



Par projekta

“Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām”

darba uzdevumu izpildi

Projekta vadītājs, LVMI Silava:



Salaspils, 2015

KOPSAVILKUMS

Globālās sasilšanas ietekmē Latvijas teritorijā koku augšanai piemēroti meteoroloģiskie apstākļi iestāsies aizvien agrāk pavasarī un saglabāsies ilgāk rudenī, tādēļ veģetācijas periods, kas šobrīd ir 180-200 dienas, līdz gadsimta beigām pieaugs par 35 līdz 80 dienām un nozīmīgi (līdz pat divām reizēm) palielināsies aktīvo temperatūru summa. Saglabāsies vai nedaudz pieaugs kopējais nokrišņu apjoms, bet ievērojami mainīsies to sadalījums: sagaidāms sausuma periods (īpaši tādu, kas garāki par 5-7 diennaktīm) biežuma pieaugums. Tāpat paredzams vētru biežuma pieaugums un nav prognozējams, ka samazināsies sasalstoša lietus apjoms vai gadījumu biežums. Pētījuma mērķis bija analizēt, kā šīs prognozētās izmaiņas ietekmēs koku saglabāšanos, augšanu un mijiedarbību ar citiem dzīvajiem organismiem.

Klimata-augšanas saiknes modeļu rezultāti liecina par kopumā pozitīvu prognozēto izmaiņu ietekmi uz koku augšanu, paredzot lielāko papildus krāju priedei (ciršanas vecumā par 30% Latvijas austrumu un par 19% - rietumu daļā), mazāku, tomēr ievērojamu arī eglei (21%) un bērzam (9%). Līdzīgi matemātiskie modeļi, kas izveidoti koku gadskārtu platumu mainības prognozēšanai, liecina, ka priedei nākotnes klimatā 50–90 gadus veciem kokiem gadskārtu platums 21. gs. vidū un beigās Latvijas rietumu daļā varētu pieaugt, taču eglei – saglabāties līdzīgs pašreizējam. Sagaidāms, ka abām skujkoku sugām palielināsies gadskārtu platuma variācijas amplitūda. Lapu kokiem nākotnes klimatiskajos apstākļos galvenokārt prognozējams neliels gadskārtu platuma pieaugums. Pēc līdzīga principa izveidoti augstuma pieauguma modeļi priedei liecina, ka nākotnes klimatā tā palielināšanos Latvijas rietumu daļā galvenokārt noteiks iepriekšējā gada pavasara un vasaras temperatūra, austrumu daļā – kārtējā gada vasaras un iepriekšējā gada vasaras beigu (augusta) nokrišņu apjoms. Jaunaudzes (I vecumklase) vecumā, labvēlīgos klimatiskajos un mikrovides (veikta agrotehniskā kopšana, novēršot veģetācijas konkurenci; meliorācijas sistēmu uzturēšana) apstākļos sagaidāma papildus augstuma pieauguma veģetācijas perioda otrajā pusē veidošanās, kas palielinās kopējo koku augstumu par ~15%, neatstājot (ciktāl iespējams konstatēt šī brīža klimatiskajos apstākļos) nozīmīgu paliekošu negatīvu ietekmi uz stumbra kvalitāti.

Atjaunošanās un augšanas gaitas, kā arī meteoroloģisko faktoru ietekmes uz gadskārtu platumu dižskābardim un sarkanajam ozolam vērtējums, kas neatšķirās no vietējām skuju koku sugām, liecina par esošo un vēl jo vairāk nākotnē prognozēto klimatisko apstākļu piemērotību plašākai audzēšanai, ietverot šīs koku sugas meža apsaimniekošanas risku mazināšanas stratēģijā.

Nozīmīgākie riski klimata izmaiņu kontekstā saistīti ar vēja un dendrofāgo kukaiņu ietekmes izmaiņām. Lai mazinātu vēja bojājumu varbūtību un apjomu, rekomendējams veicināt koku individuālās stabilitātes (vēja noturības) veidošanos, savlaicīgi veicot audzes retināšanu; precīzi ievērot ciršanas plānošanas principus; vēja apdraudētākajā reģionā – Dienvidkurzemē – neveidot lielus vienlaidus egļu masīvus un, kur iespējams, īstenot tādu apsaimniekošanas režīmu, kas orientēts uz ciršanu pēc mērķa caurmēra. Savlaicīga retināšana, veicinot koku individuālo stabilitāti un nodrošinot iespējami simetrisku to vainagu, ir nozīmīgākā iespēja samazināt koku bojājumus arī sasalstoša lietus ietekmē. To rekomendējams ņemt vērā meža apsaimniekošanā īpaši Latvijas austrumu daļā, jo nav sagaidāms, ka klimata izmaiņu ietekmē šī lokālā meteoroloģiskā notikuma varbūtība samazināsies. Ņemot vērā, ka Latvijas mežsaimniecībai nozīmīgākajiem dendrofāgiem (egļu astoņzobu mizgrauzis, egļu mūķene, priežu parastā zāglapsene u.c.) prognozējams savairošanās platību apjoma pieaugums ilgstošā laika

periodā, rekomendējama meža kaitēkļu sugu monitoringa pamatprogrammas paplašināšana (ietverot vairāk sugu), nodrošinot iespējas savlaicīgi prognozēt to savairošanos, kā arī (vērtējot pieredzi ar egļu bruņuts savairošanos) aktīvāka informācijas apmaiņa ar kaimiņvalstu meža entomologiem, savlaicīgi prognozējot iespējamu kaitēkļu masveida savairošanos. Dendrofāgu sugām nozīmīgākie dabiskie ienaidnieki ir putni, tādēļ rekomendējama putnu būru izvietošana, īpaši – paaugstināta noteiktas kaitēkļu sugas savairošanās riska platībās. Detalizēta egļu bruņuts ietekmēto audžu un koku vērtēšana apstiprina (un kvantificē) vispārīgo sakarību, 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. Tāpat pastiprinās jau citu faktoru analīzē konstatētais, ka riskam visvairāk pakļautajos meža tipos (šaurlapju un platlapju kūdreņos un āreņos) jāorientējas uz egļu mežaudzēm ar īsu apriti, t.i., galveno cirti jāplāno pēc mērķa caurmēra.

Veicot ugunsbīstamības analīzi, konstatēts, ka to lielā mērā determinējošā augsnes virskārtas mitruma (visu 3 analizēto slāņu: no nobirām līdz 10 cm dziļumam) svārstības bija saistītas ar meža tipu grupu (meža tipiem, kas ietverti vienā ugunsbīstamības klasē), nevis audzes vecumu. Augtākās korelācijas ar šo slāņu mitrumu bija Kanādas uguns laika apstākļu indeksam. Veicot vēsturisko ugunsgrēku datu analīzi, konstatēts, ka ugunsgrēka izcelšanās varbūtība dienās, kad šī indeksa vērtība liecina par zemu ugunsbīstamību, ir 6 reizes mazāka, bet dienās, kad par ekstrēmi augstu – 11 reizes lielāka, nekā pieņemot, ka ugunsgrēka izcelšanās varbūtība būtu neatkarīga no meteoapstākļiem. Konstatēts, ka Latvijas teritorijas lielākajā daļā pagājušā gadsimta vidū – šī gadsimta sākumā vidēji bija no 5 līdz 15 dienām gadā, kad Kanādas uguns laika apstākļu indeksa vērtība pārsniedza 17 (ļoti augsta ugunsbīstamība), taču klimata izmaiņu prognozes liecina, ka šādu dienu skaits nākotnē palielināsies, sasniedzot 30-50 dienas gadā. Tādēļ rekomendējams saglabāt un palielināt investīcijas infrastruktūrā, kas būtiska ugunsgrēku identificēšanai un dzēšanai.

Detalizēta informācija par projekta rezultātiem pieejama pārskatos a/s Latvijas valsts meži un LVMI Silava mājas lapās.

Projekta galvenie izpildītāji: U. Neimane, J. Donis, A. Lazdiņš, T. Gaitnieks, U. Bethers, D.R. Matisons, O. Krišāns, E. Bāders, G. Šņepsts, I. Siliņš, L. Puriņa, S. Zurkova

Saturs

1. Prognozētās klimata pārmaiņas, to ietekme uz koku augšanu	5
2. Abiotisko faktoru ietekme – vējš	8
3. Abiotisko faktoru ietekme – uguns	13
4. Abiotisko faktoru ietekme – sasalstošs lietus	19
5. Biotisko faktoru ietekme – dendrofāgie kukaiņi un slimības	22
6. Koku pieauguma izmaiņas saistībā ar klimata pārmaiņām	30
7. Koku sugu izplatības izmaiņas, introducenti	36
8. Meža atjaunošana klimata izmaiņu kontekstā	40
9. Analizēto klimata ietekmju uz koku sugām apkopojums	45
10. Pētījuma rezultātu publicēšana un turpmākās aktivitātes	47
Izmantotā literatūra.....	49

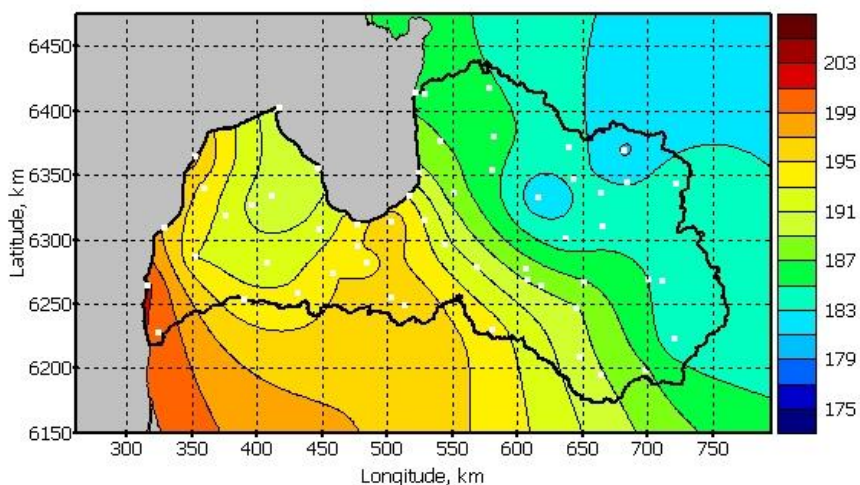
1. Prognozētās klimata pārmaiņas, to ietekme uz koku augšanu

Klimats ir viens no galvenajiem faktoriem, kas nosaka veģetācijas attīstību, t. sk., kokaugu izplatību un ražību (Sykes, Prentice, 1996; Thuiller, 2004; Walther et al., 2002).

Klimata izmaiņu scenāriji šim gadsimtam rāda, ka gada vidējā temperatūra Latvijā pieaugs visās sezonās. Pēc sabalansēta tipa attīstības scenārija (A1B) vidēju klimata izmaiņu gadījumā temperatūra pieaugs 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 tas nozīmē, ka aktīvo temperatūru summa (diennakts vidējo temperatūru >10 °C summa), kas šobrīd ir vidēji 600–720 °C, palielināsies par 780–900 °C. 21.gs. beigās, salīdzinot ar mūsdienām, Eiropas ziemeļu daļā un Baltijas jūras reģionā gada vidējā gaisa temperatūra pieaugs vidēji par 3,2 °C, bet gada nokrišņu summa palielināsies par 9%.

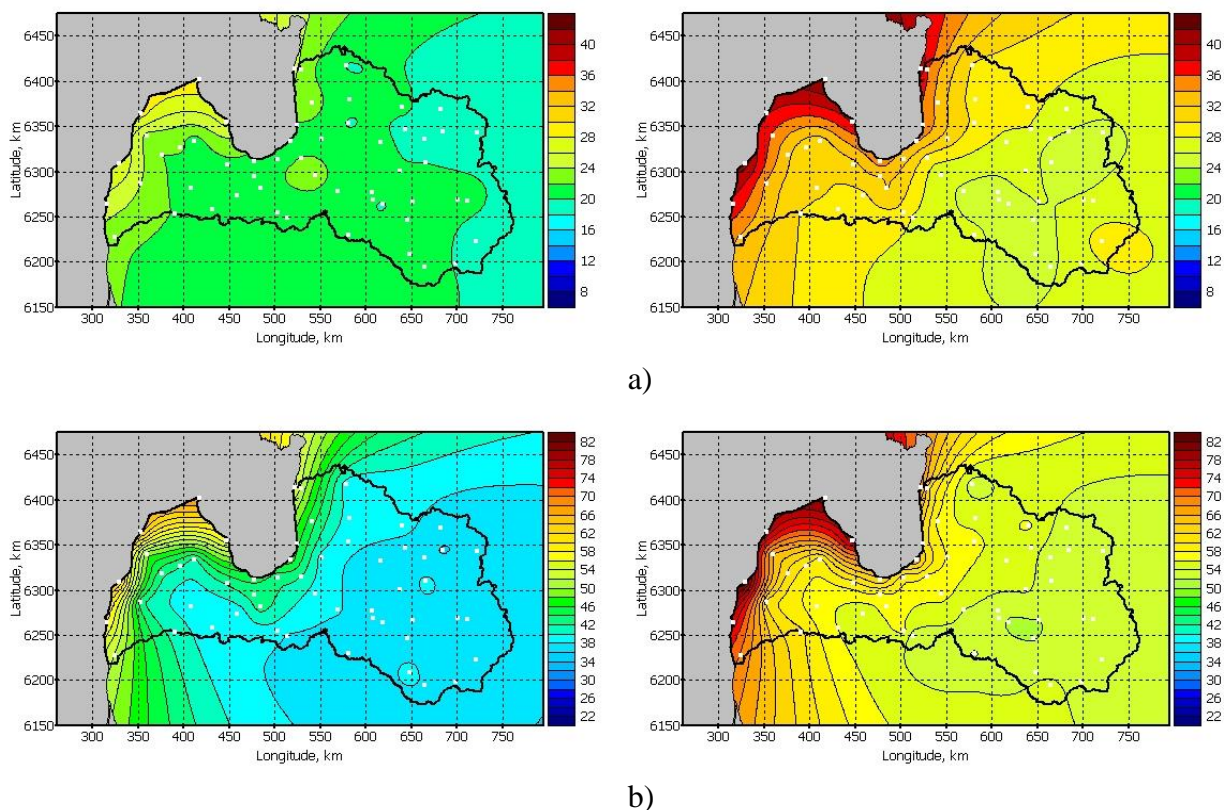
Veģetācijas perioda garums uzskatāms par vienu no nozīmīgākajiem rādītājiem, kas ietekmē mežaudžu produktivitāti. Tiek prognozēts, ka veģetācijas periods, kas šobrīd ir 180–200 dienas, līdz gadsimta beigām pieaugs par 35–62 dienām vidēju klimata izmaiņu gadījumā un par 50–80 dienām krasu klimata izmaiņu gadījumā. Veģetācijas periods sāksies (vidējā temperatūra 5 diennaktis pēc kārtas pārsniegs +5 °C) attiecīgi par 15–30 līdz 25–45 dienām agrāk pavasarī. Visiem scenārijiem un laika periodiem sagaidāms lielāks veģetācijas perioda garums un agrāka veģetācijas perioda sākšanās, turklāt lielākās izmaiņas būs Baltijas jūras un Rīgas jūras līča piekrastē, Kurzemes ziemeļos. Prognozēts, ka vēlākās pavasara salnas iestāsies agrāk un pirmās rudens salnas iestāsies vēlāk visā Latvijā, it īpaši Rīgas jūras līča piekrastē.

Veģetācijas perioda garuma ģeotelpiskais sadalījums mūsdienu (references) klimatam (1961-1990) parādīts 1.1.attēlā.



1.1. attēls. Veģetācijas perioda garums (dienās) references periodā 1961-1990.

Sagaidāmais veģetācijas perioda garuma pieaugums tuvajā nākotnē (2021-2050) un tālajā nākotnē (2071-2100) vidējo un nozīmīgo klimata izmaiņu scenāriju gadījumā raksturots 1.2.attēlā.



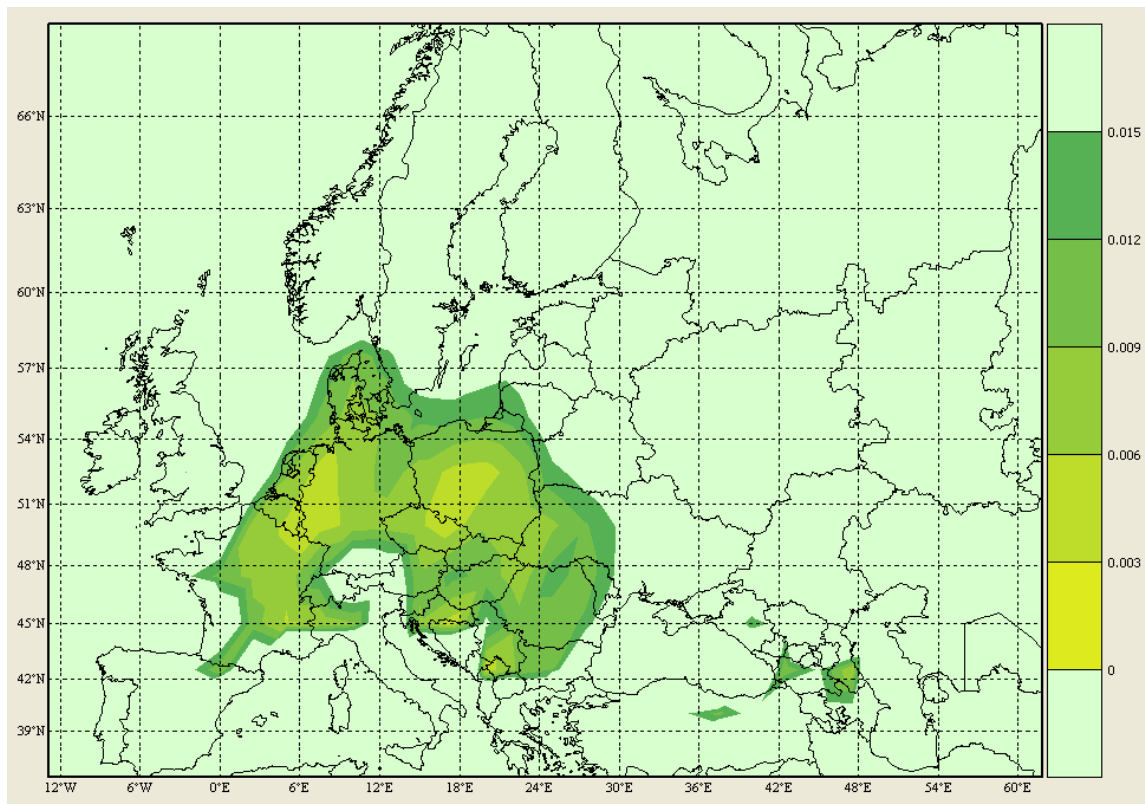
1.2. attēls. Veģetācijas perioda garuma pieaugums (dienās) tuvajā nākotnē (a) un tālajā nākotnē (b) vidējo un nozīmīgo izmaiņu scenārijiem.

Veģetācijas perioda garums nosaka gan to, kādu koku sugu augšanai/audzēšanai konkrētā vieta ir piemērota (Krauklis, Zariņa, 2002), gan arī, kādas proveniencas, klonus konkrētajā vietā ieteicams izmantot. Augstāka ražība vienmēr būs tiem kokiem, kas spēj optimāli izmantot visu pieejamo veģetācijas perioda garumu. Par evolūcijas procesā notiekošu piemērošanos noteiktam veģetācijas perioda garumam liecina provenienču eksperimenti, kuros vienā stādījumā tiek salīdzināta atšķirīgos vides apstākļos iegūtu sēkļu pēcnācēju augšana. Koki, kuru izaudzēšanai sēklas iegūtas mežaudzēs, kas atradušās uz ziemeļiem no eksperimentālā stādījuma vietas, rudenī beidz augt agrāk nekā koki, kuru sēklas iegūtas no dienvidu populācijām, tātad ziemeļu provenienču pēcnācēji veido audzes ar salīdzinoši zemāku produktivitāti. Vēl spilgtāk tas izpaužas klonu līmenī, piemēram, apšu hibrīdiem – paši ātraudzīgākie kloni Somijā nav starp labākajiem Latvijā vai Polijā.

Mainoties klimatam, notiek izmaiņas meža ekosistēmās – gan esošo sugu produktivitātē, gan sugu sastāvā (Harrison et al., 2006; Kullman, 2008, Lindner et al., 2010). Vairums bioklimatisko modeļu paredz, ka tuvāko 60 gadu laikā nemorālo sugu izplatības areāli paplašināsies uz ziemeļiem, „izspiežot” ziemeļu sugas (Reich, Oleksyn, 2008), tātad tuvākajās desmitgadēs notiks dabiska sugu kompleksa nomaiņa. Tādu sugu, provenienču, kā arī hibrīdu, kuri ir potenciāli vispiemērotākie augšanai nākotnes klimatiskajos apstākļos, izmantošana ir uzskatāma par vienu no veidiem, kā saglabāt un paaugstināt mežaudžu produktivitāti un vērtību (Bright et al., 2014; Burton, 2011).

Klimata izmaiņu modelēšanas ietvaros, izveidojot klimatisko apstākļu novirzes funkciju, definētas vietas Eiropā, kurās jau šobrīd klimats atbilst Latvijā nākotnē prognozētajam (1.3.att.). Konstatēts, ka Latvijas tuvās nākotnes klimatam līdzīgi apstākļi ir Polijas austrumu un centrālajā daļā, Lietuvā, Baltkrievijas rietumdaļā,

Ukrainas ziemeļrietumu un Zviedrijas dienvidrietumu daļās, bet Latvijas tālās nākotnes klimam līdzīgi apstākļi – divos ģeotelpiski atdalītos apgabalos: 1) Polijas centrālajā un dienvidu daļā; 2) Vācijas rietumu daļā un Luksemburgā, Nīderlandes un Beļģijas dienvidaustrumu reģionos.



mazāka novirze apzīmē reģionu, kura klimats tuvāks Latvijā nākotnē prognozētajam

1.3. attēls. Latvijas nākotnē prognozētajam klimam līdzīgie reģioni atbilstoši klimatisko apstākļu novirzei.

Lai pārliecinātos par Latvijas nākotnes klimam līdzīgo reģionu izvēles atbilstību, tika novērtēts, vai identificētajos reģionos novērojamas arī līdzīgas koku atbildes reakcijas uz klimata izmaiņām vēsturiskā periodā. Fenoloģiskie rādītāji Latvijā salīdzināti ar datiem no Vācijas ziemeļu-ziemeļaustrumu daļā pieejamajām fenoloģisko novērojumu stacijām/punktiem. Fenoloģiskie dati tika salīdzināti divām sugām – parastajai lazdai (*Corylus avellana*) un āra bērzam (*Betula pendula*) divos periodos: 20.gs. 60-tie gadi un 90-tie gadi.

Definētajos reģionos kopumā konstatētas līdzīgas koku fenoloģisko procesu vēsturisko izmaiņu tendences kā Latvijas teritorijā. Latvijā fenoloģiskās fāzes pavasarī varētu iestāties aptuveni mēnesi agrāk, vasaras fāzēm izmaiņas varētu būt mazākas, bet ar lielām reģionālām un lokālām variācijām.

2. Abiotisko faktoru ietekme – vējš

Projekta ietvaros vērtētas abiotisko faktoru (vēja, uguns un sasalstoša lietus) parametru un to ietekmes uz mežaudzēm iespējamās izmaiņas nākotnē. Vairākums klimata modeļu neliecina par vēja ātruma palielināšanos, tomēr tiek prognozēts vētru biežuma pieaugums un nozīmīga to ietekmes uz mežaudzēm (vētru radīto bojājumu) apjoma palielināšanās (Seidl et al., 2014). Vētru radītie finansiālie zaudējumi ir īpaši būtiski vidēja vecuma audzēs un briestaudzēs, kuru kuru vērtība, nocērtot tās vētras bojājumu dēļ, ir zema, un koku pieaugums var nodrošināt nozīmīgu krājas, dimensiju un vērtības palielināšanos.

Latvijā būtiskākie ir ārpustropisko ciklonu vēji (Quine, Gardiner, 2007) un negaisa vētras. Ārpustropisko ciklonu vēji aptver platību pat līdz 4000 km diametrā, to pastāvēšanas ilgums vienā vietā ir apmēram 3 diennaktis; šo vēju atgriešanās varbūtība lielākā mērogā ir vairāk vai mazāk paredzama. Negaisa vētras Latvijā ir aktuālas vasarā, to skartā platība mērāma desmitos kilometru un pastāvēšanas ilgums vienā vietā ir līdz 30 minūtēm (Quine, Gardiner, 2007). Ievērojami retāk, bet sastopami arī t.s. virpuļviesuļi (tornado). Spēcīgākie vēji visbiežāk ir rudens un ziemas periodā (Quine et al., 1995).

