



Par projekta

“Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām”

darba uzdevumu izpildi

Projekta vadītājs:



/Ā. Jansons/

Salaspils, 2014

Kopsavilkums

Pārskata periodā turpināta abiotisko faktoru (sasalstoša lietus, uguns un vēja) negatīvās ietekmes uz mežaudzēm vērtēšana. Konstatēts, ka to, vai konkrētā audze sasalstoša lietus ietekmē būs „bojāta vai iznīkusi” (I stāva koku šķērslaukums mazāks par 0,5 no minimālā šķērslaukuma) priežu audzēs var prognozēt pēc mainīgā lieluma $G_{\text{minimālais}} * G_{\text{faktiskais}}^{-1}$ un konstantes, savukārt egļu audzēs: H , D , $H^2 D^{-1}$, $G_{\text{minimālais}} * G_{\text{faktiskais}}^{-1}$ un konstantes, kur H – audzes vidējais augstums, D – vidējais caurmērs. 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 1.stāva šķērslaukuma, kur H_{10} – pirmā stāva valdošās sugas vidējais augstums. Iegūtās sakarības izmantojamas vidēja vai ilgtermiņa plānošanai, pielāgojot apsaimniekošanas režīmu teritorijās ar augstāko sasalstoša lietus bojājumu varbūtību. Kā nozīmīgākā problēma identificēts datu trūkums, kas raksturotu sakarību starp nokrišņu apjomu un sasalstoša lietus kritisko masu.

Veicot meteoroloģisko un degmateriāla mitruma datu ievākšanu un analīzi, konstatēts, ka gan virsējo nobiru slāņa mitrums, kas norāda uz aizdegšanās iespēju, gan daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums, kas raksturo potenciālo degšanas intensitāti, visciešāk korelē ar Kanādas uguns laika apstākļu indeksu (FWI), tādēļ to rekomendējams izmantot ugunsbīstamības raksturošanai. Prognozes liecina, ka klimata izmaiņu ietekmē pieaugs gan vidējais dienu skaits sezonā ar sevišķi augstu ugunsbīstamību ($FVI > 17$), gan gadu skaits, kad šādas vērtības tiks sasniegtas, mainoties no 30-50% gadu references periodā uz 60-70% gadsimta vidū un 80% gadsimta beigās.

Vērtējot augstvērtīgo sortimentu iznākumu (LVM dati), ko ietekmē daudzi atšķirīgi faktori, plānošanas vienību līmenī konstatēts, ka tam ir saikne arī ar teritorijas vēja bojājumu draudu klasēm (TVBDK): priežu audzēs $R^2 = 0,32$, egļu – 0,30, bērzu – 0,15. Projektā sagatavots materiāls par TVBDK, kas paredzēts, lai prognozētu vēja radīto bojājumu draudus vidēja vai ilgtermiņa plānošanā.

Pārskata periodā veikta klimata ietekmes uz koku augšanu prognožu sagatavošana, izmantojot vairākas atšķirīgas pieejas. Analizējot Vācijā (klimatiskajos apstākļos, kādi mūsu valstī prognozēti nākotnē) ierīkotu eksperimentu datus, konstatēts, ka Latvijas priežu caurmērs vidēji ir 92% no vietējo priežu caurmēra: tātad iespējams, ka Latvijas priedes nespēs pilnībā izmantot klimata izmaiņu radīto augšanas apstākļu uzlabojumu, tomēr to augstums un caurmērs nākotnē prognozētajā klimatā varētu būt lielāki nekā esošajā. Par koku augstuma noteiktā vecumā palielināšanos liecina gan dendrohronoloģiskā analīze (priedei) un

eksperimentālo stādījumu atkārtotu uzmērīšanas datu analīze (eglei), gan uz provenienču eksperimentu datiem izveidots empīriskais modelis. Savukārt matemātiskie modeļi, kas izveidoti koku gadskārtu platumu mainības raksturošanai, 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 pieaugs gadskārtu platuma ikgadējā variēšana. Melnalksnim nākotnes klimatiskajos apstākļos galvenokārt prognozējams gadskārtu platuma pieaugums. Turpmākajos pētījumos gadskārtu platumu prognozēšanai nepieciešams veidot modeļus, balstoties uz standartizētām sērijām, kā arī paplašināt iekļauto faktoru spektru.

Viens no faktoriem, kura ietekme nav atspoguļota izveidotajos modeļos, ir augsnes temperatūra, kam, saskaņā ar pārskata periodā veikto literatūras analīzi, var būt nozīmīga ietekme uz sakņu augšanu un koka barības vielu uzņemšanu, kā arī konstatēta ciešāka korelācija ar fenoloģisko fāzu iestāšanās laiku kokiem nekā gaisa temperatūrai. Tāpat projektā iegūtie dati liecina, ka ziemas perioda temperatūras režīmam ir nozīmīga ietekme uz koku salcietību un enerģijas patēriņu, kas, savukārt, var ietekmēt to pieaugumu un, jauniem kokiem, arī saglabāšanos. Analizējot apses sējeņu pārbaudes, konstatēta statistiski būtiska gan ģimenes, gan klimata scenārija, gan salcietības pārbaužu veikšanas laika, gan arī šo faktoru mijiedarbības ietekme uz koku saglabāšanos, kā arī to dzīvās virszemes daļas garumu pēc salcietības pārbaudēm.

Pētījumā prognozētas ne tikai abiotisko, bet arī biotisko faktoru ietekmes izmaiņas klimata izmaiņu rezultātā. Tā, analizējot 25 agresīvāko dendrofāgo kukaiņu sugu savairošanās vēstures teritorijās, kuru klimats līdzīgs Latvijā nākotnē prognozētajam (Centrāleiropā), un uz vēsturisko novērojumu pamata izstrādājot to savairošanās prognozes, konstatēts, ka visām apskatīt ietvertajām sugām sagaidāms to ietekmēto meža platību pieaugums, turklāt vairumā gadījumu fiksētā tendence ir statistiski būtiska. Atsevišķos gadījumos savairošanās tendences bija saistītas ar konkrētiem meteoroloģiskajiem faktoriem, piemēram, *Ips typographus* ietekmētajai platībai konkrētajā gadā ir pozitīva korelācija ar iekšējās sezonas vidējo gaisa temperatūru augustā. Ņemot vērā, ka priedei un eglei Latvijā ir liels meža platību īpatsvars un tām raksturīgs salīdzinoši augsts kopējais un specifisko dendrofāgu sugu skaits, lielākais kaitēkļu savairošanās risks prognozējams tieši skujkoku audzēs.

Prognozēto klimata izmaiņu ietekmē Latvijā var palielināties līdz šim konstatēto, nopietnus ekonomiskos zaudējumus izraisošo patogēno sēņu populācijas (*Lophodermium* spp., *Armillaria* spp., *Heterobasidion* spp.), kā arī iespējamās līdz šim neraksturīgu patogēno sēņu (*Dothistroma* sp., *Phytophthora* sp.) epidēmijas.

Pētījuma rezultāti liecina, ka meteoroloģiskie faktori gadskārtu platumu dižskābardim ietekmē līdzīgā mērā kā vietējām koku sugām, tāpēc, ņemot vērā iepriekš aprakstītos tā ražības rādītājus, lietderīgi ierīkot provenienču eksperimentu pirmām kārtām tādos apstākļos, kādos šo koku sugu potenciāli vislietderīgāk izmantot: atvērumos audzes vainagu klājā pēc pakāpeniskās cirtes meža tipos uz auglīgām augsnēm. Lai to realizētu, pārskata periodā veikta dižskābarža sēklu ieguve no Dānijas, Vācijas un Zviedrijas dienvidu daļas, sadarbībā ar šo valstu pētniekiem.

Pētījuma galvenie autori: U. Neimane, R. Matisons, J. Donis, G. Šņepsts, O. Krišāns, E. Bāders, J. Rieksts-Riekstiņš, I. Siliņš, T. Gaitnieks, N. Arhipova, A. Šmits, L. Puriņa, M. Zadiņa, J. Zariņš.

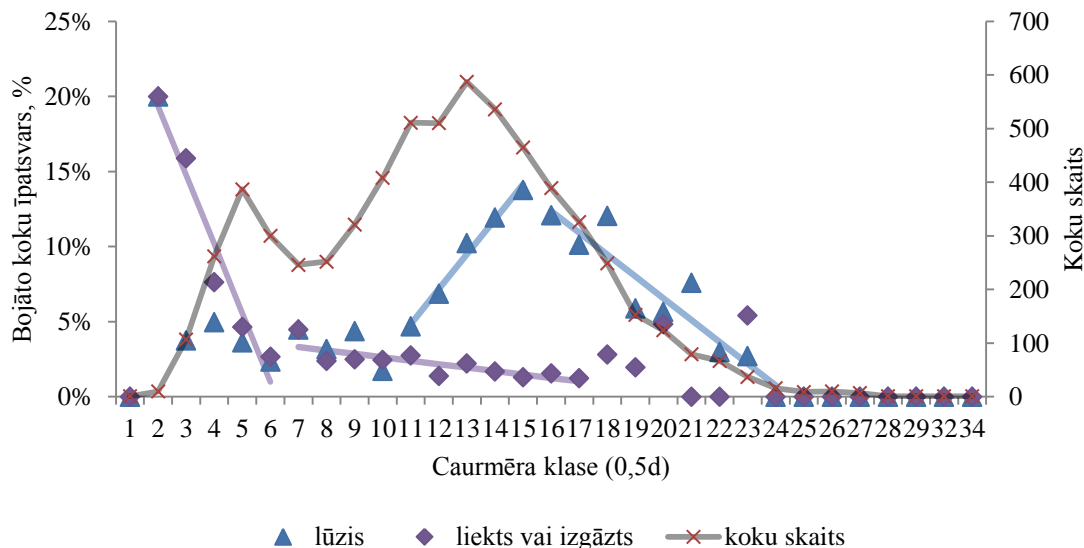
Saturs

1. Sasalstoša lietus bojāto mežaudžu novērtējums.....	6
2. Meteoroloģisko apstākļu ietekmes uz organisko materiālu mitrumu analīze un ugunsbīstamības izmaiņu prognozes	16
3. Vēja bojājumu riska pakāpe atkarībā no mežaudzes parametriem	40
4. Vēja bojājumu riska reģionālā sadalījuma saikne ar šī brīža mežaudžu bojājumiem	47
5. Latvijas koku sugu apkārtmēra pieauguma dinamika un augšanas gaitas izmaiņas prognozēto klimata izmaiņu ietekmē.....	55
6. Parastās priedes Latvijas provenienču produktivitāte un kvalitāte Austrumvācijā	82
7. Priedes un egles augstuma pieaugumu ietekmējošie klimatiskie faktori	85
8. Augsnes temperatūras izmaiņu ietekme uz koku augšanu.....	105
9. Koku salcietības izmaiņas dažādos meteoroloģiskajos apstākļos	115
10. Dižskābarža un Eiropas lapegles piemērotība Latvijas klimatiskajiem apstākļiem, turpmāko pētījumu pieeja un materiāls	125
11. Eksperimenti daļēji kontrolētos apstākļos: sausuma stresa novērtējums un temperatūra sēklu materiāla nogatavošanās laikā.....	133
12. Dendrofāgo kukaiņu populāciju dinamiku un tās prognozes	142
13. Klimata izmaiņu kontekstā potenciāli saimnieciski nozīmīgākās koku slimības.....	180
Izmantotā literatūra.....	189
Pielikumi.....	213

1. Sasalstoša lietus bojāto mežaudžu novērtējums

Sasalstoša lietus ietekmētajā teritorijā pēc taksācijas datiem (valdošā suga, vecums, meža tips, nogabala platība) izlozētas un apsekotas 263 audzes, kurās izvietoti parauglaukumi un veikta sākotnējā inventarizācija (uzmērīšana). Saskaņā ar sākotnējās inventarizācijas rezultātiem, parauglaukumos raksturojot koku sugu sastāvu, vecumu, bojājumus, turpmākiem mērījumiem (katrā nogabalā palielinot parauglaukumu skaitu līdz 10) izvēlētas 163 audzes, kopumā uzmērot 30198 kokus. Papildus apsekošana (inventarizācija) veikta egļu audzēs uzmērīšanas darbu beigu posmā, raksturojot bojājuma pakāpes varbūtējās izmaiņas un fiksējot, vai audzē jau nav veikta mežizstrāde.

Sagatavoti vienādojumi, aprakstot bojāto koku īpatsvara izmaiņas atkarībā no koku dimensijām (ietverti visu uzmērīto koku dati), izmantojot lineāras sakarības. Ņemot vērā, ka papildus parametru (koku augstuma, vainaga sākuma augstuma) izmantošana nepaaugstināja modeļa precizitāti, atspoguļotas tikai sakarības ar koku caurmēru. Analizēti valdaudzes koki atsevišķām sugām iedalījumā pa nosacītām caurmēra klasēm (caurmērs 1,3 m augstumā $\times 0,5$), neatkarīgi no audzē valdošās koku sugas.



1.1. attēls. Koku caurmēra un bojāto koku īpatsvara saikne priedei.

Konstatēts, ka no otrās līdz sestajai caurmēra klasei priedei (1.1. att., 1.1. tab.) slīpo (liekto) koku īpatsvars, pieaugot vienai caurmēra klasei, samazinās vidēji par 4,6 % ($R^2 = 0,95$, taisnes virziena koeficienta p -vērtība $< 0,01$). No septītās līdz 17. klasei liekto koku īpatsvars samazinās vidēji par 0,23 % līdz ar katru caurmēra klasi ($R^2 = 0,66$, taisnes virziena koeficienta p -vērtība $< 0,01$). No 18. līdz 23. klasei slīpo koku īpatsvars vidēji ir

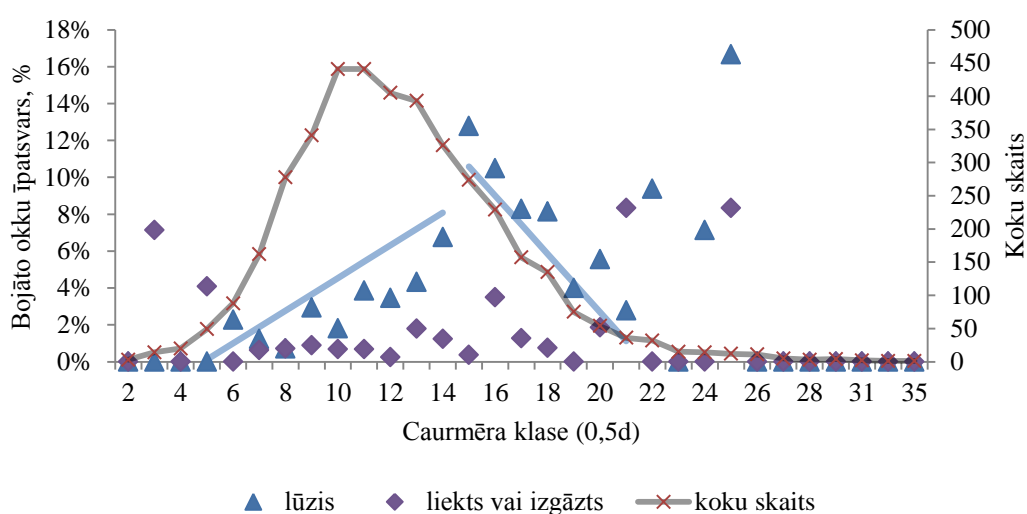
2,5 ± 0,9 % un, lai arī ir novērojamas izteiktas svārstības īpatsvarā, kas skaidrojamas arī ar nelielo koku skaitu, būtiska tendence neveidojas (p -vērtība = 0,92), savukārt, sākot no 24. klases liekti vai izgāzti koki nav konstatēti.

Lūzušo koku īpatsvars neveido nekādu izteiktu tendenci līdz pat 10. caurmēra klasei, šajā grupā tas vidēji ir 4,8 ± 1,7 % (taisnes virziena koeficienta p -vērtība = 0,29). Sākot ar 11. caurmēra klasi, novērojams straujš lūzušo koku īpatsvara pieaugums (vidēji par 2,3 % līdz ar katru klasi, $R^2 = 0,99$) līdz 15. klasei, sasniedzot novērojumu maksimumu 15,1 %, pēc kura lūzušo koku īpatsvars pakāpeniski samazinās vidēji par 1,5 % līdz ar katru klasi līdz pat 24. caurmēra klasei ($R^2 = 0,86$, p -vērtība < 0,001), sākot ar kuru lūzuši koki vairs nav konstatēti.

1.1. tabula

Bojāto koku īpatsvara un to caurmēra sakarību raksturojošo vienādojumu koeficienti priecēi

Bojājuma veids	Koku caurmēra pakāpe, cm	Vienādojuma koeficienti		R^2	Būtiskums
		b0	b1		
Liekti vai izgāzti	4-12	0,28529195	-0,0459033	0,94	0,005
		p=0,002	p=0,005		
	14-34	0,0492392	-0,0022955	0,66	0,002
		p=0,000	p=0,002		
Lauzti	6-20	0,04812071	-0,0019466	0,19	0,285
		p=0,006	p=0,285		
	22-30	-0,2067749	0,02321109	0,99	0,001
		p=0,002	p=0,001		
	32-48	0,35563495	-0,0145005	0,86	0,000
		p=0,000	p=0,000		



1.2. attēls. Koku caurmēra un bojāto koku īpatsvara saikne egļei.

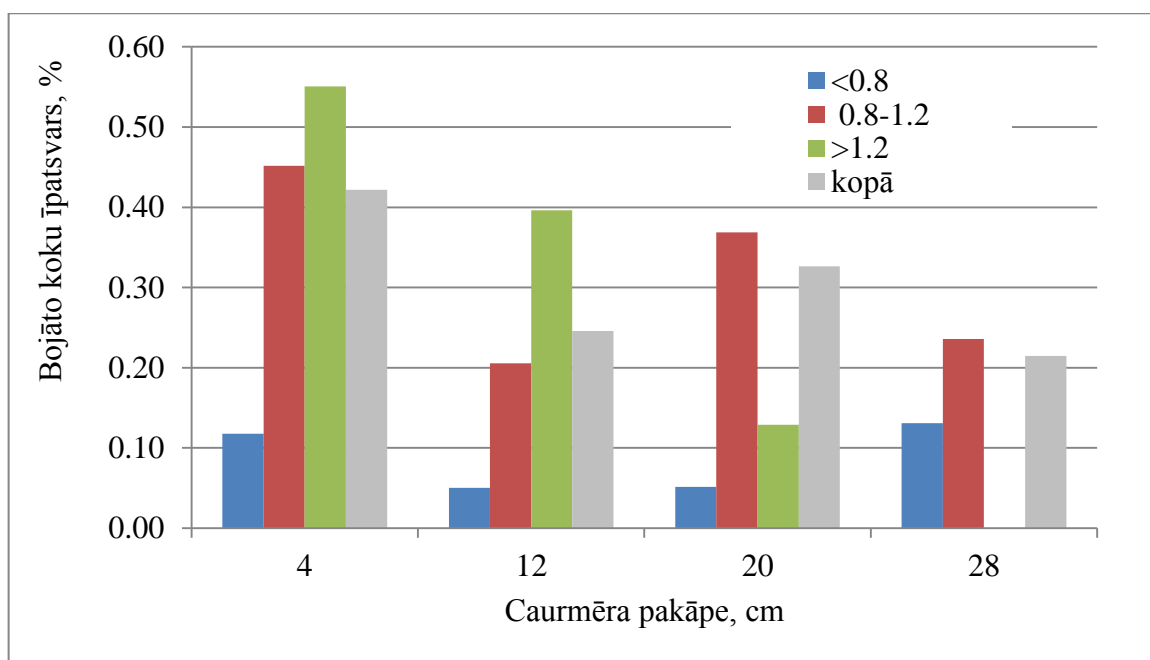
Eglei konstatēts (1.2. att., 1.2. tab.), ka liekto vai izgāzto koku īpatsvaram neveidojas būtiska pieauguma vai samazināšanās tendence (p -vērtība $> 0,5$ visos aplūkotajos caurmēra klašu intervālos). Izteiktas īpatsvara svārstības novērojamas pirmajās caurmēra klasēs (2. – 4.) un pēdējās (sākot ar 21.), kas skaidrojams ar nelielo koku skaitu tajās (1 – 36), turklāt kopā pa visām klasēm konstatēti tikai 44 liekti vai izgāzti koki no 4021 jeb tikai 1,1 % no visiem kokiem. Starp 5. un 20. caurmēra klasi vidējais liekto vai izgāzto koku īpatsvars ir $1,2 \pm 0,3$ %. Līdz 5. caurmēra klasei nav konstatēti lūzuši koki, savukārt no 6. līdz 15. caurmēra klasei lūzušo koku īpatsvars līdz ar katru caurmēra klasi pieaug vidēji par 0,9 % ($R^2 = 0,68$, taisnes virziena koeficienta p -vērtība $< 0,005$), sasniedzot 12,8 % 15. caurmēra klasē. Tālāk lūzušo koku īpatsvars samazinās vidēji par 1,6 % ar katru caurmēra klasi līdz pat 21. ($R^2 = 0,91$, taisnes virziena koeficienta p -vērtība $< 0,001$), pēc kuras redzamas izteiktas svārstības lūzušo koku īpatsvarā, kas gan skaidrojams ar nelielo novēroto koku skaitu (< 32). Pēdējās caurmēra klasēs, sākot ar 25., lūzuši koki nav konstatēti.

1.2. tabula

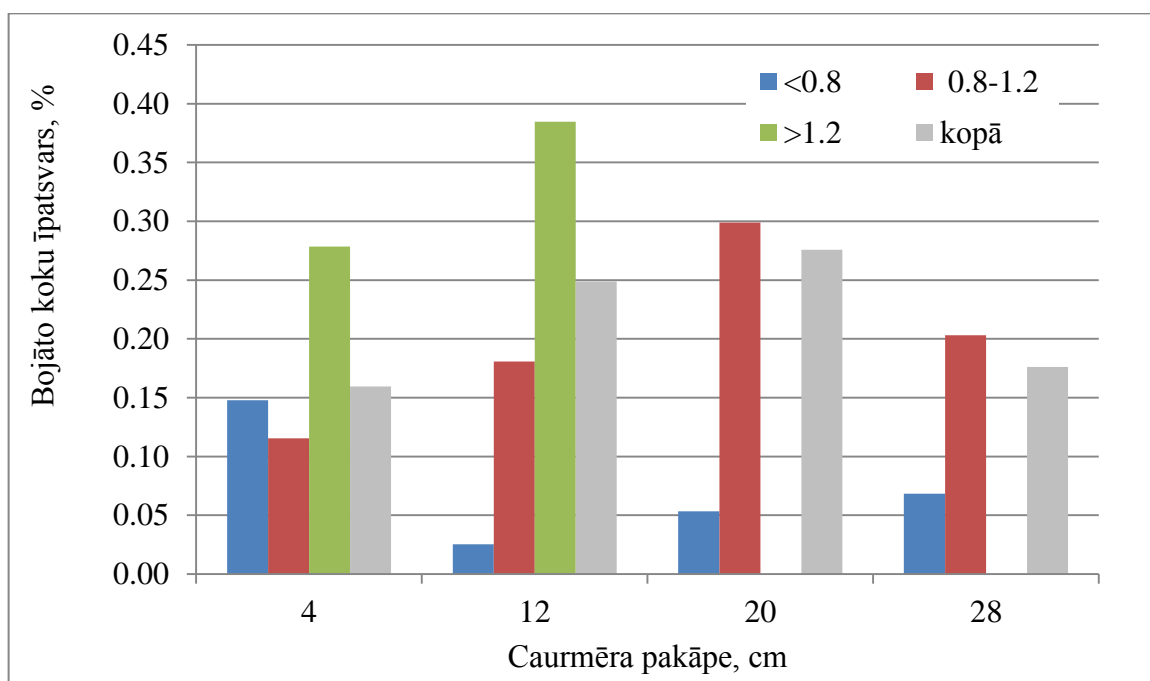
Bojāto koku īpatsvara un to caurmēra sakarību raksturojošo vienādojumu koeficienti eglei

Bojājuma veids	Koku caurmēra pakāpe, cm	Vienādojuma koeficienti		R^2	Būtiskums
		b0	b1		
Liekts vai izgāzts	4-10	0,01020408	0,00510204	0,04	0,810
		p=0,895	p=0,810		
	12-40	0,00054369	0,00070469	0,12	0,200
		p=0,940	p=0,200		
	42-52	0,00054369	0,00070469	0,12	0,200
		p=0,940	p=0,200		
Lauzis	12-30	-0,0520992	0,00885837	0,68	0,002
		p=0,037	p=0,002		
	32-42	0,35792193	-0,0157563	0,91	0,001
		p=0,000	p=0,001		
	44-52	0,11636905	-0,0020833	0,00	0,940
		p=0,862	p=0,940		

Konstatēts, ka bojājumi daudz biežāk sastopami slaidākiem (augstuma/caurmēra attiecība pārsniedz 1,2) kokiem (1.3., 1.4. att.).



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



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

Turpinot bojājumu matemātisko sakarību analīzi, vērtēti nelineāri vienādojumi (nelineārā regresija) un iespējamā kopšanas režīma ietekme, nosakot iespējas bojājumu mazināšanā atbilstošas meža apsaimniekošanas rezultātā. Šai analīzei izmantoti tikai to audžu dati, kur priede vai egļu audzes sastāvā ir vismaz 7 vienības.

Katrai audzei aprēķināts:

- Katra meža elementa:

- vidējais caurmērs (D),
- augstumlīkne (pēc Petersena vai Gafreja vispārējās augstumlīknes) (Donis, 2009),
- vidējais augstums (H),
- h:d attiecība,
- šķērslaukums (G), m^2ha^{-1} ,
- krāja (V), pēc I.Liepas formulas (Liepa, 1996), m^3ha^{-1} ,
- koku skaits (N) ha^{-1} ,
- bojāto koku skaits ha^{-1} ,
- bojāto koku šķērslaukums, m^2ha^{-1} ;

- Mežaudzes stāviem:

- stāva šķērslaukums, m^2ha^{-1} ,
- stāva krāja, m^3ha^{-1} .
- I stāva valdošās sugas H, D, G, V, N,
- I stāva G, V, N.

Audzes pēc bojājuma pakāpes iedalītas trīs grupās:

1. nebojātas – audzes, kurās nebojāto un maz bojāto (noliekti mazāk nekā 15 grāpus 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).

Pēc tam aprēķināts bojāto un iznīkušo audžu skaits un bojājuma veids.

Lai noteiktu pazīmes, kas ietekmē audžu bojājuma varbūtību, veikta binārā loģistiskā regresijas analīze, izmantojot SPSS 14 rīku *Advanced regression*. Izmantots *backward stepwise LR* algoritms. Potenciālo atkarīgo mainīgo multikolinearitātes novērtēšanai

izmantots rīks „kolinearitātes diagnostika”. Izvērtējot savstarpējo korelāciju, par neatkarīgajiem mainīgajiem izvēlēti tādi, kuru savstarpējā korelācija mazāka par 0,8.

Kopumā no 156 apsekotajām audzēm saskaņā ar izvēlētajiem kritērijiem par bojātām vai iznīkušām atzīstamas 67% priežu audžu un 61% egļu audžu (1.3.tab.).

1.3.tabula

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
vesela		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
vesela	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 eglei ir audžu vidējā caurmēra grupās līdz 24 cm. Jānorāda, ka paraugkopā ir tikai 3 egļu audzes ar vidējo caurmēru mazāku par 16 cm.

Veicot bināro loģistisko regresiju (modeļi apkopoti 1.1. pielikumā), konstatēts: lai prognozētu, kuras audzes atbilst klasei „bojāta vai iznīkusi”, priežu audzēm statistiski būtiski ir mainīgais $G_{\text{minimālais}} * G_{\text{faktiskais}}^{-1}$ un konstante, (1) savukārt egļu audzēm: H , D , $H^2 D^{-1}$, $G_{\text{minimālais}} * G_{\text{faktiskais}}^{-1}$ un konstante (2), kur H – audzes vidējais augstums, D – audzes vidējais caurmērs.

$$P(y)(\text{priede}) = 1 / (1 + \exp(-(31.243 * G_{\text{min}} * G_{\text{fakt}}^{-1} - 24.489))) \quad (1)$$

$$P(y)(\text{egle}) = 1 / (1 + \exp(-(-8.951 * H + 3.665 D + 5.267 * H^2 D^{-1} + 25.327 * (G_{\text{minimālais}} * G_{\text{faktiskais}}^{-1} - 18.923))) \quad (2)$$

Iegūto rezultātu interpretācija: ja audzei aprēķinātā varbūtība (P_y) < 0.5 – audze nav iznīkusi, ja $P_y \geq 0.5$ – audze ir iznīkusi.

Izmantojot iegūtās sakarības, pēc sasalstoša lietus iespējams pēc meža inventarizācijas informācijas prognozēt, kurās audzēs potenciāli būs nozīmīgākie bojājumi, attiecīgi plānojot

apsekošanas un seku likvidācijas pasākumus. Šīs prognozes iespējams ņemt vērā stratēģiskajā plānošanā, izstrādājot kopšanas ciršu modeli teritorijās, kur sasalstoša lietus bojājumu varbūtība ir augstākā.

Pirmā stāva bojātās daļas šķērslaukums priežu audzēs ir atkarīgs no retināšanas (retināts pēdējos 3 gados vai senāk), H_{10} un H^2D^{-1} (3), bet egļu audzēs: no H_{10} , H^2D^{-1} un 1.stāva šķērslaukuma (4), kur H_{10} – pirmā stāva valdošās sugas vidējais augstums.

$$G_{\text{bojātais(Priede)}} = 6.106 - 1.442 \cdot \text{retinats}_{\text{kods}} - 0.403 \cdot H + 0.420 \cdot H^2D^{-1} \quad (3)$$

$$G_{\text{bojātais(Egle)}} = 6.033 - 0.137 \cdot G - 0.837 \cdot H + 0.706 \cdot H^2D^{-1} \quad (4)$$

Retināts – veikta retināšanā pēdējo 3 gadu laikā pirms sasalstošā lietus: kods =1

Šīs sakarības izmantojamas, nosakot audzes, kur iespējams lielākais bojāto pirmā stāva koku īpatsvars, kā arī plānojot audžu kopšanas modeli teritorijās ar augstāko sasalstoša lietus bojājumu varbūtību tāda veidā, lai iespējami veicinātu pirmā stāva koku noturību pret šo bojājumu. Pētījumā konstatēts, ka vidēji bojātas 26% pirmā stāva priežu un 27% pirmā stāva egļu (1.4.tab.).

Jau iepriekšējā pārskatā aprakstīta sakarība, ka ledus masa uz lauztajām priedēm 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 masas viena un tā paša caurmēra kokiem var nozīmīgi atšķīries, kas, iespējams, varētu būt saistīts ar to vainagu asimetriju vai vēja ietekmi, kā rezultātā arī mazāka ledus masa var izraisīt koka lūšanu. Zinātniskajā literatūrā nebija iespējams atrast informāciju par saikni starp nokrišņu daudzumu (mm) un ledus slāņa biezumu uz virsmas (mm), iespējams, tādēļ, ka šo sakarību nozīmīgi ietekmē citi meteoroloģiskie faktori sasalstoša lietus līšanas laikā, galvenokārt vējš. Tāpat zinātniskajā literatūrā ir ļoti maz informācijas par kritiskā ledus slāņa biezumu uz koku virsmas, kas izraisa to lūšanu un/vai izgāšanu; atsevišķos avotos minēti 10 mm vai 1-2 cm (Greene et al., 2007). Ņemot vērā koka virszemes daļas formas sarežģītību, šo rādītāju praktiski nav iespējams aprēķināt no mūsu pētījumā iegūtās kritiskās ledus masas. Var pieņemt, ka nokrišņu daudzumam salstoša lietus veidošanās laikā pārsniedzot 10 mm, lietderīgi veikt atsevišķu potenciāli visvairāk apdraudēto audžu apsekošanu, un, ja tajās bojājumi tiek konstatēti – plašāku audžu apsekošanu.

Turpmākajos pētījumos lietderīgi ievākt datus praktiskā eksperimentā, negatīvā temperatūrā smidzinot uz koku virsmas zināmu ūdens daudzumu (simulējot sasalstoša lietus veidošanos), un izveidot no iegūtajiem datiem empīrisku vienādojumu, kas raksturo sakarību starp nokrišņu apjomu un sasalstoša lietus kritisko masu. Šo sakarību varētu izmantot, precīzāk raksturojot sasalstoša lietus bojājumu varbūtību un nepieciešamību veikt audžu apsekošanas pasākumus noteiktos meteoroloģiskajos apstākļos.

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
	Eglu 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	Suga	4	8	12	16	20	24	28	32	36	Kopā
	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
	Eglu 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	Suga	4	8	12	16	20	24	28	32	36	Kopā
	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
	Eglu 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 lietūs izraisītiem bojājumiem vērtēta audzēs, kur koku skaita samazināšana veikta pirms 3 gadiem („retināts”) un kur tā veikta senāk („neretināts”) (1.5 – 1.7. tab.).

1.5. tabula

Pēdējos 3 gados retināto un šajā periodā neretināto audžu raksturojums

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

1.6. tabula

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

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

1.7. 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

Bojāto (lauztie un gāztie kopā) un nebojāto koku augstuma/caurmēra attiecība pēdējo 3 gadu laikā retinātās un šajā periodā neretinātās audzēs

Suga		Valdošās koku sugas I stāva koku vidējais caurmērs								Vidēji
		4	8	12	16	20	24	28	32	
Priežu audzes	Retināts	0,9	0,8	0,98	1,08	1,1	0,99	0,81	0,82	0,95
	nebojāts	0,9	0,8	0,96	1,07	1,08	0,97	0,79	0,82	0,93
	bojāts	1	0,9	1,06	1,12	1,14	1,04	0,9	0,85	1,07
	Neretināts					1,03	0,96	0,97	0,89	0,96
	nebojāts					1,01	0,95	0,94	0,87	0,94
	bojāts					1,07	0,99	1,03	0,95	1,01
	Vidēji	0,9	0,8	0,98	1,08	1,08	0,97	0,95	0,87	0,95
Egļu audzes	Retināts			0,83	1,11	0,98	1	0,94	0,89	0,97
	nebojāts			0,83	1,11	0,97	0,99	0,92	0,85	0,95
	bojāts			1	1,11	1,05	1,02	0,99	0,93	1,03
	Neretināts			1,04	1,1	1,02	0,99	0,91	0,9	0,98
	nebojāts			1,03	1,1	1,01	0,98	0,91	0,89	0,97
	bojāts			1,05	1,1	1,05	1,03	0,95	0,96	1,03
	Vidēji			0,87	1,1	1	0,99	0,92	0,9	0,98

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

2. Meteoroloģisko apstākļu ietekmes uz organisko materiālu mitrumu analīze un ugunsbīstamības izmaiņu prognozes

Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz degmateriāla un augsnes mitruma izmaiņām

Pagarinot laika rindu un nodrošinot apstākļus ar augstāku ugunsbīstamību nekā iepriekšējās sezonās, papildus sākotnēji plānotajam, arī šajā veģetācijas periodā pusē no mežaudzēm periodiski tika ievākti nobiru un augsnes mitrumu raksturojošie dati un veikti meteoroloģisko apstākļu novērojumi. Pārskatā aprakstīti ugunsbīstamības indikatori, kuri izmantoti meža zemsegas un augsnes organiskā slāņa mitruma raksturošanai.

Ņesterova indekss (NI)

Līdz šim Latvijā ugunsbīstamības novērtējumam izmantots 1968.gadā PSRS Hidrometeocentra izstrādātais kompleksais ugunsbīstamības rādītājs, kurš ir pārveidots agrāk izmantotais Ņesterova 1939.gadā izstrādātais ugunsbīstamības indekss. Daudzviet pasaulē šo pārveidoto indeksu dēvē par Ņesterova indeksu (NI). Ņesterova indeksa vērtību nosaka 3 rādītāji – temperatūra, rasas punkta temperatūra un nokrišņu daudzums iepriekšējā diennaktī.

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

kur:

NI = Ņesterova indekss;

W = dienu skaits kopš lietus >3mm;

T_i = i -tās dienas pusdienas laika t (°C);

D_i = i -tās dienas rasas punkta t (°C).

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

Meteoroloģisko apstākļu noteiktā ugunsbīstamība dalīta 2.1.tabulā aprakstītajās klasēs.

Meža ugunsbīstamības kompleksā rādītāja klases (Roga, 1979)

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

Modificētais Nesterova indekss (MNI)

Modificētais Nesterova indekss izteikts ar sekojošu sakarību:

$$MNI = K \sum_{i=1}^W T_i * (T_i - D_i) \quad (2)$$

kur:

MNI = Modificētais Nesterova indekss;

W = dienu skaits kopš lietuss > 19 mm;

T_i = *i*-tās dienas pusdienas laika *t* (°C);

D_i = *i*-tās dienas rāsas punkta *t* (°C).

K_i – vērtības no 2.2.tabulas, kuras ir atkarīgas no lietuss daudzuma iepriekšējā dienā.

2.2.tabula

Koeficienta K vērtības

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

Meža ugunsgrēka riska līmeņi atkarībā no modificētā Nesterova indeksa parādīti 2.3. tabulā.

2.3.tabula

Meža ugunsgrēka risks atkarībā no modificētā Nesterova indeksa

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

Modificētais Portugāles indekss (MPI)

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

$$PI = r \sum_{k=i}^{l-1} I(k) + T_i * (T_i - D_i) \quad (3)$$

kur:

PI = Portugāles indekss;

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

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

r – koeficients (2.4. tab.) atkarībā no nokrišņu daudzuma iepriekšējā dienā (k).

2.4.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 indekss (FWI)

Virkne pētījumu liecina, ka žūšanas process ir atkarīgs arī no citiem meteoroloģiskajiem rādītājiem, piemēram, vēja ātruma, kā arī no degmateriāla (ar to saprotot dažāda lieluma organiskās daļas gan augsnē, gan uz tās, piemēram, nobiras) īpašībām (blīvuma, novietojuma, sākotnējā mitruma u.c.).

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

- Smalko degmateriālu mitruma kods (Fine fuel moisture code (FFMC));
- Nobiru mitruma kods (Duff moisture code (DMC));
- Sausuma 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, kas raksturo žūšanas un samitrināšanās procesu atsevišķi smalkajam degmateriālam (FFMC), nobirām (DMC) un zemākajos augsnes organiskajos slāņos (DC). Vienādojumi aprakstīti, piemēram, Wagner un Pickett (1985).

FFMC Smalko degmateriālu mitruma kods

Parametri:

TEMP ir 12:00 vietējā standartlaika temperatūra, °C;

RH ir 12:00 vietējā standartlaika relatīvais mitrums, %;

WIND ir 12:00 vietējā standartlaika vēja ātrums, km ha⁻¹;

RAIN ir 24 stundu akumulētais nokrišņu daudzums (mm) 12:00 pēc vietējā standartlaika;

FFMCo ir iepriekšējās dienas FFMC.

$$Mo = 147,2 * (101 - FFMCPrev) / (59,5 + FFMCPrev) \quad (1)$$

ja (RAIN > 0,5) tad

$$rf = RAIN - 0,5 \quad (2)$$

ja (Mo <= 150) tad

$$Mr = Mo + 42,5 * rf * (Exp(-100 / (251 - Mo))) * (1 - Exp(-6,93 / rf)) \quad (3a)$$

Citādi

$$Mr = Mo + 42,5 * rf * (Exp(-100 / (251 - Mo))) * (1 - Exp(-6,93 / rf)) + 0,0015 * (Mo - 150)^2 * (rf)^{(0,5)} \quad (3b)$$

ja (Mr > 250) tad

$$Mr = 250$$

$$Mo = Mr$$

$$Ed = 0,942 * (RH)^{(0,679)} + 11 * Exp((RH - 100) / 10) + 0,18 * (21,1 - TEMP) * (1 - Exp(-0,115 * RH)) \quad (4)$$

ja (Mo > Ed) tad

$$ko = 0,424 * (1 - (RH / 100)^{1,7}) + 0,0694 * (WIND)^{(0,5)} * (1 - (RH / 100)^8) \quad (6a)$$

$$kd = ko * 0,581 * Exp(0,0365 * TEMP) \quad (6b)$$

$$m = Ed + (Mo - Ed) * (10)^{(-kd)} \quad (8)$$

citādi

$$Ew = 0,618 * (RH)^{(0,753)} + 10 * Exp((RH - 100) / 10) + 0,18 * (21,1 - TEMP) * (1 - Exp(-0,115 * RH)) \quad (5)$$

ja (Mo < Ew) tad

$$kl = 0,424 * (1 - ((100 - RH) / 100)^{1,7}) + 0,0694 * (WIND)^{0,5} * (1 - ((100 - RH) / 100)^8) \quad (7a)$$

$$kw = kl * 0,581 * Exp(0,0365 * TEMP) \quad (7b)$$

$$m = Ew - (Ew - Mo) * (10)^{(-kw)} \quad (9)$$

citādi

$m = Mo$

$$FFMC = 59,5 * (250 - m) / (147,2 + m) \quad (10)$$

DMC Nobiru mitruma kods

Parametri:

TEMP ir 12:00 vietējā standartlaika temperatūra, °C;

RH ir 12:00 vietējā standartlaika relatīvais mitrums, %;

RAIN ir 24 stundu akumulētais nokrišņu daudzums (mm) 12:00 pēc vietējā standartlaika;

DMCo ir iepriekšējās dienas DMC;

LAT ir vietas ģeogrāfiskā platuma grādi;

MONTH ir gada mēneša kārtas skaitlis (1..12).

$$\text{ja } (RAIN > 1,5) \text{ tad } re = 0,92 * RAIN - 1,27 \quad (11)$$

$$Mo = 20 + \text{Exp}(5,6348 - DMCP_{\text{Prev}} / 43,43) \quad (12)$$

ja $(DMCP_{\text{Prev}} \leq 33)$ tad

$$B = 100 / (0,5 + 0,3 * DMCP_{\text{Prev}}) \quad (13a)$$

citādi

ja $(DMCP_{\text{Prev}} \leq 65)$ tad

$$B = 14 - 1,3 * (\text{Log}(DMCP_{\text{Prev}})) \quad (13b)$$

citādi

$$B = 6,2 * \text{Log}(DMCP_{\text{Prev}}) - 17,2 \quad (13c)$$

$$Mr = Mo + 1000 * re / (48,77 + B * re) \quad (14)$$

$$Pr = 244,72 - 43,43 * \text{Log}(Mr - 20) \quad (15)$$

If $(Pr > 0)$ tad

$DMCP_{\text{Prev}} = Pr$

citādi

$DMCP_{\text{Prev}} = 0$

ja $(TEMP > -1,1)$ tad

$Dl = \text{DayLength}(LAT, MONTH)$

$$K = 1,894 * (TEMP + 1,1) * (100 - RH) * Dl * 0,000001$$

citādi

$K = 0$

$$DMC = DMCP_{\text{Prev}} + 100 * K \quad (17)$$

DC Sausuma kods

Parametri:

TEMP ir 12:00 vietējā standartlaika temperatūra, °C;

RAIN ir 24 stundu akumulētais nokrišņu daudzums (mm) 12:00 pēc vietējā standartlaika;

LAT ir vietas ģeogrāfiskā platuma grādi;

MONTH ir gada mēneša kārtas skaitlis (1..12);

* DCo ir iepriekšējās dienas DC.

ja (RAIN > 2,8) tad

$$rd = 0,83 * (RAIN) - 1,27 \quad (18)$$

$$Qo = 800 * \text{Exp}(-DCPrev / 400) \quad (19)$$

$$Qr = Qo + 3,937 * rd \quad (20)$$

$$Dr = 400 * \text{Log}(800 / Qr) \quad (21)$$

ja (Dr > 0) tad

$$DCPrev = Dr$$

citādi

$$DCPrev = 0$$

$$Lf = \text{DayLengthFactor}(LAT, MONTH - 1)$$

$$\text{ja } (TEMP > -2,8) \text{ tad } V = 0,36 * (TEMP + 2,8) + Lf \quad (22)$$

citādi $V = Lf$

ja ($V < 0$) tad $V = 0$

$$D = DCPrev + 0,5 * V \quad (23)$$

$$DC = D$$

ISI Sākotnējās izplatīšanās indekss

Parametri:

WIND ir 12:00 vietējā standartlaika vēja ātrums, km ha⁻¹;

FFMC ir kārtējās dienas FFMC.

$$fWIND = \text{Exp}(0,05039 * WIND) \quad (24)$$

$$m = 147,2 * (101 - FFMC) / (59,5 + FFMC) \quad (1)$$

$$fF = 91,9 * \text{Exp}(-0,1386 * m) * (1 + (m)^{5,31} / 49300000) \quad (25)$$

$$ISI = 0,208 * fWIND * fF \quad (26)$$

BUI Attīstības indekss

Parametri:

DMC ir kārtējās dienas DMC;

DC ir kārtējās dienas DC.

Ja $(DMC \leq 0,4 * DC)$ tad

$$U = 0,8 * DMC * DC / (DMC + 0,4 * DC) \quad (27a)$$

citādi

$$U = DMC - (1 - 0,8 * DC / (DMC + 0,4 * DC)) * (0,92 + (0,0114 * DMC)^{1,7}) \quad (27b)$$

$$BUI = U$$

FWI uguns laika apstākļu indekss

Parametri:

* ISI ir kārtējās dienas ISI;

BUI ir kārtējās dienas BUI.

ja $(BUI \leq 80)$ tad

$$fD = 0,626 * (BUI)^{0,809} + 2 \quad (28a)$$

citādi

$$fD = 1000 / (25 + 108,64 * \exp(-0,023 * BUI)) \quad (28b)$$

$$B = 0,1 * ISI * fD \quad (29)$$

ja $(B > 1)$ tad

$$S = \exp(2,72 * (0,434 * \log(B))^{0,647}) \quad (30a)$$

$$\text{citādi} \quad S = B \quad (30b)$$

$$FWI = S$$

$$LfN = \text{Array}(-1,6, -1,6, -1,6, 0,9, 3,8, 5,8, 6,4, 5, 2,4, 0,4, -1,6, -1,6)$$

Smalko degmateriālu veido maz sadalījušās zaru, lapu u.c. organiskās atliekas (*litter*).

Nobiru mitruma kods raksturo vidēji līdz gandrīz pilnīgi sadalījušos lapu, skuju, smalko zariņu un citu organisko materiālu, kas atrodas starp smalko degmateriālu un minerālās augsnes slāni 2-5 cm dziļumā.

Sausuma kods raksturo nobiru/humusa/kūdras slāni 5-10 cm dziļumā.

Ugunsbīstamību raksturojošo indikatoru saikne ar degmateriāla un augsnes mitruma izmaiņām

Lauka materiāls ievākts 2012. un 2013. gadā pētījumu objektos 3 dažādās Latvijas vietās – Piejūras zemienē (Mazirbe), Ventaszemē (Ugāle) un Austrumzemgalē (Vecumnieki), kā arī 2014.gadā Ventaszemē (Ugāle).

Meteoroloģiskie rādītāji novērtēti, izmantojot pārvietojamās meteostacijas *Vantage Pro2*, kuras uzstādītas atklātā vietā (vismaz 100 m attālumā no dabiskiem vai mākslīgiem

šķēršļiem). Iegūti sekojoši meteoroloģiskie rādītāji: gaisa temperatūra, relatīvais mitrums, vēja ātrums (10 m augstumā), nokrišņu (lietus) daudzums.

Audzes izvēlētas atbilstoši sekojošiem nosacījumiem:

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

Atbilstoši MK noteikumiem (1.¹ pielikums Ministru kabineta 2004.gada 17.februāra noteikumiem Nr.82). audzes pēc to ugunsbīstamības tiek iedalītas 5 klasēs (2.5.tab.).

2.5.tabula

Mežaudžu un izcirtumu iedalījums ugunsbīstamības klasēs

(izvilkums no Pielikums MK 10.06.2008. noteikumu Nr.422 redakcijā)

Nr.p.k.	Ugunsbīstamības klase	Mežaudzes vai izcirtuma apraksts
1.	I klase – ugunsbīstamība paaugstināta	Par 40 gadiem jaunākas skuju koku audzes visos meža augšanas apstākļu tipos un lauksaimniecības zemēs ieaudzētie skuju koku plantāciju meži. Lauksaimniecības zemēs ieaudzētie lapu koku plantāciju meži, kas jaunāki par 10 gadiem. Mežaudzes un izcirtumi silā un grīnī
2.	II klase –ugunsbīstamība augsta	Mežaudzes un izcirtumi lānā, mētrājā, viršu ārenī un viršu kūdrenī
3.	III klase –ugunsbīstamība vidēja	Mežaudzes un izcirtumi damaksnī, šaurlapu ārenī, mētru ārenī, šaurlapu kūdrenī un mētru kūdrenī
4.	IV klase –ugunsbīstamība zema	Mežaudzes un izcirtumi vērī, gāršā, slapjā mētrājā, slapjā damaksnī, slapjā vērī, slapjā gāršā, platlapju kūdrenī un platlapju ārenī
5.	V klase –ugunsbīstamība ļoti zema	Mežaudzes un izcirtumi purvājā, niedrājā, dumbrajā un liekņā

Pētījumu objektu sadalījums pa ugunsbīstamības klasēm un valdošajām sugām atspoguļots 2.6.tabulā, bet sadalījums pa meža tiptiem un ugunsbīstamības klasēm 2.7.tabulā.

2.6.tabula

Parauglaukumu skaits sadalījumā pa ugunsbīstamības klasēm un valdošajām sugām

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

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

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	
As			6			10			16
Dm			3			9			12
Dms				3			2		5
Km			2			3			5
Ks			2			6			8
Mr		4			5				9
Mrs				2			2		4
Nd								2	2
Sl	3								3
Vr							5		5
Kopā	3	4	13	5	5	28	9	2	69

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

Parauglaukumos novērtēts:

- 1) augsnes mitrums, izmantojot augsnes mitruma mērītāju (*Soil moisture meter*), katrā uzmērīšanas reizē parauglaukumā vismaz 2 vietās. Katrā parauglaukumā novērtējums veikts vismaz 10 (10-15) reizes sezonā 2012.gadā, 18 (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 1m garumā, ar caurmēru 6-8 cm) mitrums, izmantojot koksnes mitruma mērītāju *Wood Moisture meter* T500. Koksnes paraugi novietoti uz zemsedzes parauglaukuma centra tuvumā. Mērījumi veikti 11-15 reizes sezonā 2012.gadā un 17 (16-20) reizes sezonā 2013.gadā.

