



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

L-KC-11-0004

Pārskats par pētījuma

# Metodes un tehnoloģijas meža kapitālvērtības palielināšanai

virziena

## Potenciālo klimata izmaiņu ietekmes vērtējums un kvantifikācija

7. aktivitātes rezultātu izpildi

**Pētījums veikts sadarbībā ar:  
Latvijas Valsts mežzinātnes institūtu „Silava”  
AS „Latvijas valsts meži”  
SIA "MNKC"**

Virziena vadītājs \_\_\_\_\_ Āris Jansons

2015.gada jūnijs

**Uz detālas analīzes rezultātiem balstīts pārskats par būtiskākajām prognozēto klimata  
izmaiņu ietekmēm uz mežaudzēm**

**SATURS**

1. Prognozētās klimata pārmaiņas, to ietekme uz koku augšanu .....	3
2. Abiotisko faktoru ietekme – vējš .....	10
3. Abiotisko faktoru ietekme – uguns .....	13
4. Abiotisko faktoru ietekme – sasalstošs lietus .....	21
5. Biotisko faktoru ietekme – dendrofāgie kukaiņi .....	26
6. Koku pieauguma izmaiņas saistībā ar klimata pārmaiņām .....	31
7. Koku sugu migrācija.....	35

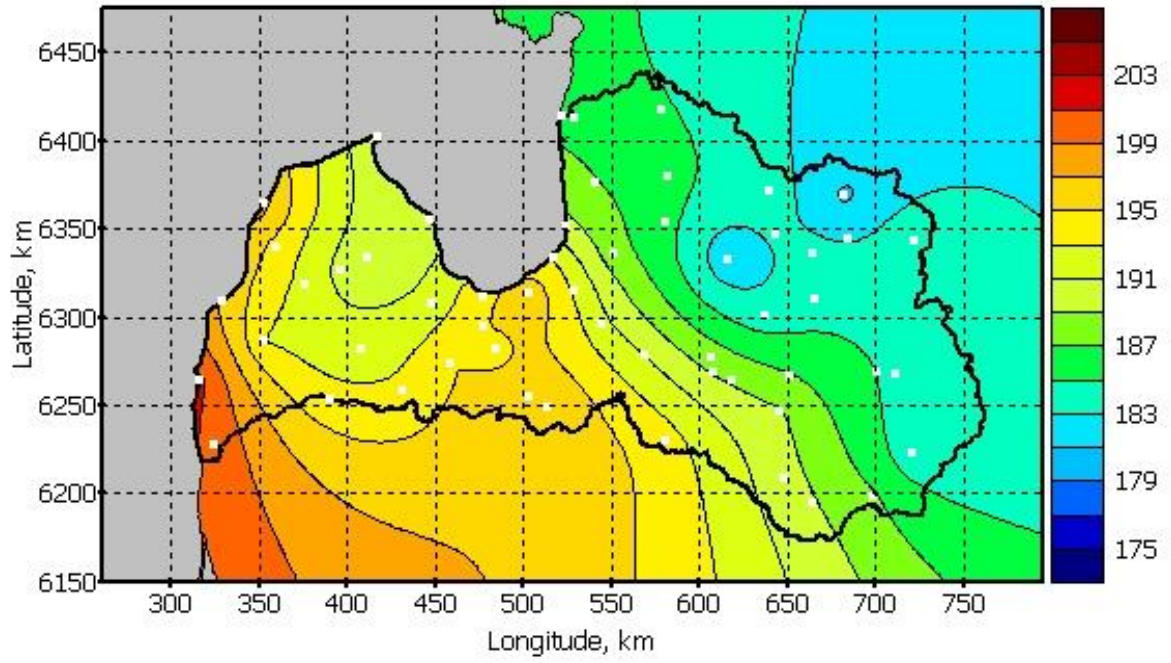
## 1. Prognozētās klimata pārmaiņas, to ietekme uz koku augšanu

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

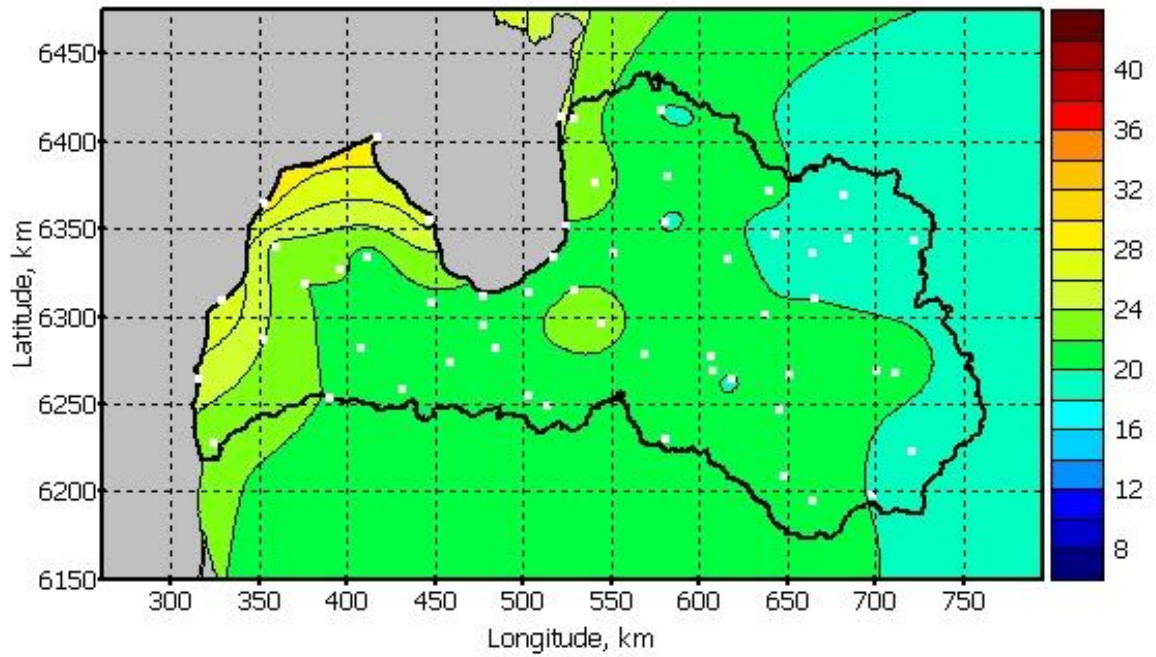
Klimata izmaiņu scenāriji šim gadsimtam rāda, ka gada vidējā temperatūra Latvijā pieaugs visās sezonās. Pēc sabalansēta tipa attīstības scenārija (A1B) vidējo izmaiņu gadījumā temperatūra pieaugs par 4,6–5,8 °C janvārī, 2,2–4,0 °C aprīlī, 2,5–4,3 °C jūlijā un 3,6–4,3 °C oktobrī. Kopumā 21.gs beigās, 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%.

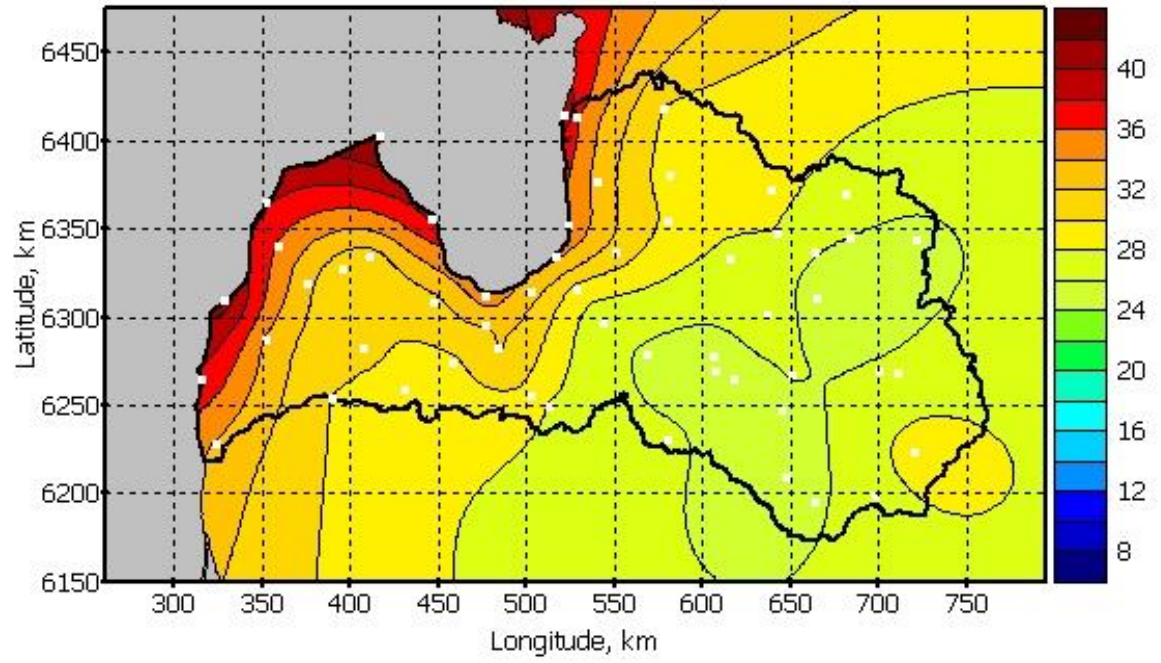
Veģetācijas perioda garums uzskatāms par vienu no nozīmīgākajiem rādītājiem, kas ietekmē mežaudžu produktivitāti. Tiek prognozēts, ka veģetācijas periods, kas šobrīd ir 180–200 dienas, līdz gadsimta beigām pieaugs par 35–62 dienām vidēju klimata izmaiņu gadījumā un par 50–80 dienām krasu klimata izmaiņu 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, bet sagaidāmais veģetācijas perioda garuma pieaugums tuvajā nākotnē (2021-2050) un tālajā nākotnē (2071-2100) vidējo un nozīmīgo klimata izmaiņu scenāriju gadījumā – 1.2.attēlā.

