. Inst.* 48 (2): 1–14.
125. Ehrenberg C.E. (1963). Genetic variation in progeny tests of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Studia Forestalia Suecica*, 10: 1–135.
126. Ellenberg H.H. (1988). *Vegetation ecology of Central Europe*. Cambridge University press, London. 731 p.
127. Ennos R.A. (1994). Estimating the relative rates of pollen and seed migration among plant populations. *Heredity*, 72: 250–259.
128. Espinoza J.A. (2009). Genetic and nutritional effects on stem sinuosity in loblolly pine. Dissertation. Raleigh, North Carolina. 102 p.
129. Estay S.A., Lima M., Labra F.A. (2008). Predicting insect pest status under climate change scenarios: combining experimental data and population dynamics modelling. *Journal of Applied Entomology*: 1–9.
130. EUFORGEN (2009a). Distribution maps, *Fagus sylvestris* (L.). [skatīts 2013.gada 28.novembrī]. Pieejams: http://www.euforgen.org/fileadmin/www.euforgen.org/Documents/Maps/JPG/Fagus_sylvatica.jpg.
131. EUFORGEN (2009b). Distribution maps, *Quercus petraea* (L.). [skatīts 2013.gada 28.novembrī]. Pieejams:

http://www.euforgen.org/fileadmin/www.euforgen.org/Documents/Maps/JPG/Quercus_petraea.jpg.

132. Evert R.F. (1963). The cambium and seasonal development of the phloem in *Pyrus malus*. American Journal of Botany, 50: 149-159.
133. Evert R.F., Bharati P.D. (1970). An ultrastructural study of cell division in the cambium. American Journal of Botany, 57: 942-961.
134. Field T.S., Brodribb T. (2001). Stem water transport and freeze-thaw xylem embolism in conifers and angiosperms in a Tasmanian treeline heath. Oecologia, 127: 314-320.
135. Fikke S., Ronsten G., Heimo A., Kunz S., Ostrozlik M., Persson P.E., Sabata J., Wareing B., Wichura B., Chum J., Laakso T., Sääntti K., Makkonen L. (2005). Minimum design loads for buildings and other structures. Ice Loads – Atmospheric Icing. American Society of Civil Engineers, C10. 99-108.
136. Filatov N., Salo Y., Nazarova L. (2005). Effect of climate variability on natural water bodies in Northwest Russia. Proceedings of the 15th Northern Research Basins International Symposium and Workshop, Lulea to Kvikkjokk, Sweden, August 29 – September 2, 2005, 31-40.
137. Finnegan E.J. (2002). Epialleles – a source of random variation in times of stress. Current Opinion in Plant Biology, 5: 101–106.
138. Fitzgerald D.L. (2007). Estimation of point rainfall frequencies. Public review. 53 p.
139. Flanders S.E., Bay E.C. (1964). Standardization of mass rearing procedures for entomophaga. Bulletin of World Health Organization, 31: 505-507.
140. Fleming R.A., Volney W.J.A. (1995). Effects of climate change on insect defoliator population processes in Canada's boreal forest: Some plausible scenarios. Water, Air and Soil Pollution, 82 (1-2): 445-454.
141. Foder M.H. (2001). ISO 12494 "Atmospheric Icing of Structures" and how to use it. Proceedings of the 11th International Offshore and Polar Engineering Conference, June 17-22, 2001, Stavanger, Norway, June 17-22, 2001.
142. Ford T.H., Shaw M.R. (1991). Host records of some West Palearctic Tachinidae (Diptera). Entomologist's Record, 103: 23-38.
143. Frankenstein C., Eckstein D., Schmitt U. (2005). The onset of cambium activity—A matter of agreement? Dendrochronologia, 23(1): 57-62.
144. Franklin E.C., Callahan R.Z. (1970). Multinodality, branching, and forking in Lodgepole Pine (*Pinus contorta* var. *murrayana* Engelm.). Silvae Genetica, 19 (5/6): 180-184.
145. Franks S.J., Weis A.E. (2008). A change in climate causes rapid evolution of multiple life-history traits and their interactions in an annual plant. Journal of Evolutionary Biology, 21: 1321–1334.
146. Fraser D.A. (1952). Initiation of cambial activity in some forest trees in Ontario. Ecology, 33(2): 259-273.
147. Frouz J., Matena J., Ali A. (2003). Survival strategies of chironomids (Diptera: Chironomidae) living in temporary habitats: a review. European Journal of Entomology, 100: 459-465.

148. Gabrilavičius R., Danusevičius D. (2003). Eglės genetiniai tyrimai ir selekcija Lietuvoje (Genetics and breeding of Norway spruce in Lithuania). Vilnius: UAB „Petro ofetas”. 364 p.
149. Galardo A.K.R., Zimmerman R.H., Lounibos L.P., Young L.J., Galardo C.D., Arruda M., D’Almeida Couto A.A.R.D. (2009). Seasonal abundance of anopheline mosquitoes and their association with rainfall and malaria along the Matapí River, Amapá, Brazil. *Medical and Veterinary Entomology*, 23: 335-349.
150. Gavilan R.G. (2005). The use of climatic parameters and indices in vegetation distribution. A case study in the Spanish System Central. *International Journal of Biometeorology*, 50: 111-120.
151. Gemmel P. (1988). Beeting in *Picea abies* (L.) Karst. Growth and damage in a field experiment. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 3: 201–212.
152. Ghalambor C.K., McKay J.K., Carroll S.P., Reznick D.N. (2007). Adaptive versus non-adaptive phenotypic plasticity and the potential for contemporary adaptation in new environments. *Functional Ecology*, 21: 394–407.
153. Gibbs M., Schonrogge K., Alma A., Melika G., Quacchia A., Stone G.N., Aebi A. (2011). *Torymus sinensis*: a viable management option for the biological control of *Dryocosmus kuriphilus* in Europe? *Biological Control*, 56: 527-538.
154. Giesecke T., Hickler T., Kunkel T., Martin T., Richard H.W. (2007). Towards an understanding of the Holocene distribution of *Fagus sylvatica* L. *Journal of Biogeography*, 34: 118–131.
155. Giuggiola A., Kuster T.M., Saha S. (2010). Drought-induced mortality of Scots pines at the southern limits of its distribution in Europe: causes and consequences. *Journal of Biogeosciences and Forestry*, 3: 95-97.
156. Gomez J.D., Etchevers J.D., Monterroso J.D., Gay C., Campo J., Martinez M. (2008). Spatial estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. *Atmosfera*, 21 (1): 35-56.
157. González-Martínez S.C., Wheeler N.C., Ersoz E., Nelson C.D., Neale D.B. (2007). Association genetics in *Pinus taeda* L. I. Wood property traits. *Genetics*, 175: 399–409.
158. Goodnow R., Sullivan J., Amacher G.S. (2008). Ice damage and forest stand management. *Journal of Forest Economics*, 14(4): 268–288.
159. Gorczynski L. (1922). The calculation of the degree of continentality. *Monthly Weather Review*, 50 (7): 370.
160. Götmark F., Berglund A., Wiklander K. (2005a). Browsing damage on broadleaved trees in semi-natural temperate forests in Sweden, with a focus on oak regeneration. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20: 223 –234.
161. Götmark F., Fridman J., Kempe G., Norden B. (2005b). Broadleaved tree species in conifer dominated forestry: Regeneration and limitation of saplings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 214: 142-157.
162. Gourcilleau D., Bogeat-Triboulot M.B., Thiec D.L., Lafon-Placette C., Delaunay A., El-Soud W.A., Brignolas F., Maury S. (2010). DNA methylation and histone acetylation:

- genotypic variations in hybrid poplars, impact of water deficit and relationships with productivity. *Annals of Forest Science*, 67: 208.
163. Green G.W. (1962). Low winter temperatures and the European Pine shoot Moth, *Rhyacionia buoliana* (Schiff.) in Ontario. *The Canadian Entomologist*, 94 (3): 314-336.
 164. Greene D.F., Jones K.F., Proulx O.J. (2007). The effect of icing events on the death and regeneration of North American trees. In: Johnson E.A., Miyanishi K. (eds.) *Plant disturbance ecology: The process and the response*. Academic Press. 181-213.
 165. Gregow H. (2013). Impacts of strong winds, heavy snow loads and soil frost conditions on the risks to forests in northern Europe. Academic dissertation, University of Eastern Finland. 44 p.
 166. Gregow H., Peltola H., Laapas M., Saku S., Venäläinen A. (2011). Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. *Silva Fennica*, 45(1): 35–54.
 167. Gretchen V.P. (2005). Management of insect pests of Crape myrtle (*Lagerstroemia* spp.) with special reference to the ecology and biology of *Altica litigata* Fall (coleoptera: chrysomelidae). Doctoral dissertation. University of Georgia. 118 p.
 168. Gričar J., Čufar K. (2008). Seasonal dynamics of phloem and xylem formation in silver fir and Norway spruce as affected by drought. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(4): 538-543.
 169. Gričar J., Zupančič M., Čufar K., Oven P. (2007). Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally heated and cooled stem portions of Norway spruce. *Wood Science and Technology*, 41(6): 463-475.
 170. Grillenberger B.K., van de Zande L., Bijlsma R., Gadau J., Buekeboom L.W. (2009). Reproductive strategies under multiparasitism in natural populations of the parasitoid wasp *Nasonia* (Hymenoptera). *Journal of Evolutionary Biology*, 22: 460-470.
 171. Grinnan R., Carter T.E., Johnson M.T.J. (2013). Effects of drought, temperature, herbivory, and genotype on plant–insect interactions in soybean (*Glycine max*). *Arthropod-Plant Interactions*, 7 (2): 201-215.
 172. Groisman P.Y., Sherstyukov B.G., Razuvaev V.N., Knight R.W., Enloe J.G., Stroumentova N.S., Whitfield P.H., Forland E., Hannsen-Bauer I., Tuomervirta H., Aleksandersson H., Mescherskaya A.V., Karl T.R. (2005). Potential forest fire danger over northern Eurasia: Changes during the 20th century. Presented at the Sixth AMS Fire and Forest Meteorology Symposium /19th Interior West Fire Council Meeting, 25-27 October 2005, Cammore, Alberta, Canada.
 173. Hacke U., Sauter J.J. (1996). Drought-induced xylem dysfunction in petioles, branches, and roots of *Populus balsamifera* L. and *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. *Plant Physiology*, 111(2): 413-417.
 174. Haeussler S., Coates D. (1986). Autecological characteristics of selected species that compete with conifers in British Columbia: A Literature Review. Land Management Report 33. Ministry of Forests. 180 p.

175. Hajek A., Glare T., O'Callaghan M. (2008). Use of Microbes for Control and Eradication of Invasive Arthropods. New York, NY:Springer: 19-32.
176. Hampe A., Petit R.J. (2005). Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology Letters*, 8: 461–467.
177. Han R., Gan Y., Kong X., Ge F. (2008). Physiological and endocrine differences between diapausing and nondiapausing larvae of the Pine Caterpillar *Dendrolimus tabulaeformis* (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Zoological Studies*, 47 (1): 96-102.
178. Hance T., Baaren J., Vernon P., Oivin G. (2007). Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology*, 52: 107-126.
179. Hanewinkel M., Cullmann D.A., Schelhaas M.J., Nabuurs G.J. (2012). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3: 203–207.
180. Hannerz M., Westin J. (2005). Autumn frost hardiness in Norway spruce plus tree progeny and trees of the local and transferred provenances in central Sweden. *Tree Physiology*, 25: 1181-1186.
181. Hanski I. (1977). Biogeography and ecology of carrion flies in the Canary Islands. *Annual Entomology of Fennica*, 43 (4): 101-107.
182. Harding K.J., Copley T.R., Peters R.F., Dieters M.J., Nester M.R., Keys M.G., Toon P.G. (2007). Selecting hybrid pine clone/s for deployment – the pointy end of breeding for wood quality. Paper presented to Australasian Forest Genetics Conference Breeding for Wood Quality, 11-14 April 2007, Hobart, Tasmania, Australia. Australasian Forestry Research Working Group 1. 13 p.
183. Haris A. (2009). Sawflies of the Zselic Hills, SW Hungary (Hymenoptera: Symphyta). *Natura Somogyiensis*, 15: 127-158.
184. Harman D.M. (1972). Parasites of the nantucket pine tip moth, *Rhyacionia frustrana* on three pine species in Maryland. *Chesapeake Science*, 13 (3): 223-226.
185. Hauer R.J., Werner L.P., Dawson J.O. (2008). Why trees fail during ice storms: Developing greater ice storm resistant tree populations. Proceedings of the International Society of Arboriculture 84th Annual Conference. Oral Presentation. Saint Louis, MO, July 26-30, 2008. 9 p.
186. Hedrick P.W. (2006). Genetic polymorphism in heterogeneous environments: the age of genomics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37:67–93.
187. Heliovaara K., Vaisanen R. (1987). Geographic variation in the life-history of *Aradus cinnamomeus* and a breakdown mechanism of the reproductive isolation of allochronic bugs (Heteroptera, Aradidae). *Annual Zoology*, 24: 1-17.
188. Hertzberg M., Aspeborg H., Schrader J., Andersson A., Erlandsson R., Blomqvist K., Sandberg G. (2001). A transcriptional roadmap to wood formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(25): 14732-14737.
189. Hewitt G.M. (1999). Post-glacial recolonization of European biota. *Biological Journal of the Linnean Society*, 68: 87–112.
190. Hickler T., Vohland K., Feehan J., Miller P.A., Smith B., Costa L., Giesecke T., Fronzek S., Carter T.R., Cramer W., Kuhn I., Sykes M.T. (2012). Projecting the future distribution