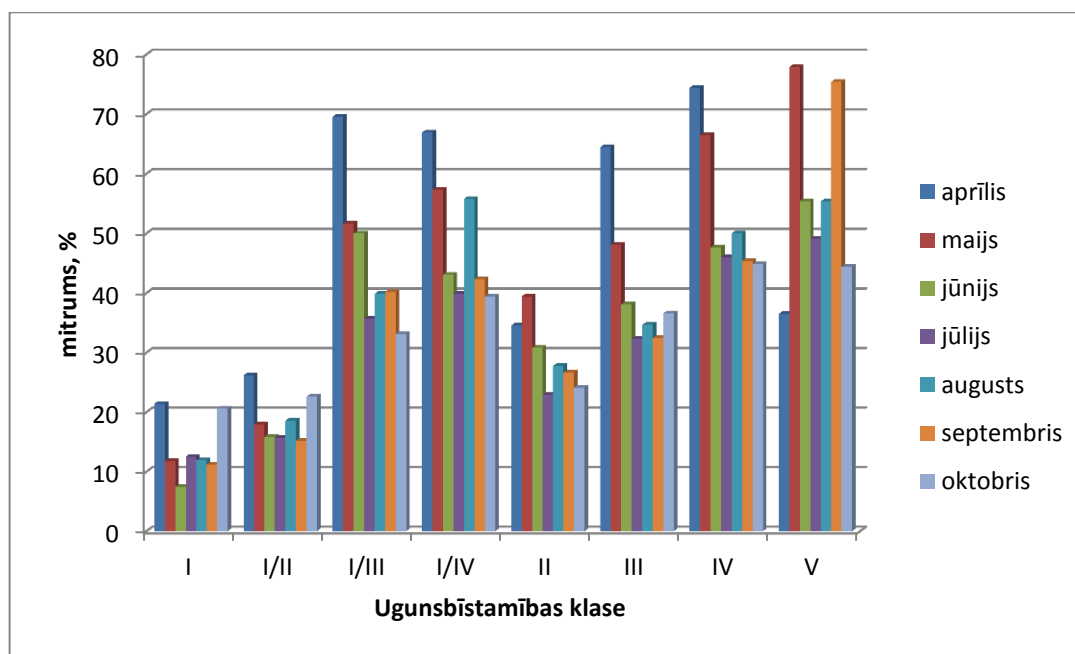
Vidējais augsnes virskārtas mitrums atšķiras dažādās ugunsbīstamības klasēs. Mežaudzēs silā un jaunaudzēs lānā, mētrājā, viršu ārenī un viršu kūdrenī augsnes virskārtas mitrums ir būtiski zemāks nekā pārējās ugunsbīstamības klasēs. Savukārt skujkoku jaunaudzēs III un IV ugunsbīstamības klases meža tipos augsnes virskārtas mitrums ir līdzīgs III un IV ugunsbīstamības klases meža tipu mitrumam, nevis I ugunsbīstamības klases mitrumam (2.8.tab., 2.1.att.).

2.8.tabula

Vidējais augsnes virskārtas mitrums pa mēnešiem un ugunsbīstamības klasēm 2012.,
2013.gadā (%)

Mēnesis	Ugunsbīstamības klase								Vidēji
	I	I/II*	I/III	I/IV	II	III	IV	V	
Aprīlis	21,4	26,2	69,6	66,9	34,5	64,5	74,4	36,5	57,3
Maijs	11,8	17,9	51,7	57,4	39,4	48,1	66,5	77,9	47,8
Jūnijs	7,4	15,9	50,0	43,1	30,8	38,1	47,6	55,4	38,5
Jūlijs	12,5	15,7	35,7	39,9	22,9	32,4	46,0	49,1	32,4
Augusts	11,9	18,6	39,9	55,8	27,8	34,7	50,0	55,4	36,8
Septembris	11,2	15,2	40,2	42,3	26,6	32,4	45,4	75,4	33,8
Oktobris	20,6	22,6	33,2	39,4	24,1	36,6	44,8	44,4	34,4
Vidēji	11,5	17,2	43,6	48,2	29,1	37,7	51,4	56,6	38,1

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



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

2.1.attēls. Augsnes virskārtas mitrums (%) dažādās ugunsbīstamības parauglaukumos 2012.
un 2013.gadā.

Izmantojot gan 2012.gada, gan 2013.gada datus, konstatēts, ka abos gados I un I/II ugunsbīstamības klases parauglaukumos augsnes mitrums ir būtiski ($p < 0,001$) zemāks nekā pārējās ugunsbīstamības klasēs (dispersijas analīzē, veicot gradācijas klašu salīdzināšanu, izmantots Tjūkija tests (*Tukey HSD*)). Izmantojot apvienotos 2012., 2013., 2014.g. datus, konstatēts, ka būtiski mazāks augsnes mitrums ir I un I/II ugunsbīstamības klases parauglaukumos, savukārt, I/III un III, kā arī I/IV un IV ugunsbīstamības klases parauglaukumos konstatēts līdzīgs augsnes mitrums (2.9.tabula).

2.9.tabula

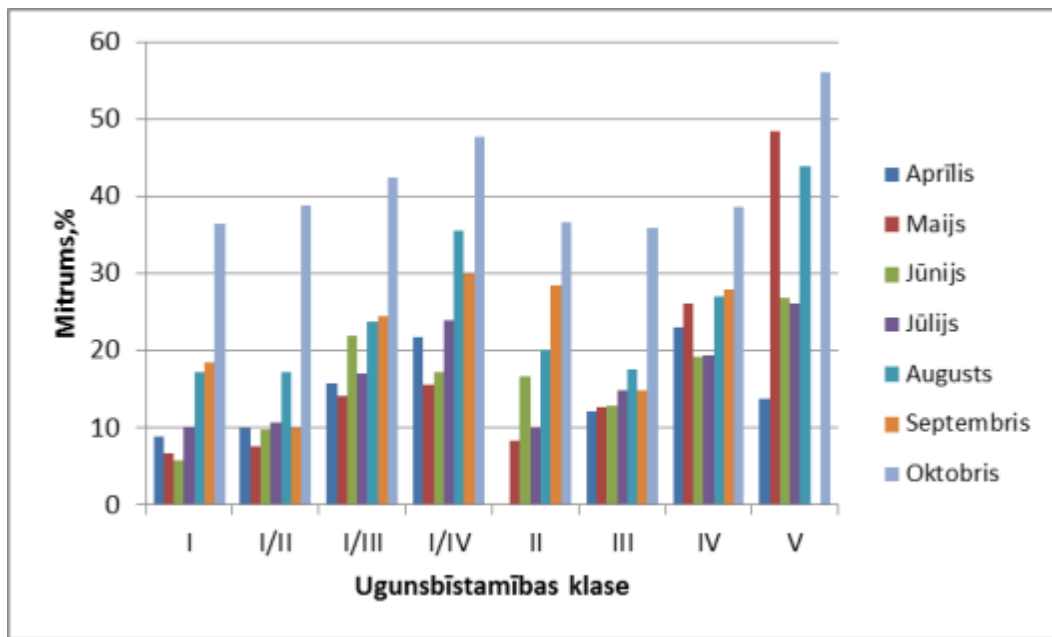
Augsnes mitrums dažādas ugunsbīstamības klašu audzēs ($p < 0,05$; Tjūkija tests)

Ugunsbīstamības klase	N	Homogēnā apakškopa					
		1	2	3	4	5	6
I	184	11,5					
I/II	237	17,2					
II	222		29,2				
III	1200			37,7			
I/III	576			43,6	43,6		
I/IV	299				48,2	48,2	
IV	363					51,4	51,4
V	76						56,6
Sig.		0,07	1,0	0,07	0,28	0,73	0,16

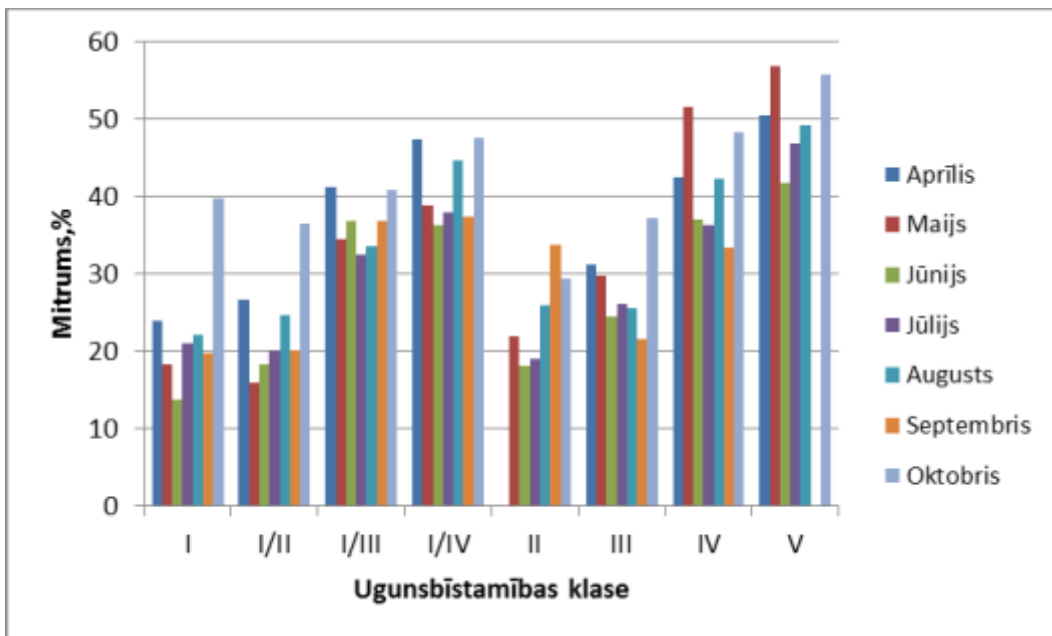
Salīdzinot mitruma daudzumu dažādos dziļumos (viršējais nobiru slānis, daļēji sadalījušos nobiru slānis 2-5 cm dziļumā un vidēja „trūdzeme” 5-10 cm dziļumā), gan 2012.gadā, gan 2013. un 2014. gadā, var konstatēt līdzīgas sakarības: I un II klasē mitruma daudzums ir mazāks nekā pārējās ugunsbīstamības klasēs, bet III un IV ugunsbīstamības klases meža tipos arī skujkoku jaunaudzēs nobiru un humusa slāņa mitrums ir līdzīgāks kategorijai, kura noteikta atbilstoši meža tipam, nevis I klases ugunsbīstamības meža tipiem (2.2.att., 2.10.tab).

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

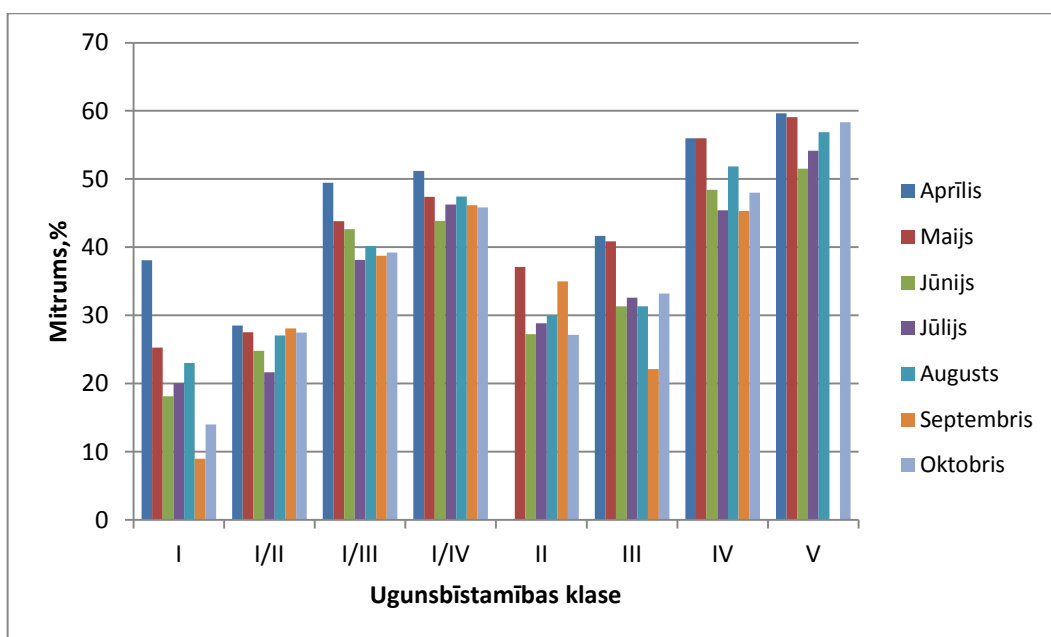
Mēnesis	Ugunsbīstamības klase								Vidēji
	I	I/II	I/III	I/IV	II	III	IV	V	
Vidējais nobiru slāņa mitrums, %									
Aprīlis	8,8	10,0	15,8	21,8		12,1	23,0	13,7	15,3
Maijs	6,6	7,5	14,2	15,5	8,2	12,6	26,1	48,3	13,9
Jūnijs	5,8	9,8	21,9	17,2	16,6	12,8	19,2	26,8	15,5
Jūlijs	10,1	10,6	16,9	23,9	9,9	14,9	19,4	26,0	16,0
Augusts	17,2	17,2	23,7	35,4	20,0	17,6	27,0	43,9	22,7
Septembris	18,5	9,9	24,5	29,8	28,5	14,8	27,8		18,9
Oktobris	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, %									
Aprīlis	23,8	26,7	41,1	47,3		31,1	42,3	50,3	37,2
Maijs	18,2	15,9	34,5	38,9	21,9	29,7	51,5	56,7	31,5
Jūnijs	13,6	18,4	36,8	36,2	18,1	24,5	36,9	41,8	28,7
Jūlijs	20,9	20,1	32,4	37,9	19,1	26,1	36,2	46,8	28,7
Augusts	22,0	24,6	33,6	44,6	25,9	25,6	42,2	49,1	31,5
Septembris	19,6	20,2	36,8	37,3	33,8	21,5	33,3		26,1
Oktobris	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, %									
Aprīlis	38,1	28,5	49,4	51,2		41,7	56,0	59,7	45,8
Maijs	25,3	27,5	43,8	47,4	37,1	40,9	56,0	59,1	41,9
Jūnijs	18,1	24,8	42,7	43,9	27,3	31,3	48,4	51,5	36,6
Jūlijs	20,0	21,6	38,1	46,3	28,8	32,6	45,4	54,2	35,1
Augusts	23,0	27,1	40,2	47,4	29,9	31,3	51,9	56,9	36,7
Septembris	9,0	28,1	38,7	46,2	35,0	22,1	45,3		30,6
Oktobris	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



a)



b)



c)

2.2.attēls. Vidējais nobiru slāņa mitrums (a); vidējais daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums (b) un vidējais trūdzemes slāņa mitrums (c).

Veicot vienfaktora dispersijas analīzi, konstatēts, ka pastāv statistiski būtiskas atšķirības starp nobiru slāņa mitrumu dažādās ugunsbīstamības klasēs ($p < 0,001$), un, izmantojot Tjūkija testu, konstatēts, ka būtiskas atšķirības ir starp V klasi un I, I/II, II, III klasēm (2.11.tab.).

2.11.tabula

Viršējā nobiru slāņa mitrums dažādās ugunsbīstamības klašu audzēs ($p < 0,05$; Tjūkija tests)

Ugunsbīstamības klase	N	Homogēnā apakškopa			
		1	2	3	4
I	110	11,1879			
I/II	145	12,0230			
II	91	14,1355	14,1355		
III	442	14,9238	14,9238		
I/III	265		19,7648	19,7648	
IV	118			23,4520	
I/IV	198			24,8232	
V	29				33,3793
Sig.		0,606	0,111	0,211	1,000

Vidēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums starp I, I/II, II, III un I/III, I/IV, IV, V ugunsbīstamības klasēm atšķiras būtiski (2.12.tab.).

Daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums dažādas ugunsbīstamības klašu audzēs
($p < 0,05$; Tjūkija tests)

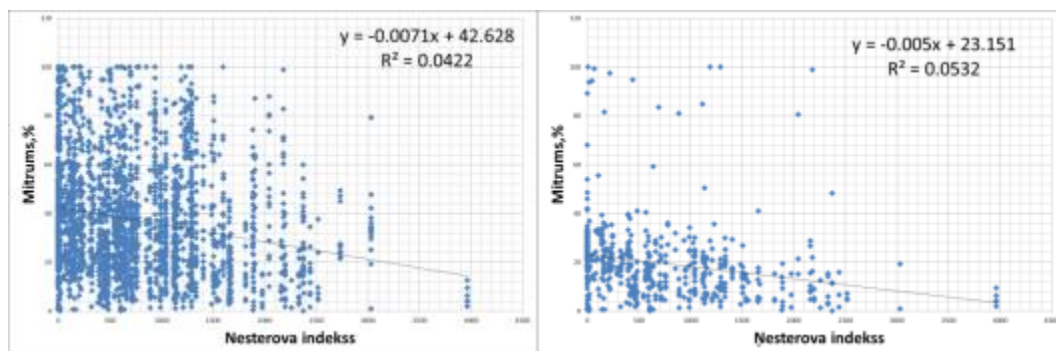
Ugunsbīstamības klase	N	Homogēnā apakškopa				
		1	2	3	4	5
I	98	19,9				
I/II	132	20,8	20,9			
II	90	22,0	22,0			
III	416		26,4			
I/III	255			34,5		
I/IV	198				40,4	
IV	104				41,2	
V	29					48,0
Sig.		0,95	0,07	1,00	1,00	1,00

Trūdzemes slāņa mitrums starp I, I/II un II, III I/III, I/IV, IV, V klasēm atšķiras būtiski (2.13.tab.).

Trūdzemes slāņa mitrums dažādas ugunsbīstamības klašu audzēs ($p < 0,05$; Tjūkija tests)

Ugunsbīstamības klase	N	Homogēnā apakškopa				
		1	2	3	4	5
I	67	21,8				
I/II	104	25,3				
II	87		31,1			
III	379		33,6			
I/III	251			41,0		
I/IV	184			46,7	46,7	
IV	90				50,2	50,2
V	29					55,5
Sig.		0,56	0,89	0,05	0,54	0,09

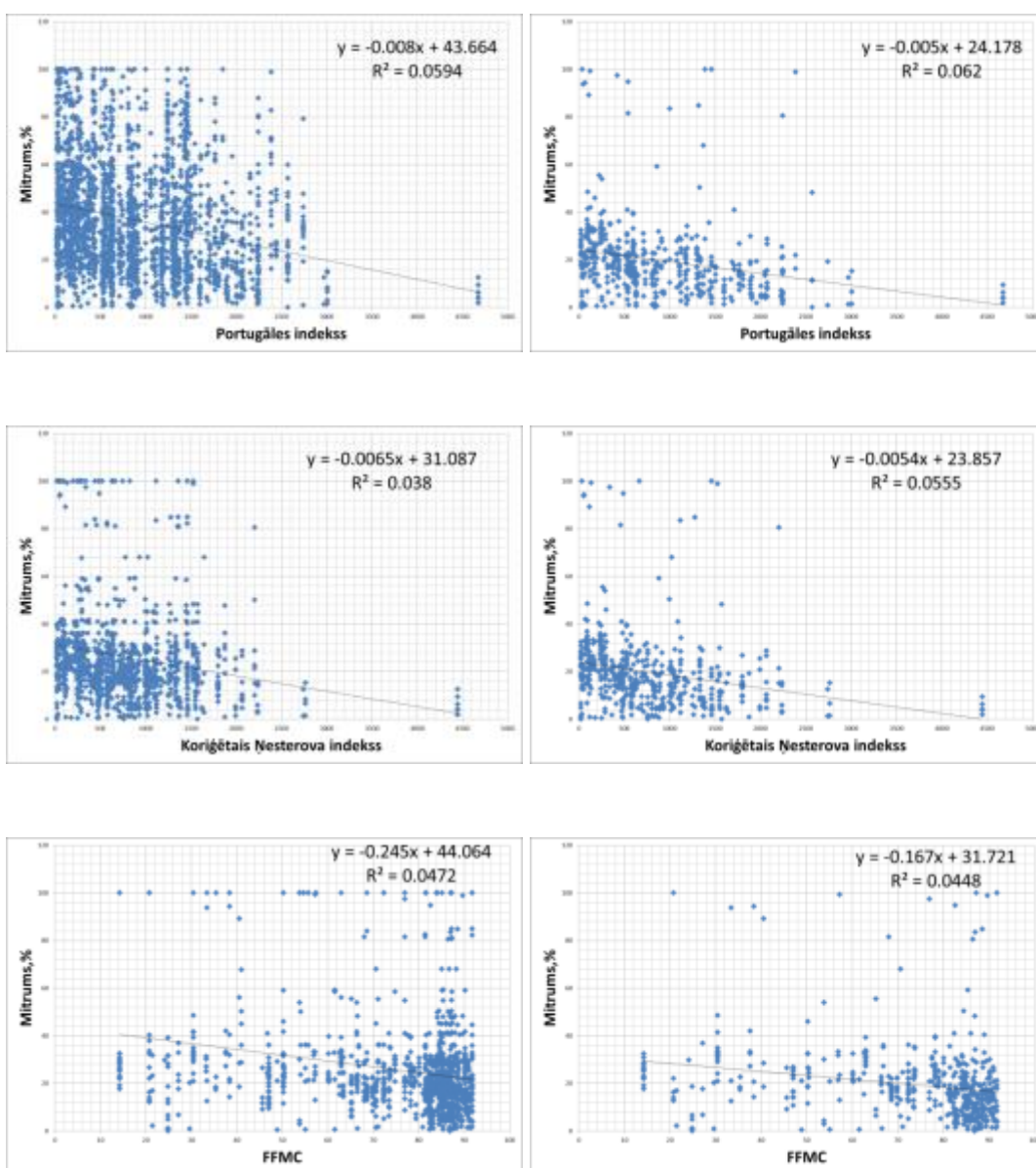
2012., 2013. un 2014. gadā, NI mainoties no 0 līdz 3966, augsnes virskārtas mitruma un Nesterova indeksa vērtību kopsakarība ir relatīvi vāja ($r = -0,201$). I un II ugunsbīstamības klases parauglaukumiem aprēķinātā NI sakarība ir ciešāka: $r = -0,23$ (2.3.att.). Tomēr arī tā izskaidro tikai 5% no datu izkliedes. Nedaudz ciešāka korelācija ar augsnes virskārtas mitrumu ir koriģētajam Portugāles indeksam: $r = -0,17$ līdz $-0,19$ (2.4.att.).

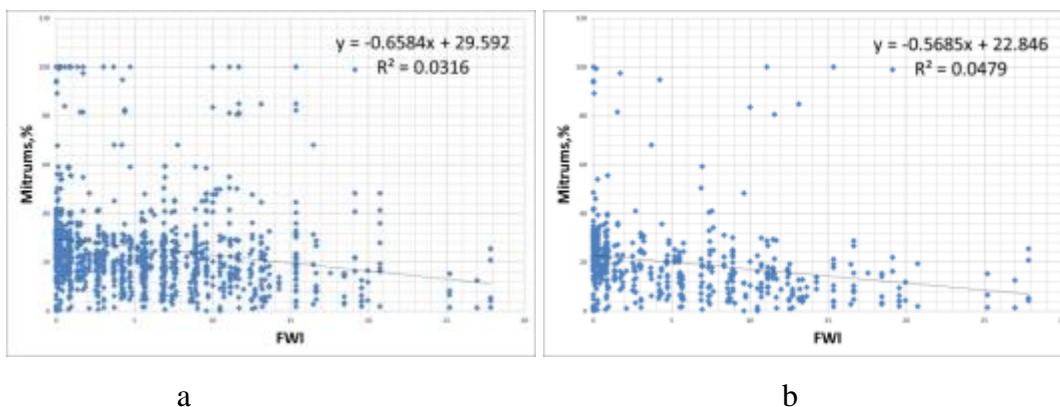


a

b

2.3.attēls. Sakarības starp augsnes virskārtas mitrumu un Nesterova indeksa vērtībām visos objektos (a) un I un II ugunsbīstamības klases audzēs pēc meža tipa (b) 2012.g. - 2014.g.





2.4.attēls. Augsnes virskārtas mitruma sakarība ar koriģētā Ņesterova indeksa (Portugāles), koriģētā Ņesterova indeksa, FFMC un FWI vērtībām visos objektos (a), I un II ugunsbīstamības klases audzēs pēc meža tipa (b) 2012., 2013., 2014.g.

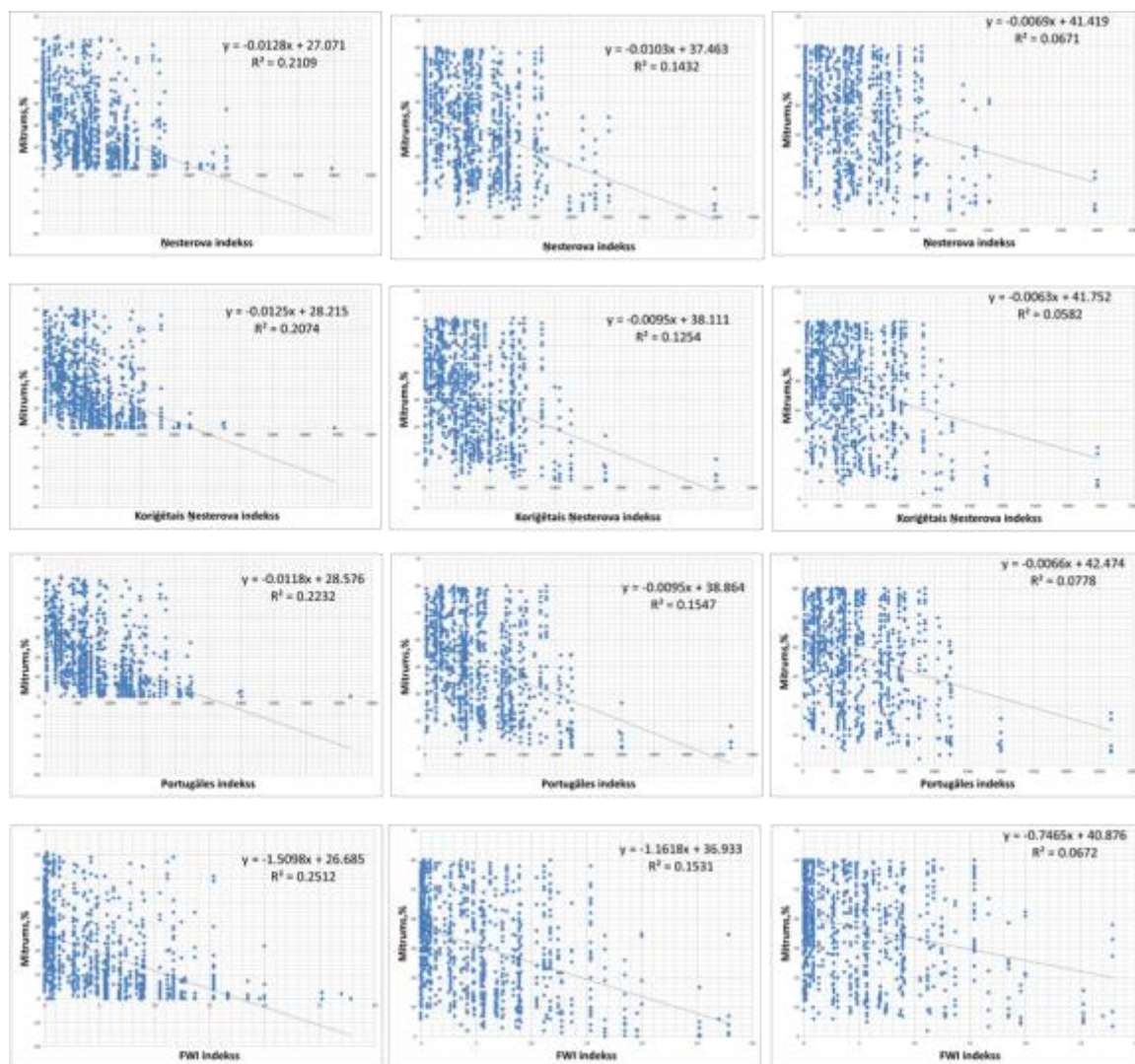
Savstarpēji salīdzinot korelācijas starp dažādiem mitruma mērījumu parametriem un ugunsbīstamības rādītājiem (neatkarīgi no mērījumu gada), konstatētās sakarības atspoguļotas 2.14.tabulā un 2.5.attēlā. Virsējā slāņa mitrums visciešāk korelē ar DC ($r=-0,363$), savukārt nobiru slāņa mitrums vislabāk korelē ar FWI ($r=-0,501$), NI korelācija ar šī slāņa mitrumu ir zemāka ($r=-0,459$). Daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitrums korelē ar FWI un PI ($r=-0,391$). Savukārt „trūdzemes” mitrums visciešāk korelē ar DC ($r=-0,408$) un PI ($r=-0,279$).

2.14.tabula

Mitrumu mērījumu un ugunsbīstamības rādītāju savstarpējā korelācija

Para- metri	Virsējā slāņa mit- rums, %	Nobiru slāņa mitrums %	Daļēji sada- lījušās nobiras %	Trūd- zeme, %	FFMC	DMC	DC	FWI	DSR	NI	PI	CNI
Virsējā slāņa mitrums, %	1											
Nobiru slāņa mitrums, %	0,501	1										
Daļēji sadalīju- šās nobiras, %	0,759	0,694	1									
Trūd- zeme, %	0,791	0,529	0,847	1								
FFMC	-0,209	-0,431	-0,266	-0,164	1							
DMC	-0,171	-0,450	-0,372	-0,247	0,628	1						
DC	-0,363	-0,254	-0,394	-0,408	0,370	0,533	1					
FWI	-0,189	-0,501	-0,391	-0,259	0,662	0,812	0,402	1				
DSR	-0,162	-0,406	-0,354	-0,252	0,485	0,745	0,357	0,947	1			
NI	-0,205	-0,459	-0,378	-0,259	0,637	0,765	0,445	0,768	0,664	1		
PI	-0,244	-0,472	-0,393	-0,279	0,666	0,868	0,520	0,820	0,731	0,943	1	
CNI	-0,219	-0,455	-0,354	-0,241	0,679	0,813	0,415	0,846	0,773	0,858	0,935	1

Tādējādi secināms, ka FWI vislabāk korelē gan ar virsējo nobiru slāņa mitrumu, kas norāda uz aizdegšanās iespēju, gan arī ar daļēji sadalījušos nobiru slāņa mitruma izmaiņām, kas varētu tikt izmantots ugunsbīstamības raksturošanai. Zemāko organisko augsnes slāņu („trūdzeme”) mitruma izmaiņas vislabāk prognozē FWI indeksā ietilpstošais DC, kas paredzēts augsnes zemāko slāņu mitruma izmaiņu prognozēšanai.



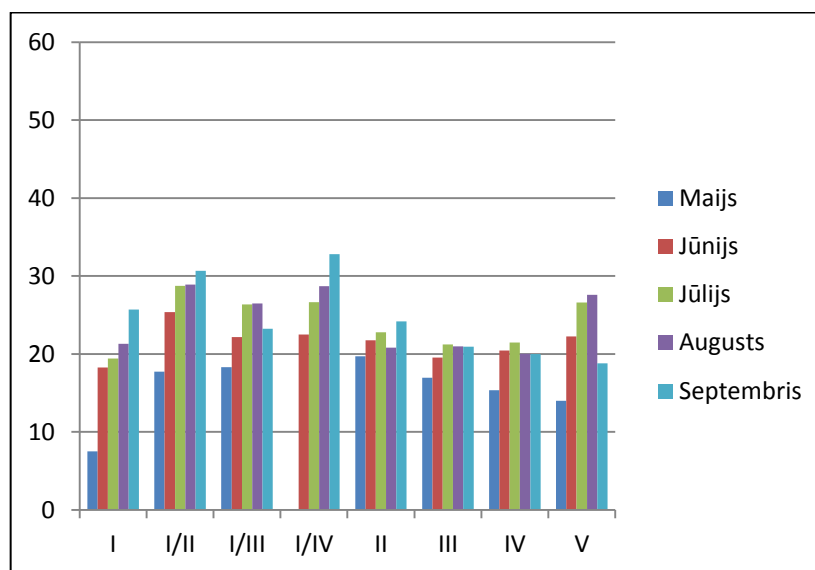
a)

b)

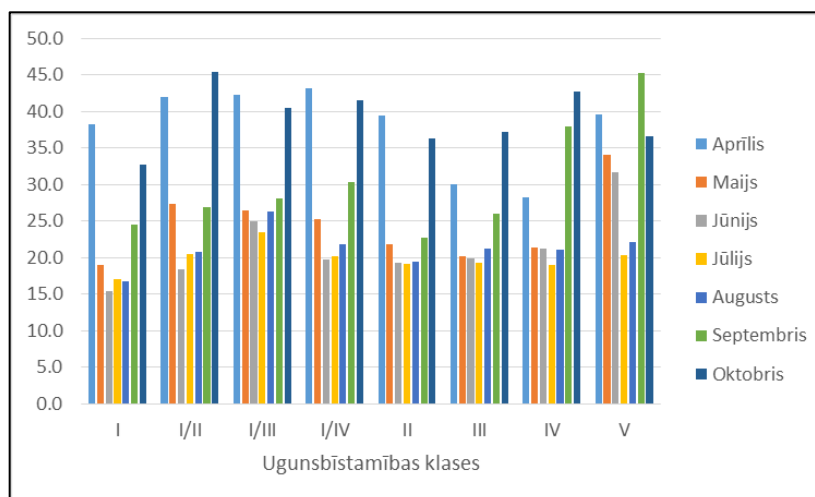
c)

2.5.attēls. Nobiru slāņa mitruma (a), daļēji sadalījušos nobiru slāņa (b) un trūdzemes slāņa (c) mitruma sakarības ar Nesterova indeksu, koriģēto Portugāles indeksu, koriģēto Nesterova indeksu un Kanādas uguns laika apstākļu indeksu (FWI).

Koksnes paraugu, kas novietoti uz zemes virskārtas, mitrums dažādos mēnešos ievērojami neatšķiras starp parauglaukumiem dažādās ugunsbīstamības klasēs gan 2012.gadā, gan 2013.gadā (2.6.att.).



2012. gads



2013. gads

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

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

Vērtējot koksnes mitruma izmaiņas 2013.gadā (maijs – septembris), nav konstatētas statistiski būtiskas atšķirības starp vidējo koksnes paraugu mitrumu dažādās ugunsbīstamības klasēs, taču konstatētas atšķirības starp mēnešiem (2.15.tab.).

Koksnes paraugu mitrums dažādos mēnešos 2013.gadā

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

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

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

Tāpat kā 2012. gadā, arī 2013. gadā pie augstākām NI vērtībām koksnes paraugu mitrums ir zemāks. Taču pie NI vērtības 0 koksnes parauga mitrums mainās no 15 līdz pat 50%, tajā pašā laikā pie NI vērtības 2500 koksnes parauga mitrums var sasniegt 22%. Arī 2013.gadā I un II ugunsbīstamības klases audzēs vidējais koksnes paraugu mitrums ir zemāks salīdzinājumā ar visu audžu vidējo – attiecīgi 14% un 22%.

No tā izriet secinājums, ka koksnes paraugu žūšanu ietekmē citi rādītāji, ne tikai ar NI raksturotā ugunsbīstamība.

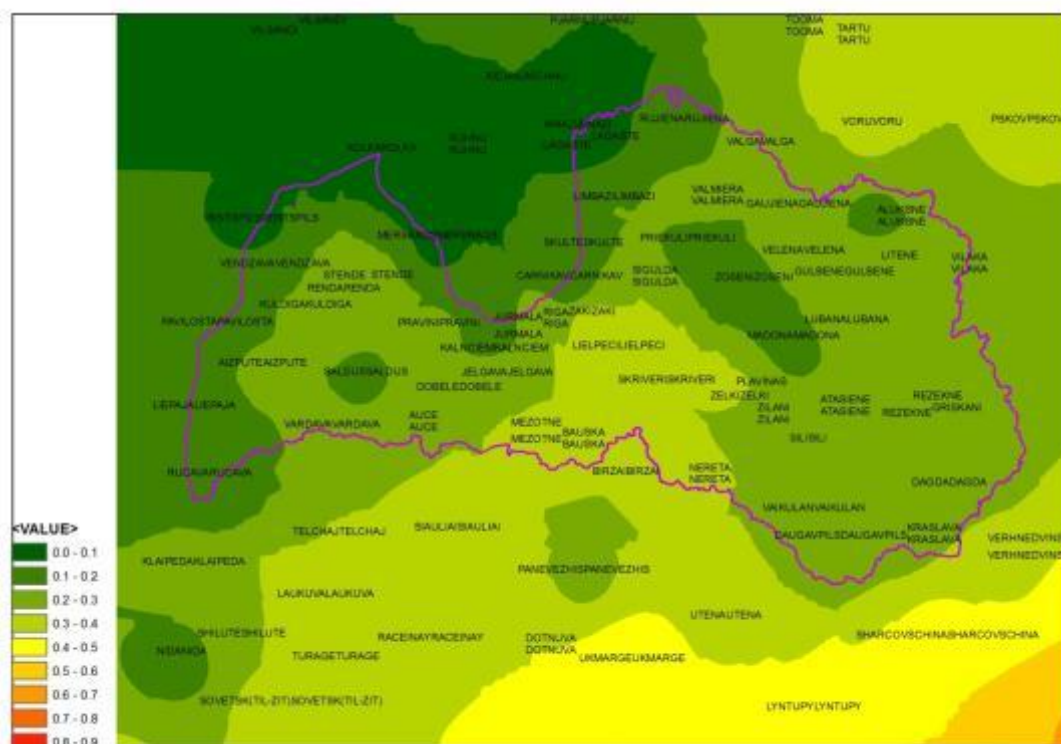
Ugunsbīstamības izmaiņas klimata izmaiņu rezultātā

Izvērtējot iespējamās klimata izmaiņas un to ietekmi uz ugunsgrēku bīstamību, aprēķinātas Nesterova indeksa un Kanādas uguns laika apstākļu indeksa (FWI) vērtības, balstoties uz projekta iepriekšējos posmos izstrādātajiem klimata izmaiņu modeļiem vidēju izmaiņu gadījumā.

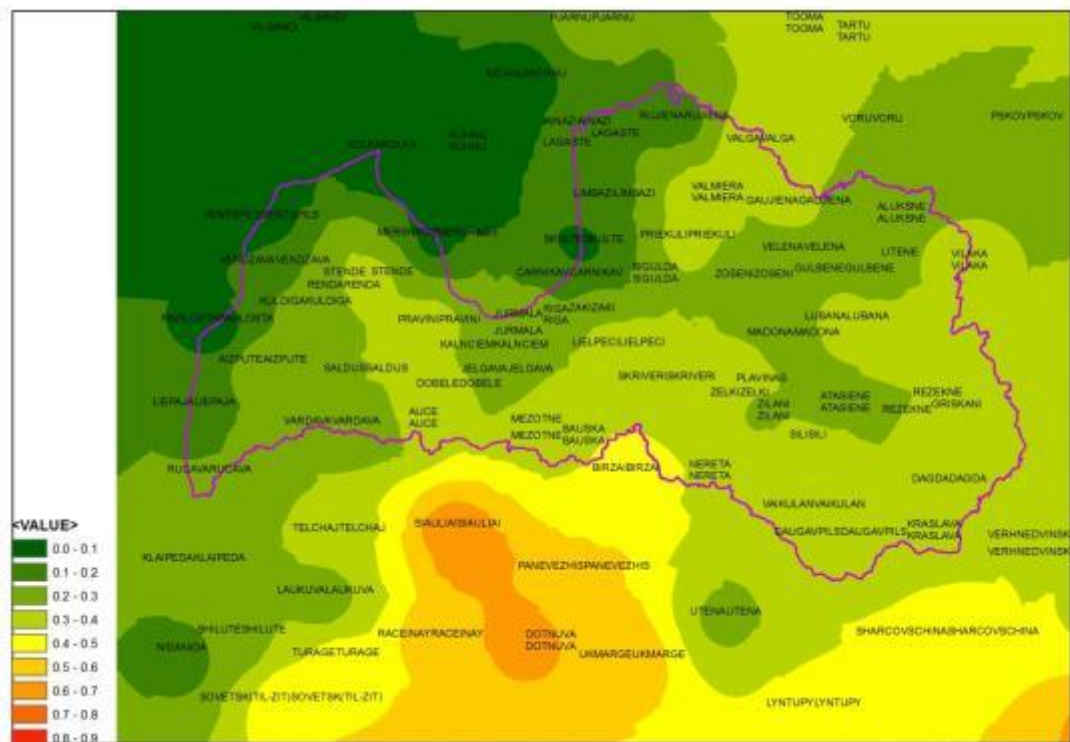
Prognozes veiktas periodam 2031-2060 un 2071-2100, kā arī vēsturiskajai situācijai (modelētā) 1980-2009. Rezultāti atspoguļoti 2.7.-2.12.attēlos.



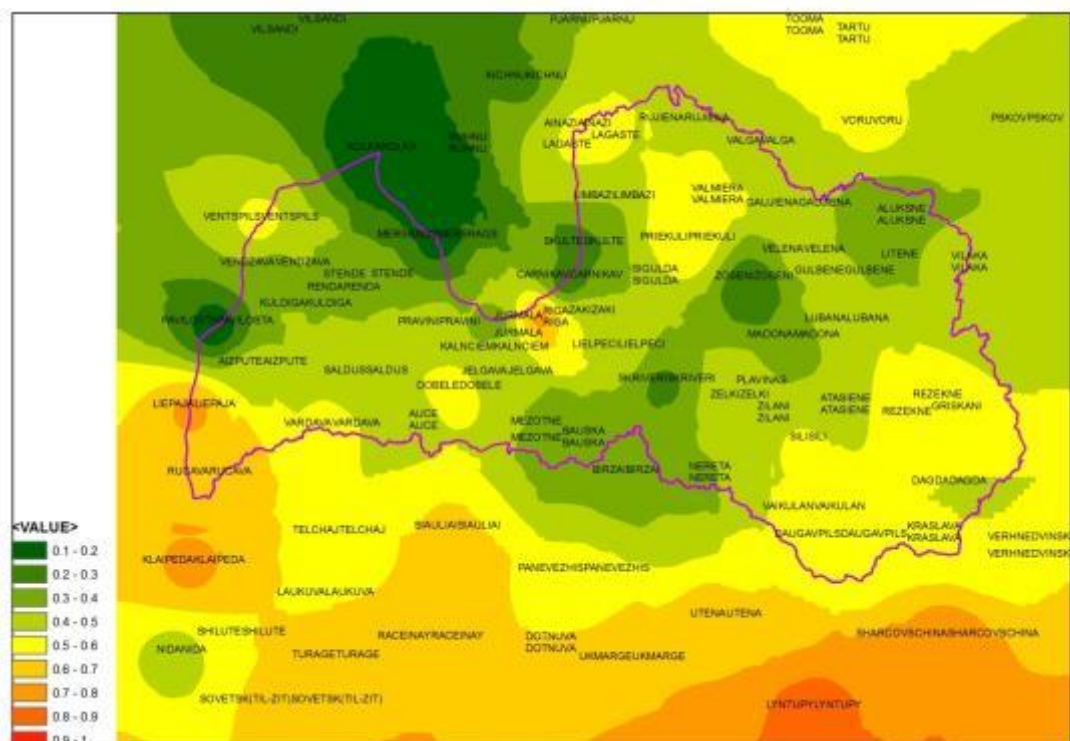
2.7.attēls. Gadu īpatsvars, kad modelētā Nesterova indeksa vērtība pārsniedz 4000 (IV klase, sevišķi augsta ugunsbīstamība), periodā 1980.-2009.



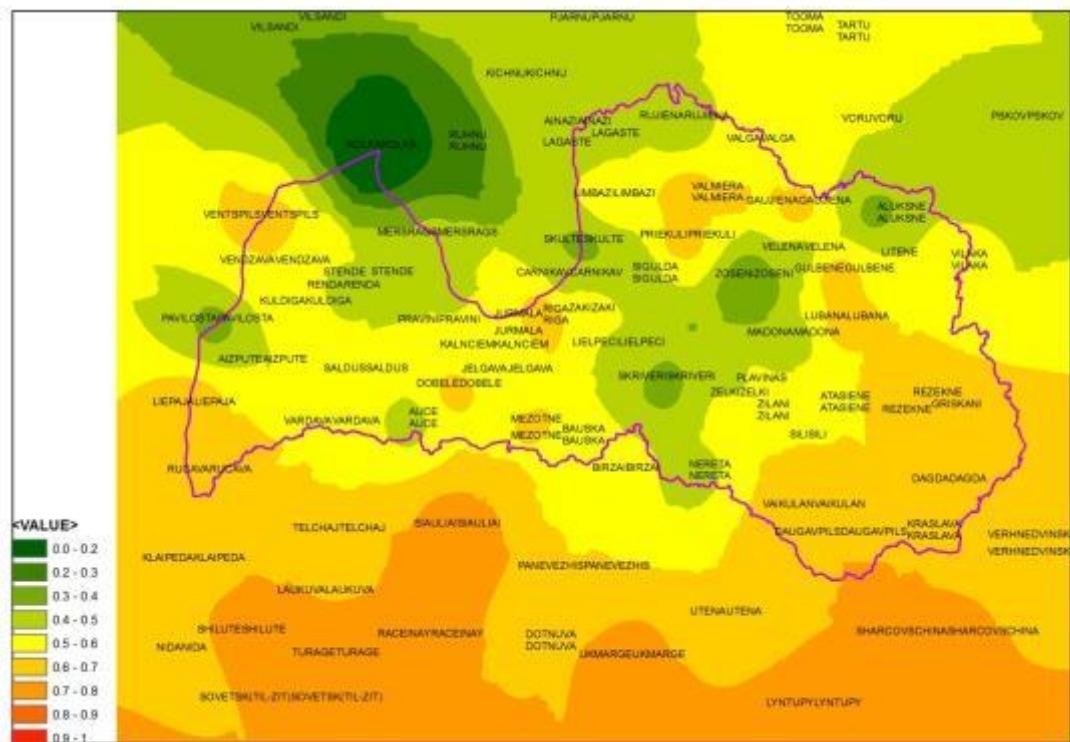
2.8.attēls. Gadu īpatsvars, kad modelētā Nesterova indeksa vērtība pārsniedz 4000 (IV klase, sevišķi augsta ugunsbīstamība), periodā 2031.-2060.



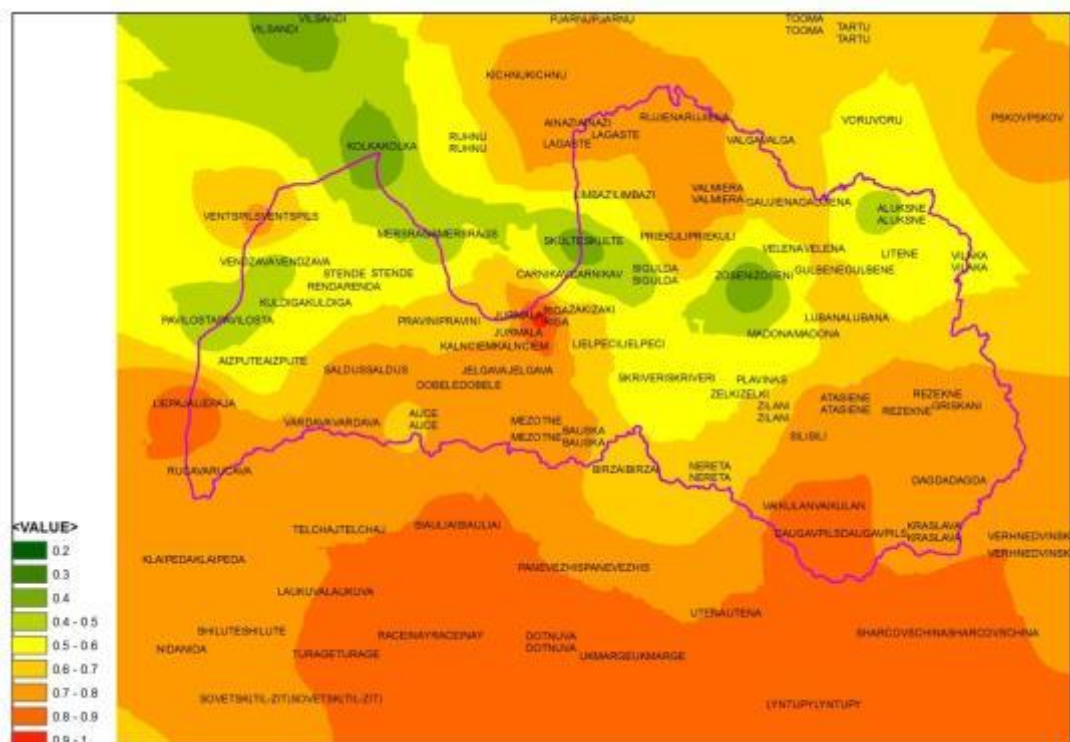
2.9.attēls. Gadu īpatsvars, kad modelētā Nesterova indeksa vērtība pārsniedz 4000 (IV klase, sevišķi augsta ugunsbīstamība), periodā 2071.-2100.



2.10.attēls. Gadu īpatsvars, kad modelētā FWI indeksa vērtība pārsniedz 17 (IV klase, sevišķi augsta ugunsbīstamība), periodā 1980.-2009.



2.11.attēls. Gadu īpatsvars periodā, kad modelētā FWI indeksa vērtība pārsniedz 17 (IV klase, sevišķi augsta ugunsbīstamība) 2031.-2060.



2.12.attēls. Gadu īpatsvars, kad modelētā FWI indeksa vērtība pārsniedz 17 (IV klase, sevišķi augsta ugunsbīstamība), periodā 2071.-2100.

Ja vēsturiski, atbilstoši modelim, lielākajā daļā Latvijas gadu īpatsvars ar Nesterova indeksa vērtību „IV klase un augstāks” ($4000 <$) bijis līdz 20%, tad tiek prognozēts, ka ap gadsimta vidu šādu gadu īpatsvars jau būs 30%, bet gadsimta beigās 40%.

Atbilstoši FWI aprēķinātajām FWI vērtībām sevišķi augsta ugunsbīstamība (>17) bijusi 30-50% gadu, bet gadsimta vidū un beigās tiek prognozēta attiecīgi 60-70% un 80% gadu.

3. Vēja bojājumu riska pakāpe atkarībā no mežaudzes parametriem

Iepriekšējā gadā vēja bojājumu riska izvērtēšanā audžu līmenī tika izmantota datorprogramma *Forestgale* 2.2. Ar tās palīdzību tika aprēķināta vēja bojājumu riska pakāpe atbilstoši sekojošiem nosacījumiem: priežu audzes - IV, II un I bonitāte (3 gradācijas klases), sākotnējais biezums 5000 koki ha⁻¹; egļu audzes - II un I bonitāte (2 gradācijas klases), sākotnējais biezums 2500 koki ha⁻¹. Aprēķini abām koku sugām veikti 2 augšņu variantiem – minerālaugšnes ar vidēji dziļu sakņu horizontu (40-80 cm) un seklās kūdras augšnes (līdz 40 cm).

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

Modelētas sekojošas situācijas (turpmāk – piesliešanās veids) mežaudzei attiecībā uz tai blakus (valdošo vēju pusē) esošo nogabalu: 1) vēja pusē pieaudzis mežs, 2) svaigs 50 m plats izcirtums, 3) svaigs 100 m plats izcirtums. Mežaudzes apsaimniekošanas alternatīvas: 1) bez kopšanas, 2) kopšana aptuveni 40 gadu vecumā; 3) nokavēta kopšana – tā veikta 10 gadus vēlāk nekā standarta kopšana. Izvērtējot iegūtās modeļu prognozes, konstatēts, ka egļu bojājumu draudu novērtējums līdzīgos apstākļos ir zemāks nekā priedei. Šī nesakritība ar vispār pieņemto un konstatēto Latvijā, visticamāk, ir saistīta ar modeli *ForestGales* ietvertajiem algoritmiem, kā arī empīriskā materiāla apjomu, kas ir datorprogrammas vienādojumu pamatā. Lielākajā daļā gadījumu vecākām priežu audzēm datorprogrammā parādījās brīdinājums, ka parametri ir “ārpus empīrisko datu robežām”. Taču nozīmīgs faktors ir arī tas, ka modeļu izstrādē izmantoti veseli koki, taču, kā zināms, Latvijā vidēji 23% no eglēm ir ar trupes pazīmēm, un trupējušo koku īpatsvars ir lielāks vecākās audzēs. Nekoptās audzēs bojājumu draudu novērtējums daļā gadījumu ir zemāks nekā savlaicīgi izkoptās audzēs. Tas, visticamāk, saistīts ar „prognozēto” koku mijiedarbību, t.i., koku kolektīvo stabilitāti. Biezā audzē augošiem kokiem ir mazāki vainagi un tāpēc arī mazāks vēja iedarbībai eksponētās vainaga virsmas laukums.