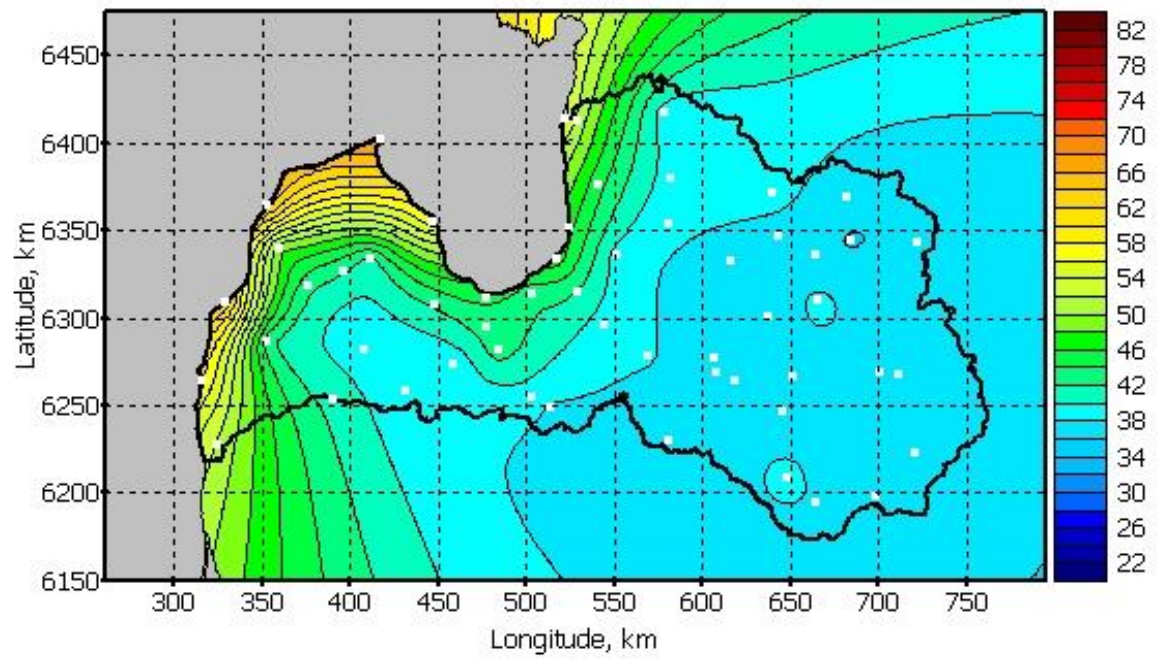


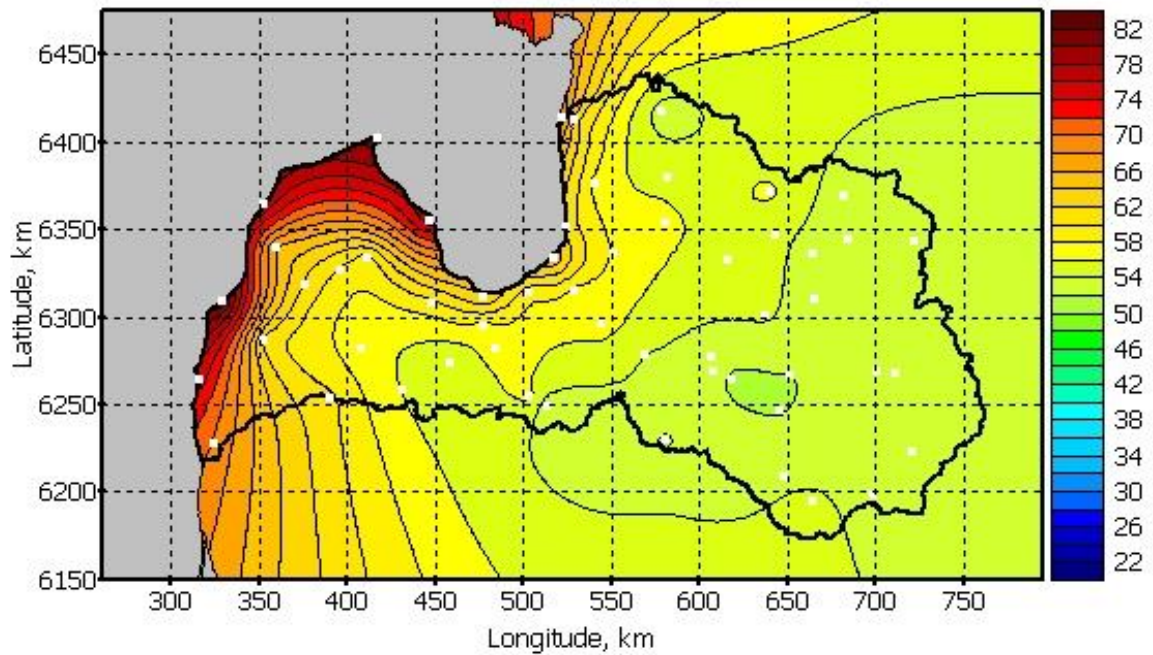
1.1. attēls. Veģetācijas perioda garums (dienās) references periodā 1961-1990.





a)



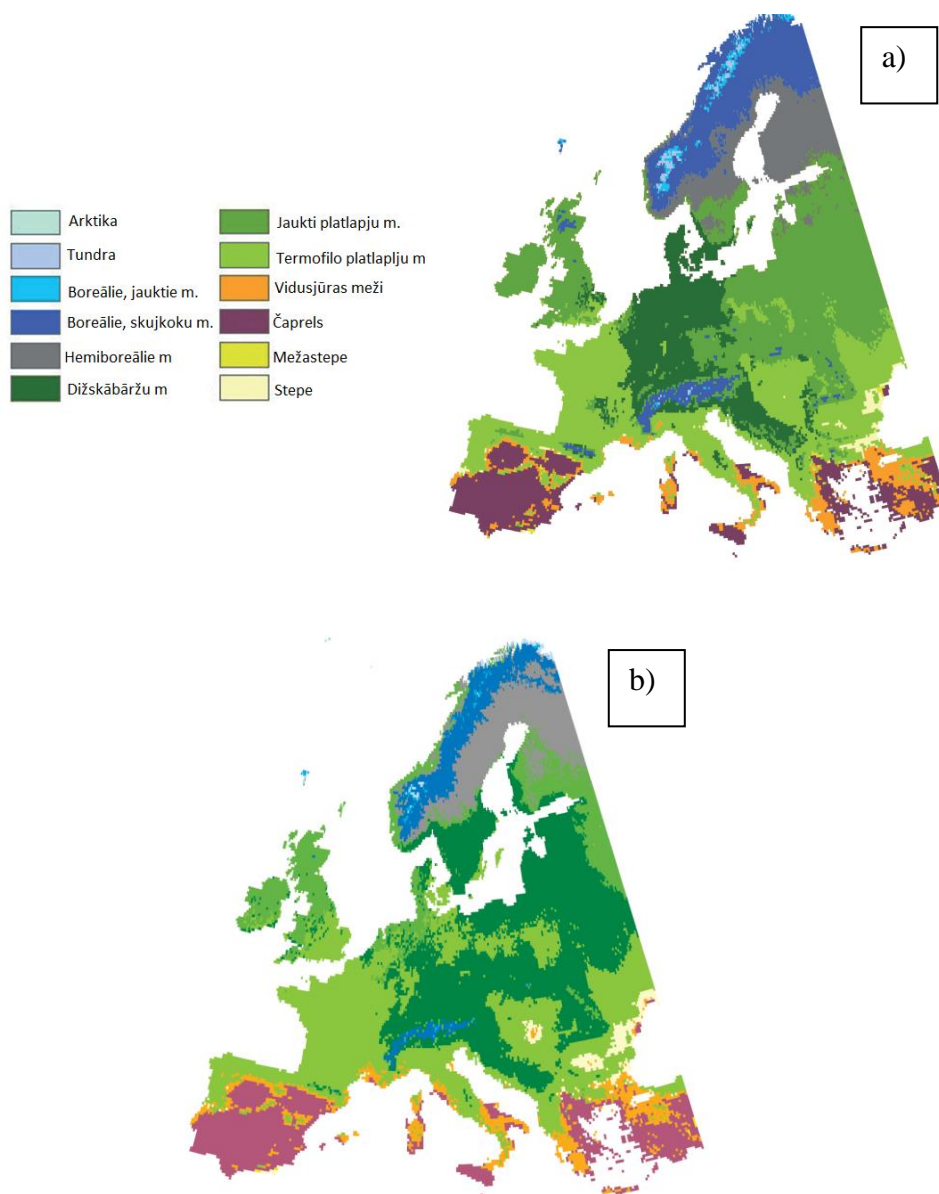


b)

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 proveniences, klonus konkrētajā vietā ieteicams izmantot. Augstāka ražība vienmēr būs tiem kokiem, kas spēj optimāli izmantot visu pieejamo veģetācijas perioda garumu. Par piemērošanos noteiktam veģetācijas perioda garumam liecina provenienču eksperimenti, kur koki no populācijām ar izcelsmi uz ziemeļiem no stādīšanas vietas rudenī beidz augt agrāk, reizē ar to audzes ir ar 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 (1.3.att.), „izspiežot” ziemeļu sugas (Reich, Oleksyn, 2008), tātad tuvākajās desmitgadēs notiks dabiska sugu kompleksa nomaiņa. 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).



Modelēšanā izmantots dinamiskais veģetācijas modelis, izmantojot HadCM3 klimata scenāriju (IPCC 2007).

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

Klimata izmaiņu modelēšanas ietvaros, izveidojot klimatisko apstākļu novirzes funkciju, definētas vietas Eiropā, kurās jau šobrīd klimats atbilst Latvijā nākotnē prognozētajam. 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 klimatam līdzīgi – divos ģeotelpiski atdalītos apgabalos: 1) Polijas centrālajā un dienvidu daļā; 2) Vācijas rietumu daļā un Luksemburgā, Nīderlandes un Beļģijas dienvidaustrumu reģionos.

Lai pārlicinātos par Latvijas nākotnes klimatam 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 Polijas centrālajā un Vācijas ziemeļu-ziemeļaustrumu daļā pieejamajām fenoloģisko novērojumu stacijām/punktiem. Fenoloģiskie dati tika salīdzināti divām sugām – parastajai lazda (*Corylus avellana*) un āra bērzam (*Betula pendula*) divos periodos: 20.gs. 60.-tie gadi un 90.-tie gadi (1.1.tab.).

1.1.tabula

Fenoloģisko situāciju raksturojošie dati Vācijā un Latvijā

Novērojumu stacijas	<i>Lazda</i> Ziedēšanas sākums (diena no gada sākuma)		<i>Bērzs</i> Lapu plaukšanas sākums (diena no gada sākuma)	
	60-tie gadi	90-tie gadi	60-tie gadi	90-tie gadi
Latvijas ziemeļaustrumu daļa				
<b>Alūksne</b>	96	104*	133	127*
Janikowo	80	74*	120	113
Gorzow Slaski	67	64*	114	110
Latvijas centrālā un dienvidaustrumu daļa				
<b>Dobele</b>	90	80	126	120
<b>Dagda</b>	-	94*	129	123*
Berlīnes apkārtnē	63	37	113	105
Drēzdenes apkārtnē	-	34	112	97
Jaslicka	82	81*	126	113
Latvijas rietumu daļa				
<b>Pope</b>	88	73	128	126
Hamburgas apkārtnē	-	-	112	103
Rostokas apkārtnē	73	38	120	111

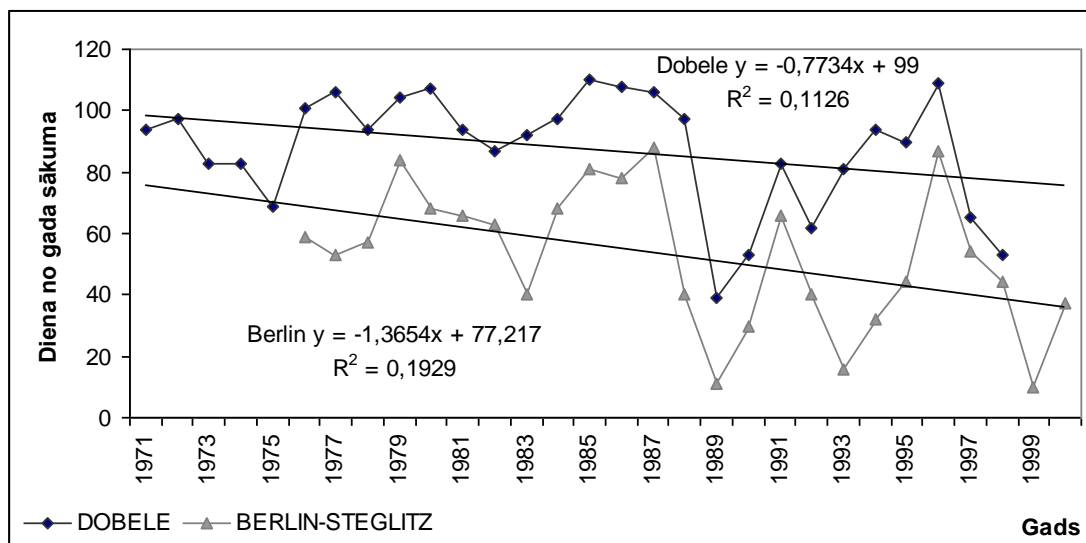
\*80.-tie gadi

Lazdas ziedēšanas fenoloģiskais trends ir negatīvs, t.i., fāze iestājas vidēji agrāk (1.4.att.). Dobelē lazda sāk ziedēt 0,77 dienas agrāk uz katru gadu, Berlīnē – 1,4 dienas agrāk. Vidēji starpība starp fāzes iestāšanos Berlīnē un Dobelē ir 36 dienas. Starpība starp lazdas ziedēšanu Alūksnē un Polijas centrālajā daļā Janikowo punktā ir 21 diena. Latvijas teritorijā lazdas ziedēšana mainījies vairāk nekā 10 dienu intervālā, bet izmaiņu lielums dažādos novērojumu punktos atšķiras.