- of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. *Global Ecology and Biogeography*, 21: 60–63.
191. Higgins S.I., Nathan R., Cain M.L. (2003). Are long-distance dispersal events in plants usually caused by nonstandard means of dispersal? *Ecology*, 84: 1945–1956.
 192. Hill J.K., Thomas C.D., Huntley B. (1999). Climate and habitat availability determine 20th century changes in a butterfly's range margin. *Proceeding of Royal Society, London, B*. Vol. 266: 1197–1206.
 193. Hjelmfelt M.R. (1990). Numerical study of the influence of environmental conditions on lake-effect snowstorms over Lake Michigan. *Monthly Weather Review*, 118: 138–150.
 194. Hlásny T., Křístek Š., Holuša J., Trombik J., Urbaňcová N. (2011). Snow disturbances in secondary Norway spruce forests in Central Europe: Regression modeling and its implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, 262(12): 2151–2161.
 195. Hoch G., Toffolo E.P., Netherer S., Battisti A., Schopf A. (2009). Survival at low temperature of larvae of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* from an area of range expansion. *Agricultural and Forest Entomology*, 11 (3): 313–320.
 196. Hoffmann K. (1965). Bedeutung des Austriebes für den Fichtenbau im Pleistozän der DDR. *Soz. Forstwirtschaft.*, 7: 204–207.
 197. Hooper M. (1999). Impacts of a catastrophic ice storm on an old-growth, hardwood forest. Master Sc. Thesis, Department of Biology, McGill University, Montreal. 98 p.
 198. Hooper M.C., Arian K., Lechowicz M.J. (2001). Impact of a major ice storm on an old-growth hardwood forest. *Canadian Journal of Botany*, 79(1): 70–75.
 199. Horn H.S., Nathan R., Kaplan S.R. (2001). Long-distance dispersal of tree seeds by wind. *Ecological Research*, 16: 877–885.
 200. Hoskins B.J., Bretherton F.P. (1972). Atmospheric frontogenesis models: Mathematical formulation and solution. *Journal of Atmospheric Sciences*, 29: 11–37.
 201. Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. eds. (2001). *IPCC Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 881 p.
 202. Howe G.T., Aitken S.N., Neale D.B., Jermstad K.D., Wheeler N.C., Chen T.H.H. (2003). From genotype to phenotype: unraveling the complexities of cold adaptation in forest trees. *Canadian Journal of Botany*, 81: 1247–1266.
 203. Howe H.F., Smallwood J. (1982). Ecology of seed dispersal. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 13: 201–228.
 204. Hudson W., Robbins G., Dorsey T., Mayer M., Bronhard L. (2012). *Peristenus relictus* (*stygius*) (Hymenoptera: Braconidae) a possible biological control agent for tarnished plant bug, *Lygus lineolaris*, (Hemiptera: Miridae) in New Jersey. Phillip Alampi Beneficial Insect Laboratory. Annual report. 11 p.
 205. Hulme M.A., Dawson A.F., Harris J.W.E. (1986). Exploiting cold-hardiness to separate *Pissodes strobi* (Peck) (Coleoptera: Curculionidae) from associated insects in leaders of *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. *The Canadian Entomologist*, 118: 1115–1122.

- 206.Humble L.M. (2006). Overwintering adaptations in Arctic sawflies (Hymenoptera: Tenthredinidae) and their parasitoids: cold tolerance. *Canadian Entomology*, 138: 59-71.
- 207.Hung L.T., Keawsompong S., Hanh V.T., Sivichai S., Hywel – Jones N.L. (2009). Effect of temperature on cordycepin production in *Cordyceps militaris*. *Thai Journal of Agricultural Science*, 42(4): 219-225.
- 208.Huntley B., Bartlein P.J., Prentice I.J. (1989). Climatic control of distribution and abundance of beech (*Fagus* L.) in Europe and North America. *Journal of Biogeography*, 16: 551–560.
- 209.Huntley B., Prentice I.C. (1993). Holocene vegetation and climates of Europe. In: Wright H.E. (ed.) *Global climates since the last glacial maximum*. University of Minnesota Press, 136–168.
- 210.Huntley G., Barnard P., Altwegg R., Chambers L., Coetzee B.W.T., Gibson L., Hockey P.A.R., Hole D.G., Midgley G.F., Underhill L.G., Willis S.G. (2010). Beyond bioclimatic envelopes: dynamic species' range and abundance modelling in the context of climatic change. *Ecography*, 33: 621–626.
- 211.Huxman T.E., Hamerlynck E.P., Jordan D.N., Salsman K.J., Smith S.D. (1998). The effects of parental CO₂ environment on seed quality and subsequent seedling performance in *Bromus rubens*. *Oecologia*, 114: 202–208.
- 212.Ikauniece S., Brūmelis G., Kasparinskis R., Nikodemus O., Amatniece V. (2012). Augsnes faktoru nozīme kokaudzēs sastāva veidošanā ozolu (*Quercus robur* L.) mežaudzēs. *Mežzinātne*, 26: 41–60.
- 213.IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri R.K. and Reisinger A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 p.
- 214.Irland L.C. (2000). Ice storms and forest impacts. *The Science of the Total Environment*, 262: 231-242.
- 215.Jayawickrama K.J.S., Ye T.Z., Gupta R., Cherry M.L. (2009). Including wood stiffness in tree improvement of coastal Douglas-fir in the US Pacific Northwest: A Literature Review and Synthesis. Research Contribution 50, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. 97 p.
- 216.Jensen T.S. (1985). Seed-seed predator interactions of European beech, *Fagus sylvatica* and forest rodents *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus flavicollis*. *OIKOS*, 44: 149–156.
- 217.Jianrong W. (2005). Cold tolerance of *Dastarcus helophoroides*. *Forest Pest and Disease*. Abstract paper. 1 p.
- 218.Johnsen Ø., Fossdal C.G., Nagy N., Mølmann J., Dæhlen O.G., Skrøppa T. (2005). Climatic adaptation in *Picea abies* progenies is affected by the temperature during zygotic embryogenesis and seed maturation. *Plant, Cell, and Environment*, 28: 1090–1102.
- 219.Johnson W.C., Adkisson C.S. (1985). Dispersal of beech nuts by blue jays in fragmented landscape. *American Midland Naturalist*, 113: 319–324.

220. Jones E., Paine T.D., Fenn M.E., Poth M.A. (2004). Influence of ozone and nitrogen deposition on bark beetle activity under drought conditions. *Forest Ecology and Management*, 200 (1-3): 67-76.
221. Jönsson A.M., Appelberg G., Harding S., Barring L. (2009). Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Global Change Biology*, 15: 486-499.
222. Jordi A.J., Sultan H. (2009). Influence of the icelandic low on the variability of surface air temperature in the Gulf of Lion: Implications for intermediate water formation. *Journal of Physical Oceanography*, 39: 3228–3232.
223. Jouvenaz D.P., Lofgren C.S. (1984). Temperature – depend spore dimorphism in *Burenella dimorpha* (Microspora: Microsporidia). *Journal of Protozoology*, 31 (3): 175-177.
224. Jovanovic B.D., Čamprag D.S., Sekulic R.R., Kereši T.B. (2006). Solar activity influence to the numerousness dynamics of *Bothynoderes punctiventris* Germ. in Vojvodina. *Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad*, 110: 239-248.
225. Jump A.S., Hunt J.M., Martinez-Izquierdo A., Penuelas J. (2006). Natural selection and climate change: temperature-linked spatial and temporal trends in gene frequency in *Fagus sylvatica*. *Molecular Ecology*, 15: 3469–3480.
226. Jump, A.S., Marchant R., Peñuelas J. (2009). Environmental change and the option value of genetic diversity. *Trends in Plant Science*, 14: 51–58.
227. Jylhä K., Ruosteenoja K., Räisänen J., Venäläinen A., Tuomenvirta H., Ruokolainen L., Saku S., Seitola T. (2009). The changing climate in Finland: estimates for adaptation studies. ACCLIM project report 2009, 4. 102 p.
228. Kapeller S., Schüler S., Huber G., Božič G., Wohlgemuth T., Klumpp R. (2013). Provenance trials in Alpine range- review and perspectives for applications in climate change. In: Cerbu G.A., Hanewinkel M., Gerosa G., Jandl R. (eds.) *Management strategies to adapt Alpine space forests to climate change risks*. [skatīts 2013.gada 28.novembrī]. Pieejams: <http://www.intechopen.com/books/management-strategies-to-adapt-alpine-space-forests-to-climate-change-risks/provenance-trials-in-alpine-range-review-and-perspectives-for-applications-in-climate-change>
229. Kasischke E.S., Christensen, Jr. N.L., Stocks B.J. (1995). Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests. *Ecological Applications* 5: 437-451.
230. Kawecki T.J., Ebert D. (2004). Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters*, 7: 1225–1241.
231. Kearney M., Porter W. (2009) Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters*, 12: 334–350.
232. Kellomäki S., Maajärvi M., Strandman H., Kilpeläinen A., Peltola H. (2010). Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica*, 44(2): 213-234.
233. Kenis M., Wermelinger B., Grégoire J.C. (2004). Research on parasitoids and predators of Scolytidae – A Review. *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe. A Synthesis*, 237-290.

234. Khoa L.V., Hatai K., Aoki T. (2004). *Fusarium incarnatum* isolated from black tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius, with black gill disease cultured in Vietnam. *Journal of Fish Diseases*, 27: 507-515.
235. King R.A., Ferris C. (1998). Chloroplast DNA phylogeography of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. *Molecular Ecology*, 7: 1157–1161.
236. Klavins M., Rodinov V. (2010). Influence of large-scale atmospheric circulation on climate in Latvia. *Boreal environment research*, 15: 533-543.
237. Klok C.J., Chown S.L. (2003). Resistance to temperature extremes in sub – Antarctic weevils: interspecific variation, population differentiation and acclimation. *Biological Journal of Linnean Society*, 78: 401-414.
238. Klok C.J., Gaston K.J., Chown S.L. (2003). The geographical range structure of holly leaf-miner. III. Cold hardiness physiology. *Functional Ecology*, 17: 858-868.
239. Kohlstock N., Schneck V. (1998). IUFRO provenance trial of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at Waldsiedersdorf 1982-1994. Scots pine breeding and genetics: proceedings of the IUFRO S.02.18 symposium, 1994, Lithuania, Kaunas. 29-36.
240. Kollár J., Hrubík P., Tkáčová S. (2009). Monitoring of harmful insect species in urban conditions in selected model areas of Slovakia. *Plant Protection Science*, 45: 119-124.
241. Kopšanas ciršu rokasgrāmata (2008). AS „Latvijas valsts meži”. 108 lpp.
242. Kozłowski T.T., Pallardy S.G. (1997). *Growth Control in Woody Plants*. San Diego, Academic Press. 641p.
243. Kramer K., Degen B., Buschbom J., Hickler T., Thuiller W., Sykes M., de Winter W. (2010). Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change - Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management*, 259: 2213–2222.
244. Krauklis A. (2006). Landschaftsentwicklung in den baltischen Ländern unter dem Einfluß des Menschen. *Nova Acta Leopoldina*, 94 (346): 51-81.
245. Krauklis Ā., Zariņa A. (2002). Parastais skābardis sava areāla ziemeļu robežas ainavā Latvijā. *Ģeogrāfiski Raksti/ Folia Geographica*, 10: 16-47.
246. Kremer A., Kleinshmit J., Cottrell J., Cundall E.P., Deans J.D., Ducousso A., König A.O., Lowe A.J., Munro R.C., Petit R.J., Stephan B.R. (2002). Is there a correlation between chloroplastic and nuclear divergence, or what are the roles of history and selection on genetic diversity in European oaks? *Forest Ecology and Management*, 156: 75-87.
247. Kremer A., Ronce O., Robledo-Arnuncio J.J., Guillaume F., Bohrer G., Nathan R., Bridle J.R., Gomulkiewicz R., Klein E.K., Ritland K., Kujala A., Gerber S., Schueler S. (2012). Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecology Letters*, 15: 378–392.
248. Krouk G., Tranchina D., Lejay L., Cruikshank A.A., Shasha D., Coruzzi G.M., Gutiérrez R.A. (2009). A systems approach uncovers restrictions for signal interactions regulating genome-wide responses to nutritional cues in *Arabidopsis*. *PLOS Computational Biology*. [skatīts 2013.gada 28.novembrī]. Pieejams:
<http://www.ploscompbiol.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pcbi.1000326>.