Vētras iedarbību uz kokiem nosaka tas, ka zemes virsmas tuvumā berzes rezultātā vējš ir turbulents, un, jo virsma ir nelīdzena (piemēram, meža vainagu klājs salīdzinājumā ar atklātu vietu), jo turbulence lielāka. Turbulence ir „organizēta” saskaņotās brāzmās, kas pārvietojas pāri mežam lielos attālumos, un katra brāzma veidojas no strauja vēja ātruma pieauguma līdz ar lejupejošu gaisa plūsmu vainagu klājā. Tieši brāzmas ir galvenais meža bojājuma cēlonis, jo to spēks var pat līdz 10 reizēm pārsniegt vidējā vēja ātruma spēku (Quine et al., 1995). Vētras laikā uz mežaudzi visbiežāk iedarbojas vairākas secīgas vēja brāzmas, mainot situāciju audzē un tās noturību (piemēram, ja pirmā brāzma nolauž atsevišķus kokus, tad nākamajām tiek atsegti koki, kuri pirmās brāzmas iedarbībai bija ievērojami mazāk pakļauti). Izmaiņas veģetācijas struktūrā vai tās augstumā var radīt papildus turbulenci un vēja paātrinājumu, līdz ar to palielinot postījumu apjomu.

Individuālam kokam vēja radīta bojājuma iespējamību galvenokārt nosaka tā augstums un caurmērs, stumbra forma (raukums), vainaga izmēri, kā arī sakņu sistēmas dziļums un aizņemtā platība (Hedden et al., 1995; Kellomäki, 1993; Quine et al., 1995; Peltola, Peltola et al., 1997; Stathers et al., 1994; Wood, 1995). Nozīmīga loma ir arī sakņu sistēmas vitalitātei – sakņu trupe ievērojami pazemina sakņu izturību. Koka sakņu sistēmas parametri atkarīgi gan no koka sugas, vecuma, audzes biezuma, gan tās attīstību ierobežojošajiem faktoriem, kā nepietiekams skābekļa daudzums un cieti augsnes slāņi (ortšteins). Koku noturību pret vēju nozīmīgi ietekmē arī to augšanas vieta: pat pie vienādiem virszemes daļas parametriem vējam augšanas laikā (vēsturiski) vairāk pakļautie koki būs noturīgāki nekā vietās ar mazāku vēja ietekmi augušie.

Vēja bojājumu pakāpi audzes līmenī galvenokārt ietekmē audzes augstums (īpaši tā starpība ar apkārtējās virsmas augstumu) un biežība (Gardiner, Stacey, 1996; Quine, Gardiner, 2007), kā arī koku sugu sastāvs. Katrai sugai ir atšķirīgi aerodinamiskie parametri, kas var radīt papildus turbulenci un tādējādi ietekmēt vēja bojājumu pakāpi. Nozīmīga ietekme ir arī mežsaimnieciskajiem pasākumiem (retināšana, atzarošana, mežmalu veidošana, nosusināšana). Retināšana ir viens no faktoriem, kas īslaicīgi (3-5 gadu periodā) pazemina kokaudžu noturību (Ērglis, 1977; Quine, 1995; Quine et al.,

1995; Brüchert et al., 2000). Izveidojot atvērums vainagu klājā kopšanas cirtēs, tiek palielināta vēja slodze uz individuālu koku. Līdzīgā veidā lapu koku piemistrojums skuju koku audzē ziemas vētrās palielina vēja slodzi uz skuju kokiem, radot atvērums audzes vainagu klājā, tādēļ atsevišķos gadījumos mistrotas audzes ir mazāk vētru noturīgas nekā tīraudzes (Ērglis, 1977).

Klimata izmaiņas var ietekmēt vēja bojājumus mežos ne tikai tieši (palielinoties vētru biežumam), bet arī netieši, palielinoties veģetācijas perioda garumam un veidojoties situācijai, kad vairāk vētru notiek:

1) periodā, kad lapu kokiem vēl ir lapas, tādējādi nozīmīgi palielinot to vainaga laukumu un vēja iedarbības spēku;

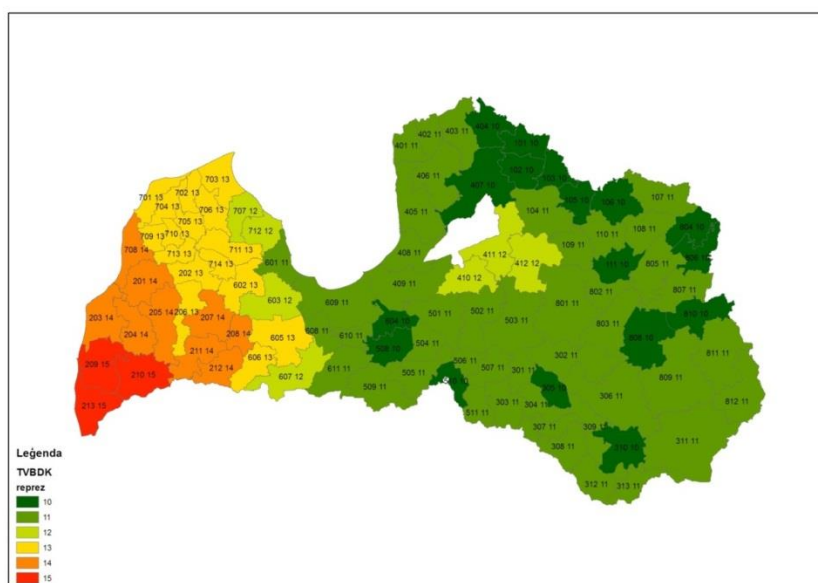
2) periodā, kad augsne nav sasalusi (un ir slapja), tādējādi nozīmīgi samazinot sakņu sasaisti ar augsni un koka noturību pret izgāšanu.

Tāpat nokrišņu sadalījuma izmaiņas un augstāka gaisa temperatūra var biežāk izraisīt situāciju, kad vētras (vēja) ietekme kombinējas ar slapja sniega ietekmi. Slapjš sniegs var ievērojami (pat vairākas reizes) palielināt koku vainaga masu un tādējādi paaugstināt bojājumu varbūtību (Peltola et al., 1997).

Teritorijas, kur reģiona (valsts) ietvaros ir stiprākie vēji, nosaka topogrāfiskie apstākļi, un tās ir iespējams identificēt. Šim nolūkam izmantota *teritorijas vēja bojājumu draudu klasifikācija* (TVBDK) – modelis, kas paredzēts, lai prognozētu vēja radīto bojājumu draudus vidēja vai ilgtermiņa plānošanai (Quine, White, 1993). 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*).

Aprēķinot teritoriju vēja bojājumu draudu klašu sadalījumu pa LVM kvartālu apgabaliem (2.1.att.), redzams, ka visaugstākais vēja bojājumu risks pastāv Dienvidkurzemes un Ziemeļkurzemes mežsaimniecībās.



2.1. attēls. TVBDK vidējās vērtības LVM kvartālu apgabalos.
Pirmais skaitlis – kvartālu apgabala Nr., otrais – TVBDK vērtība.

Ekstrēmo vērtību noteikšanai visbiežāk tiek lietots Veibula vai Gumbela sadalījums (Quine, Gardiner, 2007; Blennow, Salnās, 2004), un izvēlēta (noteikta) vēja ātruma ikgadējo varbūtību kādā teritorijā iespējams aprēķināt ar formulu (2.1):

$$V_{varb} = (b1 \times x^{b1}) \div (b3^{b2} + x^{b2}) \quad (2.1.)$$

kur

x- izvēlētais (noteikts) vēja ātrums m s⁻¹,

b1, b2, b3 - koeficienti (2.1.tab.).

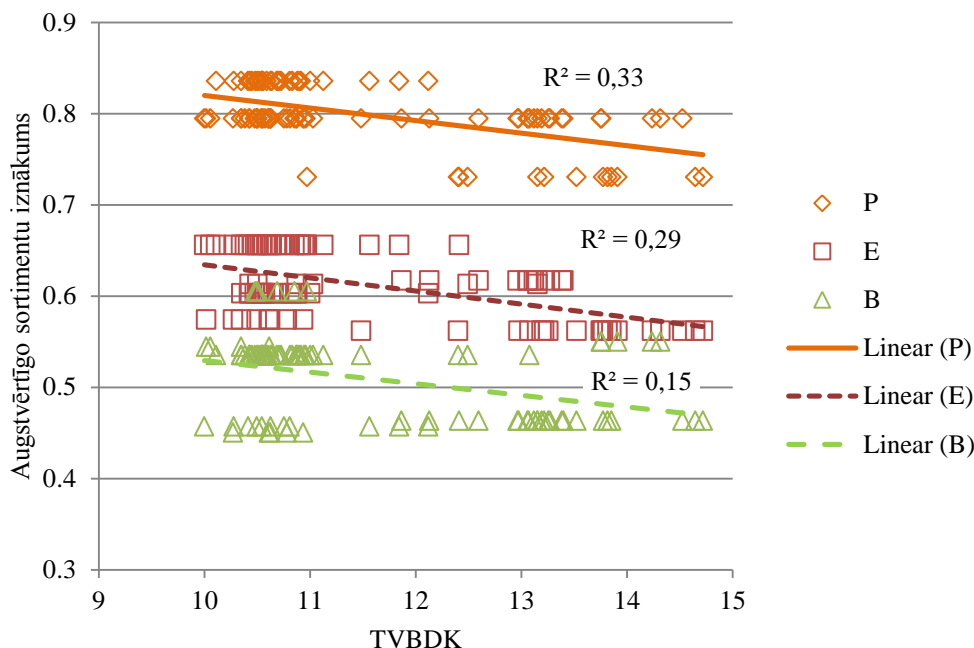
2.1. tabula

Vēja ātruma ikgadējās varbūtības noteikšanas formulas koeficienti

TVBDK	Parametrs	Vērtība	TVBDK	Parametrs	Vērtība
10	b1	100,000	13	b1	100,000
	b2	-11,563		b2	-11,722
	b3	11,310		b3	14,644
11	b1	100,000	14	b1	100,000
	b2	-12,406		b2	-10,432
	b3	12,267		b3	15,881
12	b1	100,000	15	b1	100,000
	b2	-12,546		b2	-12,345
	b3	13,705		b3	17,117

Izmantojot iegūto rezultātu, jāņem vērā, ka TVBDK vērtības ir attiecināmas uz noteiktu, pietiekami plašu teritoriju reģiona ietvaros, bet ne obligāti uz katru individuālu audzi vai nelielu teritorijas daļu. Piemēram, arī Dienvidkurzemes mežsaimniecībā, kurā ir augstākās TVBDK vērtības, ir sastopamas t.s. “aizvēja salas”, kur vēja bojājumu varbūtība būs ievērojami zemāka. Tāpat jāatceras, ka varbūtība (piemēram, reizi 20 gados) nav tas pats, kas atkārtotāšanās periods (katru divdesmito gadu), un vētra konkrētā gadā nemaina tikpat spēcīgas vētras atkārtotāšanās varbūtību jau nākamajā gadā (Quine et al., 1995).

Ilgstošā laika periodā kumulatīvo vēja bojājumu ietekmi iespējams raksturot, izmantojot augstvērtīgo sortimentu iznākumu pieaugušās audzēs. Šis rādītājs ir atkarīgs no audžu veidojošo koku dimensijām un kopējās audžu krājas ciršanas vecumā, ko, savukārt determinē gan augtenes auglība (meža tips, bonitāte), gan augšanas laikā veiktā saimnieciskā darbība un dabiskie traucējumi, visnozīmīgāk – vējgāzes. Vēja ietekme pazemina audžu dzīvo koku kopējo krāju gan tieši – kokus izgāžot, gan netieši: 1) novājinot izdzīvojušos kokus (lai arī koks netiek izgāzts vai nolauzts, tam tiek pārrauta daļa sakņu); 2) paaugstinot koku uzņēmību pret sakņu trupi; 3) palielinot dendrofāgo kukaiņu, piemēram, egļu astoņzobu mizgrauža, radītos koku bojājumus. Izmantojot LVM datus par augstvērtīgo sortimentu iznākumu kvartālu apgabalos triju saimnieciski nozīmīgāko koku sugu pieaugušās audzēs, izdalītas trīs zonas, kurās šis rādītājs būtiski atšķiras, bet, saskaņā ar Meža statistiskās inventarizācijas datiem, krāja pieaugušās audzēs statistiski būtiski neatšķiras. Plānošanas vienību līmenī konstatēta statistiski būtiska (skuju kokiem – arī nozīmīga) saikne starp augstvērtīgo sortimentu īpatsvaru un teritorijas vēja bojājumu draudu klasēm (TVBDK): priežu audzēs R²=0,33, egļu – 0,29, bērzu – 0,15 (2.2.att.), kas apliecina, ka ilgstošā laika periodā atšķirīgajam vēja režīmam bijusi nozīmīga loma kokaudžu monetārās vērtības noteikšanā.



2.2. attēls. Sakarība starp augstvērtīgo sortimentu iznākumu un teritorijas vēja bojājumu draudu klasi (TVBDK) priežu, egļu un bērzu audzēs LVM iecirkņos.

Kritiskais vēja ātrums (vēja ātrums, kura spēks ir pietiekams, lai izgāztu vai nolauztu audzes vidējo dimensiju koku) aprēķināts ar datorprogrammu HWIND (Peltola, 1999), izmantojot tajā pēc noklusējuma dotās vēja ātruma profila un vēja brāzmainuma vērtības. Šajā gadījumā netiek ņemts vērā, ka audzēs pēc retināšanas īslaicīgi (līdz 5 gadi) ir pazemināta vēja noturība, kā arī nav iespējams veikt aprēķinu audzēm uz kūdras augsnēm. Audžu taksācijas rādītāji raksturoti divos variantos: a) retināts – augstums un šķērslaukums izvēlēti atbilstoši LVM kopšanas ciršu modeļiem (LVM, 2015), savukārt caurmērs un koku skaits noteikti atbilstoši LVMI Silava (Donis u.c., 2015) izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem; b) neretināts – sākotnējie parametri pieņemti tādi pat kā atbilstošas sugas, vecuma un bonitātes retinātām audzēm un taksācijas rādītāju izmaiņas laikā (augšana) noteiktas atbilstoši LVMI Silava (Donis u.c., 2015) izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem, pieņemot, ka koku skaitu ietekmē tikai pašizretināšanās, bet ne citi traucējumi. Kritisko vēja ātrumu audzēs ar vidējo augstumu virs 14m iespējams noteikt, izmantojot formulu (2.2.):

$$V_{krit} = b1 + b2 \times h + b3 \times (izcirtums) + b4 \times hd, \quad (2.2.)$$

kur

h – audzes augstums, m;

izcirtums (0- ja izcirtuma nav, 1 - ja vēja pusē blakus audzei ir izcirtums);

hd – vidējā augstuma (m) un vidējā caurmēra (cm) attiecība;

b1, b2, b3, b4 – koeficienti (2.2.tab.).

2.2. tabula

Kritiskā vēja ātruma audzēs uz minerālaugsnēm aprēķina formulas koeficienti

Parametrs	Koku suga		
	Priede	Egļe	Bērzs
b1	49,822	44,910	45,060
b2	-0,199	-0,091	-0,121
b3	-9,180	-10,824	-9,955
b4	-16,550	-17,653	-14,476

Kombinējot abas izstrādātās formulas (2.1. un 2.2), iespējams novērtēt noteiktai audzei kritiskā vēja ātruma ikgadējo varbūtību un pieņemt lēmumu par tās turpmāko apsaimniekošanu vai savstarpēji salīdzināt alternatīvas, pieņemot lēmumu par audzes atjaunošanu. Tā kā vēja ātruma un tā atkārtotās varbūtība nav lineāra, pat nelieli uzlabojumi koku stabilitātē var ievērojami pazemināt vēja bojājumu risku (Quine et al., 1995).

Ņemot vērā iegūtos rezultātus, vēja bojājumu riska mazināšanai rekomendējams veicināt koku individuālās stabilitātes (vēja noturības) veidošanos, savlaicīgi veicot audzes retināšanu; precīzi ievērot ciršanas plānošanas principus; vēja apdraudētākajā reģionā – Dienvidkurzemē – neveidot lielus vienlaidus egļu masīvus un, kur iespējams, īstenot tādu apsaimniekošanas režīmu, kas orientēts uz ciršanu pēc mērķa caurmēra.

3. Abiotisko faktoru ietekme – uguns

Prognozēto klimata pārmaiņu dēļ sagaidāmās vidējās gaisa temperatūras paaugstināšanās un nokrišņu biežuma samazināšanās rezultātā, iespējams, nākotnē paaugstināsies meža ugunsbīstamība. Ugunsgrēku ietekmes mazināšanā vēsturiski ir ieguldīts daudz resursu un pūļu, tādēļ Eiropā jau vairākus gadsimtus nevaram runāt par dabisku, bet gan par cilvēku vairāk vai mazāk ietekmētu uguns režīmu (Niklasson, Granström, 2000). Investīcijas meža apsardzības sistēmas un infrastruktūras izveidē un uzturēšanā Latvijā ir nodrošinājušas situāciju, ka vidējā ugunsgrēku platība nav liela: saskaņā ar Valsts meža dienesta datiem pēdējos 10 gados tikai 0,93 ha, turklāt mediāna ir 0,10 ha. Vairāk nekā 99% meža ugunsgrēku izraisījusi cilvēku neuzmanīga rīcība ar uguni vai ļaunprātīga dedzināšana (Roga, 1979). Līdzīga statistika ir arī citās mūsu reģiona valstīs (Schmuck et al., 2014). Cilvēka ietekme uz meža ugunsgrēku izcelšanos Latvijā atspoguļojas arī izdegušo platību ģeogrāfiskajā izvietojumā: lielākā daļa no tām ir ap divām lielākajām pilsētām – Rīgu un Daugavpili (Donis et al., 2014).

Meža ugunsgrēka izcelšanās varbūtību un ietekmi uz kokiem (t.i., risku) raksturo ugunsbīstamība. Precīzs ugunsbīstamības novērtējums un tās izmaiņu prognozes ir nozīmīgas preventīvu pasākumu veikšanai (piemēram, nosakot aizliegumu kurināt ugunsiskus mežā), kā arī meža apsardzības pasākumiem nepieciešamo resursu plānošanai. Ilgtermiņa ugunsbīstamības izmaiņu tendences savukārt ir nozīmīga informācija, pieņemot stratēģiskus lēmumus, piemēram, par infrastruktūras attīstību. Vērtējums Eiropas mērogā liecina, ka klimata izmaiņu ietekmē ikgadējā ugunsgrēku platība palielināsies, nozīmīgi ietekmējot mežos uzkrātā oglekļa apjomu (Seidl et al., 2014).

Ugunsbīstamība ir atkarīga no:

- 1) konkrētās vietas augsnes un reljefa;
- 2) kokaudzes parametriem (sugu sastāvs, vecums, koku dimensijas u.c.), kas ietekmē koku dzīvo šūnu aizsargātības pakāpi (mizas biežums, sakņu sistēmas izvietojums, vainaga attālums līdz karstuma avotam);
- 3) meteoroloģiskajiem apstākļiem (pirms ugunsgrēka, tā laikā, pēc ugunsgrēka);
- 4) visu iepriekš minēto faktoru mijiedarbības, kas ietekmē degšanas intensitāti un ugunsgrēka veidu (vainaguguns, skrejuguns, zemdega).

Meža ugunsgrēka ietekme uz kokiem var būt gan tieša (stumbra, vainaga, sakņu bojājumi), kuras rezultātā koki var iet bojā 1-3 gadu laikā (Donis et al., 2010), gan netieša (paaugstināts kukaiņu invāzijas, vēja bojājumu risks).

Meteoroloģisko apstākļu noteiktā ugunsbīstamība saistīta ar aizdegšanās varbūtību un degšanas intensitāti; to pieņemts raksturot ar indeksu. Aizdegšanās parasti notiek nobiru slānī (Davies, Legg, 2011). Tās varbūtību ietekmē dažādu koku un zemsedzes augu sugu nobiru atšķirīgais ķīmiskais sastāvs (Plucinski, Andersson, 2008), kā arī meteoroloģiskie apstākļi (temperatūra, mitrums, vēja ātrums) un nobiru mitrums (Marino et al., 2010). Īpaši nozīmīga loma nobiru mitrumam ir pavasara periodā (Davies, Legg, 2011), kad Latvijā izceļas lielākā daļa meža ugunsgrēku (Roga, 1979). Tātad ar meteoroloģiskajiem apstākļiem saistītās ugunsbīstamības raksturošanai nepieciešams identificēt tādu indeksu, kuram ir cieša korelācija ar nobiru mitrumu un tām tuvu esošā degmateriāla mitrumu, kas nozīmīgs sākotnējai uguns saglabāšanai / degšanas intensitātei.

Pētījuma materiāls ievākts objektos 3 dažādās Latvijas vietās – Piejūras zemienē (Mazirbe) un Austrumzemgalē (Vecumnieki) 2012. un 2013. gadā, kā arī Ventaszemē

(Ugāle) 2012., 2013. un 2014.gadā. Katrā no pētījumu vietām monitorēti meteoroloģiskie apstākļi (gaisa temperatūra, relatīvais mitrums, vēja ātrums (10 m augstumā), nokrišņu (lietus) daudzums). Parauglaukumi (69) izvēlēti četru valdošo koku sugu (priede, egle, bērzs, apse) audzēs dažādos meža tipos un vecumos dažādās ugunsbīstamības klasēs.

Apsekojot parauglaukumus 10-20 reizes sezonā, novērtēts augsnes mitrums, kā arī nobiru un zemsegas mitrums, kas mērīts augsnes virskārtā 0-2 cm dziļumā (ieskaitot nesadalījušās nobiras), 2-5 cm dziļumā (daļēji sadalījušos nobiru slānis) un 5-10 cm dziļumā (humusa slānis jeb „trūdzemes”). Noteikts arī iepriekšējā gadā nozāģētu koksnes paraugu (priedes stumbra nogrieznis bez mizas apmēram 1 m garumā, ar caurmēru 6-8 cm) mitrums.

Izmantojot ievāktos meteoroloģiskos datus, aprēķināti vairāki ugunsbīstamības indeksi: Nesterova indekss (NI), Modificētais Nesterova indekss (MNI), Portugāles indekss (PI), kā arī Kanādas uguns laika apstākļu indekss (FWI – *Canadian Fire Weather index*), kurš ietver sekojošus apakšindeksus (Van Wagner, Pickett, 1985):

- smalko degmateriālu (maz sadalījušās zaru, lapu u.c. organiskās atliekas) mitruma kods (*Fine fuel moisture code* FFMC);
- nobiru (vidēji līdz gandrīz pilnīgi sadalījušās lapu, skuju, smalko zaru un citu organisko materiālu atliekas, kas atrodas starp smalko degmateriālu un minerālās augsnes slāni 2-5 cm dziļumā) mitruma kods (*Duff moisture code* DMC);
- sausuma (nobiru/humusa/kūdras slānim 5-10 cm dziļumā) kods (*Drought code* DC);
- sākotnējās izplatīšanās indekss (*Initial spread index* ISI);
- attīstības indekss (*Build up index* BUI).

Katrs no augstāk minētajiem kodiem un indeksiem tiek aprēķināts, balstoties uz nokrišņu daudzumu iepriekšējā periodā, pusdienas laika temperatūru, relatīvo mitrumu, vēja ātrumu (FFMC), kā arī ņemot vērā saules (dienas garuma) ietekmi (DMC, DC). Kodu un indeksu aprēķināšanā tiek izmantota vienādojumu sistēma (Van Wagner, Pickett, 1985), kas raksturo žūšanas un samitrināšanās procesu atsevišķi smalkajam degmateriālam (FFMC), nobirām (DMC), kā arī zemākajos augsnes organiskajos slāņos (DC). Vidējais augsnes virskārtas (visu 3 analizēto slāņu: no nobirām līdz 10 cm dziļumam) mitrums dažādu ugunsbīstamības klašu audzēs bija atšķirīgs. Statistiski būtiski zemāks augsnes mitrums salīdzinājumā ar citu klašu audzēm bija I un I/II ugunsbīstamības klases audzēs, savukārt, līdzīgs augsnes mitrums konstatēts I/III un III, kā arī I/IV un IV ugunsbīstamības klases parauglaukumos. Tātad augsnes virskārtas mitruma svārstības bija saistītas ar meža tipu grupu (meža tipi, kas ietverti vienā ugunsbīstamības klasē), nevis audzes vecumu. Augsnes virskārtas mitrums skujkoku jaunaudzēs (I ugunsbīstamības klase), piemēram, damaksnī (III ugunsbīstamības klase) bija tāds pats kā pieaugušās audzēs šai meža tipu grupā (III ugunsbīstamības klasē).

Salīdzinot mitrumu dažādos slāņos (viršējais nobiru slānis, daļēji sadalījušos nobiru slānis 2-5 cm dziļumā un „trūdzeme” 5-10 cm dziļumā), gan 2012. gadā, gan 2013. un 2014. gadā tika konstatētas līdzīgas sakarības: I un II ugunsbīstamības klasē attiecīgā slāņa mitrums bija mazāks nekā pārējās ugunsbīstamības klasēs, bet III un IV ugunsbīstamības klases meža tipos arī skujkoku jaunaudzēs nobiru un humusa slāņa

mitrums bija līdzīgāks ugunsbīstamības klasei, kura noteikta atbilstoši meža tipam, nevis I ugunsbīstamības klases meža tiptiem (3.1.tab.).