Lai precizētu iepriekšminētās sakarības, šajā gadā, izmantojot Somijā Joensuu universitātē izstrādātu datorprogrammu *HWind* (Peltola et al., 1999), veikta atkārtota vērtēšana identiskai datu kopai kā iepriekšējā etapā, kā arī bērza audzēm, kuru vēja bojājumu modelēšana ar *ForestGales* ietvertajiem algoritmiem nebija iespējama. Vēja bojājumu draudu novērtējums (pēc Peltola et al., 1999 modeļiem) priedei un eglei dažādu bonitāšu audzēs, kā arī simulācijā izmantoto audžu taksācijas rādītāji parādīti 3.1.-3.4. un 3.5., 3.6.tabulās. Aprēķiniem bērzam ievadīti parametri no P.Zālīša un J.Jansona (2009) izstrādātajiem modeļiem mērķtiecīgi koptām audzēm.

Hwind tāpat kā *ForestGales* ir radīta konkrētās valsts mežu vēja bojājumu draudu aprēķinam, t.i., ņemot vērā atbilstošo valstu augsnes, koku sugas, to mehāniskās īpašības utt. Peltola et al. (1999) modelis nav piemērots audzēm kūdreņos.

Kā viena, tā otra programma sākotnēji veidota tīraudžu ar relatīvi vienmērīgu koku izvietojumu vēja bojājumu modelēšanai. Pašreiz, modelējot Latvijas situāciju, saglabāti programmās dotie noklusētie lielumi - gan attiecībā uz koksnes īpašībām, gan augsnes svaru (kas saistīts ar tās granulometrisko sastāvu) un sakņu izvietojumu, kā arī vēja brāzmainību. Datorprogrammā *ForestGales* aprēķinātas vēja bojājumu varbūtības atkarībā no vēja režīma (teritorijas vēja bojājumu draudu klases) un kritiskā vēja ātruma atgriešanās perioda grupas, savukārt datorprogrammā *Hwind* aprēķināti tikai kritiskā vēja ātrumi.

3.1.tabula

Kritisko vēja ātrumu lielums, kas rada bojājumu (izgāzts vai nolauzts) pēc dimensijām vidējam kokam II bonitātes priežu audzēs sausieņu mežos
(Peltola et al., 1999, modelis)

Suga, bonitāte	Kopšanas veids	Izcirtuma platums vēja pusē, m	Kritiskais vēja ātruma lielums atbilstoši vecuma grupai, m s ⁻¹				
			20	40	60	80	100
PII	nekopts	0		34	33	34	35
PII	nekopts	50		26	27	29	30
PII	nekopts	100		23	24	25	26
PII	kopts	0		39	39	39	39
PII	kopts	50		29	31	33	33
PII	kopts	100		26	28	28	30
PII	10g atlikta kopšana	0		36	37	37	37
PII	10g atlikta kopšana	50		27	29	31	32
PII	10g atlikta kopšana	100		24	27	26	28

3.2.tabula

Kritisko vēja ātrumu lielums, kas rada bojājumu (izgāzts vai nolauzts) pēc dimensijām vidējam kokam I bonitātes priežu audzēs sausieņu mežos
(Peltola et al., 1999, modelis)

Suga, bonitāte	Kopšanas veids	Izcirtuma platums vēja pusē, m	Kritiskais vēja ātruma lielums atbilstoši vecuma grupai, m s ⁻¹				
			20	40	60	80	100
PI	nekopts	50		28	29	28	27
PI	nekopts	100		24	26	25	25
PI	kopts	0		40	39	35	32
PI	kopts	50		32	33	30	27
PI	kopts	100		28	30	27	26
PI	10g atlikta kopšana	0		35	36	34	32
PI	10g atlikta kopšana	50		28	31	29	28
PI	10g atlikta kopšana	100		24	27	26	26

3.3.tabula

Kritisko vēja ātrumu lielums, kas rada bojājumu (izgāzts vai nolauzts) pēc dimensijām vidējam kokam II bonitātes egļu audzēs sausieņu mežos
(Peltola et al., 1999, modelis)

Suga, bonitāte	Kopšanas veids	Izcirtuma platums vēja pusē, m	Kritiskais vēja ātruma lielums atbilstoši vecuma grupai, m s ⁻¹				
			20	40	60	80	100
EII	kopts	0	30	33	33	34	
EII	kopts	50		25	26	29	
EII	kopts	100		20	23	24	
EII	nekopts	0	35	33	29	29	
EII	nekopts	50		25	23	25	
EII	nekopts	100		20	18		

3.4.tabula

Kritisko vēja ātrumu lielums, kas rada bojājumu (izgāzts vai nolauzts) pēc dimensijām vidējam kokam I bonitātes egļu audzēs sausieņu mežos
(Peltola et al., 1999, modelis)

Suga, bonitāte	Kopšanas veids	Izcirtuma platums vēja pusē, m	Kritiskais vēja ātruma lielums atbilstoši vecuma grupai, m s ⁻¹				
			20	40	60	80	100
EI	kopts	0	34	32	33	35	
EI	kopts	50		26	28	29	
EI	kopts	100		22	25		
EI	nekopts	0	30	30	28	29	
EI	nekopts	50		24	24	25	
EI	nekopts	100		20	21		

Simulācijā izmantoto audžu taksācijas rādītāji, priežu audzes

	Audzes kopšanas veids	20 gados			40 gados			60 gados			80 gados			100 gados		
		H, m	D, m	N ha ⁻¹	H, m	D, m	N ha ⁻¹	H, m	D, m	N ha ⁻¹	H, m	D, m	N ha ⁻¹	H, m	D, m	N ha ⁻¹
P II	10g atlikta kopšana	6,6	0,07	4565	13,5	0,14	1826	18,5	0,23	678	21,9	0,30	451	23,7	0,35	376
	Savlaicīga kopšana	6,6	0,07	4565	13,5	0,16	1206	18,5	0,25	604	21,9	0,33	410	23,7	0,38	343
	Nekopta audze	6,6	0,07	4565	13,5	0,13	2829	18,5	0,19	1765	21,9	0,25	1257	23,7	0,28	995
P I	10g atlikta kopšana	9,5	0,10	3858	17,4	0,19	995	23,1	0,31	413	26,8	0,41	287	28,8	0,46	243
	Savlaicīga kopšana	9,5	0,10	3265	17,4	0,23	668	23,1	0,36	353	26,8	0,46	253	28,8	0,51	216
	Nekopta audze	9,5	0,10	3858	17,4	0,18	1993	23,1	0,26	1149	26,8	0,33	850	28,8	0,36	751

Simulācijā izmantoto audžu taksācijas rādītāji, egļu audzes

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

Kritisko vēja ātrumu lielums, kas rada bojājumu (izgāzts vai nolauzts) pēc dimensijām vidējam kokam mērķtiecīgi koptās (Zālītis, Jansons, 2009) audzēs (Peltola et al., 1999, modelis)

Reģions	Suga, grupa*	Izcirtuma platums vēja pusē, m	Koku augstums, m																			
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DK,ZK	B1	0	34	31	30	30	30	30	27	27	28	28	28	28	27	27	26	26	26	26	25	25
DK,ZK	B1	100	20	19	17	19	18	20	16	17	20	20	19	19	20	20	20	20	19	19	20	20
VD,Z,AV,ZL	B2	0	29	29	28	26	26	26	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25	25	24	23	23
VD,Z,AV,ZL	B2	100	14	16	15	14	13	15	14	15	16	16	16	16	17	18	17	17	17	17	17	17
RV,DL	B3	0	28	29	28	28	27	28	27	27	27	27	25	25	25	25	24	25	24	23	23	23
RV,DL	B3	100	13	15	14	15	15	17	16	16	17	18	15	16	17	17	16	17	16	15	17	17
ZK	E1	0	36	32	32	30	28	27	27	26	24	24	24	23	24	26	26	26	27	26	27	28
ZK	E1	100	22	19	19	17	14	15	15	14	14	13	13	13	15	17	18	18	19	18	21	22
ZL,DL	E2	0	29	29	29	30	27	27	27	26	24	24	24	24	24	23	23	23	22	22	22	22
ZL,DL	E2	100	14	15	15	17	14	15	15	14	14	13	13	13	14	14	14	14	13	13	15	15
VD,Z,DK,RV	E3	0	33	32	32	30	29	27	27	26	26	25	25	25	25	24	24	24	24	24	24	24
VD,Z,DK,RV	E3	100	18	19	19	17	16	15	15	14	15	15	15	14	16	16	15	15	15	15	17	17
ZK,DK,Z	P1	0	36	37	37	36	38	38	35	35	35	36	36	34	34	34	33	34	32	32	31	31
ZK,DK,Z	P1	100	23	24	24	24	25	26	25	24	26	26	26	25	26	25	25	25	24	24	25	25
AV, ZL	P2	0	40	37	37	35	35	36	34	34	33	33	33	31	31	30	30	30	29	29	28	28
AV, ZL	P2	100	26	24	24	24	24	25	23	23	24	24	24	23	24	23	23	23	22	22	22	22
RV,VD,,DL	P3	0	40	37	37	35	35	35	33	33	34	35	34	33	33	32	32	31	30	30	29	29
RV,VD,,DL	P3	100	25	24	24	24	24	24	23	23	24	25	25	24	25	24	24	24	23	23	23	23

*saskaņā ar parametriem mērķtiecīgi koptās audzēs (Zālītis, Jansons, 2009)

Kritisko vēja ātrumu lielums, kas rada bojājumu (izgāzts vai nolauzts) pēc dimensijām vidējam kokam tradicionāli apsaimniekotās audzēs (Peltola et al., 1999, modelis)

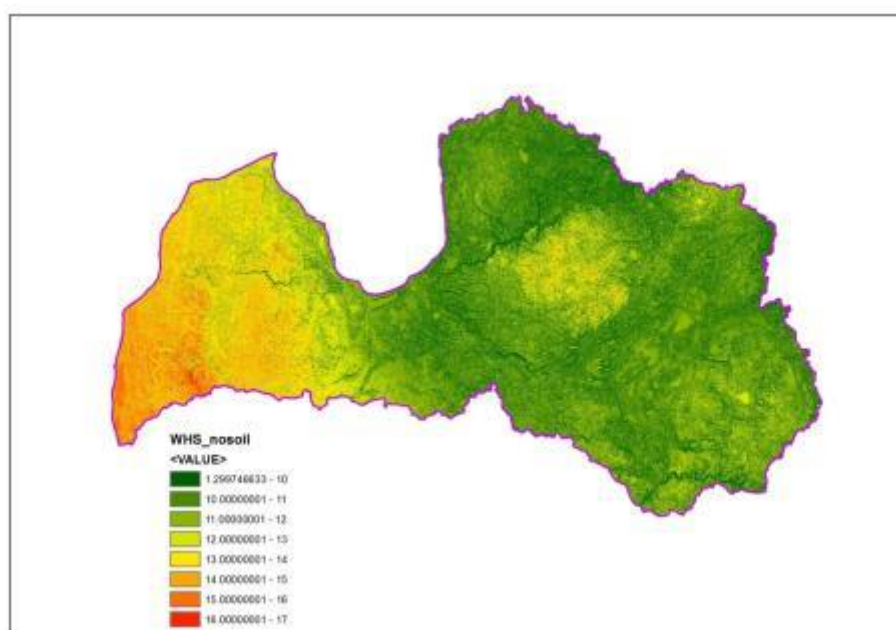
Suga, boni- tāte	Kopšanas veids	Izcirtuma platums vēja pusē, m	Kritiskais vēja ātruma lielums atbilstoši vecuma grupai, m s ⁻¹				
			20	40	60	80	100
E1	10g nokavēta	0	34	32	33	35	
E1	10g nokavēta	50		26	28	29	
E1	10g nokavēta	100		22	25		
E1	nekopts	0	30	30	28	29	
E1	nekopts	50		24	24	25	
E1	nekopts	100		20	21		
E2	nekopts		32	26	25	28	
E2	10g nokavēta	0	30	33	33	34	
E2	10g nokavēta	50		25	26	29	
E2	10g nokavēta	100		20	23	24	
E2	nekopts	0	35	33	29	29	
E2	nekopts	50		25	23	25	
E2	nekopts	100		20	18		
P1	10g nokavēta	0		35	36	34	32
P1	10g nokavēta	50		28	31	29	28
P1	10g nokavēta	100		24	27	26	26
P1	nekopts	50		28	29	28	27
P1	nekopts	100		24	26	25	25
P1	savlaicīgi	0		40	39	35	32
P1	savlaicīgi	50		32	33	30	27
P1	savlaicīgi	100		28	30	27	26
P2	10g nokavēta	0		36	37	37	37
P2	10g nokavēta	50		27	29	31	32
P2	10g nokavēta	100		24	27	26	28
P2	nekopts	0		34	33	34	35
P2	nekopts	50		26	27	29	30
P2	nekopts	100		23	24	25	26
P2	savlaicīgi	0		39	39	39	39
P2	savlaicīgi	50		29	31	33	33
P2	savlaicīgi	100		26	28	28	30

4. Vēja bojājumu riska reģionālā sadalījuma saikne ar šī brīža mežaudžu bojājumiem

Iepriekšējā pārskata periodā sagatavotais vēja bojājumu riska aprēķins balstīts uz „Pārskatīto vējainuma novērtēšanas metodi un vējgāžu draudu klasifikāciju”, kas aprakstīta Quine, White (1993). Metodiskā pieeja realizēta un aprēķini Latvijas teritorijai veikti 2013.gadā.

Teritorijas *vēja bojājumu draudu klasifikācijas* (TVBDK) metode ir modelis, kas paredzēts, lai prognozētu vēja radīto bojājumu draudus vidēja vai ilgtermiņa plānošanas procesā pietiekami plašās teritorijās. 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).



4.1.attēls. Teritorijas vēja bojājumu draudu klases vērtējums.

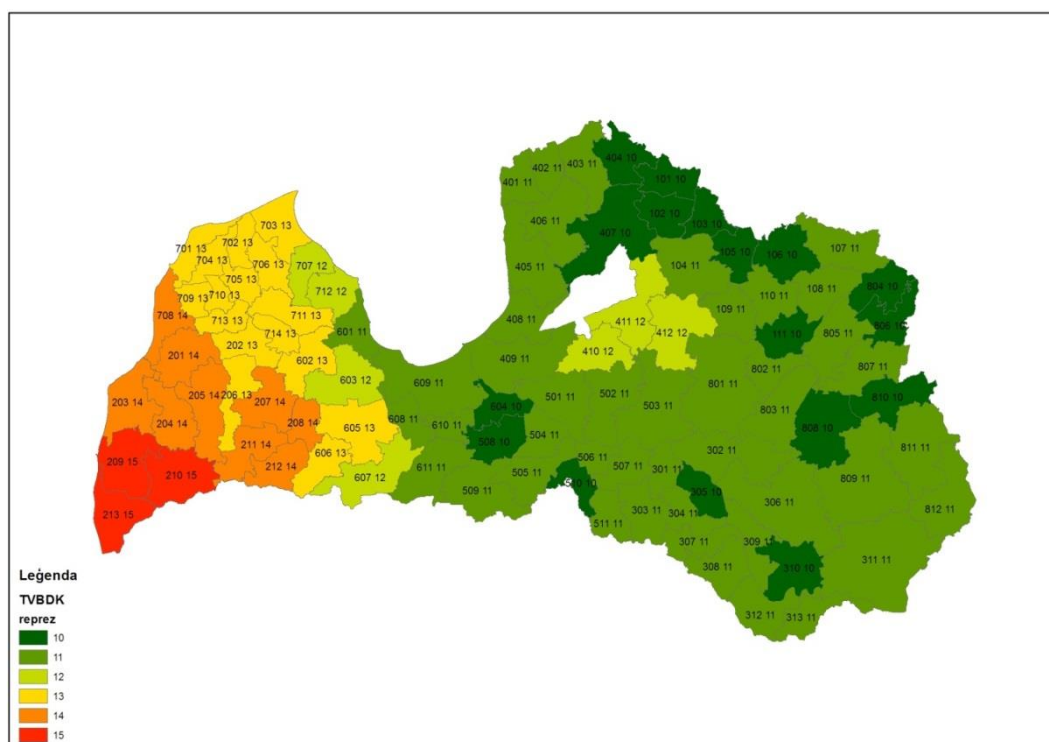
Vidējā TVBDK Latvijā ir $11,36 \pm 1,72$. Izvērtējot Latvijas teritorijas sadalījumu pa vēja bojājumu draudu klasēm (4.1.att., 4.1.tab.), konstatēts, ka 18% no Latvijas teritorijas TVBDK <10; savukārt TVBDK >16 tikai 0,2% no Latvijas teritorijas. Visaugstākā TVBDK ir Dienvidkurzemes un Ziemeļkurzemes mežsaimniecībās.

4.1.tabula

Teritoriju ar dažādām vēja bojājumu draudu klasēm īpatsvars LVM mežsaimniecībās

TVBDK	Austrum- vidzeme	Dienvi- d-kurzeme	Dienvi- d-latgale	Rietum- vidzeme	Vidus- daugava	Zem- gale	Ziemeļ- kurzeme	Ziemeļ- latgale	Vi- dēji
<10	30,6	0,7	21,8	24,7	23,4	9,5	2,1	22,1	17,8
10,01- 12,0	59,0	5,8	68,8	61,5	67,3	45,5	17,6	69,5	52,0
12,01- 14,0	10,3	38,3	9,3	13,0	9,0	40,3	63,5	8,0	21,2
14,01- 16,0	0,1	53,6	0,0	0,7	0,3	4,7	16,8	0,3	8,9
>16,01	0,00	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
Vidēji	10,5	14,0	10,7	10,7	10,7	11,8	12,9	10,7	11,4

Teritoriju vēja bojājumu draudu klašu sadalījumu pa LVM kvartālu apgabaliem atspoguļo 4.2. attēls un tam atbilstošo vēja ātrumu iestāšanās biežumu – 4.2. tabula.



4.2. attēls. TVBDK vidējās vērtības LVM kvartālapgabalos.

Pirmais skaitlis kvartālu apgabala Nr., otrais – TVBDK vērtība.

Vēja ātruma atgriešanās periods (gadi) dažādās TVBDK zonās pēc Latvijas meteostaciju datiem atbilstoši Gumbela sadalījumam (Donis, 2007)

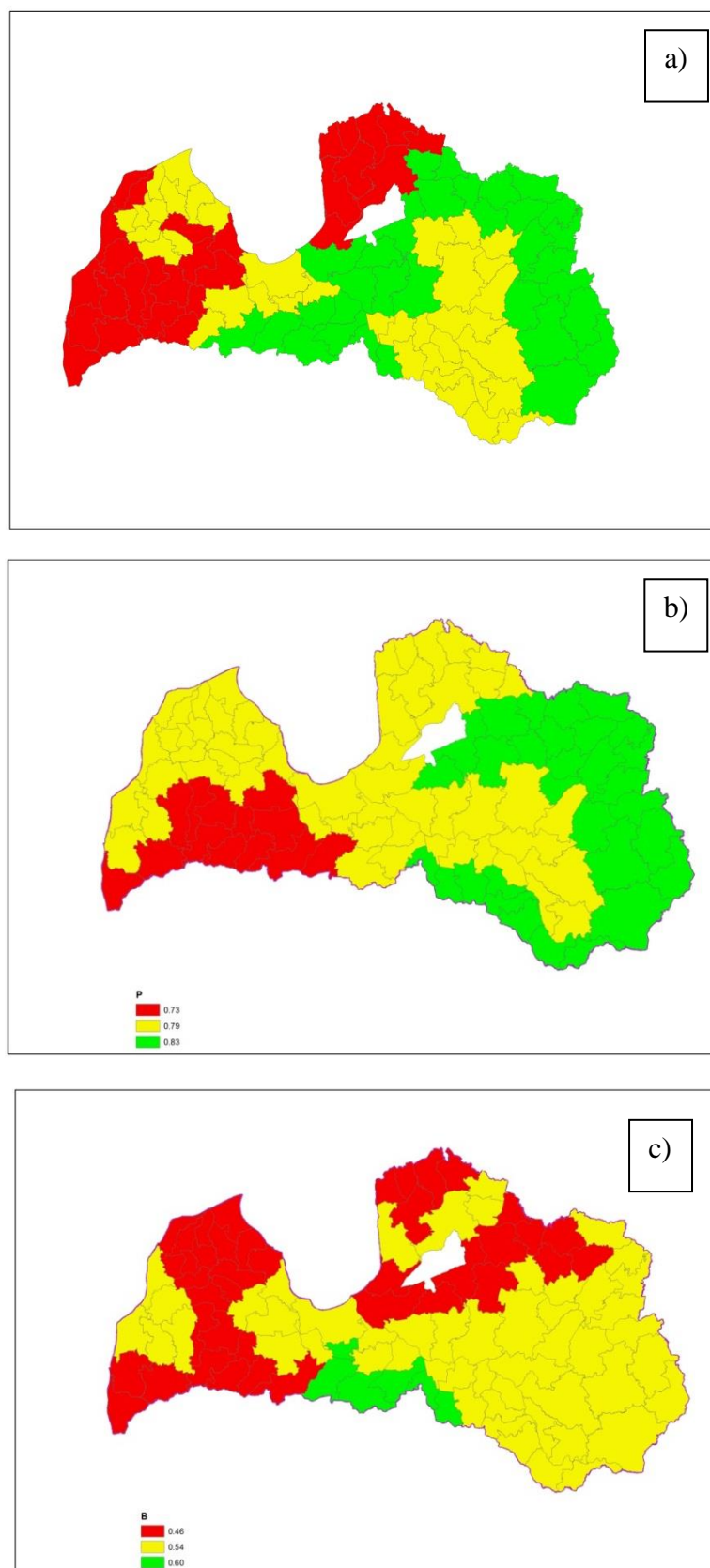
Vidējais vēja ātrums, m s ⁻¹	TVBDK					
	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>
10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
12	50-33	33-20	20-10	<10	<10	<10
14	100-50	50-33	33-20	20-10	<10	<10
16	>100	100-50	50-33	33-20	<10	<10
18	>100	>100	100-50	50-33	20-10	20-10
20	>100	>100	>100	100-50	33-20	20-10
22	>100	>100	>100	>100	100-50	33-20
24	>100	>100	>100	>100	>100	100-50
26	>100	>100	>100	>100	>100	>100

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

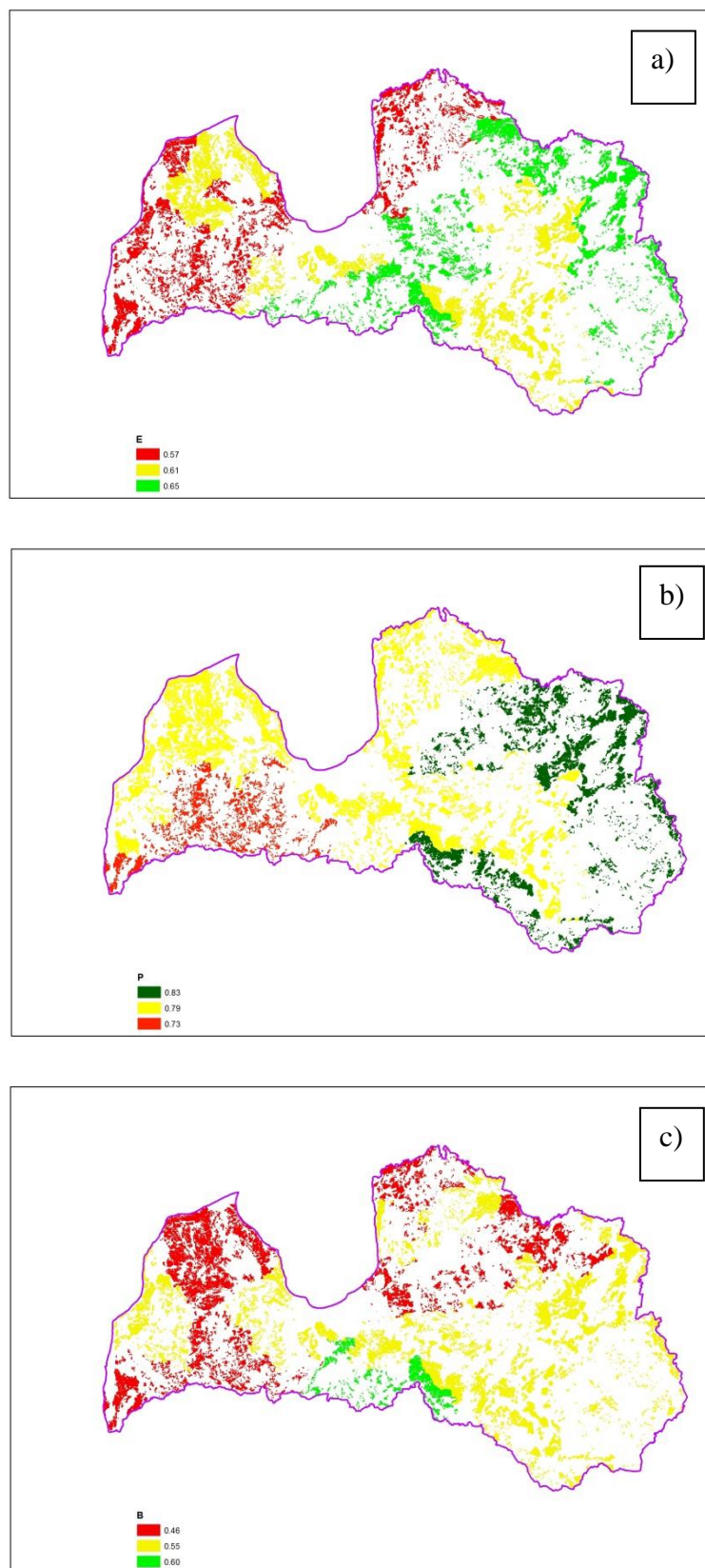
Augstvērtīgo sortimentu iznākums pieaugušās audzēs ir atkarīgs no audžu veidojošo koku dimensijām un kopējās audžu krājas ciršanas vecumā. To ietekmē gan augtenes auglība (meža tips, bonitāte), gan arī audzi veidojošo koku produktivitāte, augšanas laikā veiktā saimnieciskā darbība un dabiskie traucējumi, visnozīmīgāk – vējgāzes. Tās 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 mizgraužu, radītos koku bojājumus. Pēdējie (sakņu trupe un kukaiņu bojājumi) arī pazemina augstvērtīgo sortimentu iznākuma īpatsvaru.

Analīzes mērķis ir noskaidrot, vai pastāv sakarības starp augstvērtīgo sortimentu iznākumu un attiecīgās teritorijas vēja bojājumu draudu lielumu. Augstvērtīgo sortimentu

iznākuma raksturošanai izmantoti LVM dati divos variantos: reģioni (4.3.att.) un kvartālu apgabali (4.4.att.).



4.3.attēls. LVM struktūrvienību/ iecirkņu grupējums reģionos pēc augstvērtīgo sortimentu iznākuma pieaugušu a) egļu, b) priežu un c) bērzu audzēs (LVM dati).



4.4.attēls. LVM kvartālu apgabalu grupējums zonās pēc augstvērtīgo sortimentu iznākuma pieaugušu a) egļu, b) priežu un c) bērzu audzēs (LVM dati).

Pieaugušo egļu, priežu un bērzu audžu krājas raksturošanai izmantoti MSI parauglaukumi, kas atrodas katrā no trīs izdalītajām (4.4.att.) apsaimniekošanas zonām (4.3.tab.).

4.3.tabula

Pieaugušo egļu, priežu un bērzu audžu krāja MSI parauglaukumos dažādās augstvērtīgo sortimentu iznākumu zonās, m³ ha⁻¹

Suga\ sortimentu īpatsvars	1	2	3	Kopā
Priede	<0,73	<0,79	<0,83	
Vidējais	363	289	274	294
Ticamības intervāls	64	22	34	16
Standartnovirze	146	140	137	142
Audžu skaits	20	157	61	287
Egle	<0,57	<0,62	<0,66	
Vidējais	269	317	284	300
Ticamības intervāls	51	54	43	27
Standartnovirze	119	127	135	134
Audžu skaits	21	21	38	94
Bērzs	<0,46	<0,55	<0,61	
Vidējais	243	268	254	254
Ticamības intervāls	31	32	89	20
Standartnovirze	103	103	101	101
Audžu skaits	42	39	5	100

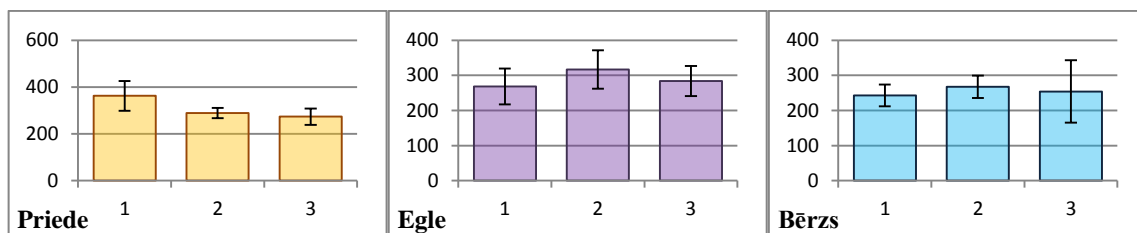
Analizējot MSI datus, konstatēts, ka nepastāv statistiski būtiskas atšķirības starp krāju pieaugušās audzēs dažādās zonās. TVBDK rādītāji un augstvērtīgo sortimentu iznākums trijās izdalītajās zonās atspoguļoti 4.4.tabulā.

4.4.tabula

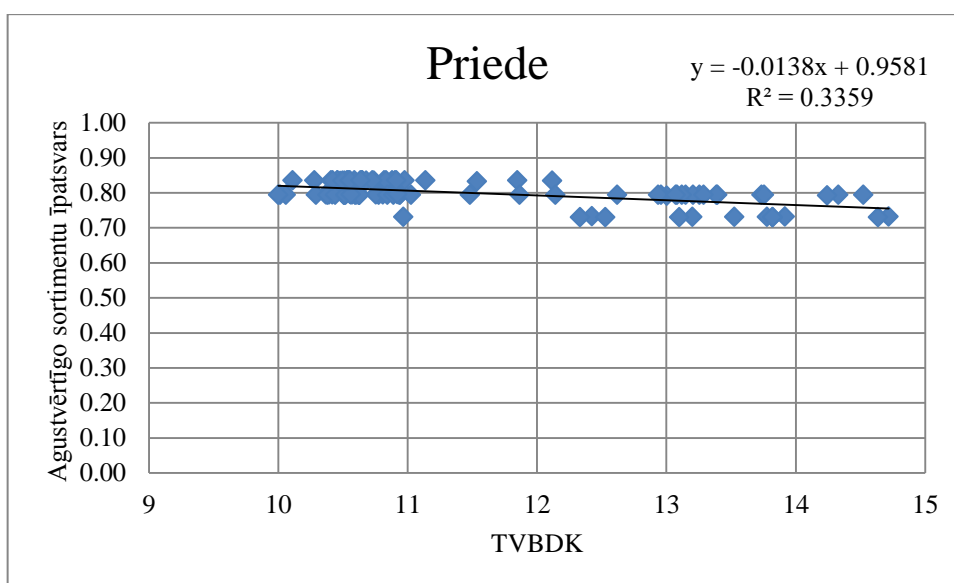
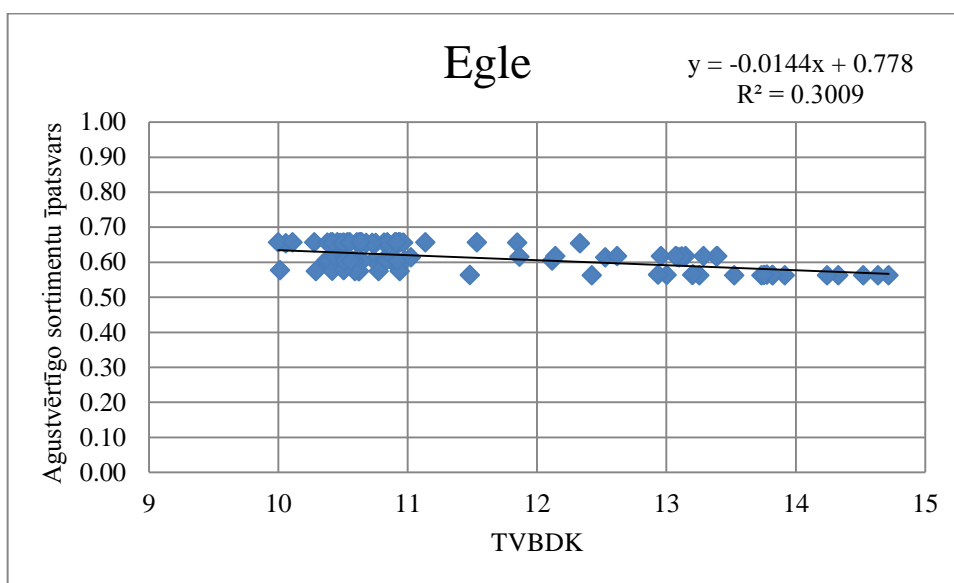
TVBD klases rādītāji zonās ar atšķirīgu augstvērtīgo sortimentu īpatsvaru audzēs

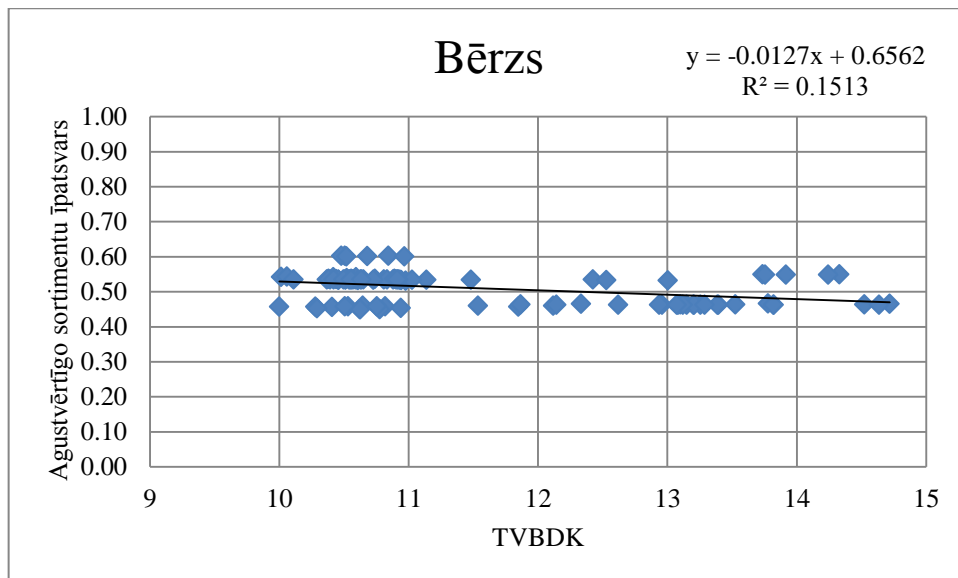
Koku suga	TVBD klases rādītāji			
	Zona	Vidējais	Minimums	Maksimums
Priede	1	13,3	3,4	17,9
	2	11,6	2,0	17,0
	3	10,7	2,3	15,3
	vidēji	11,6	2,0	17,9
Egle	1	12,6	2,5	17,9
	2	11,5	2,3	15,9
	3	10,7	2,0	15,3
	vidēji	11,6	2,0	17,9
Bērzs	1	12,3	2,0	17,9
	2	11,1	2,3	17,1
	3	10,7	3,3	14,1
	vidēji	11,6	2,0	17,9

Tomēr kopumā vērojama tendence, ka zonās, kurās ir augstāki TVBDK rādītāju lielumi, ir zemāks augstvērtīgo sortimentu iznākums (4.5. un 4.6.att.).



4.5.attēls. Sakarība starp augstvērtīgo sortimentu iznākumu un TVBDK priežu, egļu un bērzu audzēs izdalītajās zonās.





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

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

5. Latvijas koku sugu apkārtmēra pieauguma dinamika un augšanas gaitas izmaiņas prognozēto klimata izmaiņu ietekmē

Pētījuma darba uzdevumu nav izdevies īstenot saskaņā ar sākotnējo plānu, tādēļ veiktas aktivitātes, kas bija paredzētas projekta noslēguma posmā, un atsevišķas šī gada aktivitātes pārceltas un nākamā gada sākumu. Pārskata periodā:

- 1) sadarbībā ar Potsdamas klimata ietekmes institūta (Potsdam Institute for Climate Impact Research) vadošo pētnieku Petra Lasch sagatavots datu materiāls šī institūta izstrādātajam klimata izmaiņu ietekmes uz pieaugumu modelim (4C), tomēr nav bijis iespējams veikt datu analīzi, tādēļ to paredzēts īstenot nākamā gada sākumā;
- 2) iegūti dati par koku augšanas gaitu tādos klimatiskajos un edafiskajos (pielīdzinot meža tipu klasifikāciju) apstākļos, kādi Latvijā prognozēti nākotnē (šobrīd – Polijas dienvidaustrumu daļa – kā aprakstīts projekta iepriekšējos pārskatos) sadarbībā ar Polijas mežzinātnes institūta (IBL) vadošo pētnieku Jan Kowalczyk. Nākamā gada sākumā plānota iegūto datu analīze, salīdzinot tos ar LVMI Silava (J. Donis) izstrādātajiem augšanas gaitas modeļiem;
- 3) nodrošināta datu sagatavošana un vizīte Lielbritānijā, apgūstot tur pielietoto metodiku klimata izmaiņu ietekmes uz koku saglabāšanos un augšanu analīzei; saskaņā ar šo metodiku veikta parastās priedes analīze;
- 4) izmantojot projekta ietveros izstrādātās klimata izmaiņu prognozes un ievāktos parastās priedes un egles pieauguma urbumus, veikta dendrohronoloģijas analīze par iespējamajām šo koku sugu radiālā pieauguma izmaiņām nākotnē prognozētajā klimatā.

Izmantojot ES projekta „Trees4Future” ietvaros nodrošināto pieeju laboratorijām, notikusi iepazīšanās ar metodiku, ko skotu zinātnieki prof. Duncan Ray vadībā pielieto pētījumiem par koku sugu (sitkas egles, duglāzijas) piemērotību dažādiem klimatiskajiem apstākļiem, izmantojot telpiskās modelēšanas iespējas un provenienču eksperimentu datus. Analīzei izmantota plašākā parastās priedes provenienču eksperimentu sērija, kas ierīkota 1975. gadā trijās vietās ar atšķirīgu klimata kontinentalitāti: Liepāja, Zvirgzde, Kalsnava. Stādījumos ietvertas 64 proveniences, 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.

Aprēķiniem izmantoti Worldclim datubāzes vēsturiskie klimata dati (references periods 1961.-1990. gads) no punktiem, kas atrodas iespējami tuvu provenienču izcelsmes vietām (Hijmans et al., 2005). Atlasītas piemērotākās (mazāk trūkstošo vērtību) meteoroloģisko apstākļu datu kopas, veikta papildus klimatisko indikatoru (mitruma deficīts, aktīvo temperatūru summa, kontinentalitātes indeksi) aprēķināšana. Nākotnes klimata raksturošanai izmantotas projekta ietvaros sagatavotas datu rindas provenienču eksperimentiem tuvākajiem punktiem: Liepājai izvēlēti pieejamie dati par Liepāju, Zvirgzdei – vidējais no Jelgavas un Skrīveru datiem, bet Kalsnavai — vidējais no Pļaviņu un Madonas datiem. Aprēķināti un izmantoti trīs 20 gadu periodu vidējie rādītāji: 2040. – 2059. gads, 2060. – 2079. gads, 2080. – 2099. gads.

Analizējot vēsturiskos datus gan pa mēnešiem, gan sezonām dažādās ģeogrāfiskajās vietās (izmantojot Skotijā pieejamo datu bāzi par šo vietu augsnēm, meteoroloģiskajiem apstākļiem), vērtēts, vai iespējams vidējos klimatisko apstākļu rādītājus konkrētā vietā matemātiski raksturot ar funkciju no šīs vietas ģeogrāfiskajām koordinātām, augstuma virs jūras līmeņa, vēja bojājumu riska indeksa un kontinentalitātes indeksa. Iegūstot labi aprakstošas funkcijas, iespējams interpolēt klimatiskos rādītājus uz konkrētām vietām, tādējādi precīzāk raksturojot klimatiskos apstākļus provenienču izcelsmes reģionos un izmēģinājumu stādījumos.

Pielietojot izstrādāto metodiku, veikta analīze, konkrētā klimata rādītāja atbilstību (*suitability*) izsakot kā proveniencas izcelsmes vietas rādītāja attiecību pret rādītāju konkrētajā stādījumā (Liepāja, Zvirgzde vai Kalsnava). Korelācija starp meteoroloģiskajiem parametriem un koku parametriem ir samērā vāja; atsevišķiem parametriem iegūtie rezultāti atspoguļoti 5.1. tabulā.

5.1. tabula

Korelācija starp koku (provenienču vidējās vērtības) un meteoroloģiskajiem parametriem

Koka parametrs	Meteoroloģiskais parametrs			
	sum_prec	mean_t	suitability_p	suitability_t
H11	-0,099	-0,084	0,169	-0,412
H21	-0,082	0,027	0,477	0,547
S11	-0,075	-0,057	0,341	-0,263
S21	-0,082	-0,042	0,461	0,049

H11, H21 – augstums attiecīgi 11 un 21 gada vecumā; S11, S21 – saglabāšanās attiecīgi 11 un 21 gada vecumā; sum_prec – nokrišņu summa; mean_t –vidējā temperatūra; suitability_p – nokrišņu atbilstība (līdzība koku izcelsmes un stādījuma vietā); suitability_t – temperatūras atbilstība.

Izstrādāti lineārās regresijas modeļi saskaņā ar vispārējo formu (5.2. tab.):

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

5.2. 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 ²	0,55	0,46	0,74	0,32
Adjusted R ²	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

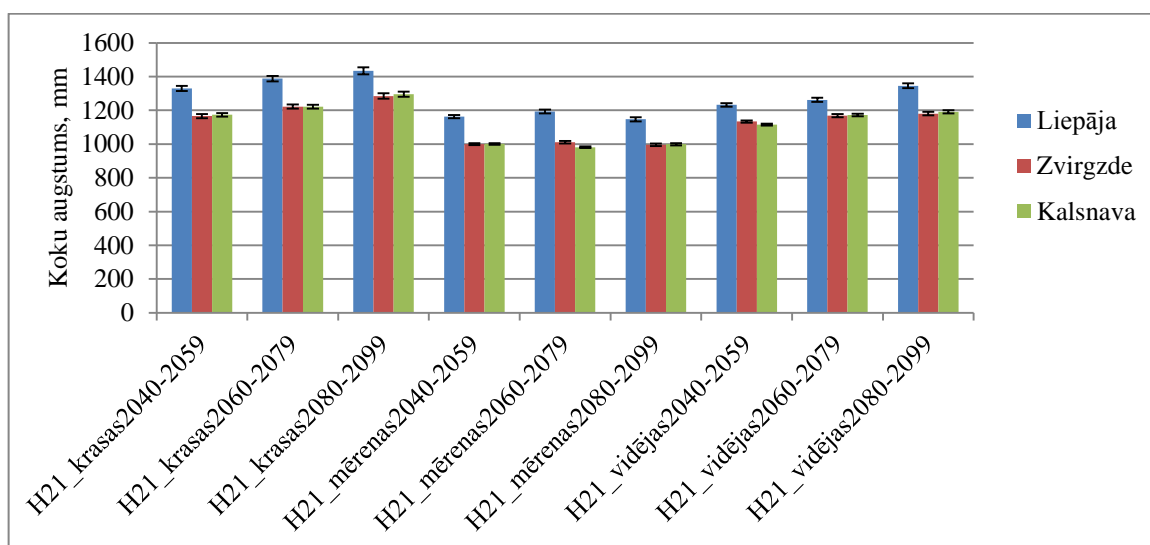
* - statistiski būtisks (p<0,01)

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 klimatu scenārijiem (mērenas, vidējas un krasas izmaiņas) trim dažādiem nākotnes periodiem. Augstums izteikts milimetros, savukārt saglabāšanās – procentos. Tālākai analīzei izmantota tikai saglabāšanās 11 gadu vecumā un augstums 21 gada vecumā, mērenu izmaiņu scenārijs (5.1. att.).

Konstatētas statistiski būtiskas atšķirības starp klimata izmaiņu scenārijiem, kas rezultātu ietekmē nozīmīgāk nekā izvēlētais laika periods. Piemēram, mērenu klimata izmaiņu gadījumā 2040.-2059. gadā tiek prognozēts par 21 % lielāks koku augstums, bet 2080.-2099. gadā par 20 %, savukārt vidēju izmaiņu gadījumā attiecīgi par 33 % un 42 %. Nav konstatētas nozīmīgas vai statistiski būtiskas atšķirības starp koku augstuma prognozēm Zvirgzdē un Kalsnavā (stādījumos, kas arī šobrīd pieskaitāmi pie viena un tā paša

provenienču reģiona), bet tiek prognozēts, ka koku augstums Liepājas stādījumam atbilstošos apstākļos būs statistiski būtiski lielāks.



5.1. attēls. Priežu augstums atsevišķās stādījuma vietās 21 gada vecumā saskaņā ar atšķirīgiem klimata izmaiņu scenārijiem.

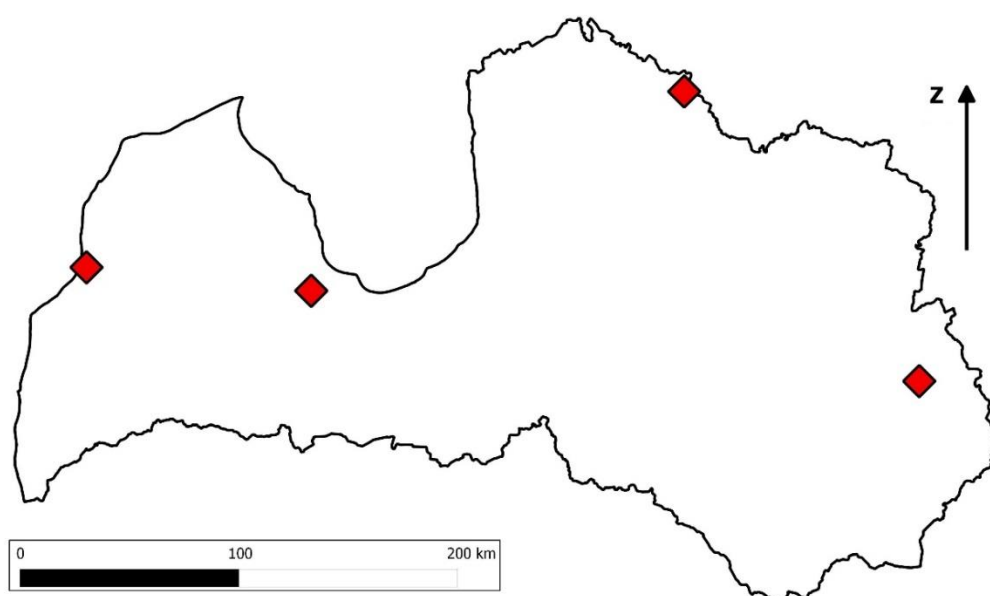
Koku saglabāšanās prognozes variē ļoti plašā amplitūdā, piemēram, mērenu klimata izmaiņu gadījumā no -4 % līdz -51 %; turklāt pētījuma ietveros ievāktie empīriskie dati nelielina par iespējamu nozīmīgu negatīvu klimata izmaiņu ietekmi uz koku saglabāšanos.

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 (kā tas pierādījies, analizējot citu valstu provenienču piemērotību Latvijas apstākļiem: Rieksts-Riekstins et al., 2014). 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).

Prognozētais koku gadskārtu platums 50–90 gadu kambiālajā vecumā nākotnes klimatiskajos apstākļos.

Datu ieguve

Pētījuma materiāls ievākts četrās vietās Latvijā (5.2. att.) – pie Jūrkalnes, Tukuma, Valkas un Ludzas. Teritorijas izvēlētas tā, lai raksturotu kontinentalitātes gradientu, kas ietekmē koku augšanas ritmu Latvijā (Jansons, Baumanis, 2005; Matisons, Brūmelis, 2012). Katrā pētījuma vietā izvēlētas vienvecuma (vecākas par 100 gadiem) priežu, egļu, melnalkšņu un bērzu sugām tipiskos meža tipos (sausieņu vai nosusinātie tipi). Katrā audzē no dominējošajiem kokiem ar Preslera svārpstu ievākti divi koksnes paraugi pretējās stumbra pusēs; urbumi ņemti ~ 1,3 m augstumā.



5.2. attēls. Pētījuma teritoriju izvietojums.