249. Kullman L. (1998). Palaeoecological, biogeographical and palaeoclimatological implications of early Holocene immigration of *Larix sibirica* Ledeb. into the Scandes Mountains, Sweden. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7: 181–188.
250. Kullman L. (2002). Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. *Journal of Ecology*, 90: 68–77.
251. Kullman L. (2008). Thermophilic Tree Species Reinvade Subalpine Sweden-Early Responses to Anomalous Late Holocene Climate Warming. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40: 104–110.
252. Kunstler G., Curt T., Lepart J. (2004). Spatial pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus pubescens* Mill.) seedlings in natural pine (*Pinus sylvestris* L.) woodlands. *European Journal of Forest Research*, 123: 331–337.
253. Kupper P., Söber J., Sellin A., Löhmus K., Tullus A., Räm O., Lubenets K., Tulva I., Uri V., Zobel M., Kull O., Söber A. (2011). An experimental facility for free air humidity manipulation (FAHM) can alter water flux through deciduous tree canopy. *Environmental and Experimental Botany*, 72: 432–438.
254. Kvaalen H., Johnsen O. (2008). Timing of bud set in *Picea abies* is regulated by a memory of temperature during zygotic and somatic embryogenesis. *New Phytologist*, 177: 49–59.
255. La Spina S., Gregoire J., Mertens P., De-Canniere C. (2010). Impact of poplar water status on leaf-beetle (*Chrysomela populi*) survival and feeding. *Annual Forest Science*, 67 (209): 1-6.
256. Lachaud S., Bonnemain J.L. (1981). Xylogénèse chez les Dicotylédones arborescentes. I. Modalités de la remise en activité du cambium et de la xylogénèse chez les Hêtres et les Chênes âgés. (Xylogenesis of tree Dicotyledones. I. Pattern of reactivation of the cambium and xylogenesis in aged *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*). *Canadian Journal of Botany*, 59: 1222-1230.
257. Lachaud S., Catesson A.M., Bonnemain J.L. (1999). Structure and functions of the vascular cambium. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, 322(8), 633-650.
258. Lande R. (2009). Adaptation to an extraordinary environment by evolution of phenotypic plasticity and genetic assimilation. *Journal of Evolutionary Biology*, 22: 1435–1446.
259. Langer A., Hance T. (2000). Overwintering strategies and cold hardiness of two aphid parasitoid species Hymenoptera Braconidae Aphidiinae. *Journal of insect physiology*, 46 (5): 671-676.
260. Langlet O. (1971). Two hundred years of genecology. *Taxon*, 20: 653–721.
261. Larson P.R. (1963). Stem form development of forest trees. *Forest Science Monographs*, 5: 1-42.
262. Larsson-Stern M. (2003). Larch in commercial forestry: A literature review to help clarify the potential of hybrid larch (*Larix × eurolepis* Henry) in southern Sweden. *Swedish Forestry, Alnarp*. 92 p.

- 263.Lazdiņš A. (2010) Egļu audžu masveida bojājumu cēloņu izzināšana SIA "Rīgas meži" nosusinātās meža zemēs. Pārskats par SIA „Rīgas meži” pasūtīto pētījumu. LVMI Silava, 9-11.
- 264.Leather S.R., Walters K.F.A., Bale J.S. (1995). The Ecology of Insect Overwintering. Cambridge University Press. 206 p.
- 265.Lebourgeois F., Breda N., Ulrich E., Granier A. (2005). Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). Trees, 19: 285–401.
- 266.Lechowicz M.J. (1984). Why do temperate deciduous trees leaf out at different times? Adaptation and ecology of forest communities. The American Naturalist, 124(6), 821-842.
- 267.Lee K.H., Singh A.P., Kim Y.S. (2007). Cellular characteristics of a traumatic frost ring in the secondary xylem of *Pinus radiata*. Trees, 21: 403-410.
- 268.Leinonen I. (1996). Dependence of dormancy release on temperature in different origins of *Pinus sylvestris* and *Betula pendula* seedlings. Scandinavian Journal of Forest Research, 11(1-4), 122-128.
- 269.Lenhart J.D., Shinn K.M., Cutter B.E. (1977). Specific gravity at various positions along the stem of planted loblolly pine trees. Forest Products Journal, 27(9): 43–44.
- 270.Lenoir J., Graae B.J., Aarrestad P.A., Alsos I.G., Armbruster W.S., Austrheim G., Bergendorff C., Birks J.H.B., Bråthen K.A., Brunet J., Bruun H.H., Dahlberg C.J., Decocq G., Diekmann M., Dynesius M., Ejrnæs R., Grytnes J.A., Hylander K., Klanderud K., Luoto M., Milbau A., Moora M., Nygaard B., Nygaard A., Ravolainen V.T., Reinhardt S., Sandvik S.M., Schei F.H., Speed J.D.M., Tveraabak L.U., Vandvik V., Velle L.G., Velle R., Zobel M., Svenning J.-C. (2013). Local temperatures inferred from plant communities suggest strong spatial buffering of climate warming across Northern Europe. Global Change Biology, 19: 1470–1481.
- 271.Levin S., Muller-Landau H.C., Nathan R., Chave J. (2003). The ecology and evolution of seed dispersal: a theoretical perspective. Annual Reviews of Ecology, Evolution and Systematics, 34: 575–604.
- 272.Li C., Junttila O., Ernsten A., Heino P., Palva E.T. (2003). Photoperiodic control of growth, cold acclimation and dormancy development in silver birch (*Betula pendula*) ecotypes. Physiologia Plantarum, 117(2): 206-212.
- 273.Li H., Futch S.H., Syversten J.P. (2007). Cross-correlation patterns of air and soil temperatures, rainfall and *Diaprepes abbreviatus* root weevil in citrus. Pest Management Science, 63: 1116-1123.
- 274.Li N.G., Osakovskii V.L. (2008). On the flexibility of adaptation processes in cold-hardy insects. Biology Bulletin, 35 (4): 394-397.
- 275.Liberal C.N., Farias A.M.I., Meiado M.V., Filgueiras B.K.C., Lanuzzi L. (2011). How habitat change and rainfall affect dung beetle diversity in Caatinga, a Brazilian semi-arid ecosystem. Journal of Insect Science, 11 (114): 1-11.
- 276.Liepa I. (1974). Biometrija. Rīga, Zvaigzne. 336 lpp.

- 277.Liepa I. (1991). Autekoloģija. Liepa I., Mauriņš A., Vimba E. (red.) Ekoloģija un dabas aizsardzība. Rīga, Zvaigzne, 14-101.
- 278.Liepa I. (1996). Pieauguma mācība. Jelgava, LLU. 123 lpp.
- 279.Lindbladh M., Bradshaw R., Holmquist B.H. (2000). Pattern and process in south Swedish forests during the last 3000years, sensed at stand and regional scales. *Journal of Ecology*, 88: 113–128.
- 280.Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kreme A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M.J., Marchetti M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709.
- 281.Little C.H.A., Savidge R.A. (1987). The role of plant growth regulators in forest tree cambial growth. *Plant Growth Regulation*, 6: 137–169.
- 282.Lizuma L., Kļaviņš M., Briede A., Rodinovs V. (2007). Long-term changes of air temperature in Latvia, In: Kļaviņš, M. (Ed.), *Climate change in Latvia*. University of Latvia, Riga, 11–20.
- 283.Llamas D.P., Gonzales M.C., Gonzales C.I., Lopez G.R., Marquina J.C.T. (2008). The interactive effects of temperature and osmotic potential on the growth of marine isolates of *Fusarium solani*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 35 (11): 1405–1409.
- 284.Lombardero M.J., Ayres M.P., Ayres S.D., Reeve J.D. (2000). Cold tolerance of four species of bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) in North America. *Environmental Entomology*, 29 (3): 421-432.
- 285.Luik A. (1986). Temperature as the principal exogenous regulator of winter dormancy in xylophages. *Metsanduslikud Uurimused*, 21: 98-102.
- 286.Luik A., Voolma K. (1989). Some aspects of the occurrence, biology and cold-hardiness of *Hylobius* weevils. *UIFRO proceedings. Vancouver*. 7 p.
- 287.Lynn K.A. (2009). User-friendly methods for timing integrated pest management strategies: an analysis of degree-day models and biological calendars. *Ohio State University. Entomology*. 109 p.
- 288.Lyr H., Hoffmann G. (1967). Growth rates and growth periodicity of tree roots. *International Review of Forestry Research*, 2: 181-236.
- 289.Ma R., Hao S., Kong W., Sun J., Kang L. (2006). Cold hardiness as a factor for assessing the potential distribution of the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) in China. *Annual Forestry Science*, 63: 449-456.
- 290.Magnesen S. (1986). Det internasjonale sitkagran-proveniensforsøket på Vestlandet. Norsk institutt for skogforskning. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning, 1/86. 12 s.
- 291.Magri D. (2008). Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography*, 35: 450–463.
- 292.Maiorano L., Cheddadi R., Zimmermann N.E., Pellissier L., Petitpierre B. Pottier J., Laborde H., Hurdu B.I., Pearman P.B., Psomas A., Singarayer J.S., Broennimann O., Vittoz P., Dubuis A., Edwards M.E., Binney H.A., Guisan A. (2013). Building the niche

- through time: using 13,000 years of data to predict the effects of climate change on three tree species in Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 22: 302–317.
293. Mäkinen H., Seo J.W., Nöjd P., Schmitt U., Jalkanen R. (2008). Seasonal dynamics of wood formation: a comparison between pinning, microcoring and dendrometer measurements. *European Journal of Forest Research*, 127(3): 235–245.
 294. Makkonen L., Ahti K. (1995). Climatic mapping of ice loads based on airport weather observations. *Atmospheric Research*, 36: 185–193.
 295. Mantzavelas A. (2006). Method to assess with good spatial accuracy the meteorological and fuel moisture components of the fire risk. Report of Fire Paradox project. 86 p.
 296. Martin P.H. (1999). Norway maple (*Acer platanoides*) invasion of a natural forest stand: understory consequence and regeneration pattern. *Biological Invasions*, 1: 215–222.
 297. Matisons R., Brūmelis G. (2012). Influence of climate on tree-ring and earlywood vessel formation in *Quercus robur* in Latvia. *Trees*, 26: 1251–1266.
 298. Matisons R., Elferts D., Brūmelis G. (2012). Changes in climatic signals of English oak tree-ring width and cross-section area of earlywood vessels in Latvia during the period 1900–2009. *Forest Ecology and Management*, 279: 33–44.
 299. Mattson W., Haack R. (1987). Role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *Bioscience*, 37 (2): 110–118.
 300. Mauriņa H. (1974). Augu fizioloģija. Rīga, Zvaigzne, 324–326.
 301. Mauriņš A. (2003). Kļavas (*Acer*). Broks (red.) Meža enciklopēdija. Zelta grauds, Rīga. 367 lpp.
 302. Mauriņš A.M., Zvirgzds A. (2006). Dendroloģija. LU akadēmiskais apgāds, Rīga. 447 lpp.
 303. McCabe R.A., Labisky R.F. (1959). Leader forking of red and white pines in plantations. *Journ. Forestry*, 57: 94–97.
 304. McKay H.M. (1992). Electrolyte leakage from fine roots of conifer seedlings: a rapid index of plant vitality following cold storage. *Canadian Journal of Forest Research*, 22: 1371–1377.
 305. McManus M.L., Liebhold A.M. (2002). Ecology, survey and management of forest insects. *Proceedings*. 187 p.
 306. Mechi M.R. (1999). Activity cycle of the ponon wasp, *Trimeria howardi* (Hymenoptera: Vespidae) in Southeastern Brazil. *Review of Biology in Tropics*, 47 (4): 939–948.
 307. Megraw (1986). Douglas-fir wood properties. *Proceeding of Douglas-fir: stand management for the future symposium*, June 18–20, 1985, University of Washington, Seattle. 86–91.
 308. Meier E.S., Lischke H., Schmatz D.R., Zimmermann N.E. (2012). Climate, competition and connectivity affect future migration and ranges of European trees. *Global Ecology and Biogeography*, 21: 164–178.
 309. Mellec A., Karg J., Bernacki Z., Slowik J., Korczynski I., Krummel T., Mazur A., Altena H.W., Gerold G., Reinhardt A. (2011). Effects of insect mass outbreaks on throughfall composition in even aged European pine stands - Implications for the C and N cycling. *Earth Science and Climatic Change*, 1 (1), 6 p.