3.1. tabula

Vidējais nobiru, daļēji sadalījušos nobiru un „trūdzemes” slāņa mitrums
(2012., 2013., 2014.gada mērījumu apkopojums)

Mēnesis no gada sākuma	Ugunsbīstamības klase*								Vidēji
	I	I/II**	I/III	I/IV	II	III	IV	V	
Vidējais nobiru slāņa mitrums, %									
4	8,8	10,0	15,8	21,8		12,1	23,0	13,7	15,3
5	6,6	7,5	14,2	15,5	8,2	12,6	26,1	48,3	13,9
6	5,8	9,8	21,9	17,2	16,6	12,8	19,2	26,8	15,5
7	10,1	10,6	16,9	23,9	9,9	14,9	19,4	26,0	16,0
8	17,2	17,2	23,7	35,4	20,0	17,6	27,0	43,9	22,7
9	18,5	9,9	24,5	29,8	28,5	14,8	27,8	-	18,9
10	36,3	38,8	42,3	47,7	36,7	35,8	38,7	56,0	40,3
Vidēji	11,2	12,0	19,8	24,8	14,1	14,9	23,5	33,4	17,7
Vidējais daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums, %									
4	23,8	26,7	41,1	47,3		31,1	42,3	50,3	37,2
5	18,2	15,9	34,5	38,9	21,9	29,7	51,5	56,7	31,5
6	13,6	18,4	36,8	36,2	18,1	24,5	36,9	41,8	28,7
7	20,9	20,1	32,4	37,9	19,1	26,1	36,2	46,8	28,7
8	22,0	24,6	33,6	44,6	25,9	25,6	42,2	49,1	31,5
9	19,6	20,2	36,8	37,3	33,8	21,5	33,3	-	26,1
10	39,7	36,5	40,7	47,5	29,3	37,1	48,2	55,7	40,4
Vidēji	19,9	20,8	34,5	40,4	22,0	26,4	41,2	48,0	30,4
Vidējais „trūdzemes” slāņa mitrums, %									
4	38,1	28,5	49,4	51,2		41,7	56,0	59,7	45,8
5	25,3	27,5	43,8	47,4	37,1	40,9	56,0	59,1	41,9
6	18,1	24,8	42,7	43,9	27,3	31,3	48,4	51,5	36,6
7	20,0	21,6	38,1	46,3	28,8	32,6	45,4	54,2	35,1
8	23,0	27,1	40,2	47,4	29,9	31,3	51,9	56,9	36,7
9	9,0	28,1	38,7	46,2	35,0	22,1	45,3	-	30,6
10	14,0	27,5	39,2	45,8	27,2	33,2	48,0	58,3	36,8
Vidēji	21,8	25,3	41,0	46,7	31,1	33,5	50,2	55,5	37,4

*atbilstoši Ugunsdrošības noteikumiem (MK 02.17.2004. noteikumi Nr.82), kur I – augstākā ugunsbīstamība, V – zemākā;

**pirmais skaitlis – ugunsbīstamības klase pēc Ugunsdrošības noteikumiem (MK 02.17.2004. noteikumi Nr.82), t.i., atkarībā no meža tipa, audzes vecuma, koku sugas, otrais skaitlis – ugunsbīstamības klase pēc MK noteikumos norādītās meža tipu klasifikācijas.

Visā analizētajā audžu kopā nobiru slāņa mitrums visos mēnešos (no aprīļa līdz septembrim) vienmēr bija zemāks nekā daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums, kas, savukārt, bija zemāks nekā „trūdzemes” slāņa mitrums – vidējās vērtības attiecīgi 17,7, 30,4 un 37,4%. Vidējais nobiru slāņa mitrums oktobrī nozīmīgi (gandrīz 2 reizes) pārsniedza augstāko mitrumu jebkurā citā no vērtētajiem mēnešiem; nevienā citā slānī tik krāsas izmaiņas netika konstatētas, liecinot, ka nobiru slāņa (kas saistīts ar aizdegšanās varbūtību) mitrumu visvairāk ietekmē meteoroloģiskie apstākļi.

Veicot koksnes paraugu mitruma analīzi, netika konstatētas statistiski būtiskas to mitruma atšķirības dažādu ugunsbīstamības klašu audzēs. Tāpat netika konstatētas statistiski būtiskas mitruma atšķirības pa mēnešiem 2012. gadā, taču šādas atšķirības tika konstatētas 2013. gadā (3.2.tab.).

3.2. tabula

Vidējais koksnes paraugu mitrums dažādos mēnešos 2013.gadā

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

Dati par visu slāņu mitruma izmaiņām visā pētījuma periodā tika izmantoti, vērtējot to saikni ar ugunsbīstamību raksturojošajiem indeksiem (3.3.tab.). Nobiru slāņa mitrums vislabāk korelēja ar Kanādas uguns laika apstākļu indeksu ($r=-0,50$), daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums – ar Kanādas uguns laika apstākļu indeksu un tā sastāvā ietilpstošo sausuma kodu (visos gadījumos $r=-0,39$), savukārt „trūdzemes” slāņa mitrums – ar Kanādas uguns laika apstākļu indeksa sastāvā ietilpstošo sausuma kodu ($r=-0,41$).

3.3. tabula

Dažādu slāņu mitruma un ugunsbīstamības rādītāju savstarpējā korelācija

Indekss	Nobiru slāņa mitrums, %	Daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums, %	Trūdzemes slāņa mitrums, %
NI*	-0,46	-0,38	-0,26
MNI	-0,46	-0,35	-0,24
FWI	-0,50	-0,39	-0,26
FFMC	-0,43	-0,27	-0,16
DMC	-0,45	-0,37	-0,25
DC	-0,25	-0,39	-0,41

*indeksu saīsinājumu atšifrējumi doti 14. lappusē.

Tā kā Kanādas uguns laika apstākļu indeksam un tā sastāvā ietilpstošajam sausuma kodam salīdzinājumā ar pārējiem analizētajiem indeksiem ir augstākā korelācija ar nobiru slāņa, daļēji sadalījušos nobiru slāņa un „trūdzemes” slāņa mitrumu, tad rekomendējams izvērtēt Kanādas uguns laika apstākļu indeksa izmantošanas lietderību ugunsbīstamības raksturošanai Latvijā.

Ugunsbīstamības indeksu precizitāti iespējams raksturot arī, analizējot to vērtības dienās, kas izcēlušies meža ugunsgrēki. Veicot šādu analīzi mežiem lielo pilsētu tuvumā (kur, saskaņā ar VMD datiem, izceļas lielākā daļa ugunsgrēku), konstatēts, ka atbilstoši FWI klasei 64,2% dienu (laika periodā no dienas, kad pavasarī diennakts temperatūra pusdienas laikā pārsniedz 10°C līdz 30.oktobrim) vērtējamas kā dienas ar zemu risku, savukārt 0,3% dienu – ar ekstrēmu risku. Šajos periodos attiecīgi izcēlušies 10,9 un 3,7% no ugunsgrēkiem, kas nozīmē, ka zema ugunsgrēka riska gadījumā ir 5,9 reizes mazāka varbūtība, bet ekstrēma riska gadījumā 10,7 reizes lielāka varbūtība, ka izcelsies

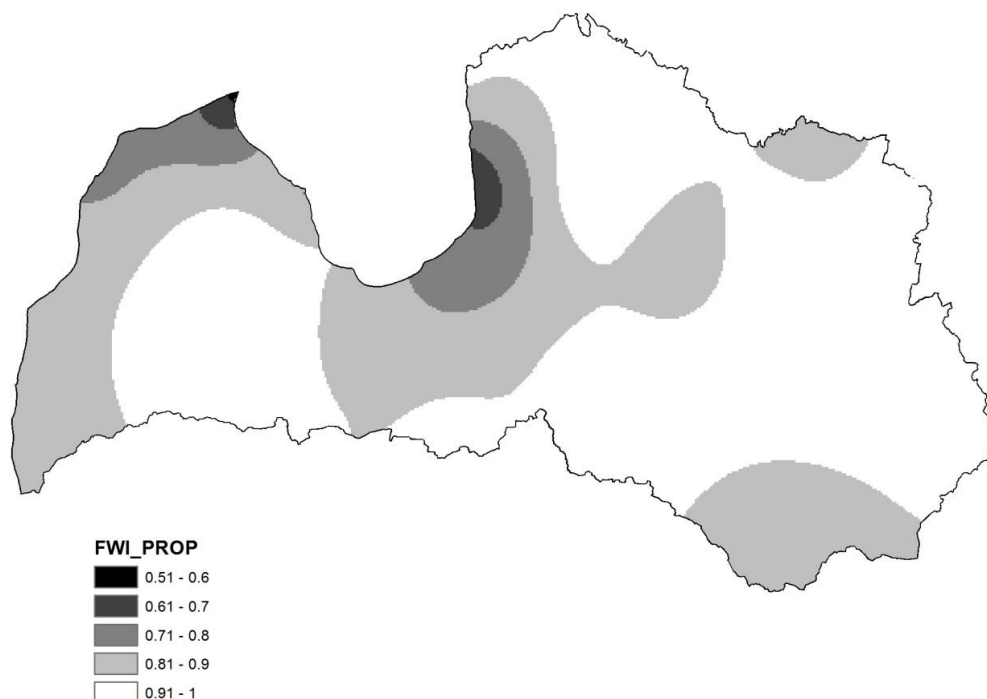
ugunsgrēks, nekā pieņemot, ka tā izcelšanās varbūtība ugunsbīstamajā sezonā ir neatkarīga no meteoapstākļiem (3.4. tab.).

3.4. tabula

Ugunsgrēku īpatsvars dažādu meža ugunsbīstamības klašu audzēs dažādas ugunsbīstamības meteoapstākļos pilsētu tuvumā 2007.-2014.g. (ugunsgrēku skaits n=1906, meža platība 347511 ha)

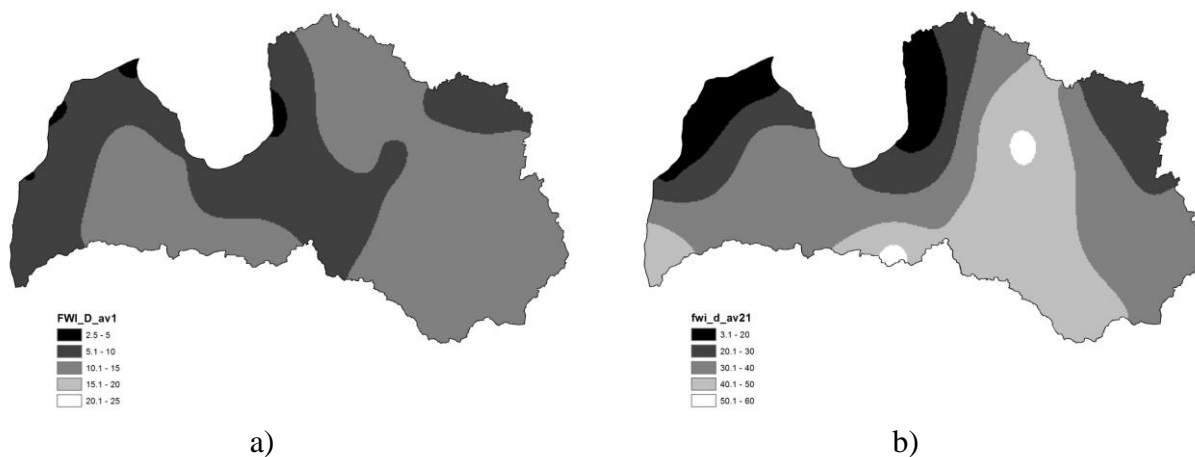
Rādītājs		FWI indeksa klase					Kopā, %	Meža platība, %
		I zems risks	II	III	IV	V ekstrēms risks		
Ugunsgrēku īpatsvars dažādu ugunsbīstamības klašu audzēs, %	I (paaugstināta)	3,4	7,7	7,8	6,0	0,8	25,8	10,0
	II (augsta)	3,6	7,8	12,2	13,5	1,2	38,3	6,1
	III (vidēja)	3,0	6,9	10,2	8,7	1,2	30,0	35,1
	IV (zema)	0,6	1,0	0,9	1,4	0,4	4,4	38,5
	V (ļoti zema)	0,3	0,1	0,6	0,5	0,1	1,6	10,3
Kopā ugunsgrēku īpatsvars, %		10,9	23,5	31,7	30,1	3,7	100	100
Dienu īpatsvars, %		64,2	19,5	11,4	4,6	0,3	100	
Ugunsgrēku un dienu īpatsvara attiecība		0,17	1,21	2,78	6,53	10,70		
Rādītājs		Ñesterova indeksa klase					Kopā, %	Meža platība, %
		I zems risks	II	III	IV	V ekstrēms risks		
Ugunsgrēku īpatsvars dažādu ugunsbīstamības klašu audzēs, %	I (paaugstināta)	2,3	7,7	12,3	3,5		25,7	10,0
	II (augsta)	2,7	8,3	20,9	6,4		38,3	6,1
	III (vidēja)	2,6	6,4	16,5	4,4		30,0	35,1
	IV (zema)	0,5	1,0	2,2	0,7		4,4	38,5
	V (ļoti zema)	0,2	0,2	0,7	0,5		1,6	10,3
Kopā ugunsgrēku īpatsvars, %		8,3	23,5	52,7	15,5		100	100
Dienu īpatsvars, %		53,9	25,2	18,5	2,5	0,0	100	
Ugunsgrēku un dienu īpatsvara attiecība		0,15	0,93	2,85	6,17			

Analizējot vēsturiskos meteoroloģiskos datus, konstatēts, ka lielā daļā Latvijas teritorijas jau šobrīd gandrīz katru gadu ir vismaz viena diena, kad Kanādas uguns laika apstākļu indeksa vērtība pārsniedz 17 (klasificēta kā sevišķi augsta ugunsbīstamība), tādēļ šajā aspektā nozīmīgas izmaiņas nākotnē nav sagaidāmas (3.1.att.).



3.1. attēls. Gadu īpatsvars periodā no 1980. līdz 2009. gadam, kad Kanādas uguns laika apstākļu indeksa vērtība pārsniedz 17 (sevišķi augsta ugunsbīstamība).

Latvijas teritorijas lielākajā daļā pagājušā gadsimta vidū – šī gadsimta sākumā vidēji bija no 5 līdz 15 dienām gadā, kad Kanādas uguns laika apstākļu indeksa vērtība pārsniedza 17, taču klimata izmaiņu prognozes liecina, ka šādu dienu skaits nākotnē palielināsies, sasniedzot 30-50 dienas (3.2.att.).



3.2. attēls. Dienu skaits gadā, kad Kanādas uguns laika apstākļu indeksa vērtība pārsniedz 17, laika periodā no 1980. līdz 2009. gadam (a) un no 2031. līdz 2060. gadam (b).

4. Abiotisko faktoru ietekme – sasalstošs lietus

Viens no meteoroloģiskiem faktoriem, kas var nozīmīgi ietekmēt kokaudzi, ir sasalstošs lietus – parādība, kad lietus veidā izkrituši nokrišņi, sasniedzot Zemes virsmu, sasalst (Drage, 2005) un veido uz kokiem nokrišņu apledoju, kā rezultātā uz koku stumbriem un vaināgiem palielinās mehāniskā slodze, radot to deformācijas vai neatgriezeniskus bojājumus. Šāds process var norisināties krasi atšķirīgas temperatūras gaisa masu saskares joslā, kur siltā gaisa masa atrodas virs 300 līdz 1200 m bieža piezemes aukstā gaisa slāņa. Galvenais laikapstākļus ietekmējošais faktors Latvijas teritorijā ir valdošie rietumu vēji. 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. 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 izraisošo atmosfēras procesu kombināciju biežums kādā no Latvijas daļām varētu samazināties.

Latvijā ievērojami sasalstoša lietus radīti mežaudžu bojājumi novēroti 2010./2011. un 2012./2013.gada ziemā. Lai novērtētu ne vien bojājumu apjomu, bet arī to ietekmējošos faktorus, sasalstoša lietus visvairāk ietekmētajā teritorijā (Ziemeļlatgales mežsaimniecībā) atbilstoši taksācijas datiem (valdošā suga, vecums, meža tips, nogabala platība) pēc nejaušības principa izvēlētas un apsektas 263 audzes, kurās izvietoti parauglaukumi un veikta sākotnējā inventarizācija (uzmērīšana). Saskaņā ar sākotnējās inventarizācijas rezultātiem, parauglaukumos raksturojot koku sugu sastāvu, vecumu, bojājumus, turpmākiem mērījumiem izvēlētas 156 audzes, kopumā uzmērot 30198 kokus.

Audzēs pēc bojājuma pakāpes iedalītas trīs grupās:

1) nebojātas – audzes, kurās nebojāto un maz bojāto (noliekti mazāk nekā 15 grādus no vertikāles) I stāva koku šķērslaukums ir lielāks par 0,5 no Tretjakova normālo šķērslaukumu tabulās norādītā (lielāks par normatīvajos aktos noteikto minimālo šķērslaukumu);

2) bojātas – audzes, kurās nebojāto un maz bojāto I stāva koku šķērslaukums ir mazāks par 0,5, bet lielāks par 0,3 no Tretjakova normālo šķērslaukumu tabulās norādītā (mazāks par normatīvajos aktos noteikto minimālo šķērslaukumu, bet lielāks par kritisko);

3) iznīkušas – audzes, kurās nebojāto un maz bojāto I stāva koku šķērslaukums ir mazāks par 0,3 no Tretjakova normālo šķērslaukumu tabulās dotā šķērslaukuma (mazāks par normatīvajos aktos noteikto kritisko šķērslaukumu).

Kopumā no 156 apsekotajām audzēm saskaņā ar izvēlētajiem kritērijiem par bojātām vai iznīkušām atzīstamas 67% priežu audžu un 61% egļu audžu (4.1.tab.).

Uzmērīto audžu sadalījums pēc valdošās sugas, vidējā caurmēra un bojājuma pakāpes

Valdošā suga	Audzes vidējais caurmērs, cm									Kopā
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	
Priede	3	10	4	6	8	25	18	14	6	94
bojāta			3	1	6	20	10	7	5	52
iznīkusi	3	8					1			12
nebojāta		2	1	5	2	5	7	7	1	30
Egļe	1		2	6	14	18	9	7	5	62
bojāta			1	1	7	14	6	6	3	38
nebojāta	1		1	5	7	4	3	1	2	24
Kopā	4	10	6	12	22	43	27	21	10	156

Lielākais bojāto/iznīkušo audžu īpatsvars gan priedei, gan egļei ir caurmēra grupās līdz 24 cm.

Lai prognozētu, kuras audzes atbilst klasei „bojāta” vai „iznīkusi”, veikta binārā loģistiskā regresijas analīze. Konstatēts, ka to, vai konkrētā audze sasalstoša lietus ietekmē būs „bojāta vai iznīkusi”, priežu audzēs var prognozēt pēc mainīgā lieluma $G_{\text{minimālais}}^* G_{\text{faktiskais}}^{-1}$ un konstantes, savukārt egļu audzēs pēc H , D , $H^2 D^{-1}$, $G_{\text{minimālais}}^* G_{\text{faktiskais}}^{-1}$ un konstantes, kur H – audzes vidējais augstums, D – vidējais caurmērs, G – šķērslaukums:

$$P(y)_{\text{priedei}} = \frac{1}{1 + e^{-(31,243 \times G_{\text{min}} \times G_{\text{fakt}}^{-1} - 24,489)}}$$

$$P(y)_{\text{eglei}} = \frac{1}{1 + e^{-(8,951 \times H + 3,665 \times D + 5,267 \times H^2 \times D^{-1} + 25,327 \times (G_{\text{min}} \times G_{\text{fakt}}^{-1} - 18,923)}}$$

Iegūto rezultātu interpretācija: ja audzei aprēķinātā varbūtība $P(y) < 0,5$, tad audze nav iznīkusi, ja $P(y) \geq 0,5$ – audze ir bojāta/iznīkusi.

Pirmā stāva bojātās daļas šķērslaukums priežu audzēs ir atkarīgs no retināšanas (retināts pēdējos 3 gados vai senāk), H_{10} un $H^2 D^{-1}$, bet egļu audzēs – no H_{10} , $H^2 D^{-1}$ un I stāva šķērslaukuma, kur H_{10} – pirmā stāva valdošās sugas vidējais augstums:

$$G_{\text{bojātais}}(\text{Priede}) = 6,106 - 1,442 \times R - 0,403 \times H + 0,420 \times H^2 \times D^{-1}$$

$$G_{\text{bojātais}}(\text{Egļe}) = 6,033 - 0,137 \times G - 0,837 \times H + 0,706 \times H^2 \times D^{-1}$$

R – ja veikta retināšana pēdējo 3 gadu laikā pirms sasalstošā lietus, tad $R = 1$

Izmantojot iegūtās sakarības, pēc sasalstoša lietus iespējams atbilstoši meža inventarizācijas informācijai prognozēt, kurās audzēs potenciāli būs nozīmīgākie bojājumi, attiecīgi plānojot apsekošanas un seku likvidācijas pasākumus. Iegūtās sakarības izmantojamas vidēja vai ilgtermiņa plānošanai, pielāgojot apsaimniekošanas režīmu (t.sk., izstrādājot kopšanas ciršu modeli) teritorijās ar augstāko sasalstoša lietus bojājumu varbūtību.

Pētījumā konstatēts, ka vidēji nolauztas vai izgāztas 26% pirmā stāva priežu un 27% pirmā stāva egļu (4.2.tab.). Priežu audzēs par bojātiem (lauztiem vai gāztiem) atzīti vidēji 26% koku (26% no 9455 uzmērītajām priedēm, 20% no 655 uzmērītajām eglēm un 30% no 458 uzmērītajiem bērziem); nedaudz lielāks bojāto koku (īpaši egļu) īpatsvars konstatēts egļu audzēs – par bojātiem atzīti vidēji 27% koku (28% no 600 uzmērītajām priedēm, 27% no 5110 uzmērītajām eglēm un 32% no 597 uzmērītajiem

bērziem). Sasalstoša lietus ietekmē uzkrājusies ledus masa uz lauztajām priedēm bija proporcionāla to virszemes biomasai ($r=0,92$; $p<0,01$), kopējo masu palielinot vidēji $1,5\pm 0,27$ reizes. Tomēr iegūtie rezultāti, analizējot 57 paraugkoku datus, liecina, ka kritiskā ledus masa viena un tā paša caurmēra kokiem var nozīmīgi atšķirties, kas, iespējams, varētu būt saistīts ar to vainagu asimetriju vai vēja ietekmi, kā rezultātā arī mazāka ledus masa var izraisīt koka lūšanu.

Retināšanas ietekme uz sasalstoša lietus izraisītiem bojājumiem vērtēta audzēs, kur koku skaita samazināšana veikta pirms ne vairāk kā 3 gadiem („retināts”) un kur tā veikta senāk („neretināts”). Pēdējo trīs gadu laikā retinātās priežu audzēs bojāto koku (lauztie un gāztie kopā) īpatsvars bija 25%, bet neretinātās – 26%; egļu audzēs – 31% bojātu koku retinātās un 23% neretinātās audzēs. Koku augstuma/caurmēra attiecība bojātiem kokiem bija lielāka nekā nebojātiem visos gadījumos – retinātās priežu audzēs tā bija attiecīgi 1,07 un 0,93, egļu audzēs – 1,03 un 0,95, neretinātās priežu audzēs – 1,01 un 0,94, neretinātās egļu audzēs – 1,03 un 0,97. Konstatētā tendence visās audzēs saglabājās arī, vērtējot katras caurmēra pakāpes (no 4. līdz 32.) kokus atsevišķi.

Iegūtie rezultāti liecina, ka ledus bojājumu mazināšanai ir svarīgi savlaicīgi veikt audžu retināšanu, palielinot koku stabilitāti un nodrošinot iespējami simetrisku to vainagu.