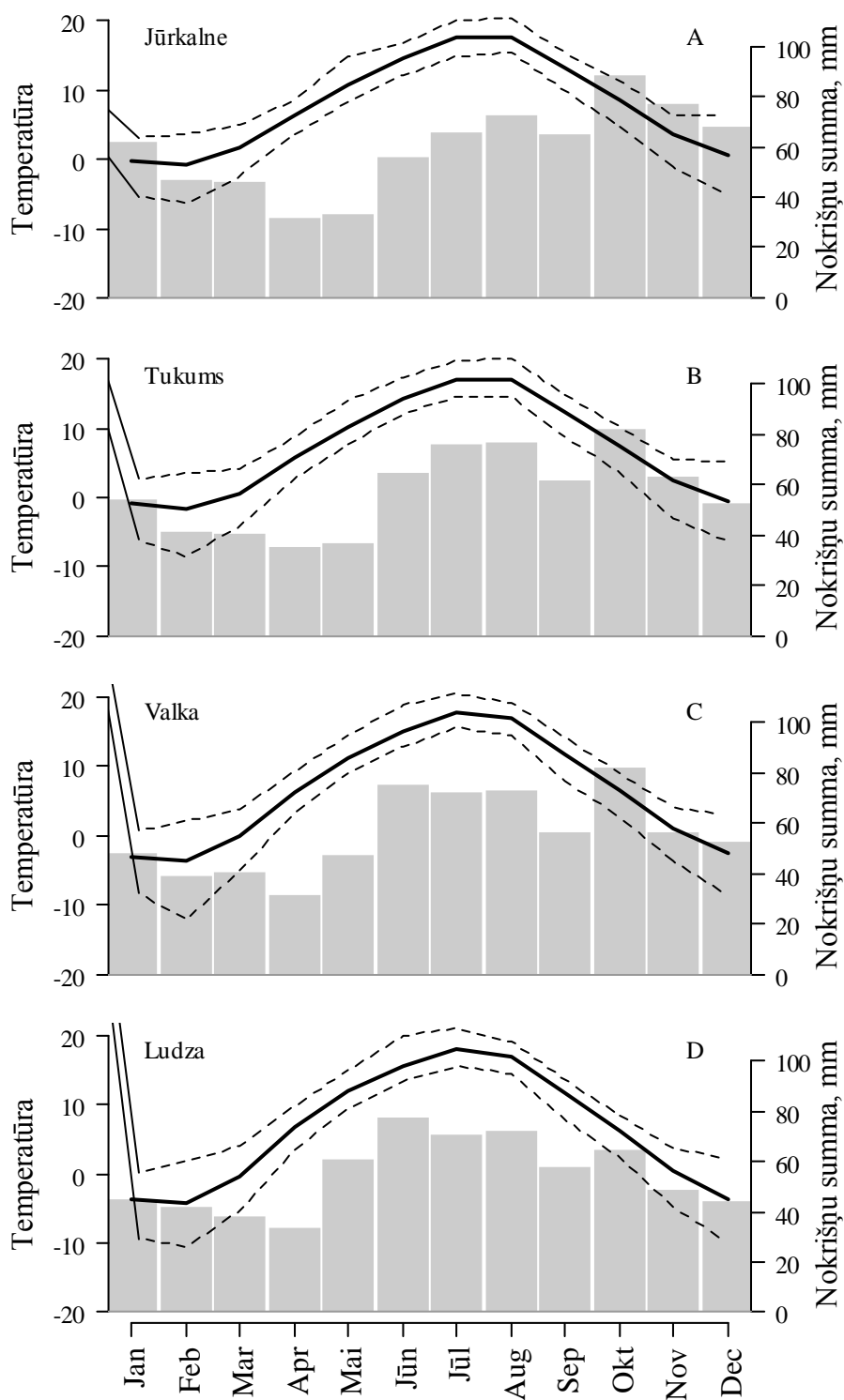
Ievāktie paraugi laboratorijā izžāvēti līdz istabas mitrumam un ielīmēti fiksācijas planšetēs, pēc tam pakāpeniski slīpēti ar trīs dažāda raupjuma smilšpapīru (120, 240 un 400 graudi uz collu), kamēr uz paraugu virsmas nebija saskatāmas slīpēšanas pēdas (skrambas un negludumi). Gadskārtu platums mērīts ar LINTAB5 (RinnTECH) mērīšanas sistēmu, kas ietver mikroskopu un digitālu mērgaldu; mērījumi veikti ar 0,01 mm precizitāti.

Vēsturiskos klimata (meteoroloģiskos) datus – mēneša vidējo, minimālo un maksimālo temperatūru un nokrišņu summu – ieguva no *Climatic Research Unit* (CRU) novērojuma punktiem, kas atradās pēc iespējas tuvāk paraugu ņemšanas vietām (Harris et al., 2014). Attālums no novērojuma punkta līdz paraugu ņemšanas vietai nepārsniedza 20 km. Modelētos nākotnes klimata datus laika posmam no 2030. līdz 2100. gadam ieguva no projekta iepriekšējiem rezultātiem. Projicētie dati (mēneša minimālā, vidējā un maksimālā temperatūra

un nokrišņu summa) atbilst A1B klimata izmaiņu modelim (IPCC, 2007), trim scenārijiem: mērenām, vidējām un krasām klimata pārmaiņām. Izmantoti modelētie dati no novērojumu punktiem, kas atradās maksimāli tuvu pētījuma vietām (Pāvilostas, Valgas, Griškānu un Prāviņu novērojumu punkti).

Klimatisko apstākļu raksturojums 1989.–2009. gada periodā

Klimatiskos apstākļus Latvijā nosaka tās atrašanās mērenajā klimatiskajā zonā. Valdošie rietumu vēji un attālums no jūras nosaka kontinentalitātes pieaugumu austrumu virzienā (Temņikova, 1975). Balstoties uz CRU datiem, vidējā gada temperatūra apskatāmajā periodā bija no +6,3 °C Ludzas novērojuma punktā līdz +7,8 °C Jūrkalnē, mēnešu vidējās temperatūras amplitūda bija attiecīgi no 22,3 un 18,3 °C, un gada nokrišņu summa – no 655 līdz 713 mm. Lai arī novērojuma punktos konstatētas gada vidējās temperatūras atšķirības, tomēr temperatūras izmaiņas gada griezumā visos novērojuma punktos bija līdzīgas. Zemākā vidējā mēneša temperatūra novērota janvārī un februārī, bet augstākā temperatūra – jūlijā un augustā (5.3. att.). Vidējās minimālās un maksimālās temperatūras mainība kopumā bijusi līdzīga visos novērojuma punktos, bet Valkā konstatēta lielākā amplitūda starp februāra vidējo minimālo un vidējo maksimālo temperatūru, kas skaidrojams ar zemo gaisa vidējo minimālo temperatūru 1994. gadā (-12,2 °C). Vidējais gada nokrišņu sadalījums atšķīrās starp teritorijām. Jūrkalnē un Tukumā visaugstākais vidējais mēneša nokrišņu daudzums bijis oktobrī, turpretim Valkā un Ludzā vērojams izteiktāks vasaras mēnešu nokrišņu īpatsvars. Viszemākais nokrišņu daudzums visos novērojuma punktos pētītajā periodā bija aprīlī.



5.3. attēls. Klimatiskie apstākļi: mēneša vidējā (nepārtrauktā līnija), vidējā minimālā un vidējā maksimālā temperatūra (pārtrauktās līnijas) un vidējais nokrišņu daudzums Jūrkalnē (A), Tukumā (B), Valkā (C) un Ludzā (D) laika periodā no 1989. līdz 2009. gadam.

Datu apstrāde

Lai nodrošinātu augstu datu kvalitāti un izšķirtspēju, kas ir būtiski aspekti dendroklimatisko analīžu veikšanai (Fritts, 2001), visām nomērītajām gadskārtu platumu sērijām veikta kvalitātes pārbaude, izmantojot grafiskās un statistiskās šķērsdatēšanas metodes. Statistiskajai šķērsdatēšanai izmantota COFECHA programma (Grissino-Mayer, 2001). Mērījumu sērijas, kuras savstarpēji parādīja zemu līdzību, kā arī zemu sinhronitāti, pārmērīja, un to kvalitāti pārbaudīja atkārtoti. Mērījumu sērijas, kuras atkārtotā pārbaudē uzrādīja zemu sinhronitāti ar vairumu no mērījumiem, turpmākajās analīzēs netika izmantotas. Kvalitātei atbilstošo datu kopu raksturošanai izmantoja vidējo starpsēriju korelāciju indeksētām sērijām (IC), sinhronitāti (GLK) (Fritts, 2001), kā arī populācijas signāla (EPS) (Wigley et al., 1984) indeksu.

Gadskārtu platumu variēšanas prognozēm veidoja lineāros modeļus, kas balstīti uz audžu vidējo gadskārtu platumu mainību un vairākiem klimatiskajiem faktoriem. Ņemot vērā, ka gadskārtu platumam ir izteikts vecuma trends, kas var būt saistīts ar koku sugu, teritoriju, kā arī koka stāvokli (citu koku konkurence u.tml.) mežaudzē (Tjarve, 2013), analīzē izmantoti gadskārtu dati par periodu, kad koku kambiālais vecums bija 50–90 gadi un vecuma trends gadskārtu mainībā ir izteikts visvājāk. Līdz ar to modeļi spēj ticami prognozēt gadskārtu platumu variēšanu tikai konkrētajā (50–90 gadi) koka dzīves posmā; šajā laikā priedei un eglei ir vērojams celma laukuma pieauguma maksimums (Augustaitis et al., 2014; Zālītis, 2006). Prognožu izstrādi iedalīja atsevišķos posmos.

1. Būtisko klimatisko faktoru identificēšana. Lai noskaidrotu klimatiskos faktorus, kuri bija nozīmīgi saistīti ar gadskārtu platumu variēšanu, priedei un eglei laika posmā no 1989. līdz 2009. gadam pētītajās teritorijās, veica korelācijas analīzi. Tā kā pētījuma mērķis bija prognozēt gadskārtu platumu mainību, gadskārtu platuma datiem standartizēšanu neveica, bet izvēlējās periodu ar vismazāk izteikto vecuma trendu. Tā kā klimatisko faktoru ietekmei uz gadskārtu platumu ir vērojama bioloģiska inerce (tekošo pieaugumu var ietekmēt apstākļi pirms augšanas sezonas) (Barber et al., 2000; Matisons, Brūmelis, 2012), klimatiskos datus grupēja pa mēnešiem, sākot ar jūniju gadā pirms gadskārtas veidošanās līdz septembrim gadskārtas veidošanās gadā. Korelācijas analīzi veica programmā R (R Core Team, 2014) izmantojot paketi “*treeclim*” (Zang, 2014), kas ir izstrādāta tieši gadskārtu analīzei. Ņemot vērā lielo pārbaudāmo klimatisko faktoru skaitu, korelācijas koeficientu p-vērtību novērtēšanu pielāgošanu neveica (Moran, 2003), bet korelācijas koeficientu būtiskumu novērtēja ar randomizācijas testu (*bootstrap test*) ar datu replikāciju, veicot 2500 iterācijas, kas ir statistiski striktāka metode par parametriskajiem testiem.

2. Labāko modeļu atlase. Klimatisko faktoru, kuri parādīja statistiski būtiskas korelācijas ar gadskārtu platumu, ietekmi novērtēja ar daudzfaktoru (multiplo) regresiju. Sākotnēji veidoja modeļus ar visiem klimatiskajiem faktoriem, kuriem bija būtiska korelācija ar gadskārtu platumu, pēc tam atmeta faktorus, kuri nebija būtiski regresijas vienādojumā, līdz visu atlikušo faktoru būtiskums (p-vērtības) bija $< 0,05$. Atlikušajiem faktoriem pārbaudīja kolinearitāti; ja starp faktoriem novēroja būtisku saistību, faktoru ar zemāko ietekmi atmeta. Ja bija iespējams izveidot vairākus modeļus ar dažādu faktoru kombināciju, labākos modeļus atlasīja, balsoties uz AIC (*Akaike information criterion*) un R^2 indeksu vērtībām.
3. Gadskārtu platumu modeļu kalibrācija un gadskārtu platumu prognozēšana. Izveidotos labākos gadskārtu platumu un klimatisko faktoru modeļus kalibrēja, aprēķinot gadskārtu platumu 1989.–2009. gadu periodam un salīdzinot empīrisko un modelēto gadskārtu platumu sinhronitāti, kā arī aprēķinot Pīrsona korelācijas koeficientus. Katrai sugai un teritorijai, balstoties uz izveidotajiem modeļiem, aprēķinātas gadskārtu platumu sērijas laika periodiem no 2031. līdz 2050. gadam un no 2080. līdz 2100. gadam, par pamatu ņemot katrai teritorijai prognozētos klimatiskos faktorus. Empīriskais gadskārtu platumu salīdzināts ar modelēto un prognozēto gadskārtu platumu, izmantojot t-testu.

Mērījumi un to kvalitāte

Audzes līmenī lielākajai daļai koku gadskārtu platumu sērijas parādīja augstu sinhronitāti un līdzību (GLK un IC $> 0,50$) (5.3. tab.), kas liecina par kopīgu vides faktoru ietekmi. Atmesto koku skaits, kuru gadskārtu platumu sērijas parādīja zemu sinhronitāti ar pārējām, nepārsniedza sešus (30 %). Populācijas signāla indeksu vērtības (5.3. tab.) visām datu kopām bija $\geq 0,85$, norādot, ka materiāla apjoms ir pietiekams, lai objektīvi raksturotu lokālos gadskārtu platumu mainības ritmus (Wigley et al., 1984). Izmantojamo sēriju references periods vairumā gadījumu bija līdzīgs un neatšķīrās vairāk kā par 20 gadiem, izņemot egles sērijas Ludzas parauglaukumā un priedes sērijas Jūrkalnes parauglaukumā, kā arī melnalksni Jūrkalnē un Valkā.

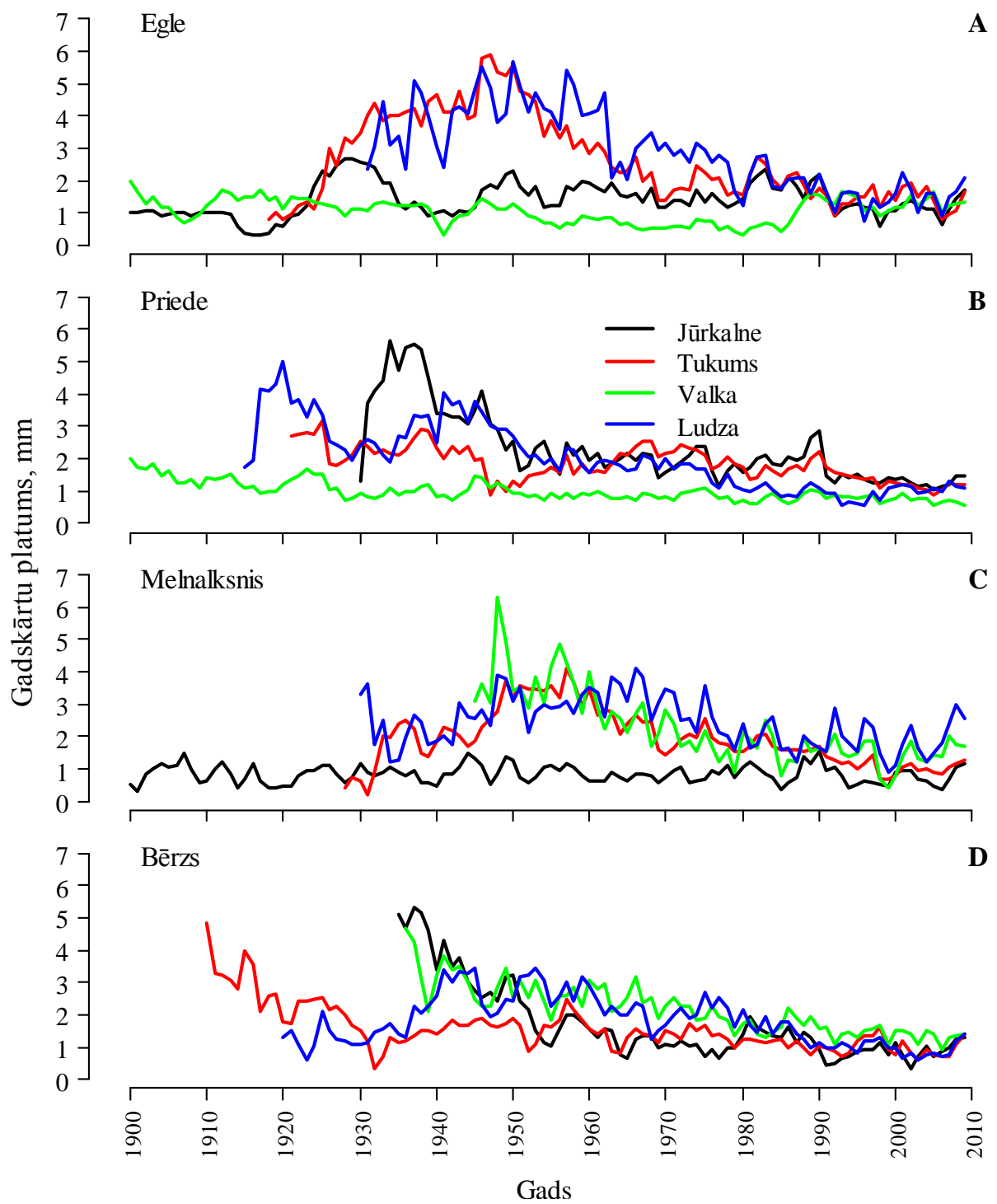
Izmantoto gadskārtu platumu sēriju raksturojums un gadskārtu platumu rādītāji
1989.–2009. gadu periodam

	Egle					Priede			
	Jūrkalne	Tukums	Valka	Ludza		Jūrkalne	Tukums	Valka	Ludza
References periods	1900-2009	1918-2009	1900-2009	1931-2009		1925-2009	1920-2009	1900-2009	1915-2009
GLK	0,65	0,68	0,60	0,66		0,67	0,63	0,66	0,63
IC	0,68	0,64	0,56	0,69		0,68	0,62	0,61	0,55
EPS	0,95	0,95	0,92	0,94		0,96	0,93	0,95	0,90
Gadskārtu platums, 1989.–2009. gadi									
Minimālais platums, mm	0,59	0,78	0,91	0,77		1,06	0,89	0,54	0,56
Maksimālais platums, mm	2,20	1,90	1,67	2,26		2,83	2,20	1,01	1,31
Vidējais platums, mm	1,25	1,44	1,32	1,52		1,47	1,36	0,77	0,97
Platuma standartnovirze, mm	0,38	0,32	0,23	0,38		0,45	0,32	0,13	0,23
Variācijas koeficients	0,30	0,22	0,17	0,25		0,31	0,24	0,17	0,23
Melnalksnis						Bērzs			
References periods	1900 - 2009	1928-2009	1945-2009	1930-2009		1935-2009	1910-2009	1936-2009	1920-2009
GLK	0,69	0,61	0,72	0,73		0,69	0,61	0,67	0,58
IC	0,69	0,53	0,70	0,58		0,70	0,60	0,60	0,44
EPS	0,95	0,86	0,95	0,90		0,96	0,86	0,89	0,85
Gadskārtu platums, 1989.–2009. gadi									
Minimālais platums, mm	0,35	0,66	0,39	0,91		0,35	0,58	0,92	0,58
Maksimālais platums, mm	1,52	1,70	2,09	2,99		1,29	1,64	1,96	1,38
Vidējais platums, mm	0,79	1,12	1,47	1,90		0,87	0,98	1,41	0,97
Platuma standartnovirze, mm	0,31	0,27	0,43	0,57		0,27	0,28	0,23	0,22
Variācijas koeficients	0,39	0,24	0,29	0,30		0,31	0,28	0,17	0,22

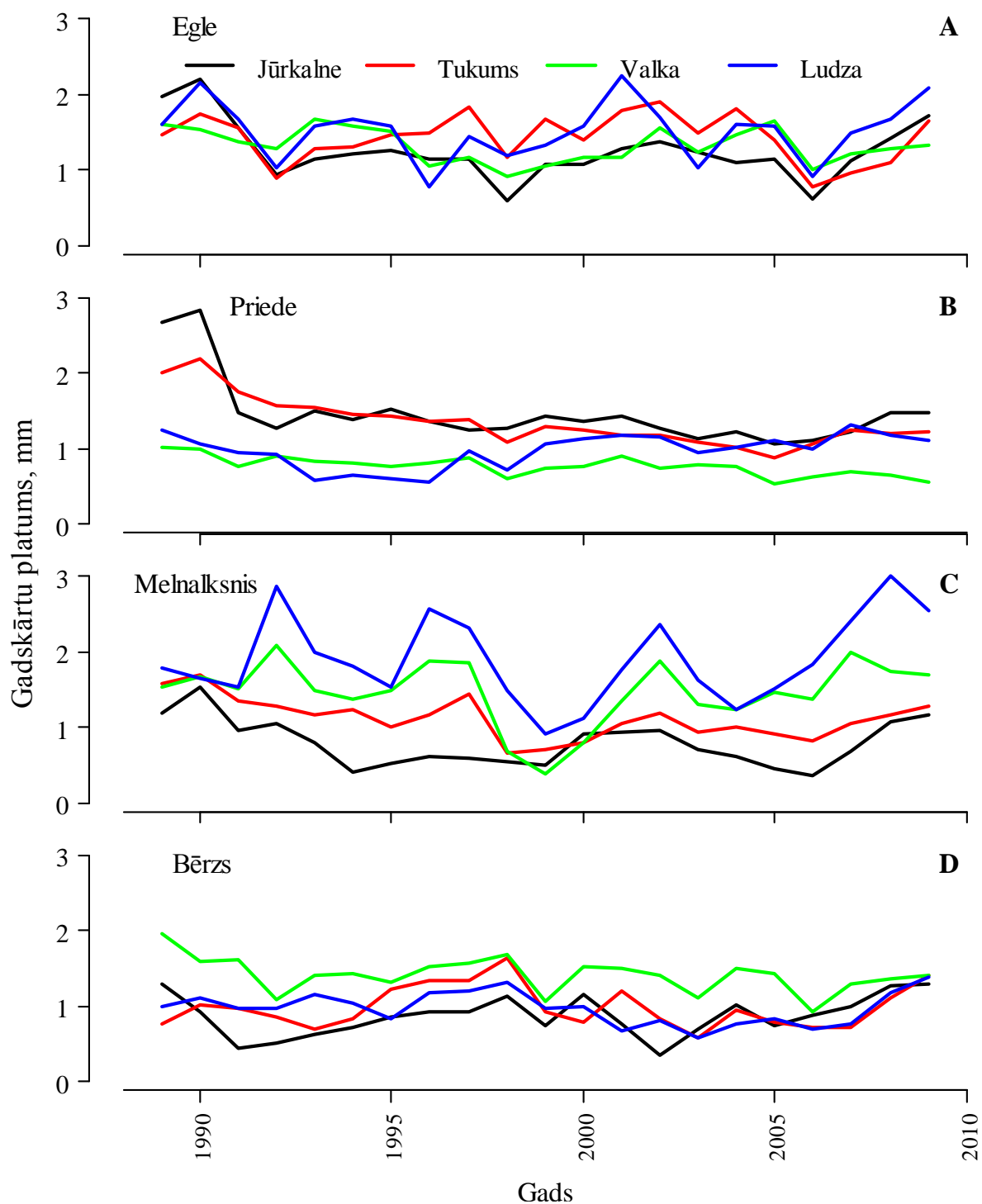
Paskaidrojumi: GLK – vidējā sinhronitāte; IC – starpsēriju korelācija starp koku sērijām parauglaukumos; EPS – populācijas signāla indekss.

Lielākajā daļā mežaudžu vidējām gadskārtu sērijām (5.4. att.) bija vērojams izteikts vecuma trends, vismazāk izteikts tas bija priedei un eglei Valkas parauglaukumos kā arī eglei un melnalksnim Jūrkalnes parauglaukumā. Katrai sugai starp gadskārtu platumu sērijām konstatētas kopīgas ikgadējās mainības iezīmes, liecinot par lielmēroga traucējuma ietekmi. Tomēr starp sugām novērotas tikai atsevišķas kopīgas iezīmes, norādot uz kopīgu jutību,

visticamāk, pret vides apstākļu ekstrēmiem. Tuvāk aplūkojot gadskārtu sērijas pēdējām divām desmitgadēm (5.5. att.), redzams, ka vecuma trends ir neizteikts un gadskārtu platumam raksturīga galvenokārt ikgadējā mainība, ko visbiežāk rada klimatisko faktoru fluktuācijas (Fritts, 2001). Gadskārtu platums šajā periodā vidēji nedaudz lielāks bijis eglei un melnalksnim (5.3. tab.). Ikgadējā gadskārtu platuma mainība visos parauglaukumos bija izteiktākā eglei un melnalksnim (5.5. att.), norādot uz šo sugu paaugstinātu jutību pret klimatiskajiem faktoriem. Starp parauglaukumu gadskārtu platumu sērijām laika periodā no 1989. līdz 2009. gadam eglei kopīgas tendences (kritumi) (5.5. att.) novērotas 1992., 1998. un 2006. gados, kas ir skaidrojams ar ekstrēmiem meteoroloģiskajiem apstākļiem, t.i., karstām un sausām vasarām, kā arī aukstu ziemu. Priedei turpretim izteiktas kopīgas tendences gadskārtu platumu sērijās šajā laikā netika novērotas, norādot, ka laikapstākļi pētītajā periodā nav bijuši izteikti limitējoši priedes augšanai. Platākas gadskārtas priedei atsevišķos parauglaukumos 1990. gadā skaidrojamas ar izteikti siltu ziemu un pavasari 1989. un 1990. gadā. Melnalksnis parādīja kopīgu gadskārtu platuma kritumu 1991. un 1999. gadā, kas var tikt skaidroti ar salu un krasi kontrastējošiem temperatūras apstākļiem ziemā, un augšanas uzlabošanos 2002, kas, savukārt, skaidrojama ar paaugstinātu temperatūru ziemas-pavasara sezonā. Bērzam kopīgs gadskārtu platuma kritums novērots 1999. gadā, norādot uz nepastāvīgu ziemas apstākļu negatīvo ietekmi.



5.4. attēls. Parauglaukumu vidējās gadskārtu platuma sērijas eglei (A), priedei (B), melnalksnim (C) un bērzam (D) visam references periodam.



5.5. attēls. Parauglaukumu vidējās gadskārtu platuma sērijas eglei (A), priedei (B), melnalksnim (C) un bērzam (D) laika periodam no 1989. līdz 2009. gadam.

Gadskārtu platuma un klimatisko faktoru saistības

No 64 analizē iekļautajiem klimatiskajiem faktoriem 38 uzrādīja būtiskas ($\alpha = 0,05$) korelācijas ar priede un egles vidējo gadskārtu platumu sērijām laika periodā no 1989. līdz 2009. gadam, tomēr faktoru, kuriem nebija novērota kolinearitāte, skaits bija 18 (5.4. tab.).

Bērza un melnalkšņa gadskārtu platums korelēja ar 22 klimatiskajiem faktoriem, kuri nebija kolineāri.

5.4. tabula

Statistiski būtiskie Pīrsona korelācijas koeficienti starp klimatiskajiem faktoriem un vidējā gadskārtu platuma sērijām laika periodā no 1989. līdz 2009. gadam

Klimatiskais faktors	Egle					Priede			
	Jūrkalne	Tukums	Valka	Ludza		Jūrkalne	Tukums	Valka	Ludza
Iepr. JŪL, nokr.				0,51					0,40
Iepr. AUG, vid. temp.							-0,40		
Iepr. AUG, min. temp.								-0,50	
Iepr. AUG, maks. temp.	-0,41					-0,47			
Iepr. SEP, min. temp.		-0,43							
Iepr., SEP, nokr.									-0,47
Iepr. OKT, min. temp.									0,55
Iepr. OKT, nokr.								-0,61	
FEB, maks. temp.						0,51			
FEB, nokr.							0,55		
MAR, vid. temp.	0,47								
MAR, min. temp.							0,57		
MAR, nokr.			0,38						
APR, vid. temp.						0,38			
APR, maks. temp.				0,46					
JŪN, maks. temp.				-0,32					
JŪL, min. temp.							-0,44		0,44
AUG, nokr.		-0,64							
SEP, maks. temp.								-0,45	
	Melnalksnis					Bērzs			
Iepr. JUN, min. temp.						0,50			
Iepr. JŪL, vid. temp.									-0,43
Iepr. JŪL, min. temp.							-0,36		
Iepr. AUG, vid. temp.				0,45			-0,41		
Iepr. SEP, maks. temp.		-0,39							
Iepr. OKT, vid. temp.			0,42	0,43					
Iepr. OKT, min. temp.	0,31								
Iepr. NOV, nokr.	0,48	0,35	0,51						
Iepr. DEC, nokr.				-0,47					
JAN, maks. temp.		0,40							
FEB, vid. temp.	0,53								
FEB, nokr.							0,40		
MAR, nokr.		0,44							
APR, maks. temp.						0,39			
MAI, maks. temp.	0,28								
JŪN, nokr.							0,41		
JŪL, maks. temp.						-0,41		-0,44	-0,53
JŪL, nokr.						0,33			
AUG, vid. temp.			0,53						
AUG, min. temp.									-0,63
AUG, nokr.				-0,42					
SEP, nokr.		0,53							0,49

Paskaidrojumi: $\alpha < 0,05$; būtiskie korelācijas koeficienti parādīti tikai faktoriem, kuri neuzrādīja būtiskas savstarpējās saistības (kolinearitāti).

Egles gadskārtu platums būtiski korelēja ar astoņiem, bet priedes gadskārtu platums – ar 13 faktoriem, tomēr katrā konkrētajā audzē gadskārtu platumu ietekmējošo faktoru skaits nepārsniedza četrus. Līdzīga situācija vērojama arī melnalksnim un bērzam, kuru gadskārtu platums korelēja attiecīgi ar 13 un 11 faktoriem, un faktoru skaits attiecīgajā audzē nepārsniedza piecus. Tiek uzskatīts, ka gadskārtu platumu parasti ietekmē visvairāk limitējošais faktors (Speer, 2010), un vairāku faktoru ietekme skaidrojama ar augšanas apstākļu kopuma īpašībām. Latvija atrodas apskatīto sugu areālu vidusdaļā (Mauriņš, Zvirgzds, 2006), kur klimatiskajiem faktoriem nav izteikta limitējoša ietekme uz koksnes radiālo pieaugumu (Fritts, 2001). Līdz ar to sezonas laikā var būt novērojami vairāki periodi, kad meteoroloģiskajiem apstākļiem ir ietekme uz radiālā pieauguma veidošanos, un šo faktoru ietekmes iezīmes atspoguļojas gadskārtu platumā. Būtisko korelācijas koeficientu absolūtās vērtības svārstījās no 0,28 līdz 0,64, norādot, ka pētītajiem klimatiskajiem faktoriem ir atšķirīga ietekme, turklāt vērojamas sugai un teritorijai raksturīgas iezīmes (5.4. tab.). Lokālo faktoru ietekme bieži izpaužas sugas areāla vidusdaļā, kur nav izteikts viens limitējošs faktors (Fritts, 2001), tomēr klimata pārmaiņu kontekstā lokālā variēšana gadskārtu platuma mainībā vērojama arī kokiem, kas aug tuvu areāla robežām (Andreu et al., 2007; Wilmking et al., 2004). Eglei visizteiktākā pētīto klimatisko faktoru ietekme bija vērojama Tukuma un Ludzas parauglaukumos, par ko liecina augstākas absolūtās korelācijas koeficientu vērtības un būtisko faktoru skaits (5.4. tab.). Visvājākā pētīto klimatisko faktoru ietekme uz egles gadskārtu platumu novērota Valkas parauglaukumā, kur būtisks bija tikai viens faktors, kurš uzrādīja zemu korelāciju ($r = 0,38$). Priedes gadskārtu platumu ietekmēja trīs vai četri klimatiskie faktori, korelācijas koeficientu vērtības vidēji bija augstākas un starp parauglaukumiem atšķīrās mazāk, salīdzinot ar egli ($|r|$ attiecīgi 0,44 un 0,48). Pētītajiem klimatiskajiem faktoriem visizteiktākā ietekme (augstākā korelācijas koeficienta absolūtā vērtība) uz priedes gadskārtu platumu mainību novērota Valkas parauglaukumā un vismazāk izteiktā ietekme – Jūrkalnes parauglaukumā. Melnalkšņa gadskārtu platumu ietekmēja no trim līdz pieciem faktoriem un visspēcīgākā ietekme novērota Valkas parauglaukumā, kurā būtiski bija trīs faktori, bet korelācijas koeficientu vērtības bija visaugstākās. Visciešākās saistības starp pētītajiem faktoriem un bērza gadskārtu platumu novērotas Ludzas parauglaukumā, kurā būtiski bija četri faktori, bet visvājākās saistības novērotas Valkas parauglaukumā, kur būtisks bija tikai viens faktors.

Kopumā pētīto sugu gadskārtu platumu mainību galvenokārt ietekmēja apstākļi pirms koksnes pieauguma veidošanās, kā arī – mazākā mērā – apstākļi augšanas sezonas laikā (visizteiktākā bērzam) (5.4. tab.). Novērotās saistības ar klimatiskajiem faktoriem periodā

pirms gadskārtas veidošanās var tikt skaidrotas ar rezerves barības vielu apjomu un to saglabāšanos miera perioda laikā. Veģetācijas sezonas beigas ir periods, kad veidojas barības vielu rezerves (Barbaroux, Bréda, 2002; Oleksyn et al., 2000), un laika apstākļi var ietekmēt asimilācijas intensitāti un saražoto barības vielu daudzumu (Berry, Downton, 2012). Pavasarī rezerves barības vielas, kuras ir svarīgas ne tikai lapu kokiem, bet arī skujkokiem, tiek novirzītas augšanai un agrīnās koksnes veidošanai (Barnes et al., 1995; Pallardy, 2008). Barības vielu rezerves ir būtiskas arī salcietības nodrošināšanai ziemā (Ögren et al., 1997), kad, pazeminoties temperatūrai, paaugstinās šķīstošo ogļūdeņražu koncentrācija (Essiamah, Eschrich, 1985; Schaberg et al., 2000), lai mazinātu sala bojājumus audos (Pearce, 2001). Temperatūras svārstības ziemā ietekmē šķīstošo ogļūdeņražu koncentrāciju, līdz ar to var tikt samazināts barības vielu rezervju apjoms (Essiamah, Eschrich, 1985), ietekmējot koka augšanu sezonas sākumā (Barnes et al., 1995) un tādējādi izskaidrojot gadskārtu platumu saistību ar temperatūru ziemā un pavasarī (5.4. tab.). Ziemas temperatūras ietekmi var izskaidrot arī ar sala bojājumu intensitāti, kas ir tieši atkarīga no temperatūras (Pearce, 2001). Miera perioda nokrišņu daudzuma ietekme var tikt skaidrota ar sniega segas izolējošām īpašībām, kas samazina sala ietekmi uz sakņu sistēmu (Hardy et al., 2001). Negatīvā korelācija ar vasaras beigu temperatūru un pozitīvā korelācija ar vasaras nokrišņiem (5.4. tab.) ir skaidrojama ar ūdens deficīta ietekmi, kas rada sausuma stresu un samazina asimilāciju (Berry, Downton, 2012) un augšanu (Zang et al., 2012). Korelācijas ar klimatiskajiem apstākļiem vasaras periodā ir iespējams skaidrot arī ar tiešu ietekmi uz asimilāciju (Berry, Downton, 2012) un rezultējoši uz ksiloģenēzi (Zweifel et al., 2006). Piemēram, korelācijas analīze norāda, ka bērzam labvēlīgas ir siltas un mitras vasaras (5.4. tab.). Novērotās korelācijas ar meteoroloģiskajiem apstākļiem septembrī un oktobrī ir skaidrojamas ar augšanas sezonas ilgumu (Menzel, Fabian, 1999), kas ietekmē asimilāciju un produktivitāti (Lindner et al., 2010). Rudens nokrišņiem novērota gan pozitīva, gan negatīva ietekme, kas visticamāk skaidrojams ar audzes topogrāfiju un hidroloģisko stāvokli. Tomēr kopumā skujkokiem vairums no saistībām uzrādīja lokālas iezīmes (5.4. tab.), kas var tikt skaidrots ar atšķirībām meža tipos vai mikroklimatiskajos 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), norādot uz izteiktāku lielmēroga faktoru ietekmi.

Izveidotie modeļi

Katrai sugai un parauglaukumam izveidotajos lineārajos modeļos ietverti no viena līdz trim klimatiskajiem faktoriem (5.5. tab.).

Izveidotie lineārie gadskārtu platuma modeļi atkarībā no klimatiskajiem faktoriem

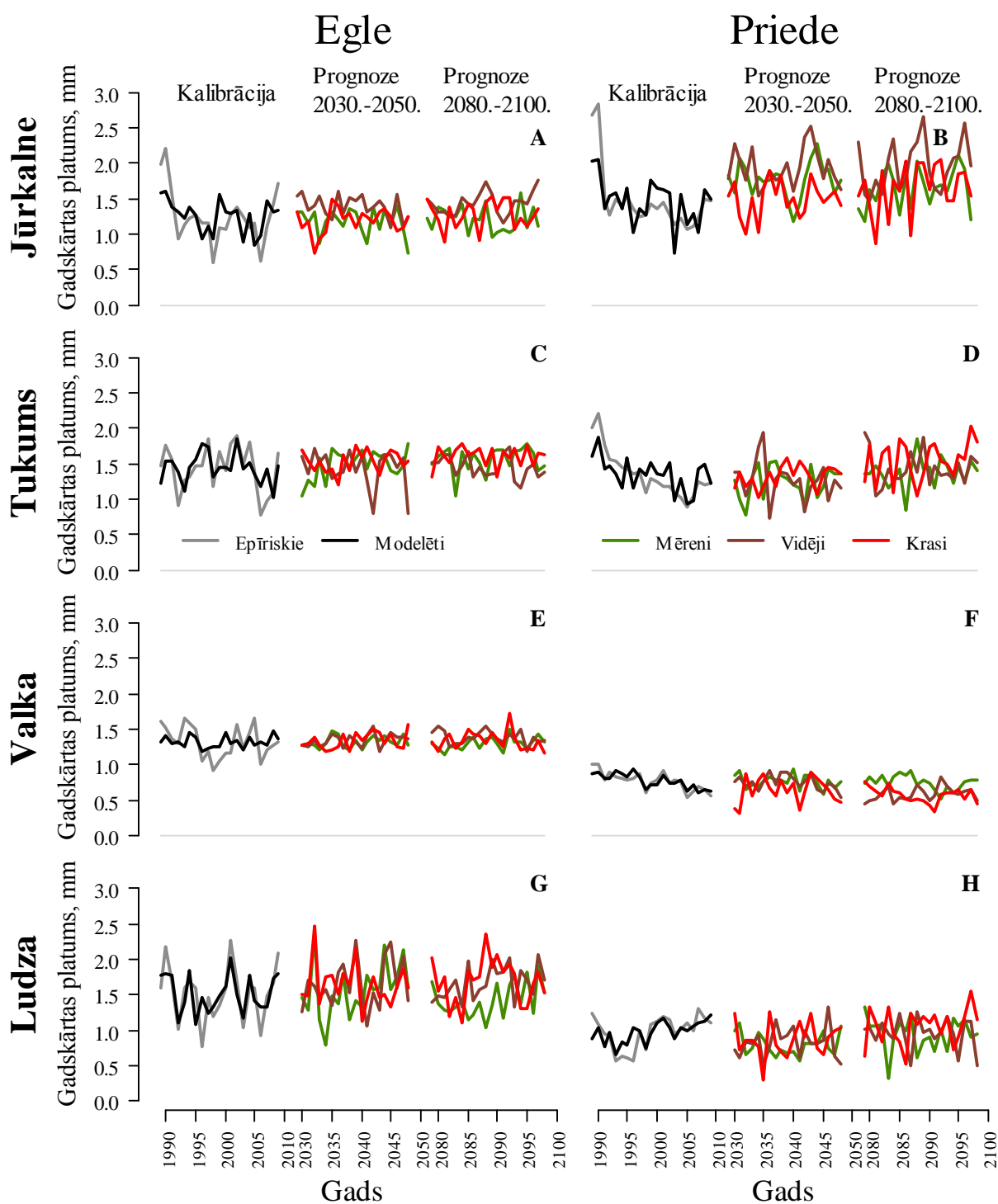
	R ²	AIC
Egle		
Jūrkalne		
$y=2,60483+0,08351*\text{vidT_mar}-0,0696*\text{maxT_AUG}$	0,29	-45,35
Tukums		
$y=1,8699-0,00561*\text{nok_aug}$	0,39	-56,29
Valka		
$y=1,1265+0,00487*\text{nok_mar}$	0,13	-61,93
Ludza		
$y=1,5426+0,0784*\text{maxT_apr}-0,0591*\text{maxT_jun}+0,0042*\text{nok_JUL}$	0,40	-47,2
Priede		
Jūrkalne		
$y=3,70251+0,0922*\text{maxT_feb}-0,112*\text{maxT_AUG}$	0,46	-43,8
Tukums		
$y=1,113+0,05275*\text{minT_mar}+0,0091*\text{nok_feb}$	0,45	-57,34
Valka		
$y=1,95253-0,030475*\text{maxT_sep}-0,039783*\text{minT_AUG}-0,00264*\text{nok_OKT}$	0,59	-101,3
Ludza		
$y=0,9492+0,0686*\text{minT_OKT}-0,00325*\text{nok_SEP}$	0,38	-69,26
Melnalksnis		
Jūrkalne		
$y=0,54901+0,043441*\text{vidT_feb}+0,00345*\text{nok_NOV}$	0,41	-55,6
Tukums		
$y=1,5589-0,053365*\text{maxT_SEP}+0,003231*\text{nok_sep}+0,005939*\text{nok_mar}$	0,52	-63,1
Valka		
$y=-1,475805+0,145476*\text{vidT_aug}+0,008536*\text{nok_NOV}$	0,45	-43,3
Ludza		
$y=-2,36551+0,221634*\text{vidT_AUG}+0,12925*\text{vidT_OKT}-0,00351*\text{nok_aug}$	0,48	-30,3

Paskaidrojumi: vidT – mēneša vidējās temperatūras; minT – mēneša vidējās minimālās temperatūras; maxT – mēneša vidējās maksimālās temperatūras; nok – mēneša nokrišņu summa, R² – 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.

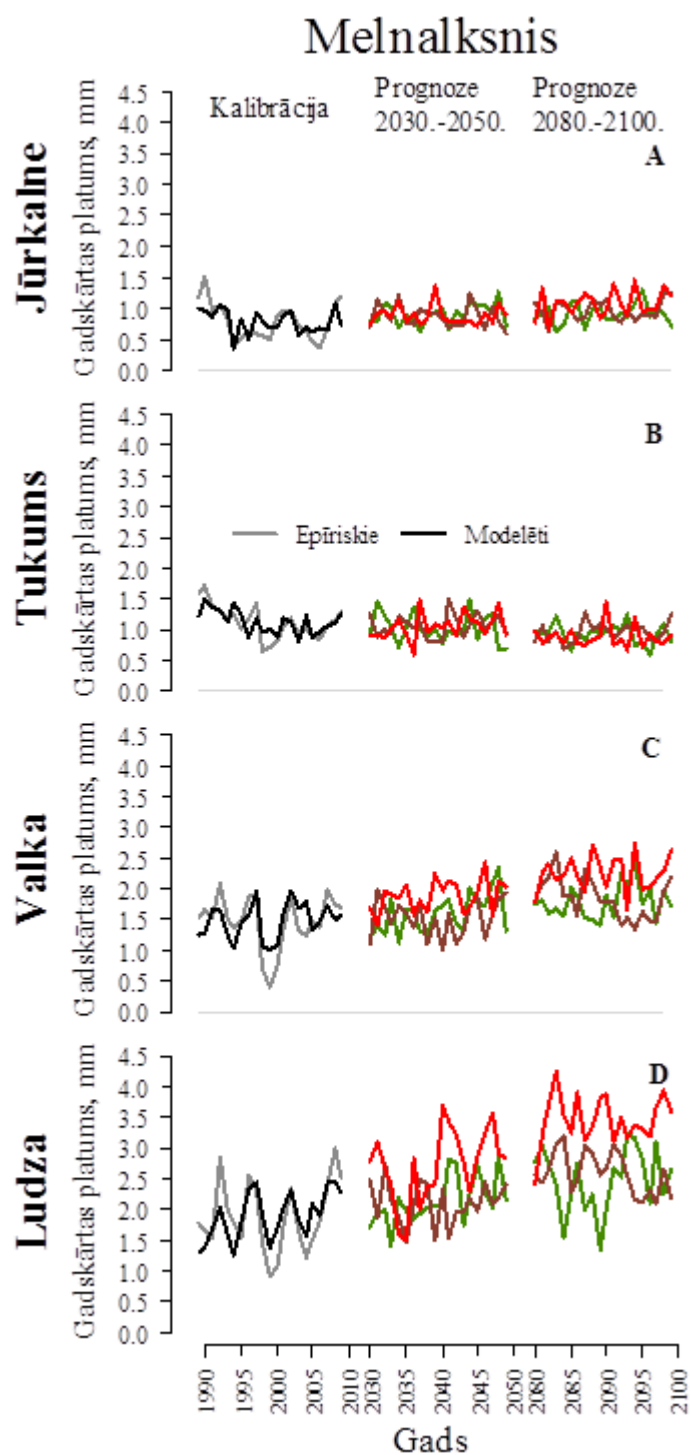
Modeļu determinācijas koeficients bija robežās no 0,13 līdz 0,59 – attiecīgi modeļiem, kas aprakstīja egles un priedes gadskārtu platumu Valkas parauglaukumos. Apskatot skujkokus, priedei izveidotie modeļi gadskārtu platuma variēšanu raksturoja precīzāk – vidējais determinācijas koeficients (R²) priedes un egles gadskārtu modeļiem bija attiecīgi 0,47 un 0,30. Līdzīga sakarība novērota arī modeļu AIC vērtībām, kuras bija -52,69 un -67,93 attiecīgi eglei un priedei. Lapkoku gadījumā precīzāki bija melnalksnim izveidotie modeļi ar vidējo determinācijas koeficientu 0,47, tomēr bērzam neizdevās izveidot modeļus ar

pietiekami augstu determinācijas koeficientu, tādēļ tas turpmākā analīzē nav iekļauts. Kopumā arī pārējām sugām izstrādāto modeļu determinācija vērtējama kā samēra zema (Sokal, Rohlf, 1995), kas pirmkārt varētu būt skaidrojams ar klimatisko faktoru ietekmes intensitātes mainību starp gadiem, kā arī ar faktoru mijiedarbību (Fritts, 2001), par ko liecināja arī būtisko korelāciju kopums (5.4. tab.). Zemo modeļu determināciju iespējams skaidrot arī ar ierobežoto pārbaudīto klimatisko faktoru skaitu, t.i., apskatītie klimatiskie faktori var nepilnīgi raksturot gadskārtas un meteoroloģisko faktoru saistības. Koku augšanu vai tās turpmāko jutību var būtiski ietekmēt arī īslaicīgi intensīvi meteoroloģiskie apstākļi (Adams et al., 2009; Oberhuber et al., 1998). Kaut arī meteoroloģiskajiem ekstrēmiem raksturīga salīdzinoši reta iestāšanās varbūtība, to nepieciešams paredzēt modelī, tomēr meteoroloģisko ekstrēmu novērtēšanai ir nepieciešams lielāks mērījumu sēriju garums, ko savukārt šajā pētījumā limitē vecuma trends (Fritts, 2001). Meteoroloģisko faktoru ietekme uz gadskārtu platumu var atšķirties arī atkarībā no paša faktora intensitātes. Piemēram, ziemas temperatūras paaugstināšanās līdz noteiktam sliekšnim var uzlabot koka augšanu, bet, pārkāpjot šo sliekšni, var tikt traucēts miera periods, kas rada sala bojājumus un samazina augšanu (Ögren et al., 1997). Šāda duāla viena faktora ietekme samazina lineāra modeļa precizitāti. Gadskārtu platumam raksturīga arī autokorelācija, kas aizkavē vides faktoru ietekmes izpausmi (Cook, 1985) un tādējādi var izskaidrot uz gadskārtu platuma vidējām vērtībām balstīto modeļu samazināto efektivitāti.

Izveidoto modeļu kalibrācija (5.6. un 5.7. att.) parādīja, ka atlasītie modeļi spēj rekonstruēt gadskārtu platumu, saglabājot augstu sinhronitāti (5.6. tab.), kas vidēji augstākā bija melnalksnim un eglei bija nedaudz augstāka, salīdzinot ar priedi (vidējais GLK attiecīgi 0,71, 0,69 un 0,65). Lai arī modelēto un empīrisko gadskārtu platuma sēriju vidējās vērtības bija tuvas, vairumā gadījumu modelēto gadskārtu platuma ikgadējā variācija ir acīmredzami zemāka, kā rezultātā korelācija starp empīriskajām un modelētajām vērtībām bija aptuveni 0,60..0,70 (5.6. tab.). Šādas atšķirības visticamāk skaidrojamas ar autokorelāciju vai ar meteoroloģisko ekstrēmu ietekmes īpatnībām, kas netika iekļautas kā parametri izveidotajos modeļos. Kopumā korelācija starp empīriskajām un modelētajām sērijām priedei bija augstākā, nedaudz mazāk melnalksnim un eglei (vidējās koeficientu vērtības attiecīgi 0,72, 0,68 un 0,58). Visprecīzāk gadskārtu platumu eglei raksturoja Ludzas, bet priedei – Valkas parauglaukumam izveidotais modelis. Abi šie parauglaukumi atrodas valsts austrumu daļā, kur klimats ir skarbāks un līdz ar to meteoroloģisko faktoru ietekme uz koku augšanu izteiktāka (Matisons, Brūmelis, 2012; Speer, 2010). Turpretim melnalksnim visprecīzāk gadskārtu platumu modeļi, kas izstrādāti Tukuma audzēm.



5.6. attēls. Gadskārtu platumu modelētās vērtības eglei un priedei 50–90 gadu kambiālajā vecumā parauglaukumos pie Jūrkalnes (A, B), Tukuma (C, D), Valkas (E, F) un Ludzas (G, H) kalibrācijas periodā (1989.–2009. gadi) un nākotnē (2030.–2050. gadi un 2080.–2100. gadi) mērenu (zaļā līnija), vidēju (brūnā līnija) un krasu (sarkanā līnija) klimata pārmaiņu scenārija gadījumos.



5.7. attēls. Gadskārtu platumu modelētās vērtības melnalksnim 50–90 gadu kambiālajā vecumā parauglaukumos pie Jūrkalnes (A), Tukuma (B), Valkas (C) un Ludzas (D) kalibrācijas periodā (1989.–2009. gadi) un nākotnē (2030.–2050. gadi un 2080.–2100. gadi) mērenu (zaļā līnija), vidēju (brūnā līnija) un krasu (sarkanā līnija) klimata pārmaiņu scenārija gadījumos.

Pīrsona korelācijas un sinhronitātes koeficienti starp empīriskajām un modelētajām gadskārtu platumu sērijām kalibrācijas periodam no 1989. līdz 2009. gadam.

Pētījuma objekts	Korelācija				GLK		
	Egle	Priede	Melnalksnis		Egle	Priede	Melnalksnis
Jūrkalne	0.60	0.72	0.64		0.60	0.75	0.65
Tukums	0.65	0.71	0.72		0.80	0.70	0.80
Valka	0.36	0.81	0.67		0.55	0.55	0.70
Ludza	0.70	0.66	0.69		0.80	0.60	0.70

Paskaidrojumi: GLK – sinhronitātes koeficients.

Modelētie gadskārtu platumi

Balstoties uz izveidotajiem modeļiem, katram parauglaukumam aprēķinātas (modelētas) gadskārtu platumu sērijas priedei un eglei (5.6. att.) kā arī melnalksnim un bērzam (5.7. att.) 50–90 gadu kambiālajā vecumā prognozētajos nākotnes klimatiskajos apstākļos. Eglei statistiski būtiskas atšķirības starp empīrisko un prognozēto sēriju vidējām vērtībām netika konstatētas nevienā no teritorijām (5.7. tab.). Tādējādi, pieņemot, ka egles augšanas jutība neizmainīsies (Speer, 2010), egles pieaugums arī nākotnē prognozējams līdzīgs pašreizējam. Atšķirību trūkums varētu būt skaidrojams ar modeļos iekļauto klimatisko faktoru savstarpēju izlīdzināšanos (temperatūra), kā arī ar prognozētām neizteiktām nokrišņu izmaiņām nākotnē. Tomēr, pieaugot temperatūrai, palielinās iztvaikošana, kas ietekmē pieejamā ūdens daudzumu (Trajkovic, 2005) un tādējādi var izmainīt egles augšanu parauglaukumos, kur būtiska ietekme ir nokrišņu daudzumam (Tukums, Valka) (5.5. tab.). Tādēļ turpmāk modeļos vēlams pārbaudīt un iekļaut temperatūru un ūdens pieejamību apvienojošus faktoros.