310. Menu F., Roebuck J.P., Viala M. (2000). Bet-hedging diapause strategies in stochastic environments. *American Nature*, 155: 724-734.
311. Mergen F. (1955). Inheritance of deformities in slash pine. *South Lumberman* 190 (2370): 30-32.
312. Meshkova V.L. (2009). Seasonal development of foliage browsing insects. Kharkov, Planeta-print. 382 p.
313. Mežaka A., Znotiņa V., Piterāns A. (2005). Distribution of epiphytic bryophytes in five Latvian natural forest stands of slopes, screes and ravines. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 5(2): 101–108.
314. Mikolaskova K. (2009). A regression evaluation of thermal continentality. *Geografie-Sborník české geografické společnosti*, 114 (4): 350-362.
315. Miles C., Blethen C., Gaugler R., Shaphiro-Ilan D., Murray T. (2010). Using entomopathogenic nematodes for crop insect pest control. A Pacific Northwest extension publication. 11 p.
316. Minetti J.L. (1989). Continentality indices: methodological revision and proposition. *Erdkunde: Archiv für wissenschaftliche Geographie* Jg.43 Nr.1: 51-58.
317. Modry M., Hubeny D., Rejšek K. (2004). Differential response of naturally regenerated European shade tolerant tree species to soil type and light availability. *Forest Ecology and Management*, 188: 185–195.
318. Moiroux J., Giron D., Vernon P., Baaren J., van Alphen J.M. (2012). Evolution of metabolic rate in a parasitic wasp: The role of limitation in intrinsic resources. *Journal of Insect Physiology*, 58: 979-984.
319. Moore J.R., Lyon A.J., Searles G.J., Vihermaa L.E. (2009). The effects of site and stand factors on the tree and wood quality of Sitka spruce growing in the United Kingdom. *Silva Fennica*, 43(3): 383-396.
320. Moraal L.G. (2010). Infestations of the cypress bark beetles *Phloeosinus rudis*, *P. bicolor* and *P. thujae* in The Netherlands (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Entomologische Berichten* 70 (4): 140-145.
321. Moraal L.G., Akkerhuis G.A.J.M.J. (2010). Changing patterns in insect pests on trees in The Netherlands since 1946 in relation to human induced habitat changes and climate factors—An analysis of historical data. *Forest Ecology and Management*, 261 (1): 50-61.
322. Moretti M., De Cáceres M., Pradella C., Obrist M.K., Wermelinger B., Legendre P., Duelli P. (2010). Fire-induced taxonomic and functional changes in saproxylic beetle communities in fire sensitive regions. *Ecography*, 33: 760-771.
323. Morewood W.D., Lange P. (1997). Immature stages of high arctic *Gynaephora* species (Lymantriidae) and notes on their biology at Alexandra Fiord, Ellesmere Island, Canada. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 34: 119-141.
324. Morgan K.R. (1986). Temperature regulation, energy metabolism and mate-searching in rain beetles (*Pleocoma* spp.), winter-active, endothermic scarabs (Coleoptera). *Journal of Experimental Biology*: 107-122.
325. Morin X., Ameglio T., Ahas R., Kurz-Besson C., Lanta V., Lebourgeois F., Miglietta F., Chuine I. (2007). Variation in cold hardiness and carbohydrate

- concentration from dormancy induction to bud burst among provenances of three European oak species. *Tree Physiology*, 27: 817–825.
326. Morin X., Lechowicz M.J., Augspurger C., O'Keefe J., Viner D., Chuine I. (2009). Leaf phenology in 22 North American tree species during the 21st century. *Global Change Biology*, 15: 961–975.
 327. Morin X., Viner D., Chuine I. (2008). Tree species range shifts at a continental scale: new predictive insights from a process-based model. *Journal of Ecology*, 96: 784–794.
 328. Mulock P., Christiansen E. (1986). The threshold of successful attacks by *Ips typographus* on *Picea abies*: a field experiment. *Forest Ecology and Management*, 14: 125–132.
 329. Murmanis L. (1971). Structural changes in the vascular cambium of *Pinus strobus* L. during an annual cycle. *Annals of Botany*, 35 (1): 133–141.
 330. Murray M.B., Smith R.I., Leith I.D., Fowler D., Lee H.S.J., Friend A.D., Jarvis P.G. (1994). Effects of elevated CO₂, nutrition and climate warming on bud phenology in Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and their impact on the risk of frost damage. *Tree Physiology*, 14: 691–706.
 331. Nagel A.T., Svoboda M., Diaci J. (2006). Regeneration patterns after intermediate wind disturbance in an old-growth *Fagus – Abies* forest in southeastern Slovenia. *Forest Ecology and Management*, 226: 268–278.
 332. Nathan R., Schurr F.M., Spiegel O., Steinitz O., Trakhtenbrot A., Tsoar A. (2008). Mechanisms of long-distance seed dispersal. *Trends in Ecology and Evolution*, 23: 638–647.
 333. Naves P.M., Sousa E., Rodrigues J.M. (2008). Biology of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera, Cerambycidae) in the pine wilt disease affected zone, Southern Portugal. *Silva Lusitana*, 16 (2): 133–148.
 334. Nazemi J., Talebi A.A., Sadegi S.E., Melika G., Lozan A. (2008). Species richness of oak gall wasps (Hymenoptera: Cynipidae) and identification of associated inquiline and parasitoid on two oak species in western Iran. *North-Western Journal of Zoology*, 4 (2): 189–202.
 335. Nicotra A.B., Atkin O.K., Bonser, S.P., Davidson A.M., Finnegan E.J., Mathesius U., Poot P., Purugganan M.D., Richards C.L., Valladares F., van Kleunen M. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends Plant Science*, 15: 684–692.
 336. Nicotra A.B., Davidson A. (2010). Adaptive phenotypic plasticity and plant water use. *Functional Plant Biology*, 37: 117–127.
 337. Niemela P., Mattson W.J. (1996). Invasion of North American forests by European phytophagous insects. *Bioscience*, 10: 741–753.
 338. Niinemets U. (1998). Growth of young trees of *Acer platanoides* and *Quercus robur* along a gap-understory continuum: interrelationships between allometry, biomass partitioning, nitrogen, and shade tolerance. *International journal of plant sciences* 159: 318–330.
 339. Niklasson M., Lindbladh M., Björkman L. (2002). A long-term record of *Quercus* decline, logging and fires in a southern Swedish *Fagus – Picea* forest. *Journal of Vegetation Science*, 13: 765–774.

340. Nilson S.E., Assmann S.M. (2010). Heterotrimeric G proteins regulate reproductive trait plasticity in response to water availability. *New Phytologist*, 185: 734–746.
341. Nilsson S.G., Wästljung U. (1987). Seed predation and cross-pollination in mast-seeding beech (*Fagus sylvatica*) patches. *Ecology*, 68: 260–265.
342. Niziol T.A., Snyder W.R., Waldstreicher J.S. (1995). Winter weather forecasting throughout the eastern United States. Part IV: Lake effect snow. *Weather Forecasting*, 10: 61–77.
343. Norton D.C., Bolsenga S.J. (1993). Spatiotemporal trends in lake effect and continental snowfall in the Laurentian Great Lakes, 1951–1980. *Journal of Climate*, 6: 1943–1956.
344. Nykänen M., Peltola M., Quine C., Kellomäki S., Broadgate M. (1997). Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 31(2): 193–213.
345. Oddou-Muratorio S., Bontemps A., Klein E.K., Chibick I., Vendramin G.G., Suyama Y. (2010). Comparison of direct and indirect genetic methods for estimating seed and pollen dispersal in *Fagus sylvatica* and *Fagus crenata*. *Forest Ecology and Management*, 259: 2151–2159.
346. Oldroyd G.E., Downie J.A. (2004). Nuclear calcium changes at the core of symbiosis signalling. *Current Opinion in Plant Biology*, 9: 351–357.
347. Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. (1998). Adaptation to changing environment in Scots pine populations across a latitudinal gradient. *Silva Fennica*, 32 (2): 129–140.
348. Oliver C.D., Larson B.C. (1996). *Forest stand dynamics*. Wiley, New York. 544 p.
349. Olthof I., King D.J., Lautenschlager R.A. (2003). Overstory and understory leaf area index as indicators of forest response to ice storm damage. *Ecological Indicators*, 3(1): 49–64.
350. Orlanski I., Ross B., Polinsky L., Shaginaw R. (1985). Advances in the theory of atmospheric fronts. *Advances in Geophysics, Issues in Atmospheric and Oceanic Modeling - Part B: Weather Dynamics*, 28 (B): 223–252.
351. Övergaard R., Gemmel P., Karlsson M. (2007). Effects of weather conditions on mast year frequency in beech (*Fagus sylvatica* L.) in Sweden. *Forestry*, 80: 555–565.
352. Ozola K., Zirnītis A. (1958). Meteoroloģija. Latvijas Valsts izdevniecība, Rīga, 328–330.
353. Ozols G. (1968). Egles stumbra kaitēkļi un to ekoloģiskās grupas Latvijas PSR. *Latvijas Entomologs*. 208 lpp.
354. Ozols G. (1985). Priedes un egles dendrofāgie kukaiņi Latvijas mežos. Rīga, Zinātne. 207 lpp.
355. Päätaalo M.L. (2000). Snow damage to Scots pine, Norway spruce, and birch: model approaches. University of Joensuu, Faculty of Forestry, Research Notes. 40 p.
356. Päätaalo M.L., Peltola H., Kellomäki S. (1999). Modelling the risk of snow damage to forests under short-term snow loading. *Forest Ecology and Management*, 116: 51–70.
357. Pakarinen S.P. (2011). Host-parasitoid relationship in different *Cotesia melitaearum* and *Melitaea cinxia* populations around the Baltic Sea. University of Helsinki. Master's Thesis. 87 p.
358. Pallardy S.G. (2008). *Physiology of Woody Plants*. Elsevier. 454 p.

- 359.Papadopoulos E., Himonas C., Coles G.C. (2001). Drought and flock isolation may enhance the development of anthelmintic resistance in nematodes. *Veterinary Parasitology*, 97 (4): 253-259.
- 360.Parmesan C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37: 637–669.
- 361.Parmesan C., Yohe G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421: 37–42.
- 362.Parsons D.B., Hobbs P.V. (1983). The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. VII: Formation, development, interaction and dissipation of rainbands. *Journal of Atmospheric Sciences*, 40: 559–579.
- 363.Patterson D.W., Hartly J. (2007). Properties of wood from ice-storm damaged loblolly pine trees. *Forest Products Journal*, 57(2): 48-51.
- 364.Patyakin V. I., Tušin J., Bazarov M.S. (1990). Technical hydrodynamics of wood. Moscow, Forestry. 304 p.
- 365.Pearson R.G., Dawson T.P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361–371.
- 366.Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrological Earth System Sciences*, 11: 1633-1644.
- 367.Peltola H., Kellomäki S., Väisänen H., Ikonen V.P. (1999). A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 647–661.
- 368.Peltola H.M. (2006). Mechanical stability of trees under static loads. *American Journal of Botany*, 93(10): 1501–1511.
- 369.Pesonen E., Mielikäinen K., Mäkinen H. (2004). A new girth band for measuring stem diameter changes. *Forestry*, 77(5): 431-439.
- 370.Petit R.J., Aguinalde I., de Beaulieu J.-L., Bittkau C., Brewer S., Cheddadi R., Ennos R., Fineschi S., Grivet D., Lascoux M., Mohanty A., Müller-Starck G., Demesure-Musch B., Palmé A., Martín J.P., Rendell S., Vendramin G.G. (2003). Glacial refugia: hotspots but not melting pots of genetic diversity. *Science*, 300: 1563–1565.
- 371.Petit R.J., Bialozyt R., Garnier-Gere P., Hampe A. (2004). Ecology and genetics of tree invasions: from recent introductions to quaternary migrations. *Forest Ecology and Management*, 197:117–137.
- 372.Petty J.A., Worrell R. (1981). Stability of coniferous tree stems in relation to damage by snow. *Forestry*, 54(2): 115-128.
- 373.Petzoldt C. (2002). Climate change effects on insects and pathogens. Climate change and agriculture: Promoting practical and profitable responses. Informative paper. 11 p.
- 374.Piovesan G., Biondi F., Di Filippo A., Alessandrini A., Maugeri M. (2008). Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biology*, 14: 1–17.