5. Biotisko faktoru ietekme – dendrofāgie kukaiņi un slimības

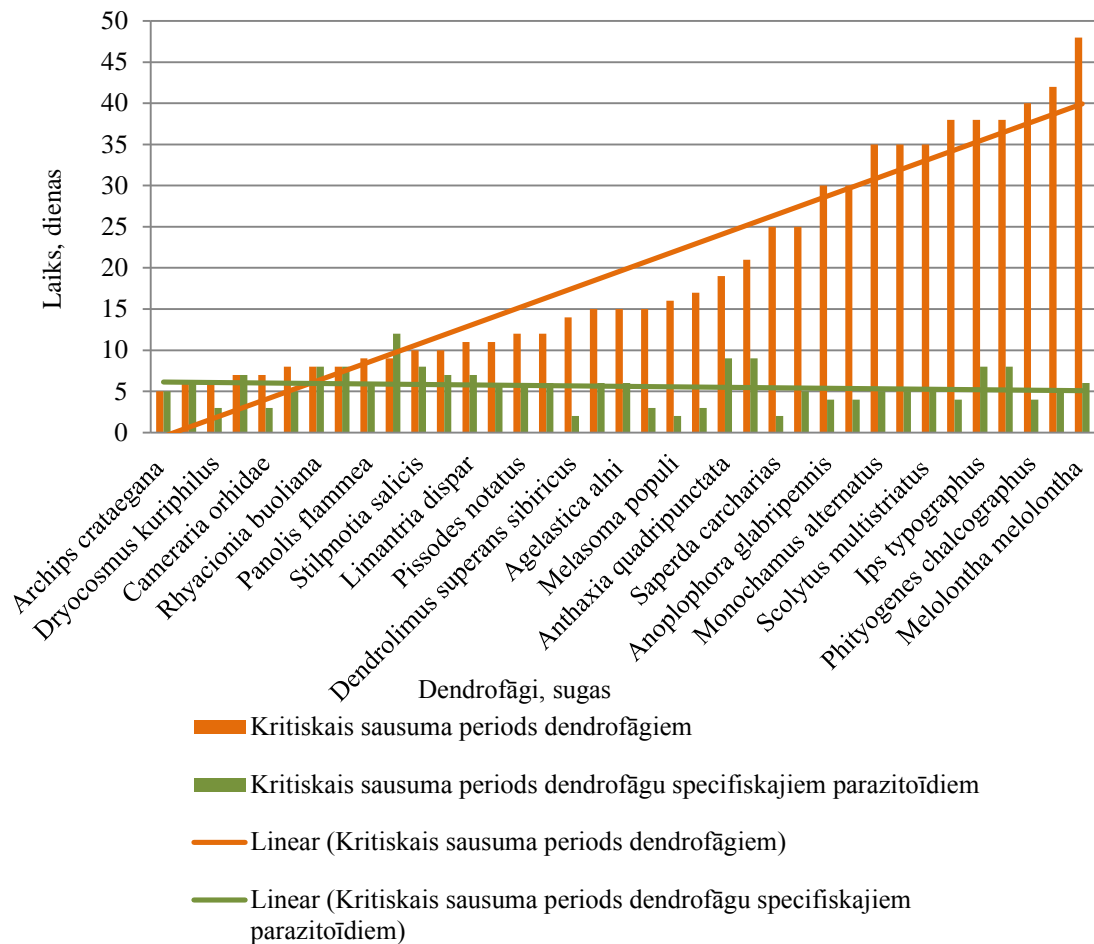
Klimata pārmaiņu ietekmē mainīsies ne vien abiotisko, bet arī biotisko faktoru iedarbība uz koku augšanu.

Dendrofāgie kukaiņi

Klimata izmaiņu rezultātā sagaidāma dendrofāgo kukaiņu ietekmes uz kokiem palielināšanās, jo temperatūras paaugstināšanās līdz sugai specifiskajam optimumam uzlabo kukaiņu vielmaiņu un barošanās intensitāti, kā arī palielina kopulācijas sekmes un pēcnācēju skaitu (Bjorkman et al., 2011; Kolk, 2006; Öhr, 2012; Seidl et al., 2011).

Klimata izmaiņas saistītas ar paaugstinātu dendrofāgo kukaiņu (kaitēkļu) bojājumu risku to migrācijas, dzīves cikla un parazītoīdu aktivitātes 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 analīzē liecina, ka tikai 18% apskatīto nozīmīgāko dendrofāgo kaitēkļu sugu (kopumā apskatītas 44 sugas) nākotnē prognozētajā klimatā nespēs veidot vairāk par vienu paaudzi veģetācijas periodā (jo to attīstības cikls ilgst vidēji 7–7,5 mēnešus), tātad ievērojami palielināsies pārējo kaitēkļu sugu masu savairošanās varbūtība. Vides apstākļi ksilofāgo dendrofāgu un lapgraužu sugām uzlabosies, taču to parazītoīdiem vasaras periodā – pasliktināsies. Kaitēkļu vairākums zināmo maksimālo pēcnācēju skaitu sasniedz vidēji pie 26,1°C, kamēr to parazītoīdi – vidēji pie 22,7°C.

Salīdzinot kukaiņu sausuma izturības periodus (5.1.att.), konstatēts, ka lielākas kritiskā sausuma perioda vērtības raksturīgas ksilofāgiem, piemēram, mizgraužiem, koksngraužiem un krāšņvabolēm, jo to attīstība notiek slēgtā, no saules radiācijas pasargātā vidē – koksne. Sausuma izturība samazinās tieši proporcionāli, samazinoties dendrofāgo kaitēkļu ķermeņa izmēram, t.i., ūdens depoziātam (Giuggiola et al., 2010). Sausuma periodos visapdraudētākie ir tauriņu un lapgraužu kāpuri, jo pie ekstrēmas evapotranspirācijas augu lapas izstrādā vaska aizsargkārtu, kas ievērojami apgrūtina šo dendrofāgu barošanos (Grinnan et al., 2013; Singh, Choudhary, 2003). Regresijas analīzē noskaidrots, ka nav būtiskas sakarības starp dendrofāgu un to parazītoīdu sausumizturību ($R^2=0,02$), turklāt pusei parazītoīdu sausumizturība ir vairāk nekā 4 reizes mazāka nekā to saimniekorganismiem. Tāpēc sagaidāms, ka daļai dendrofāgu sugu, mainot izplatības reģionus klimatisko izmaiņu rezultātā, mainīsies arī to parazītiskie organismi, un mazāka loma būs specifiskiem, vēsturiskajiem parazītoīdiem.

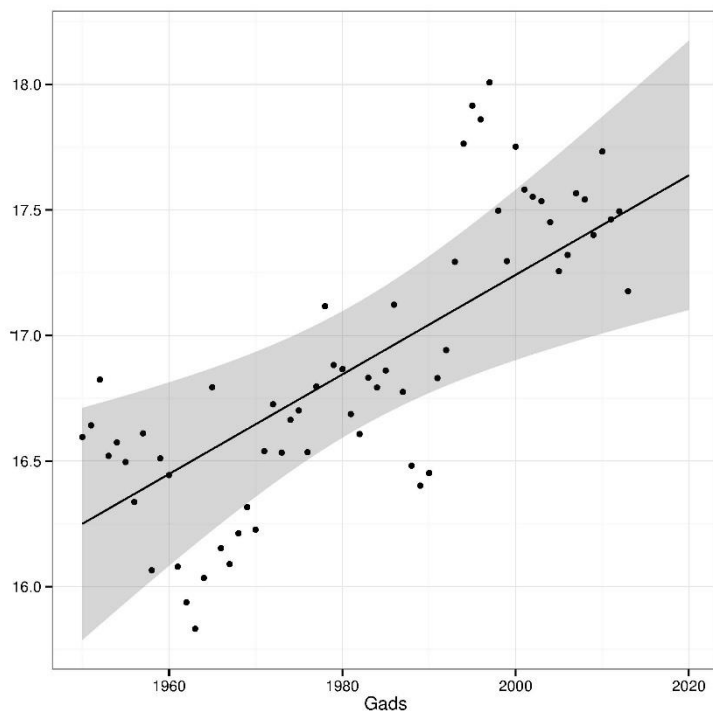


5.1. attēls. Nozīmīgāko dendrofāgu un to specifisko parazītoīdu kritiskā sausuma perioda salīdzinājums.

Kopumā prognozējams, ka parazītoīdu aktivitāte saglabāsies, tās maksimumam novirzoties agrāk pavasarī un vēlāk rudenī, kā arī samazinoties pēcnācēju skaitam un ekoloģiskajai nozīmei kaitēkļu blīvuma limitēšanā. Sagaidāms, ka palielināsies patogēnu (piemēram, *Bacillus spp.* baktēriju, kuru vairošanās optimālā temperatūra ir augstāka nekā saimniekorganismiem raksturīgā) ietekme.

Analizēta agresīvāko dendrofāgo kukaiņu sugu savairošanās vēsture teritorijās, kuru klimats līdzīgs Latvijā nākotnē prognozētajam (Centrāleiropā). Izvēlētas 25 sugas, kurām vēsturiski vismaz vienā gadā konstatēta savairošanās vairāk nekā 150 ha lielā platībā; analīze veikta, sākot ar 1950. gadu. Visas apskatā ietvertās sugas ir pasaulē pazīstami mežu kaitēkļi ar plašu izplatību Eiropā: *Lymantria dispar*, *Lymantria monacha*, *Ips typographus*, *Ips acuminatus*, *Hylobius abietis*, *Bupalus piniarius*, *Neodiprion sertifer*, *Phymatodes testaceus*, *Scolytus ratzeburgi*, *Euproctis chrysorrhoea*, *Aradus cinnamomeus*, *Xyleborus dispar*, *Cryphalus piceae*, *Archips crataegana*, *Melasoma populi*, *Phalera bucephala*, *Diprion pini*, *Rhyacionia buoliana*, *Saperda carcharias*, *Panolis flammea*, *Melolontha melolontha*, *Dendrolimus pini*, *Pityogenes chalcographus*, *Tomicus piniperda*, *Tomicus minor*. Padziļinātai analīzei atlasītas 8 dendrofāgu sugas, kurām vēsturiski raksturīgs būtisks nodarītais kaitējums mūsu valsts mežsaimniecībai: *B. piniarius*, *P. flammea*, *D. pini*, *I. typographus*, *R. buoliana*, *L. monacha*, *L. dispar*, *M. populi* (Ozols, 1985).

Konstatēts, ka visām apskatām ietvertajām sugām sagaidāms to ietekmēto meža platību pieaugums, turklāt vairumā gadījumu fiksētā tendence ir statistiski būtiska. Straujākie savairošanās platību pieaugumi raksturīgi *R. buoliana*, *X. dispar*, *A. crataegana*, *S. carcharias*, *P. buchepala*, *D. pini*, *P. flamma*, *A. cinnamomeus*, *H. abietis* (šo kukaiņu sugu savairošanās sakarību virziena koeficienti pārsniedz 0,04). GLS analīzes rezultātā iegūtās savairošanās platību izmaiņas apskatītajā vēstures periodā un to prognoze visām apskatītajām kukaiņu sugām kopumā parādīta 5.2. attēlā.



y-ass - savairošanās platības attiecības pret reģistrēto savairošanās gadījumu skaitu logaritmiski transformētās vērtības

5.2. attēls. Dendrofāgo kukaiņu savairošanās platību dinamika un to prognozes tuvākajiem sešiem gadiem apskatītajām 25 sugām kopumā.

Atsevišķos gadījumos savairošanās tendences bija saistītas ar konkrētiem meteoroloģiskajiem faktoriem, piemēram, *Ips typographus* ietekmētajai platībai konkrētajā gadā konstatēta pozitīva korelācija ar iepriekšējās sezonas vidējo gaisa temperatūru augustā.

Salīdzinot dendrofāgus pēc to vidējā savairošanās platību kopējā apjoma uz vienu savairošanās gadījumu laika periodā no 1950. līdz 2013. gadam visā apskatā ietvertajā teritorijā, visnozīmīgākā ietekme mežsaimniecībā konstatēta egļu astoņzobu mizgrauzim *I. typographus* (vidējā vienas savairošanās skartā platība 18070 ha); nozīmīga savairošanās konstatēta arī tādām sugām kā egļu sešzobu mizgrauzis *P. chalcographus* (vidēji 8474 ha), ozolu mūķene *L. dispar* (vidēji 6698 ha), galotņu sešzobu mizgrauzis *I. acuminatus* (vidēji 6598 ha).

Salīdzinoši augstāks specializēto – monofāgo, t.i., vienam saimniekaugam raksturīgo kaitēkļu skaits konstatēts priedei (10) un eglei (5). Savukārt, lielākais kopējais atlasīto dendrofāgu skaits konstatēts apsei (11) un ozolam (10). Ņemot vērā, ka priedei un eglei Latvijā ir liels meža platību īpatsvars un tām raksturīgs salīdzinoši augsts kopējais un specializēto dendrofāgu sugu skaits, lielākais kaitēkļu savairošanās risks prognozējams tieši skujkoku audzēs.

Novērtējot skujkoku mizgraužu un lūksngraužu savairošanās platību dinamiku uz vienu savairošanās gadījumu laika periodā no 1950. līdz 2013. gadam, konstatēts, ka izvēlētajām sugām tā ir līdzīga, korelācijas koeficienti starp atsevišķu sugu savairošanās platībām (uz vienu savairošanās gadījumu) ir statistiski būtiski ($p < 0,01$), un vairumā gadījumu pārsniedz 0,7; nedaudz mazākas korelācijas koeficientu vērtības konstatētas *I. typographus* (0,44-0,50).

Apskatā ietvertajām 25 mežam nozīmīgajām dendrofāgu sugām veikts arī šo kaitēkļu savairošanās iespēju novērtējums (ar GLS modeli) ilgākā laika periodā – līdz 2040. gadam. Lai gan visu apskatīto sugu savairošanās platībām nākotnē ir tendence pieaugt, tomēr atšķiras to projekcijas vidējās izkļedes. Jo tālākai nākotnei tiek veiktas prognozes, jo projekcijas nenoteiktība (ko raksturo variācijas koeficients) ir lielāka, tomēr savairošanās riska pieauguma tendence saglabājas nemainīgi visām sugām. Konstatēts, kaitēkļu sugas ar viszemāko paredzēto savairošanās platības pieaugumu un augstākajām variācijas koeficienta vērtībām ir *M. populi*, *M. melolontha*, *L. dispar* un *L. monacha*.

I. typographus, *I. acuminatus*, *T. piniperda* un *T. minor* savairošanās pieaugumu, visticamāk, veicinās arī mērenas klimatiskas izmaiņas, jo □tās ir palearktiskas, holarktiskas karstumtolerantas, siltummīlošas (tādējādi ar meža „izrobajumu”, izcirtumu mikroklimatu –pastiprinātu saules radiāciju – saistītas) taigas entomofaunai raksturīgas sugas, kurām ir plašs izplatības areāls Ziemeļu puslodē (Battisti, 2006; Ozols, 1985; Schroeder, 2008). Var prognozēt, ka no šo sugu ietekmes cietīs ievērojamas skujkoku platības, jo sugas ir saimniekaugam specifiskas (Augustaitis, 2007; Moretti et al., 2010; Schroeder, 2002). Vidējais veģetācijas perioda garuma pieaugums šīm sugām var veicināt paaudzju skaita palielināšanos vienas sezonas laikā (*I. typographus* – pat līdz 4 paaudzēm), līdz ar to izraisot plašākus un postošākus mežaudžu bojājumus (Kulhanek, 2009).

Mizgraužiem un koksngraužiem raksturīgs plašs temperatūru panesamības diapazons, kas liecina, ka to ietekme nesamazinātos pat ļoti krasu klimata izmaiņu gadījumā (vidējai temperatūrai paaugstinoties par 5–10°C). Saimnieciski nozīmīgu potenciālo ieceļotāju sugu ir maz, tomēr to aklimatizācija mūsu apstākļos nozīmētu nekontrolētu šo sugu masveida savairošanos, kas skaidrojams ar dabisko ienaidnieku trūkumu mūsu reģionā (Battisti, 2006; Schroeder, 2002).

Tā kā Latvijas mežsaimniecībai nozīmīgākajiem dendrofāgiem – *Bupalus piniarius* (priežu sprīžotājs), *Panolis flammea* (priežu pūcīte), *Diprion pini* (priežu parastā zāglapsene), *Ips typographus* (egļu astoņzobu mizgrauzis), *Rhyacionia buoliana* (priežu galotnes dzinumu tinējs), *Lymantria monacha* (egļu mūķene), *Lymantria dispar* (ozolu mūķene), *Melasoma populi* (lielais apšu lapgrauzis) – prognozējams savairošanās platību apjoma pieaugums ilgstošā laika periodā, tad, iekļaujot šīs sugas meža kaitēkļu monitoringa pamatprogrammā, iespējama to savairošanās savlaicīga prognozēšana un to radītā kaitējuma samazināšana. Iepriekšminētajām dendrofāgu sugām nozīmīgākie dabiskie ienaidnieki ir putni, piemēram, *Bupalus piniarius* intensīva putnu barošanās ar pieaugušiem kāpuriem notiek rudenī pirms putnu migrācijas, *Panolis flammea* kāpuri attīstās putnu mazuļu barošanās laikā, *Lymantria monacha* un *Lymantria dispar* notiek putnu barošanās ar tauriņiem. Tāpēc, meža kaitēkļu monitoringā novērojot strauju kukaiņu skaita pieaugumu, riska audzēs pastiprināta uzmanība jāpievērš putnu piesaistīšanai mežaudzēm – būru izvietojumam.

Izgatavojot būrus jāatceras, ka to izmēriem jāatbilst vēlamās (piesaistāmās) putnu sugas prasībām, drošam pret ligzdu postītājiem (piemēram, caunām) un atveramam, jo dobumperētāji putni nākamajā sezonā neizmantos veco ligzdu, tādēļ būti reiz gadā jātīra. Nosakot būru izvietojumu jāņem vērā putnam ir sava ligzdošanas teritorija: sīkajiem dobumperētājiem putniem starp būriem vēlama vismaz 50 m distance. Putnu būrus riska reģionos (saskaņā ar kaitēkļu monitoringa prognozēm) vai reģionos, kuros novērota kaitēkļu savairošanās, izliek grupās tā, lai uz vienu hektāru būtu 4-5 putnu būri.

Latvijā 2010. gadā (un, iespējams, 2009. gadā) novēroti egļu masveida bojājumi, kas bija saistīti ar egļu bruņuts (*Physokermes piceae*) savairošanos. Egļu bruņuts bojātās parastās egles audzēs 2010. gadā ierīkoti stacionāri parauglaukumi ar mērķi noteikt koku bojājumu pakāpes izmaiņas bojātajās un veselajās vai mazāk bojātajās egļu mežaudžu daļās un novērtēt bojājumu attīstību atkarībā no audzes dendrometriskajiem rādītājiem, augsnes īpašībām un gruntsūdens līmeņa.

Veicot bojāto egļu audžu monitoringu 2012. gadā, nevienā no parauglaukiem, kas ierīkoti 2010. gadā, vairs netika konstatētas dzīvas bruņuts mātītes vai novērota raksturīgā „medusrasas” izdalīšanās uz skujām. Tātad bruņuts intensīvas izplatīšanās fāzē Latvijā, tāpat kā Dienvideiropas valstīs, ilga 1-2 gadus (Turguter, Ülgentürk, 2006; Valstybinė Miškų Tarnyba, 2010). Skandināvijas valstīs un Lietuvā bruņuts izplatību un bojājumu intensitātes palielināšanos saistīja ar klimata izmaiņām, kas rada šī kaitēkļa attīstībai labvēlīgus meteoroloģiskos apstākļus (Olsson et al., 2012; Valstybinė Miškų Tarnyba, 2010). Saskaņā ar Turcijā veiktiem pētījumiem, egļu bruņuts savairošanos veicina ilgstošs sausums (1-2 nedēļas bez nokrišņiem) veģetācijas perioda laikā. Saskaņā ar klimata modeļu datiem, nākotnē Latvijā šādu bezlietus periodu iestāšanās varbūtība paaugstināsies, tāpēc paredzams, ka nākotnē masveida egļu bruņuts savairošanās iespējamība palielināsies, un ir svarīgi savlaicīgi veikt profilaktiskus pasākumus, lai ierobežotu kaitēkļa izplatību un sekmētu bojāto audžu atveseļošanos. Būtiski atzīmēt, ka tajā laikā, kad Latvijā un Lietuvā notika masveida egļu bruņuts savairošanās, Igaunijā un Somijā tika bojāti tikai atsevišķi koki. Tas liecina, ka šajās valstīs klimatiskie apstākļi vēl nav mainījušies tiktāl, lai notiktu masveida savairošanās.

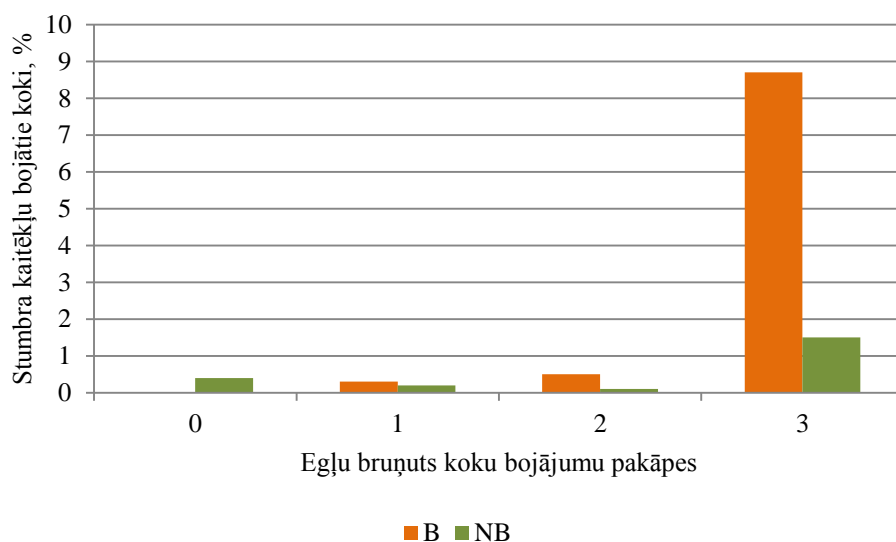
Baltijas valstīs egļu bruņuts savairošanās sākās egļu tīraudzēs uz nosusinātām kūdras un minerālaugsnēm, bet pēc tam turpinājās egļu audzēs uz dabiski sausām augsnēm. Netika konstatēta bojājumu izplatības korelācija ar citu koku sugu piemirstojumu vai koku dimensijām, tomēr vispirms egļu bruņuts savairojas novājinātās egļu audzēs. Bojāto audžu apsekošana 2010. gadā liecināja, ka raksturīgākās bojātās audzes ir egļu tīraudzes uz nosusinātām augsnēm, kurās nesen veikta krājas kopšanas cirte. Iespējams, sakarība skaidrojama ar egļu bruņuts bioloģiju – šie kukaiņi savairojas saulainās, labi vēdinātās vietās (izretināta audze); turklāt egļu audzes uz nosusinātām augsnēm vairāk cieš ilgstošos sausuma periodos, jo liela daļa koku uzsūcošo sakņu atrodas tuvāk augsnes virskārtai, kas sausumā straujāk izkalst. Kad egļu bruņutis ir savairojušās, tās spēj invadēt un bojāt arī egļu audzes uz dabiski sausām minerālaugsnēm.

Veicot egļu audžu mēslošanas izmēģinājumus trijās platībās, kur bija novēroti raksturīgie galotņu kalšanas bojājumi, konstatēts, ka kālija saturs augsnē negatīvi korelē ar sākotnējo bojājumu intensitāti un pēc tam pozitīvi korelē ar koku atveseļošanās rādītājiem. Izteikta pozitīva korelācija ar sākotnējiem bojājumiem konstatēta

gruntsūdens līmenim, organisko vielu un slāpekļa saturam augsnē, kā arī atsevišķu metālu, tajā skaitā viegli šķīstošo mangāna savienojumu daudzumam augsnē. Pētījuma rezultāti liecina, ka mēslojums (arī relatīvi nelielas devas, kas atbilst 61 kg ha⁻¹ kālija tīrvielas) turpina iedarboties vismaz 2 gadus pēc mēslojuma iestrādes un nodrošina, ka 2. un 3. pakāpes bojājumu īpatsvars samazinās no 41% līdz 21% vai pat 15%.

Novērojumi, kas 2012. gada rudenī veikti 2010. gadā ierīkotajos parauglaukumos bojātajās egļu audzēs, liecina, ka egļu audžu, kas nav nocirstas sanitārajā cirtē, veselības stāvoklis uzlabojas, un stipri bojāto koku (3. pakāpe) īpatsvars samazinās. Atveseļojušos koku ar sākotnējo defoliācijas pakāpi virs 60% ir 2,5 reizes vairāk nekā šīs pašas kategorijas nokaltušo koku. Tomēr jāņem vērā, ka pirmajā kaitēkļu masveida savairošanās gadā arī mazāk bojāto koku izdzīvošanas varbūtība ir mazāka nekā otrajā gadā.

Divu gadu periodā pēc bruņuts bojājumiem egļu audzes ietekmē citi dendrofāgie kukaiņi, galvenokārt mizgrauži. Egļu astoņzobu mizgrauža un citu stumbra kaitēkļu bojātie koki apsekoti un uzmērīti 2012. gadā 23 audzēs un 2013. gadā 17 audzēs, katrā audzē 2 parauglaukumos (egles bruņuts nebojātā vai mazāk bojātā un bojātā daļā). No stumbra kaitēkļiem visvairāk ir cietuši koki, kuriem iepriekš bija konstatēta visaugstākā egļu bruņuts bojājuma pakāpe (5.3.att.) gan bojātajās, gan neskartajās vai mazāk bojātajās audžu daļās.