Priedei statistiski būtiskas atšķirības starp pašreizējo un prognozēto vidējo gadskārtu platumu 50-90 gadu kambiālajā vecumā redzamas Jūrkalnes un Valkas parauglaukumos atsevišķu klimata pārmaiņu scenāriju gadījumā (5.6. att., 5.7. tab.). Jūrkalnes parauglaukumā vidēju klimata pārmaiņu scenārija gadījumā prognozēts gadskārtu platuma pieaugums par 11 un 14% attiecīgi 2030.–2050. un 2080.–2100. gadu periodos, liecinot, ka piejūras apstākļos klimata izmaiņām varētu būt pozitīva ietekme. Tomēr temperatūras paaugstināšanās, kas nosaka šādu gadskārtu platuma palielināšanās prognozi, var veicināt arī pieauguma samazinājumu, kavējot fotosintēzi (Haldimann, Feller, 2004). Valkas parauglaukumā, kur klimatiskie apstākļi ir kontinentālāki, krasu pārmaiņu gadījumā jau tuvākajā periodā, kā arī – vidēju un krasu pārmaiņu gadījumā tālākajā periodā – sagaidāma gadskārtu platuma samazināšanās attiecīgi par 16, 24 un 25 %. Šādas atšķirības Līdzīgas klimata pārmaiņu ietekmes uz koku augšanu prognozes izteiktas arī citos pētījumos Ziemeļeiropā, kuros

norādīts uz lokālo faktoru ietekmes pastiprināšanos (Lindner et al., 2010). Tā kā klimatisko faktoru saistības ar koku pieaugumu mainās gan klimata pārmaiņu, gan vecuma ietekmē (Fritts, 2001), klimata-augšanas saistību precizēšanai būtu nepieciešama garāku empīrisko sēriju analīze.

5.7. tabula

Atšķirības starp empīrisko un modelēto gadskārtu sēriju vidējām vērtībām un to būtiskums (p-vērtības) priedei un eglei 50–90 gadu kambiālajā vecumā Jūrkalnes, Tukuma, Valkas un Ludzas parauglaukumos mērenu, vidēju un krasu klimata pārmaiņu scenārija gadījumos

Pētījuma objekts	Egle			Priede			Melnalksnis	
	atšķirības, mm	p-vērtība		atšķirības, mm	p-vērtība		atšķirības, mm	p-vērtība
Jūrkalne								
Mēreni, 2030. -2050. gadi	0.08	>0.05		-0.30	>0,05		-0.13	>0,05
Vidēji, 2030.-2050. gadi	-0.14	>0.05		-0.46	0.01		0.09	>0,05
Krasi, 2030.-2050. gadi	0.07	>0.05		-0.02	>0,05		-0.12	>0,05
Mēreni, 2080.-2100. gadi	0.05	>0.05		-0.18	>0,05		0.14	>0,05
Vidēji, 2080.-2100. gadi	-0.18	>0.05		-0.50	0.01		-0.19	0.04
Krasi, 2080.-2100. gadi	-0.03	>0.05		-0.18	>0.05		-0.30	0.01
Tukums								
Mēreni, 2030. -2050. gadi	-0.04	>0.05		0.14	>0.05		0.10	>0.05
Vidēji, 2030.-2050. gadi	0.00	>0.05		0.09	>0.05		0.06	>0.05
Krasi, 2030.-2050. gadi	-0.08	>0.05		0.01	>0.05		0.06	>0.05
Mēreni, 2080.-2100. gadi	-0.13	>0.05		-0.02	>0.05		0.20	0.02
Vidēji, 2080.-2100. gadi	-0.01	>0.05		-0.09	>0.05		0.16	>0.05
Krasi, 2080.-2100. gadi	-0.17	>0.05		-0.20	>0.05		0.24	0.01
Valka								
Mēreni, 2030. -2050. gadi	0.01	>0.05		0.01	>0.05		-0.13	>0.05
Vidēji, 2030.-2050. gadi	-0.03	>0.05		0.03	>0.05		-0.05	>0.05
Krasi, 2030.-2050. gadi	-0.01	>0.05		0.12	0.02		-0.41	0.01
Mēreni, 2080.-2100. gadi	0.02	>0.05		0.02	>0.05		-0.32	0.03
Vidēji, 2080.-2100. gadi	-0.07	>0.05		0.19	0.01		-0.37	0.01
Krasi, 2080.-2100. gadi	-0.02	>0.05		0.20	0.01		-0.78	0.01
Ludza								
Mēreni, 2030. -2050. gadi	-0.06	>0.05		0.18	>0.05		-0.24	>0.05
Vidēji, 2030.-2050. gadi	-0.15	>0.05		0.14	>0.05		-0.21	>0.05
Krasi, 2030.-2050. gadi	-0.11	>0.05		0.10	>0.05		-0.83	0.01
Mēreni, 2080.-2100. gadi	0.10	>0.05		0.02	>0.05		-0.58	0.01
Vidēji, 2080.-2100. gadi	-0.14	>0.05		0.03	>0.05		-0.69	0.01
Krasi, 2080.-2100. gadi	-0.17	>0.05		-0.08	>0.05		-1.56	0.01

Paskaidrojumi: būtiskās atšķirības parādītas treknrakstā; negatīva atšķirība norāda uz gadskārtu platuma palielināšanos.

Melnalksnim izveidotie modeļi paredz izteiktākas izmaiņas gadskārtu platumā 50–90 gadu kambiālajā vecumā salīdzinājumā ar skujkokiem (5.7. att., 5.6. tab.), tomēr šīs izmaiņas atšķiras starp teritorijām: trīs no četrām teritorijām iespējama augšanas uzlabošanās gan tuvākajā gan tālākā nākotnē galvenokārt vidēju un krasu klimata pārmaiņu gadījumā. Prognozēto melnalkšņa gadskārtu platuma pieaugums svārstās no 21 līdz 82 % Jūrkalnes parauglaukumā tālākā nākotnē vidēju pārmaiņu gadījumā un Ludzas parauglaukumā tālākā nākotnē krasu pārmaiņu gadījumā. Tukuma parauglaukumā izstrādātie modeļi paredz gadskārtu platumu samazinājumu par 18 un 22 % mērenu un krasu klimata pārmaiņu gadījumā. Kopumā klimata pārmaiņas melnalkšņa augšanā uzrāda pozitīvas tendences, kas atbilst melnalkšņa ekoloģiskajām prasībām pēc augstākās temperatūras par ko liecina tā dienvīdu izplatība, kas sasniedz līdz Vidusjūru (Mauriņš, Zvirgzds, 2006). Prognozētais gadskārtu platuma samazinājums Tukuma parauglaukumā, visticamāk, ir skaidrojams ar lokālajām īpašībām.

Lai gan vidējā gadskārtu platuma izmaiņas skujkokiem prognozētas tikai atsevišķos parauglaukumos un melnalksnim vairumā no parauglaukumiem (5.7. tab.), redzams, ka gadskārtu platumu ikgadējā variēšana pieaugs neatkarīgi no izvēlētā klimata pārmaiņu scenārija un sugas (5.6. un 5.7. att.). Tomēr sagaidāms, ka gadskārtu platumu autokorelācijas dēļ šī variācija varētu būt neliela mazāka nekā paredz izveidotie modeļi. Lai arī modeļi samazina augšanas ekstrēmu izpausmi, tie norāda uz krasu augšanas izmaiņu iespējamību nākotnē. Melnalksnim izveidotie modeļi kopumā izteiktus un krasus gadskārtu platumu kritumus neparedz (5.7. att.), tomēr periods, kurā ar modeļa palīdzību iespējams ticami prognozēt gadskārtu platumu, ir pārāk īss, lai raksturotu augšanas ekstrēmu biežuma izmaiņas. Plašāk interpretējot iegūtos rezultātus, jāņem vērā, ka izstrādātie modeļi koncentrējas tikai uz klimatisko faktoru ietekmi uz gadskārtu platumu variēšanu, tomēr koku turpmāko augšanu var būtiski ietekmēt vairāku faktoru – kaitēkļu, ugunsgrēku u.c. – izmaiņu pastarpināta ietekme (Dale et al., 2001).

Secinājumi

Balstoties uz mēneša vidējiem klimatiskajiem faktoriem, izveidoti matemātiskie modeļi koku gadskārtu platumu mainības raksturošanai un izmaiņu prognozēšanai, tomēr jāņem vērā, ka pieaugumu mainību var ietekmēt arī ar klimatu nesaistīti vai pastarpināti saistīti faktori. Gadskārtu platuma prognozes norāda, ka egles gadskārtu platums nākotnes klimatā 50–90 gadus veciem kokiem varētu saglabāties līdzīgs pašreizējam. Priedei sagaidāmas būtiskas atšķirības – 21. gs. vidū un beigās Latvijas rietumu daļā tās gadskārtu platums varētu pieaugt, bet ziemeļu daļā – samazināties (nozīmīgākās atšķirības izveidotajos modeļos saistītas ar

rudens perioda nokrišņu ietekmi). Šādas izmaiņas gan varētu būt sagaidāmas mērenu vai krasu klimata pārmaiņu gadījumā. Neatkarīgi no vidējā gadskārtu platuma izmaiņām ir sagaidāms, ka abām sugām visās apskatītajās teritorijās pieaugs gadskārtu platuma ikgadējā variēšana. Melnalksnim nākotnes klimatiskajos apstākļos galvenokārt (trijos no 4 analizētajiem pētījumu objektiem) prognozējams gadskārtu platuma pieaugums.

Turpmākajos pētījumos gadskārtu platumu prognozēšanai būtu vēlams veidot modeļus, balstoties uz standartizētām sērijām, kā arī paplašināt iekļaujamo faktoru spektru. Tā rezultātā būtu jāveido saliktie modeļi, kas raksturo gadskārtu platuma ilgtermiņa un īstermiņa mainību, kā arī gadskārtu platuma saistību ar audzes parametriem un lokāliem vides apstākļiem (augšnes auglību, mitruma apstākļiem, koku savstarpējo konkurenci u. tml.). Kā pārbaudāmie faktori būtu jāiekļauj arī vides rādītāji, kas saista temperatūru un ūdens pieejamību, kā arī paaugstinātas temperatūras negatīvo ietekmi uz pieaugumu.

Papildus informāciju par koku radiālo pieaugumu saistībā ar meteoroloģiskajiem apstākļiem iespējams iegūt, analizējot tā veidošanos veģetācijas perioda ietvaros. Lai to īstenotu, divas sezonas veikts atsevišķu koku stumbru apkārtmēru izmaiņu monitorings, izmantojot automātiski nolasāmus lentas tipa dendrometrus. Izmantotā metode ir mazāk darbietilpīga, tomēr nenodrošina iespējas absolūti precīzi fiksēt caurmēra pieauguma sākuma un beigu datumu, ko var izdarīt, katru nedēļu veicot kokā mikrourbumus un analizējot šūnu dalīšanos ievāktajos paraugos.

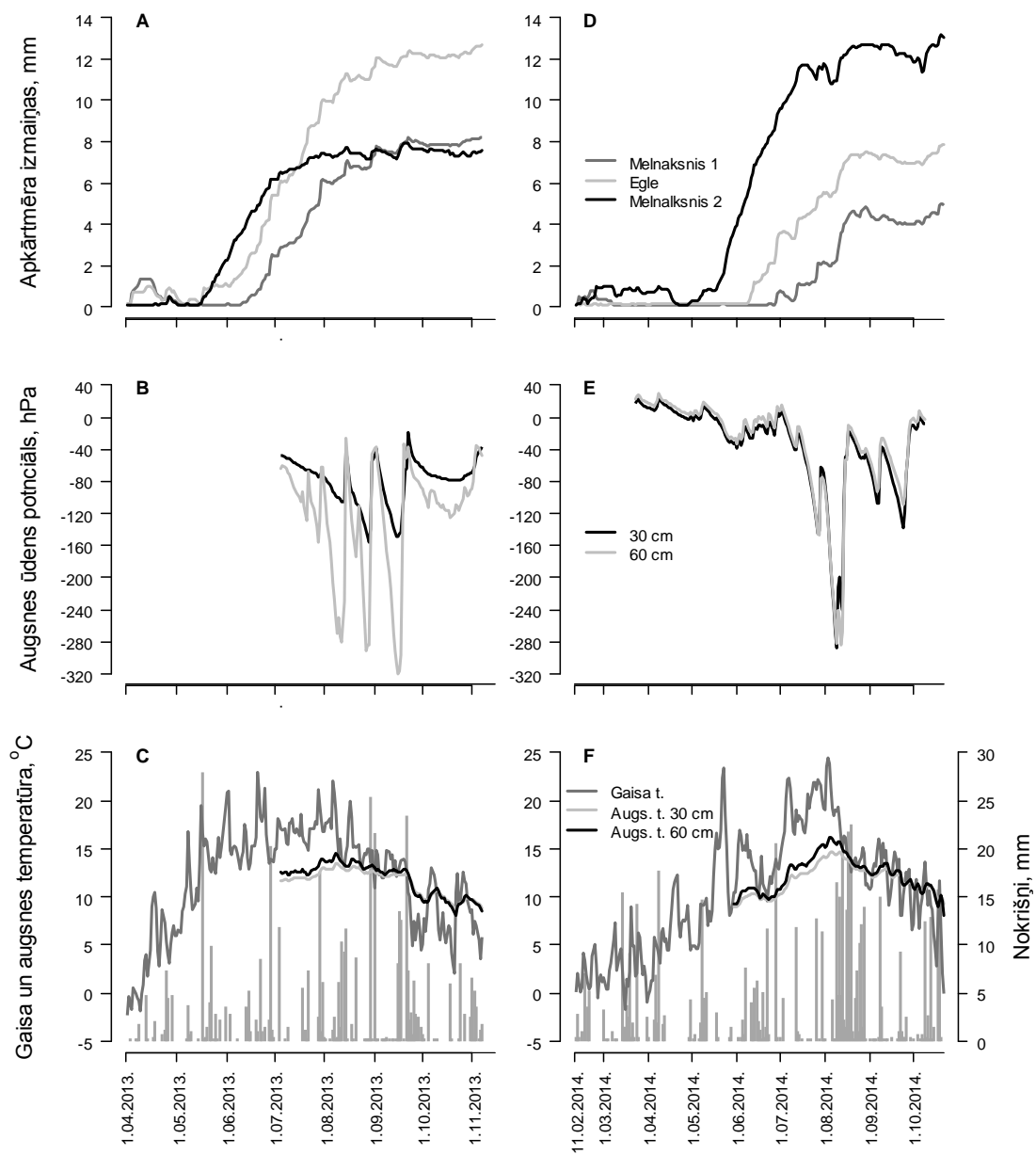
Pirmās stumbra apkārtmēra izmaiņas 2014. gadā ir novērotas februāra otrajā dekādē Latvijas rietumu daļā melnalkšņiem (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), kas sakrīt ar pirmajām pozitīvajām gaisa temperatūras vērtībām, bet parastajai eglei (*Picea abies* (L.) H. Karst.) tajā pašā pētījumu objektā stumbra apkārtmēra izmaiņas ir fiksētas tikai, sākot ar jūnija pirmo dekādi. Parastajai priedei (*Pinus sylvestris* L.) Latvijas centrālajā daļā pirmās stumbra apkārtmēra izmaiņas tajā pašā gadā novērotas nedaudz vēlāk. Novērotās stumbra apkārtmēra svārstības (1-2 mm robežās) kā pavasarī, pirms caurmēra pieauguma sākšanās, tā rudenī pēc tā beigām (sākot no septembra), saistītas ar sulas plūsmu kokā, un šajos periodos apkārtmēram konstatēta vidēja korelācija ar temperatūru un nokrišņu apjomu. Arī pieauguma veidošanās periodā pēc stiprākām lietus gāzēm vērojama neliela (0,5-1 mm) un īslaicīga stumbra apkārtmēra palielināšanās.

Salīdzinot caurmēra pieauguma veidošanās datus ar augstuma pieauguma (iegūti projekta iepriekšējos posmos, no citiem kokiem), redzams, ka to sākuma laiks faktiski sakrīt, bet kulminācijas laiks nedaudz nobīdīts – caurmēra pieauguma kulminācija notiek aptuveni par 2-3 nedēļām vēlāk.

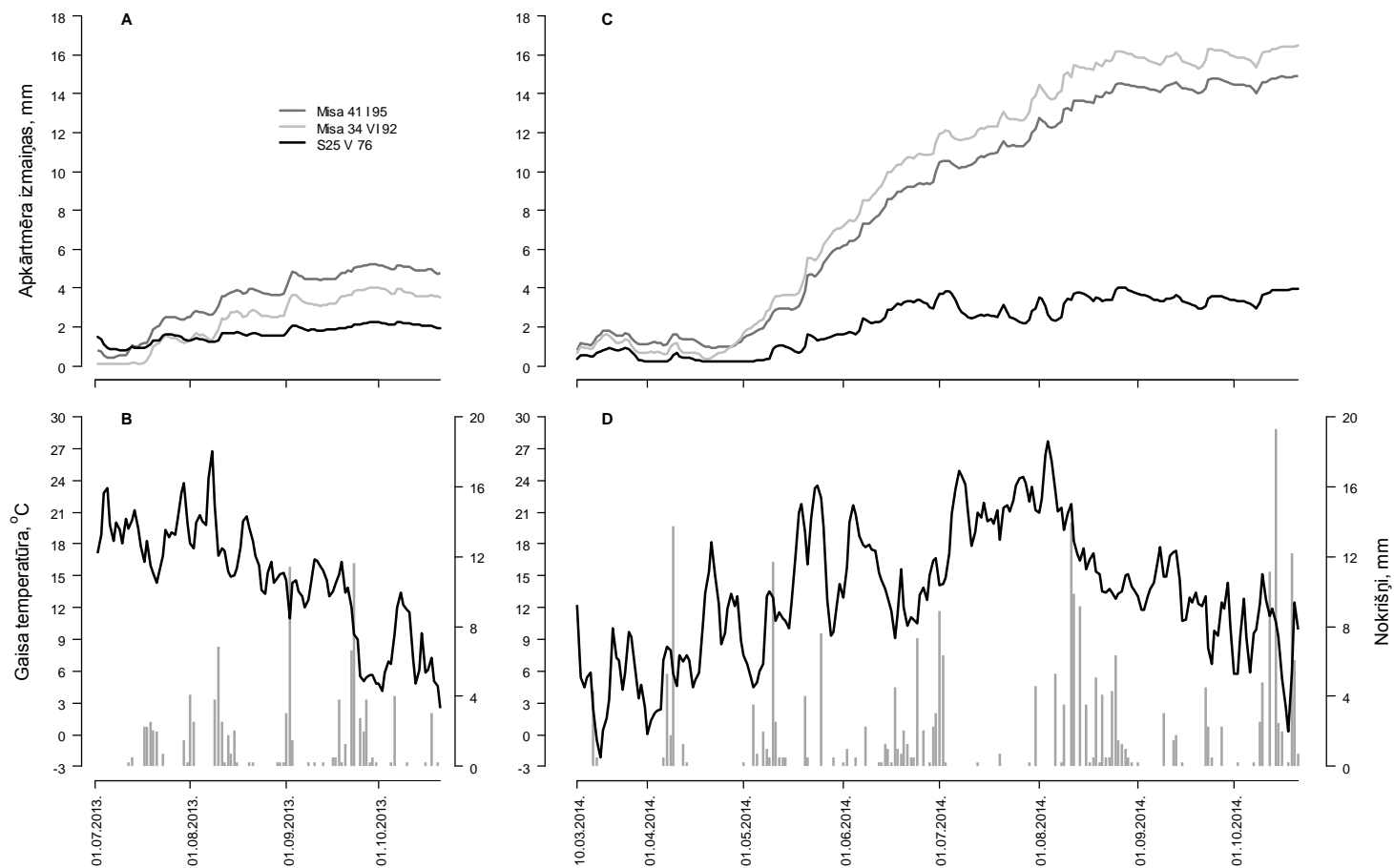
Novērotajiem kokiem nozīmīga stumbru apkārtmēra palielināšanās sākas līdz ar vidējās gaisa temperatūras pieaugumu (aptuveni maija vidū) un beidzas augustā pēc augstāko sezonas gaisa temperatūru vērtību sasniegšanas. Vērtēto priežu apkārtmēri 2014. gadā pieauga par 16 mm, egļu par 8 mm un melnalkšņu par 13 mm (5.8., 5.9. att.). Konstatēts, ka priedēm no ģimenēm ar augstāko ražību (piemēram, Misa – 5.9. att.) caurmēra pieaugums sākas vienlaikus ar priedēm no mazražīgām ģimenēm, tomēr atšķirības augšanas intensitātē (mm diennaktī) vērojamas jau no pirmajām augšanas nedēļām un izteiktākās tās ir pieauguma kulminācijas laikā.

Nozīmīga augsnes ūdens potenciāla samazināšanās, kāda novērota 2014. gada augusta pašā sākumā, nav atstājusi nozīmīgu ietekmi uz koku caurmēra pieaugumu (5.8. att.), iespējams, tādēļ, ka tā notikusi caurmēra pieauguma veidošanās beigu posmā.

Konstatētas būtiskas caurmēra pieauguma veidošanās atšķirības gan starp koku sugām, gan novērojumu gadiem, turklāt būtiska ir arī šo faktoru mijiedarbība (5.8. att.). Tas, kā arī pārāk mazais analīzē iekļauto koku skaits varētu būt nozīmīgākie iemesli, kādēļ meteoroloģisko faktoru un caurmēra pieauguma saiknes raksturošanai izveidoto modeļu precizitāte bija pārāk zema, lai tos būtu lietderīgi izmantot caurmēra pieauguma izmaiņu prognozēm. Par datu nepietiekamības iespējamo ietekmi liecina arī tas, ka projekta ietvaros, analizējot apšu augstuma pieaugumu ievērojami lielākam koku skaitam sezonas ietvaros, bija iespējams definēt to augšanas intensitāti (mm diennaktī) būtiski ietekmējošos meteoroloģiskos faktorus un izveidot attiecīgas prognozes sagaidāmajā klimatā (Jansons et al., 2014). Šajā gadījumā konstatēts, ka kokiem (kloniem) ar agrāku augšanas sākumu konstatētas nozīmīgas augšanas priekšrocības, tāpat konstatēts, ka klimata izmaiņas pozitīvi ietekmēs apšu augstuma pieaugumu nākotnē.



5.8. attēls. Stumbra apkārtmēra izmaiņas parastajai eglei un melnalksnim.



5.9. attēls. Stumbra apkārtmēra izmaiņas parastajai priedei.

6. Parastās priedes Latvijas provenienču produktivitāte un kvalitāte

Austrumvācijā

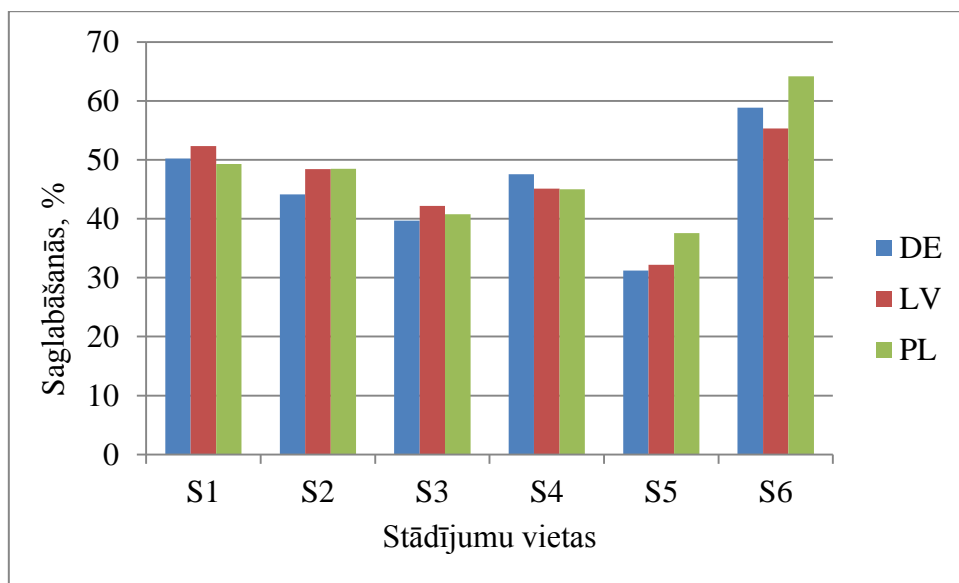
Parastās priedes provenienču stādījumi, kuros ietvertas arī sešas Latvijas priežu proveniences (Tukums, Tērvete, Andrupene, Misa, Smiltene, Jaunkalsnava), Vācijā ierīkoti 1975. gadā sešās vietās (6.1. att.). Dati iegūti no Meža ģenētikas institūta vadošā pētnieka Volker Schneck.



6.1. attēls. Priežu provenienču stādījumu izvietojums Vācijā (<https://maps.google.com>).

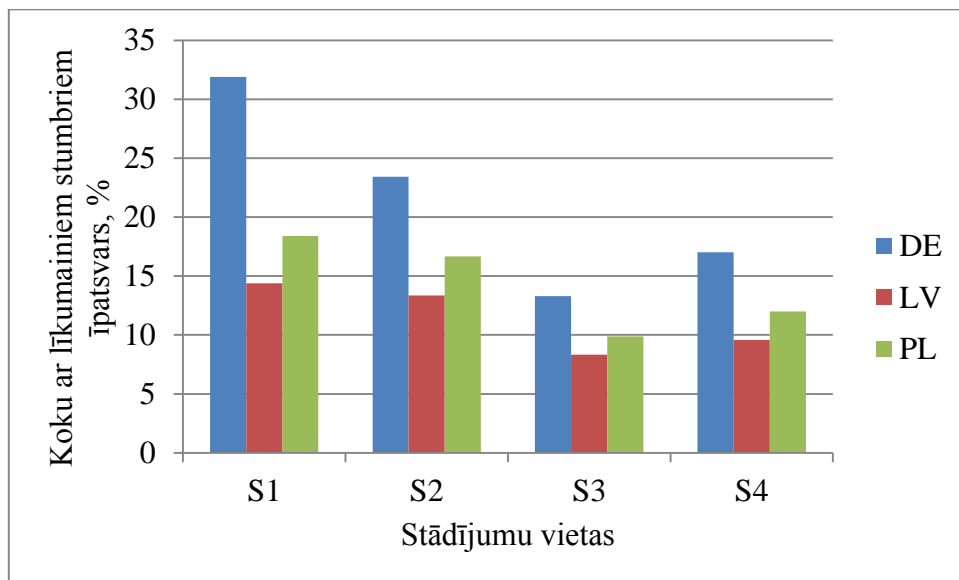
Visi eksperimenti ierīkoti uz smilšainām, priedei piemērotām, augsnēm, ar viengadīgiem stādiem 100 koku bloku parcelēs četros atkārtojumos, stādīšanas attālums 2x0,5 m. Retināšana veikta 1995. gadā, pēc uzmērīšanas, izcērtot 15-25% priežu (pa eksperimentiem atšķirīgi). Stādījumos ne vairāk kā 25 priedēm no katras parces 30 gadu vecumā uzmērīts caurmērs, augstums un novērtēta stumbra forma 3 ballu skalā, kur 1 – taisns, 3 – divi un vairāk līkumi.

Vērtējot koku saglabāšanos 20 gadu vecumā, konstatēta statistiski būtiska stādījuma vietas un proveniences ietekme, bet redzams, ka provenienču saglabāšanās atšķirības starp dažādām valstīm ir nenozīmīgas (6.2. att.). Vācijas proveniencēm (kopumā 36) saglabāšanās bija robežas no 35% līdz 54%, Latvijas – no 43% līdz 48%; proveniences no Latvijas saglabājušas labāk nekā gandrīz 40% vietējo priežu provenienču. Kopumā zemie saglabāšanās rādītāji saistīti ar augstu stādījumu sākotnējo biezumu un ilgu to augšanas laiku bez retināšanas.



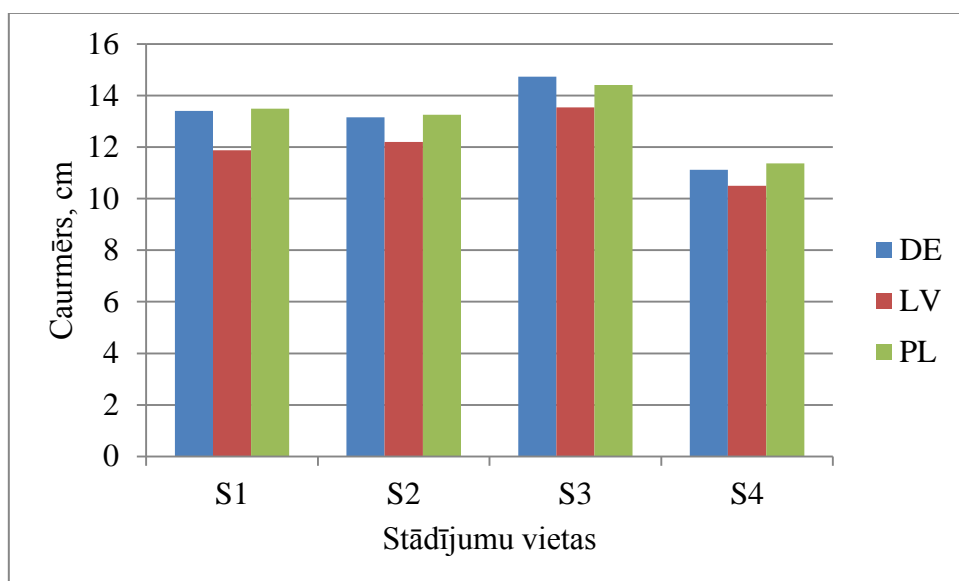
6.2. attēls. Priežu no dažādām valstīm (DE-Vācija, LV-Latvija, PL-Polija) vidējā saglabāšanās stādījumos Vācijā 20 gadu vecumā.

Konstatēta statistiski būtiska stādījuma vietas un proveniencas ietekme uz koku ar līkumainiem stumbriem īpatsvaru (6.3. att.). Latvijas priežu kvalitāte, līdzīgi kā citās analizētās starptautisku eksperimentu sērijās, bija augstākā: vidējais koku ar līkumainiem stumbriem īpatsvars gandrīz divreiz mazāks nekā Vācijas priedēm (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 9-14%, kas liecina par augstāku kvalitāti nekā 80% no Vācijas priežu proveniencēm.



6.3. attēls. Priežu no dažādām valstīm (DE-Vācija, LV-Latvija, PL-Polija) vidējais koku ar līkumainiem stumbriem (3 balles) īpatsvars stādījumos Vācijā 30 gadu vecumā.

Koku caurmērs (6.4. att.) un augstums Latvijas priedēm stādījumos Vācijā vidēji ir 92% no vietējām priedēm konstatētā (atšķirība statistiski būtiska), starpība saglabājusies līdzīga kā iepriekšējā uzmērīšanas reizē (20 gadu vecumā). Starpība 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.



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

Kopumā var secināt, ka, klimatam Latvijā kļūstot līdzīgam kā tam, kā tas šobrīd ir Vācijā, vietējās priežu proveniences nespēs pilnībā izmantot augšanas apstākļu uzlabojumu, līdz ar to nenodrošinās maksimālo pieauguma palielināšanos. Tomēr jāņem vērā, ka šajos eksperimentos iegūto rezultātu ietekmē ne tikai klimats, bet arī izmaiņas fotoperiodā.

7. Priedes un egles augstuma pieaugumu ietekmējošie klimatiskie faktori

Pētījuma uzdevuma izpildei tika izmantotas divas pieejas:

- 1) augstuma pieauguma rekonstrukcija (izmantojot esošus un vācot papildus datus), analīze ar dendrochronoloģijas metodēm un klimata izmaiņu ietekmes prognozēšana (priedei);
- 2) augusta dzinumu ietekmes uz augstuma pieauguma garumu novērtēšana (eglei).

Augstuma pieaugumu rekonstrukcija

Augstuma pieaugumu rekonstrukcijai dati ievākti no paraugkokiem parastās priedes mežaudzēs MPS Kalsnavas un Šķēdes MN, kā arī no egles audzes MPS Kalsnavas MN. Parastās egles datu apstrāde nav nodrošinājusi vēlamo rezultātu, ņemot vērā ikgadējo pieaugumu identificēšanas problēmu – salīdzinot mieturu skaitu ar gadskārtu skaita izmaiņu noteiktā stumbra posmā (kur gadskārtu skaits tiek iegūts no ripām abos posma galos) bieži konstatējamās nesakritības, kas liecina par vairāk nekā viena mietura formēšanos atsevišķās augšanas sezonās. Šādus papildus mieturus parasti iespējams atšķirt pēc tievākiem zariem, taču ne vienmēr. Tādēļ egles augstuma pieauguma izmaiņu vērtēšanai veikta atkārtota iepriekšējās sezonās ierīkoto parauglaukumu uzmērīšana un augusta dzinumu ietekmes uz augstuma pieauguma garumu analīze. Savukārt parastajai priedei dati iegūti sekmīgi, veikta dendrochronoloģiskā analīze, identificējot būtiskos pieaugumu noteicošos meteoroloģiskos faktorus dažādā koku vecumā, kuras rezultāti apkopoti manuskriptā „Effect of climatic factors on height increment of Scots pine from 1906 to 2012 in Latvia”.

Parastās priedes paraugkoki izvēlēti pēc nejaušības principa 100-110 gadus vecās audzēs lānā, līdzenā reljefā. Izvēlēti tikai I Krafta klases koki (lai mazinātu iespējamo konkurences ietekmi uz rezultātu) ar simetrisku vainagu (bez redzamas malas efekta ietekmes) un bez redzamiem stumbra bojājumiem. Nozāgētie koki pārzāgēti garenvirzienā iespējami paralēli serdei. Katrā mietura vietā, veicot papildus zāgējumu, atsegts punkts, kur zari atdalās no serdes, lai veiktu precīzu mietura augstuma (attāluma starp mieturiem) mērījumu (7.1. att.). Papildus no katra koka dažādā augstumā ievāktas šķērsriezuma ripas, veikta to slīpēšana un gadskārtu skaitīšana, un iegūtie dati izmantoti, lai pārliicinātos, ka attiecīgajā stumbra posmā uzskaitīti visi mieturi. Paraugu ievākšana veikta koku ziemas miera periodā.

Analīzei izmantotā mēneša vidējā, minimālā un maksimālā gaisa temperatūra un nokrišņu summa iegūta no *Climatic Research Unit* (CRU) novērojuma punktiem, kas atradās pēc iespējas tuvāk paraugu ņemšanas vietām (Harris et al., 2014). Ņemot vērā, ka meteoroloģiskie apstākļi var

ietekmēt koku augšanu ne tikai nekavējoši, bet arī nākamajos gados (Salminen, Jalkanen, 2005), to ietekme analizēta periodam no septembra divus gadus pirms augstuma pieauguma veidošanās (t-2) līdz augstam augstuma pieauguma veidošanās gadā (t).

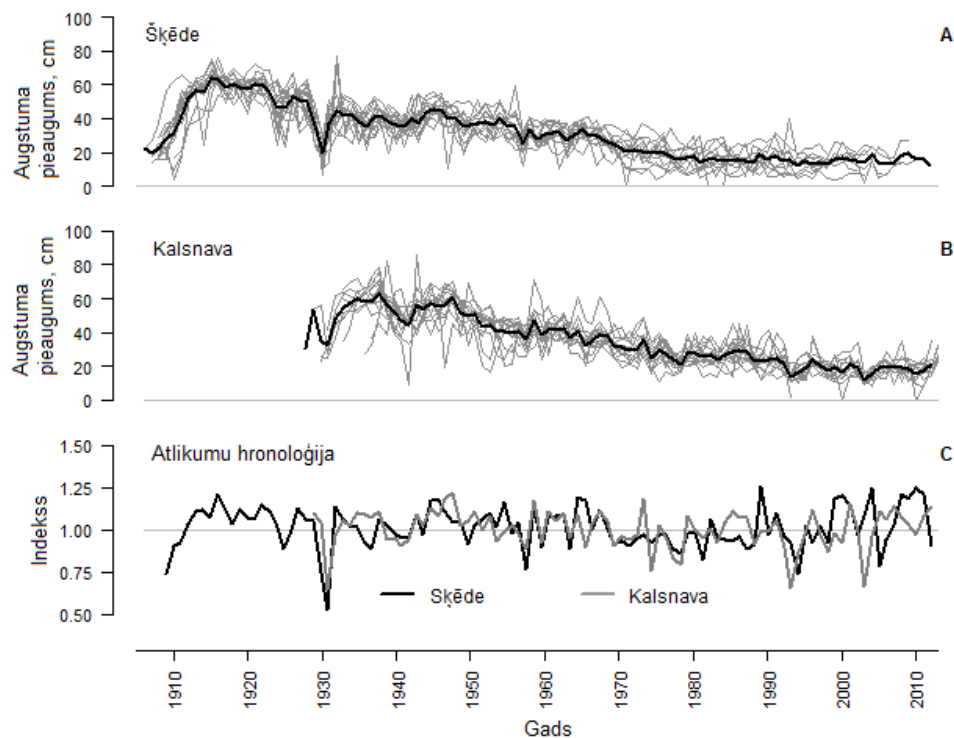


7.1. attēls. Parastās priedes augstuma pieauguma datu ieguve.

Visām iegūtajām augstuma pieaugumu sērijām veikta kvalitātes pārbaude, izmantojot grafiskās un statistiskās šķērsdatēšanas metodes. Statistiskajai šķērsdatēšanai izmantota COFECHA programma (Grissino-Mayer, 2001). Mērījumu sērijas, kuras savstarpēji parādīja zemu līdzību, kā arī zemu sinhronitāti, pārmērīja, un to kvalitāti pārbaudīja atkārtoti. Kvalitātei atbilstošo datu kopu raksturošanai izmantoja vidējo starpsēriju korelāciju indeksētām sērijām (IC), sinhronitāti (GLK) (Fritts, 2001), kā arī populācijas signāla (EPS) (Wigley et al., 1984) indeksu. Aprēķini tika veikti programmā R (R Core Team, 2013), izmantojot moduli dplR (Bunn, 2008). Analīzē izmantotas detrendētas augstuma pieauguma vērtības, iegūtas ar programmu ARSTAN. Korelācijas un atbildes reakcijas vērtēšanai starp koku augstuma detrendētajām vērtībām un meteoroloģiskajiem faktoriem izmantota programma DendroClim2002 (Biondi, Waikul, 2004). Analīzes veiktas visam novērojumu periodam, kā arī 50 gadu vidējām vērtībām, lai raksturotu konstatēto sakarību noturību (izmaiņas) novērojumu periodā.

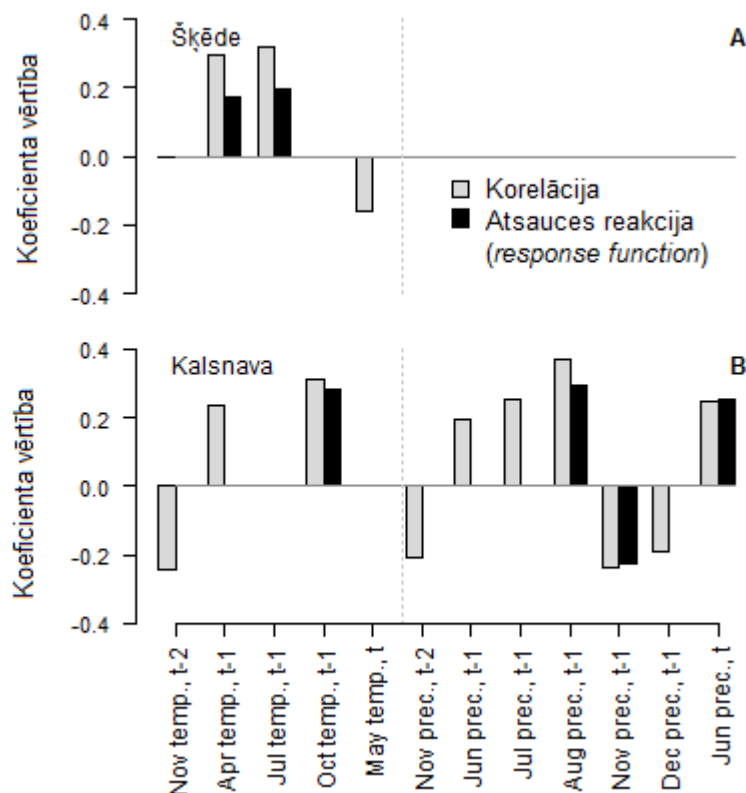
Paraugkokiem no abām Latvijas daļām konstatēta nozīmīga augstuma pieauguma samazināšanās, palielinoties koku vecumam (7.2. att. A, B). Novērotā augstuma pieauguma starpgadu mainība bija relatīvi zema. Starp abām paraugkoku ievākšanas vietām konstatētas līdzīgas augstuma pieauguma izmaiņas pa gadiem, spilgtāk izteiktās no tām – ļoti zems augstuma

pieaugums 1930., 1957. un zināmā mērā arī 1978. gadā. Tomēr konstatēts, ka pieauguma izmaiņu līdzība pagājušā gadsimta beigās un šī gadsimta sākumā samazinās. Šo tendenci, iespējams, nosaka krasākas klimata izmaiņas.



7.2. attēls. Priedes augstuma pieaugumu hronoloģija paraugkokiem no MPS Šķēdes (A) un Kalsnavas (B) MN (vidējā vērtība ar melnu līniju) un augstuma pieaugumu atlikumu hronoloģija (C) (Jansons et al., 2014, submitted).

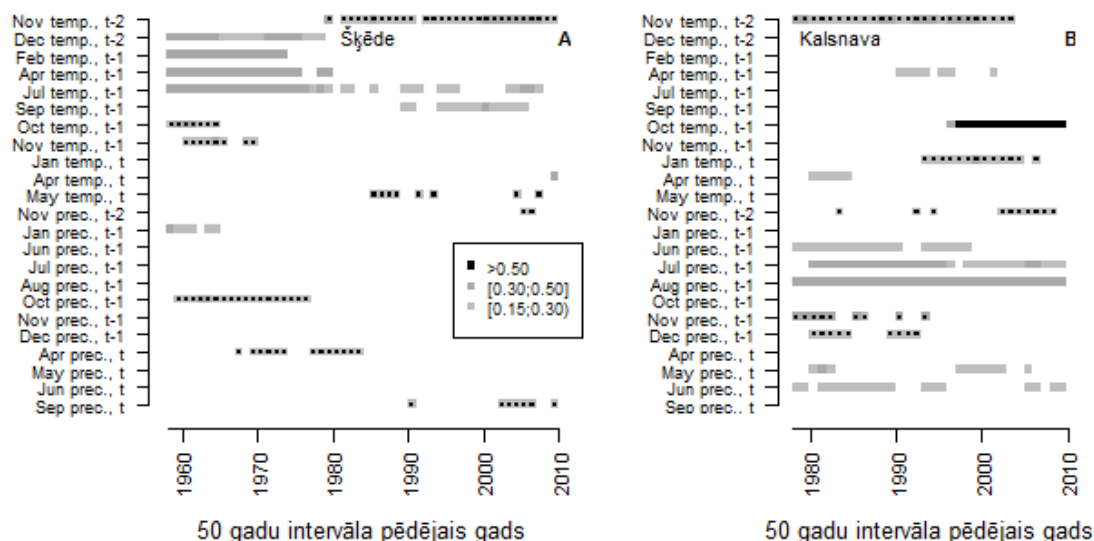
Konstatēts, ka Latvijas austrumu daļā (Kalsnavā) bija vairāk koku augstumu būtiski ($p < 0,05$) ietekmējošu klimatisko faktoru nekā rietumu daļā (Šķēdē): attiecīgi desmit un trīs (7.3. att.). Koeficientu vērtības bija relatīvi zemas ($\leq 0,40$), liecinot, ka nevienam no vērtētajiem klimatiskajiem faktoriem nebija izšķirošas ietekmes uz augstuma pieauguma garumu. Šķēdē koku augstumu pieaugumu pozitīvi ietekmēja iepriekšējā gada aprīļa un jūnija gaisa temperatūra, neizteikti ($r = -0,16$) negatīvi – kārtējā gada maija temperatūra. Kalsnavā nozīmīgākie augstuma pieauguma garumu pozitīvi ietekmējošie faktori bija iepriekšējā gada aprīļa un oktobra temperatūra un kārtējā gada augusta nokrišņu summa, negatīvi – ziemas perioda (novembra, decembra) nokrišņu summa.



temp.- vidējā temperatūra; prec. – nokrišņu summa

7.3. attēls. Statistiski būtisko sakarību starp augstuma pieaugumu (atlikumu hronoloģija) un meteoroloģiskajiem faktoriem vērtības MPS Šķēdes (A) un Kalsnavas (B) MN (Jansons et al., 2014, submitted).

Veicot analīzi pa 50 gadu laika posmiem, konstatēts, ka 20. gadsimta laikā abās teritorijās mainījušies priedes augstuma pieaugumu būtiski ietekmējošie klimatiskie faktori (7.4. att.). Saglabājas sakarība, ka augstuma pieaugumu galvenokārt ietekmē iepriekšējā, nevis kārtējā (augstuma pieauguma veidošanās gada) meteoroloģiskie apstākļi. Šķēdē ziemas miera perioda (decembris t-2, februāris t-1) un pavasara (aprīlis t-1) temperatūra, kā arī rudens nokrišņi (negatīvas korelācijas, oktobris t-1) zaudē savu būtisko ietekmi uz augstuma pieaugumu ap pagājušā gadsimta 70-tajiem gadiem. Jūlija temperatūras ietekme uz koku augstumu bija būtiska visā analizētajā periodā. Atsevišķu faktoru, piemēram, kārtējā gada maija temperatūras, būtiska ietekme konstatēta tikai analizētā perioda beigu daļā. Konstatēts, ka rudens temperatūrai (oktobris t-1) ir būtiska ietekme uz koku augstumu Šķēdē pagājušā gadsimta sākumā, bet Kalsnavā – sākot ar tā beigām un šī gadsimta sākumā.



temp.- vidējā temperatūra; prec. – nokrišņu summa

7.4. 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., 2014, submitted).

Kalsnavā konstatēts, ka ziemas (novembris t-2, novembris, decembris t-1) temperatūru būtiskā ietekme uz augstuma pieaugumu saglabājas tikai līdz pagājušā gadsimta vidum, otrajai pusei, savukārt augusta (t-1) nokrišņu summa būtiski ietekmē augstuma pieaugumu visā analizētajā periodā.

Abās pētījumā ietvertajās teritorijās konstatēti atsevišķi faktori, kuru ietekme bijusi būtiska tikai kādā (dažos) no 50 gadu laika posmiem, tomēr šādas sakarības, visticamāk, ir nejaušas.

Iegūtie rezultāti ir saskaņā ar citos pētījumos konstatēto, ka koku augstuma pieaugumu nozīmīgi ietekmē ne tikai kārtējās, bet arī iepriekšējo sezonu meteoroloģiskie apstākļi (Sokal, Rohlf, 1995), nosakot nākamā gada dzinuma posmu aizmetņu formēšanos vasaras periodā (Lanner, 1976), un sala bojājumus (enerģijas patēriņu) ziemas miera periodā. Šķēdē konstatētā pozitīvā iepriekšējā gada aprīļa temperatūras ietekme, iespējams, saistāma ar garāku veģetācijas periodu, kas nodrošina iespējas uzkrāt vairāk barības vielu (White et al., 1999) un tādējādi veicina lielāka skaita nākamā gada dzinuma posmu aizmetņu formēšanos (Junttila, 1986). Šķēdē atsevišķos novērojumu perioda posmos konstatētā negatīvā augstuma pieauguma un kārtējā gada maija temperatūras saikne var būt saistīta ar temperatūras ietekmē paaugstinātu transpirāciju (Trajkovic, 2005), kas var radīt ūdens deficītu un negatīvi ietekmēt šūnu augšanu (Pallardy, 2008). Par klimata izmaiņu pozitīvo ietekmi liecina iepriekšējā gada ziemas perioda temperatūru

analīze: to ietekme uz augstuma pieaugumu bijusi būtiska lielākoties pagājušā gadsimta sākumā, kad klimats bija vēsāks.

Kalsnavā, kur klimats ir kontinentālāks, priedes augstuma pieaugumu būtiski ietekmē vairāk klimatisko faktoru. Nozīmīga ietekme uz augstuma pieaugumu visā analizētajā periodā ir iepriekšējā gada augusta nokrišņu summai. Līdzīga ar mitruma deficītu saistīta ietekme konstatēta arī Centrāleiropā (Lebourgeois et al., 2010; Oberhuber et al., 1998). Ņemot vērā, ka priedes augstuma pieauguma veidošanās beidzas jūlijā, iespējams, ka mitruma deficīts ietekmē barības vielu rezervju formēšanos un tādējādi arī nākamā gada augstuma pieaugumu. To netieši apliecina arī būtiskā iepriekšējā gada oktobra temperatūru ietekme, kas tāpat saistāma ar barības vielu rezervju uzkrāšanos un pārvietošanos kokā (White et al., 1999), līdz ar to ar koku vitalitāti (Pallardy, 2008). Augstāka vitalitāte nodrošina labāku koka pārziemošanu (Pearce, 2001), īpaši ziemās ar gariem atkušņiem, kas paaugstina koka jutību pret sala bojājumiem (Hänninen, 2006). Pārziemošanas perioda nozīmīgo ietekmi uz priedes augstuma pieaugumu apliecina arī būtiskā iepriekšējo gadu novembra temperatūras un nokrišņu ietekme, kas, visticamāk, saistāma ar novirzēm salcietības formēšanās procesā (Repo et al., 2000), jo novēlota salcietības iestāšanās krasas temperatūras pazemināšanās gadījumā izraisa sala bojājumus (Pallardy, 2008; Pearce, 2001), tādējādi pazeminot koka vitalitāti.

Kopumā var secināt, ka augstuma pieaugumu būtiski ietekmējošie faktori atšķiras dažādos analizētā laika perioda posmos un teritorijās. 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.

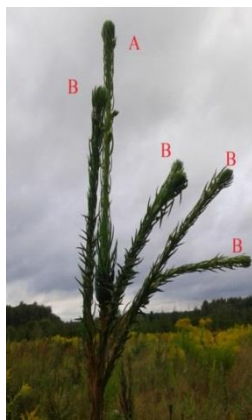
Augusta dzinumu ietekme

Iepriekšējos projekta posmos, analizējot gan eksperimentālos stādījumus, gan jaunaudzēs, konstatēts, ka labvēlīgos augšanas apstākļos egles pastiprināti veido augusta dzinumus. Tādēļ šajā pārskata periodā veikti atkāroti mērījumi vairākos stādījumos ar mērķi novērtēt šīs tendences (un

tāpat arī klimata izmaiņu, nodrošinot garāku veģetācijas periodu) ietekmi uz koku augstuma pieaugumu.