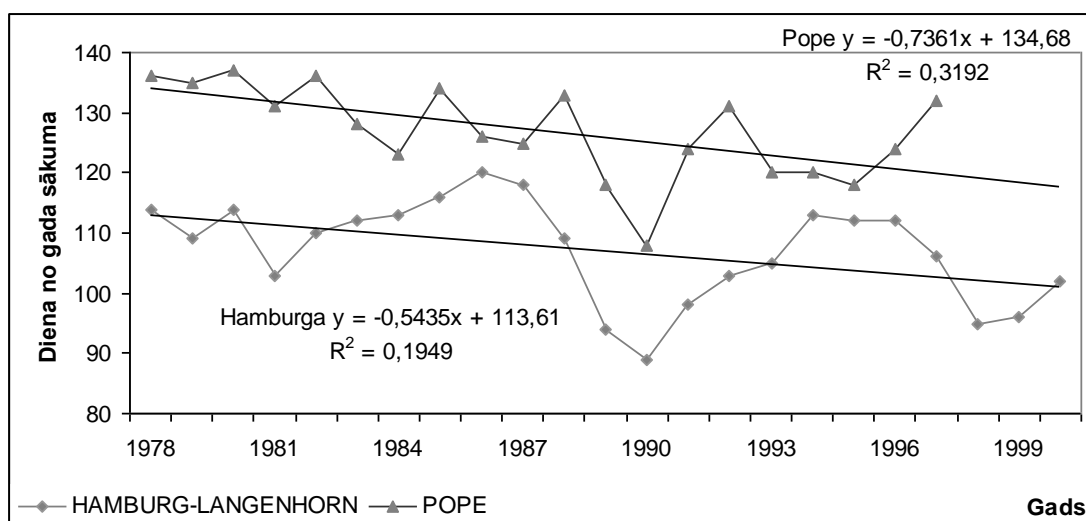
Bērza lapu plaukšana (1.5.att.), salīdzinot pa periodiem, nav mainījies tik būtiski kā lazdas ziedēšanas sākums, kas saskan ar citur veiktajiem pētījumiem, ka agrās fenoloģiskās fāzes mainījušās lielākā intervālā. Reģionālā starpība visā periodā vidēji ir 20 dienas. Starpība starp bērza lapu plaukšanu Berlīnes teritorijā un Dobelē ir 12 dienas, bet Alūksnē un



Janikowo stacijā – 10 dienas, kas nozīmē, ka piekrastes teritorijās izmaiņas ir lielākas nekā no piekrastes tālākos punktos.



1.4.attēls. Parastās lazdas ziedēšanas sākuma trends Berlin-Steglitz (Vācija) un Dobeļē (1971.-2000.gads).



1.5.attēls. Āra bērza lapu plaukšanas sākuma trends Hamburga-Langenhorn (Vācija) un Popē (1978.-2000.gads).

Definētajos reģionos kopumā konstatētas līdzīgas koku fenoloģisko procesu vēsturiskās 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 vērtēta abiotisko faktoru (vēja, uguns un sasalstoša lietus) saikne ar prognozētajām klimata izmaiņām, kā arī negatīvā ietekme uz mežaudzēm. Apsaimniekotiem mežiem vēja radīti bojājumi uzskatāmi par nopietnu draudu. Ekonomiskie zaudējumi ir īpaši nozīmīgi vidēja vecuma audzēs un briestaudzēs, kur koku pieaugumi var dot nozīmīgu krājas, dimensiju un vērtības pieaugumu.

Latvijā, līdzīgi kā visā mērenajā zonā, būtiskākie ir ārpustropisko ciklonu vēji (Quine, Gardiner, 2007) un negaisa vētras. Ārpustropiskās joslas ciklonu vēji aptver platību pat līdz 4000 km diametrā, un to pastāvēšanas ilgums vienā vietā ir apmēram 3 diennaktis. Ārpustropisko vēju atgriešanās varbūtība lielākā mērogā ir vairāk vai mazāk paredzama. Negaisa vētras pie mums ir aktuālas vasarā, to dimensija ir mērāma desmitos kilometru un to pastāvēšanas ilgums vienā vietā ir līdz 30 minūtēm (Quine, Gardiner, 2007). Ievērojami retāk, bet ir sastopami arī t.s. virpuļviesuļi (tornado). Spēcīgākie vēji visbiežāk ir rudens un ziemas periodā, taču vērojama ikgadēja variācija. Būtiski atzīmēt, ka īpaši spēcīga vētra nemaina tikpat spēcīgas vētras atkārtotās varbūtību jau nākamajā gadā (Quine et al., 1995).

Reģionālā līmenī ir iespējams paredzēt spēcīgu vēju varbūtību ilgākā laika periodā, bet atsevišķu intensīvu vētru trajektorija ir grūti paredzama. Tādēļ vēja klimatoloģijā izmanto vēju ātrumu varbūtību sadalījumu. Ekstrēmo vērtību noteikšanai visbiežāk tiek lietots Veibula vai Gumbela sadalījums (Quine, Gardiner, 2007; Blennow, Salnās, 2004).

Zemes virsmas tuvumā berzes rezultātā vējš ir turbulents, un, jo virsma ir nelīdzenāka (piemēram, meža vainagu klājs salīdzinājumā ar atklātu vietu), jo turbulence lielāka. Turbulence ir „organizēta” saskaņotās brāzmās, kas kustas 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 spēcīgāko brāzmu iedarbības spēks var pat līdz 10 reizēm pārsniegt vidējā vēja ātruma spēku (Quine et al., 1995). Izmaiņas veģetācijas struktūrā vai pēkšņas izmaiņas tās augstumā var radīt papildus turbulenci un vēja paātrinājumu.

Individuālam kokam vēja radīta bojājuma iespējamību ietekmē (Stathers et al., 1994):

1) koka augstums un diametrs. Palielinoties vēja spēka pielikšanas punkta augstumam, palielinās spēka plecs un tādējādi arī spēka moments.

2) stumbra forma. Kokiem ar lielāku H/D attiecību, mazāku raukumu un bez blīzuma ir lielāka vēja bojājuma varbūtība (Peltola, Kellomaki, 1993; Peltola et al., 1997; Quine et al., 1995).

3) vainaga izmēri. Jo lielāka vēju uztverošā vainaga virsma, jo lielāks pieliktais spēks. Koka vainags vēja ietekmē var mainīt savu formu, tādējādi pazeminot „efektīvo” virsmu (Hedden et al., 1995; Wood, 1995; Quine et al., 1995).

4) stumbra, zaru un lapu stiprība un elastība. Dažādām sugām, kā arī vienas un tās pašas sugas kokiem dažādās to attīstības stadijās ir atšķirīga zaru elastība, kā arī stiprība. Piemēram, eglei zari ir elastīgāki nekā priedei (Quine et al., 1995). Arī dažādu Krafta klašu kokiem ir atšķirīgas mehāniskās īpašības (Bruchert et al., 2000).

5) sakņu sistēmas dziļums un aizņemtā platība, sakņu skaits un dimensijas. Novērojumi liecina, ka sānsaknes palielina koka izturību pret izgāšanu (Mattheck, Bethge, 1990), taču citi pētījumi liecina, ka koku noturībā nozīmīgāka loma ir mietsaknei, nevis sānsaknēm (Mickovski, Ennos, 2002). Iespējams, ka pielāgošanās ir atšķirīga dažādām koku sugām.

Vēja bojājumu pakāpi audzes līmenī ietekmē:

1) audzes augstums un biezība. Audzes augstums (galvenokārt, tā starpība ar apkārtējās virsmas augstumu) ietekmē tās noturību pret vēju, radot izmaiņas gaisa plūsmā un turbulencē (Gardiner, Stacey, 1996; Quine, Gardiner, 2007).

2) sugu sastāvs. Katrai sugai ir atšķirīgi aerodimaniskie parametri, kas var radīt papildus turbulenci un tādējādi ietekmēt vēja bojājumu pakāpi. Pētījumi rāda, ka atsevišķos gadījumos mistrotas audzes ir mazāk noturīgas nekā tīraudzes (Ērglis, 1977).

3) mežsaimnieciskie pasākumi (retināšana, atzarošana, mežmalu veidošana, nosusināšana). Retināšana ir viens no faktoriem, kas īslaicīgi (apmēram 5 gadu periodā) pazemina kokaudžu noturību (Ērglis, 1977; Quine, 1995; Quine et al., 1995; Bruchert et al., 2000). Izveidojot atvērumu vainagu klājā kopšanas cirtēs, tiek palielināta vēja slodze uz individuālu koku.

Būtisks faktors, kas nosaka koku stabilitāti, ir augsne. Dažādās augsnēs koku sakņu sistēma var izvietoties dažādi, kas savukārt ietekmē noturību pret vēja bojājumiem. Galvenie sakņu sistēmas dziļumu ierobežojošie faktori ir nepietiekams skābekļa daudzums un cieti augsnes slāņi (ortšteins). Saknes ir 3 līdz 5 kārtas izturīgākas par augsnes izturību stiepē, tomēr zonā, kurā sakņu un augsnes plāksne atlūzt no pārējās augsnes, augsnes platība ir 3 kārtas lielāka par sakņu šķērslaukumu, tādēļ augsnes izturība arī ir svarīga (Quine et al., 1995). Tiklīdz augsne ir pārrauta, koks var sākt šūpoties un enkurojums pavājinās līdz ar sakņu pārtrūkšanu. Sakņu trupe ievērojami pazemina sakņu izturību.

Vietas, kur reģiona ietvaros sastopami stiprākie vēji, nosaka topogrāfiskie apstākļi. Vēja ātrums pieaug līdz ar vietas augstumu virs jūras līmeņa un jūras tuvumu. Kompleksa reljefa apstākļos topogrāfija var ietekmēt gan vēja virzienu, gan ātrumu, būtiski to palielinot pauguru virsotnēs vai plūstot cauri ielejām. Koki pauguru nogāžu lejasdaļā vēja pusē samazina vēja

ātrumu paugura virsotnēs, tādējādi padarot iespējamu koku augšanu stipram vējam pakļautās teritorijās (Quine et al., 1995).

Būtiskākie meteoroloģiskie faktori, kas ietekmē vēja radītos bojājumus, ir vēja ātrums, brāzmainība un ilgums. Slapjš sniegs var ievērojami (pat vairākas reizes) palielināt vainaga masu un tādējādi paaugstināt bojājumu varbūtību (Peltola et al., 1997). Nokrišņi var nozīmīgi ietekmēt augsnes stiprību, it īpaši augsnēs ar smalku granulometrisko sastāvu.

Koku noturību pret vēju veicina to adaptācija. Kokiem, kuri aug vējam eksponētās vietās, ir lielāks stumbra raukums nekā aizvējā augošiem kokiem. To sakņu sistēma adaptējas, veidojot ekscentrisku dubulta T veida šķērsriezumu. Atsevišķi augošiem kokiem gan adaptācijas, gan arī vairāk pieejamas gaismas un augšanas telpas rezultātā veidojas lielāks vainags un plašāka sakņu sistēma. Taču, ja attālums līdz blakus esošajiem kokiem tiek palielināts retināšanas rezultātā, nepieciešams laiks, lai koks izmantotu papildus gaismu, kā arī paplašinātu sakņu sistēmu.