5.3. attēls. Stumbra kaitēkļu bojātie koki (%) atkarībā no egļu bruņuts bojājuma pakāpes bojātajās (B) un neskartajās vai mazāk bojātajās (NB) audžu daļās.

Daļa no 2012. gadā bojātajiem kokiem ir spējuši mobilizēt iekšējās rezerves, sekmīgi atvairot stumbra kaitēkļu uzbrukumus. Egles bruņuts bojātajā daļā 2013. gadā atveseļojušies 2,1% no visiem stumbra kaitēkļu bojātajiem kokiem, savukārt mazāk skartajā vai veselajā daļā – 15,8%. Par to liecina uz koka stumbriem sacietējušie sveķu pilieni, kur konstatēti stumbra kaitēkļu mēģinājumi iegrauzties mizā. 2013. gadā spējuši atveseļoties tikai tie koki, kuriem kukaiņu uzskaites laukumīņos konstatētas ne vairāk kā 10 ieskrejas. Stumbra kaitēkļu bojāto koku atveseļošanās samazinās līdz ar egļu bruņuts bojājuma pakāpes palielināšanos. Egļu bruņuts bojātās audzēs 2012. gadā egļu astoņzobu mizgrauža abu paaudžu bojātie koki 2013. gadā ir nokaltuši. Egļu astoņzobu mizgrauzim bieži kā pavadītājsuga konstatēts egļu sešzobu mizgrauzis.

Rekomendācijas egļu bruņuts bojājumu prevencijai un bojāto audžu apsaimniekošanai:

- 1) tā kā egļu bruņuts savairošanās vispirms notiek novājinātās egļu audzēs, tad galvenais riska novēršanas paņēmieni ir profilakse, galvenokārt, meža meliorācijas sistēmu uzturēšana darba kārtībā un mežaudžu mēslošana ar koksnes pelniem vai kāliju saturošiem minerālmēsliem, bet – ja nav iespējams atjaunot egļu vitalitāti un/vai pastāv nozīmīgs sekundāro kaitēkļu (mizgraužu) savairošanās risks – nepieciešams savlaicīgi veikt sanitārās cirtes;
- 2) riskam visvairāk pakļautajos meža tipos (šaurlapju un platlapju kūdrenos un āreņos) jāorientējas uz egļu mežaudzēm ar īsu apriti, t.i., galveno cirti jāplāno pēc caurmēra;
- 3) tā kā egļu bruņuts savairošanās gandrīz vienlaicīgi notiek plašā reģionā, pakāpeniski virzoties no dienvidiem uz ziemeļiem, tad 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.

Slimības

Prognozējot iespējamās koku slimību ietekmes izmaiņas, jāņem vērā, ka klimats vienlaicīgi ietekmē kā koku, tā patogēnu izplatību un attīstības ciklus un to sinhronitāti, piemēram, koku pumpuru plaukšanas laiku un patogēnu sporu izdalīšanās dinamiku. Iespējams, ka sausuma izraisīts stress pazeminās koka rezistences spējas, tāpēc sēnes, kas parasti tiek raksturotas kā saprofīti (vai patogēni ar zemāku virulenci, piemēram, *Armillaria gallica* Marxm. & Romagn. vai vēžu izraisītāji no *Xylariaceae* ģints), izmainoties klimatiskajiem apstākļiem, būs spējīgas inficēt kokus.

Jāņem vērā, ka dabiskais koku adaptācijas process norit lēnāk, nekā patogēnu populāciju izmaiņas un pielāgošanās (Ayres, Lombardero, 2000; Grišule, 2008; Sturrock et al., 2011).

Literatūrā minēts, ka tādas sugas kā *Dothistroma* spp., *Phytophthora cinnamomi* Rands, *Gibberella circinata* Nirenberg & O'Donnell, paaugstinoties vidējai gaisa temperatūrai, var kļūt invazīvas reģionos, kur šie patogēni līdz šim netika konstatēti (Brasier, 1996; Lonsdale, Gibbs, 1996; Oliva et al., 2013). Tāpat klimatam kļūstot siltākam un paaugstinoties augsnes temperatūra, kā arī samazināsies tās mitrumam, skuju koku audzēs var palielināties *Armillaria* spp. izraisītās sakņu un stumbra trupes sastopamība (Čermák et al., 2004a). Mehāniskie bojājumi, kas radušies vētrās, negaisos, salā un snieglauzēs, palielina iespēju patogēniem inficēt koksni mizas bojājumu vietās (Dukes et al., 2009). Stumbra brūces bieži vien kolonizē patogēni, kas izraisa trupi vai koksnes zilējumu, tādējādi samazinot koksnes vērtību (Vasiliauskas, 2001).

Kopš 1800. gada Centrāleiropā (Itālijā, Francijā, Šveicē, Austrijā, Ungārijā) konstatētas vairāk kā 40 invazīvas potenciāli patogēnās sēnes, turpretī Somijā, Latvijā un Lietuvā invazīvo sugu skaits nepārsniedz 20 (Santini et al., 2013). Tomēr, klimatam kļūstot siltākam, arī Latvijā var izveidoties piemēroti apstākļi dažādu patogēno sēņu attīstībai un invāzijai.

Detalizēta patogēnu dzīves cikla analīze kontekstā ar meteoroloģiskajiem apstākļiem liecina, ka prognozēto klimata izmaiņu ietekmē Latvijā var palielināties līdz šim konstatēto, nopietnus ekonomiskos zaudējumus izraisošo patogēno sēņu

(*Lophodermium* spp., *Armillaria* spp., *Heterobasidion* spp.) populācijas. Tāpat, klimatam kļūstot siltākam, Latvijas mežaudzēs iespējamas līdz šim neraksturīgu patogēno sēņu epidēmijas, piemēram, *Dothistroma* spp., *Phytophthora* spp. Tādēļ rekomendējams meža atjaunošanā konkrētajā vietā izvēlēties sugas, kuras klimata izmaiņu izraisītais stress ietekmēs vismazāk. Veicot jaunu koku sugu introdukciju, jāizvērtē riski attiecībā uz jaunajām patogēnu sugām un jāpārbauda introducēto koku uzņēmība pret autohtonajiem patogēniem. Lai ierobežotu Latvijā sastopamo patogēno sēņu izplatību, mežizstrādi ieteicams veikt ziemas mēnešos, kad nenotiek sēņu izplatība ar sporām, bet siltajā gada laikā, veicot mežizstrādi, jāizmanto bioloģiskie preparāti celmu aizsardzībai.

6. Koku pieauguma izmaiņas saistībā ar klimata pārmaiņām

Pārskata periodā veikta klimata ietekmes uz koku augšanu prognožu sagatavošana, izmantojot vairākas atšķirīgas pieejas.

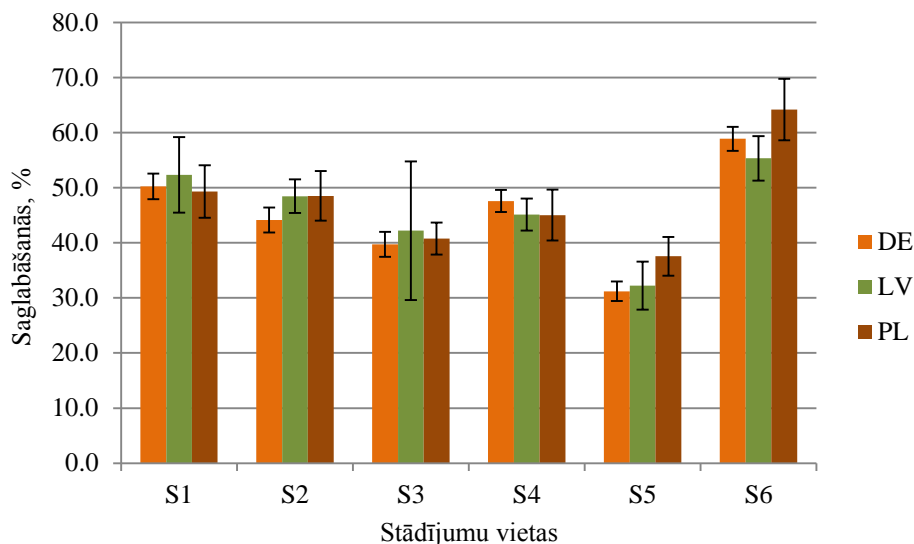
Projekta ietvaros analizēti dati no plašākās parastās priedes provenienču eksperimentu sērijas Latvijā, kas ierīkota 1975. gadā trijās vietās ar atšķirīgu klimata kontinentalitāti: Liepāja, Zvirgzde, Kalsnava. Stādījumos ietvertas 64 proveniencas, galvenokārt no Latvijas (18) un teritorijām, kurās jau šobrīd ir klimats, kāds Latvijā tiek prognozēts nākotnē: Vācijas austrumu daļas (27) un Polijas (8). Izmantoti mērījumu dati 11 un 21 gada vecumā – pirms eksperimentā veikta kopšanas cirte; salīdzinājumam lietoti dati 28 gadu vecumā. Veikta analīze, konkrētā klimata rādītāja atbilstību (piemērotību) izsakot kā proveniencas izcelsmes vietas rādītāja attiecību pret rādītāja konkrētajā stādījumā (Liepāja, Zvirgzde vai Kalsnava).

Izstrādāti lineārās regresijas modeļi saskaņā ar vispārējo formu:

$$\text{pazīme} = b_0 + b_1 \times \text{nokrišņi} + b_2 \times \text{vidējā temperatūra} + b_3 \\ \times \text{nokrišņu atbilstība} + b_4 \times \text{temperatūras atbilstība}$$

Visi iegūtie modeļi bija statistiski būtiski ($p < 0,01$), taču determinācijas koeficienta R^2 vērtības ir augstākas modeļiem, kur kā atkarīgā pazīme ir izmantots augstums. Vērtējot saglabāšanos, konstatēts, ka 21 gada vecumā temperatūras un tās atbilstības rādītāju ietekme ir kļuvusi mazāk nozīmīga nekā 11 gadu vecumā. Tātad koki visjutīgākie pret dažādiem ārējās vides faktoriem ir agrīnā vecumā, un tie koki, kuri spējuši izdzīvot šo posmu, vēlāk atmirst galvenokārt savstarpējās konkurences ietekmē. To apliecina arī iepriekš veiktu analīžu rezultāti šajos pašos stādījumos (Jansons, Baumanis, 2005).

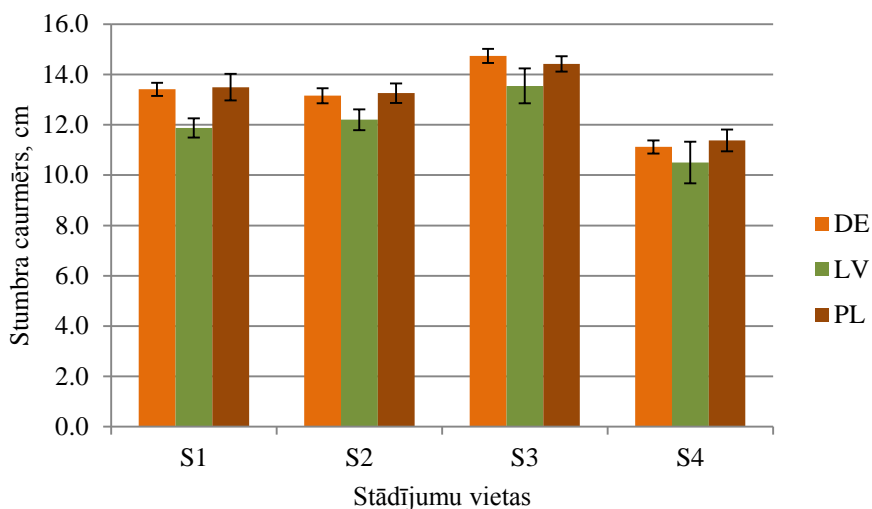
Mainīgo klimatisko apstākļu ietekmi uz Latvijā pašreiz nozīmīgāko vietējo koku sugu mežaudžu ražību un noturību iespējams novērtēt arī tieši – analizējot šo koku sugu Latvijas provenienču augšanu teritorijās, kuru klimats šobrīd ir līdzīgs Latvijā nākotnē prognozētajam. Parastās priedes provenienču stādījumi, kuros ietvertas arī sešas Latvijas priežu proveniencas (Tukums, Tērvete, Andrupene, Misa, Smiltene, Jaunkalsnava), Vācijā ierīkoti 1975. gadā sešās vietās. Šo stādījumu dati iegūti sadarbībā ar Meža ģenētikas institūta vadošo pētnieku Dr. Volker Schneck. Vērtējot koku saglabāšanos šajos stādījumos 20 gadu vecumā, konstatēta statistiski būtiska stādījuma vietas un proveniencas ietekme, tomēr redzams, ka vidējās saglabāšanās atšķirības starp dažādām valstīm ir nenozīmīgas (6.1.att.). Vācijas proveniencēm (kopumā 36) saglabāšanās bija robežās no 31% līdz 59%, Latvijas – no 32% līdz 55%; proveniencas no Latvijas saglabājušās labāk nekā gandrīz 40% vietējo priežu provenienču. Kopumā zemie saglabāšanās rādītāji saistīti ar augstu stādījumu sākotnējo biežumu un ilgu to augšanas laiku bez retināšanas.



6.1. attēls. Priežu no dažādām valstīm (DE-Vācija, LV-Latvija, PL-Polija) vidējā saglabāšanās (\pm ticamības intervāls) stādījumos Vācijā 20 gadu vecumā.

Konstatēta statistiski būtiska stādījuma vietas un proveniencas ietekme uz koku ar līkumainiem stumbriem īpatsvaru. Latvijas priežu kvalitāte, līdzīgi kā citās analizētās starptautisku eksperimentu sērijās (neatkarīgi no stādījuma vietas klimata), bija augstākā: vidējais koku ar līkumainiem stumbriem īpatsvars gandrīz divreiz mazāks nekā Vācijas priedēs (attiecīgi 11,4% un 21,4%). Atsevišķos stādījumos atsevišķām Latvijas priežu proveniencēm nav konstatēti koki ar līkumainiem stumbriem, bet vidējais šādu līkumainu koku īpatsvars ir tikai 9-14%, kas liecina par augstāku kvalitāti nekā 80% Vācijas priežu proveniencē.

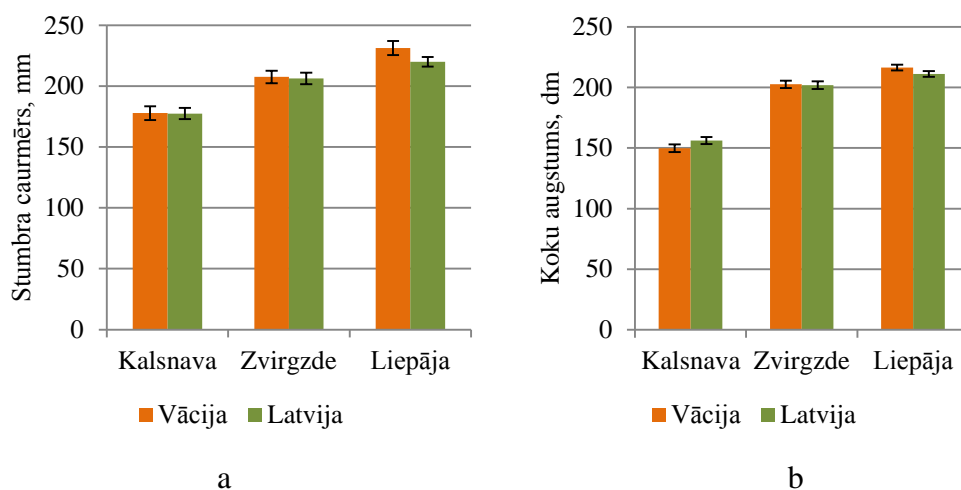
Koku caurmērs (6.2.att.) un augstums Latvijas priedēs stādījumos Vācijā 30 gadu vecumā vidēji ir 92% no vietējām priedēs konstatētā (atšķirība statistiski būtiska), starpība saglabājusies līdzīga kā iepriekšējā uzmērīšanas reizē (20 gadu vecumā). Atšķirība starp Latvijas un vietējo priežu caurmēru (un augstumu) saglabājas gandrīz konstanta dažādos stādījumos, lai gan vidējais koku caurmērs starp tiem, galvenokārt augsnes atšķirību ietekmē, mainās nozīmīgi, piemēram, koku caurmērs ceturtajā stādījumā ir tikai $\frac{3}{4}$ no trešajā stādījumā konstatētā.



6.2. attēls. Priežu no dažādām valstīm (DE-Vācija, LV-Latvija, PL-Polija) vidējais koku caurmērs (\pm ticamības intervāls) stādījumos Vācijā 30 gadu vecumā.

Kopumā var secināt, ka, klimatam Latvijā kļūstot līdzīgam pašreiz Vācijā esošajam, vietējās priežu proveniencenes nespēs pilnībā izmantot augšanas apstākļu uzlabojumu, līdz ar to nenodrošinās maksimālo pieauguma palielināšanos. Tomēr jāņem vērā, ka šajos eksperimentos iegūto rezultātu ietekmē ne tikai klimata, bet arī fotoperioda atšķirības.

Analizējot Vācijā ierīkoto eksperimentu sērijai paralēlos stādījumus Latvijā, kas ierīkoti trijās vietās (Kalsnava, Zvirgzde, Liepāja, pašreiz attiecīgi MPS Kalsnavas meža novads, LVM Vecumnieku iecirknis, LVM Nīcas iecirknis) ar atšķirīgiem klimatiskajiem un līdzīgiem edafiskajiem apstākļiem, konstatēts, ka dominējošo (3 augstākos kokus no katra atkārtojuma) koku augstums un caurmērs Vācijas proveniencēm stādījumā Liepājā (siltākais klimats) ir nedaudz un statistiski būtiski lielāks nekā Latvijas proveniencēm, taču stādījumā Kalsnavā šāda sakarība nav konstatēta (6.3.att.). Latvijas proveniencenes uzrādījušas ievērojami augstāku kvalitāti nekā Vācijas gan stumbra taisnuma, gan zaru resnuma ziņā.



6.3.attēls. Vācijas un Latvijas provenienču stumbra caurmērs (a) un koku augstums (b) dažādās eksperimenta vietās Latvijā 37 gadu vecumā.

Vācijas proveniencēm Liepājā un Zvirgzdē, kur klimatiskie apstākļi ir mērenāki, koku saglabāšanās 21 gada vecumā ir tikai par 4% zemāka nekā vietējām proveniencēm, bet Kalsnavā – par 17% zemāka. Kopumā iegūtie rezultāti šajā eksperimentu sērijā apliecina adaptācijas nozīmīgo ietekmi uz audžu ražību un potenciāli izmantot krustojumu starp proveniencēm ražības un pielāgošanās klimata izmaiņām vecināšanai.

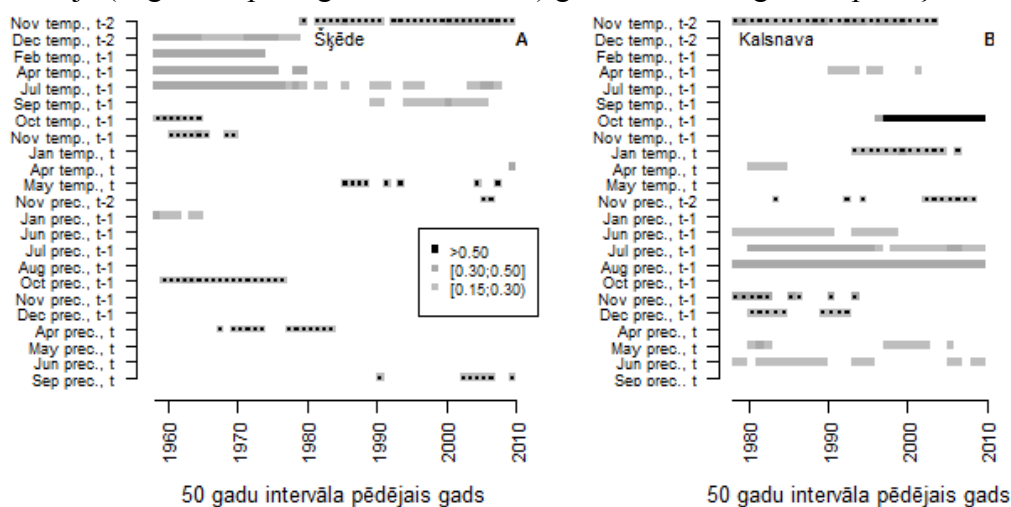
Koku gadskārtu platumu sagaidāmās izmaiņas nākotnes klimatiskajos apstākļos priedei, eglei, melnalksnim un bērzam 50–90 gadu kambiālajā vecumā vērtētas ar dendrohronoloģijas metodēm. Koksnes paraugi ievākti no mežaudžu dominējošajiem kokiem, audzes izvēloties četrās vietās Latvijā ar atšķirīgu klimata kontinentalitāti – pie Jūrkalnes, Tukuma, Valkas un Ludzas. Gadskārtu platumu variēšanas prognozēm veidoja lineāros modeļus, kas balstīti uz audžu vidējo gadskārtu platumu mainību un vairākiem klimatiskajiem faktoriem. Kopumā pētīto sugu gadskārtu platumu mainību galvenokārt ietekmēja apstākļi pirms koksnes pieauguma veidošanās, kā arī – mazākā mērā – apstākļi augšanas sezonas laikā (salīdzinoši izteiktāk bērzam). Skujkokiem vairums no saistībām starp klimatiskajiem faktoriem un vidējā gadskārtu platumā

sērijām laika periodā no 1989. līdz 2009. gadam uzrādīja lokālas iezīmes, kas var tikt skaidrotas ar atšķirībām meža tipos vai mikroklīmatiskajos apstākļos. Turpretim lapu koki uzrādīja globālākas iezīmes, piemēram, melnalkšņa gadskārtu platuma saistības ar novembra nokrišņu daudzumu vai bērza gadskārtu platuma saistības ar jūlija maksimālo gaisa temperatūru. Katrai sugai un parauglaukumam izveidoto lineāro modeļu (kuros ietverti no viena līdz trim klimatiskajiem faktoriem) determinācija vērtējama kā samērā zema, kas varētu būt skaidrojams ar klimatisko faktoru ietekmes intensitātes mainību starp gadiem, kā arī ar faktoru mijiedarbību.

Matemātiskie modeļi, kas izveidoti koku gadskārtu platumu mainības prognozēšanai, liecina, ka egles gadskārtu platums nākotnes klimatā 50–90 gadus veciem kokiem varētu saglabāties līdzīgs pašreizējam, bet priedei 21. gs. vidū un beigās Latvijas rietumu daļā tas varētu pieaugt. Neatkarīgi no vidējā gadskārtu platuma izmaiņām ir sagaidāms, ka abām skujkoku sugām visās apskatītajās teritorijās gadskārtu platums mainīsies plašākā amplitūdā. Melnalksnim nākotnes klimatiskajos apstākļos galvenokārt prognozējams gadskārtu platuma pieaugums. Bērzam neizdevās izveidot modeļus ar pietiekami augstu determinācijas koeficientu.

Klimata izmaiņu ietekmes prognozēšana priedei veikta arī, ar dendrohronoloģijas metodēm veicot augstuma pieauguma rekonstrukciju un identificējot būtiskos pieaugumu noteicošos meteoroloģiskos faktorus dažādā koku vecumā. Paraugkoki izvēlēti pēc nejaušības principa 100-110 gadus vecās audzēs un pārzāģēti garenvirzienā iespējami paralēli serdei. Starp abām paraugkoku ievākšanas vietām (Kalsnava un Šķēde) konstatētas līdzīgas augstuma pieauguma izmaiņas pa gadiem, tomēr pieauguma izmaiņu līdzība pagājušā gadsimta beigās un šī gadsimta sākumā samazinās. Šo tendenci, iespējams, nosaka krasākas klimata izmaiņas.

Veicot analīzi pa 50 gadu laika posmiem, konstatēts, ka 20. gadsimta laikā abās teritorijās mainījušies priedes augstuma pieaugumu būtiski ietekmējošie klimatiskie faktori (6.4.att.). Konstatētas augstuma pieauguma korelācijas ($r=0,15-0,30$; $r=0,30-0,50$; $r>0,50$) ar temperatūru un nokrišņiem kārtējā augšanas gadā vai 1-2 gadus iepriekš, liecina par sakarību, ka augstuma pieaugumu galvenokārt ietekmē iepriekšējā, nevis kārtējā (augstuma pieauguma veidošanās) gada meteoroloģiskie apstākļi.