- 375.Plomion C., Leprovost G., Stokes A. (2001). Wood formation in trees. *Plant physiology*, 127(4): 1513-1523.
- 376.Poorter H. (1989). Plant growth analysis: towards a synthesis of the classical and the functional approach. *Physiologia Plantarum*, 75(2): 237-244.
- 377.Possen B.J., Oksanen E., Rousi M., Ruhanen H., Ahonen V., Tervahauta A., Vapaavuori E. (2011). Adaptability of birch (*Betula pendula* Roth) and aspen (*Populus tremula* L.) genotypes to different soil moisture conditions. *Forest Ecology and Management*, 262(8): 1387-1399.
- 378.Priedītis N. (1999). *Latvijas mežs: daba un daudzveidība*. ET Cetera, Rīga. 209 lpp.
- 379.Quine C.P., White I.M.S. (1993). Revised windiness scores for windthrow hazard classification: the revised scoring method. Research Information Note 230. Forestry Commission, Edinburgh. 6 p.
- 380.Rackham O. (2003). *Ancient woodland, its history, vegetation and uses in England*. Great Britain: Castlepoint Press. 584 p.
- 381.Räisänen M., Repo T., Rikala R., Lehto T. (2006). Does ice crystal formation in buds explain growth disturbances in boron-deficient Norway spruce? *Trees*, 20: 441-448.
- 382.Raniuss T., Janson N. (2000). The influence of forest regrowth, original canopy cover and tree size on saproxylic beetles associated with old oaks. *Biological Conservation*, 95: 85-94.
- 383.Reeves P.A., He Y., Schmitz R.J., Amasino R.M., Panella L.W., Richards C.M. (2007). Evolutionary conservation of the FLOWERING LOCUS C-mediated vernalization response: evidence from the sugar beet (*Beta vulgaris*). *Genetics*, 176: 295–307.
- 384.Rehfeldt G.E., Tschebakova N.M., Milyutin L., Parfenova E., Wykoff W.R., Kouzmina N.A. (2003). Assessing population response to climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with climate-transfer models. *Eurasian Journal of Forest Research*, 6: 83–98.
- 385.Rehfeldt G.E., Wykoff W.R., Ying C.C. (2001). Physiologic plasticity, evolution, and impacts of a changing climate on *Pinus contorta*. *Climatic Change*, 50: 355–376.
- 386.Rehfeldt G.E., Ying C.C., Spittlehouse D.L., Hamilton D.A. (1999). Genetic responses to climate change in *Pinus contorta*: niche breadth, climate change, and reforestation. *Ecological Monographs*, 69: 375–407.
- 387.Reich P.B., Oleksyn J. (2008). Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north. *Ecological Letters*, 11: 588–597.
- 388.Repo T., Zhang G., Ryyppo A., Rikala R. (2000b). The electrical impedance spectroscopy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) shoots in relation to cold acclimation. *Journal of Experimental Botany*, 353: 2095-2107.
- 389.Repo T., Zhang G., Ryyppo A., Rikala R., Vuorinen M. (2000a). The relation between growth cessation and frost hardening in Scots pines of different origins. *Trees*, 14: 456-464.
- 390.Richards C.L., Bossdorf O., Pigliucci M. (2010). What role does heritable epigenetic variation play in phenotypic evolution? *Bioscience*, 60: 232–237.
- 391.Richardson S.D., Dinwoodie J.M. (1960). Studies on the physiology of xylem development. I. The effect of night temperature on tracheid size and wood density in

- conifers. II. Some effects of light intensity, daylength and provenance on wood density and tracheid length in *Picea sitchensis*. III. Effects of tempe. Journal of the Institute of Wood Science, 6: 3-13.
- 392.Riepšas E., Straigyte L. (2008). Invasiveness and ecological effects of red oak (*Quercus rubra* L.) in Lithuanian forests. Baltic Forestry, 14: 122–130.
- 393.Rivers D.B., Lee, Jr. R.E., Denlinger D.L. (2000). Cold hardiness of the fly pupal parasitoid *Nasonia vitripennis* is enhanced by its host *Sarcophaga crassipalpis*. Journal of Insect Physiology, 46: 99-106.
- 394.Roach D.A., Wulff R.D. (1987). Maternal effects in plants. Annual Review of Ecology and Systematics 18: 209 –235.
- 395.Robinson W.H. (2005). Urban insects and arachnids. A Handbook of Urban Entomology. Cambridge University Press. UK. 225 p.
- 396.Robledo-Arnuncio J.J., Gil L. (2005). Patterns of pollen dispersal in a small population of *Pinus sylvestris* L. revealed by total-exclusion paternity analysis. Heredity, 94: 13–22.
- 397.Roga A. (1979). Meža ugunsgrēku veidi, to dzēšanas paņēmieni un taktika. Apskats. Rīga. LatZTIZPI. 58 lpp.
- 398.Roger A., Vidale P.P.L. (1995). The boreal forest and the polar front. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 100: 25755–25758.
- 399.Romberger J.A. (1963). Meristems, growth, and development in woody plants: An analytical review of anatomical, physiological, and morphogenic aspects. Washington, US Government Printing Office. 214 p.
- 400.Rone V. (1984). Pirmie egļu provenienču vērtēšanas rezultāti Latvijā. Jaunākais Mežsaimniecībā, 26: 33-38.
- 401.Rone V. (1985). Egles klonu juvenilā augšana un selekcijas stratēģija. Jaunākais Mežsaimniecībā, 27: 10-16.
- 402.Rothe M., Krabel D., Roloff A. (1999). Responses of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) to water deficiency. Phytion (Austria) Special issue: “Eurosilva”, 39: 183-190.
- 403.Rottmann M. (1985). Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen. Beiträge zur Beurteilung der Schneebruchgefährdung, zur Schadensvorbeugung und zur Behandlung schneegeschädigter Nadelholzbestände (Snieglauzes skujkoku audzēs). Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main. 159 p.
- 404.Roualt G., Candau J., Lieutier F., Nageleisen L., Martin J., Warzee N. (2006). Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. Annual Forest Science, 63: 613-624.
- 405.Rousi M., Heinonen J. (2007). Temperature sum accumulation effects on within-population variation and long-term trends in date of bud burst of European white birch (*Betula pendula*). Tree Physiology, 27 (7): 1019-1025.
- 406.Rozas V. (2001). Detecting the impact of climate and disturbances on tree-rings of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in a lowland forest in Cantabria, Northern Spain. Annals of Forest Science, 58: 237–251.

407. Rundle B.J., Hoffman A.A. (2003). Overwintering of *Trichogramma funiculatum* Carver (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under semi-natural conditions. *Environmental Entomology*, 32 (2): 290-298.
408. Ryerson C.C. (1988). Atmospheric icing climatologies of two New England Mountains. *Journal of Applied Meteorology*, 27: 1261–1281.
409. Sabule I. (2009). Klimatisko faktoru ietekme uz Eiropas dižskābarža (*Fagus sylvatica* L.) radiālo augšanu Šķēdes novadā. Bakalaura darbs, Latvijas Universitāte. 29 lpp.
410. Sabule L. (2009). Eiropas dižskābarža *Fagus sylvestris* (L.) izplatība Šķēdes mežu novadā. Maģistra darbs, Latvijas Universitāte. 39 lpp.
411. Sagnard F., Pichot C., Dreyfus P., Jordano P., Fady B. (2007). Modelling seed dispersal to predict seedling recruitment: Recolonization dynamics in a plantation forest. *Ecological Modelling*, 203: 464–474.
412. Saltre F., Saint-Amant R., Gritt E.S., Brewer S., Gaucherel C., Davis B.A.S., Chuine I. (2013). Climate or migration: what limited European beech post-glacial colonization? *Global Ecology and Biogeography*, 22: 1217–1227.
413. Sarvas R. (1972). Investigations on the annual cycle of development of forest trees. Active period. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 76(3). 110 p.
414. Savidge R.A., Wareing P.F. (1981). Plant-growth regulators and the differentiation of vascular elements. In: Barnett J.R. (ed) *Xylem cell development*. Castle House Publications, Tunbridge Wells, 192-235.
415. Savolainen O., Bokma F., García-Gil M.R., Komulainen P., Repo T. (2004). Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptations of *Pinus sylvestris* to climatic changes. *Forest Ecology and Management*, 197: 79–89.
416. Schermann N., Adams W.T., Aitken S.N., Bastien J.-Ch. (1997). Genetic parameters of stem form traits in a 9-year-old coastal Douglas-fir progeny test in Washington. *Silvae Genetica*, 46 (2-3): 166-170.
417. Schmitt U., Möller R., Eckstein D. (2000). Seasonal wood formation dynamics of beech (*Fagus sylvatica* L.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as determined by the "pinning" technique. *Angewandte Botanik*, 74(1/2): 10-16.
418. Schönrogge K., Crawley M.J. (2000). Quantified webs as means of assessing the impact of alien insects. *Journal of Animal Ecology*, 69: 841-868.
419. Schroeder L.M. (2002). Tree mortality by the bark beetle *Ips typographus* (L.) in storm-disturbed stands. *Integrated Pest Management Reviews*, 6 (3-4): 169-175.
420. Schroeder L.M. (2008). Insect pests and forest biomass for energy. *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy. Managing Forest Ecosystems*, 12: 109-128.
421. Schroeder L.M., Eidmann H.H. (1993). Attacks of bark and wood boring Coleoptera on snow broken conifers over a two-year period. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 8: 257-265.
422. Schueler S., Kapeller S., Konrad H., Geburek T., Mengl M., Bozzano M., Koskela J., Lefevre F., Hubert J., Kraigher H., Longauer R., Olrik D.C. (2012). Adaptive genetic diversity of trees for forest conservation in a future climate: a case study on Norway spruce in Austria. *Biodiversity and Conservation*: 1-16.

- 423.Schulthess F., Chabi-Olaye A., Goergen G. (2001). Seasonal fluctuations of noctuid stemborer egg parasitism in southern Benin with special reference to *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera: Noctuidae) and *Telenomus* spp. (Hymenoptera: Scelionidae) on maize. *Biocontrol Science and Technology*, 11 (6): 745-757.
- 424.Schultz D.M., Geraint V. (2011). Occluded fronts and the occlusion process: A fresh look at conventional wisdom. *American Meteorological Society*, 92: 443–466.
- 425.Schulze E.D., Beck E., Müller-Hohenstein K. (2005). *Plant Ecology. Syndynamics, Synchrony, Synecology*. Berlin, Springer. 465-622.
- 426.Scotti-Saintagne C., Mariette S., Porth I., Goicoechea P.G., Barreneche T., Bodendes C., Burg K., Kremer A. (2004). Genome scanning for interspecific differentiation between two closely related oak species [*Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) Liebl.]. *Genetics*, 168: 1615–1626.
- 427.Seidling W., Ziche D., Beck W. (2012). Climate responses and interrelations of stem increment and crown transparency in Norway spruce, Scots pine, and common beech. *Forest Ecology and Management*, 284: 196-204.
- 428.Seo J.W., Eckstein D., Schmitt U. (2007). The pinning method: from pinning to data preparation. *Dendrochronologia*, 25(2): 79-86.
- 429.Serreze M.C. (2009). Northern hemisphere cyclone locations and characteristics from NCEP/NCAR reanalysis data. Boulder, Colorado, USA: National Snow and Ice Data Center. [skatīts 2013.gada 20.decembrī]. Pieejams: <http://nsidc.org/data/nsidc-0423.html>
- 430.Sformo T.L. (2009). Overwintering physiology of Arctic and subarctic insects from interior Alaska. Disertation. [skatīts 2013. gada 2. decembrī]. Pieejams: <http://udini.proquest.com/view/overwintering-physiology-of-arctic-pqid:1994544311/>
- 431.Shaw M.R., Huddleston T. (1991). Classification and biology of braconid wasps. *Handbooks for the Identification of British Insects*, 7 (11). 126 p.
- 432.Shutyaev A.M., Giertych M. (2000). Genetic subdivisions of the range of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) based on a transcontinental provenance experiment. *Silvae Genetica*, 49: 137–151.
- 433.Simpson G.G., Dean C. (2002). Arabidopsis, the Rosetta stone of flowering time? *Science*, 296: 285–289.
- 434.Singh S.P., Choudhary A.K. (2003). Selection criteria for drought tolerance in Indian mustard Czern Coss. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 63 (3): 263-264.
- 435.Singh T.V.K., Satyanarayana J. (2009). Insect outbreaks and their management. *Integrated Pest Management: Innovation-Development Process*: 331-350.
- 436.Sjors H. (1963). Amphi-Atlantic zonation, Nemoral to Arctic. In: Love A., Love D. (eds.) *North Atlantic biota and their history*. Pergamon press, Oxford. 109–126.
- 437.Skuja Z. (2012). Parastās kļavas *Acer platanoides* L. piemērotība dendroklimatoloģiskiem pētījumiem Latvijā. *Bakalaura darbs, Latvijas Universitāte*. 34 lpp.
- 438.Smelyanets V. (1997). Dynamics of tropical niches of the winter pine shoot moth (*Rhyacionia buoliana* schiff., Lepidoptera: Tortricidae) and response of the protective system of the scots pine to the affection. 1. Dynamics of formation of tropical niches of

- the winter pine shoot moth in stands of the Scots pine. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 30 (5): 409-420.
439. Šmits A. (2005). Meža kaitēkļu savairošanās un bioloģiskās daudzveidības komponentu attīstības dinamika vētras postītās mežaudzēs. Pārskats par līgumdarbu. LVMI Silava. 36 lpp.
 440. Šmits A. (2009). Meža kaitēkļu savairošanās un bioloģiskās daudzveidības komponentu attīstības dinamikas komponentu attīstības dinamikas monitorings. Pārskats par MAF projektu. LVMI Silava. 39 lpp.
 441. Šmits A., Bičevskis M. (1997). Egļu astoņzobu mizgrauzis. Meža Dzīve, 8: 16-20.
 442. Šmits V. (1960). Mizgrauži. Rīga, Latvijas Valsts izdevniecība. 207 lpp.
 443. Snow R. (2005). Continental climate and continentality. Oliver J.E.(ed.) Encyclopedia of World Climatology. 303-305.
 444. Sjøgaard G., Fløistad I.S., Granhus A., Hanssen K.H., Kvaalen H., Skrøppa T., Steffenrem A. (2011). Lammas shoots in spruce - occurrence, genetics and climate. Forest management and silviculture in the north - balancing future needs, Book of abstracts for the conference. [skatīts 2013.gada 20.septembrī]. Pieejams: http://www.skogoglandskap.no/filearchive/lammas_shoots_in_spruce.pdf.
 445. Sork V.L. (1984). Examination of seed dispersal and survival in red oak, *Quercus rubra* (Fagaceae), using metal-tagged acorns. Ecology, 65: 1020–1022.
 446. Splawinski S., Gyakum J.R., Atallah E.H. (2012). The role of anticyclones in replenishing surface cold air and modulating freezing rain duration. McGill Science Undergraduate Research Journal, 7 (1): 54-60.
 447. Srivastava L.M. (1966). On the fine structure of the cambium of *Fraxinus americana* L. The Journal of Cell Biology, 31(1): 79-93.
 448. Stefanescu C., Penula J., Filella I. (2003). Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest of Mediterranean Basin. Global Change Biology, 9: 1494. - 1506.
 449. Stireman J.O., Dyer L.A., Janzen D.H., Singer M.S., Lill J.T., Marquis R.J., Ricklefs R.E., Gentry G.L., Hallwachs W., Coley P.D., Barone J.A., Greeney H.F., Connahs H., Barbosa P., Morais H.C., Diniz R. (2005). Climatic unpredictability and parasitism of caterpillars: Implications of global warming. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102 (48): 4 p.
 450. Sukovata L., Kolk A., Jaworski T., Plewa R. (2012). The risk of pine wilt disease in Poland. Folia Forestalia Polonica, series A, 54 (1): 42-47.
 451. Svenning J.C., Sandel B. (2013). Disequilibrium vegetation dynamics under future climate change. American Journal of Botany, 100: 1266–1286.
 452. Sykes M.T. (2001). Modelling the potential distribution and community dynamics of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex. Loud.) in Scandinavia. Forest Ecology and Management, 141: 69–84.
 453. Sykes M.T., Prentice I.C., Cramer W. (1996). A bioclimatic model for the potential distribution of north European tree species under present and future climates. Journal of Biogeography, 23: 203–233.