Visus iepriekšminētos koka stabilitāti un vēja bojājumu pakāpi noteicošos faktoros var iedalīt 3 grupās:

- 1) pastāvīgie – tādi, kas maz mainās koka dzīves laikā (augšne);
- 2) progresējošie – mainās, kokam augot (augstums, stumbra caurmērs, vainaga forma, sakņu sistēma);
- 3) epizodiskie – tādi, kas koka noturību ietekmē īslaicīgi (blakus koku izciršana retināšanā, papildus slodze vainagā slapja sniega ietekmē, augsnes piesātinājums ar ūdeni) (Quine, 1995).

Vēja bojājuma risks ikvienā brīdī ir varbūtība, ka vēja ātrums pārsniegs to līmeni, pie kura pastāvīgo, progresējošo un epizodisko komponentu kombinācijas rezultātā noturošie spēki būs mazāki par pieliktajiem spēkiem. Tā kā vēja ātruma un tā atkārtošanās varbūtība nav lineāra, pat nelieli uzlabojumi koku stabilitātē var ievērojami pazemināt vēja bojājumu risku (Quine et al., 1995).

### 3. Abiotisko faktoru ietekme – uguns

Ugunsgrēkiem ir nozīmīga loma cilvēku neapsaimniekotā meža ekosistēmā, nosakot tās sugu sastāvu, veicinot atsevišķu sugu izplatīšanos un/vai uzlabojot to dzīves vidi (Milberg et al., 2015). Vienlaikus meža (savvaļas) ugunsgrēkiem ir arī negatīva ietekme uz cilvēku saimniecisko darbību. Šīs 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. Tomēr cilvēki mūsdienās ne tikai kontrolē (dzēš) meža ugunsgrēkus, bet ir arī to izcelšanās galvenais cēlonis: cilvēku neuzmanīga rīcība ar uguni vai ļaunprātīga dedzināšana Latvijā izraisījusi vairāk nekā 99% meža ugunsgrēku (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 (Donis et al., 2014).

Meža ugunsgrēka izcelšanās varbūtību un ietekmi uz kokiem (t.i., risku) raksturo ugunsbīstamība. 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). Tomēr konkrētu pasākumu plānošanai un to ekonomiskai novērtēšanai nepieciešamas detalizētākas prognozes par sagaidāmajām ugunsbīstamības izmaiņām noteiktā valstī, reģionā.

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 biezums, 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).

Projekta ietvaros, lai raksturotu ugunsbīstamību, 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), izmantojot pārvietojamās meteostacijas *Vantage Pro2*, kuras uzstādītas atklātā vietā (vismaz 100 m attālumā no dabiskiem vai mākslīgiem šķēršļiem) ne tālāk par 2,5 km no tālākā parauglaukuma mežā. Parauglaukumi izvēlēti četru valdošo koku sugu (priede, egles, bērzs, apse) audzēs dažādos meža tipos un vecumos dažādās ugunsbīstamības klasēs (3.1., 3.2. tab.).

3.1.tabula

Parauglaukumu skaits sadalījumā pa ugunsbīstamības klasēm un valdošajām koku sugām

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

\* 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;

\*\*\* ne vecāks par 2 gadiem, neatkarīgi no valdošās koku sugas.

3.2.tabula

Parauglaukumu skaits sadalījumā pa ugunsbīstamības klasēm un meža tiptiem

Meža tips	Ugunsbīstamības klase*								Kopā
	I	I/II	I/III	I/IV	II	III	IV	V	
<i>Cladinosa mel. (As)</i>	-	-	6	-	-	10	-	-	16
<i>Hylocomiosa (Dm)</i>	-	-	3	-	-	9	-	-	12
<i>Myrtilloso- sphagnosa (Dms)</i>	-	-	-	3	-	-	2	-	5
<i>Vacciniosa turf. mel. (Km)</i>	-	-	2	-	-	3	-	-	5
<i>Myrtilloso turf. mel (Ks)</i>	-	-	2	-	-	6	-	-	8
<i>Vacciniosa (Mr)</i>	-	4	-	-	5	-	-	-	9
<i>Vaccinioso- sphagnosa (Mrs)</i>	-	-	-	2	-	-	2	-	4
<i>Caricoso- phragmitosa (Nd)</i>	-	-	-	-	-	-	-	2	2
<i>Cladinoso- callunosa (Sl)</i>	3	-	-	-	-	-	-	-	3
<i>Oxalidosa (Vr)</i>	-	-	-	-	-	-	5	-	5
<b>Kopā</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>28</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>69</b>

\* ugunsbīstamības klašu apzīmējumi kā 3.1.tabulā.

Parauglaukumos novērtēts:

- 1) augsnes mitrums, izmantojot augsnes mitruma mērītāju (*Soil moisture meter*), katrā uzmērīšanas reizē parauglaukumā vismaz 2 vietās. Katrā parauglaukumā novērtējums

veikts 10-15 reizes sezonā 2012.gadā, 16-22 reizes sezonā 2013.gadā un 10 reizes (ne visos pētījuma objektos) 2014. gadā.

- 2) nobiru un zemsegas mitrums, izmantojot DMM600 (*Duff moisture meter*) CAMPBELL SCIENTIFIC atbilstoši rokasgrāmatā norādītajai metodikai. Mitrums mērīts augsnes virskārtā 0-2 cm (ieskaitot nesadalījušās nobiras), 2-5 cm dziļumā (daļēji sadalījušos nobiru slānis) un 5-10 cm dziļumā (humusa slānis jeb „trūdzemes”). Mērījumi katrā parauglaukumā katrā mērīšanas dienā veikti vismaz 2 atkārtojumos. Mērījumi veikti katrā objektā 4-5 reizes sezonā.
- 3) iepriekšējā gadā nozāģētu koksnes paraugu (priedes stumbra nogrieznis bez mizas apmēram 1 m garumā, ar caurmēru 6-8 cm) mitrums, izmantojot koksnes mitruma mērītāju *Wood Moisture meter* T500. Koksnes paraugi novietoti uz zemsedzes parauglaukuma centra tuvumā. Mērījumi veikti 11-15 reizes sezonā 2012.gadā un 17 (16-20) reizes sezonā 2013.gadā.

Izmantojot ievāktos meteoroloģiskos datus, aprēķināti vairāki ugunsbīstamības indeksi: Ņesterova indekss (NI), Modificētais Ņesterova indekss (MNI), Portugāles indekss (PI) un Kanādas uguns laika apstākļu indekss (FWI).

Par Ņesterova indeksu tiek saukts PSRS Hidrometeocentra izstrādātais kompleksais ugunsbīstamības rādītājs, kurš ir pārveidots Ņesterova 1939.gadā izstrādātais ugunsbīstamības indekss (3.1):

$$NI = \sum_{i=1}^W T_i * (T_i - D_i) \quad (3.1)$$

kur:

NI – Ņesterova indekss;

W – dienu skaits kopš lietus >3 mm;

T<sub>i</sub> – i-tās dienas pusdienas laika t (°C);

D<sub>i</sub> – i-tās dienas rاسas punkta t (°C).

Atbilstoši oficiālajai metodikai, Ņesterova indeksu sāk uzskaitīt pavasarī pēc sniega nokušanas, kad vidējā diennakts temperatūra paaugstinās virs 0 °C, un turpina summēt, līdz nokrišņu daudzums diennakts laikā pārsniedz 3 mm. Ja lietus daudzums pārsniedz 3 mm diennaktī, Ņesterova indeksa vērtību pieņem kā atbilstošu 0. Beidz skaitīt rudenī, kad vidējā diennakts temperatūra <0 °C.

Modificētais Ņesterova indekss tiek izteikts ar šādu sakarību (3.2):

$$MNI = K \sum_{i=1}^W T_i * (T_i - D_i) \quad (3.2)$$

kur:

MNI – Modificētais Ņesterova indekss;

W – dienu skaits kopš lietus >19 mm;

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

$D_i$  – i-tās dienas raras punkta  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$K_i$  – vērtības no 3.3. tabulas.

3.3.tabula

Koeficienta K vērtības

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

Portugāles indekss, kas veidots uz Nesterova indeksa pamata, izteikts ar sekojošu sakarību (3.3):

$$PI = r \sum_{k=i}^{i-1} I(k) + T_i * (T_i - D_i) \quad (3.3)$$

kur:

PI – Portugāles indekss;

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

$D_i$  – i-tās dienas raras punkta  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$r$  – koeficients (3.4. tab.).

3.4.tabula

Koeficienta r vērtības

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

Kanādas uguns laika apstākļu indeksu (*Canadian Fire Weather index* FWI, Van Wagner, Pickett, 1985) aprēķina, izmantojot sekojošus apakšindeksus:

- 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) un 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 (virsējais nobiru slānis, daļēji sadalījušos nobiru slānis 2-5 cm dziļumā un vidēja „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 tipi (3.5. tab.).

3.5. 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

\*ugunsbīstamības klašu apzīmējumi kā 3.1. tabulā

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 krasas 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 izmaiņas pa mēnešiem 2012. gadā, taču šādas izmaiņas tika konstatētas 2013. gadā (3.6. tab.).

3.6. tabula

Vidējais koksnes paraugu mitrums dažādos mēnešos 2013.gadā (Tjūkija tests)

Mēnesis	Koksnes paraugu vidējais mitrums dažādās grupās, %		
	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 (3.7. 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, kā arī Portugāles indeksu (visos gadījumos  $r=-0,39$ ), savukārt „trūdzemes” slāņa

mitrums – ar Kanādas uguns laika apstākļu indeksa sastāvā ietilpstošo sausuma kodu ( $r=-0,41$ ).

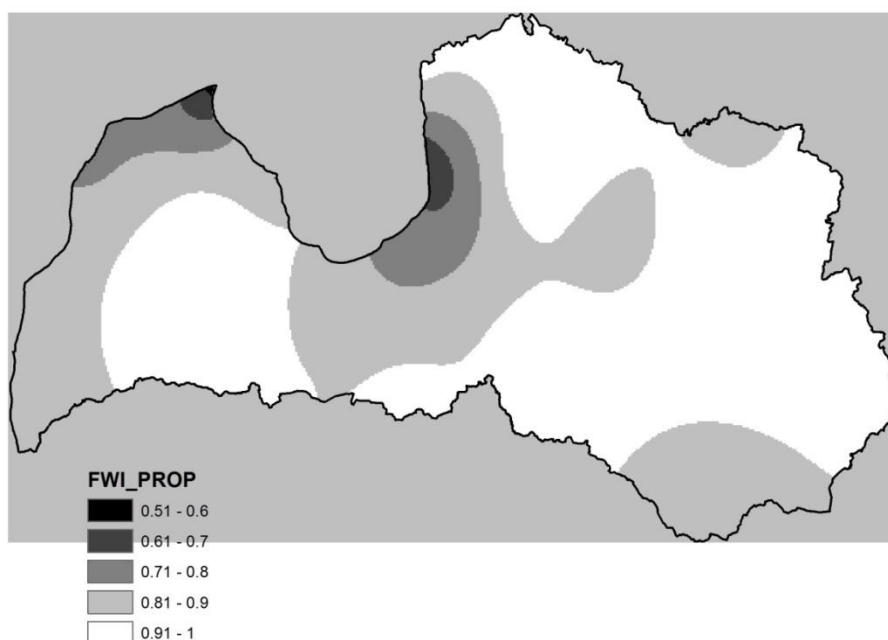
3.7. tabula

Mitrumu mērījumu 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
PI	-0,47	<b>-0,39</b>	-0,28
FWI	<b>-0,50</b>	<b>-0,39</b>	-0,26
FFMC	-0,43	-0,27	-0,16
DMC	-0,45	-0,37	-0,25
DC	-0,25	<b>-0,39</b>	<b>-0,41</b>