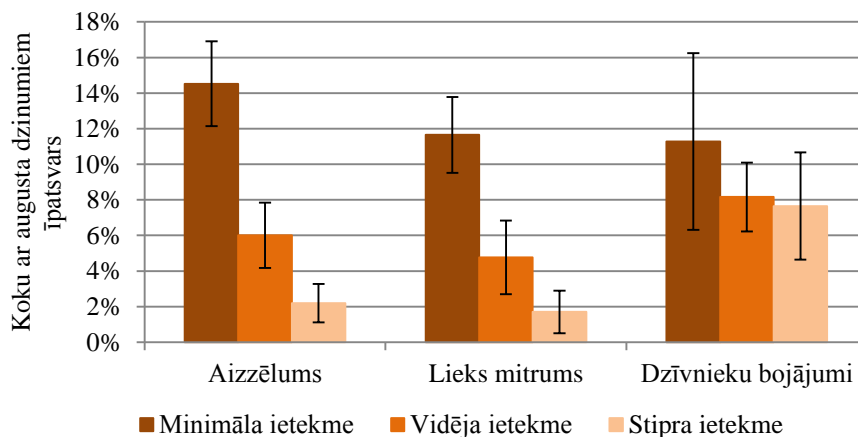


temp.- vidējā temperatūra; prec. – nokrišņu summa; t – kārtējā augšanas sezona; t-1 – iepriekšējā sezona; t-2 – sezona pirms iepriekšējās sezonas

6.4. attēls. Statistiski būtiskās korelācijas starp augstuma pieaugumu (atlikumu hronoloģija) un meteoroloģiskajiem faktoriem 50 gadu intervālos MPS Šķēdes (A) un Kalsnavas (B) MN (Jansons et al., 2015).

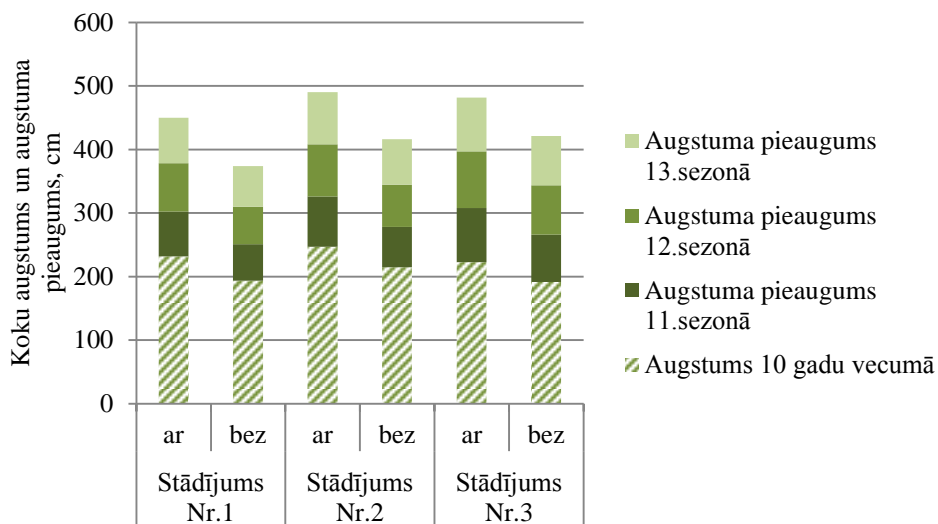
Latvijas austrumu daļā ar augstāku kontinentalitāti konstatēta nozīmīgāka klimatisko faktoru ietekme uz augstuma pieaugumu. Šajā teritorijā kārtējā gada vasaras un iepriekšējā gada vasaras beigu (augusta) nokrišņu summai ir nozīmīga ietekme uz priežu augstuma pieaugumu; tādēļ var uzskatīt, ka prognozētā nokrišņu summas palielināšanās nākotnē var pozitīvi ietekmēt koku augšanu. Tomēr tās veicinošo ietekmi var mazināt paaugstinātā transpirācija temperatūras pieauguma dēļ. Latvijas rietumu daļā augstuma pieaugumu būtiski pozitīvi ietekmē iepriekšējā gada pavasara un vasaras temperatūra, liecinot, ka tās paaugstināšanās klimata izmaiņu ietekmē palielinās augstuma pieaugumu. To netieši apstiprina arī novērotā augstuma pieaugumu būtiski ietekmējošo klimatisko faktoru skaita samazināšanās pagājušā gadsimta laikā.

Siltāks klimats un barības vielu pieejamības paaugstināšanās ir apstākļi, kas veģetācijas sezonas beigās eglei un priedei sekmē papildus pieauguma jeb t.s. augusta dzinumu veidošanos, kas var izraisīt stumbra kvalitātes pasliktināšanos – kokam var veidoties lielāks zaru skaits mieturī, divi mieturi vienā veģetācijas sezonā, kā arī padēli vai dubultas galotnes. Trīs gadu laikā apsekojot egļu audzes 3-8 gadu vecumā dažādos meža tipos, vidējais koku ar augusta dzinumiem īpatsvars bija 13%. Nav konstatēta noteikta koku ar augusta dzinumiem īpatsvara izmaiņu tendence saistībā ar audzes vecumu analizētajā periodā, arī meža tipa ietekme uz šo pazīmi eglei nebija būtiska. Tomēr labāka mikrovides kvalitāte (nav pārnadžu izraisītu bojājumu, noregulēts gruntsūdens līmenis, savlaicīgi novērsta pārējās veģetācijas konkurence), kā arī labvēlīgi meteoroloģiskie apstākļi (salīdzinoši siltāks un mitrāks augusts pēc vēsāka jūlija) veicina atkārtota augstuma pieauguma veidošanos (6.5.att.).



6.5. attēls. Egļu ar augusta dzinumiem īpatsvars nogabalos ar atšķirīgu mikrovides piemērotību egles augšanai.

Egļu brīvapputes pēcnācēju pārbaužu eksperimentā Latvijas centrālajā daļā (Rembatē) 3 netālu izvietotos stādījumos bijušajā lauksaimniecības zemē trīspadsmit gadu vecumā pēdējos trīs augšanas gados koki ar augusta dzinumiem augstuma pieaugums vidēji sezonā bijis par 7–16 cm lielāks nekā koki bez augusta dzinumiem; starpībām vairākās sezonās akumulējoties, radušās nozīmīgas ($p < 0,001$) atšķirības koku augstumā (par 60–75 cm) (6.6.att.).



6.6. attēls. Koku augstums 13 gadu vecumā un augstuma pieaugums eglēm ar un bez augusta dzinumiem.

Ģimeņu vidējo vērtību līmenī koku ar augusta dzinumiem īpatsvaram konstatēta statistiski būtiska ($p < 0,01$) sakarība ar koku augstumu 13 gadu vecumā un augstuma pieaugumu ($r = 0,41 \dots 0,71$). Konstatēta statistiski būtiska ģenētikas (ģimenes) ietekme uz koku ar augusta dzinumiem īpatsvaru; atsevišķām ģimenēm koku ar augusta dzinumiem (vismaz vienā no trim novērojumu sezonām) īpatsvars bija robežās no 0% līdz 95%.

Vairāku galotņu veidošanās iespējamība eglēm ar augusta dzinumiem ir statistiski būtiski, bet praktiski nenozīmīgi augstāka: trīs gadus pēc augusta dzinuma reģistrēšanas 3% gadījumu attiecīgajā mieturī veidojusies dubulta galotne, kamēr kokiem bez augusta dzinumiem – 1% gadījumu (divus gadus pēc augusta dzinuma veidošanās brīža – attiecīgi 6% un 3%). Kopumā var secināt, ka eglei koku ar augusta dzinumiem īpatsvara palielināšanās klimata izmaiņu ietekmē nodrošinās papildus 15–20% augstuma pieaugumu (gadījumos, kad kokiem nodrošināta labvēlīga mikrovide) jaunaudzēs vecumā, nozīmīgi nepazeminot stumbra kvalitāti un izmantojot šo pazīmi arī selekcijas procesā iespējams panākt papildus ražības pieaugumu.

Priežu jaunaudzēs 3-7 gadu vecumā vidējais koku ar augusta dzinumiem īpatsvars 2011. gadā bija 8%. Līdzīgi kā eglei, arī priedei nav konstatēta šīs pazīmes saistība ar audzes vecumu analizētajā periodā, tomēr meža tipa ietekme uz šo pazīmi priedei bija statistiski būtiska, piemēram, mazauglīgajos sausieņu mežos (sils, mētrājs) vidējais koku ar augusta dzinumiem īpatsvars (attiecīgi, 0,2% un 1,4%) bija ievērojami mazāks nekā šaurlapju kūdrenos (24%). Vērtējot priežu jaunaudzēs slapjajos, āreņos un kūdrenos (55 jaunaudzēs 3-5 gadu vecumā, vērtētas 2013.gadā) nav konstatētas būtiskas augusta dzinumu sastopamības atšķirības starp stādītām un dabiski atjaunotām jaunaudzēm (arī starp stādītiem un pašizsējas kokiem vienās un tajās pašās audzēs). Šajos nogabalos koku ar augusta dzinumiem īpatsvars sasniedzis pat 47%. Dati par visilgāko pieejamo laika periodu priežu ģimeņu brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumā liecina – no kokiem, kam 4 gadu vecumā bijis augusta dzinums, 6 gadus vēlāk 2,1% gadījumu attiecīgajā zaru mieturī identificējams padēls vai dubulta galotne. Tātad priedei, līdzīgi kā eglei, padēlu (vairāku galotņu) veidošanās iespējamība no augusta dzinumiem pastāv, bet tā ir praktiski nenozīmīga. Atšķirībā no egles, priedei nav konstatēta izteikta saikne starp koku augstumu un augusta dzinumu veidošanos.

7. Koku sugu izplatības izmaiņas, introducenti

Eiropā 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 faktoros.

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 tiek prognozēts. To nosaka gan sugu izplatības ātrums, gan dažādu citu faktoru (tai skaitā cilvēka 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 (un sēkļu) nodrošinātā gēnu plūsma starp populācijām ar dažādiem adaptīviem pielāgojumiem. Tomēr atsevišķām koku sugām, kas uzskatāmas par introducentiem, augšanas apstākļi Latvijā nākotnē kļūs augšanai labvēlīgāki.

Viena no sugām, kurai Eiropā ir liela saimnieciskā nozīme un kuras augšanai Latvijā varētu būt potenciāls, ir Eiropas dižskābardis *Fagus sylvatica* (Hanewinkel et al., 2012). Pēc pašreizējās informācijas dižskābarža izplatības ziemeļu robeža sasniedz Lietuvu un Zviedrijas dienvidu daļu, tādējādi Latvijā tas atrodas ārpus pašreiz pieņemtā dabiskās izplatības areāla, tomēr klimata izmaiņu rezultātā varētu dabiski sasniegt Latviju (Bolte et al., 2007). Daži autori uzskata, ka dižskābardis turpina atgūt un paplašināt kādreizējo izplatību (Giesecke et al., 2007; 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., 2005). Dižskābarža ražas gadi, kas ir nozīmīgi dabiskajai atjaunošanai, paaugstinoties jūlija un septembra temperatūrai, Zviedrijā ir kļuvuši biežāki (Övergaard et al., 2007). Dabiskā dižskābarža izplatīšanās ir lēna (Götmark et al., 2005), tā vēsturisko izplatību lielā mērā ir ietekmējusi cilvēka darbība (Bolte et al., 2007). 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). 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 – ap 4 m gadā (Sabule L., 2009). Tā kā Latvijā vidējā temperatūra janvārī ir no -3 līdz -7 °C un jūlijā no 16 līdz 17,5 °C (attiecīgi, jūras piekrastē un austrumu reģionā), tad Latvijas teritorija daļēji atbilst norādītajām dižskābarža temperatūras prasībām (vidējā temperatūra no -1 līdz -4 °C janvārī un ap 18 °C jūlijā) (Huntley et al., 1989). Tādējādi, klimatam kļūstot siltākam (Lizuma et al., 2007) un ekstrēmi zemu temperatūru gadījumiem – retākiem (Avotniece et al., 2010), dižskābardim ir potenciāls iekļauties Latvijas florā un kļūt par saimnieciski nozīmīgu sugu nākotnē.

Arī sarkanais ozols (*Quercus rubra*), kura izcelsme ir Ziemeļamerika, ir piemērots Latvijas apstākļiem. Tā radiālais pieaugums jaunaudzēs vecumā var būt lielāks nekā parastajam ozolam (Dreimanis, Šulcs, 2006). Sarkanais ozols ir uzskatāms par invazīvu sugu Lietuvā (dati no NOBANIS, Riepiņas, Straigyte 2008) un par potenciāli invazīvu

sugu Latvijā (dati no NOBANIS), kas netieši norāda uz tā izplatīšanās ātruma pieaugumu.

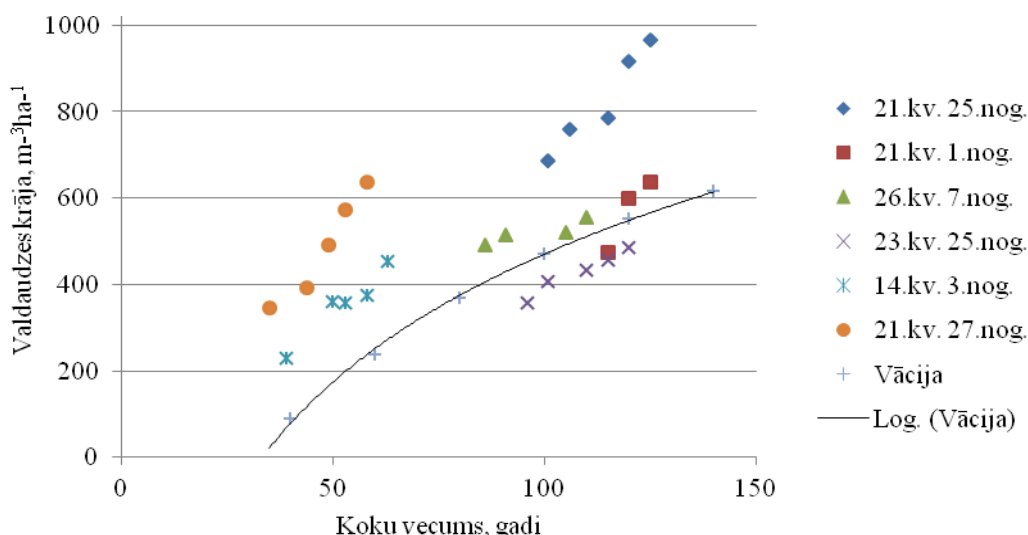
Skuju koki, kam augšanai piemēroto klimatisko apstākļu iestāšanos Latvijā var prognozēt 21. gs. laikā, ir lapegles (*Larix L.*) (Larsson-Stern, 2003). Lapegļu izplatības ziemeļu robeža ir saistāma ar salcietību, kuras iegūšanai nepieciešama temperatūru pakāpeniska samazināšanās rudenī un ziemas sākumā, 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 Kurzemē 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. 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). Lapegles atbilstība vietējai florai ir diskutējama, jo ir atsevišķi pierādījumi, ka lapegle vēsturiski ir bijusi sastopama Baltijas jūras reģionā atlantiskā perioda laikā (Kullman, 1998). Tomēr novērojumi citviet Eiropā liecina, ka lapegle ir uzņēmīga pret *Phytophthora* ģints sēņu ietekmi un šo patogēnu izplatība un agresivitāte klimata izmaiņu ietekmē var pastiprināties.

Eiropas dižskābarža un Eiropas lapegles mežaudzes Latvijā pašreiz aizņem attiecīgi 42,8 ha un 1138,9 ha (Dreimanis, 1995). Noskaidrojot klimatisko faktoru ietekmi uz gadskārtu platumu Latvijā augošiem kokiem, iespējams identificēt dižskābarža un lapegles augšanu būtiski ietekmējošos faktoros noteiktos veģetācijas sezonas periodos un tādējādi iegūt informāciju par šo sugu potenciālajām audzēšanas iespējām Latvijā. Detalizētu informāciju par klimata ietekmi uz kokaugu augšanu sniedz dendrohroloģiskā analīze (Fritts, 2001; Vetaas, 2002).

Klimatisko faktoru ietekme uz pieaugumu vērtēta, ievācot pieaugumu urbumus valdaudzes kokiem divās mežaudzēs – dižskābarža audzē Kalētu pagastā, Priekules novadā un Eiropas lapegles audzē MPS Auces meža novadā. 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), bet lapegļu audžu produktivitātes raksturošanai – ierīkojot parauglaukumus to audzēs MPS Auces mežu novadā (19 parauglaukumi audzēs ar vecumu no 37 līdz 82 gadiem). Mežaudzē Kalētu pagastā veikta arī dižskābaržu uzskaitē dabiskās atjaunošanās raksturošanai.

Dižskābarža augšana un dabiskā atjaunošanās stādītajās audzēs un to tuvumā Latvijā kopumā ir sekmīga. Minimālās apgaismojuma parametru vērtības, pie kurām konstatēta dižskābarža paauga, bija zemas, kas liecina par spēju atjaunoties un konkurēt ar citām sugām liela noēnojuma apstākļos Latvijā, piemēram, zem egles valdaudzes.

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 (7.1.att.). 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).



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

Vērī augošo lapegles audžu taksācijas rādītājus salīdzinot ar vidējiem tāda paša vecuma egles un bērza audžu rādītājiem šajā meža tipā (MSI dati), konstatēts, ka gan stumbra vidējais caurmērs, gan augstums šo koku sugu audzēs ir līdzīgi.

Klimatiskajiem faktoriem nav izteiktas ietekmes uz gadskārtu platumu analizētajām koku sugām, par ko liecina relatīvi zemās korelācijas koeficientu vērtības. Konstatēts, ka nozīmīgākie ietekmējošie meteoroloģiskie faktori abām sugām ir līdzīgi, turklāt gadi ar augstiem vai zemiem gadskārtu platumiem sakrīt ar mežaudzēs Lietuvā dižskābardim fiksētajiem (Vitas, Žeimavičius, 2010), apliecinot, ka tendences ir reģionam raksturīgas. Līdzīgi kā mežaudzēs Eiropas centrālajā daļā (Dittmar et al., 2003; Oleksyn, Fritts, 1991), gadskārtu platumu galvenokārt saistīs ar sausumu raksturojošajiem meteoroloģiskajiem faktoriem iepriekšējā gadā – negatīvi ar vasaras mēnešu temperatūru un pozitīvi ar nokrišņu summu. Konstatēts, ka ziemas un pavasara temperatūrām vairs nav nozīmīgas ietekmes uz lapegles un dižskābarža gadskārtu platumu Latvijas rietumu daļā. Tādējādi dižskābarža augšanai (audzēšanai) būtu piemērotas teritorijas ar pietiekamu mitruma nodrošinājumu. Tā kā lapegles augšanu negatīvi ietekmē iepriekšējā gada vasaras beigu temperatūra, tad, klimatam kļūstot siltākam, lapegles augšana var tikt apgrūtināta.

Ar dendrohronoloģijas metodēm novērtēta klimatisko faktoru ietekme uz četrus vietējos (egle, priede, bērzs un melnalksnis) un trīs introducēto sugu (lapegle, dižskābardis un sarkanais ozols) gadskārtu platumu variāciju. Augšanas gaitas līdzības salīdzinājumam starp parauglaukumiem (kopumā 45) un apskatītajām sugām veica galveno komponentu analīzi (PCA) (McCune, Mefford, 1999). Par pamatu ņemtas parauglaukumu gadskārtu atlikumu hronoloģiju indeksu vērtības 60 gadu garā laika posmā no 1950. līdz 2009. gadam, kas bija kopīgs visām izveidotajām hronoloģijām (priekšnosacījums PCA analīzes veikšanai). Rezultāti parādīja, ka dižskābardim un sarkanajam ozolam augšanas (gadskārtu platumu) variācija bija vislīdzīgākā priedei (no vietējām sugām), bet lapegles augšanas variācija – eglei. Tātad gan introducēto sugu, gan vietējo skujkoku augšanu ietekmējošo faktoru kopums ir līdzīgs, un klimatiskie

apstākļi ir piemēroti šo koku sugu izmantošanai mežsaimniecībā, paplašinot meža apsaimniekošanas risku mazināšanas iespēju klāstu.

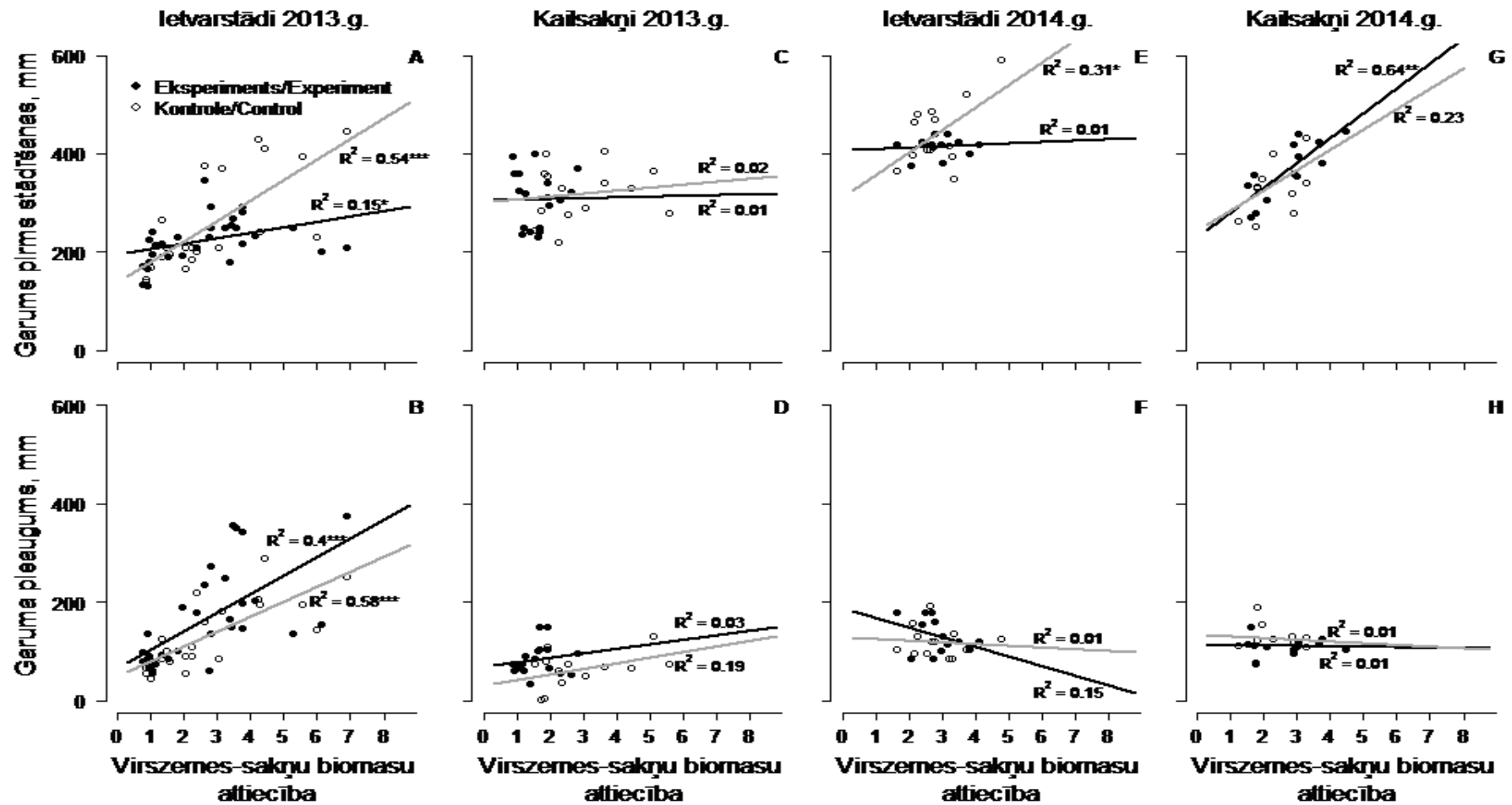
Cita pieeja sugu piemērotības nākotnē prognozētajiem klimatiskajiem apstākļiem novērtēšanai ir analizēt vēsturisko informāciju par koku sugu sastāvu periodos, kad klimats Latvijas teritorijā jau ir bijis līdzīgs tam, kāds tiek prognozēts. Lai noteiktu dominējošās koku sugas kādā no vēsturiskajiem klimatiskajiem periodiem, tiek iegūti paraugi no ezeru vai purvu organiskajiem nogulumiem, veikta to vecuma noteikšana (datēšana) pēc radioaktīvā oglekļa izotopa ^{14}C daudzuma augu atliekās vai arī citos oglekli saturošos materiālos (Higham, 2007) un paraugos esošo putekšņu sastāva noteikšana. Izmantojot veģetācijas datus un citas metodes (Seppä, Poska, 2004), tiek rekonstruēti konkrētā perioda paleoekoloģiskie apstākļi, klimats (Ceriņa et al., 2007; Kalnina, Gorovneva, 2007; Kalnina et al., 2008; Ozola et al., 2010; Pujāte et al., 2010). Kopumā Latvijā un kaimiņvalstīs iegūtie rezultāti liecina, ka laika periodā, kas atbilda okeāniska un, salīdzinājumā ar mūsdienām, siltāka klimata apstākļiem, kopējā koku sugu spektrā palielinājās mezofilo ģinšu (*Alnus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Quercus* un *Fraxinus*) sugu īpatsvars, vienlaikus samazinājās, bet tomēr ievērojamā daudzumā saglabājās *Pinus* un *Betula* sugas (Davis et al., 2003; Grudzinska et al., 2010; Heikkila, 2010; Kangur, 2008; Niinemets, Saarse, 2007; Seiriene et al., 2009; Stancikaite et al., 2008). Tādēļ lietderīgi vērtēt melnalkšņa, liepas, ozola, bērzu audžu platību vai piemistrojuma palielināšanas iespējas.