454. Tan J.Y., Keith D.W.R., Morgann G. (2010). Flight ability and reproductive development in newly-emerged pine weevil *Hylobius abietis* and the potential effects of climate change. *Agricultural and Forest Entomology*, 12: 427-434. p.
455. Tarmo V., Seppo N., Ari N., Martti V., Pekka N. (1996). Climate change and the risks of *Neodiprion sertifer* outbreaks on Scots pine. *Silva Fennica*, 30 (2 – 3): 169-177.
456. Tauber M.J., Tauber C.A., Masaki S. (1986). Seasonal adaptations of insects. Oxford University Press. 385 p.
457. Taylor P.K., Guymer T.H., Nicholls S., Briscoe M.G., Pollard R.T. (1983). The structure of an atmospheric warm front and its interaction with the boundary layer [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 308: 341-358.
458. Temel F., Adams W.T. (2000). Persistence and age-age genetic correlations of stem defects in coastal douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *Menziesii* (Mirb.) Franco). *Forest Genetics*, 7 (2): 145-153.
459. Temņikova N. (1975). Klimats. Pūriņš V. (red.) Latvijas PSR ģeogrāfija. Zinātne, Rīga, 45–54.
460. Tepper H.B., Hollis C.A. (1967). Mitotic reactivation of the terminal bud and cambium of white ash. *Science*, 156(3782): 1635-1636.
461. Thuiller W. (2003). BIOMOD—optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 9: 1353–1362.
462. Tjoelker M.G., Oleksyn J., Reich P.B., Zytowskiak R. (2008). Coupling of respiration, nitrogen, and sugars underlies con-vergent temperature acclimation in *Pinus banksiana* acrosswide-ranging sites and populations. *Global Change Biology*, 14: 782–797.
463. Toffolo E.P., Bernardinelli I., Stergulc F., Battisti A. (2006). Climate change and expansion of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa*, in northern Italy. IUFRO Working Party 7.03.10 Proceedings of the Workshop, Gmunden, Austria: 331-340.
464. Tomaszewski M., Ruszczak B. (2013). Analysis of frequency of occurrence of weather conditions favouring wet snow adhesion and accretion on overhead power lines in Poland. *Cold Regions Science and Technology*, 85: 102–108.
465. Tong Q., Duchesne I., Belley D., Beaudoin M., Swift E. (2013). Characterization of knots in plantation white spruce. *Wood and Fiber Science*, 45(1): 1-14.
466. Toros H., Deniz A., Incecik S. (2008). Continentality and oceanity indices in Turkey. Twenty-First Annual Conference, PACON 2008, Energy and Climate Change, Innovative Approaches to Solving Today's Problems. Honolulu, Hawaii, USA, June 1-5, 2008. 11 p.
467. Truchan J., Butcher J.W. (1970). Cold hardiness of *Dendrosoter protuberans*. *Journal of Economical Entomology*, 63 (1): 328-330.
468. Tucker C.M., Evert R.F. (1969). Seasonal development of the secondary phloem in *Acer negundo*. *American Journal of Botany*, 56: 275-284.

469. Tullus A., Kupper P., Sellin A., Parts L., Söber J., Tullus T., Lõhmus K., Söber A., Tullus H. (2012). Climate change at northern latitudes: rising atmospheric humidity decreases transpiration, N-uptake and growth rate of hybrid aspen. *PLoS ONE* 7(8): e42648.
470. Turcotte R.M., Elliott T.R., Fajvan M.A., Park Y.L., Snider D.A., Tobin P.C. (2012). Effects of ice storm damage on hardwood survival and growth in Ohio. *Northern Journal of Applied Forestry*, 29(2): 53-59.
471. Valinger E., Lundqvist L., Bondesson L. (1993). Assessing the risk of snow and wind damage from tree physical characteristics. *Forestry*, 66(3): 249-260.
472. van der Schrier G., Briffa K.R., Jones P.D., Osborn T.J. (2006). Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate*, 19: 2818–2834.
473. van Kleunen M., Fischer M. (2005). Constraints on the evolution of adaptive phenotypic plasticity in plants. *New Phytologist*, 166: 49–60.
474. Van Nouhuys S., Lei G. (2004). Parasitoid–host metapopulation dynamics: the causes and consequences of phenological asynchrony. *Journal of Animal Ecology*, 73 (3): 526-535.
475. Venette C., Abrahamson M. (2011). Cold hardiness of emerald ash borer, *Agrilus planipennis*: a new perspective. USDA Forest Service Informative Paper. 5 p.
476. Vēveris A. (1966). Agri un vēlu plaukstošās egles Latvijas PSR mežos. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, 8: 15-21.
477. Vēveris A. (1975). Koksnes blīvuma mainība egļu audzēs. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, 17: 14-18.
478. Vogg G., Heim R., Hansen J., Schafer C., Beck E. (1998). Frost hardening and photosynthetic performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. Seasonal changes in the photosynthetic apparatus and its function. *Planta*, 204: 193-200.
479. Vrška T., Adam D., Hort L., Kolar T., Janik D. (2009). European beech (*Fagus sylvatica* L.) and silver fir (*Abies alba* Mill.) rotation in the Carpathians—A developmental cycle or a linear trend induced by man? *Forest Ecology and Management*, 258: 347–356.
480. Wallner W.E. (1987). Factors affecting insect population dynamics: Differences between outbreak and non-outbreak species. *Annual Review of Entomology*, 32: 317-340.
481. Weber P., Bugmann H., Pluess A.R., Walther L., Rigling A. (2013). Drought response and changing mean sensitivity of European beech close to the dry distribution limit. *Trees*, 27: 171–181.
482. West R.F., Ledig F.T. (1964). Lammas shoot formation in Scots pine. *Proceedings of 11th Northeast. Forest Tree Improvement Conference*, 1963, 21-30.
483. West R.F., Rogers R. (1965). The effect of lammas shoot growth on the stem form of young Scotch pine. Published as a Paper of the Journal Series, New Jersey Agricultural Experiment Station, New Brunswick, New Jersey, 14-20.
484. Wiesmann R., Gasser R. (1950). Five years' experience in the control of *M. melolontha* and observations on its ecology. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten, Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz*, 51 (1-2): 17-37.
485. Wight W. (1933). Radial growth of the xylem and the starch reserves of *Pinus sylvestris*: a preliminary survey. *New Phytologist*, 32(2): 77-96.

486. Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. (1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 201–213.
487. William J.P., Régnière P.J., Worner S. (2007). Risk assessment of the gypsy moth, *Lymantria dispar* (L), in New Zealand based on phenology modelling. *International Journal of Biometeorology*, 51 (4): 295–305.
488. Wilson B.F., Wodzicki T., Zahner R. (1966). Differentiation of cambial derivatives: Proposed terminology. *Forest Science*, 12: 438–440.
489. Wilson J.R.U., Dormontt E.E., Prentis P.J., Lowe A.J., Richardson D.M. (2009). Something in the way you move: dispersal pathways affect invasion success. *Trends in Ecology and Evolution*, 24: 136–144.
490. Wilson R.J., Gutierrez D., Gutierrez J., Martinez D., Agudo R., Monseratt V.J. (2005). Changes to the elevation limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters*, 8: 1138–1146.
491. Wright J.A. Quine C.P. (1993). The use of a Geographical Information System to investigate storm damage to trees at Wykeham Forest North Yorkshire. *Scottish Forestry*, 47(4): 166–174.
492. Xiong J.S. (2010). Genetic analysis of forking defects in loblolly pine. Phd dissertation. Raleigh, North Carolina. 132 p.
493. Yakovlev I.A., Asante D.K., Fossdal C.G., Junttila O., Johnsen Ø. (2011). Differential gene expression related to an epigenetic memory affecting climatic adaptation in Norway spruce. *Plant Science*, 180: 132–139.
494. Yakovlev I.A., Fossdal C.G., Johnsen O. (2010). MicroRNAs, the epigenetic memory and climatic adaptation in Norway spruce. *New Phytologist*, 187: 1154–1169.
495. 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.
496. Yan J.J. (1985). Research on distribution of basicosta whitespotted longicorn in east China. *Journal of North Eastern Forestry College, China*, 13: 62–69.
497. Yang Z.Q., Strazanac J.S., Marsh P.M., van Achterberg C., Choi W.Y. (2005). First recorded parasitoid from China of *Agrilus planipennis*: A new species of *Spathius* (Hymenoptera: Braconidae: Doryctinae). *Annals of the Entomological Society of America*, 98 (5): 636–642.
498. Ying C.C., Yanchuk A.D. (2006). The development of British Columbia's tree seed transfer guidelines: Purpose, concept, methodology, and implementation. *Forest Ecology and Management*, 227: 1–13.
499. Yoshida S. (1984). Chemical and biophysical changes in the plasma membrane during cold acclimation of Mulberry bark cells (*Morus bombycis* Koidz. Cv Goroji). *Plant Physiology*, 76: 257–265.
500. Zajączkowski J. (1991). Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu (Meža noturība pret vēja un sniega ietekmi). Wydawnictwo Świat, Warszawa, 224 p.

501. Zālītis P. (1967). Priedes un egles pieauguma dinamika veģetācijas periodā nosusinātā niedrājā. Disertācija lauksaimniecības zinātņu kandidāta grāda iegūšanai, Latvijas zinātniski pētnieciskais mežsaimniecības problēmu institūts, Rīga, Latvija. 210 lpp.
502. Zālītis P. (2006). Mežkopības priekšnosacījumi. Rīga, "Et cetera". 219 lpp.
503. Zālītis P. (2012). Mežs un ūdens. Salaspils, Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silva”. 356 lpp.
504. Zālītis P., Lībiete Z. (2004). Egļu jaunaudzū augšanas gaitas savdabības āreņos un kūdreņos. Mežzinātne, 13: 21-36.
505. Zerbe S. (2002). Restoration of natural broad-leaved woodland in Central Europe on sites with coniferous forest plantations. Forest Ecology and Management, 167: 27–42.
506. Žiogas A., Juronis V., Sneškiene V., Gabrilavičius R. (2006). Pathological condition of introduced conifers in the forests of south-western and western Lithuania. Baltic Forestry, 12: 234–242.
507. Zobel B.J., Jett J.B. (1995). Genetics of wood production. Berlin etc., Springer. 337 p.
508. Zubizarreta-Gerendiain A., Pellikka P., Garcia-Gonzalo J., Ikonen V., Peltola H. (2012). Factors affecting wind and snow damage of individual trees in a small management unit in Finland: assessment based on inventoried damage and mechanistic modelling. Silva Fennica, 46 (2): 181-196.
509. Zweifel R., Häsler R. (2001). Dynamics of water storage in mature subalpine *Picea abies*: temporal and spatial patterns of change in stem radius. Tree Physiology, 21(9): 561-569.
510. Zweifel R., Zimmermann L., Zeugin F., Newbery D.M. (2006). Intra-annual radial growth and water relations of trees: implications towards a growth mechanism. Journal of Experimental Botany, 57(6): 1445-1459.
511. Роне В. (1975). Межсеме́йный и клоно́вый отбор у ели обыкнове́нной. В кн: Генетические исследования древесных в Латвийской ССР. Зинатне, Рига, 34-44.
512. Синадский Ю.В. (1983). Сосна и её вредители и болезни. Москва, Наука. 324 с.
513. Чертовский В. (1978). Еловые леса европейской части СССР. Лесная промышленность, Москва. 176 с.

Pielikumi

1. pielikums. Meža kaitēkļu un to parazītoīdu bioloģiskie parametri.