Dati ievākti egļu brīvapputes pēcnācēju pārbaužu eksperimentā Nr.748 (56° 46' Z pl., 24° 48' A gar.) 3 netālu izvietotos stādījumos (Nr.1, Nr.3 un Nr.4) bijušajā lauksaimniecības zemē, 24 koki parcelē (6 koki 4 rindās), stādīšanas attālums 2 x 2,5 m. Stādījumos pārstāvētas attiecīgi 54, 96 un 16 ģimenes. Kokiem uzmērīts augstums 13 gadu vecumā un trīs iepriekšējo augšanas sezonu augstuma pieaugumi, noteikta augusta dzinumu sastopamība 10., 11. un 13. augšanas sezonas beigās (atsevišķi nosakot tos galotnes dzinuma sānu un/vai gala pumpuriem – 7.5.att.a), noteikta arī padēlu un dubultu (vairāku) galotņu (7.5.att.b) sastopamība (augšējos trīs mieturos norādot arī to veidošanās gadu, bet citos gadījumos – augstumu no sakņu kakla), plaukšanas laiks (iedalot kokus 4 klasēs, metodika aprakstīta 2013.g. pārskatā) un sala bojājumi 11. augšanas sezonas sākumā. Augusta dzinumi 10. un 11. augšanas sezonas beigās, kas bija attīstījušies no galotnes dzinuma sānu pumpuriem, tika klasificēti trīs grupās atkarībā no to garuma (pumpurs paplaucis, garums 1-5 cm, garums virs 5 cm) un skaita (skaits 1 vai 2, skaits 3 vai 4, skaits lielāks par 4). Pazīmju sakarības analizētas 3412 kokiem (stādījumā Nr. 1 – 1131 kokam, stādījumā Nr. 3 – 1930 kokiem un stādījumā Nr. 4 – 351 kokam).

Mērījumi veikti arī egļu brīvapputes pēcnācēju pārbaužu eksperimentā Nr.725 (56° 46' Z pl., 24° 48' A gar.), bijušajā lauksaimniecības zemē. Pārstāvētas 60 ģimenes 4-8 atkārtojumos, 12 koki parcelē (vienā rindā), stādīšanas attālums 2,5 x 2,5 m. Kokiem uzmērīts augstums 8 gadu vecumā un pēdējā gada augstuma pieaugums, novērtēti augusta dzinumi (atsevišķi nosakot tos galotnes dzinuma sānu un/vai gala pumpuriem), uzskaitīti stumbra defekti (vairākas galotnes, padēli) un bojājumi (dzīvnieku u.c. izraisīti). Kopā eksperimentā novērtēti 3887 koki.



a

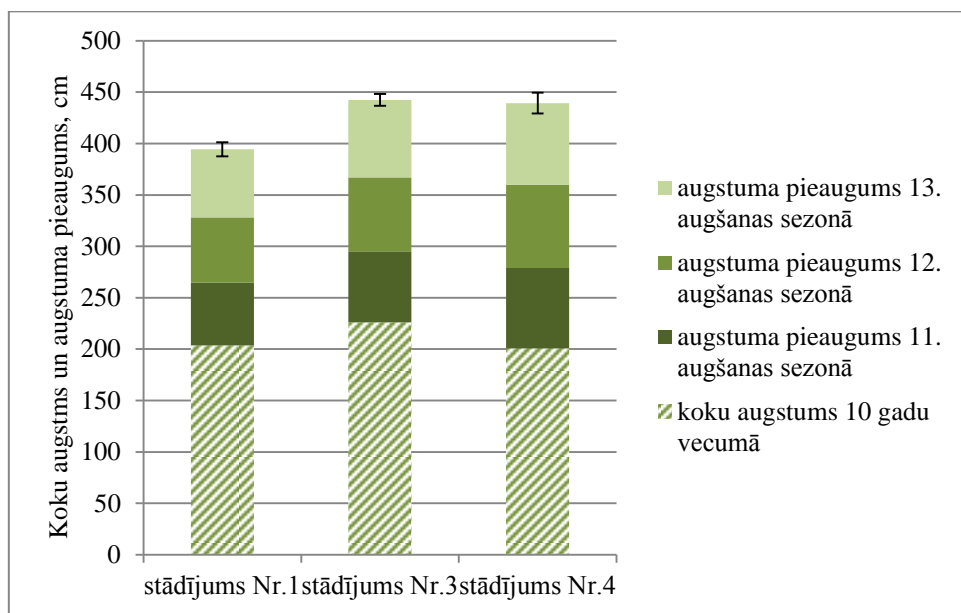


b

7.5.attēls. Augusta dzinumi (a) galotnes dzinuma gala pumpuram (A) un galotnes dzinuma sānu pumpuriem (B); dubulta galotne (b) otrajā mieturī no galotnes.

Eksperiments Nr.748.

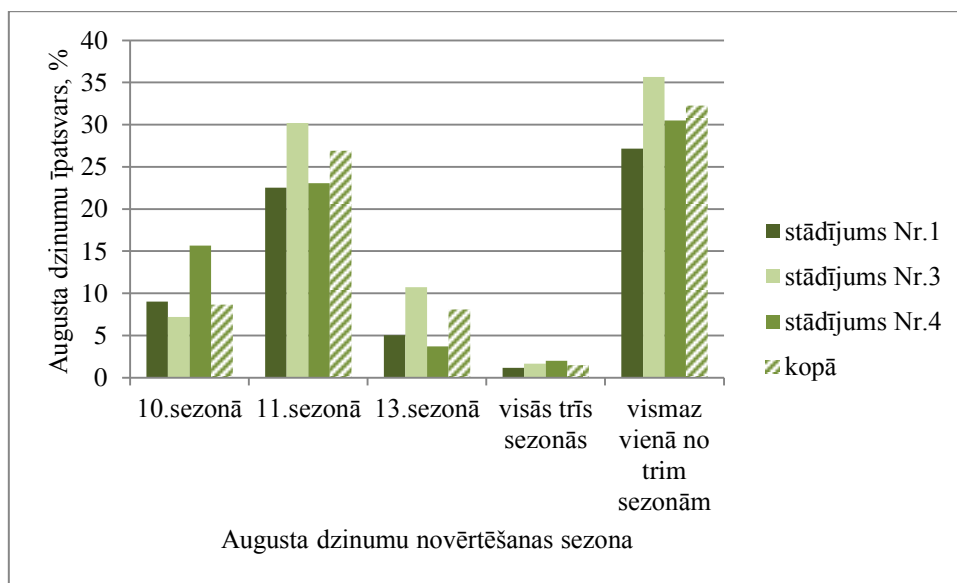
Koku saglabāšanās eksperimentā bija 83 % (stādījumos Nr. 1, Nr. 3 un Nr. 4 attiecīgi 78 %, 90 % un 93 %). Pēdējo trīs augšanas sezonu (11., 12., 13.) vidējais koku augstuma pieaugums eksperimenta stādījumos Nr. 1, Nr. 3 un Nr. 4 bija attiecīgi $64 \pm 1,1$ cm, $72 \pm 0,9$ cm un $80 \pm 1,7$ cm (7.6.att.), bet koku augstums 13 gadu vecumā – attiecīgi $394 \pm 6,8$ cm, $442 \pm 5,8$ cm un $439 \pm 10,2$ cm. Atšķirības starp dažādos stādījumos konstatētajiem koku augstuma pieaugumiem bija statistiski būtiskas ($p < 0,001$) – gan trīs sezonu vidējam pieaugumam, gan konkrēta gada (11., 12., 13.) pieaugumam; koku augstums stādījumos Nr. 3 un Nr. 4 būtiski neatšķīrās, bet pārsniedza stādījumā Nr. 1 konstatēto.



Ticamības intervāli norādīti koku augstumam 13 gadu vecumā.

7.6.attēls. Koku augstums 13 gadu vecumā un iepriekšējo trīs sezonu augstuma pieaugums atsevišķos eksperimenta stādījumos.

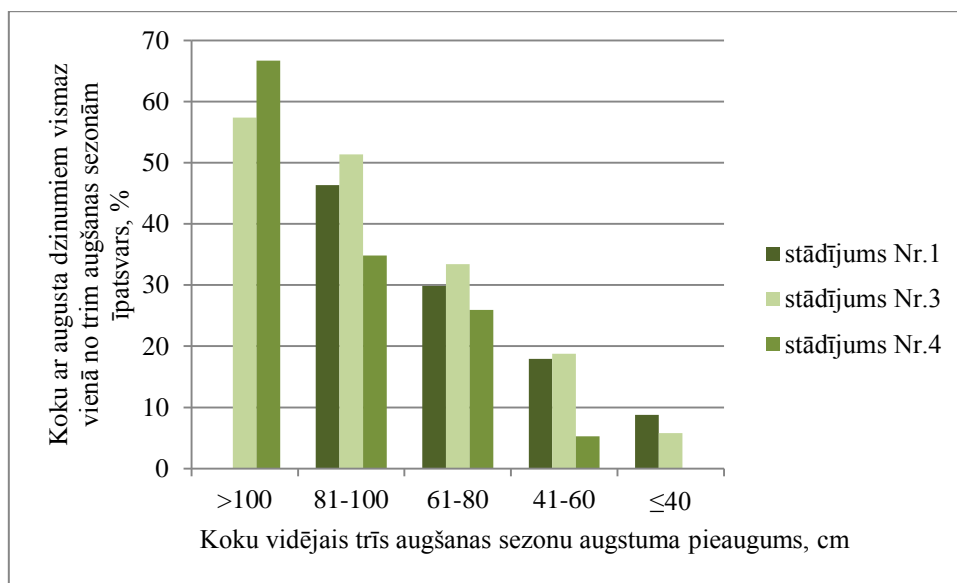
Koku ar augsta dzinumiem īpatsvars dažādos gados eksperimentā kopumā bija: 10. augšanas sezonas beigās 8,7 %, 11. augšanas sezonas beigās 26,9 %, 13. augšanas sezonas beigās 8,1 %; augsta dzinumi visos trīs vērtējumos konstatēti 1,5 % koku, bet augsta dzinumi vismaz vienā vērtēšanas reizē – 32,3 % koku (7.7.att.).



7.7.attēls. Koku ar augusta dzinumiem īpatsvars dažādās novērojumu sezonās atsevišķos eksperimenta stādījumos un visā eksperimentā kopumā.

Mūsu pētījumā analizēta sakarība starp augusta dzinumu veidošanos un koku ātraudzību gan individuālu koku, gan ģimeņu līmenī. Koku produktivitātes saistības raksturošanai ar augusta dzinumu veidošanos izvēlētas šādas pazīmes: produktivitātes raksturošanai – koku augstums 13 gadu vecumā un pēdējo trīs gadu vidējais augstuma pieaugums, bet augusta dzinumu sastopamības raksturošanai – „augusta dzinums vismaz vienā no trim sezonām”. Koku produktivitātes pazīmju un augusta dzinumu saistības analīze veikta, gan grupējot kokus pēc augstuma pieauguma un vērtējot augusta dzinumu sastopamību šajās grupās, gan arī tieši salīdzinot augstuma pieaugumu kokiem ar un bez augusta dzinumiem.

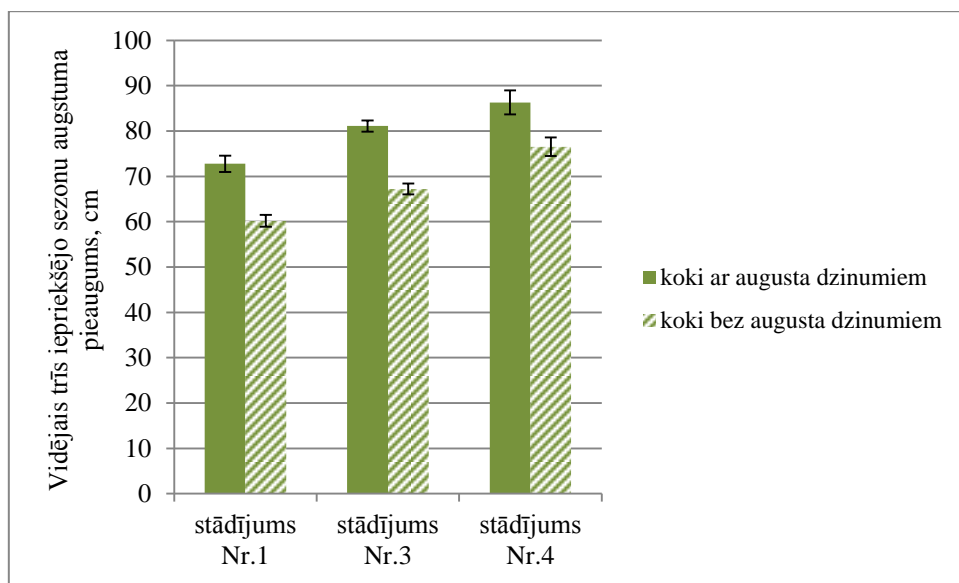
Iedalot kokus grupās atkarībā no pēdējo trīs gadu vidējā augstuma pieauguma, konstatētas statistiski būtiskas koku ar augusta dzinumiem īpatsvara atšķirības starp šīm grupām (χ^2 tests; $p < 0,001$). Visos stādījumos (7.8.att.) kokiem ar lielāku vidējo augstuma pieaugumu biežāk sastopami augusta dzinumi, piemēram, stādījumā Nr. 3 tiem kokiem, kuru augstuma pieaugums lielāks par 100 cm, vairāk nekā pusei (57 %) koku bijuši augusta dzinumi vismaz vienā novērojumu sezonā, kokiem ar augstuma pieaugumu 81-100 cm – 51 %, kokiem ar augstuma pieaugumu 61-80 cm – 33 %, kokiem ar augstuma pieaugumu 41-60 cm – 19 %, bet kokiem, kuru augstuma pieaugums mazāks par 40 cm, koku ar augusta dzinumiem īpatsvars bija tikai 6 %.



Stādījumā Nr.1 koku grupā ar augstuma pieaugumu 81-100 cm apvienoti koki, kuriem augstuma pieaugums >80 cm; stādījumā Nr.4 koku grupā ar augstuma pieaugumu 41-60 cm apvienoti koki, kuriem augstuma pieaugums ≤60 cm.

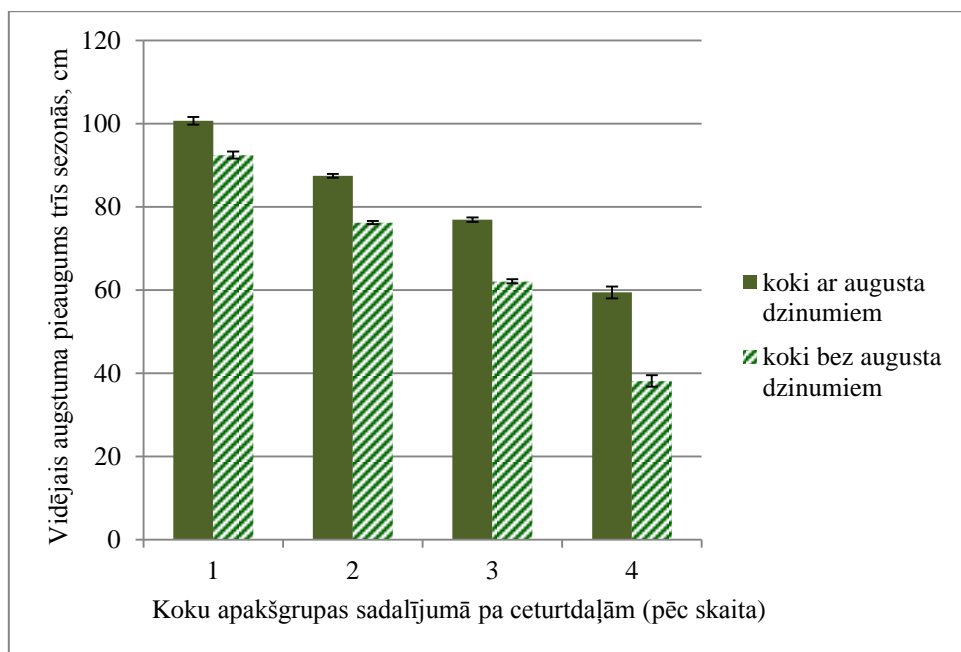
7.8.attēls. Koku ar augsta dzinumiem īpatsvara atšķirības dažādās augstuma pieauguma grupās.

Kokiem ar augsta dzinumiem pēdējo trīs gadu vidējais augstuma pieaugums ir būtiski ($p < 0,001$) lielāks nekā kokiem bez augsta dzinumiem visos eksperimenta stādījumos (7.9.att.), piemēram, stādījumā Nr. 3 – attiecīgi $81 \pm 1,2$ cm un $67 \pm 1,2$ cm. Būtiski lielāks bija augstuma pieaugums kokiem ar augsta dzinumiem arī katrā augšanas sezonā atsevišķi, piemēram, stādījumā Nr. 3 – 11. sezonā tas bija attiecīgi $79 \pm 1,8$ cm un $63 \pm 1,4$ cm; 12. sezonā $82 \pm 1,9$ cm un $67 \pm 1,5$ cm; 13. sezonā $82 \pm 1,5$ cm un $72 \pm 1,3$ cm. Starpība starp trīs sezonu vidējo pieaugumu kokiem ar un bez augsta dzinumiem dažādos stādījumos bija: Nr. 1 – 13 cm (11., 12. un 13. sezonā attiecīgi 14 cm, 17 cm, 7 cm), Nr. 3 – 14 cm (16 cm, 15 cm, 10 cm) un Nr. 4 – 10 cm (11 cm, 11 cm, 7 cm); starpībām vairākās sezonās akumulējoties, radušās nozīmīgas (statistiski būtiskas, $p < 0,001$) atšķirības koku augstumā: kokiem ar augsta dzinumiem un bez tiem augstums 13 gadu vecumā stādījumos Nr. 1, Nr. 3 un Nr. 4 bija attiecīgi $450 \pm 11,8$ cm un $374 \pm 7,8$ cm; $490 \pm 8,1$ cm un $416 \pm 7,4$ cm; $481 \pm 16,0$ cm un $420 \pm 12,2$ cm.

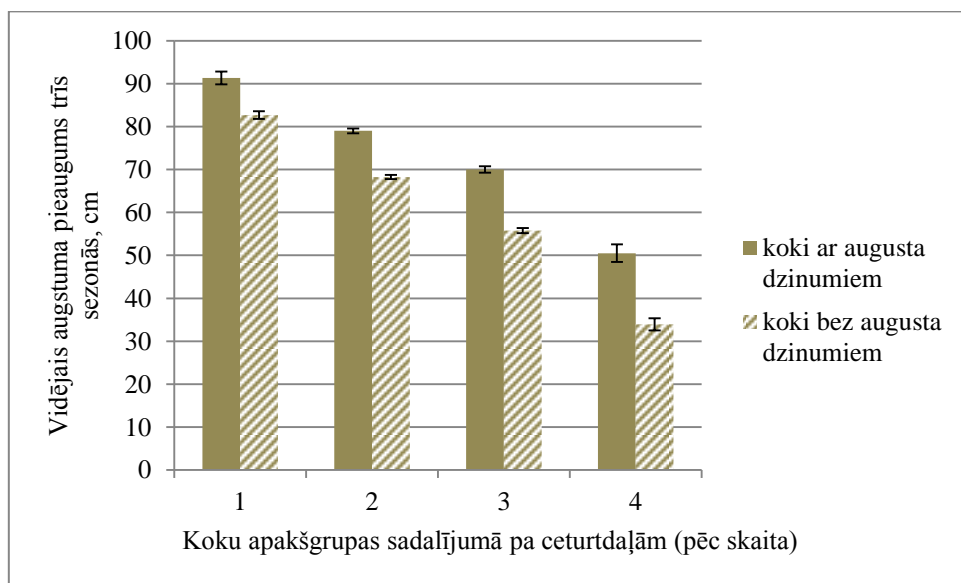


7.9.attēls. Vidējais trīs iepriekšējo sezonu augstuma pieaugums kokiem ar un bez augusta dzinumiem atsevišķos eksperimenta stādījumos.

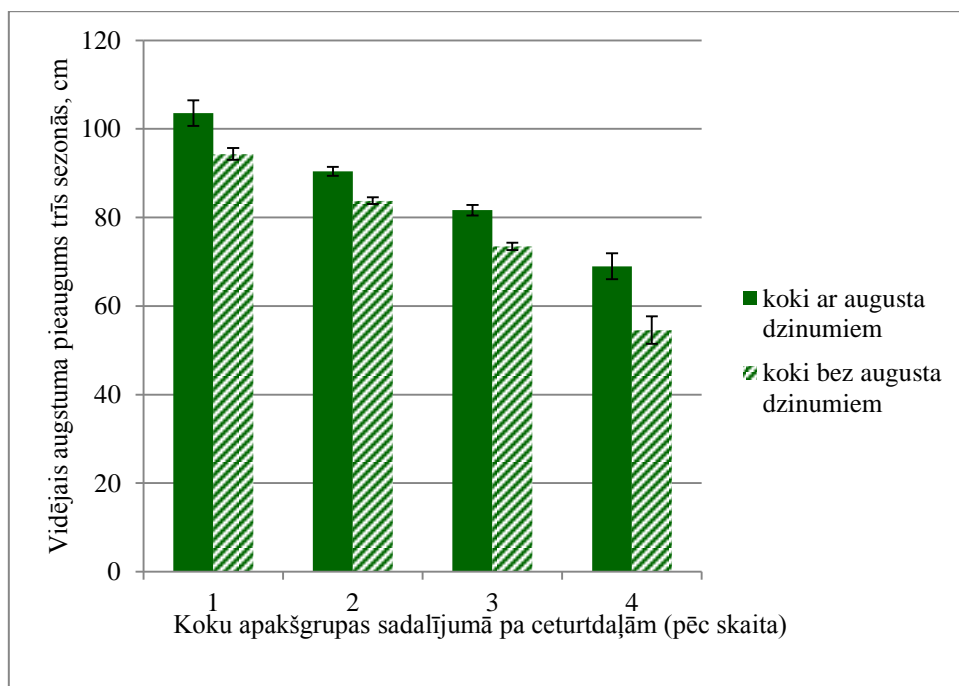
Svarīgi noskaidrot, vai konstatētā sakarība, ka kokiem ar augusta dzinumiem vidējais augstuma pieaugums ir būtiski lielāks nekā kokiem bez augusta dzinumiem, ir spēkā gan kokiem ar lielu, gan mazu augstuma pieaugumu. Katrā no divām grupām (1. grupa – „ar augusta dzinumiem” un 2. grupa – „bez augusta dzinumiem”) koki vispirms sakārtoti dilstošā secībā pēc pieauguma lieluma un pēc tam sadalīti četrās apakšgrupās ar vienādu koku skaitu. Stādījumā Nr. 3 koku skaits grupas „ar augusta dzinumiem” katrā apakšgrupā ir $688/4=172$ un grupas „bez augusta dzinumiem” katrā apakšgrupā $1242/4=310,5$; konstatēts, ka lielāks pieaugums kokiem ar augusta dzinumiem saglabājas visās četrās apakšgrupās ($p<0,001$): pirmajai ceturtdaļai koku (ar vislielāko pieaugumu) no grupas „ar augusta dzinumiem” vidējais pieaugums bija 100,7 cm, bet pirmajai ceturtdaļai koku (ar vislielāko pieaugumu) no grupas „bez augusta dzinumiem” vidējais pieaugums bija 92,4 cm; otrajai ceturtdaļai koku no grupas „ar augusta dzinumiem” vidējais pieaugums bija 87,5 cm, bet otrajai ceturtdaļai koku no grupas „bez augusta dzinumiem” vidējais pieaugums bija 76,2 cm; trešajām ceturtdaļām – attiecīgi 76,9 cm un 62,1 cm, bet pēdējām ceturtdaļām (ar viszemākajām pieauguma vērtībām) – attiecīgi 59,4 cm un 38,1 cm (7.10.att.). Līdzīgas būtiskas atšķirības ($p<0,001$) konstatētas arī abos pārējos stādījumos (7.11., 7.12.att.).



7.10.attēls. Vidējais trīs iepriekšējo sezonu augstuma pieaugums kociem ar un bez augsta dzinumiem koku grupām sadalījumā pa ceturtdaļām pēc koku skaita eksperimenta stādījumā Nr. 3.



7.11.attēls. Vidējais trīs iepriekšējo sezonu augstuma pieaugums kociem ar un bez augsta dzinumiem koku grupām sadalījumā pa ceturtdaļām pēc koku skaita eksperimenta stādījumā Nr. 1.



7.12.attēls. Vidējais trīs iepriekšējo sezonu augstuma pieaugums kokiem ar un bez augusta dzinumiem koku grupām sadalījumā pa ceturtdaļām pēc koku skaita eksperimenta stādījumā Nr. 4.

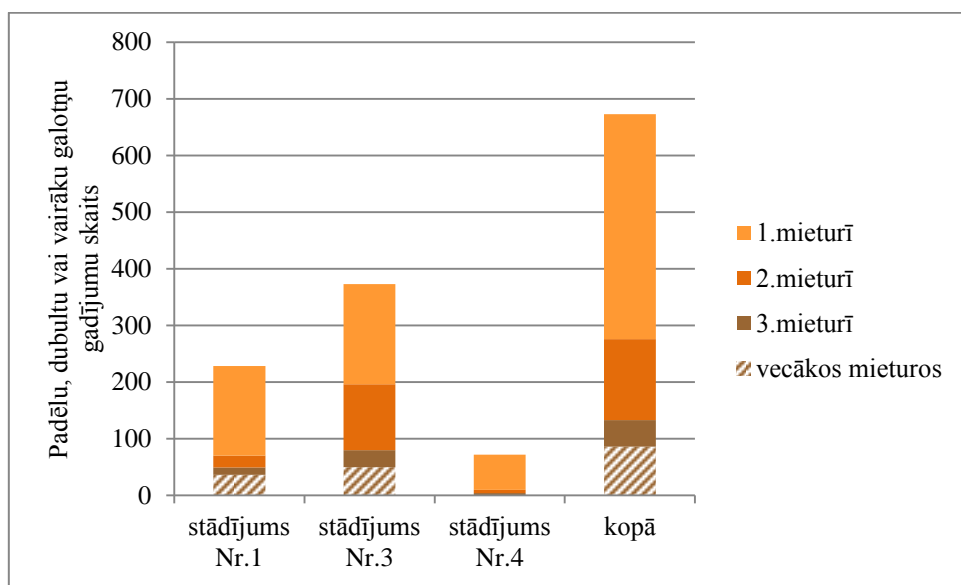
Atsevišķām ģimenēm koku ar augusta dzinumiem (vismaz vienā no trim novērojumu sezonām) īpatsvars bija robežās no 0 % līdz 95 %. Lielākajai daļai ģimeņu (atsevišķos stādījumos 70-90 % ģimeņu) augusta dzinumu īpatsvars nepārsniedza 50 %, bet trim ģimenēm novērots stabili augsts koku ar augusta dzinumiem īpatsvars stādījumos Nr. 1 un Nr. 3: ģimenei Nr. 76 attiecīgi 90 % un 95 %, ģimenei Nr. 92 – 53 % un 86 %, ģimenei Nr. 39 – 52 % un 58 %.

Ģimeņu vidējo vērtību līmenī konstatēta statistiski būtiska ($p < 0,01$) sakarība starp ģimenes koku īpatsvaru ar augusta dzinumiem (vismaz vienā sezonā) un koku augstumu 13 gadu vecumā – gan visos stādījumos kopumā ($r = 0,49$), gan katrā stādījumā atsevišķi ($r = 0,41 \dots 0,71$), kā arī starp ģimenes koku īpatsvaru ar augusta dzinumiem (vismaz vienā sezonā) un vidējo augstuma pieaugumu (attiecīgi $r = 0,51$ un $r = 0,48 \dots 0,70$).

Novērtējot augusta dzinumu īpatsvara saistību ar produktivitātes pazīmēm, mūsu pētījuma iepriekšējā etapā egļu brīvapputes pēcnācēju pārbaužu eksperimentā Jelgavas novadā desmitajā augšanas gadā konstatēta līdzīga sakarība, ka koku augstuma pieaugumam palielinoties, palielinās arī augusta dzinumu īpatsvars tās pašas veģetācijas sezonas beigās, piemēram, koku grupā ar augstuma pieaugumu 40-50 cm augusta dzinumi bija 10 % koku, bet grupā ar augstuma pieaugumu 90-100 cm – 54 % koku.

Tā kā augusta dzinumu veidošanās lielā mērā liecina par koku salīdzinoši straujāku augšanu, sevišķi svarīgi noskaidrot, vai augusta dzinumiem nav negatīvas ietekmes uz stumbra kvalitāti. Pētījuma iepriekšējā etapā, veicot augusta dzinumu veidošanās un stumbra kvalitātes (vairāku galotņu) vērtējumu, iegūtie dati neliecināja par izteiktu šo pazīmju savstarpēju saistību, tādēļ iespējams, ka vairāku galotņu veidošanos eglei lielākā mērā nekā augusta dzinumi nosaka citi faktori.

Koku ar padēliem īpatsvars eksperimentā Nr.748 kopumā bija 5,6 %, ar dubultu vai vairākām galotnēm – 13,8 %. Jāatzīmē, ka divas vai vairākas galotnes vairāk nekā pusē gadījumu (60 %) novērotas augšējā mieturī, t.i., 13. gada pieauguma sākumā (7.13.att.), kad vairāku dzinumu konkurence par vadošo lomu eglei novērojama samērā bieži. Precīzs padēla (vairāku galotņu) veidošanās mieturis noteikts 11., 12. un 13. augšanas sezonas sākumā, bet agrākajos gados mietura noteikšana eglei (atšķirībā no priedes) ir apgrūtināta, tāpēc norādīts tikai augstums no zemes, kurā padēls (vairākas galotnes) „atdalās” no stumbra.

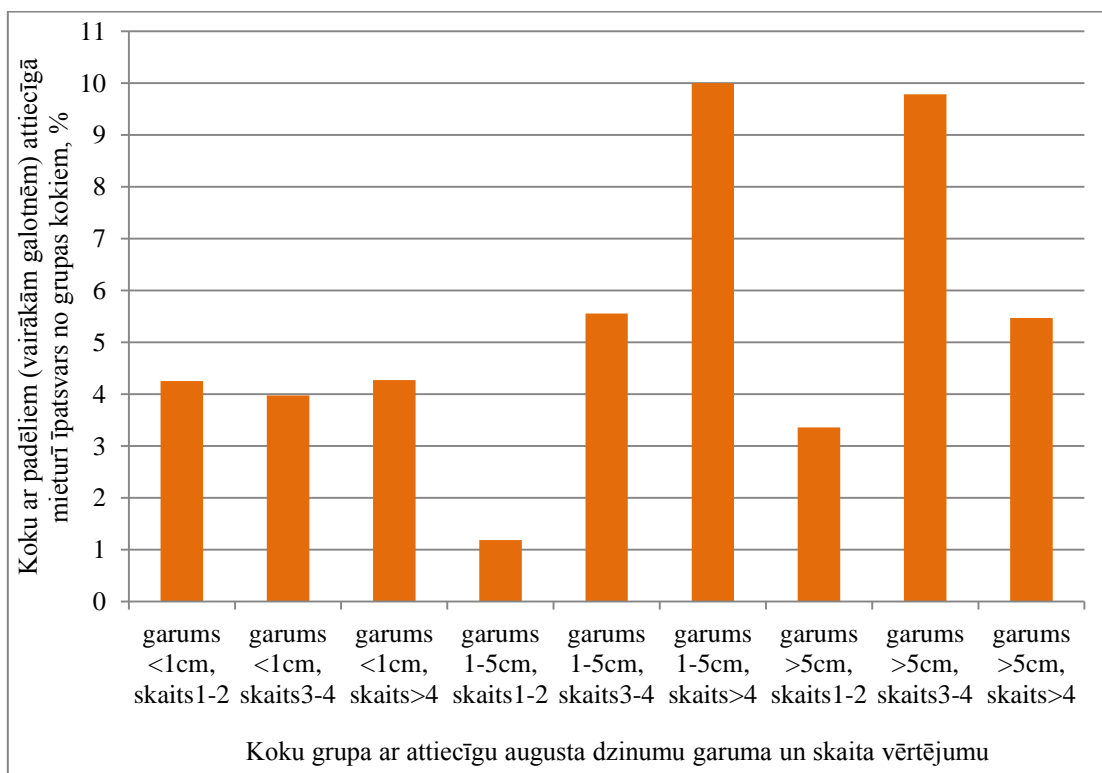


7.13.attēls. Atsevišķos eksperimenta stādījumos un visā eksperimentā kopumā uzskaitītais padēlu, dubultu un vairāku galotņu gadījumu skaits sadalījumā pa mieturiem (1. mieturis – 13. gada pieauguma sākums).

Mūsu pētījuma ietvaros novērtēta saikne starp iepriekš (10. un 11. augšanas sezonas beigās) reģistrētiem augusta dzinumiem (tiem, kas attīstījušies no galotnes dzinuma sānu pumpuriem) un attiecīgā mieturī (3. un 2. mieturī no galotnes) uzskaitītiem padēliem (vairākām galotnēm) pēdējā vērtējumā 13 gadu vecumā. Kokiem, kuriem 10. augšanas sezonas beigās reģistrēts augusta dzinums (289 koki), pēc trim augšanas sezonām attiecīgajā mieturī padēls konstatēts tikai 2,8 %

koku; pārējo koku grupā šajā mieturī padēls reģistrēts 1,2 % koku (χ^2 testa rezultāts – $p=0,034$, bet nepilnīgi izpildījās testa nosacījumi). No kokiem, kuriem 11. augšanas sezonas beigās bijis augusta dzinums (890 koki), 6,3 % koku pēc divām augšanas sezonām redzams padēls (vairākas galotnes) 2. mieturī no augšas; pārējo koku grupā šajā mieturī padēls (vairākas galotnes) reģistrēts 3,4 % koku; atšķirība starp grupām bija statistiski būtiska (χ^2 tests; $p<0,001$).

Veicot augusta dzinumu uzskaiti 10. un 11. augšanas sezonas beigās, augusta dzinumi, kas bija attīstījušies no galotnes dzinuma sānu pumpuriem, tika klasificēti trīs grupās atkarībā no to garuma, kā arī trīs grupās atkarībā no to skaita. Tika analizētas padēlu (vairāku galotņu) veidošanās atšķirības atkarībā no augusta dzinumu garuma un skaita (7.14. att.). Redzams, ka padēlu veidošanās iespējamība ir augstāka kokiem ar lielāku augusta dzinumu skaitu un to garumu.



7.14.attēls. Padēlu veidošanās atkarībā no iepriekš uzskaitīto augusta dzinumu garuma un skaita visos eksperimenta stādījumos kopumā.

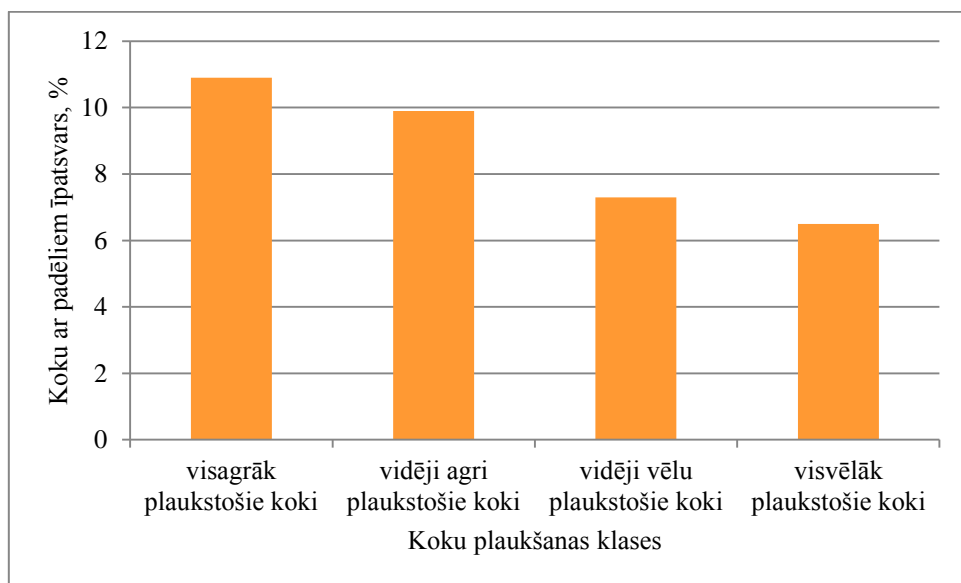
Svarīgi novērtēt, vai padēls kokam vairāku gadu laikā saglabājas vai arī izzūd. Zaru mieturos tuvāk koka galotnei 13 gadu vecumā padēli (vairākas galotnes) reģistrēti biežāk: 1. mieturī no galotnes padēls (vairākas galotnes) uzskaitīti 11,6 % koku, 2. mieturī – 4,2 % koku,

3. mieturī – 1,4 % koku, vecākos mieturos kopumā – 2,5 % koku. Lai raksturotu noteiktā vecumā konkrētā mieturī reģistrētu vairāku galotņu turpmāko attīstību (t.i., vairāku galotņu „statusa” saglabāšanos pēc vairākiem gadiem kopš izveidošanās), 11. augšanas sezonas beigās 1. mieturī reģistrētās vairākas galotnes atkārtoti vērtētas pēc diviem gadiem 13. augšanas sezonas beigās. No šādiem kokiem (250 koki), kuriem 11. augšanas sezonā veidojušies vairāki vadošie dzinumi, tikai 6,0 % koku attiecīgajā mieturī (3. mieturī no galotnes) 13 gadu vecumā reģistrēts padēls (10 kokiem) vai vairākas galotnes (5 kokiem); pārējo koku grupā šajā mieturī padēls (vairākas galotnes) reģistrēts 1,0 % koku (χ^2 testa rezultāts – $p < 0,001$, bet nepilnīgi izpildījās testa nosacījumi). Tātad, kokam augot, zars, kurš sākotnēji „tekošajā” augšanas sezonā konkurējis par vadošā dzinuma lomu, 94 % gadījumu jau pēc vismaz divām augšanas sezonām vairs nav klasificējams kā padēls vai dubulta galotne.

Analizējot sakarību starp augusta dzinumu un padēlu (vairāku galotņu) veidošanos pa ģimenēm, gandrīz visos gadījumos konstatēta būtiska sakarība starp ģimenes koku īpatsvaru ar augusta dzinumiem (vismaz vienā gadā) un ģimenes koku īpatsvaru ar padēliem vai vairākām galotnēm vismaz vienā zaru mieturī: eksperimentā kopumā – $r = 0,34$; $p < 0,001$; stādījumā Nr. 3 – $r = 0,39$; $p < 0,001$; stādījumā Nr. 4 – $r = 0,58$; $p < 0,05$, bet stādījumā Nr. 1 – $r = 0,26$; $p = 0,06$. Tā kā vairāku galotņu noteikšana augšējā mieturī bieži ir subjektīva, turklāt šāda veida vairāku galotņu turpmāka saglabāšanās nav bieža parādība (sk. iepriekš pētījumā konstatēto – 6 % pēc diviem gadiem), pa ģimenēm sakarība starp augusta dzinumu un padēlu veidošanos analizēta atkārtoti, izslēdzot no datu analīzes 1. mietura vairāku galotņu novērtējumu. Šajā gadījumā sakarība starp ģimenes koku īpatsvaru ar augusta dzinumiem (vismaz vienā novērtējumā) un koku īpatsvaru ar padēliem (vairākām galotnēm) gan eksperimentā kopumā, gan atsevišķos stādījumos nebija statistiski būtiska ($p > 0,05$).

Pētījuma rezultāti liecina, ka padēlu un vairāku galotņu veidošanos nozīmīgi ietekmē dažādi vides faktori, piemēram, dzīvnieku un sala izraisīti bojājumi. No kokiem, kuriem stādījumos Nr. 1 un Nr. 3 vienpadsmitās augšanas sezonas sākumā reģistrēti sala bojājumi (571 koks), 10,7 % koku uzskaitē 13 gadu vecumā konstatēti padēli (vairākas galotnes); pārējiem kokiem (bez sala bojājumiem) šādu koku īpatsvars 7,8 %; atšķirības statistiski būtiskas (χ^2 tests, $p < 0,05$); stādījums Nr. 4 netika iekļauts aprēķinos, jo tajā sala bojājumu nebija. Analizējot koku īpatsvaru ar padēliem (vairākām galotnēm) saistībā ar egles plaukšanas laiku (7.15.att.), augstāks šādu koku īpatsvars konstatēts salīdzinoši agrāk plaukstošo koku klasēs (atšķirības starp klasēm statistiski būtiskas (χ^2 tests, $p < 0,01$), kas, visticamāk, saistīts ar biežākiem un intensīvākiem sala

bojājumiem agri plaukstošiem kokiem. Visagrāk plaukstošo koku klasē sala bojājumi jaunajiem dzinumiem konstatēti 85% koku.



7.15.attēls. Saikne starp egles plaukšanas laiku un koku ar padēliem īpatsvaru.

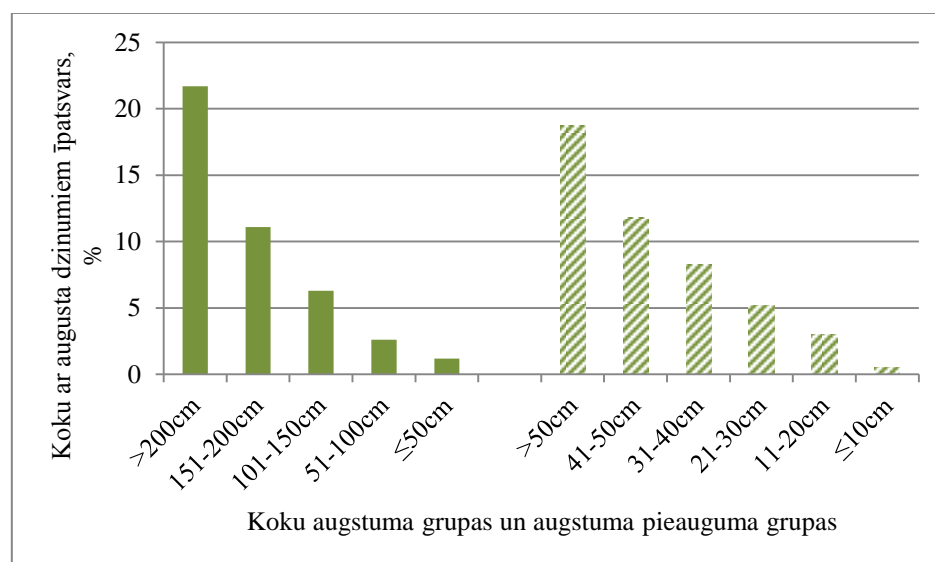
Eksperiments Nr.725.

Koku saglabāšanās eksperimentā bija 86 %, un atsevišķām ģimenēm tā bija robežās no 60 % līdz 100 %. Koku augstums 8 gadu vecumā vidēji eksperimentā bija $117 \pm 1,4$ cm, atsevišķām ģimenēm robežās no 78 cm līdz 183 cm, bet pēdējā gada augstuma pieaugums vidēji $27 \pm 0,6$ cm, atsevišķām ģimenēm no 12 cm līdz 53 cm.

Koku ar augusta dzinumiem īpatsvars 8. augšanas sezonas beigās bija 6,0 %. Augusta dzinumi pēdējā gada pieaugumam no sānu pumpuriem konstatēti 207 kokiem (5,3 % no visiem kokiem), turklāt lielākajai daļai no tiem (189 kokiem) vismaz viens no pēdējā gada pieauguma augusta dzinumiem (kas izveidojušies no šī pieauguma sānu – ne galotnes – pumpuriem) bija sasniedzis tādu garumu, ka novērtēts kā konkurējošs ar koka galotni, t.i., bija vismaz vienādā augstumā no zemes salīdzinājumā ar vadošā dzinuma gala pumpuru. Šāda „konkurējoša” augusta dzinuma gadījumā paaugstinās dubultas galotnes vai padēla veidošanās risks, kas būs novērtējams, nākamajos gados veicot atkārtotu koku uzmērīšanu. Augusta dzinums kā papildus pieaugums vadošajam dzinumam (kas izveidojies tieši no gala pumpura), konstatēts 39 kokiem (1 %), sasniedzot vidējo garumu 11 cm; 28 % šo gadījumu tas novērots kokiem, kuriem bija arī augusta dzinumi no galotnes sānu pumpuriem. Atsevišķām ģimenēm koku ar augusta dzinumiem īpatsvars bija robežās no 0 % līdz 30 %. Lielākajai daļai ģimeņu (82 %) augusta dzinumu

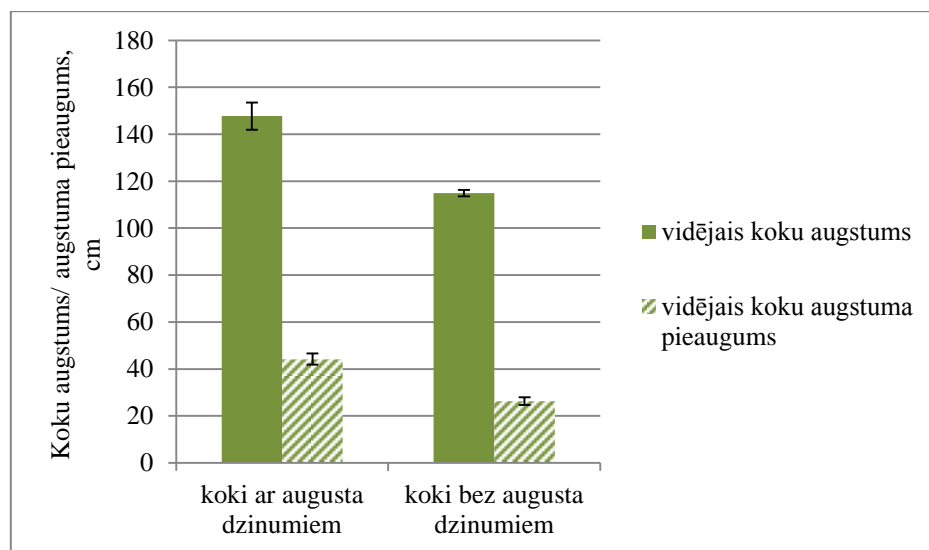
īpatsvars nepārsniedza 10 %, un tikai vienai ģimenei tas pārsniedza 20 %. Koku ar stumbra defektiem un bojājumiem īpatsvars eksperimentā bija neliels – 6,7 % (apvienojot kokus ar padēliem, divām vai vairākām galotnēm, kā arī dažādu iemeslu dēļ notikušu galotnes maiņu).

Analizējot augusta dzinumu saikni ar koku produktivitāti raksturojošām pazīmēm, konstatēts, ka būtiski ($p < 0,001$) lielāks koku ar augusta dzinumiem īpatsvars ir kokiem ar lielāku augstumu, kā arī kokiem ar lielāku pēdējā gada augstuma pieaugumu (7.16.att.), grupās ar augstākām produktivitāti raksturojošo pazīmju vērtībām sasniedzot aptuveni 20 %, bet grupās ar zemākajām šo pazīmju vērtībām – tikai aptuveni 1 %.



7.16.attēls. Koku ar augusta dzinumiem īpatsvars dažādās koku augstuma grupās un augstuma pieauguma grupās.

Koku ar augusta dzinumiem vidējais augstums ($148 \pm 5,8$ cm) par 29 % ($p < 0,001$) pārsniedz koku bez augusta dzinumiem vidējo augstumu ($115 \pm 1,4$ cm); līdzīgi arī pēdējā gada augstuma pieaugums kokiem ar augusta dzinumiem ($44 \pm 2,4$ cm) par 68 % ($p < 0,001$) pārsniedz augstuma pieaugumu kokiem bez augusta dzinumiem ($26 \pm 1,7$ cm) (7.17.att.).



7.17.attēls. Vidējais augstums un augstuma pieaugums kokiem ar un bez augsta dzinumiem.

Analizējot ģimeņu datus, konstatēta būtiska pozitīva sakarība starp koku ar augsta dzinumiem īpatsvaru ģimenē un vidējo augstuma pieaugumu ($r=0,44$; $p<0,001$); arī sakarība starp koku ar augsta dzinumiem īpatsvaru un koku vidējo augstumu ir pozitīva, bet nav būtiska ($r=0,22$; $p=0,09$).

Individuālu koku datiem netika konstatētas būtiskas koku ar padēliem (vai vairākām galotnēm) īpatsvara atšķirības starp koku grupām ar un bez augsta dzinumiem ($p>0,05$). Arī sakarība starp ģimeņu vidējo koku īpatsvaru ar augsta dzinumiem un īpatsvaru ar padēliem (vai vairākām galotnēm) netika konstatēta ($p>0,05$). Stumbra defekti visticamāk saistīti ar dažādiem bojājumiem, bet ne koka ģenētiski noteiktu tendenci veidot augsta dzinumus un/vai vairākas galotnes.

Apkopojot abos egļu brīvapputes pēcnācēju pārbaužu eksperimentos iegūtos rezultātus, konstatēts, ka lielākas koku produktivitātes pazīmju vērtības saistītas ar augstāku augsta dzinumu sastopamību. Trīspadsmit gadu vecumā pēdējos trīs augšanas gados kokiem ar augsta dzinumiem augstuma pieaugums vidēji sezonā bijis par 7–16 cm lielāks nekā kokiem bez augsta dzinumiem; starpībām vairākās sezonās akumulējoties, radušās nozīmīgas ($p<0,001$) atšķirības koku augstumā (par 60–75 cm) – koku ar augsta dzinumiem augstums par 15–20 % pārsniedz koku bez augsta dzinumiem augstumu. Līdzīgi otrā eksperimentā astoņu gadu vecumā koku ar augsta dzinumiem vidējais augstums par 29 % ($p<0,001$) pārsniedz koku bez augsta dzinumiem augstumu.

Padēlu (vairāku galotņu) veidošanās iespējamība ir statistiski būtiski, bet praktiski nenozīmīgi augstāka kokiem ar augusta dzinumiem. Trīspadsmit gadu vecumā koku ar padēliem vai vairākām galotnēm īpatsvars eglei kopumā ir neliels – 8 % (neskaitot visjaunākā mietura datus). No augusta dzinumiem padēls vai vairākas galotnes veidojas reti: 2 gadus pēc augusta dzinuma veidošanās brīža padēls vai vairākas galotnes attiecīgā mieturī konstatētas 6 % gadījumu, bet 3 gadus pēc augusta dzinuma veidošanās brīža – tikai 3 % gadījumu; padēlu veidošanos sekmē ne vien augusta dzinumi, bet lielā mērā arī sala izraisīti bojājumi agri plaukstošiem kokiem. Vairākas par vadošo lomu konkurējošas galotnes augšējā mieturī tikai 6 % gadījumu pēc diviem gadiem saglabājušās kā padēls vai vairākas galotnes.

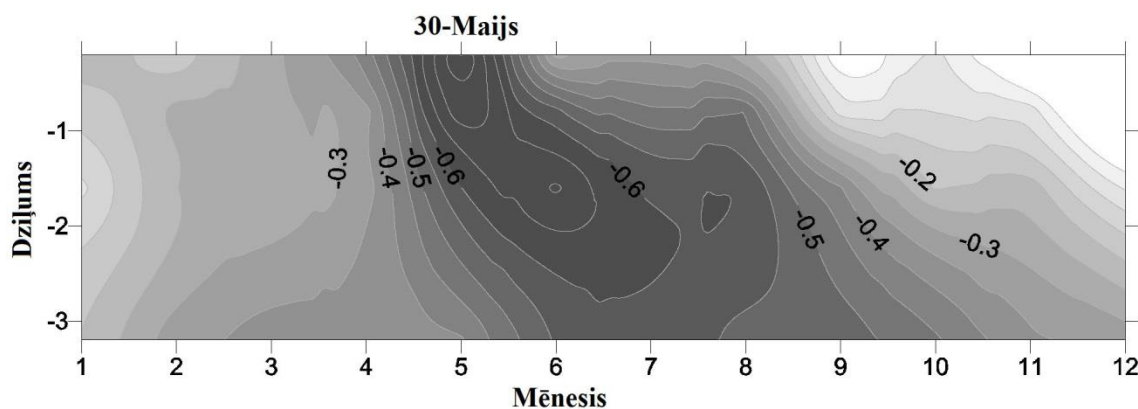
Kopumā abos eksperimentos iegūtie rezultāti eglei ir līdzīgi – augstāka koku produktivitāte saistīta ar augusta dzinumu veidošanos, bet augusta dzinumu saistība ar stumbra kvalitātes defektiem (padēli, vairākas galotnes) nav nozīmīga.