8. Meža atjaunošana klimata izmaiņu kontekstā

Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz koku saglabāšanos un augšanu nozīmīgākā ir pirmajos to dzīves gados. Jaunos koku var ietekmēt gan prognozētās mitruma režīma izmaiņas garākajā veģetācijas periodā, gan ziemas temperatūras režīma izmaiņas.

Augsnes mitruma pieejamība ir viens no svarīgākajiem vides faktoriem, kas nodrošina stādmateriāla saglabāšanos un augšanu, it īpaši pirmajā sezonā pēc iestādīšanas (Dinger, Rose, 2009; Rolando, Little, 2008; Thomas, 2009). Tās ietekme vērtēta eksperimentā kas izvietots sešos pēc augsnes substrāta (pārvests no atbilstoša meža tipa) un nokrišņu režīma atšķirīgos blokos: 1) auglīga minerālaugsne no damakšņa – kontrole (nokrišņu režīms nemainīts, DmK) un eksperiments (nokrišņu režīms izmainīts, DmE); 2) nabadzīga minerālaugsne no sila – kontrole (SIK) un eksperiments (SIE); 3) kūdras augsne no šaurlapju kūdreņa - kontrole (KsK) un eksperiments (KsE). Izmainītu nokrišņu režīmu nodrošināja, izmantojot nojumus, kas aizturēja nokrišņus un nemainīja temperatūru un apgaismojumu. Izmainīta nokrišņu režīma blokos, vidēji reizi 10 dienās, veikta laistīšana ar attiecīgā perioda nokrišņu summai identisku ūdens daudzumu.

Meža tipam (augšnei) un stādmateriāla veidam konstatēta 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. Detalizēti analizējot egles stādmateriālu, nav konstatētas būtiskas ($p > 0,05$) augstuma pieaugumu un virszemes biomasu atšķirības starp abiem mitruma režīmiem vienam un tam pašam stādmateriāla veidam vienā meža tipā. Abos novērojumu periodos lielākās vidējās virszemes/sakņu biomasas attiecības (SRR) vērtības bija ietvarstādiem: 2013. gadā 2,8 un 2014. gadā – 2,9, bet mazākās kailsakņu stādiem – attiecīgi 2 un 2,6 (8.1.att.). Ciešākās būtiskās korelācijas starp SRR un stādu augstumu pirms iestādīšanas bija ietvarstādiem kontroles variantā. Kailsakņu SRR cieša un būtiska korelācija ($R^2 = 0,64$, $p < 0,01$) ar stādu augstumu pirms iestādīšanas bija tikai 2014. gadā izmainītā mitruma režīmā. Ciešas un būtiskas korelācijas starp SRR un augstuma pieaugumu bija tikai ietvarstādiem 2013. gadā - $R^2 = 0,58$ ($p < 0,001$) kontrolē un $R^2 = 0,40$ ($p < 0,001$) eksperimentā. Kontroles ietvarstādu SRR abos novērojumu gados bija cieša un būtiska korelācija ar stādu augstumu pirms iestādīšanas. Tas nozīmē, ka arī dabiskā nokrišņu režīmā lielāka virszemes biomasas attiecībā pret saknēm sezonas beigās bija sākotnēji lielākiem ietvarstādiem; izmainīta mitruma režīma apstākļos vērojama līdzīga tendence, tomēr, stādu sākotnējam garumam pieaugot, virszemes/sakņu biomasas attiecības palielināšanās nenotika tik strauji kā kontroles variantā.



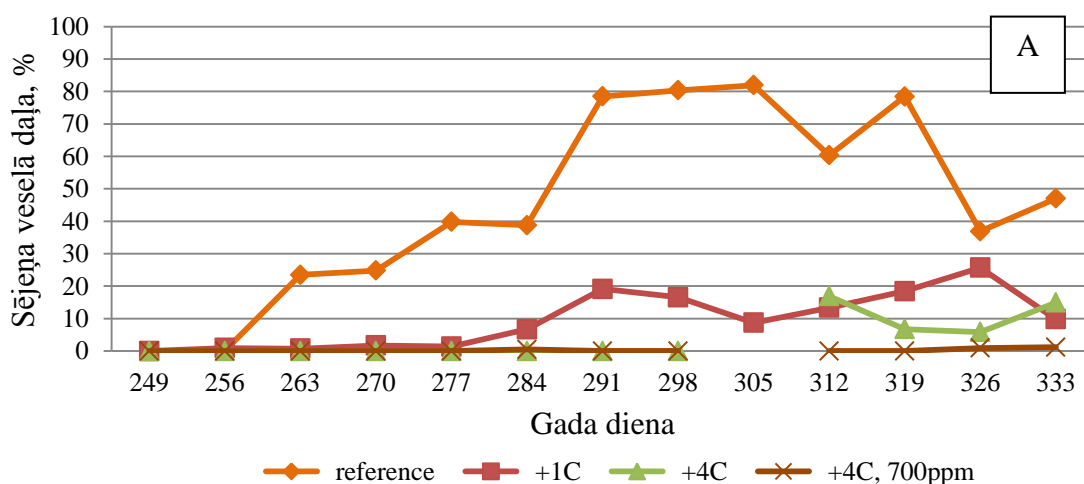
8.1. attēls. Egļu ietvarstādu (A, B, E, F) un kailsakņu stādu (C, D, G, H) virszemes/sakņu biomasas attiecība pret to augstumu pirms iestādīšanas un augstuma pieaugumu izmainītā (eksperiments) un dabiskā (kontrolē) nokrišņu režīmā 2013. un 2014. gadā (korelācijas koeficientu būtiskums – p – vērt. <0,05 (*), <0,01 (**), <0,001 (***)).

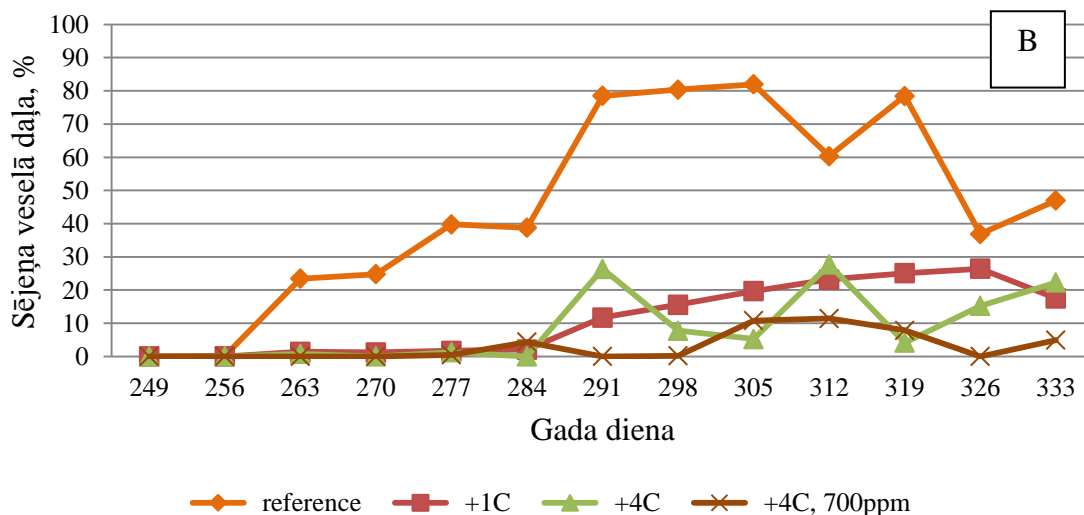
Konstatēts, ka eksperimentā pielietotajam izmainītajam vasaras nokrišņu sadalījumam, kas atbilst mērenu klimatisko izmaiņu scenārijam tālā nākotnē, nav būtiskas ietekmes uz pētījumā pārbaudītā stādmateriāla saglabāšanos pirmajā sezonā pēc iestādīšanas.

Prognozēto klimata pārmaiņu ietekmē var notikt izmaiņas arī tādos koka izdzīvošanai un vitalitātei nozīmīgos procesos kā salcietības veidošanās. Temperatūras izmaiņas salcietības veidošanās dinamiku dažādām koku sugām ietekmē atšķirīgi. Projekta ietvaros, sadarbībā ar Somijas mežzinātnes institūta pētniekiem, vērtēta veģetācijas perioda temperatūras ietekme uz apses salcietību. Eksperimentā salīdzinātie meteoroloģisko apstākļu varianti:

- atbilstošs esošajiem klimatiskajiem apstākļiem (reference);
- atbilstošs klimatiskajiem apstākļiem 2030. gadā (+1°C);
- atbilstošs klimatiskajiem apstākļiem 2100. gadā, krasu klimata izmaiņu gadījumā. (+4°C).

Salcietības testi uzsākti 249.gada dienā (septembra sākumā) un turpināti līdz 333.dienai. Vērtējot saglabāšanos pēc salcietības testiem, būtiski lielāks izdzīvojušo sējeņu daudzums konstatēts references (mūsdienu) meteoroloģiskajos apstākļos (66%), mazāks – +1°C (vidēji 61%) un vēl mazāks +4°C atbilstošos apstākļos (vidēji 29-34%) Rezultāti liecina, ka eksperimenta sākuma posmā (septembra sākumā) sējeņi vēl nebija gatavi ziemai neatkarīgi no meteoroloģiskajiem apstākļiem, kādos tie tikuši audzēti: salcietības pārbaudēs tie visi gāja bojā (8.2. att.). Sējeņu nebojātās daļas īpatsvara atšķirības konstatētas, sākot ar septembra beigām, kad koki, kas audzēti references apstākļos (mūsdienu klimatā), jau sākuši veidot salcietību (sala nebojātās daļas īpatsvars no kopējā augstuma pārsniedza 20%), bet nākotnes klimatam atbilstošās siltākās temperatūrās audzētie vēl ne – šiem kokiem pirmās salcietības pazīmes parādās tikai aptuveni mēnesi vēlāk. References apstākļos augušajiem kokiem aptuveni 2 mēnešus pēc salcietības veidošanās sākuma vērojams nozīmīgs tās kritums. Tas varētu būt saistīts ar „obligātā” ziemas miera perioda beigām, kad salcietības izmaiņas atkal sāk noteikt tikai ārējās vides temperatūra, un salcietība atbilstoši samazinās.





A-samazināta mitruma apstākļi ($1,6 \text{ mm m}^{-2}$), B-paaugstināta mitruma apstākļi ($3,1 \text{ mm m}^{-2}$), +4C – esošā CO_2 koncentrācija gaisā (290 ppm), +4C, 700ppm - paaugstinātā CO_2 koncentrācija gaisā (700 ppm)

8.2. attēls. Sala nebojātās daļas īpatsvars no kopējā koka augstuma pēc salcietības pārbaudēm dažādās gada dienās.

Sējeņiem, kuri auguši references (mūsdienu klimatiskajiem apstākļiem atbilstošā) temperatūras un mitruma režīmā pēc salcietības pārbaudēm pirmā dzīvā pumpura vidējais augstums (h_1) ir statistiski būtiski lielāks nekā citos apstākļos augušajiem. Mazākais dzīvās daļas augstums (tikai 2,5 cm jeb 4% no augstuma pirms salcietības pārbaudēm) konstatēts kokiem, kas auguši $+4^\circ\text{C}$ temperatūras režīmā, neatkarīgi no CO_2 koncentrācijas un mitruma apstākļiem.

Ņemot vērā, ka nākotnes klimatā ziema iestāsies vēlāk, un izslēdzot atšķirību salcietības veidošanās sākuma laikā ietekmi, konstatēts, ka salcietības veidošanās paaugstinātā temperatūrā augušiem kokiem tomēr nenotiek tik strauji un kopumā nesasniedz tādu līmeni (nedz sējeņu saglabāšanās, nedz to nebojātās daļas īpatsvara ziņā) kā references materiālam. Tātad paaugstinātas temperatūras ietekmē salcietības veidošanās ir ne tikai novirzīta (attālināta) laikā, bet arī samazināta tās intensitāte un salcietības maksimālā vērtība.

Salīdzinot koku augstumu nākamajā sezonā pēc salcietības pārbaudēm, konstatēts, ka paaugstinātā temperatūrā augušajiem kokiem tas bija lielāks nekā references apstākļos augušajiem. Šāds rezultāts ir likumsakarīgs, ņemot vērā labvēlīgākos augšanas apstākļos akumulēto lielāko barības vielu apjomu, no kura mazāka daļa patērēta salcietības nodrošināšanai, tātad vairāk pieejams koka augšanai nākamajā gadā. Tomēr paaugstinātā temperatūrā audzētu sējeņu saglabāšanās ir pārāk zema, lai uzskatītu, ka to iespējams kompensēt ar atsevišķu izdzīvojušo koku ātrāku augšanu: piemēram, $+4^\circ\text{C}$ atbilstošos apstākļos audzētajiem kokiem otrās veģetācijas sezonas beigās izdzīvojuši mazāk nekā 1% sējeņu. Jāņem vērā arī bojājumu potenciālā kumulatīvā ietekme – t.i., salam atkārtoties vairākus gadus pēc kārtas, bojā var aiziet (vai lielāko daļu augstuma atkārtoti zaudēt) visi paaugstinātā temperatūrā audzētie sējeņi. Kopumā eksperimenta rezultāti liecina, ka ziemas perioda salcietības (ne)veidošanās var būt nozīmīgs mežaudzes ietekmējošs faktors nākotnē prognozētajos klimatiskajos apstākļos, tādēļ ir būtiska tā detalizēta analīze turpmākos pētījumos.

Projektā veiktajos pētījumos galvenokārt analizēta tikai vienas koku sugas vai tīraudzes iespējamās atbildes reakcijas uz noteiktu vides parametru izmaiņām. Lai veicinātu mežaudžu pielāgošanos klimata izmaiņām, mistraudžu veidošana bieži tiek rekomendēta kā viens no nozīmīgākajiem risinājumiem noturības palielināšanai pret dendrofāgo kukaiņu (Castagneyrol et al., 2014; Jactel et al., 2005; Jactel, Brockerhoff, 2007; Klimetzek, 1990; Koricheva et al., 2006), slimību (Koricheva et al., 2006; Pautasso et al., 2005), vēja (Griess, Knoke, 2011; Knoke et al., 2008), sausuma (Pretzsch et al., 2013), uguns (González et al., 2006; Moreira et al., 2001) u.c. faktoru (Fabian, Menzel, 1998; Knoke et al., 2005; Lindner, 1999; von Lüpke et al., 2004; Reif et al., 2010; Spiecker, 2003) radītajiem draudiem. Tomēr šādas rekomendācijas parasti ir vispārīgas un nav iespējams novērtēt to pamatotību un/vai piemērot tās meža apsaimniekošanai Latvijā. Literatūras analīze liecina, ka mistrojuma var būt pozitīva ietekme, paaugstinot noturību, bet tā nav absolūta: faktoram (vējam, dendrofāgu blīvumam u.c.) pārsniedzot noteiktu robežvērtību, mistrojuma iespējamais pozitīvais efekts vairs neizpaužas. Tāpat mistrojuma efekts atkarīgs no sugu specifikas, un, konkrēta mistrojuma ietvaros, noturība pret vienu riska faktoru var palielināties, tajā pašā laikā pret kādu citu – samazināties. Piemēram, kā liecina empīriskie pētījumi, priedes-bērza mistraudzē sugu mijiedarbība samazina gan priežu zāglapseņu (Geri, Goussard, 1984; Kaitaniemi et al., 2007), gan bērza lapgraužu, lapu tinēju, pangērču un laputu sastopamību (Vehviläinen et al., 2006), tomēr samazina audzes noturību ziemas perioda vētrās.

Izstrādājot praksē izmantojamās rekomendācijas mistrojuma izmantošanai, nav pieļaujams bastīties tikai uz tendencēm, kas konstatētas citos reģionos, ir svarīgi noskaidrot Latvijā biežāk sastopamo dendrofāgo kukaiņu un slimību ietekmi uz mežsaimnieciski nozīmīgākajām koku sugām mistraudzēs un tīraudzēs. Arī mežaudžu noturību pret abiotiskajiem traucējumiem dažādos reģionos ietekmē atšķirīgi faktori: piemēram, vētru ietekmi lielā mērā nosaka augsnes sastāvs, mitrums, sezona (periods gadā, kad tās notiek). Tādēļ nepieciešams iegūt informāciju par mistraudžu noturību mūsu mežos raksturīgos apstākļos.

Tāpat praksē izmantojamās rekomendācijās nepieciešams mistrojumu kvantificēt, tomēr publikācijās bieži vien trūkst precīzu to aprakstošu parametru: koku sugu īpatsvars, apjoms, dimensijas, to savstarpējais izvietojums, tādējādi nav iespējams replicēt iegūtos rezultātus. Būtiski, ka ļoti maz analizēti papildus ieguvumi no mistrojuma audzes līmenī salīdzinājumā ar lielāku vai mazāku tīraudžu mistrojumu meža masīva līmenī, tādēļ ir nozīmīgi šī jautājuma detalizētāku izpēti veikt turpmākos pētījumos.

9. Analizēto klimata ietekmju uz koku sugām apkopojums

Klimata ietekmes kopsavilkums

		Priede	Egle	Bērzs	Melnalksnis	Apse
Preauguma izmaiņas		Krāja ciršanas vecumā no +19% (rietumos) līdz +30% (austrumos)	Krāja ciršanas vecumā +21%	Krāja ciršanas vecumā +9%	Pašreizējā līmenī	Pašreizējā līmenī
Ietekmējošie faktori	Vējš	Ietekme pašreizējā līmenī, izteiktāka DR; ieteicama savlaicīga retināšana	Ietekme nozīmīga, īpaši dienvidrietumos; ieteicama savlaicīga retināšana, atbilstoša cirsmu plānošana, ciršana pēc mērķa caurmēra	Ietekme pašreizējā līmenī	Ietekme pašreizējā līmenī	Ietekme pašreizējā līmenī
	Sasalstošs lietus	Ietekme nozīmīga, īpaši austrumu daļā; rekomendējama savlaicīga retināšana				
	Dendrofāgie kukaiņi	Kopumā ietekme palielināsies; nozīmīgākās sugas <i>Bupalus piniarius</i> , <i>Panolis flammea</i> , <i>Diprion pini</i> , <i>Rhyacionia buoliana</i> , <i>Lymantria monacha</i> , <i>Tomicus piniperda</i>	Kopumā ietekme palielināsies, īpaši uz nosusinātām kūdras augsnēm; nozīmīgākās sugas <i>Ips typographus</i> , <i>Lymantria monacha</i> , iespējams <i>Physokermes piceae</i>	Kopumā ietekme nenozīmīga, sugas: <i>Eriogaster lanestris</i> , <i>Craesus septentrionalis</i> , <i>Biston betularia</i> , <i>Melolontha melolontha</i>	Kopumā ietekme nenozīmīga, suga: <i>Agelastica alni</i>	Kopumā ietekme nenozīmīga, suga: <i>Melasma populi</i>
	Slimības	Kopumā ietekme palielināsies; nozīmīgākās sugas: <i>Lophodermium seditiosum</i> , <i>Heterobasidion spp.</i> , <i>Armillaria spp.</i> , <i>Gremmeniella abietina</i> , <i>Phytophthora spp.</i> , <i>Dothistroma spp.</i>	Kopumā ietekme palielināsies; nozīmīgākās sugas: <i>Heterobasidion spp.</i> , <i>Armillaria spp.</i> , <i>Phytophthora spp.</i> , <i>Stereum sanguinolentum</i>	Ietekme nenozīmīga, sugas: <i>Phytophthora cactorum</i> , <i>Cicadella viridis</i> bojājumu vietās, <i>Melampsoridium betulinum</i>	Ietekme nenozīmīga, suga: <i>Phytophthora alni</i>	Ietekme nenozīmīga, sugas: <i>Phellinus tremulae</i> , <i>Venturia tremulae</i> , <i>Micrococcus populi</i>

Rekomendācija atjaunošanai	Stādīšanas apjoms saglabājams, īstenojot profilaktiskos pasākumus (monitorings, putnu būri, ugunsapsardzība)	Stādīšanas apjoms saglabājams; ja riskiem vairāk pakļautajās vietās (reģioni, MT) nav iespējams plānot apsaimniekošanu pēc mērķa caurmēra, tad šajās vietās samazināt egles atjaunošanu	Stādīšanas apjoms palielināms	Stādīšanas apjoms saglabājams vai palielināms	Klimata ietekme nav nozīmīga salīdzinājumā ar pārnodžu ietekmi
----------------------------	--	---	-------------------------------	---	--

		Dizskābardis	Sarkanais ozols	Lapegle	Klinškalnu priede	Liepa, kļava
Pieauguma izmaiņas		Meteoroloģiskie faktori gadskārtu platumu dizskābardim ietekmē līdzīgā mērā kā vietējām koku sugām. Pieaugums augsts, nākotnē prognozētie klimatiskie apstākļi ietekmēs pozitīvi	Pieaugums augsts, nākotnē prognozētie klimatiskie apstākļi ietekmēs pozitīvi	Pieaugums augsts, nākotnē prognozētie klimatiskie apstākļi ietekmēs nedaudz (negatīvi)	Mazauglīgās augsnēs pieaugums lielāks nekā parastajai priedei, klimata ietekme neliela, pozitīva	Nav zināmas, bet vēsturisko klimata datu un atjaunošanās analīze liecina par pozitīvu ietekmi
Ietekmējošie faktori	Vējš	Ietekme zema (kā parastajam ozolam)		Ietekme zema (kā parastajai priedei), palielināsies, īpaši dienvidrietumu daļā		Ietekme zema (kā bērzam), palielināsies
	Sasalstošs lietus	Ietekme tieši nav vērtēta, taču visām analizētajām koku sugām vienlīdz nozīmīga, īpaši austrumu daļā; rekomendējama savlaicīga retināšana				
	Dendrofāgie kukaiņi	Ietekme tieši nav vērtēta, taču bojājumi esošajās audzes nav novēroti; nedaudz palielināsies		Ietekme nav nozīmīga	Ietekme nav nozīmīga, nozīmīgs risks, parādoties jaunām sugām	Ietekme nav zināma
	Slimības	Nav nozīmīga, nav sagaidāms, ka palielināsies		Iespējams, nozīmīga, palielināsies	Kopumā ietekme palielināsies; nozīmīgākās sugas: <i>Heterobasidion spp.</i> , <i>Armillaria spp.</i>	Ietekme nav zināma
Rekomendācija atjaunošanai		Stādījumu ierīkošana primāri R daļā (izmantojot piemērotas proveniences)	Stādījumu ierīkošana R daļā (izmantojot piemērotas proveniences)	Stādījumu ierīkošana pēc slimību riska un sausuma ietekmes testu veikšanas	Izmantot meža atjaunošanā kailcirtēs kā alternatīvu parastajai priedei	Saglabājamās, pakāpeniski palielināms īpatsvars atjaunošanā, turpinot izpēti

10. Pētījuma rezultātu publicēšana un turpmākās aktivitātes

Pētījuma rezultāti publicēti Latvijas un starptautiskos zinātniskos izdevumos:

- 1) Jansons Ā., Matisons R., Zadiņa M., Sisenis L., Jansons J. (2015). The effect of climatic factors on height increment of Scots pine in sites differing by continentality in Latvia. *Silva Fennica* vol. 49 no. 3 article id 1262. 14 p.;
- 2) Jansons Ā., Zeps M., Rieksts-Riekstiņš J., Matisons R., Krišāns O. (2014). Height increment of hybrid aspen *Populus tremuloides* × *P. tremula* as a function of weather conditions in southwestern part of Latvia. *Silva Fennica* vol. 48 no. 5 article id. 124. 13 p.;
- 3) Jansons Ā., Matisons R., Puriņa L., Neimane U., Jansons J. (2015). Relationships between climatic variables and tree-ring width of European beech and European larch growing outside of their natural distribution area. *Silva Fennica* vol. 49 no. 1 article id 1255. 8 p.;
- 4) Rieksts-Riekstins J., Jansons A., Smilga J., Baumanis I., Ray D., Connolly T. (2014). Climate suitability effect on tree growth and survival for Scots pine provenances in Latvia. In: Z. Gaile (ed.) *Proceedings of the 20th international scientific conference Research for Rural Development 2014, May 21-23, LLU, Jelgava, Latvia*, pp. 57-62.;
- 5) Neimane U., Jansons J., Gailis A., Katrevičs J., Jansons Ā. (2014). Augusta dzinumu ietekme uz egļu augstumu un stumbra kvalitāti. *Mežzinātne*, 28(61): 122–135;
- 6) Matisons R., Jansons J., Katrevičs J., Jansons Ā. (2015). Relation of tree-ring width and earlywood vessel size of alien *Quercus rubra* L. with climatic factors in Latvia. *Silva Fennica* vol. 49 no. 4 article id 1391. 14 p.;
- 7) Zeps M., Sisenis L., Luguza S., Purins M., Dzerina B., Kalnins J. (2015) .Formation of height increment of hybrid aspen in Latvia. *Agronomy Research*, 13(2), 436–441;
- 8) Neimane U., Zadina, M, Sisenis L., Dzerina B., Pobiarszens A. (2015) Influence of lammas shoots on productivity of Norway spruce in Latvia. *Agronomy Research*, 13(2), 354–360;
- 9) Krišāns O., Kalniņš J., Puriņš M., Jansons Ā. (2015) Nokrišņu sadalījuma izmaiņu ietekme uz parastās egles stādu augšanu. *Mežzinātne* 29, 84–98.