Nr. p. k.	Invāzijas rādītājs kaitēklim	Kaitēklis, suga	Kaitējuma videjā savairošanās temperatūra, °C	Kaitējuma būtiskākais parazītoīds	Parazītoīdam optimālā temperatūra, °C	Invāzijas rādītājs parazītoīdam	Kaitēklim specifiskais patogēns	Kaitēklim optimālais cikla periods vasarā, mēneši
1	*	<i>Alica ambiens</i>	27	<i>Parasyrphus nigrirarsis</i>	23	***	<i>Bacillus thuringiensis</i>	4
2	**	<i>Agelastica alni</i>	32	<i>Parasyrphus nigrirarsis</i>	23	***	<i>Bacillus thuringiensis</i>	4
3	**	<i>Fenusa dohrnii</i>	29	<i>Ichneumon spp.</i>	22	***	?	1,5
4	***	<i>Xiphidria camelus</i>	25	<i>Aulacus striatus</i>	20	**	<i>Microspora spp.</i>	7
5	**	<i>Limantria dispar</i>	26	<i>Parasetigena silvestris</i>	23	***	<i>Entomophaga maimaiga</i>	3,5
6	**	<i>Cameraria orchidae</i>	28	<i>Gelis agilis</i>	24	***	<i>Bacillus thuringiensis</i>	3
7	***	<i>Ips typographus</i>	28	<i>Dendrosoter spp.</i>	23	***	<i>Gregarina typographi</i>	2
8	***	<i>Ips minor</i>	23	<i>Dendrosoter spp.</i>	24	***	<i>Gregarina spp.</i>	3
9	***	<i>Hylobius abietis</i>	30	<i>Bracon hylobii</i>	23	***	<i>Heterorhabditis downesi</i>	7
10	***	<i>Bupalus piniarius</i>	27	<i>Steinernema carpocapsae</i>	22	***	<i>Bacillus thuringiensis</i>	2,5
11	**	<i>Foncolombea fraxini</i>	22	?	?	?	<i>Bacillus kurstaki</i>	2
12	***	<i>Neodiprion sertifer</i>	27	<i>Dipriocampe diprioni</i>	23	***	?	7
13	*	<i>Salpnotia salicis</i>	20	<i>Ichneumon spp.</i>	23	***	<i>Bacillus thuringiensis</i>	3
14	***	<i>Pissodes notatus</i>	28	<i>Eubazus semirugosus</i>	24	***	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	7
15	***	<i>Cossus cossus</i>	25	?	?	?	<i>Bacillus thuringiensis</i>	4
16	***	<i>Phymatodes testaceus</i>	27	<i>Helcon tardator</i>	24	**	?	7
17	***	<i>Scolytus ratzeburgi</i>	23	<i>Rhaphitelus ladenbergi</i>	22	*	<i>Gregarina spp.</i>	2,5
18	*	<i>Scolytus multistriatus</i>	24	<i>Spathius benefactor</i>	22	*	?	2,5
19	*	<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	27	<i>Parasetigena silvestris</i>	23	***	<i>Bacillus thuringiensis</i>	3
20	***	<i>Aradus cinnamomeus</i>	25	<i>Telenomus aradi</i>	23	**	?	4
21	***	<i>Xyleborus dispar</i>	22	<i>Neoparasitylenchus amvloerensis</i>	20	**	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	2,5
22	*	<i>Cryphalus piceae</i>	25	?	?	?	<i>Bacillus sp.</i>	2
23	***	<i>Archips crataegana</i>	25	<i>Phytomyptera nitidiventris</i>	22	**	<i>Bacillus kurstaki</i>	2,5
24	***	<i>Laspeyresia pactolana</i>	24	<i>Trichomma emecator</i>	19	***	<i>Bacillus thuringiensis</i>	5
25	***	<i>Melasma populi</i>	24	<i>Schizonotus sieboldi</i>	22	*	<i>Microspora spp.</i>	2,5
26	**	<i>Phalera bucephala</i>	27	?	?	?	<i>Bacillus thuringiensis</i>	3
27	***	<i>Diprion pini</i>	28	<i>Drino inconspicua</i>	24	**	<i>Birdiavirus diprioni</i>	3,5
28	**	<i>Rhyacionia buoliana</i>	25	<i>Exeristes comstockii</i>	23	*	<i>Bacillus kurstaki</i>	2
29	***	<i>Superda carcharias</i>	27	<i>Euderus caudatus</i>	22	**	<i>Microspora spp.</i>	6
30	***	<i>Panolis flammea</i>	26	<i>Rictichneumon pachymerus</i>	23	***	<i>Bacillus kurstaki</i>	4,5
31	***	<i>Melolontha melolontha</i>	25	<i>Dexia rustica</i>	24	***	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	5
32	***	<i>Dendrolimus pini</i>	27	<i>Muscina pabulorum</i>	23	*	<i>Cordyceps militaris</i>	6,5
33	***	<i>Lytta vesicatoria</i>	26	?	?	?	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	3,5
34	***	<i>Anthaxia quadripunctata</i>	27	<i>Atanycolus spp.</i>	22	***	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	4,5
35	***	<i>Phytogenes chalcographus</i>	25	<i>Dinotiscus aponius</i>	21	**	<i>Gregarina spp.</i>	2,5
36	***	<i>Lymantria monacha</i>	25	<i>Parasetigena silvestris</i>	23	***	<i>Bacillus thuringiensis</i>	4
37	*	<i>Anoplophora glabripennis</i>	28	<i>Dastarcus helophoroides</i>	20	*	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	7,5
38	*	<i>Monochamus alternatus</i>	27	<i>Deladenus spp</i>	23	***	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	6,5
39	*	<i>Monochamus carolinensis</i>	26	<i>Deladenus spp</i>	24	***	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	7,5
40	*	<i>Bursaphelenchus xylophilus</i>	27	?	?	?	?	0,5
41	**	<i>Agrilus planipennis</i>	29	<i>Spathius agrili</i>	26	*	<i>Bacillus spp.</i>	7
42	*	<i>Dryocosmus kuriphilus</i>	25	<i>Torymus sinensis</i>	24	*	<i>Fusarium incarnatum-equiseti</i>	3
43	*	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	27	?	?	?	<i>Bacillus thuringiensis</i>	5
44	*	<i>Dendrolimus superans sibiricus</i>	26	<i>Trichogramma dendrolimi</i>	25	*	<i>Bacillus dendrolimus</i>	6

Apzīmējumi:

*** - vietējs jeb allohtons

** - invadēts

* - potenciāli invazīvs

? – nav zināms

Atsauces uz avotiem pēc kārtas numura:

1 – Robinson 2005. 2 – Robinson 2005; 3 – Lynn 2009. 4 – Haris 2009. 5 – William et al. 2007. 6 – Fleming, Volney 1995; Singh, Satyanaryana 2009. 7 – Schroeder 2002. 8 - Schroeder 2002; Battisti 2006; Schroeder 2008. 9 - Lynn 2009; Tan et al. 2010. 10 – Ozols 1985; Fleming, Volney 1995; Mellec et al. 2011. 11 - Singh, Satyanaryana 2009; Kollár et al. 2009. 12 - Ozols 1985; Tarmo et al. 1996. 13 - Lynn 2009; Kollár et al. 2009. 14 - Battisti 2006; Tan et al. 2010. 15 - Singh, Satyanaryana 2009; Battisti 2006. 16 – Raniuss, Janson 2000. 17 - Schroeder 2002; Lombardero et al. 2000; 18 - Schroeder 2002; Singh, Satyanaryana 2009; 19 - Fleming, Volney 1995; Battisti 2006; William et al. 2007. 20 - Battisti 2006; Heliovaara, Vaisanen 1987. 21 - Ozols 1985; Fleming, Volney 1995. 22 - Ozols 1985; Singh, Satyanaryana 2009; Lynn 2009. 23 - Battisti 2006; Kollár et al. 2009; 24 - Ozols 1985; Robinson 2005. 25 - Singh, Satyanaryana 2009; Lynn 2009. 26 - Singh, Satyanaryana 2009; 27 - Ozols 1985; Haris 2009; Augustaitis 2006. 28 – Smelyanets 1997. 29 – Moraal, Akkerhuis 2010. 30 - Ozols 1985; Schroeder 2008; Battisti 2006. 31 - Robinson 2005; Schroeder 2008; Lynn 2009. 32 - Ozols 1985; Schroeder 2008; Singh, Satyanaryana 2009. 33 - Fleming, Volney 1995; Battisti 2006; Moraal, Akkerhuis 2010. 34 – Moretti et al. 2010. 35 - Schroeder 2002. 36 – William et al. 2007. 37 – Hajek et. al. 2008, Kasischke et al. 1995, Moretti et al. 2010, Yan 1985; 38 – Naves et al. 2008, Moretti et al. 2010, Li, Osakovskii 2008; 39. - Naves et al. 2008, Moretti et al. 2010, Li, Osakovskii 2008; 40 – Sukovata et al. 2012; 41 – Venette, Abrahamson 2011; 42 – Aebi et al. 2007; 43 Toffolo et al. 2006; 44 – Anonymous 2005, Buck 2008.

2. pielikums. Meža kaitēkļu un to parazītoīdu bioloģiskie parametri, II

Nr. p. k.	Kaitēklis, suga	Kaitēklim optimālais cikla periods vasarā, mēneši	Kritiskais lietavu perioda ilgums, dienas (kaitēkļiem)	Kaitēkļa būtiskākais parazītoīds	Parazīta optimālais cikla periods vasarā, mēneši	Kritiskais lietavu perioda ilgums, dienas (parazītiem)	Kaitēklim specifiskais patogēns	Patogēnam optimālā savairošanās temperatūra, °C
1	<i>Alica ambiens</i>	4	12	<i>Parasyrphus nigrirarsis</i>	3,5	7	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
2	<i>Agelastica alni</i>	4	14	<i>Parasyrphus nigrirarsis</i>	3,5	7	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
3	<i>Fenusa dohrnii</i>	1,5	9	<i>Ichneumon spp.</i>	2,5	5	?	?
4	<i>Xiphidria camelus</i>	7	18	<i>Aulacus striatus</i>	2	6	<i>Microspora spp.</i>	35
5	<i>Lamantia dispar</i>	3,5	15	<i>Parasetigena silvestris</i>	1,5	8	<i>Entomophaga maimaiga</i>	30
6	<i>Cameraria orhideae</i>	3	14	<i>Gelis agilis</i>	1	7	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
7	<i>Ips typographus</i>	2	10	<i>Dendrosoter spp.</i>	0,5	6	<i>Gregarina typographi</i>	27
8	<i>Ips minor</i>	3	10	<i>Dendrosoter spp.</i>	0,5	6	<i>Gregarina spp.</i>	25
9	<i>Hylobius abietis</i>	7	8	<i>Bracon hylobii</i>	0,5	5	<i>Heterorhabdus downesi</i>	18
10	<i>Bupalus piniarius</i>	2,5	13	<i>Steinernema carpocapsae</i>	0,5	?	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
11	<i>Fonscolombea fraxini</i>	2	9	?	?	?	<i>Bacillus kurstaki</i>	45
12	<i>Neodiprion sertifer</i>	7	15	<i>Diprioncampe diprioni</i>	1,5	7	?	?
13	<i>Salpinctes salicis</i>	3	14	<i>Ichneumon spp.</i>	2,5	5	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
14	<i>Pissodes notatus</i>	7	15	<i>Eubazus semirugosus</i>	1	8	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	38
15	<i>Cossus cossus</i>	4	12	?	?	?	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
16	<i>Phymatodes testaceus</i>	7	13	<i>Helcon tardator</i>	2,5	9	?	?
17	<i>Scolytus ratzeburgi</i>	2,5	10	<i>Rhaphitelus ladenbergi</i>	1	7	<i>Gregarina spp.</i>	25
18	<i>Scolytus multistriatus</i>	2,5	10	<i>Spathius benefactor</i>	1,5	8	?	?
19	<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	3	15	<i>Parasetigena silvestris</i>	1,5	7	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
20	<i>Aradus cinnamomeus</i>	4	13	<i>Telenomus aradi</i>	0,3	6	?	?
21	<i>Xyleborus dispar</i>	2,5	12	<i>Neoparasitlenchus amvlocercus</i>	1	?	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	38
22	<i>Cryphalus piceae</i>	2	14	?	?	?	<i>Bacillus sp.</i>	35
23	<i>Archips crataegana</i>	2,5	15	<i>Phytomyptera nitidiventris</i>	2	8	<i>Bacillus kurstaki</i>	45
24	<i>Laspeyresia pactolana</i>	5	16	<i>Trichomma enecator</i>	3	6	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
25	<i>Melasoma populi</i>	2,5	11	<i>Schizonomus sieboldi</i>	0,5	4	<i>Microspora spp.</i>	35
26	<i>Phalera bucephala</i>	3	12	?	?	?	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
27	<i>Diprion pini</i>	3,5	14	<i>Drino inconspicua</i>	1,5	6	<i>Birdiavirus diprioni</i>	45
28	<i>Rhyacionia buoliana</i>	2	13	<i>Exeristes comstockii</i>	2,5	7	<i>Bacillus kurstaki</i>	45
29	<i>Saperda carcharias</i>	6	7	<i>Enderus caudatus</i>	2	5	<i>Microspora spp.</i>	35
30	<i>Panolis flammea</i>	4,5	9	<i>Rictichneumon pachymerus</i>	3	6	<i>Bacillus kurstaki</i>	45
31	<i>Melolontha melolontha</i>	5	17	<i>Dexia rustica</i>	3,5	8	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	38
32	<i>Dendrolimus pini</i>	6,5	10	<i>Muscina pabulorum</i>	0,5	8	<i>Cordyceps militaris</i>	25
33	<i>Lytta vesicatoria</i>	3,5	13	?	?	?	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	38
34	<i>Anthaxia quadripunctata</i>	4,5	11	<i>Atanycolus spp.</i>	0,5	4	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	38
35	<i>Phytogenes chalcographus</i>	2,5	10	<i>Dinotiscus aponius</i>	2,5	3	<i>Gregarina spp.</i>	25
36	<i>Lymantria monacha</i>	4	15	<i>Parasetigena silvestris</i>	1,5	8	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
37	<i>Anoplophora glabripennis</i>	7,5	15	<i>Dastarcus helophoroides</i>	0,2	16	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	38
38	<i>Monochamus alternatus</i>	6,5	16	<i>Deladenus spp</i>	2,5	?	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	38
39	<i>Monochamus carolinensis</i>	7,5	16	<i>Deladenus spp</i>	2,5	?	<i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i>	38
40	<i>Bursaphelenchus xylophilus</i>	0,5	?	?	?	?	?	?
41	<i>Agrilus planipennis</i>	7	14	<i>Spathius agrili</i>	1,3	8	<i>Bacillus spp.</i>	35
42	<i>Dryocosmus kuriphilus</i>	3	6	<i>Torymus sinensis</i>	2,5	4	<i>Fusarium incarnatum-equiseti</i>	22
43	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	5	13	?	?	?	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40
44	<i>Dendrolimus superans sibiricus</i>	6	9	<i>Trichogramma dendrolimi</i>	0,3	3	<i>Bacillus dendrolimus</i>	30