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 t.i. veikta kopšana, platība nav pārmitra) jaunaudzes vecumā. Pētījumā neizdevās iegūt pietiekamu pamatojumu egļu augstuma pieauguma izmaiņu prognozēm lielākā vecumā. Priedei konstatēts, ka 20. gadsimta laikā mainījušies augstuma pieaugumu būtiski ietekmējošie klimatiskie faktori, tomēr saglabājoties sakarībai, ka nozīmīgākā ir iepriekšējā, nevis kārtējā (augstuma pieauguma veidošanās) gada meteoroloģisko apstākļu ietekme. Vērtējot identificētos kritiskos faktorus var prognozēt, ka klimata izmaiņu rezultātā Latvijas rietumu daļā sagaidāma priede augstuma pieauguma palielināšanās, taču Latvijas austrumu daļā ar temperatūras pieaugumu saistīto pozitīvo ietekmi līdzsvaro prognozēto nokrišņu apjoma izmaiņu negatīvā ietekme un negatīva loma var būt arī siltajām ziemām ar kontinentālākos apstākļos raksturīgām krasākām temperatūru svārstībām (skat. 9. nodaļu), tādēļ priežu augstuma pieaugumu palielināšanās nav viennozīmīgi prognozējama.

8. Augšnes temperatūras izmaiņu ietekme uz koku augšanu

Augšnes temperatūru ietekmē meteoroloģiskie apstākļi (Saules radiācija, gaisa temperatūra, nokrišņu daudzums), kā arī konkrētās vietas topogrāfiskie un augšnes apstākļi (tās mitrums, augšnes ūdens pH un ķīmiskais sastāvs), virszemes biomasas un nobiru nosegtais augšnes virsmas laukums, kā arī koku vainagu radītā noēnojuma intensitāte (Bergh, Linder, 1999).

Augšnes termisko režīmu var raksturot kā siltuma inerci, tam nonākot no virsējiem slāņiem dziļākajos. Tas nozīmē, ka atšķirības gaisa temperatūrā ar nelielu kavēšanos atspoguļojas augšnes siltuma režīmā, un šī kavēšanās palielinās līdz ar dziļumu (Aasa, 2005); šādu efektu var novērot, piemēram, analizējot sakarību starp fenoloģisko fāzu sākšanos un augšnes temperatūras profilu (8.1. att.).



8.1. attēls. Korelācijas starp augšnes temperatūru un pīlādžu plaukšanas sākumu (vidēji 30. maijs) dažādā dziļumā novērošanas stacijā Veru (Igaunija) laika posmā no 1954. gada līdz 1999. gadam (Aasa, 2005).

Klimata pārmaiņu prognozes liecina, ka Eiropas ziemeļu daļā un Baltijas jūras reģionā paaugstināsies vidējā gaisa temperatūra. Kopumā 21.gs beigās, salīdzinot ar mūsdienām, Eiropas ziemeļu daļā un Baltijas jūras reģionā gada vidējā gaisa temperatūra pieaugs vidēji par 3,2 °C (Jansons, 2010). Sagaidāms, ka gaisa temperatūras paaugstināšanās rezultātā samazināsies dienu ar sniega segu skaits un sniega segas biezums ziemas sezonā (Groffman et al., 2012). Tas, savukārt, ietekmēs augšnes temperatūru un augšnes sasalšanas periodu (Aphalo et al., 2006;

Kellomäki et al., 2010), izmainot augsnē notiekošos mikrobioloģiskos, fizikālos un ķīmiskos procesus.

Lielākā daļa pētījumu liecina, ka pēdējo 40-50 gadu laikā pavasara fenoloģisko fāzu (piemēram, bērza lapu plaukšanas) iestāšanās kļuvusi par 1,2 - 3,8 dienām katros 10 gadus agrāka, bet rudenī – par 0,3 – 2,6 dienām vēlāka (Menzel, 2003). Kopumā Eirāzijā (40°-70° Z p.) veģetācijas perioda garums ir palielinājies par 18±4 dienām (Zhou et al., 2001). Zinātniskajā literatūrā visvairāk analizētais faktors, kurš ietekmē fenoloģisko fāzu iestāšanos, ir gaisa temperatūra (Menzel, 2003). Tomēr pētījumā Igaunijā ar dažādām koku sugām Aasa (2005) konstatējis, ka vairāk nekā 80% no gadījumiem augsnes temperatūrai ir ciešāka korelācija ar fenoloģisko fāzu iestāšanās laiku kokiem nekā gaisa temperatūrai.

Augsnes temperatūru nākamās veģetācijas sezonas sākumā nosaka sniega daudzums ziemas beigās/pavasara sākumā un augsnes mitrums iepriekšējās ziemas sezonas sākumā (Mellander et al., 2004). Sausas augsnes gan sasilst, gan sasilst straujāk nekā mitrās augsnes, un sausajās augsnēs sasalušā horizonta biezums ir lielāks, jo augsnes mitrums nosaka tās siltumvadītspēju un siltumietilpību (Templer et al., 2012).

Liela nozīme augsnes temperatūras režīma veidošanā ir veģetācijai. Vasaras sezonā koku vainagu klājs un zemsedze aiztur Saules radiāciju, palēninot augsnes sasilšanu, bet ziemā aizkavē siltuma zudumus no augsnes, samazinot iespējamās augsnes temperatūras sezonālās un diennakts svārstības (Jury, Horton, 2004). Zemsedzes ietekme uz augsnes temperatūras režīmu ļoti nozīmīga ir vasaras sezonā, piemēram, samazinot evaporāciju.

Pētījumā ASV ziemeļrietumos konstatēts, ka Veimuta priedes (*Pinus strobus*) audzēs (30 gadu vecumā) ar augstu vanagu slēguma pakāpi (biezību) un blīvu zemsedzi un/vai zemsegu vasaras mēnešos ir ievērojami zemāka temperatūra nekā atklātās audzēs ar nabadzīgu zemsedzi (Lutz, Chandler, 1947). Augsnes temperatūras paaugstināšanās veicina barības vielu mineralizāciju, kas, savukārt, var pozitīvi ietekmēt biomasas veidošanos un oglekļa piesaisti (Strömghren, Linder, 2002). Tam var būt arī negatīva ietekme uz koku augšanu, ja augiem nav pielāgošanās spēju pieaugošai augsnes temperatūrai (Jarvis, Linder, 2000). Ir noskaidrots, ka, palielinoties augsnes temperatūrai, pieaug arī oglekļa respirācija, kas notiek straujāk par neto primārās produkcijas veidošanos (Strömghren, Linder, 2002). Tādējādi, tuvākajā nākotnē, pieaugot CO₂ respirācijai no mežaudzes, boreālie meži var transformēties no oglekļa krātuvēm par emisiju avotiem (Jarvis, Linder, 2000).

Mērenajā klimatiskajā joslā dažādu koku sugu sakņu un stumbra aktivitāte (minerālvielu un ūdens uzņemšana) un augšana ir tieši vai pastarpināti atkarīga no metaboliskajiem procesiem,

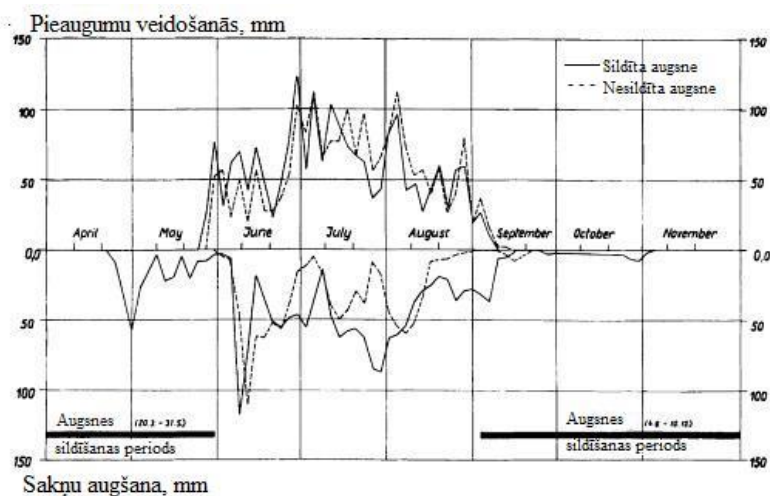
ko, savukārt, nozīmīgi ietekmē augsnes temperatūra (Pallardy, 2008). Augsnes temperatūra ietekmē uzsūcošo sakņu mūža ilgumu, nobiru sadalīšanās ātrumu un augsnes organisko vielu mineralizāciju, kā arī piesaistītā oglekļa atbrīvošanu respirācijas procesā (Paul et al., 2002). Eksperimentā ar dažādu sugu ietvarstādiem (apse, priede, egle), kurā kā augsnes substrātu izmantoja vienādās daļās sajauktu sūnu kūdru un minerālaugsnī, noskaidrots, ka augsnes temperatūra un mitrums ir nozīmīgākie koku uzsūcošo sakņu veidošanos un rizosfēras bioloģisko aktivitāti (ūdens un barības vielu uzņemšanu un mikroorganismu darbību) regulējošie faktori (Dang, Cheng, 2004).

Bergh un Linder (1999) noskaidrojuši, ka augsnes temperatūra tiešā veidā ietekmē enzīmu aktivitāti, mikroorganismu darbību un augiem pieejamo minerālvielu uzņemšanu. Ņemot vērā, ka sakņu augšana ir saistīta ar citu faktoru iedarbību, piemēram, augsnes mitruma, kā arī auga virszemes daļu augšanas intensitātes, ko savukārt ietekmē gaismas daudzums, gaisa temperatūra, mitrums un citi apstākļi, tad dabiskā vidē augošiem augiem izdalīt tikai augsnes temperatūras ietekmi uz sakņu augšanu un to aktivitāti ir ļoti sarežģīti (Lyr, 1996). Kā noskaidrojies pētījumos par sakņu augšanas ātrumu un augsnes temperatūru, tad sakņu augšanas intensitāte veģetācijas periodā variē biežāk nekā augsnes temperatūra, kas liecina par citu faktoru ietekmi.

Veģetācijas perioda sākumā un beigās augsnes temperatūra ir galvenais sakņu augšanu ietekmējošais faktors (Alvarez-Uria, Körner, 2007; Lyr, 1996), limitējot ūdens un barības vielu uzņemšanu (Lyr, Hoffmann, 1967). Pazeminoties temperatūrai, palēninās mikorizas veidošanās, samazinot sakņu uzsūcošās virsmas laukumu un līdz ar to ūdens un tajā izšķīdušo minerālvielu uzņemšanu (Aphalo et al, 2006). Turklāt temperatūras pazemināšanās rezultātā palielinās ūdens viskozitāte un virsmas spraigums, tāpēc samazinās ūdens plūsmas ātrums augsnē un augos (Bergh, Linder, 1999; Vapaavuori et al., 1992). Piemēram, parastā priede daudz efektīvāk izmanto pieejamo ūdeni, ja augsne ir relatīvi sausa un silta, nevis sausa un vēsa (Mellander et al., 2006).

Parastajai priedei sakņu augšana sākas maija sākumā un ilgst līdz novembra beigām, bet nozīmīga sakņu pieauguma veidošanās beidzas septembrī. Parastajai eglei šajā pašā reģionā sakņu augšana salīdzinājumā ar parasto priedi sākās vēlāk un beidzas agrāk (Lyr, Hoffmann, 1967; Pallardy, 2008). Pētījumā, kurā analizēta augsnes temperatūras ietekme uz trīs gadus vecu balto robīniju (*Robinia pseudoacacia*) sakņu augšanu, veģetācijas sezonas sākumā un beigās par 5°C paaugstinot augsnes temperatūru, noskaidrojās, ka sakņu augšana sākas 41 dienu agrāk un beidzas 44 dienas vēlāk nekā kontroles variantā ar neizmanītu augsnes temperatūru (8.2. att.) (Lyr, Hoffmann, 1967). Citā eksperimentā, kurš veikts Kanādas boreālo mežu zonā, tika pētīts

skuju koku veģetācijas perioda sākums, paaugstinot augsnes temperatūru par 4°C un konstatēts, ka melno egļu (*Picea mariana*) saknēs un stumbrā koksnes veidošanās sākas, attiecīgi, 5-11 un 3-5 dienas agrāk (Lupi et al., 2012). Pavasarī labvēlīgos temperatūras apstākļos sakņu augšana var sākties pirms virszemes ikgadējā pieauguma veidošanās sākuma vai rudenī turpināties vairākas nedēļas pēc tā beigām (8.2. att.) (Lyr, Hoffmann, 1967; Oleksyn et al., 1998; Pallardy, 2008).



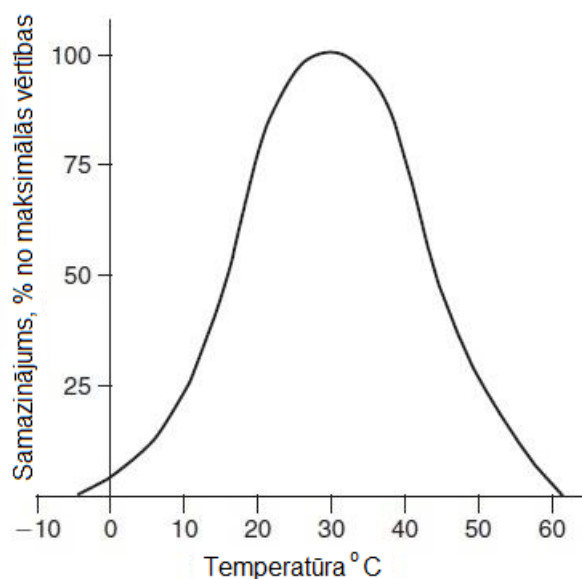
8.2. attēls. Baltās robīnijas sakņu un virszemes dzinumu pieauguma veidošanās dinamika ar un bez augsnes sildīšanas (Lyr, Hoffmann, 1967).

Atkarībā no koka sugas, sakņu augšana iespējama augsnes temperatūrā robežās no 2 °C līdz 35 °C, piemēram, parastās egles un dižskābarža (*Fagus sylvatica*) sakņu augšana var norisināties jau 2 °C līdz 4 °C temperatūrā (Lyr, Hoffmann, 1967). Tomēr konstatēts, ka skuju koku mežos augsnes temperatūrai pazeminoties zem 6 °C, būtiski samazinās uzsūcošo sakņu spēja apgādāt koku ar ūdeni (Jarvis, Linder, 2000; Mellander et al., 2006). Somijas dienvidos veiktā pētījumā konstatēts, ka, augsnes temperatūrai organiskajā slānī samazinoties līdz -15 °C un augšējā minerālajā slānī līdz -11 °C, parastās egles uzsūcošās saknes pietiekami labi pārcieš aukstumu, tomēr autori secina, ka šāda sala atkārtoties turpmākajos divos gados var samazināt uzsūcošo sakņu darbības efektivitāti (Repo et al., 2014). Zemas temperatūras ziemā var stipri bojāt arī citu sugu kokaugu saknes, piemēram, platlapu liepai (*Tilia platyphyllos*) saknes apsalst -14 °C temperatūrā, parastajai kļavai (*Acer platanoides*) – -16 °C, parastajai liepai (*Tilia cordata*) -18 °C (Ripa, Pētersons, 1968).

Sakņu dzīvotspējas saglabāšanos nosaka arī tas, kādā dziļumā saknes atrodas, piemēram, 40 cm dziļumā esošajām saknēm ir par 9-21 % mazāka mirstība, salīdzinājumā ar saknēm

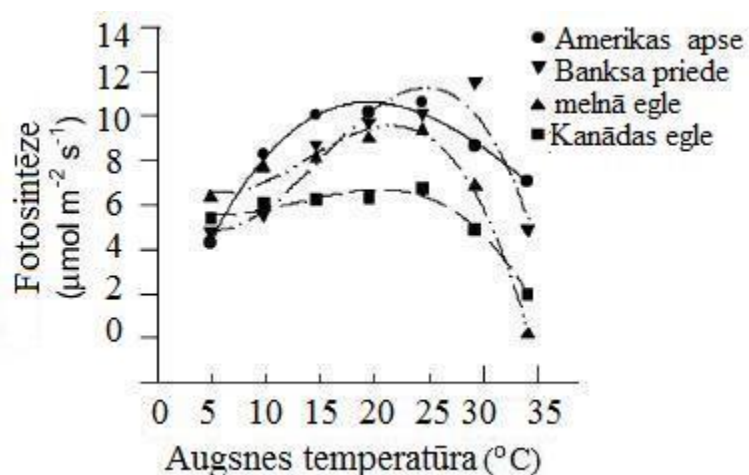
augšnes virskārtā (10 cm dziļumā), jo dziļāk esošās saknes nav pakļautas tik krasām temperatūras un mitruma svārstībām (Repo et al., 2014).

Augsnes temperatūras paaugstināšanās ietekme uz auga fizioloģisko procesu norisi ir atkarīga no tās vērtības atskaites punktā (8.3. att.), piemēram, salīdzinoši zemas temperatūras paaugstināšanās aktivizē auga gāzu apmaiņu, bet augstu vērtību tālāka paaugstināšanās šo procesu var apstādināt (Shaver et al., 2000).



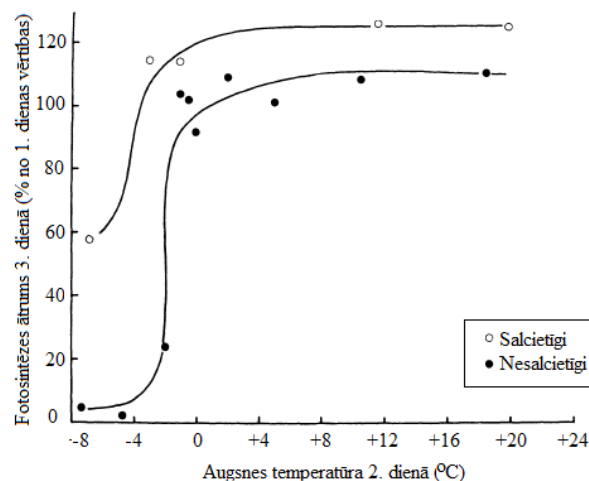
8.3. attēls. Vispārināts ziemeļu puslodes (40°- 70° Z p.) augsnes temperatūras un augsnes mikroorganismu aktivitātes modelis (Paul et al., 2002).

Dang un Cheng (2004) noskaidrojuši, ka augsnes temperatūrai lapu un skuju kokiem pirmajā augšanas sezonā ir būtiska ietekme uz fotosintēzes intensitāti, tomēr pastāv atšķirības starp to jutību pret dažādām augsnes temperatūrām (8.4. att.): Amerikas apse (*Populus tremuloides*) ir jutīgāka pret zemām augsnes temperatūrām, turpretī melnā egle (*Picea mariana*) – pret augstām. Piemēram, 5 °C augsnes temperatūrā viszemākā fotosintēzes intensitāte konstatēta apsei, bet, augsnes temperatūrai paaugstinoties virs 30 °C, visstraujāk fotosintēzes intensitāte pazeminājās melnajai eglei un Banksa priedei (*Pinus banksiana*).



8.4. attēls. Augsnes temperatūras ietekme uz Amerikas apses, Banksa priedes, melnās egles un Kanādas egles (*Picea glauca*) fotosintēzes intensitāti (Dang, Cheng, 2004).

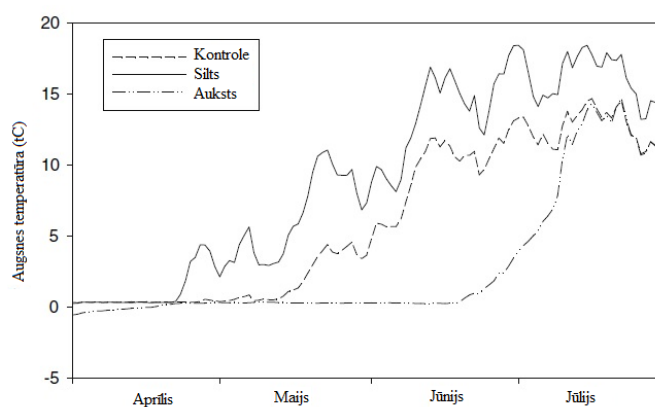
To, kā zema augsnas temperatūra ietekmē skujkoku fotosintēzi veģetācijas perioda sākumā, nosaka augsnas atdzišanas pakāpe (Bergh, Linder, 1999) un auga salcietība (Pallardy, 2008). Turner un Jarvis (1975) novērojuši, ka ilgstošā zemu augsnas temperatūru iedarbībā Sitkas egļu (*Picea sitchensis*) saknēs sākas pārkorķošanās process, kas samazina sakņu augšanu un to ūdens caurlaidību. Tā rezultātā sašaurinās atvārsnītes un samazinās skuju ūdens potenciāls, tādējādi turpmāk ir iespējams novērot būtisku fotosintēzes un transpirācijas samazināšanos. Autori konstatējuši, ka divgadīgiem Sitkas egles stādiem kontrolētos apstākļos (gaisa temperatūra dienā 15 °C, naktī 12 °C) ar mākslīgi inducētu salcietību (miera perioda fizioloģiskie procesi) fotosintēzes intensitāte vienas diennakts laikā pilnībā atjaunojās, ja augsnas temperatūra bija -4 °C, bet tikai 58 % apmērā atjaunojās, ja augsnas temperatūra bija -8 °C (8.5. att.). Tādos pašos apstākļos stādiem bez inducētas salcietības (veģetācijas sezonas fizioloģiskie procesi), fotosintēze sākotnējā līmenī diennakts laikā atjaunojās, ja augsnas temperatūra nebija zemāka par -0,5 °C. Augsnas temperatūrai pazeminoties zem šīs atzīmes, fotosintēzes sākotnējā intensitāte ilgstoši (17 dienu laikā) neatjaunojās. Īslaicīga augsnas temperatūras pazemināšanās (6 stundas 0 °) Sitkas egļu stādiem ar inducētu salcietību nav galvenais fotosintēzi un augšanu limitējošais faktors ziemas periodā un veģetācijas sezonas sākumā.



8.5. attēls. Fotosintēzes intensitātes atjaunošanās Sitkas eglei miera periodā (koki ar inducētu salcietību) un veģetācijas periodā (koki bez inducētas salcietības) (Turner, Jarvis, 1975).

Fotosintēzes intensitātes atjaunošanās (%) vērtēta trešajā eksperimenta dienā attiecībā pret intensitāti pirmajā dienā, temperatūras pazemināšanu veicot otrajā dienā.

Parastajai priedei (*Pinus sylvestris* L.) konstatēts, ka paaugstināta augsnes temperatūra ziemas periodā paātrina fotosintēzes procesu atjaunošanos pavasarī un palielina neto primāro produktivitāti salīdzinājumā ar kontroles audzi par 7,5 %, t.i., par 162 kg C ha⁻¹ gadā (8.6. att.), bet pazemināta augsnes temperatūra ziemas periodā aizkavē fotosintēzes atjaunošanos pavasarī un samazina neto primāro produktivitāti par 13,7 %, t.i., par 296 kg C ha⁻¹ gadā (Mellander et al., 2008).



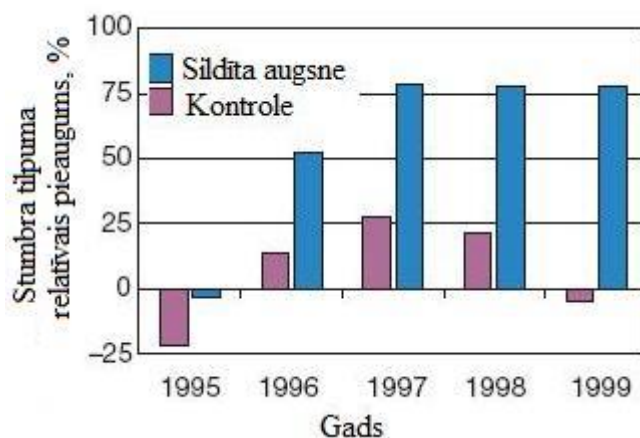
8.6. attēls. Augsnes temperatūras (t°C) 10 cm dziļumā dinamika veģetācijas perioda laikā (Mellander et al., 2008).

Auksts: tieši pirms ziemas aukstākā perioda notīrīja sniegu, lai augsne varētu maksimāli dziļi sasalt, bet ziemas sezonas beigās sniegu novietoja atpakaļ, lai atjaunotu potenciālo hidroloģisko stāvokli; silts: minimizēta augsnes

sasalšana, jau agri rudenī (septembra beigās) visu laukumu nokļātot ar siltumizolācijas materiāla plātnēm, ko noņēma tikai aprīļa beigās.

Pieejamais barības vielu daudzums ir nozīmīgs koku augšanu regulējošs faktors boreālajā zonā (Kukkola, Saramäki, 1983). Konstatēts, ka augsnes sildīšana palielina slāpekļa daudzumu egļu skujās (Strömgren, 2001), ko nosaka ne tikai paaugstināta organisko vielu mineralizēšanās intensitāte, bet arī uzlabotas koku spējas uzņemt minerālvielas paaugstinātā augsnes temperatūrā (Khomik et al., 2010; Lupi et al., 2012). Piemēram, slāpekļa uzņemšana kokaugiem nenotiek, ja augsnes temperatūra ir zemāka par +5 °C (Strömgren, 2001).

Saskaņā ar Vapaavuor et al. (1992), maksimālā pieauguma veidošanās vienu gadu veciem parastās priedes un parastās egles stādiem notiek, kad augsnes temperatūra ir ap 12 °C, citām kokaugu sugām šī temperatūra ir augstāka: Eiropas lapeglei, duglāzijai (*Pseudotsuga menziesii*), āra bērzam (*Betula pendula*) 15 °C, parastajam ozolam (*Quercus robur*) un parastajam skābardim (*Carpinus betulus*) 25 °C. Zviedrijas ziemeļos (64° Z p.) parastās egles audzē 32 gadu vecumā veiktā ilgtermiņa augsnes mākslīgas sildīšanas eksperimentā, kur vienā no izpētes laukumiem augsnes temperatūra 10 cm dziļumā visu veģetācijas sezonu tika mākslīgi uzturēta par 5 °C augstāka nekā kontroles audzē, novērots, ka piecu gadu laikā pēc eksperimenta uzsākšanas pieaugusi barības vielu sadalīšanās intensitāte augsnē, kas vēlāk pozitīvi ietekmēja koksnes pieaugumu (8.7. att.) (Jarvis, Linder, 2000).



8.7. attēls. Stumbra tilpuma pieaugums attiecībā pret tilpumu pirms augsnes sildīšanas eksperimenta uzsākšanas 1994. gadā (Jarvis, Linder, 2000).

Pētījumos par sakņu zonas augsnes temperatūras ietekmi uz koku augšanu izmanto tehniskās sarežģītības un resursu vai laiktelpības ziņā atšķirīgas metodes. Augsnes sildīšanas

metodes visbiežāk iedala divās plašās grupās – aktīvās un pasīvās (Aronson, McNulty, 2009; Johnstone et al., 2013; Lupi et al., 2012; Peterjohn et al., 1993).

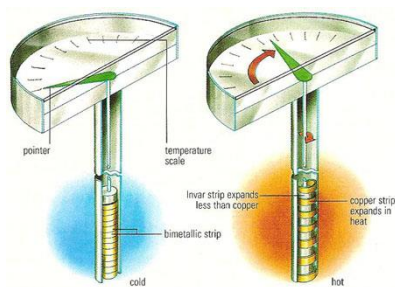
Ekosistēmas pasiltināšanas eksperimentos bieži tiek izmantota aktīvā metode, kuras pamatā ir augsnes uzsildīšana, pielietojot augsnes virskārtā (~10 cm dziļumā) ieraktus elektrokabeļus, pa kuriem tiek pievadīts siltums, vai izmantojot virs augsnes un veģetācijas izvietotus infrasarkanā staru sildītājus (Peterjohn et al., 1993). Aktīvās metodes nozīmīgākā priekšrocība ir iespēja kontrolēt augsnes temperatūru. Par šīs metodes būtisku trūkumu uzskata temperatūras izkliedi augsnē – ļoti tuvu elektrokabeļiem vienmēr būs augstāka temperatūra nekā lielākā attālumā no tā (Aronson, McNulty, 2009). Turklāt, ierokot kabeļus, var tikt bojātas sīkās saknes augsnes virskārtā (Strömgren, Linder, 2002). Par metodes trūkumu uzskatāma arī nepieciešamība pastāvīgi uzraudzīt temperatūru, lai nodrošinātu nepieciešamo atšķirību no kontroles apstākļiem, un nepieciešamība pēc relatīvi jaudīga enerģijas avota; tas ierobežo šīs metodes pielietošanu attālās un grūti pieejamās vietās vai arī pētījumos ar ierobežotiem finanšu līdzekļiem (Peterjohn et al., 1993).

Pasīvo metožu pamatā ir nevis augsnes sildīšana, bet gan relatīvā siltuma zudumu samazināšana no augsnes (Robitaille et al., 1995). Pasīvo metožu piemēri ir klimata pārmaiņu eksperimentos izmantotās daļēji slēgtās (ar atsedzamu augšdaļu) siltumnīcas (8.8. att.), kā arī sniega segas biezuma maiņa ziemas periodā un veģetācijas perioda sākumā un beigās, tādējādi ietekmējot augsnes termisko režīmu (Mellander et al., 2008; Robitaille et al., 1995). Šo metožu pielietošanu būtiski ierobežo grūtības nodrošināt un pēc tam uzturēt vajadzīgo augsnes temperatūru izpētes laukumā (Luxmoore et al., 1998).



8.8. attēls. Koku aptveroša konusveida siltumnīca (Ryan, 2013).

Neatkarīgi no izmantotās metodes (pasīvā vai aktīvā) augsnes temperatūras pētījumu mūsdienu tehniskās iespējas nodrošina automatizētu datu nolasīšanu visa gada garumā (8.9. att.) neatkarīgi no eksperimenta dizaina (Aronson, McNulty, 2009; Johnstone et al., 2013; Lupi et al., 2012; Peterjohn et al., 1993), izmantojot pretestības termometrus un datu ielasīšanas ierīces (logerus) (Robertson et al., 1999).



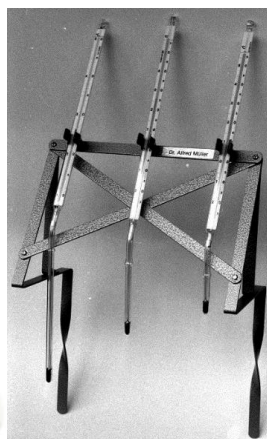
A (<http://www.daviddarling.info>)



B (<http://nelsonjameson.com>)



C (<http://www.keison.co.uk>)



D (<http://www.rfuess-mueller.de>)

8.9. attēls. Bimetāla (**A**), termistoru (ar automātisku datu ielasīšanu) (**B**), termopāra (**C**) un dzīvsudraba/spirta (**D**) termometri.

9. Koku salcietības izmaiņas dažādos meteoroloģiskajos apstākļos

Pārskata periodā nebija iespējams realizēt plānoto infrastruktūras attīstību un nodrošināt stādmateriāla audzēšanu atšķirīgos meteoroloģiskos apstākļos un testēšanu. Lai radītu izpratni par salcietības testu rezultātiem un no tiem iegūstamo informāciju par ziemas perioda klimata izmaiņu ietekmi pamatotai diskusijai par turpmāko pētījumu attīstību, vienlaikus nodrošinot kopējo projektā plānotā darba apjoma izpildi, pārskata periodā sadarbībā ar Somijas mežzinātnes institūta vadošo pētnieku iegūti apšu salcietības testu dati un veikta to analīze. Tāpat pārskata periodā veikta projektā iepriekšējā gadā ievāktās informācijas analīze, vērtējot koku salcietības formēšanos un izmaiņas (ziemas miera perioda fāzes) pieaugušiem kokiem.

Apšu salcietības testu analīze

Eksperimentā izmantotas parastās apses (*Populus tremula* L.) ģimenes, kas iegūtas, krustojot četras sievišķās apses ar trim vīrišķajām apsēm. Apses izvēlētas dabiski atjaunojušās audzēs 60°37'–38' Z p., 24°25'–27' A g., teritorijas aktīvo temperatūru summa 1250°. Eksperimentā salīdzinātie meteoroloģisko apstākļu varianti (A1B klimata izmaiņu scenārijs, kāds izmantots arī pētījumos Latvijā):

- a) atbilstošs esošajiem klimatiskajiem apstākļiem (reference);
- b) atbilstošs klimatiskajiem apstākļiem 2030. gadā (+1°C);
- c) atbilstošs klimatiskajiem apstākļiem 2100. gadā. (+4°C);

Sēklas dīgšanas laikā (pirmās septiņas dienas) nodrošināts optimāls mitruma režīms, pēc tam +1°C un +4°C scenārijos katrā nodrošināti divi atšķirīgi laistīšanas apjomi: sauss – sausāks nekā vidēji (1,6 mm m⁻²), turpmāk tekstā apzīmēts ar „s”, un mitrs – mitrāks nekā vidēji (3,1 mm m⁻²), apzīmēts ar „m”. Laistīšana veikta trīs reizes nedēļā (pirmdienā, trešdienā un piektdienā) starp pulksten 10:00 un 11:00. Papildus +4°C scenārijā izmantotas divas atšķirīgas CO₂ koncentrācijas gaisā – 290 ppm (esošā) un 700 ppm (paaugstinātā). Paaugstinātais CO₂ līmenis regulēts automātiski (dienas laikā no pulksten 11:00 līdz 15:00), pievadot papildus ogļskābo gāzi, tiklīdz tās koncentrācija samazinājās līdz 650 ppm. Pēc tam ļauts CO₂ līmenim dabiski kristies līdz apkārtējās vides līmenim. Fotoperiods eksperimenta ietvaros netika mainīts.

Katrā eksperimenta variantā izmantoti 52 kontainersējeņi no ģimenes (kopā 4368 apses). Pārskološana veikta 12 rindu kastēs katrā rindā pēc nejaušības, un kastes pēc shēmas izvietotas uz bīdāmiem audzēšanas galdiem. Galdus mainīja vietām katru nedēļu, lai mazinātu iespējamo

apstākļu nevienmērības ietekmi (pieļaujot varbūtību, ka telpas malās meteoroloģiskie apstākļi nav precīzi tādi paši kā telpas vidū).

Uzmērīts apšu augstums (h), veiktas to salcietības pārbaudes, no gada 249. dienas (septembra sākums) līdz 333. dienai katru otro dienu vienu eksperimenta bloku (sastāvošu no vairākām kastēm, kurās ir kociņi no visiem eksperimenta variantiem) ievietoja saldētavā. Saldētavā temperatūra no aptuveni +4°C pakāpeniski samazināta līdz -10°C nakts laikā, tāda noturēta divas stundas, tad ļauts temperatūrai palielināties par 1°C stundas laikā, līdz tā atgriežas sākotnējā līmenī. Salcietības pārbažu veikšanas laikā pārbaudāmajām kastēm apkārt apliktas kastes ar kūdras substrātu, lai samazinātu auksta gaisa ieplūšanu no malām. Pēc salcietības pārbažu veikšanas kastes novietotas sākotnējā atrašanās vietā. Pēc tam stādi pārvietoti uz plēves siltumnīcu ar dabisku apgaismojumu un temperatūru. Kokiem sākot augt, uzmērīts augstākā dzīvā pumpura augstums (h1) un aprēķināts bojātās daļas īpatsvars kā proporcija no sējeņa augstuma pirms testiem; uzskaitīti nosalušie sējeņi. Tāpat uzmērīts koku augstums veģetācijas perioda pēc salcietības pārbaudēm beigās (h2).

Konstatēts, ka no kopējā iestādīto sējeņu skaita pirmajā veģetācijas periodā vidēji izdzīvoja 45%. Būtiski lielāks izdzīvojušo sējeņu daudzums ir references (mūsdienu) meteoroloģiskajos apstākļos (66%), mazāks – +1°C (vidēji 61%) un vēl mazāks +4°C atbilstošos apstākļos – vidēji 29%, kad CO₂ koncentrācija 290 ppm, un vidēji 34%, kad 700 ppm (9.1. tab.). Sējeņi, kuri atradās tuvāk kastes malām, nokalta būtiski biežāk, nekā tie, kas atradās kastes vidū, liecinot, ka randomizācija ir svarīga precīzu eksperimenta rezultātu iegūšanai. Tāpat tas netieši norāda uz iespējamo sakņu bojājumu ietekmi uz sējeņu izdzīvošanu.

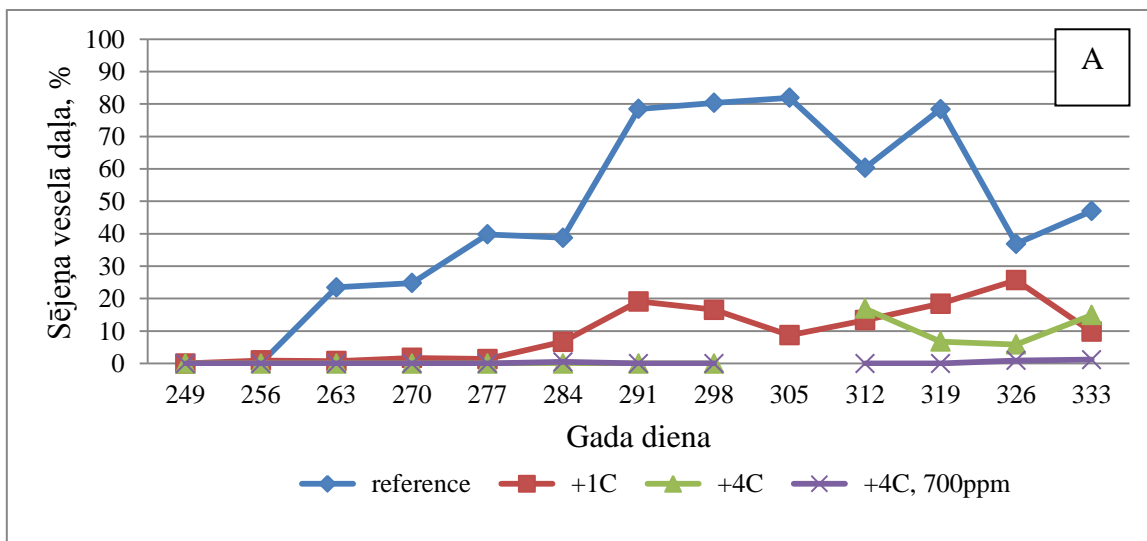
Analīzes rezultāti liecina, ka gan ģimenes, gan klimata scenārija, gan salcietības pārbažu veikšanas laika, kā arī šo faktoru mijiedarbības ietekme uz koku saglabāšanos ir būtiska, savukārt CO₂ koncentrācijas (kas vairāk nekā divreiz pārsniedz šobrīd novēroto) atšķirību ietekme nav statistiski būtiska. Konstatēts, ka palielināta laistīšanas intensitāte nedaudz paaugstina saglabāšanos pēc salcietības pārbaudēm +4°C scenārijā, tomēr atšķirības nav statistiski būtiskas.

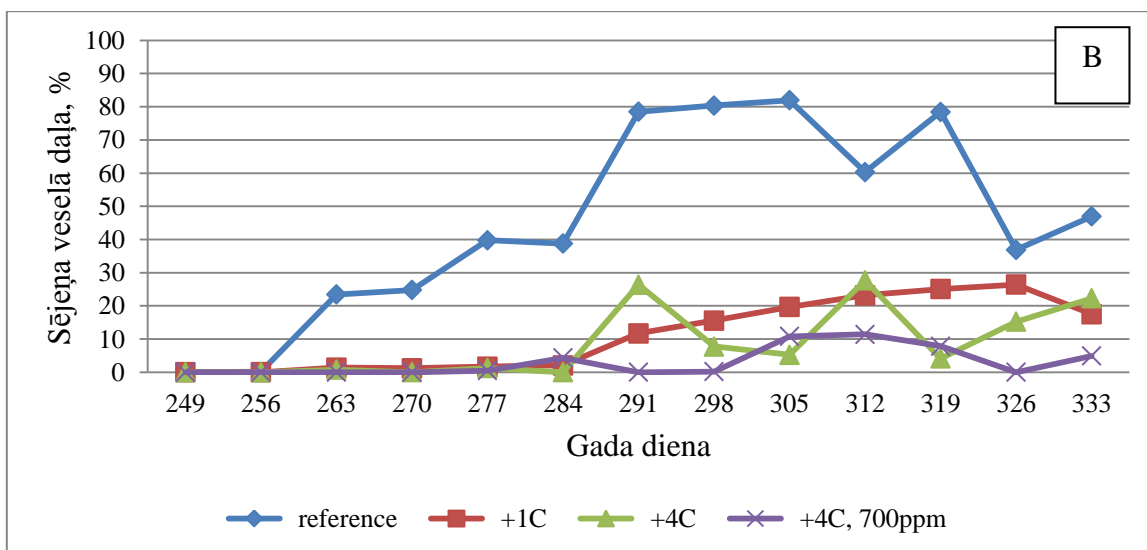
Apšu saglabāšanās pirms un pēc salcietības pārbaudēm

Scenārijs	Sievīškā apse	Saglabāšanās, %	
		pirms saldēšanas	pēc saldēšanas
Reference	A	76	62
	B	39	36
	C	69	60
	D	81	53
	Vidēji	66	55
+1°C s 290	A	48	43
	B	59	49
	C	65	50
	D	58	48
	Vidēji	58	48
+1°C m 290	A	71	52
	B	62	53
	C	59	40
	D	64	48
	Vidēji	64	48
+4°C s 290	A	23	8
	B	17	19
	C	26	5
	D	26	20
	Vidēji	23	13
+4°C m 290	A	40	21
	B	29	9
	C	33	18
	D	41	11
	Vidēji	36	15
+4°C s 700	A	35	11
	B	24	5
	C	24	8
	D	37	11
	Vidēji	30	9
+4°C m 700	A	36	20
	B	29	11
	C	38	14
	D	46	19
	Vidēji	37	16

Eksperimenta sākuma posmā (septembra sākumā) sējeņi vēl nebija gatavi ziemai neatkarīgi no meteoroloģiskajiem apstākļiem, kādos tie tikuši audzēti: salcietības pārbaudēs tie visi gāja bojā

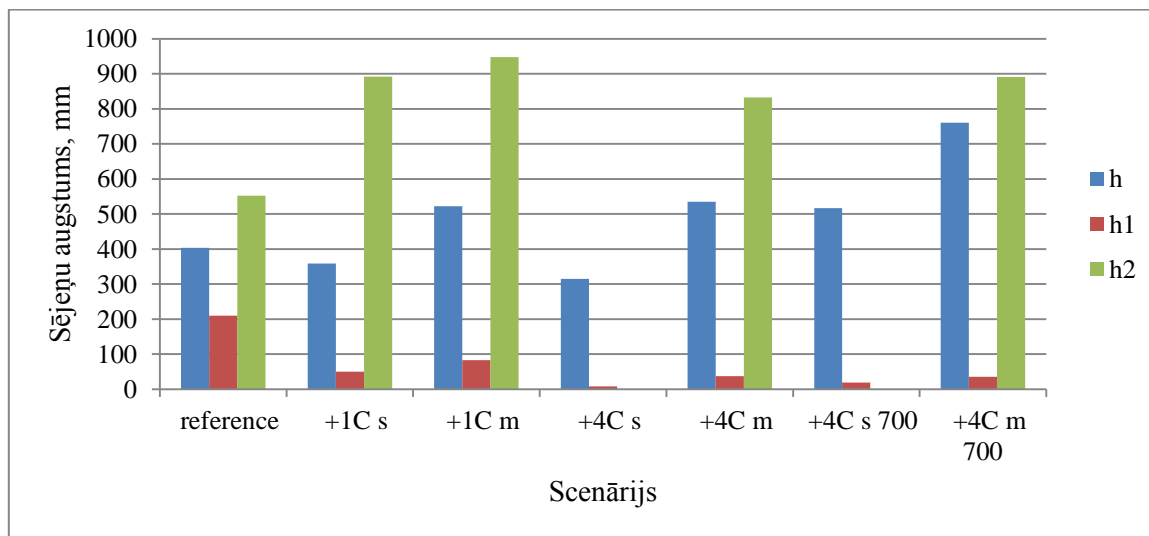
(9.1. att.). Atšķirības konstatējamas, sākot ar gada 263. dienu (20.09.), kad koki, kas audzēti references apstākļos (mūsdienu klimatā), jau sākuši veidot salcietību (sala nebojātās daļas īpatsvars no kopējā augstuma pārsniedz 20%), bet nākotnes klimatam atbilstošās siltākās temperatūrās audzētie vēl ne – šiem kokiem pirmās salcietības pazīmes parādās tikai 284.-291. dienā (tātad aptuveni mēnesi vēlāk). Turklāt redzams, ka izteikti paaugstinātā temperatūrā (+4°C) audzētajiem kokiem iegūtie rezultāti ir svārstīgi un tikai atsevišķos gadījumos sala nebojātās daļas garums pārsniedz 20%, turklāt paaugstinātā CO₂ koncentrācijā augušo apšu dzīvās stumbra daļas garums ir mazāks. Nedaudz paaugstinātā temperatūrā augušajiem sējeņiem sala nebojātās daļas īpatsvars palielinās pakāpeniski, tikai pašās gada beigās sasniedzot gandrīz 30% robežu. References (mūsdienu klimatam atbilstošos) apstākļos augušajiem kokiem aptuveni 2 mēnešus pēc salcietības veidošanās sākuma (326. dienā) 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.





9.1. attēls. Sala nebojātās daļas īpatsvars no kopējā koka augstuma pēc salcietības pārbaudēm dažādās gada dienās samazināta (A) un paaugstināta (B) mitruma apstākļos augušiem kokiem.

Vērtējot vidējos rezultātus, redzams, ka 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 (9.2. att.). 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. Ģimenes ietekme uz salcietības pārbaudēs bojātās sēja daļas garumu ir būtiska tikai references meteoroloģiskajos apstākļos.



9.2. attēls. Sēja augstums pirms (h) un pēc salcietības testiem pavasarī (h_1) un veģetācijas perioda beigās (h_2).

Pieņemot, ka nākotnes klimatā arī ziema iestāsies vēlāk, un izslēdzot atšķirību salcietības veidošanās sākuma laikā ietekmi (t.i., pieņemot, ka salcietības pārbaudes references materiālam 256. dienā atbilst pārbaudēm citam materiālam 284. dienā), redzams, ka salcietības veidošanās paaugstinātā temperatūrā auguši koki nenotiek tik strauji un kopumā nerasniedz tādu līmeni (nedz sējeņu saglabāšanās, nedz to bojātās 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.

Koku, kas auguši paaugstinātā temperatūrā, vidējais augstums veģetācijas perioda beigās (pēc salcietības pārbaudēm) pārsniedz references (mūsdienu) apstākļos augušo koku augstumu. 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°C atbilstošos apstākļos audzētajiem kokiem otrās veģetācijas sezonas beigās izdzīvojuši mazāk nekā 1% sējeņu. Jāņem vērā arī bojājumu potenciālā kumulatīvā ietekme – t.i., salam atkārtojoties 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.

Vērtējot līdzīgu eksperimentu ierīkošanu, jāņem vērā, ka:

- a) jāizvēlas pamatots temperatūras režīms (negatīvās temperatūras ar noteiktu atkārtotības biežumu);
- b) jāizmanto liels sējeņu skaits variantā, lai nodrošinātu vairāku gadu kumulatīvās ietekmes analīzes iespējas;
- c) jāņem vērā fotoperioda ietekme, t.i., sals nākotnes klimatiskajos apstākļos iestāsies vēlāk – atšķirīgos fotoperiodiskajos apstākļos;
- d) jāvērtē arī koku sakņu bojājumi tieši vai pastarpināti (to ietekme uz koku saglabāšanos, augšanu), nodrošinot atšķirīgu sējeņu sakņu aizsardzības līmeni salcietības pārbaudi laikā.

Salcietības formēšanās pieaugušiem kokiem

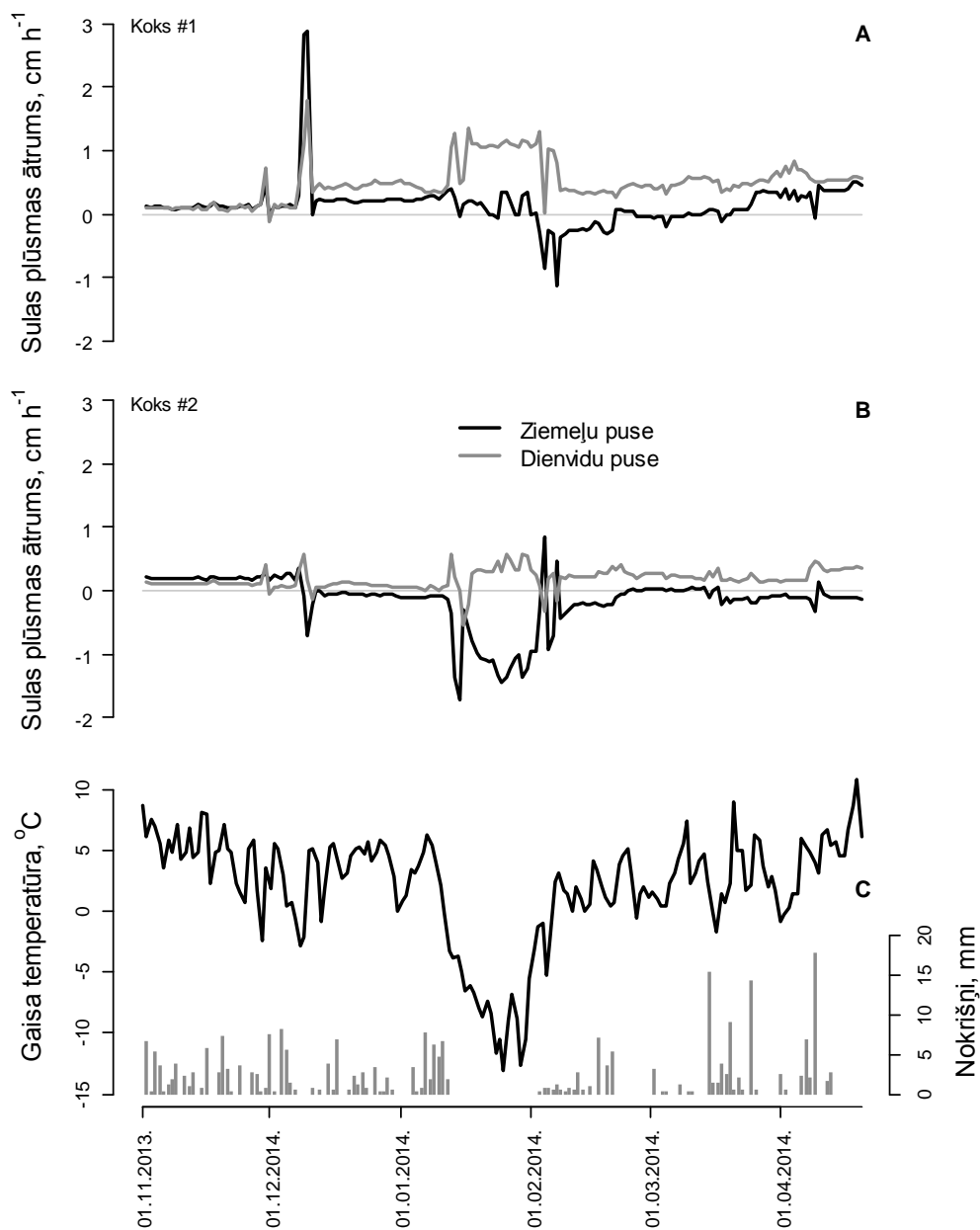
Sala (atšķirīgās meteoroloģisko apstākļu kombinācijās) ietekmi uz koku augšanu un to salcietības formēšanos pieaugušiem kokiem nav iespējams vērtēt kontrolētos apstākļos, tādēļ projekta ietvaros veikta ziemas perioda sulas plūsmas datu ievākšana un pārskata periodā sāka šo datu analīzi.