Projekta rezultātu prezentēšanai un vērtēšanai organizētas starptautiskas zinātniskas konferences: „Adaptation and mitigation: strategies for management of forest ecosystems” (Silava, EFI Associated event, 23-24.04.2015) un „Genetic aspects of adaptation and mitigation: forest health, wood quality and biomass production” (IUFRO & SNS AdapCAR, 24.-26.10.2012), kā arī konferences speciālā sesija „Forest ecosystem and its management: towards understanding the complexity” (Silava, DU, SBI, 15.10.2014.), pulcējot zinātniekus no kopumā 12 valstīm.

Ņemot vērā iegūtos rezultātus, pētījumu turpinājumā paredzēts:

- 1) papildināt informāciju par koku augšanas prognozēm nākotnes klimatā, ievācot procesos balstītiem augšanas gaitas modeļiem nepieciešamos ievades datus un veicot modelēšanu, kā arī analizējot un prognozēm izmantojot koku pieaugumu ietekmējošo meteoroloģisko faktoru izmaiņu dinamiku laikā un telpā un iegūtos rezultātus sagatavojot kā papildinājumu (moduli) esošajiem augšanas gaitas modeļiem;
- 2) vērtēt izstrādāto abiotisko faktoru bojājumus raksturojošo modeļu precizitāti, salīdzinot faktiskos bojājumus pēc notikuma ar modeļu prognozēm un pilnveidojot modeļus;
- 3) kontrolētos (nākotnē prognozētajos) apstākļos vērtēt:
 - a) koku augšanas cikla izmaiņas nākotnes klimatā (atšķirības starp sugām, proveniencēm, genotipiem) un to iespējamo ietekmi uz saglabāšanos (bojājumiem) un augšanu;
 - b) meteoroloģisko apstākļu ietekmi uz koku sēklu attīstību un to pēcnācēju augšanas ciklu;
 - c) dendrofāgo kukaiņu attīstības ciklu un to sinhronitātes ar koku attīstības ciklu izmaiņas;
- 4) ierīkojot stādījumus, ievācot un analizējot empīrisko materiālu un zinātniskās literatūras datus, vērtēt meža noturības pret dažādu abiotisko un biotisko faktoru ietekmi paaugstināšanas iespējas:
 - a) veidojot koku sugu mistrojumu, stāvojumus audzes vai meža masīva līmenī;
 - b) plašāk izmantojot Latvijā šobrīd maz pārstāvētās, kā arī introducētās, nākotnes klimatam piemērotās koku sugas.

Izmantotā literatūra

- Augustaitis A. (2007). Pine sawfly (*Diprion pini* L.) – related changes in Scots pine crown defoliation and possibilities of recovery. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16: 363–369.
- Avotniece Z., Rodinov V., Lizuma L., Briede A., Kļaviņš M. (2010). Trends in frequency of extreme climate events in Latvia. *Baltica*, 23: 135–148.
- Ayres M.P., Lonbardo M.J. (2000). Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The Science of the Total Environment*, 262: 263–286.
- Battisti A. (2006). Insect populations in relation to environmental change in forests of temperate Europe. – Paine T. (ed.). *Invasive forest insects, introduced forest trees, and altered ecosystems*. Springer, 127–140.
- Bjorkman C., Bylund H., Klapwijk M.J., Kollberg I., Schroeder M. (2011). Insect pests in future forests: more severe problems? *Forests*, 2: 474–485.
- Blennow K., Sallnäs O. (2004). WINDA - a system of models for assessing the probability of wind damage to forest stands within a landscape. *Ecological Modelling*, 175, 87–99.
- Bolte A., Czajkowski T., Kompa T. (2007). The north-eastern distribution range of European beech – a review. *Forestry*, 80: 413–429.
- Brasier C.M. (1996). *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Annales des Sciences Forestières*, 53: 347–358.
- Bright R.M., Antón-Fernández C., Astrup R., Cherubini F., Kvalevåg M., Strømman A.H. (2014). Climate change implications of shifting forest management strategy in a boreal forest ecosystem of Norway. *Global Change Biology*, 20, 607–621.
- Brüchert F., Becker G., Speck T. (2000). The mechanics of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst]: mechanical properties of standing trees from different thinning regimes. *Forest Ecology and Management*, 135, 45–62.
- Burton L.D. (2011). *Introduction to forestry science*, 3rd ed. Delmar, Clifton Park. 544 p.
- Castagneyrol B., Jactel H., Vacher C., Brockerhoff E.G., Koricheva J. (2014). Effects of plant phylogenetic diversity on herbivory depend on herbivore specialization. *Journal of Applied Ecology*, 51: 134–141.
- Ceriņa A., Kalniņa L., Grūbe G. (2007). Lubāna Piekraustes ziemeļaustrumu daļas holocēna nogulumu paleobotāniskie pētījumi. Latvijas Universitātes 65. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne, Referātu tēzes, Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 126.-128.lpp.
- Čermák P., Jankovský L., Cudlin P. (2004). Risk evaluation of the climate change impact on secondary Norway spruce stands as exemplified by the Krtiny Training Forest Enterprise. *Journal of Forest Science*, 50: 256–262.
- Davies G.M., Legg C.J. (2011). Fuel moisture thresholds in the flammability of *Calluna vulgaris*. *Fire Technology*, 47, 421–436.
- Davis B.A.S., Brewer S., Stevenson A.C., Guiot J. (2003). The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1701–1716
- Dinger E.J., Rose R. (2009). Integration of soil moisture, xylem water potential, and fall–spring herbicide treatments to achieve the maximum growth response in newly planted Douglas-fir seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 39 (7), 1401–1414.
- Dittmar C., Zech W., Elling W. (2003). Growth variation of common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe – a dendrochronological study. *Forest Ecology and Management*, 173: 63–78.
- Donis J. (2007). Ekstrēmu vēju ātrumu ietekmes uz kokaudzes noturību novērtējums, lēmuma pieņemšanas atbalsta sistēmas izstrāde. Meža attīstības fonds, LVMI Silava, Salaspils. 48 lpp.
- Donis J., Bičevskis M., Zdors L., Šņepsts G. (2010). Meža ugunsgrēka ietekmes uz koka dzīvotspēju novērtēšanas metodikas izstrādi: zinātniskā pētījuma atskaite. Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”, Salaspils, 98 lpp.
- Donis J., Zarins J., Jansons A. (2014). Fire disturbance pattern in Latvia: spatial and temporal aspects. *Transactions of the Institute of Forestry and Rural Engineering, Estonian University of Life Sciences*, 40, p. 26.
- Drage M.A. (2005). Atmospheric icing and meteorological variables: Full scale experiment and testing of models. Doctoral thesis, The University of Bergen. 134 p.
- Dreimanis A. (1995). Dižskābardis un lapegle Šķēdes mežniecībā. Mežzinātne: Meža nozares augstākās izglītības 75. gadu jubilejai veltītās zinātniski praktiskās konferences materiāli, LLU, Jelgava, 94.–97. lpp.
- Dreimanis A. (2005). Mežsaimniecības vēsturiskā mantojuma zinātniska izpēte un izvērtējums Šķēdes mežu novadā – atskaite. Jelgava. 87 lpp.
- Dreimanis A., Šulcs V. (2006). Sarkanā ozola *Quercus rubra* L. mežaudzes Šķēdes mežu novadā. LLU raksti, 17: 78–87.
- Dukes J.S., Pontius J., Orwig D., Garnas J.R., Rodgers V.L., Brazee N., Cooke B., Theoharides K.A., Stange E.E., Harrington R., Ehrenfeld J., Gurevitch J., Lerda M., Stinson K., Wick R., Ayres M. (2009). Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 231–248.

- Ērglis D. (1977). 1967. un 1969. gadu vētru sekas Latvijas PSR valsts mežos. *Mežsaimniecība un Mežrūpniecība*, 4, 23–34.
- Fabian P., Menzel A. (1998). Wie sehen die Wälder von morgen aus—aus der Sicht eines Klimatologen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 117: 339–354.
- Fritts H.C. (2001). *Tree rings and climate*. Blackburn Press, Caldwell, New Jersey. 567 p.
- Gardiner B., Stacey G. (1996). *Designing forest edges to improve edge stability*. Forestry Commission, Technical Paper 16, 8 p.
- Geri C., Goussard F. (1984). Evolution d'une nouvelle gradation de lophyre du pin dans le sud du Bassin Parisien: développement de la gradation jusqu'en 1982 et relations avec les facteurs du milieu. *Annals of Forest Sciences*, 41: 375–404.
- 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.
- 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.
- González J.R., Palahí M., Trasobares A., Pukkala, T. (2006). A fire probability model for forest stands in Catalonia (north-east Spain). *Annals of Forest Science*, 63: 169–176.
- 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.
- Griess V.C., Knoke T. (2011). Growth performance, wind-throw, insects - Meta-analyses of parameters influencing performance of mixed species stands in boreal and northern temperate biomes. *Canadian Journal of Forest Research*, 41(6): 1141–1159.
- 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.
- Grišule G. (2008). Fenoloģisko rādītāju mainības raksturs. – Āboliņa K., Andrušaitis A., Blumberga D., Briede A., Bruņiniece I., Grišule G., Kļaviņš M. (eds.). *Klimata mainība un globālā sasilšana*. LU akadēmiskais apgāds, Rīga, 100–105. lpp.
- Grudzinska I., Kalniņa L., Saulīte A. (2010). Būšnieku ezera attīstība un vides apstākļu izmaiņas holocēnā. *Latvijas Universitātes raksti*, 752, Zemes un vides zinātnes, 64.–74.lpp.
- 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.
- Harrison P.A., Berry P.M., Butt N., New M. (2006). Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale: implications for conservation policy. *Environmental Science and Policy*, 9, 116–128.
- Hedden R.L., Fredericksen T.S., Williams S.A. (1995). Modeling the effect of crown shedding and streamlining on the survival of loblolly pine exposed to acute wind. *Canadian Journal of Forest Research*, 25(5), 704–712.
- Heikkilä M. (2010). *Postglacial climate changes and vegetation responses in northern Europe*. Academic dissertation. Helsinki University Press, Helsinki, 55 p.
- Higham T. (2007). Carbon 14 dating. *Encyclopedia of Archaeology* University of Oxford, Oxford, UK, 955–957.
- 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.
- Jactel H., Brockerhoff E., Duelli P. (2005). A test of the biodiversity stability theory: meta-analysis of tree species diversity effects on insect pest infestations, and re-examination of responsible factors. In: Scherer-Lorenzen M., Körner C., and Schulze E.-D. (eds.). *Forest diversity and function – temperate and boreal systems*. *Forest diversity and function, temperate and boreal systems, ecological studies* 176: 235–262.
- Jactel H., Brockerhoff E.G. (2007). Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters*, 10: 835–848.
- Jansons Ā., Baumanis I. (2005). Growth dynamics of Scots pine geographical provenances in Latvia. *Baltic Forestry*, 11: 29–37.
- Jansons Ā., Matisons R., Zadiņa M., Sisenis L., Jansons J. (2015). The effect of climatic factors on height increment of Scots pine in sites differing by continentality in Latvia. *Silva Fennica*, 49 no. 3, article id 1262. 14 p.
- Kaitaniemi P., Riihimäki J., Koricheva J., Vehviläinen H. (2007). Experimental evidence for associational resistance against the European pine sawfly in mixed tree stands. *Silva Fennica*, 41(2): 259–268.
- Kalnina L., Gorovneva I. (2007). Pollen studies in Latvia. *Open Scientific Meeting of the European Pollen Database, Abstracts, IMEP Aix-en-Provence, France*, 7 p.
- Kalnina L., Lacis A., Kozlovs V. (2008). Mire stratigraphy and peat resources in Latvia. Farrell C., Feehan I. (eds.) *After Wise Use – The Future of Peatlands*. *Proceedings of the 13th International Peat Congress*, 8–13 June 2008, Tullamore, Ireland, 60–63.
- Kangur M. (2008). Spatio-temporal distribution of pollen in Lake Väike-Juusa (South Estonia) sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 153 (3–4), 354–359.

- Klimetzek D. (1990). Population dynamics of pinefeeding insects: a historical study. In: Watt A.D., Leather S.R., Hunter M.D., Kidd N.A.C. (eds.). Population dynamics of forest insects. Intercept Ltd, Andover, 3–10.
- Knoke T., Ammer C., Stimm B., Mosandl R. (2008). Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. *European Journal of Forest Research*, 127: 89–101.
- Knoke T., Stimm B., Ammer C., Moog M. (2005). Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution on an ecological concept. *Forest Ecology and Management*, 213: 102–116.
- Kolk A. (2006). Insect outbreaks in managed and unmanaged forests. Forest Research Institute, Warsaw. 113 p.
- Koricheva J., Vehviläinen H., Riihimäki J., Ruohomäki K., Kaitaniemi P., Ranta H. (2006). Diversification of tree stands as a means to manage pests and diseases in boreal forests: myth or reality? *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 324–336.
- Krauklis Ā., Zariņa A. (2002). Parastais skābardis sava areāla ziemeļu robežas ainavā Latvijā. *Ģeogrāfiski Raksti/ Folia Geographica*, 10: 16–47.
- Kulhanek A. (2009). User-friendly methods for timing integrated pest management strategies: An analysis of degree-day models and biological calendars. Master Thesis. The Ohio State University. 109 p.
- 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.
- Kullman L. (2008). Thermophilic Tree Species Reinvasade Subalpine Sweden-Early Responses to Anomalous Late Holocene Climate Warming. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40: 104–110.
- Larsson-Stern M. (2003). Larch in commercial forestry: A literature review to help clarify the potential of Hybrid larch (*Larix x eurolepis* Henry) in southern Sweden. [skafīts 2012. gada 8. novembrī]. Pieejams:<http://pub.epsilon.slu.se/441/2/Lic1Larsson-Stern.pdf>
- Lindner M. (1999). Waldbaustrategien im Kontext möglicher Klimaänderungen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 118: 1–13.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M.J., Marchetti M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709.
- 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.
- Lonsdale D., Gibbs J.N. (1996). Effects of climate change on fungal diseases of trees. – Frankland J.C., Magan N., Gadd G.M. (eds.). *Fungi and Environmental Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1–19.
- 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.
- Marino E., Madrigal J., Guijarro M., Hernando C., Diez C., Fernandez C. (2010). Flammability descriptors of fine dead-fuels resulting from two mechanical treatments in shrubland: a comparative laboratory study. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 314–324.
- McCune B., Mefford M.J. (1999). PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data. Glendon Beach, MjM Software, 237 pp.
- Milberg P., Bergman K.-O., Norman H., Pettersson R.B., Westerberg L., Wikars L.-O., Jansson N. (2015). A burning desire for smoke? Sampling insects favoured by forest fire in the absence of fire. *Journal of Insect Conservation*, 19 (1), 55–65.
- Moreira F., Rego F.C., Ferreira P.G. (2001). Temporal (1958–1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology*, 16: 557–567.
- 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.
- Niinemets E., Saarse L. (2007). Mid- and late-Holocene land-use changes inferred from pollen records, in a south-eastern Estonian upland area. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 146, 51–73.
- Niklasson M., Granström A. (2000). Numbers and sizes of fires: long-term spatially explicit fire history in a Swedish boreal landscape. *Ecology*, 81, 1484–1499.
- 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.
- Öhr P. (2012). The spruce bark beetle *Ips typographus* in a changing climate – effects of weather conditions on the biology of *Ips typographus*. Introductory Research Essay No.18, Department of Ecology, SLU, Uppsala. 27 p.
- Oleksyn J., Fritts H.C. (1991). Influence of climatic factors upon tree rings of *Larix decidua* and *L. decidua* x *L. kaempferi* from Pulawy, Poland. *Trees – Structure and Function*, 5: 75–82.
- Oliva J., Boberg J.B., Hopkins A.J.M., Stenlid J. (2013). Concepts of epidemiology of forest diseases. –Gonthier P., Nicolotti G. (eds.). *Infectious Forest Diseases*. CABI, Wallingford, UK. URL: <http://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20133214045>
- Olsson P.O., Jönsson A.M., Eklundh L. (2012). A new invasive insect in Sweden – *Physokermes inopinatus*: Tracing forest damage with satellite based remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 285, 29–37.

- 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.
- Ozola I., Ceriņa A., Kalniņa L. (2010). Paleoveģetācijas attīstība Burtnieka senezērā un tā apkārtnē pie Pantenes. *Latvijas Universitātes raksti*, 752, Zemes un vides zinātnes, 75.–87. lpp.
- Ozols G. (1985). Priedes un egles dendrofāgie kukaiņi Latvijas mežos. Rīga, Zinātne. 207 lpp.
- Pautasso M., Holdenrieder O., Stenlid J. (2005). Susceptibility to fungal pathogens of forests differing in tree diversity. In: Scherer- Lorenzen M., Körner C., Schulze E.-D. (eds.). *Forest diversity and function, temperate and boreal systems, ecological studies* 176: 263–289.
- Peltola H., Kellomäki S. (1993). A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage of Scots pine at stand edge. *Silva Fennica*, 27, 99–111.
- Peltola H., Nykänen M.L., Kellomäki S. (1997). Model computations on the critical combination of snow loading and windspeed for snow damage of Scots pine, Norway spruce and Birch sp. at stand edge. *Forest Ecology and Management*, 95, 229–241.
- Plucinski M.P., Anderson W.R. (2008). Laboratory determination of factors influencing successful point ignition in the litter layer of shrubland vegetation. *International Journal of Wildland Fire*, 17, 628–637.
- Pretzsch H., Schütze G., Uhl E. (2013). Resistance of European tree species to drought stress in mixed *versus* pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology*, 15(3): 483–495.
- Pujāte A., Kalniņa L., Silamiķele I. (2010). Veģetācijas izmaiņu atspoguļojums putekšņu spektros Ķemeru tīreļa takas apkārtnē. *Latvijas Universitātes raksti*, 752, Zemes un vides zinātnes, 88.–97. lpp.
- Quine C., Coutts M., Gardiner B., Pyatt G. (1995). *Forests and wind: Management to minimise damage*. Forestry Commission, Research Report 114, 24 p.
- Quine C.P. (1995). Assessing the risk of wind damage to forests: practice and pitfalls. In: M.P. Coutts, J. Grace (eds.). *Wind and Trees*, Cambridge University Press, 379–403.
- Quine C.P., Gardiner B.A. (2007). Understanding how the interaction of wind and trees results in windthrow, stem breakage and canopy gap formation. In: E.A. Johnson, K. Miyanishi (eds.). *Plant disturbance ecology: the process and the response*. Academic Press (Elsevier), New York, 103–156.
- Quine C.P., White I.M.S. (1993). Revised windiness scores for the windthrow hazard classification: the revised scoring method. *Forestry Commission Research Information Note* 230. Forestry Commission, Edinburgh. 6 p.
- 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.
- Reif A., Brucker U., Kratzer R., Bauhus J. (2010). Waldbewirtschaftung in Zeiten des Klimawandels – synergien und konfliktpotenziale zwischen forstwirtschaft und naturschutz. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 42: 261–266.
- Riepišas E., Straigyte L. (2008). Invasiveness and ecological effects of red oak (*Quercus rubra* L.) in Lithuanian forests. *Baltic Forestry*, 14: 122–130.
- Roga A. (1979). Meža ugunsgrēku veidi, to dzēšanas paņēmieni un taktika. Rīga, LZTIZPI, 58 lpp.
- Rolando C.A., Little K.M. (2008). Measuring water stress in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden seedlings planted into pots. *South African Journal of Botany*, 74, 133–138.
- Sabule L. (2009). Eiropas dižskābarža *Fagus sylvestris* (L.) izplatība Šķēdes mežu novadā. Maģistra darbs, Latvijas Universitāte. 39 lpp.
- 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.
- Schmuck G., San-Miguel-Ayanz J., Camia A., Durrant T., Boca R., Liberta G., Petroliaškis T., Di Leo M., Rodrigues D., Boccacci F. (2014). *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2013*. European Commission, Joint Research Centre, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 118 p.
- 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.
- Schroeder L.M. (2008). Insect pests and forest biomass for energy. *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy. Managing Forest Ecosystems*, 12: 109-128.
- Seidl R., Schelhaas M.J., Lexer M.J. (2011). Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology*, 17: 2842–2852.
- Seidl R., Schelhaas M.-J., Rammer W., Verkerk P.J. (2014). Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change*, 4, 806–810.
- Seiriene V., Kabailiene M., Kasperovicien J., Mazeika J., Petrosius R., Paskauskas R. (2009). Reconstruction of postglacial palaeoenvironmental changes in eastern Lithuania: Evidence from lacustrine sediment data. *Quaternary International*, 207, 58–68.
- Seppä H., Poska A. (2004). Holocene annual mean temperature changes in Estonia and their relationship to solar insolation and atmospheric circulation patterns. *Quaternary Research*, 61 (1), 22-31
- 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.

- Spiecker H. (2003). Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe – Temperate zone. *Journal of Environmental Management*, 67(1): 55-65.
- Stancikaite M., Sinkunas P., Seiriene V., Kisieliene D. (2008). Patterns and chronology of the Lateglacial environmental development at Pamerkiai and Kasuciai, Lithuania. *Quaternary Science Reviews*, 27, 127–147.
- Stathers R.J., Rollerson T.P., Mitchell S.J. (1994). *Windthrow Handbook for British Columbia Forests*. Ministry of Forests, Research Program, 32 p.
- Sturrock R.N., Frankel S.J., Brown A.V., Hennon P.E., Kliejunas J.T., Lewis K.J., Worrall J.J., Woods A.J. (2011). Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, 60: 133–149.
- Sykes M.T., Prentice I.C. (1996). Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifers/northern hardwoods zone of northern Europe. *Climate Change*, 34, 161–177.
- Thomas D.S. (2009). Survival and growth of drought hardened *Eucalyptus pilularis* Sm. seedlings and vegetative cuttings. *New Forests*, 38, 245–259.
- Thuiller W. (2004). Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology*, 10, 2020–2027.
- Turguter S., Ülgentürk S. (2006). *Physokermes piceae* (Schrank) (Yumrulu Ladin Koşnili) (Hemiptera: Coccidae)'nin Biyolojik Özellikleri (Biological aspects of *Physokermes piceae* (Schrank) (spruce bud scale) (Hemiptera: Coccidae). *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12, 44–50.
- Ugunsdrošības noteikumi: Latvijas Republikas Ministru kabineta 2004. gada 17. februāra noteikumi Nr. 82. Rīga, 2004.
- Valstybinė Miškų Tarnyba. Netikrasis eglinis skydamaris (*Physokermes piceae* Schrank.). 2010. [skatīts 2012. gada 12. oktobrī]. Pieejams: <http://www.msat.lt/lt/kenkejai/vabzdziai/spyglius-grauziantys/netikrasis-eglinis-skydamaris/>
- Van Wagner C.E., Pickett T.L. (1985). Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, Petawawa National Forestry Institute, Chalk River, Ontario. Forestry Technical Report, 33. 18 p.
- Vasiliauskas R. (2001). Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in temperate forests: a literature review. *Forestry*, 74: 319–336.
- Vehviläinen H., Koricheva J., Ruohomäki K., Johansson T., Valkonen S. (2006). Effects of tree stand species composition on insect herbivory of silver birch in boreal forests. *Basic and Applied Ecology*, 7(1): 1-11.
- Vetaas O.R. (2002). Realized and potential climate niches: a comparison of four *Rhododendron* tree species. *Journal of Biogeography*, 29: 545–554.
- Vitas A., Žeimavičius K. (2010). Regional tree-ring chronology of European larch (*Larix decidua* Mill.) in Lithuania. *Baltic Forestry*, 16: 187–193.
- von Lüpke B. (2004). Risikominderung durch Mischwälder und naturnaher Waldbau—ein Spannungsfeld. *Forstarchiv*, 75: 43–50.
- Walther G.R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J.-M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395.
- Wood C.J. (1995). Understanding wind forces on trees. In: M.P. Coutts, J. Grace. *Wind and Trees*. Cambridge University Press, 133–164.
- 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.