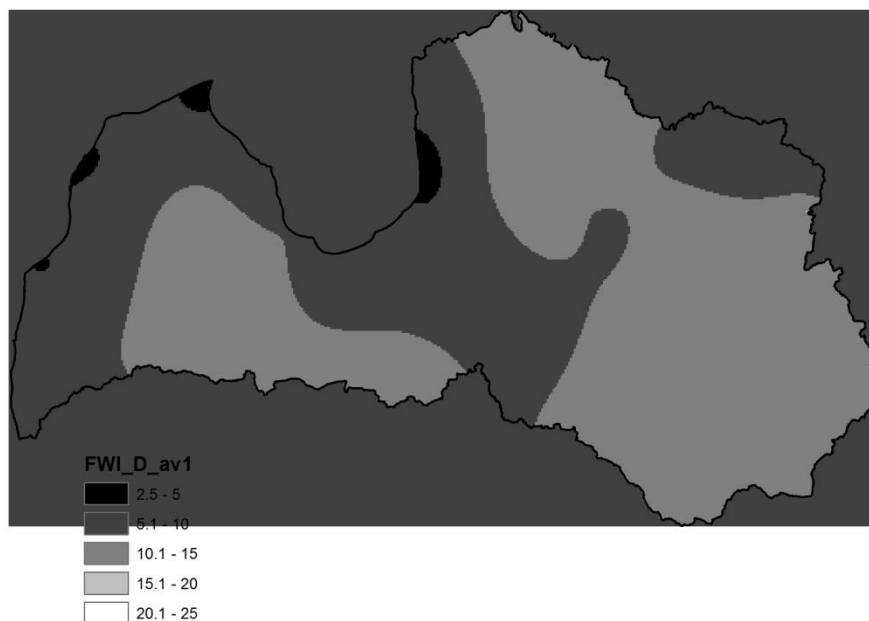
Tā kā Kanādas uguns laika apstākļu indeksam un tā sastāvā ietilpstošajam sausuma kodam salīdzinājumā ar pārējiem analizētajiem indeksiem ir augstākā korelācija ar nobiru slāņa, daļēji sadalījušos nobiru slāņa un „trūdzemes” slāņa mitrumu, tad to rekomendējams izmantot ugunsbīstamības raksturošanai Latvijā.

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.).

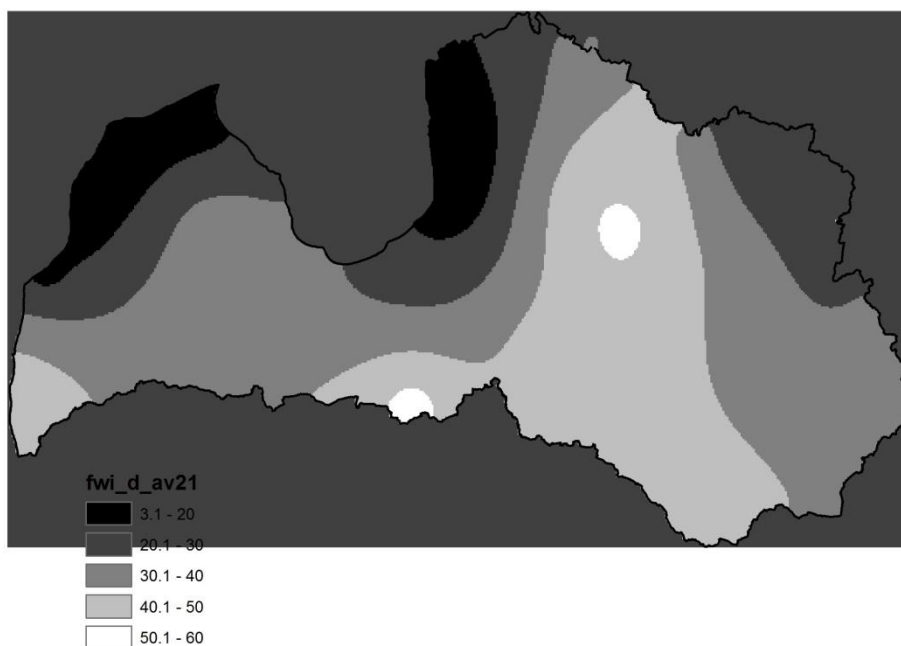


3.1. attēls. Gadu, kad Kanādas uguns laika apstākļu indeksa vērtība pārsniedz 17 (sevišķi augsta ugunsbīstamība), īpatsvars periodā no 1980. līdz 2009. gadam.

Latvijas teritorijas lielākajā daļā pagājušā gadsimta vidū – šī gadsimta sākumā vidēji bija no 5 līdz 20 dienām gadā, kad Kanādas uguns laika apstākļu indeksa vērtība pārsniedza 17 (3.2. att.), taču klimata izmaiņu prognozes liecina, ka šādu dienu skaits nākotnē palielināsies, sasniedzot 30-50 dienas (3.3. att.).



3.2. attēls. Dienu skaits gadā laika periodā no 1980. līdz 2009. gadam, kad Kanādas uguns laika apstākļu indeksa vērtība pārsniedza 17.



3.3. attēls. Dienu skaits gadā laika periodā no 2031. līdz 2060. gadam, kad Kanādas uguns laika apstākļu indeksa vērtība pārsniedz 17.

#### 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 vainagiem 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 aukstajām, veidojot 300 līdz 1200 m biezu piezemes aukstā gaisa slāni. Galvenais laikapstākļu ietekmējošais faktors Latvijas teritorijā ir valdošie rietumu vēji, kuru ietekmē pārvietojas Ziemeļatlantijas cikloni. 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.

Sasalstoša lietus ietekmētajā teritorijā pēc 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 uzņemot 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).

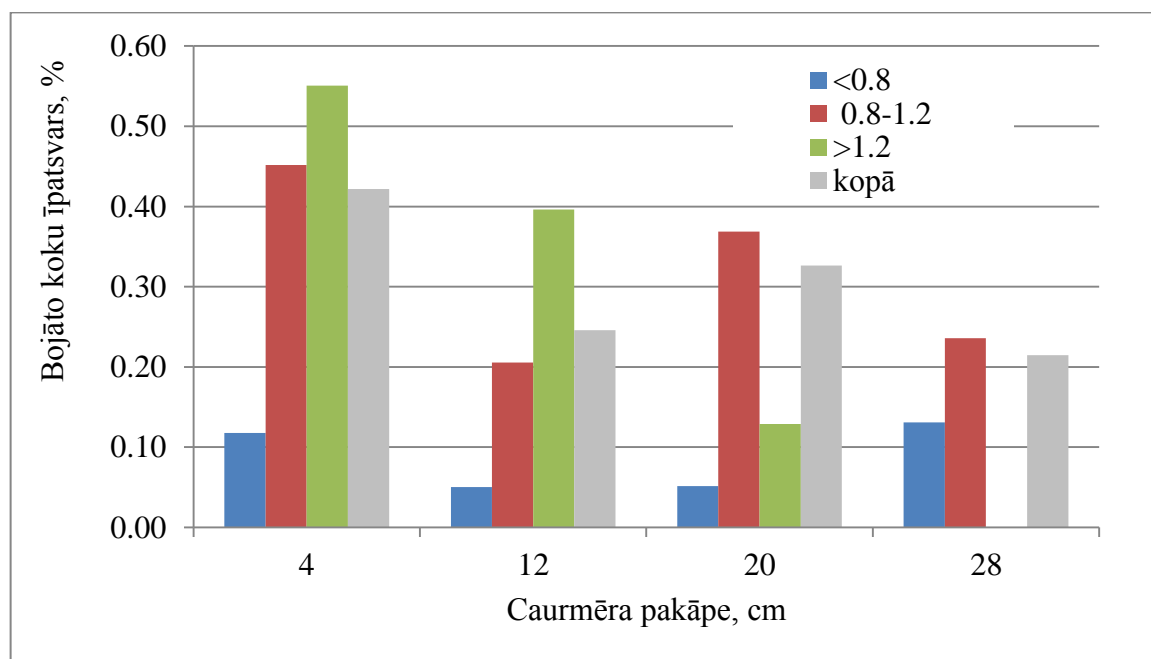
Kopumā no 156 apsekotajām audzēm saskaņā ar izvēlētajiem kritērijiem par bojātām vai iznīkušām atzīstamas 67% priežu audžu un 61% egļu audžu (4.1.tab.).

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

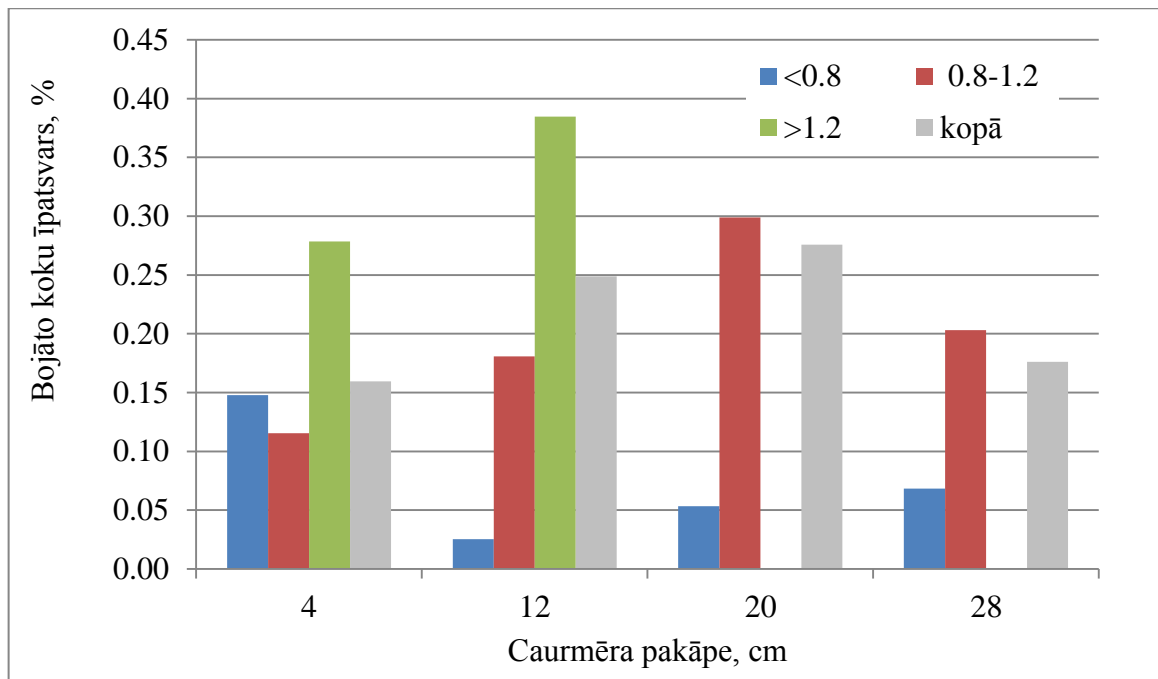
Valdošā suga	Audzes vidējais caurmērs, cm									Kopā
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	
Priede	3	10	4	6	8	25	18	14	6	94
bojāta			3	1	6	20	10	7	5	52
iznīkusi	3	8					1			12
nebojāta		2	1	5	2	5	7	7	1	30
Egle	1		2	6	14	18	9	7	5	62
bojāta			1	1	7	14	6	6	3	38
nebojāta	1		1	5	7	4	3	1	2	24
<b>Kopā</b>	<b>4</b>	<b>10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

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

Konstatēts, ka bojājumi daudz biežāk sastopami slaidākiem (augstuma/caurmēra attiecība pārsniedz 1,2) kokiem (4.1., 4.2. att.).



4.1. attēls. Bojāto priežu īpatsvars atkarībā no augstuma/caurmēra attiecības.



4.2. attēls. Bojāto egļu īpatsvars atkarībā no augstuma/caurmēra attiecības.

Pētījumā konstatēts, ka vidēji bojātas 26% pirmā stāva priežu un 27% pirmā stāva egļu (4.2.tab.). Sasalstoša lietus ietekmē uzkrājusies ledus masa uz laužtajām 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.