Atsauces uz avotiēm pēc kārtas numura:

1 – Apple, Joern; Dowden 1939; Fitzgerald 2007. 2 – Andresen 2004; Frouz et al. 2003; Hanski 1977; Liberal et al. 2011. 3 – McManus, Liebhold 2002; Mechi 1999. 4 – Branson 2008; Compton 2000. 5 – Anonimous 2008a; Flanders, Bay 1964; Gomez et al. 2008; Dunphy, Chadwick 1984. 6 – Anonymous 2008b; Anonymous 2001; Harman 1972; Olofsson 1994;. 7 – Wallner 1987; Smith et al. 2007; Moraal 2010. 8 – Kenis et al. 2004; Anonymous 2012; . 9 – Anonymous 2008c; Li et al. 2007. 10 – Miles et al. 2010; Flanders, Bay 1964; Edwards et al. 2002. 11 – Galardo et al. 2009; Flanders, Bay 1964. 12 – Hudson et al. 2012; Anonymous 2011. 13 - Flanders, Bay 1964; Anonymous 2008c. 14 - Flanders, Bay 1964; Morgan 1986. 15 - Flanders, Bay 1964; Tanwar et al. 2010. 16 - Morgan 1986; Compton 2000. 17 - Anonymous 2001; Anonymous 2012; Smith et al. 2007 . 18 – Dowden 1939; Yang et al. 2010; Anonymous 2012. 19 – Adair 2005; Anonymous 2008a; Frouz et al. 2003. 20 – Shaw, Huddleston 1991; Anonymous 2008a. 21 - Morgan 1986; Flanders, Bay 1964; Andersen 2004. 22 - Flanders, Bay 1964; Branson 2008; Wallner 1987. 23 - Flanders, Bay 1964; Edwards et al. 2002; Anonymous 2008b. 24 - Flanders, Bay 1964; Rappaport, Page 1985. 25 – Morgan 1986; Dowden 1939; Jouvenaz, Lofgren 1984. 26 - McManus, Liebhold 2002; Flanders, Bay 1964; Anonymous 2001. 27 - Anonymous 2001; Hudson et al. 2012; Mechi 1999. 28 - Anonymous 2001; Flanders, Bay 1964. 29 – Jouvenaz, Lofgren 1984; Compton 2000. 30 - Flanders, Bay 1964; Shaw, Huddleston 1991. 31 – Walker 1944; Anonymous 2001; Flanders, Bay 1964. 32 – Frouz et al. 2003; O'Hara 2006. 33 – Anonymous 2008a; - Flanders, Bay 1964. 34 - - Flanders, Bay 1964; Rapaport, Page 1985. 35 – Smith et al. 2007; McManus, Liebhold 2002; Shaw, Huddleston 1991. 36 - Anonimous 2008a; Flanders, Bay 1964; Gomez et al. 2008; Dunphy, Chadwick 1984. 37 – Anonymous 2011; Shaw, Huddleston 1991; Anonymous 2012. 38 – Yang 2005; McManus, Liebhold 2002; Flanders, Bay 1964; Anonymous 2008c. 39 - Yang 2005; McManus, Liebhold 2002; Flanders, Bay 1964; Anonymous 2008c; Mechi 1999. 40 – Anonymous 2008a. 41 - Branson 2008; Anonymous 2012; Yang et al. 2010. 42 – Hung et al. 2009; Gibbs et al. 2011; Khoa et al. 2004; Liams et al. 2008. 43 - Gomez et al. 2008; Dunphy, Chadwick 1984. 44 – Thomson et al. 2001; McManus, Liebhold 2002.

3. pielikums. Meža kaitēkļu un to parazītoīdu bioloģiskie parametri, III

Nr. p. k.	Kaitēklis, suga	Kritiskais sausuma perioda ilgums (kaitēkļiem), dienas	Kritiskā salciētība (kaitēkļiem), - °C	Kaitēkļa būtiskākais parazītoīds	Kritiskais sausuma perioda ilgums (parazītoīdiem), dienas	Kritiskā salciētība (parazītoīdiem), - °C
1	<i>Altica ambiens</i>	12	25	<i>Parasyrphus nigrirarsis</i>	6	24
2	<i>Agelastica alni</i>	15	30	<i>Parasyrphus nigrirarsis</i>	6	24
3	<i>Fenusa dohrnii</i>	8	30	<i>Ichneumon spp.</i>	8	20
4	<i>Xiphidria camelus</i>	42	32	<i>Aulacus striatus</i>	5	17
5	<i>Limantria dispar</i>	11	40	<i>Parasetigena silvestris</i>	7	22
6	<i>Cameraria orhidae</i>	7	18	<i>Gelis agilis</i>	3	15
7	<i>Ips typographus</i>	38	45	<i>Dendrosoter spp.</i>	8	20
8	<i>Ips minor</i>	38	40	<i>Dendrosoter spp.</i>	8	20
9	<i>Hyllobius abietis</i>	17	43	<i>Bracon hyllobii</i>	3	20
10	<i>Bupalus piniarius</i>	9	25	<i>Steinernema carpocapsae</i>	12	15
11	<i>Fonscolombea fraxini</i>	6	18	?	?	?
12	<i>Neodiprion sertifer</i>	8	45	<i>Dipriocampe diprioni</i>	5	32
13	<i>Stilpnotia salicis</i>	10	15	<i>Ichneumon spp.</i>	8	20
14	<i>Pissodes notatus</i>	12	24	<i>Eubazus semirugosus</i>	6	25
15	<i>Cossus cossus</i>	9	38	?	?	30
16	<i>Phymatodes testaceus</i>	21	27	<i>Helcon tardator</i>	9	15
17	<i>Scolytus ratzeburgi</i>	38	36	<i>Rhaphitellus ladenbergi</i>	4	28
18	<i>Scolytus multistriatus</i>	35	32	<i>Spathius benefactor</i>	5	17
19	<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	6	20	<i>Parasetigena silvestris</i>	6	22
20	<i>Aradus cinnamomeus</i>	15	35	<i>Telenomus aradi</i>	3	32
21	<i>Xyleborus dispar</i>	30	44	<i>Neoparasitlenchus amvlocercus</i>	4	26
22	<i>Cryphalus piceae</i>	35	37	?	?	?
23	<i>Archips crataegana</i>	5	17	<i>Phytomyptera nitidiventris</i>	5	23
24	<i>Laspeyresia pactolana</i>	7	24	<i>Trichomma enecator</i>	7	20
25	<i>Melasoma populi</i>	16	26	<i>Schizonotus sieboldi</i>	2	24
26	<i>Phalera bucephala</i>	11	28	?	?	?
27	<i>Diprion pini</i>	15	37	<i>Drino inconspicua</i>	6	30
28	<i>Rhyacionia buoliana</i>	8	25	<i>Exeristes comstockii</i>	8	13
29	<i>Saperda carcharias</i>	25	26	<i>Euderus caudatus</i>	2	24
30	<i>Panolis flammea</i>	9	23	<i>Rictichneumon pachymerus</i>	6	20
31	<i>Melolontha melolontha</i>	48	35	<i>Dexia rustica</i>	6	28
32	<i>Dendrolimus pini</i>	10	40	<i>Muscina pabulorum</i>	7	29
33	<i>Lytta vesicatoria</i>	14	17	?	?	?
34	<i>Anthaxia quadripunctata</i>	19	35	<i>Atanycolus spp.</i>	9	20
35	<i>Phytogenes chalcographus</i>	40	39	<i>Dinotiscus aponius</i>	4	30
36	<i>Lymantria monacha</i>	11	36	<i>Parasetigena silvestris</i>	6	22
37	<i>Anoplophora glabripennis</i>	30	38	<i>Dastarcus helophoroides</i>	4	28
38	<i>Monochamus alternatus</i>	35	41	<i>Deladenus spp</i>	5	29
39	<i>Monochamus carolinensis</i>	35	41	<i>Deladenus spp</i>	5	29
40	<i>Bursaphelencus xylophilus</i>	?	?	?	?	?
41	<i>Agrilus planipennis</i>	25	39	<i>Spathius agrili</i>	5	22
42	<i>Dryocosmus kuriphilus</i>	6	15	<i>Torymus sinensis</i>	3	13
43	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	9	23	?	?	?
44	<i>Dendrolimus superans sibiricus</i>	14	38	<i>Trichogramma dendrolimi</i>	2	19

Atsauces uz avotiem pēc kārtas numura:

1 – Gretchen 2005, Klok et al. 2003; 2- Gretchen 2005, Klok et al. 2003; 3 – Allen et al. 2010, Li, Osakovski 2008; 4 - Pakarinen 2011. Andreadis et al. 2013; Van Nouhuys, Lei 2004; 5 – Denlinger et al. 2005; 6 – Langer, Hance 2000; 7 – Truchan, Butcher 1970, Jones et al. 2004, Lombardero et al. 2000, Christiansen, Bakke 1997; 8 - Jones et al. 2004, Lombardero et al. 2000, Haeussler, Coates 1986; 9 – Carillo et al. 2005, Klok, Chown 2003, Luik, Voolma 1989; 10 – Ali, Wharton 2013, Papadopoulos et al. 2001, Rivers et al. 2000, Mattson, Haack 1987; 11 - Mattson, Haack 1987; 12 – Austara 1971; 13 – Gregg 1993, Meshkova 2009; 14 – Blunck 1950, Hulme et al. 1986, Schulthess et al. 2001, Luik, Voolma 1989; 15 – Leather et al. 1995, Bale, Hayward 2010; 16 - Leather et al. 1995, Bale, Hayward, 2010; Tauber et al. 1986; 17 - Jones et al. 2004, Lombardero et al. 2000; 18 - Lombardero et al. 2000, Luik 1986; 19 – Grinnan et al. 2013, Sformo 2009; 20 – Heliovaara, Vaisanen 1987, Roualt et al 2006; 21 – Humble 2006; 22 - Lombardero et al. 2000, Jovanovic et al. 2006; 23 – Tauber et al. 1986, Humble 2006; 24 – Morewood, Lange 1997; Giuggiola et al. 2010; 25 - La Spina et al. 2010; 26 - Tauber et al. 1986, Roualt et al 2006; 27 – Rundle, Hoffman 2003, Langer, Hance 2000; 28 - Humble 2006, Tauber et al. 1986, Green 1962; 29 - Humble 2006, Tauber et al. 1986; 30 - Green 1962, Leather et al. 1995; 31 – Wiesmann, Gasser 1950, Jovanovic et al. 2006; 32 – Han et al. 2008, Sigh, Choudhary 2003; 33 – Singh, Choudhary 2003; Jovanovic et al. 2006; 34 – Sformo 2009, Tauber et al. 1986; 35 - Leather et al. 1995; 36 - Denlinger et al. 2005, Tauber et al. 1986; 37 - Jianrong 2005, Tauber et al. 1986, Grinnan et al 2013; 38 – Ma et al 2006, Tauber et al. 1986, Grinnan et al 2013; 39 - Ma et al 2006, Tauber et al. 1986, Grinnan et al 2013; 41 – Coleman, Seybold 2011, Venette, Abrahamson 2011; 42 – Nazemi et al. 2008, Grinnan et al 2013; 43 – Hoch et al. 2009, Grinnan et al 2013, Leather et al. 1995; 44 – Han et al. 2008, Grinnan et al 2013, Leather et al. 1995, Rundle, Hoffman 2003.