Koku skaits, bojāto koku (lauztie un gāztie) un laužto koku īpatsvars atkarībā no audzes valdošās koku sugas un tās vidējā caurmēra

	Suga	Valdošās koku sugas I stāva koku vidējais caurmērs, cm								Kopā	
		4	8	12	16	20	24	28	32		36
Bojāto koku īpatsvars	Priežu audzes	0,33	0,25	0,28	0,22	0,32	0,27	0,22	0,22	0,18	0,26
	Priede	0,33	0,22	0,28	0,21	0,33	0,28	0,24	0,24	0,18	0,26
	Egle			0,29	0,29		0,25	0,12	0,09		0,20
	Bērzs		0,60				0,14	0,19			0,32
	Egļu audzes	0,22		0,28	0,43	0,28	0,29	0,18	0,17	0,18	0,27
	Priede					0,30	0,33	0,20	0,16		0,28
	Egle	0,15		0,18	0,42	0,27	0,30	0,18	0,18	0,14	0,27
	Bērzs			0,69		0,28	0,20	0,18	0,16		0,32
Laužto koku īpatsvars	<b>Suga</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>Kopā</b>
	Priežu audzes	0,06	0,05	0,19	0,19	0,29	0,24	0,20	0,20	0,13	0,19
	Priede	0,06	0,06	0,18	0,19	0,30	0,25	0,22	0,22	0,14	0,19
	Egle			0,25	0,27		0,24	0,10	0,07		0,17
	Bērzs		0,01				0,07	0,04			0,05
	Egļu audzes	0,06		0,14	0,35	0,24	0,26	0,15	0,15	0,12	0,22
	Priede					0,24	0,27	0,15	0,12		0,20
	Egle	0,07		0,16	0,38	0,25	0,28	0,16	0,18	0,09	0,24
Bērzs			0,04		0,03	0,04	0,06	0,05		0,05	
Uzmērīto koku skaits	<b>Suga</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>Kopā</b>
	Priežu audzes	467	1820	622	1168	1205	2598	1453	925	310	10568
	Priede	463	1627	541	1061	1172	2307	1245	767	272	9455
	Egle	1	39	79	98	24	157	141	100	16	655
	Bērzs	3	154	2	9	9	134	67	58	22	458
	Egļu audzes	235		468	645	1743	1721	728	484	283	6307
	Priede	49		19	5	201	122	92	86	26	600
	Egle	174		360	589	1438	1427	548	335	239	5110
	Bērzs	12		89	51	104	172	88	63	18	597
Kopā	702	1820	1090	1813	2948	4319	2181	1409	593	16875	

Retināšanas ietekme uz sasalstoša lietus izraisītiem bojājumiem vērtēta audzēs, kur koku skaita samazināšana veikta pirms 3 gadiem („retināts”) un kur tā veikta senāk („neretināts”) (4.3.–4.5.tab.).



4.3.tabula

Pēdējo 3 gadu laikā retināto un šajā periodā neretināto audžu raksturojums

Suga	Pirmā stāva šķērslaukums	Valdošās koku sugas I stāva koku vidējais caurmērs, cm									Vidēji
		4	8	12	16	20	24	28	32	36	
Priežu audzes	retināts	1,2	6,5	17,7	24,7	24,5	22,8	22,6	24,4		16,4
	neretināts					23,1	25,6	27,4	26,1		26,0
	<b>Vidēji</b>	<b>1,2</b>	<b>6,5</b>	<b>17,7</b>	<b>24,7</b>	<b>24,0</b>	<b>24,4</b>	<b>27,1</b>	<b>25,5</b>		<b>19,8</b>
Egļu audzes	retināts				16,0	26,3	25,0	25,2	27,1	27,4	24,2
	neretināts	12,0			15,5	33,9	25,4	29,0	28,9	30,8	27,9
	<b>Vidēji</b>	<b>12,0</b>			<b>15,9</b>	<b>31,9</b>	<b>25,2</b>	<b>27,9</b>	<b>28,3</b>	<b>30,5</b>	<b>26,5</b>

4.4.tabula

Bojāto (lauztie un gāztie kopā) un nebojāto koku caurmērs pēdējo 3 gadu laikā retinātās un šajā periodā neretinātās audzēs

Suga	Variants	Valdošās koku sugas I stāva koku vidējais caurmērs, cm								Vidēji
		4	8	12	16	20	24	28	32	
Priežu audzes	<b>Retināts</b>	<b>4,3</b>	<b>7,5</b>	<b>11,9</b>	<b>16,9</b>	<b>19,6</b>	<b>23,3</b>	<b>29,1</b>	<b>31,9</b>	<b>14,5</b>
	nebojāts	4,3	7,5	12,2	17,2	20,2	23,8	30,1	32,2	14,2
	bojāts	3,9	5,5	10,8	15,7	18,5	21,5	25,1	29,7	16,4
	<b>Neretināts</b>					<b>20,7</b>	<b>23,5</b>	<b>26,9</b>	<b>32,3</b>	<b>25,3</b>
	nebojāts					21,3	23,9	27,8	33,2	26,1
	bojāts					19,2	22,3	24,2	28,6	23
	<b>Vidēji</b>	<b>4,3</b>	<b>7,5</b>	<b>11,9</b>	<b>16,9</b>	<b>19,9</b>	<b>23,4</b>	<b>27,1</b>	<b>32,2</b>	<b>18,2</b>
Egļu audzes	<b>Retināts</b>			<b>13,1</b>	<b>14,3</b>	<b>19,4</b>	<b>23,3</b>	<b>25,7</b>	<b>29,5</b>	<b>20,2</b>
	nebojāts			13,2	14,6	20	24,1	26,4	31,8	20,4
	bojāts			10,4	13,9	17,2	22,3	22,6	27	19,7
	<b>Neretināts</b>	<b>5,2</b>		<b>11</b>	<b>15,9</b>	<b>20,7</b>	<b>23,4</b>	<b>27,9</b>	<b>31,9</b>	<b>22,8</b>
	nebojāts	5,1		11,1	16	21,1	24	28,1	32,4	23,3
	bojāts	6		10,6	15,7	19,7	21,6	26,9	27,6	20,6
	<b>Vidēji</b>	<b>5,2</b>		<b>12,8</b>	<b>15,4</b>	<b>19,9</b>	<b>23,4</b>	<b>27,2</b>	<b>31,6</b>	<b>21,7</b>

4.5.tabula

Bojāto (lauztie un gāztie kopā) koku īpatsvars pēdējo 3 gadu laikā retinātās un šajā periodā neretinātās audzēs

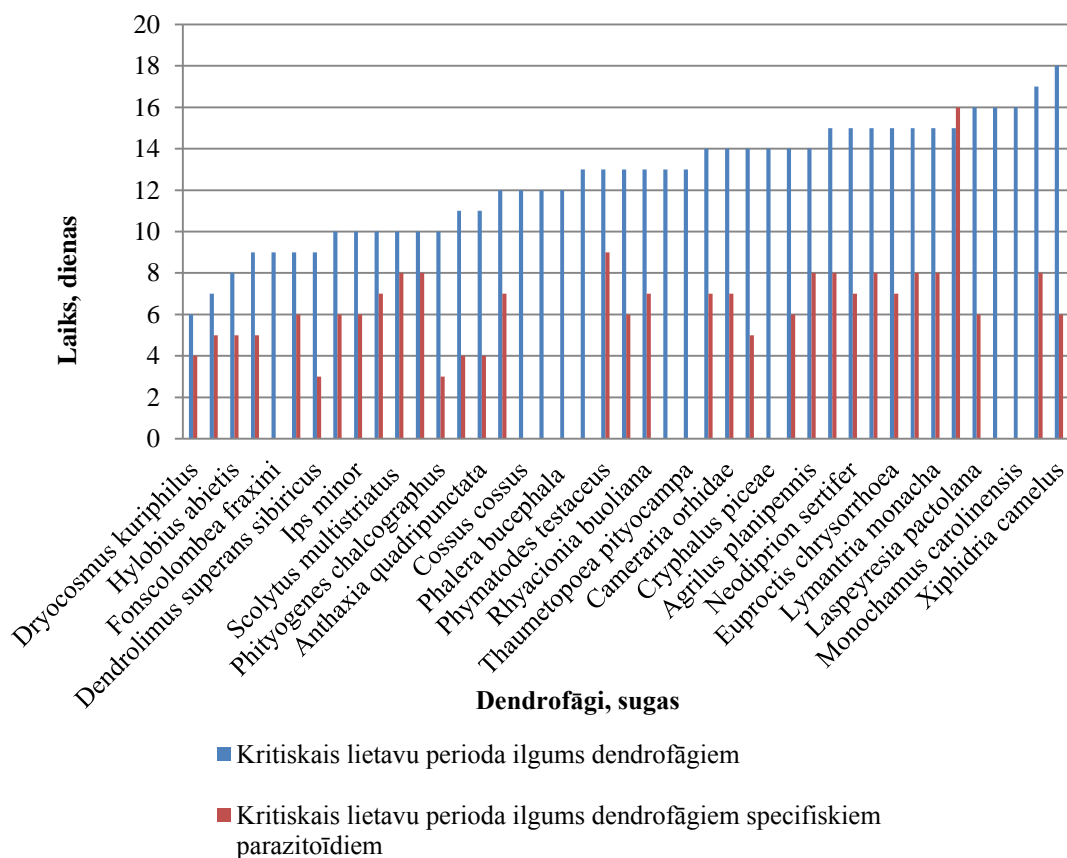
Variants	Valdošās koku sugas I stāva koku vidējais caurmērs, cm									Kopā
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	
Priežu audzes	0,33	0,22	0,28	0,21	0,33	0,28	0,24	0,24	0,18	0,26
neretināts				0,02	0,26	0,30	0,25	0,27	0,23	0,26
retināts	0,33	0,22	0,28	0,24	0,35	0,24	0,15	0,20	0,12	0,25
Egļu audzes	0,15		0,18	0,42	0,27	0,30	0,18	0,18	0,14	0,27
neretināts	0,15			0,32	0,34	0,24	0,16	0,10	0,14	0,23
retināts			0,18	0,55	0,24	0,41	0,22	0,49		0,31
Kopā	0,29	0,25	0,28	0,30	0,30	0,28	0,21	0,21	0,18	0,26

## 5. Biotisko faktoru ietekme – dendrofāgie kukaiņi

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

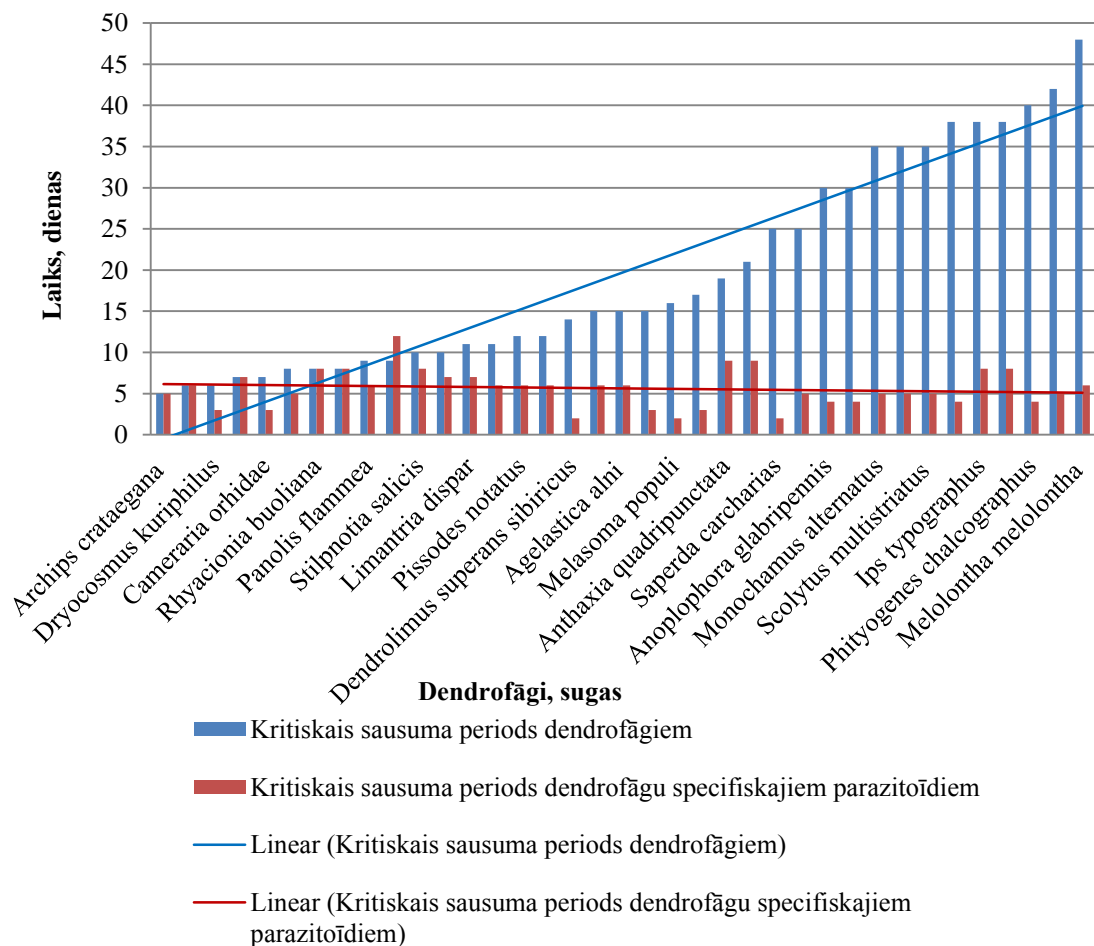
Jaunākie pētījumi liecina, ka kukaiņi vistiešāk ir pakļauti klimata izmaiņām, jo temperatūra ir primārais faktors, kas nosaka to vielmaiņu, barošanās intensitāti, kopulācijas sekmes un pēcnācēju skaitu (Bjorkman et al., 2011; Kolk, 2006; Öhr, 2012; Seidl et al., 2011). Temperatūrai palielinoties līdz sugai specifiskajam optimumam, iepriekšminētie rādītāji pieaug.

Klimata izmaiņas saistītas ar paaugstinātu dendrofāgo 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 analīze 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 masu uzliesmojumu 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. Apskatot dendrofāgu un to specifisko parazītoīdu kritisko lietavu periodu atšķirīgos rādītājus (5.1.att.), noskaidrots, ka dendrofāgiem tas vidēji ir 12,5 dienas, bet parazītoīdiem – 6,6 dienas.



5.1.attēls. Nozīmīgāko dendrofāgu un to specifisko parazītoīdu kritisko lietavu periodu salīdzinājums.

Salīdzinot sausuma izturības periodus (5.2.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 – koksnē. 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 barošanu (Grinnan et al., 2013; Singh, Choudhary, 2003). Regresijas analizē 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.



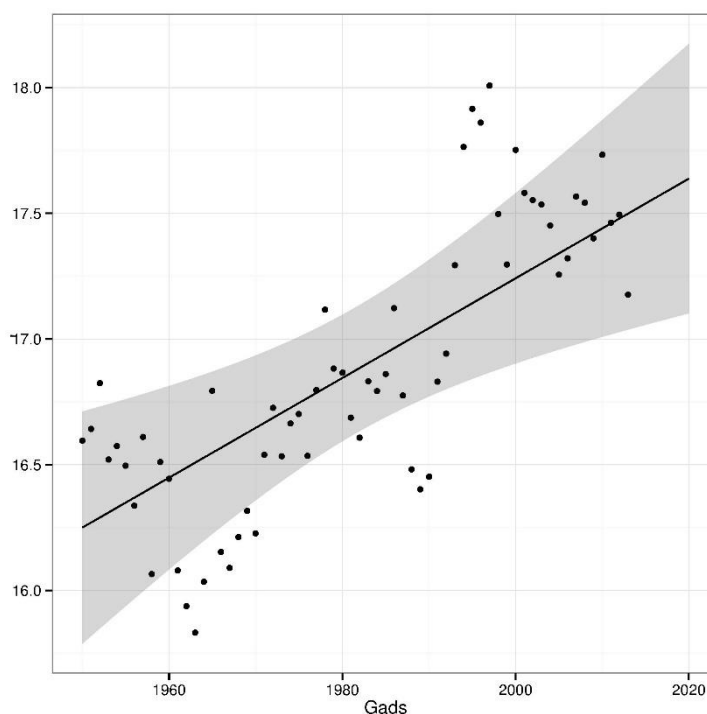
5.2.attēls. Nozīmīgāko dendrofāgu un to specifisko parazītoīdu kritiskā sausuma perioda salīdzinājums.

Kopumā prognozējams, ka parazītoīdu aktivitāte saglabāsies, tās maksimumam novirzoties agrāk pavasarī un vēlāk rudenī, kā arī samazinoties pēcnācēju skaitam un ekoloģiskajai nozīmei kaitēkļu 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 un: *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*. Atlasīto dendrofāgu savairošanās teritorijas galvenokārt apskatītas Centrāleiropas reģionam kopumā, ietverot datus par sekojošām valstīm – Beļģiju, Nīderlandi, Slovākiju, Latviju, Lietuvu, Čehiju, Austriju, Serbiju, Ungāriju, Baltkrieviju, Rumāniju, Apvienoto Karalisti, Poliju, Vāciju, Franciju un Ukrainu – un pieņemot, ka kukaiņu savairošanās tendences visās iepriekšminētās valstīs klimata izmaiņu ietekmē izpaužas līdzīgi. Padziļinātai analīzei (pamatojoties uz reģistrēto savairošanās vēsturi Latvijas teritorijā) atlasītas 8 dendrofāgu sugas, kurām 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 apskatā 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. flammea*, *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 5.3.attēlā.



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

5.3.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 ir pozitīva korelācija ar iepriekšējās sezonas vidējo gaisa temperatūru augustā.

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 izkliedes. Jo tālākai nākotnei tiek veiktas prognozes, jo projekcijas nenoteiktība ir lielāka, tomēr savairošanās riska pieauguma tendence saglabājas nemainīgi visām sugām. Starpsugu atšķirības (projekciju nenoteiktību) raksturo variācijas koeficients. *M. populi*, *M. melolontha*, *L. dispar* un *L. monacha* projekcijas ir ar viszemāko paredzēto savairošanās platības pieaugumu un augstākajām variācijas koeficienta vērtībām.

*I. typographus*, *I. acuminatus*, *T. piniperda* un *T. minor* savairošanās pieaugumu, visticamāk, veicinās arī mērenas klimatiskas izmaiņas, jo šīs ir palearktiskas, holarktiskas karstumtolerantas, siltummīlošas (tādējādi saistītas ar meža „izrobījumu”, izcirtumu mikroklimatu – saules pastiprinātu radiāciju) taigas entomofaunai raksturīgas sugas, kurām raksturīgs 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 pieaugums šīm sugām var veicināt paaudžu 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 iecelotāju 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). Kā piemērs kalpo *L. dispar* salīdzinoši nesenās masveida savairošanās 2008. gadā un 2011. gadā lapkoku mežos pie Liepājas un Engures. Invāziju risku paaugstina veģetācijas perioda garuma palielināšanās, kas paaugstina iespējas atsevišķām tauriņu sugām iecelot, „balonējot” kāpuru agrīnās attīstības laikā, un izdzīvot (Ozols, 1985).

Nozīmīgāka lapgraužu ietekme varētu būt sagaidāma gados ar ekstrēmi augstām temperatūrām un galvenokārt tālākā nākotnē nekā mūsu prognožu periods, jo daudzām lapgraužu kukaiņu sugām ir subtropu izcelsme un tiem optimālās temperatūras nereti pārsniedz 25°C (piemēram, *M. populi*).

## 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, 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 (*suitability*) izsakot kā proveniencas izcelsmes vietas rādītāja attiecību pret rādītāju konkrētajā stādījumā (Liepāja, Zvirgzde vai Kalsnava).

Izstrādāti lineārās regresijas modeļi saskaņā ar vispārējo formu (6.1.tab.):

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

6.1.tabula

Izstrādāto modeļu kopsavilkums

Parametrs un modeļa statistiskais novērtējums	H11	S11	H21	S21
(Intercept)	303,32	-81,29	-1219,59*	-131,61*
sum_prec	0,32	0,17*	0,68*	0,14*
mean_t	-41,38*	-9,67*	86,98*	-2,12
suitability_p	269,08*	128,71*	674,45*	105,77*
suitability_t	-196,11*	-46,17*	429,19*	-8,76
R <sup>2</sup>	<b>0,55</b>	<b>0,46</b>	<b>0,74</b>	0,32
Adjusted R <sup>2</sup>	0,51	0,42	0,72	0,26
F-statistic	14,69	10,51	34,95	5,70
p-value (modeļa)	0,00	0,00	0,00	0,00

\* - statistiski būtisks (p<0,01)

Visi iegūtie modeļi ir statistiski būtiski (p<0,01), taču determinācijas koeficienta vērtības ir augstākas modeļiem, kur kā atkarīgā pazīme ir izmantots augstums. Vērtējot saglabāšanos, redzams, ka visi koeficienti pie neatkarīgajām pazīmēm ir būtiski (p<0,05) tikai 11 gadu vecumā; 21 gada vecumā temperatūras un tās atbilstības rādītāju ietekme ir kļuvusi mazāk nozīmīga. 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).

Izmantojot iegūtos modeļus, aprēķinātas attiecīgo rādītāju potenciālās vērtības atbilstoši prognozētajiem nākotnes klimata scenārijiem (mērenas, vidējas un krasas izmaiņas) trim dažādiem nākotnes periodiem. Kopumā var secināt, ka šī metode var būt pielietojama koku sugu piemērotības prognozēšanai plašā ģeogrāfiskā mērogā vai arī izmantojot datus no izteikti kontrastējošiem klimatiskajiem apstākļiem. Tomēr, analizējot tikai relatīvi klimatiski līdzīgas, nelielas teritorijas proveniences, izveidoto modeļu jutība nav pietiekama, un to rezultātus, iespējams, ļoti nozīmīgi ietekmē nejauši faktori (piemēram, nelielas saglabāšanās atšķirības skujbīres, priežu lielā smecernieka vai aļņu bojājumu ietekmē).

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 mikroklimatiskajos apstākļos. Turpretim lapu koki uzrādīja globālākas iezīmes, piemēram, melnalkšņa gadskārtu platumā saistības ar novembra nokrišņu daudzumu vai bērza gadskārtu platumā 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 (6.2.tab.), kas varētu būt skaidrojams ar klimatisko faktoru ietekmes intensitātes mainību starp gadiem, kā arī ar faktoru mijiedarbību.

6.2.tabula

Izveidotie lineārie gadskārtu platumā modeļi atkarībā no klimatiskajiem faktoriem

	R <sup>2</sup>	AIC
<b>Egle</b>		
Jūrkalne		
$y=2,60483+0,08351*vidT\_mar-0,0696*maxT\_AUG$	0,29	-45,35
Tukums		
$y=1,8699-0,00561*nok\_aug$	0,39	-56,29
Valka		
$y=1,1265+0,00487*nok\_mar$	0,13	-61,93
Ludza		
$y=1,5426+0,0784*maxT\_apr-0,0591*maxT\_jun+0,0042*nok\_JUL$	0,40	-47,2



<b>Priede</b>		
Jūrkalne		
$y=3,70251+0,0922*\max T_{\text{feb}}-0,112*\max T_{\text{AUG}}$	0,46	-43,8
Tukums		
$y=1,113+0,05275*\min T_{\text{mar}}+0,0091*\text{nok}_{\text{feb}}$	0,45	-57,34
Valka		
$y=1,95253-0,030475*\max T_{\text{sep}}-0,039783*\min T_{\text{AUG}}-0,00264*\text{nok}_{\text{OKT}}$	0,59	-101,3
Ludza		
$y=0,9492+0,0686*\min T_{\text{OKT}}-0,00325*\text{nok}_{\text{SEP}}$	0,38	-69,26
<b>Melnalksnis</b>		
Jūrkalne		
$y=0,54901+0,043441*\text{vid} T_{\text{feb}}+0,00345*\text{nok}_{\text{NOV}}$	0,41	-55,6
Tukums		
$y=1,5589-0,053365*\max T_{\text{SEP}}+0,003231*\text{nok}_{\text{sep}}+0,005939*\text{nok}_{\text{mar}}$	0,52	-63,1
Valka		
$y=-1,475805+0,145476*\text{vid} T_{\text{aug}}+0,008536*\text{nok}_{\text{NOV}}$	0,45	-43,3
Ludza		
$y=-2,36551+0,221634*\text{vid} T_{\text{AUG}}+0,12925*\text{vid} T_{\text{OKT}}-0,00351*\text{nok}_{\text{aug}}$	0,48	-30,3

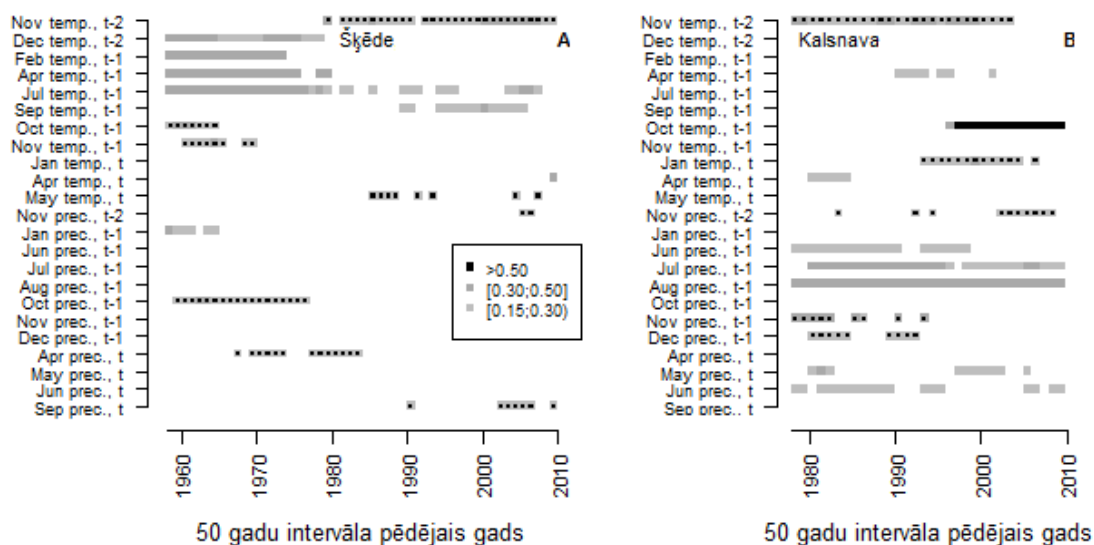
Paskaidrojumi: vidT – mēneša vidējās temperatūras; minT – mēneša vidējās minimālās temperatūras; maxT – mēneša vidējās maksimālās temperatūras; nok – mēneša nokrišņu summa, R<sup>2</sup> – determinācijas koeficients; AIC – modeļa relatīvās kvalitātes koeficients; mēnešu saīsinājumi, kas rakstīti ar lielajiem burtiem, atbilst iepriekšējam kalendārajam gadam, bet ar mazajiem burtiem – gadskārtas veidošanās gadam.

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 platumā izmaiņām ir sagaidāms, ka abām skujkoku sugām visās apskatītajās teritorijās pieaugs gadskārtu platumā ikgadējā variēšana. Melnalksnim nākotnes klimatiskajos apstākļos galvenokārt prognozējams gadskārtu platumā 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 faktoros dažādā koku vecumā. Paraugkoki izvēlēti pēc nejaušības principa 100-110 gadus vecās audzēs un pārzāgēti 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

(6.1.att.). Saglabājas sakarība, ka augstuma pieaugumu galvenokārt ietekmē iepriekšējā, nevis kārtējā (augstuma pieauguma veidošanās) gada meteoroloģiskie apstākļi.



temp.- vidējā temperatūra; prec. – nokrišņu summa

6.1.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 priekšu 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.

## 7. Koku sugu migrācija

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 faktorus. Tomēr šīs pieejas kritiska analīze koku sugām (ar ilgu dzīves ciklu – tātad spēju pielāgoties vides apstākļu svārstībām – un plašu izplatības areālu) liecina, ka valdošo koku sugu sastāva nomaiņa, visticamāk, nenotiks tik strauji, kā tiek prognozēts. To nosaka gan sugu izplatības ātruma, gan dažādu citu faktoru (tai skaitā cilvēku saimnieciskās darbības) ietekme, piemēram, esošās veģetācijas pielāgošanās un pret-darbošanās (konkurence) jauno sugu ienākšanai (īpaši jutīgākajā koku dzīves cikla daļā – pirmajos augšanas gados), kā arī putekšņu (un sēkļu) nodrošinātā gēnu plūsma starp populācijām ar dažādiem adaptīviem pielāgojumiem. Tomēr atsevišķām koku sugām, kas uzskatāmas par introductentiem, augšanas apstākļi Latvijā nākotnē kļūs augšanai labvēlīgāki.

Viena no sugām, kurai Eiropā ir augsta 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., 2005b). 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., 2005b), 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 jaunaudzes vecumā var būt lielāks nekā parastajam ozolam (Dreimanis, Šulcs, 2006). Sarkanais ozols ir uzskatāms par invazīvu sugu Lietuvā (dati no NOBANIS, Riepšas, Straigyte 2008) un par potenciāli invazīvu sugu Latvijā (dati no NOBANIS), kas netieši norāda uz tā izplatīšanās ātruma pieaugumu.

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).

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 faktorus 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.

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 platums galvenokārt saistīts 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.

## Izmantotā literatūra

1. 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.
2. Avotniece Z., Rodinov V., Lizuma L., Briede A., Kļaviņš M. (2010). Trends in frequency of extreme climate events in Latvia. *Baltica*, 23: 135–148.
3. 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.
4. Bjorkman C., Bylund H., Klapwijk M.J., Kollberg I., Schroeder M. (2011). Insect pests in future forests: more severe problems? *Forests*, 2: 474–485.
5. 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.
6. Bolte A., Czajkowski T., Kompa T. (2007). The north-eastern distribution range of European beech – a review. *Forestry*, 80: 413–429.
7. 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.
8. 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.
9. Burton L.D. (2011). *Introduction to forestry science*, 3rd ed. Delmar, Clifton Park. 544 p.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Drage M.A. (2005). Atmospheric icing and meteorological variables: Full scale experiment and testing of models. Doctoral thesis, The University of Bergen. 134 p.

14. 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.
15. Dreimanis A. (2005). Mežsaimniecības vēsturiskā mantojuma zinātniska izpēte un izvērtējums Šķēdes mežu novadā – atskaite. Jelgava. 87 lpp.
16. Dreimanis A., Šulcs V. (2006). Sarkanā ozola *Quercus rubra* L. mežaudzes Šķēdes mežu novadā. LLU raksti, 17: 78–87.
17. Ērglis D. (1977). 1967. un 1969. gadu vētru sekas Latvijas PSR valsts mežos. Mežsaimniecība un Mežrūpniecība, 4; 23–34.
18. Fritts H.C. (2001). Tree rings and climate. Blackburn Press, Caldwell, New Jersey. 567 p.
19. Gardiner B., Stacey G. (1996). Designing forest edges to improve edge stability. Forestry Commission, Technical Paper 16, 8 p.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.

27. Hickler T., Vohland K., Feehan J., Miller P.A., Smith B., Costa L., Giesecke T., Fronzek S., Carter T.R., Cramer W., Kuhn I., Sykes M.T. (2012). Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. *Global Ecology and Biogeography*, 21: 50–63.
28. 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.
29. IPCC (2007). Randall D.A., et al. *Climate Models and Their Evaluation*. In: Solomon S., Qin M., Manning, Z., Chen M., Marquis K.B., Averyt M., Tignor Miller H.L. eds., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, 566 p.
30. Jansons Ā., Baumanis I. (2005). Growth dynamics of Scots pine geographical provenances in Latvia. *Baltic Forestry*, 11: 29–37.
31. 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.
32. Kolk A. (2006). *Insect outbreaks in managed and unmanaged forests*. Forest Research Institute, Warsaw. 113 p.
33. Krauklis Ā., Zariņa A. (2002). Parastais skābardis sava areāla ziemeļu robežas ainavā Latvijā. *Ģeogrāfiski Raksti/ Folia Geographica*, 10: 16-47.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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. [skatīts 2012. gada 8. novembrī]. Pieejams:<http://pub.epsilon.slu.se/441/2/Lic1Larsson-Stern.pdf>



38. Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kreme A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M.J., Marchetti M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709.
39. 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.
40. 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.
41. Mattheck C., Bethge K. (1990). Wind breakage of trees initiated by root delamination. *Trees-structure and function*, 4: 225–227.
42. Mickovski S.B., Ennos, A.R. (2003). Anchorage and asymmetry in the root system of *Pinus peuce*. *Silva Fennica*, 37(2): 161–173.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. Ozols G. (1985). Priedes un egles dendrofāģie kukaiņi Latvijas mežos. Rīga, Zinātne. 207 lpp.

51. 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.
52. 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.
53. Quine C., Coutts M., Gardiner B., Pyatt G. (1995). Forests and wind: Management to minimise damage. Forestry Commission, Research Report 114, 24 p.
54. 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.
55. 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.
56. 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.
57. Riepšas E., Straigyte L. (2008). Invasiveness and ecological effects of red oak (*Quercus rubra* L.) in Lithuanian forests. *Baltic Forestry*, 14: 122–130.
58. Roga A. (1979). *Meža ugunsgrēku veidi, to dzēšanas paņēmieni un taktika*. Rīga, LZTIZPI, 58 lpp.
59. Sabule L. (2009). Eiropas dižskābarža *Fagus sylvestris* (L.) izplatība Šķēdes mežu novadā. Maģistra darbs, Latvijas Universitāte. 39 lpp.
60. 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.
61. Schmuck G., San-Miguel-Ayanz J., Camia A., Durrant T., Boca R., Liberta G., Petroliagkis 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.
62. 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.
63. Schroeder L.M. (2008). Insect pests and forest biomass for energy. *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy. Managing Forest Ecosystems*, 12: 109-128.
64. 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.

65. 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.
66. 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.
67. Stathers R.J., Rollerson T.P., Mitchell S.J. (1994). *Windthrow Handbook for British Columbia Forests*. Ministry of Forests, Research Program, 32 p.
68. 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.
69. Sykes M.T., Prentice I.C., Cramer W. (1996). A bioclimatic model for the potential distribution of north European tree species under present and future climates. *Journal of Biogeography*, 23: 203–233.
70. Thuiller W. (2003). BIOMOD—optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 9: 1353–1362.
71. Thuiller W. (2004). Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology*, 10: 2020–2027.
72. Ugunsdrošības noteikumi: Latvijas Republikas Ministru kabineta 2004. gada 17. februāra noteikumi Nr. 82. Rīga, 2004.
73. 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.
74. Vetaas O.R. (2002). Realized and potential climate niches: a comparison of four *Rhododendron* tree species. *Journal of Biogeography*, 29: 545–554.
75. Vitas A., Žeimavičius K. (2010). Regional tree-ring chronology of European larch (*Larix decidua* Mill.) in Lithuania. *Baltic Forestry*, 16: 187–193.
76. 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.
77. Wood C.J. (1995). Understanding wind forces on trees. In: M.P. Coutts, J. Grace. *Wind and Trees*. Cambridge University Press, 133–164.
78. 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.