Veģetācijas periodā sulas plūsmu galvenokārt nosaka transpirācija un nepieciešamība apgādāt visas auga daļas ar ūdeni augšanas procesu nodrošināšanai (Zimmermann et al., 2002). Piemēram, ierīkojot eksperimentu, kur koka vienā pusē veikta laistīšana, bet otrā pusē bloķēta jebkāda ūdens nonākšana augsnē, novēroja, ka dienā sulas plūsma ir augšupejoša, nodrošinot ar ūdeni koka vainagu (fotosintēze, transpirācija), bet naktī lejupejoša, nodrošinot ar ūdeni to koka sakņu daļu, kas atradās sausumā.

Ziemas miera periodā sulas transportu augā regulē citi koka iekšējie procesi nekā veģetācijas periodā (Kramer, Boyer, 1995; O'Malley, Milburn, 1983; Pallardy, 2008), un tie galvenokārt saistīti ar salcietības veidošanos. Vienkāršoti var teikt, ka auga salcietība paaugstinās, gaisa temperatūrai pazeminoties, un otrādi (Lang et al., 1985; Pallardy, 2008; Welling et al., 1997; Welling, Palva, 2006), tomēr procesu ietekmē gan auga (koka) suga, gan proveniense, tāpat zināma loma ir ar fotoperiodu saistītiem salcietības regulācijas procesiem.

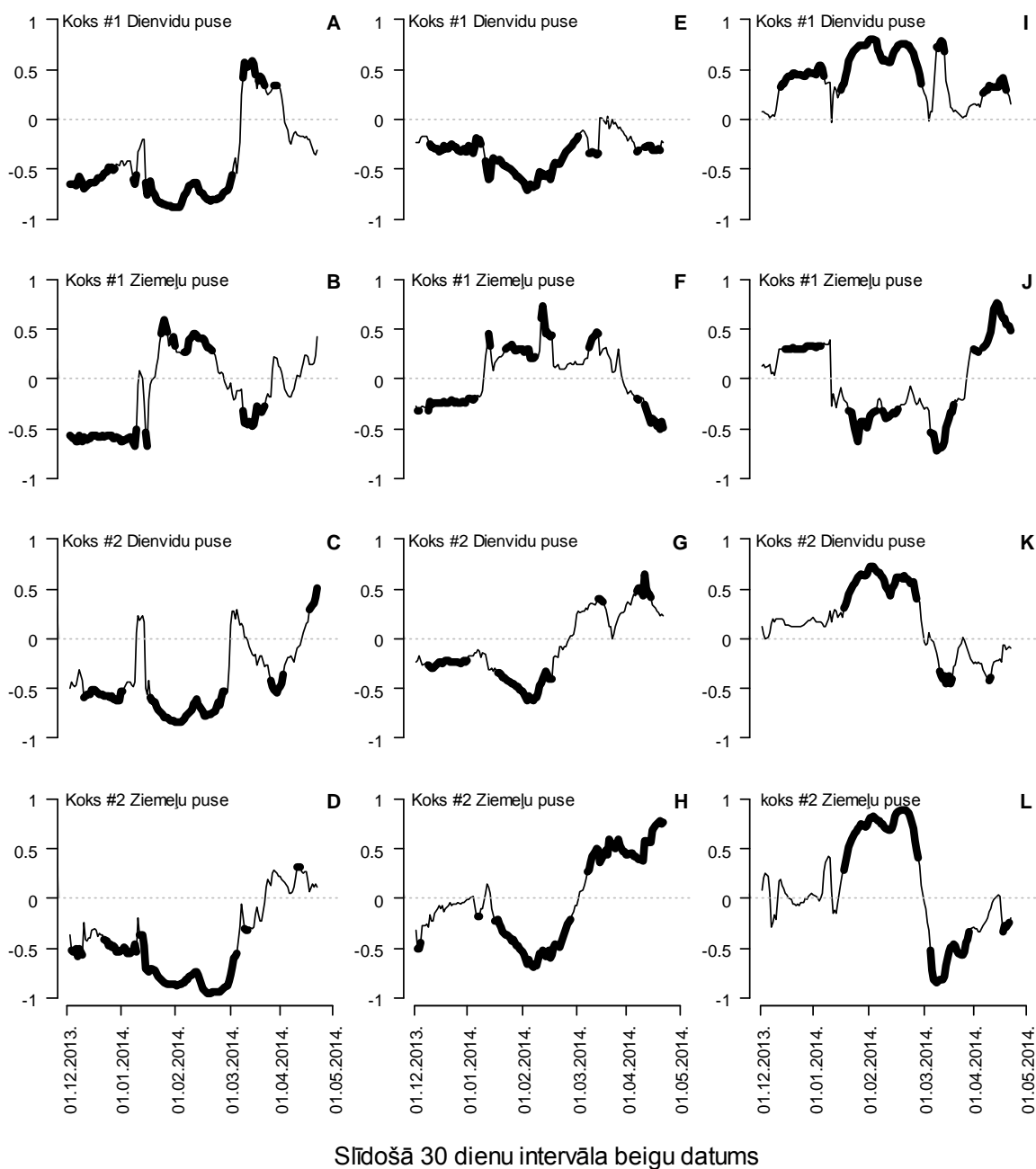
Mūsu pētījumā pieaugušiem melnalkšņiem miera periodā novērota gan augšup, gan lejup ejoša sulas plūsma (9.3. att. A, B), kuras ātrums lielākoties bija robežās no 0 līdz 3 cm h⁻¹. Sulas plūsmas ātrums bija cieši saistīts ar gaisa temperatūras, nokrišņu un gaisa spiediena svārstībām (9.3. att. C): 30 dienu slīdošā intervāla korelācijas ar šiem meteoroloģiskajiem parametriem bija statistiski būtiskas ($P < 0,05$) lielākajā daļā novērojumu perioda (9.4. att.).

Pirmās nozīmīgās un statistiski būtiskās sulas plūsmas ātruma izmaiņas (palielināšanās) konstatētas brīdī, kad gaisa temperatūra ziemas sākumā pirmo reizi nokrītas zem 0°C. Janvāra vidū sulas plūsmas ātruma svārstības sakrita ar straujo gaisa temperatūras kritumu (korelācija negatīva, statistiski būtiska). Novērojumu perioda pēdējā mēnesī sulu plūsmas ātrumam bija pozitīvas statistiski būtiskas korelācijas ar gaisa temperatūru, tomēr tas nepalielinājās strauji.



9.3.attēls. Dienas vidējie sulas plūsmas ātrumi (A un B), gaisa temperatūra un nokrišņu apjoms (C) novērojumu periodā (Krišāns u.c., iesniegts publicēšanai).

Negatīvās sulas plūsmas ātrumu vērtības apzīmē lejupejošu sulas plūsmu.



9.4. attēls. Randomizēti Pīrsona korelācijas koeficienti 30 dienu slīdošajam intervālam starp sulu plūsmas ātrumu un gaisa temperatūru (A, B, C un D), nokrišņiem (E, F, G, un H) un gaisa spiedienu (I, J, K un L) (Krišāns u.c., iesniegts publicēšanai).

Sabiezinātās līknes daļas apzīmē statistiski būtiskas korelācijas ($P < 0,05$).

Mūsu pētījumā novērotais zema sulas plūsmas ātrums rudens beigās (novembrī) iezīmē koka iekšējo procesu noteikto miera periodu (*endodormancy*), kad, ārējā vidē saglabājoties pozitīvām temperatūrām, kokā salcietība paaugstinās ļoti pakāpeniski (Welling, Palva, 2006), taupot tās formēšanai un uzturēšanai nepieciešamo enerģiju. Gaisa temperatūrai noslīdot zem 0°C

(decembra sākumā) novērojama nekavējoša koka atbildes reakcija: būtiski palielinās sulas plūsmas ātrums, aizvadot daļu ūdens, pārvietojot organiskos savienojumus un paaugstinot salcietību. Šajā periodā novērojami dažādie sulas plūsmu virzieni vienā kokā, ko nosaka nepieciešamība pārvietot „pret-sasalšanas vielas” starp dažādām koka daļām (Welling, Palva, 2006). Gaisa temperatūras paaugstināšanās decembrī palēnināja sulas plūsmas ātrumu, kas liecina par salcietības (vai tās veidošanās intensitātes) mazināšanos (Schaberg et al., 1996; Kalberer et al., 2007). Savukārt garāks negatīvu temperatūru periods janvārī izraisīja būtisku sulas plūsmas ātrumu pieaugumu, ko var skaidrot ar šūnu dehidratizāciju, izspiežot ūdeni starpšūnu telpā (Pearce, 1988), lai novērstu ledus kristālu augšanas izraisītus mehāniskus bojājumus (Welling, Palva, 2006). Februāra vidū, kad salcietība jau bija izveidojusies, negatīvās gaisa temperatūras vērtības vairs neizraisīja sulas plūsmas ātruma izmaiņas, lai gan pie līdzīgiem apstākļiem rudenī kokā bija vērojama izteikta atbildes reakcija (Welling, Palva, 2006).

Mūsu pētījuma rezultāti liecina par nozīmīgu koka fizioloģisko reakciju uz gaisa temperatūras svārstībām dažādos ziemas miera perioda posmos. Nākotnē prognozētā paaugstināta temperatūra ziemā varētu samazināt koku salcietību, un tie varētu ciest no lielākiem sala bojājumiem pēkšņos sala periodos. Tāpat salcietības veidošanās un mazināšanās vairākas reizes ziemas periodā saistīta ar koka enerģijas patēriņu, kam var būt negatīva ietekme uz to pieaugumu. Par to netieši liecina dendrohronoloģijas pētījumi, kuros konstatēta noteiktu ziemas perioda posmu temperatūru ietekme uz koka augšanu nākamajā veģetācijas sezonā (Pederson et al., 2004; Elferts, 2007; Elferts et al., 2011; Matisons et al., 2012). Tomēr pilnīgākai analīzei ir nepieciešami novērojumi no vairākiem temperatūras ziņā atšķirīgiem ziemas periodiem.

10. Dižskābarža un Eiropas lapegles piemērotība Latvijas klimatiskajiem apstākļiem, turpmāko pētījumu pieceja un materiāls

Pārskata periodā analizēta lapegles un dižskābarža radiālā pieauguma izmaiņu saikne ar klimatiskajiem faktoriem. Iegūtās atziņas papildina jau iepriekšējā gadā ievāktu un analizēto empīrisko un teorētisko materiālu un izmantotas secinājumu izdarīšanai.

Klimata izmaiņu rezultātā boreālajos mežos prognozējama ne vien kokaudžu produktivitātes palielināšanās (Lindner et al., 2010), bet arī koku sugu sastāva maiņa (Hickler et al., 2012), tāpēc izšķiroša nozīme nākotnes mežu ilgtspējīgas attīstības nodrošināšanā ir atbilstošu meža apsaimniekošanas pasākumu izvēlei un pielietošanai. Viens no šādiem pasākumiem ir konkrētajam reģionam jaunu sugu izmantošana meža atjaunošanā, iepriekš rūpīgi izvērtējot to ekoloģiskās prasības. Detalizētu informāciju par klimata ietekmi uz kokaugu augšanu un tādējādi arī par iespējām tos audzēt konkrētajos vai sagaidāmajos klimatiskajos apstākļos sniedz dendrohroloģiskā analīze (Fritts, 2001; Vetaas, 2002).

Latvijā pašreiz nelielā apjomā sastopamās sugas – Eiropas dižskābardis (*Fagus sylvatica* L.) un Eiropas lapegle (*Larix decidua* Mill.) – atrodas uz ziemeļiem no to pašreizējā izplatības areāla (Bolte et al., 2007; EUFORGEN 2009), un šo sugu mežaudzes Latvijā aizņem attiecīgi 42,8 ha un 1138,9 ha (Dreimanis, 1995). Lai arī, atbilstoši prognozētajām izmaiņām klimatam kļūstot siltākam, palielināsies vides apstākļu piemērotība šo sugu sekmīgai augšanai Latvijā (Hickler et al., 2012), tomēr klimatisko faktoru mainības amplitūdas limitējošā ietekme saglabāsies (Fritts, 2001). Noskaidrojot klimatisko faktoru ietekmi uz gadskārtu platumu Latvijā augošiem kokiem ar dendrohronoloģijas metodēm, iespējams identificēt dižskābarža un lapegles augšanu būtiski ietekmējošos faktorus noteiktos veģetācijas sezonas periodos un tādējādi iegūt informāciju par šo sugu potenciālajām audzēšanas iespējām Latvijā.

Pieauguma urbumi ievākti mežaudzēs Latvijas rietumu daļā (10.1. tab.).

Audzēs, kas izvietotas līdzenā reljefā uz auglīgas minerālaugsnes ar normālu mitruma režīmu, pēc nejaušības principa izvēlētajiem veseliem valdaudzes kokiem ievākti divi pieauguma urbumi (no pretējām stumbra pusēm). Veikta urbumu slīpēšana un gadskārtu platumu mērīšana ar LINTAB 5 (RinnTECH) iekārtu ar precizitāti 0,01 mm.

Analizētos paraugus raksturojošie parametri

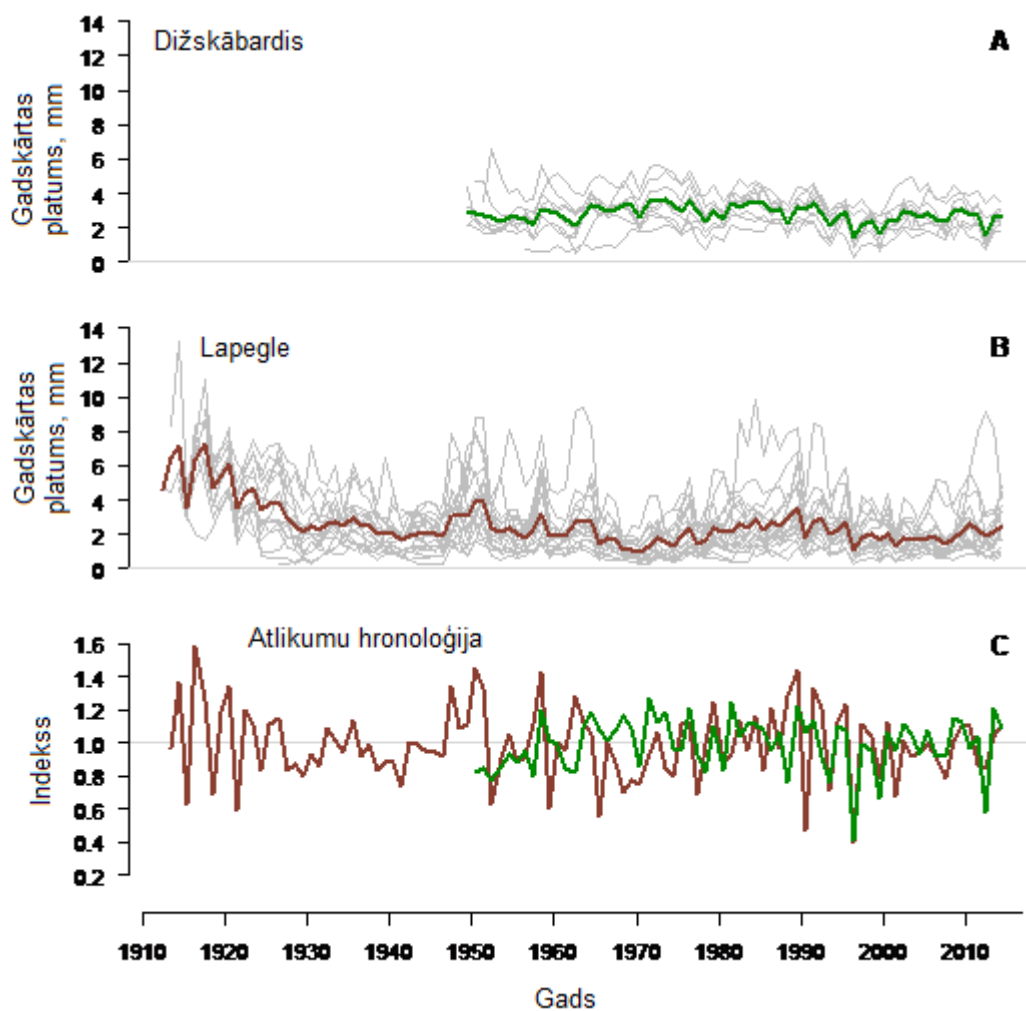
Parametrs	Dižskābardis	Eiropas lapegle
Analizētais laika periods	1949–2012	1911–2012
Vidējais koku augstums, m	28,3	32,2
Vidējais stumbra caurmērs, cm	41,5	48,7
Minimālais gadskārtas platums, mm	0,30	0,23
Maksimālais gadskārtas platums, mm	6,63	13,22
Vidējais gadskārtas platums, mm	2,80	2,40
Starpsēriju korelācija	0,69	0,60
Sinhronitāte (GLK)	0,70	0,64
Populācijas signāla indekss (EPS)	0,88	0,91

Visām iegūtajām augstuma pieaugumu sērijām veikta kvalitātes pārbaude, izmantojot grafiskās un statistiskās šķērsdatēšanas metodes. Statistiskajai šķērsdatēšanai izmantota COFECHA programma (Grissino-Mayer, 2001). Mērījumu sērijas, kuras savstarpēji parādīja zemu līdzību, kā arī zemu sinhronitāti, pārmērīja, un to kvalitāti pārbaudīja atkārtoti. Kvalitātei atbilstošo datu kopu raksturošanai izmantoja vidējo starpsēriju korelāciju indeksētām sērijām (IC), sinhronitāti (GLK) (Fritts, 2001), kā arī populācijas signāla (EPS) (Wigley et al., 1984) indeksu. Aprēķini tika veikti programmā R (R Core Team, 2013), izmantojot moduli dplR (Bunn, 2008). Analīzē izmantotas detrendētas augstuma pieauguma vērtības, iegūtas ar programmu ARSTAN. Korelācijas un atbildes reakcijas vērtēšanai starp koku augstuma detrendētajām vērtībām un meteoroloģiskajiem faktoriem izmantota programma DendroClim2002 (Biondi, Waikul, 2004). Analīzes veiktas visam novērojumu periodam, kā arī 40 gadu vidējām vērtībām, lai raksturotu konstatēto sakarību noturību (izmaiņas) novērojumu periodā.

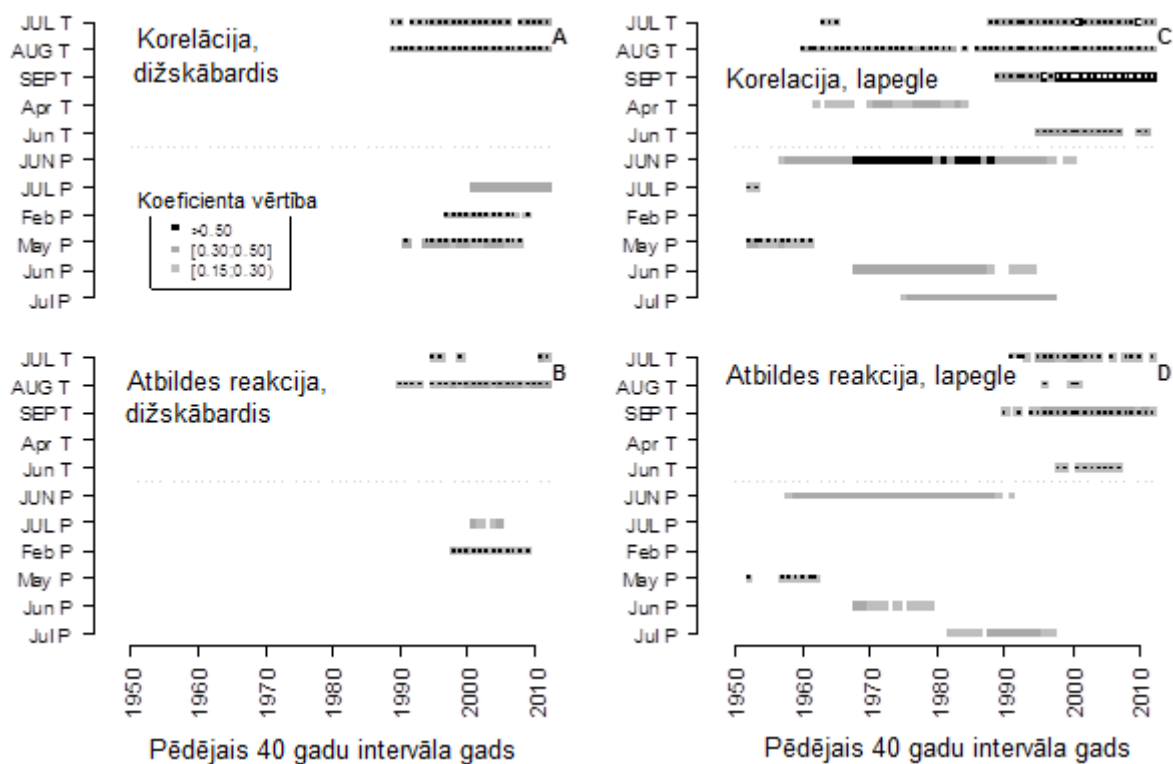
Gadskārtu platumu (detrendētās vērtības) analīze liecina par atsevišķām abām sugām kopīgām iezīmēm: šaurām gadskārtām 1979., 1992., 1995., 1998., 2006. un 2008. gadā un platām 1957., 1978. un 1994. gadā (10.1. att.). Kopumā izveidotajām hronoloģijām konstatēta statistiski būtiska korelācija un/vai atbildes reakcija ar septiņiem no 34 meteoroloģiskajiem faktoriem. Dižskābarža gadskārtu platumus būtiskāk ietekmēja iepriekšējā gada jūlija un augusta temperatūra. Analizējot klimatisko faktoru ietekmi pa 40 gadu periodiem (10.2. att.) redzams, ka abu šo mēnešu temperatūras ietekme ir būtiska visā vērtētajā laika posmā, kamēr iepriekšējā gada jūlija nokrišņu summas ietekme kļūst būtiska tikai, sākot ar periodu 1960.-2000. gads.

Tāpat kā dižskābarža, arī lapegles gadskārtu platumu būtiski ietekmē iepriekšējā gada jūlija un augusta vidējā temperatūra, tomēr nozīmīga ietekme ir arī iepriekšējā gada septembra un kārtējā gada jūnija temperatūrai, kā arī jūlija nokrišņu summai. Atsevišķu laika periodu analīze liecina, ka

kožu gadskārtu platumu ietekmējusi arī vasaras mēnešu nokrišņu summa, tomēr tās ietekme šajā gadsimtā vairs nav statistiski būtiska.



10.1. attēls. Gadskārtu platumi un to indeksu vērtības analizētajai paraugkopai (Jansons u.c., pieņemts publicēšanai).



10.2. attēls. Statistiski būtiskās korelācijas un atbildes reakcijas starp gadskārtu platumu (detrendētās vērtības) un meteoroloģiskajiem faktoriem 40 gadu intervālos dižskābardim (A, B) un lapeglei (C, D)
(Jansons u.c., pieņemts publicēšanai).

Relatīvi zemās korelācijas koeficientu vērtības liecina, ka klimatiskajiem faktoriem nav izteiktas ietekmes uz gadskārtu platumu analizētajām koku sugām, kas atrodas uz sava līdzšinējā izplatības areāla robežas (Bolte et al. 2007; EUFORGEN 2009),.

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. Pētījumos citās valstīs pierādīts, ka koku pieaugumu būtiski ietekmē iepriekšējā gadā uzkrāto barības vielu apjoms (Barbaroux, Breda, 2002; Sudachkova et al., 2004).

Konstatēts, ka ziemas un pavasara temperatūrām vairs nav nozīmīgas ietekmes uz lapegles un dižskābarža gadskārtu platumu Latvijas rietumu daļā. Meteoroloģiskie faktori gadskārtu platumu šīm sugām ietekmēja līdzīgā mērā, kā, piemēram, priedei un eglei, liecinot, ka klimatiskie apstākļi ir piemēroti to plašākai izmantošanai.

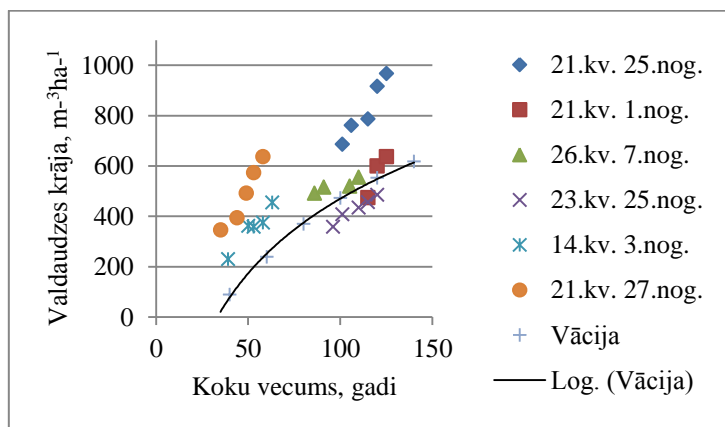
Klimatisko faktoru ietekmes mazināšanos un apstākļu piemērotību dižskābarža audzēšanai apliecina arī pagājušajā pārskatā apkopotā informācija par šīs koku sugas sekmīgu dabisko atjaunošanos parauglaukumos gan Dienvidkurzemē (10.2. tab.), gan Ziemeļkurzemē.

10.2. tabula.

Mežaudzes parauglaukumos sastopamo paaugus un pameža koku vidējais
biezums (koki ha⁻¹) pa augstuma klasēm (Jansons u.c., 2013)

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

Dižskābarža mežaudžu produktivitātes (ražības) raksturošanai iepriekšējā pārskata periodā dati tika ievākti, veicot atkārtotus mērījumus prof. A. Dreimaņa ierīkotajos ilglaicīgajos parauglaukumos MPS Šķēdes meža novadā (6 audzes vecumā no 58 līdz 125 gadiem) konstatējot, ko šo audžu valdaudzes koku augstums un krāja ir līdzvērtīga dižskābarža areāla centrālajā daļā (Vācijā) konstatētajai (10.3. att.).



10.3.attēls. Valdaduzes koku krājas dinamika mežaudzēs MPS Šķēdes MN un šīs koku sugas izplatības areāla centrālajā daļā, Vācijā (Jansons u.c., 2013).

Iegūtie rezultāti apliecina, ka dižskābārdis ir piemērota koku suga meža atjaunošanai Latvijas rietumu daļā un iespējams, ka tā izplatību Latvijā galvenokārt ierobežo nevis klimatiskie faktori, bet zemais migrācijas (izplatīšanās) ātrums (Johnson, Adkisson, 1985), kā arī vēsturiskais meža apsaimniekošanas režīms. Tāpat rezultāti liecina, ka jau notikušo klimata izmaiņu ietekme ir bijusi un prognozēto izmaiņu ietekme būs šai koku sugai labvēlīga.

Līdzīgus secinājumus iespējams izadīt par lapegli, kuras augšana iepriekšējā pārskatas periodā vērtēta 19 parauglaukumi audzēs ar vecumu no 37 līdz 82 gadiem un šajā pārskata periodā analizēta atsevišķu paraugkoku augšanas gaita. Tādēļ, lai novērtētu šo koku sugu izmantošanu praksē meža atjaunošanā, nākamais etaps ir provenienču eksperimentu ierīkošana, kā arī ekonomisko aprēķinu veikšana un eksperimentālo stādījumu ierīkošana.

Lai to realizētu, pārskata periodā, saskaņā ar projekta darba uzdevumu, veikta dižskābarža sēkļu ieguve no Dānijas, Vācijas un Zviedrijas dienvidu daļas, kā arī hibrīdās lapegles sēkļu ieguve no Polijas un labāko Klinškalnu priežu provenienču čiekuru ievākšana stādījumos Latvijā. Stādu audzēšanu no ievāktā sēkļu materiāla paredzēts veikt Meža pētīšanas stacijas (MPS) kokaudzētavā. Provenienču eksperimentus dižskābardim paredzēts ierīkot MPS Šķēdes meža novadā (MN), kur prognozējama šīs koku sugas laba saglabāšanās, lai novērtētu ģenētiski noteiktās ātraudzības un kvalitātes atšķirības. Paredzēts ierīkot divus stādījumus (mazinot eksperimenta neizdošanās risku kāda iepriekš neparedzēta faktora ietekmes dēļ) vērī, vienā no tiem proveniencas randomizēti izvietojot sešos atkārtojumos 100 koku bloku parcelēs nodrošinot, ka vienlaikus stādījums ir izmantojamas arī kā demonstrējumu objekts arī pēc pirmajām retināšanām; otrā – tādu par koku skaitu izvietojot vienkoka parcelēs, tādējādi minimizējot iespējamo augsnes apstākļu stādījuma ietvaros ietekmi uz rezultātu un nodrošinot precīzāku provenienču salīdzinājumu. Stādīšanas biežums 5000 koki ha⁻¹ (līdzīgs, kā izmantots stādījumos Vācijā), nodrošinot koku sānu apēnojumu. Nepietiekama stādu skaita gadījumā tiks izmantots rindu mistrojums ar egli. Papildus pie demonstrācijas objekta tiks izvietotas stādījuma biežuma eksperiments: četri atšķirīgi biežumi divos atkārtojumos katrs, tāpat izmantojot 100 koku parces. Stādījums ar vienkoka parcelēm tiks izvietots arī MPS Kalsnavas MN, ar mērķi vērtēt provenienču saglabāšanās atšķirības Austrumlatvijas klimatiskajos apstākļos. Stādījumos tiks nodrošināta aizsardzība pret pārnadžu bojājumiem. Ņemot vērā, ka meteoroloģisko apstākļu ietekme uz saglabāšanos ir nozīmīgākā tieši stādīšanas gadā, kā arī ievērojamo apstākļu starpgadu mainību, paredzēts, ka otrs stādījums MPS Kalsnavas MN tiks ierīkots nevis tajā pat, bet nākamajā gadā. Tāpat paredzēts saglabāt vēl sēkļu materiālu vismaz no divām porviencēm un stādīšanu nelielā apjomā veikt arī trešajā un ceturtajā gadā. Visos stādījumos paredzēts izvietot

termosensorus 10 cm dziļumā, uz augsnes virskārtas, 10, 20 un 80 cm augstumā, regulāri veikt datu nolišanu un katru gadu vismaz četru gadu posmā – stādījumu uzmērīšanu. Katrā stādījumā kā salīdzināšanai paredzēt iestādīt atbilstošā provenienču reģiona egles sēklu plantācijas pēcnācēju vidējo paraugu.

Papildus eksperimentos MPS lietderīgi novērtēt dižskābarža izmantošanas iespējas nekailciršu saimniecībā – stādījumus rekomendējams ierīkot vismaz četrās audzēs atvērumos pēc pakāpeniskās cirtes vismaz divās stādījumu teritorijās, ne mazāk kā četros atkārtojumos un ne mazāk par 200 kokiem katrā audzē, nodrošinot iespēju veikt periodiskus mērījumus un monitorēt to augšanas gaitu. Tāpat stādījumā kā kontroles rekomendējams iekļaut gan stādītas, gan dabiski atjaunojušās platības ar vietējo koku sugu, kas piemērotākā attiecīgajam meža tipam (priedi vai egli). Rekomendējams eksperimentus ierīkot gan piemērotā (V_r), gan iepriekš nevērtētā (L_n/D_m un A_s/K_s) augsnē, vērtējot vairākas mistrojumu veidošanas iespējas (gan stādot, gan kombinējot ar dabisko atjaunošanu).

Praktiskai dižskābarža audzēšanas iespēju pārbaudei plašākā apjomā rekomendējams ierīkot stādījumus (vismaz sākotnēji – izmantojot mežēņus, kuru garums nav mazāks par 0,5 m no Latvijā esošām dižskābaržu audzēm) damaksnī, vērī sagatavotā augsnē, stādot ap 1500 kokiem ha^{-1} un pārējo nepieciešamo sākotnējo audzes biezumu nodrošinot ar dabisko atjaunošanos.

Klinškalnu priedei – eksperimentālos stādījumus paredzēts ierīkot kailcirtēs vai uz bijušās lauksaimniecības zemes ar nabadzīgu, smilšainu augsni, kā kontroles materiālu iekļaujot attiecīgā provenienču reģiona parastās priedes sēklu plantācijas pēcnācēju vidējo paraugu. Ņemot vērā, ka eksperimenta mērķis ir salīdzinājums starp dažādu koku pēcnācējiem, un ka šai koku sugai Latvijā jau ir pietiekami daudz stādījumi, kas izmantojami krājas vērtēšanai un kā demonstrāciju objekti, paredzēts koku skaitu (ne mazāk pat 40 no ģimenes stādījuma vietā un biezumā) izvietojot vienkoka parcelēs, tādējādi minimizējot iespējamo augsnes apstākļu stādījuma ietvaros ietekmi uz rezultātu. Stādījuma biezums 2000, 3000 un 5000 koki ha^{-1} , lielākajam stādījuma biezumam iespējams izmantot arī mazāku koku skaitu no ģimenes, jo tā galvenais mērķis ir nodrošināt salīdzināšanas iespēju ar jau ierīkotajiem stādījumiem. Stādījumus paredzēts ierīkot divās vietās MPS Kalsnavas un Jelgavas MN, nodrošinot koku aizsardzību pret pārnadžu bojājumiem.

Lapegles provenienču materiālu, ņemot vērā tā ierobežoto apjomu, rekomendējams ietvert plānotajos meža selekcijas eksperimentos citām skuju koku sugām, kur paredzēts izmantot sēklu plantāciju un mežaudžu vidējos paraugus no visām Baltijas jūras reģiona valstīm (izņemot

Krieviju) un kuru ierīkošana plānota nākamajos divos gados, lai iegūtu objektīvu salīdzinājumu par ievāktā materiāla ražību.

11. Eksperimenti daļēji kontrolētos apstākļos: sausuma stresa novērtējums un temperatūra sēklu materiāla nogatavošanās laikā

Pētījums 2014. gada novērojumu sezonā veikts, saglabājot iepriekš izstrādāto eksperimenta dizainu un infrastruktūru (11.1. att.), izmantojot 3 koku sugu (parastā egle, parastā priede un āra bērzs) stādmateriālu 3 meža tipiem (sils, damaksnis un platlapju kūdrenis) atbilstošās augsnēs. Atšķirībā no iepriekšējām novērojumu sezonām, stādīšanu veica 10 l tilpuma ģeotekstila maisos (11.2. att.), lai mazinātu iespējamās sakņu bojājumus, stādus rudenī izrokot. Novērojumu sezonas gaitā paraugkokiem reizi nedēļā mērīja augstuma pieaugumu, bet oktobrī visu stādmateriālu izraka, lai veiktu tā destruktīvos morfometriskos mērījumus (koka virszemes un sakņu daļu zaļās un sausās masas noteikšanu).



11.1. attēls. Ierīkotais eksperiments.

Saglabāts sākotnējais stādu izvietojums sešos blokos, katram augsnes veidam piemērojot divus mitruma režīmus – izmainīts (laistīšana reizi nedēļā ar attiecīgā perioda nokrišņu summāro daudzumu) un dabisks (kontrolē). Nokrišņu aizturēšanu nodrošināja automatizētas, gaismu caurlaidīgas nojumes izmantošana. Nokrišņu režīma izvēles pamatā ir iepriekš izstrādātās klimata izmaiņu prognozes, kas paredz bezlietus periodu pagarināšanos, saglabājoties nokrišņu summai.

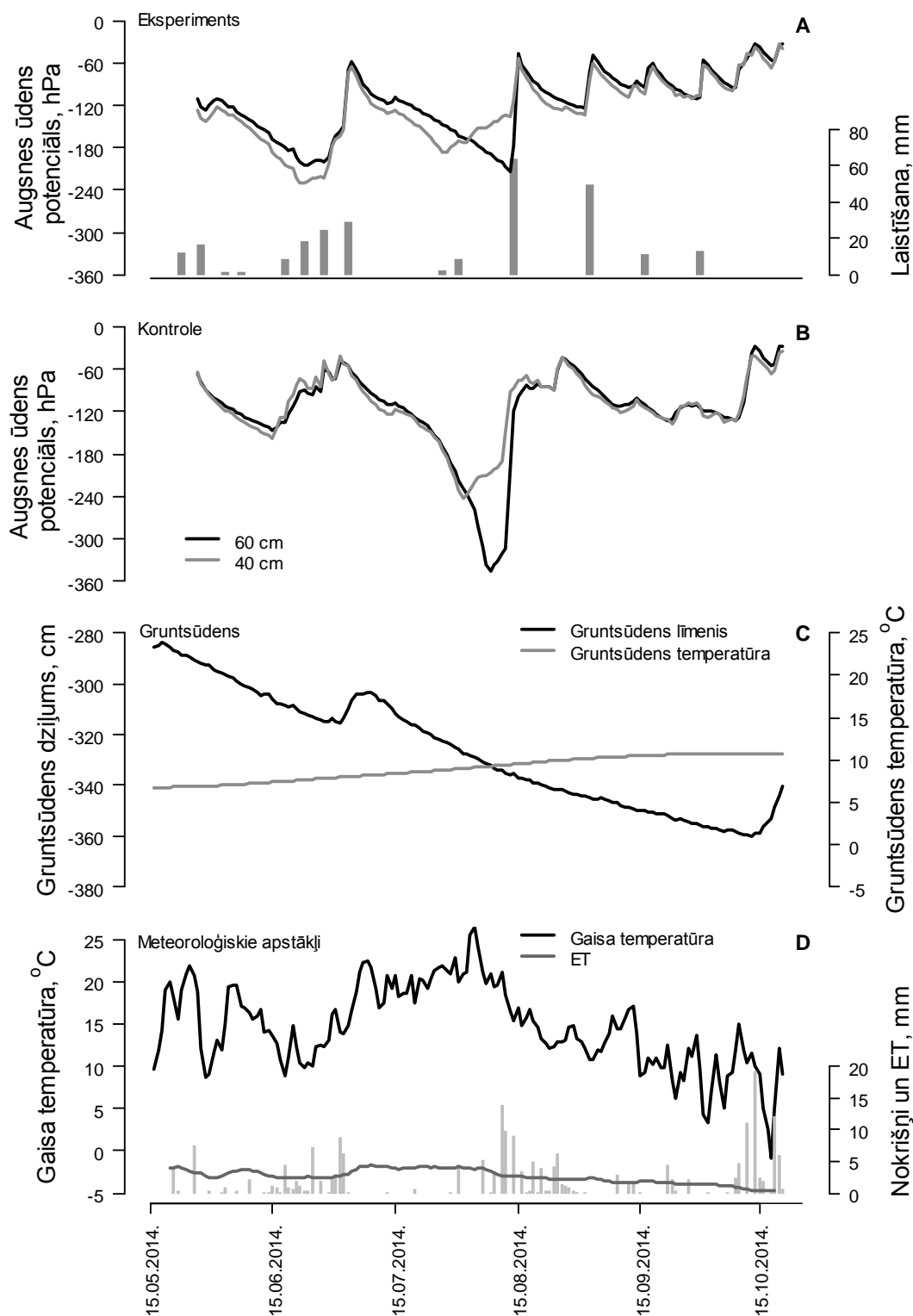
Laistīšanas režīma ietekmes uz augsnes mitruma apstākļiem novērtēšanai, salīdzinājumā ar kontroli, veica augsnes ūdens potenciāla (AUP) mērījumus katrā stādvietā 0,4 un 0,6 m dziļumā un automatizētu gruntsūdens līmeņa monitoringu. Meteoroloģisko parametru novērojumus veica

ar iepriekšējās sezonās uzstādīto automātisko novērojumu staciju. Mitruma apstākļu raksturošanai tika aprēķināta dienas vidējā evapotranspirācija (ET_o) (mm) pret references virsmu (zālāju), izmantojot Pasaules pārtikas un lauksaimniecības organizācijas (FAO) izstrādāto “ ET_o Calculator” programmatūru, kas balstīta uz Penman–Monteith vienādojumu (Monteith, 1965). Tajā aprēķiniem izmanto parauglaukumā uzmērītās gaisa temperatūras maksimālās un minimālās vērtības, vēja ātruma, summārās Saules radiācijas un gaisa relatīvā mitruma maksimālās un minimālās diennakts vērtības.



11.2. attēls. Stādīšanai izmantotais 10 l ģeotekstila maiss.

Konstatēts, ka evapotranspirācijas un diennakts maksimālās vidējās gaisa temperatūras paaugstināšanās negatīvi ietekmēja nākamās dienas AUP abos mitruma režimos un dziļumos (izmainītā nokrišņu režīmā 0,4 un 0,6 m dziļumā attiecīgi $r=-0,36$ un $r=-0,46$, bet dabisku nokrišņu režīmā $r=-0,30$ un $r=-0,41$; $p<0,05$ būtiskums pārbaudīts ar *Bootstarp* metodi) visā novērojumu sezonā (11.3. att.). Siltākais mēnesis novērojumu periodā bija jūlijs ar visvairāk dienām bez nokrišņiem (24) un garāko nepārtraukto beznokrišņu periodu (9 dienas). Salīdzinājumam, jūnijā un augustā bija attiecīgi 9 un 10 dienas bez nokrišņiem. Jūlijā vidējā diennakts gaisa temperatūra un nokrišņu summa bija attiecīgi $19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ un 21,3 mm, bet ET_o sasniedza 120,2 mm (11.3. att.), un AUP abos mitruma režimos nokritās līdz sezonas zemākajām vērtībām. AUP 0,4 m dziļumā bija ciešāka saikne ar nokrišņu režīmu nekā 0,6 m dziļumā, piemēram, izmainītā nokrišņu režīmā AUP 0,4 un 0,6 m dziļumos korelācija ar iepriekšējā dienā veikto laistīšanu bija attiecīgi $r=0,53$ un $r=0,44$ ($p<0,05$).



11.3. attēls. Dienas vidējais augšes ūdens potenciāls izmainītā mitruma režīmā jeb eksperimentā (A) un dabiskā mitruma režīmā jeb kontrolē (B), gruntsūdens līmenis un tā temperatūra (C), diennakts vidējā gaisa temperatūra, evapotranspirācija un diennakts nokrišņu daudzums (D) novērojumu periodā no 15.05.2014. līdz 20.10.2014.

Dziļāk augsnē infiltrētā atmosfēras ūdens apjomu samazina gan evapotranspirācija infiltrācijas laikā (Beven, Germann, 1982; Menenti et al., 1989; Parr, Bertrand, 1960), gan koku un zālaugu (eksperimenta laikā neveica stādījuma ravēšanu) pastiprināta ūdens uzņemšana augstu diennakts vidējo gaisa temperatūru ietekmē (īpaši dienās bez nokrišņiem), tādēļ 0,4 m dziļumā saglabājās augstāks mitrums nekā 0,6 m dziļumā. Jūlija beigas ir vienīgais periods novērojumu sezonā, kad AUP 0,6 m dziļumā ir zemāks nekā 0,4 m dziļumā (11.3. att.).

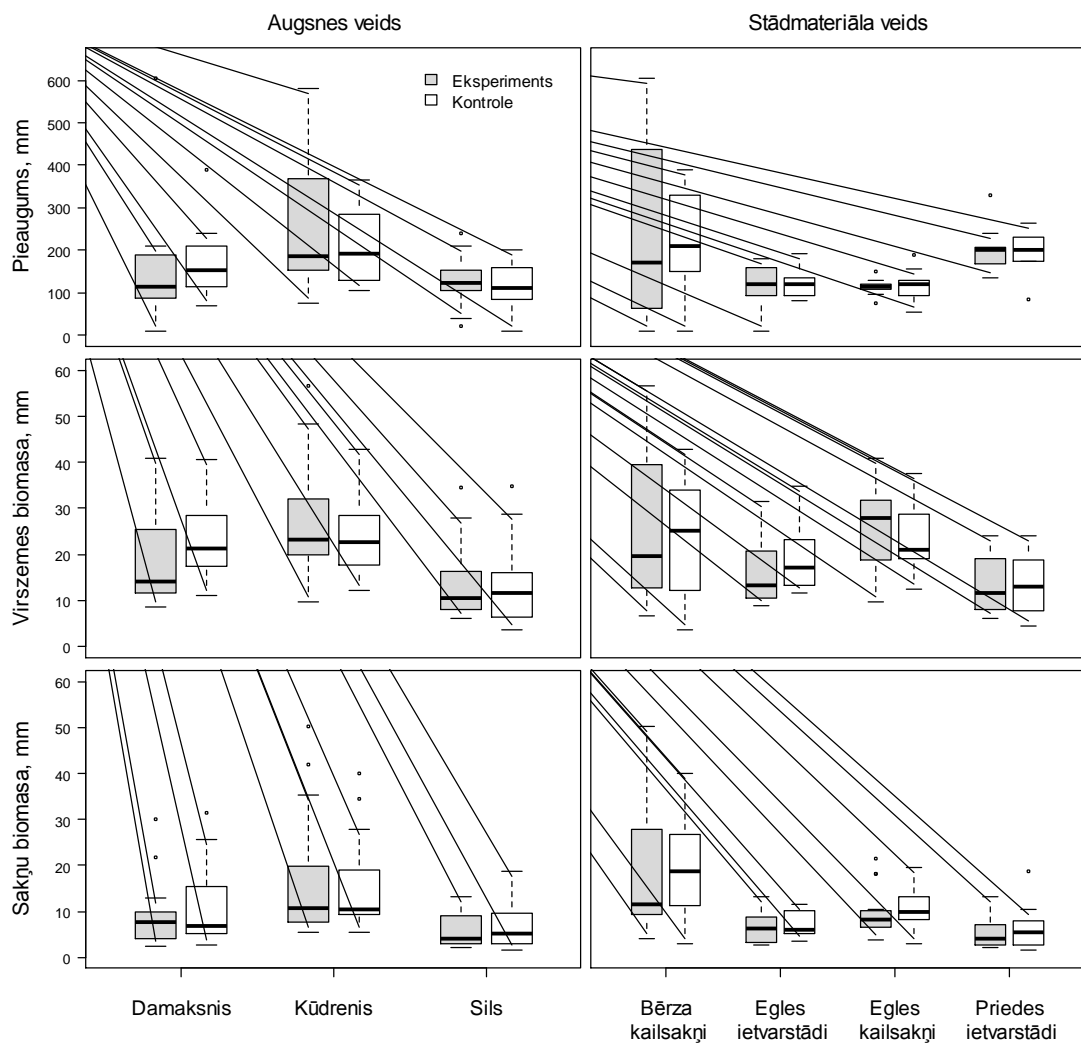
Augsnes virsējo slāņu evaporācijas rezultātā (samazinoties nokrišņiem un paaugstinoties gaisa temperatūrai) samazinās to ūdens piesātinājuma līmenis, veicinot gruntsūdens kapilāro pacelšanos no dziļākiem slāņiem ar augstāku piesātinājumu, kas vēlāk iztvaiko. Par šo procesu (E_g) liecina ciešā korelācija ($r=0,98$; $p<0,05$) starp gruntsūdens līmeni un tā temperatūru, jo, paaugstinoties temperatūrai, pastiprinās iztvaikošana, līdz ar to pazeminās gruntsūdens līmenis. Par sausuma iestāšanos jūlijā liecina arī tas, ka ET_o pārsniedz nokrišņu apjomu. ET_o ir negatīva korelācija ar gruntsūdens līmeni ($r=-0,34$; $p<0,05$) un pozitīva – ar gruntsūdens temperatūru ($r=0,36$; $p<0,05$). Par E_g liecina arī būtiska ($p<0,05$) gruntsūdens līmeņa korelācija ($r=0,36$) ar diennakts vidējo maksimālo gaisa temperatūru. Sausums jūlija ir vienīgais brīdi novērojumu periodā, kad AUP sasniedz augsnes lauka kapacitāti (ūdens daudzumu, kas paliek augsnē pēc brīvā ūdens aizplūšanas) minerālās un kūdras augsnēs, kas saskaņā ar literatūras datiem ir no -100 līdz -330 hPa (Lambers et al., 2008; Parr, Bertrand, 1960); augu neatgriezeniskās vīšanas punkts šādās augsnēs tiek sasniegts, kad AUP ir zem-1500 hPa (Veihmeyer, Hendrickson, 1928) un novērojumu periodā iegūtās AUP vērtības pat nepietuvojās šim līmenim.

Stādus izraka (11.4. att.) oktobra beigās, un laboratorijā tiem noteica virszemes un sakņu biomasu pēc 48 stundu žāvēšanas 105 °C temperatūrā.



11.4. attēls. Stādmateriāla izrakšana.

Viena veida stādiem vienā substrātā nav konstatētas statistiski būtiskas ($p > 0,05$) augstuma pieauguma, kā arī sakņu un virszemes biomasas atšķirības dažādos mitruma režīmos (izmainītā un dabiskā) (11.5. att.).



11.5. attēls. Paraugkoču augstuma pieaugumu, virszemes un sakņu biomasu atšķirības starp izmainītu (eksperiments) un dabisku (kontrole) nokrišņu režīmu dažādiem substrāta un stādmateriāla veidiem.

Ir konstatētas statistiski būtiskas stādu morfometrisko parametru (augstums, virszemes un sakņu biomasa) atšķirības ($p < 0,05$) starp stādmateriāla un substrāta veidiem. Divfaktoru dispersijas analīzes rezultāti liecina, ka substrāta un stādmateriāla veida mijiedarbība būtiski ($p < 0,05$) ietekmē augstuma pieaugumu un sakņu biomasu, bet substrāta veida un koku sugas mijiedarbība statistiski būtiski ietekmē virszemes biomasu. Visiem stādmateriāla veidiem lielākā

biomasa un augstuma pieaugums (bērziem līdz pat 600 mm) ir konstatēti auglīgākajā substrātā, kas atbilst platlapju kūdreņa meža tipam.

Egles kailsakņi ir vienīgais stādmateriāla veids, kuram novērota izmainīta mitruma režīma negatīva ietekme uz sakņu biomasu (11.5. att.). To lielāko virszemes biomasu, salīdzinājumā ar egles ietvarstādiem un priedi, ir noteicis lielāks stādmateriāla sākotnējais izmērs. Saskaņā ar literatūras datiem (Grossnickle, Blake, 1987), egles, īpaši to kailsakņu stādi, ir salīdzinoši jutīgi pret sausumu. Ūdens deficīta apstākļos, lai palielinātu uzsūcošo sakņu virsmas laukumu efektīvākai augsnes mitruma absorbcijai, augi samazina virszemes biomasas veidošanu, pārvietojot augšanas resursus uz saknēm. Kailsakņu lielāku jutību pret sausumu, salīdzinājumā ar ietvarstādiem, ietekmē pastiprināta sakņu izzūšana stādīšanas darbu laikā.

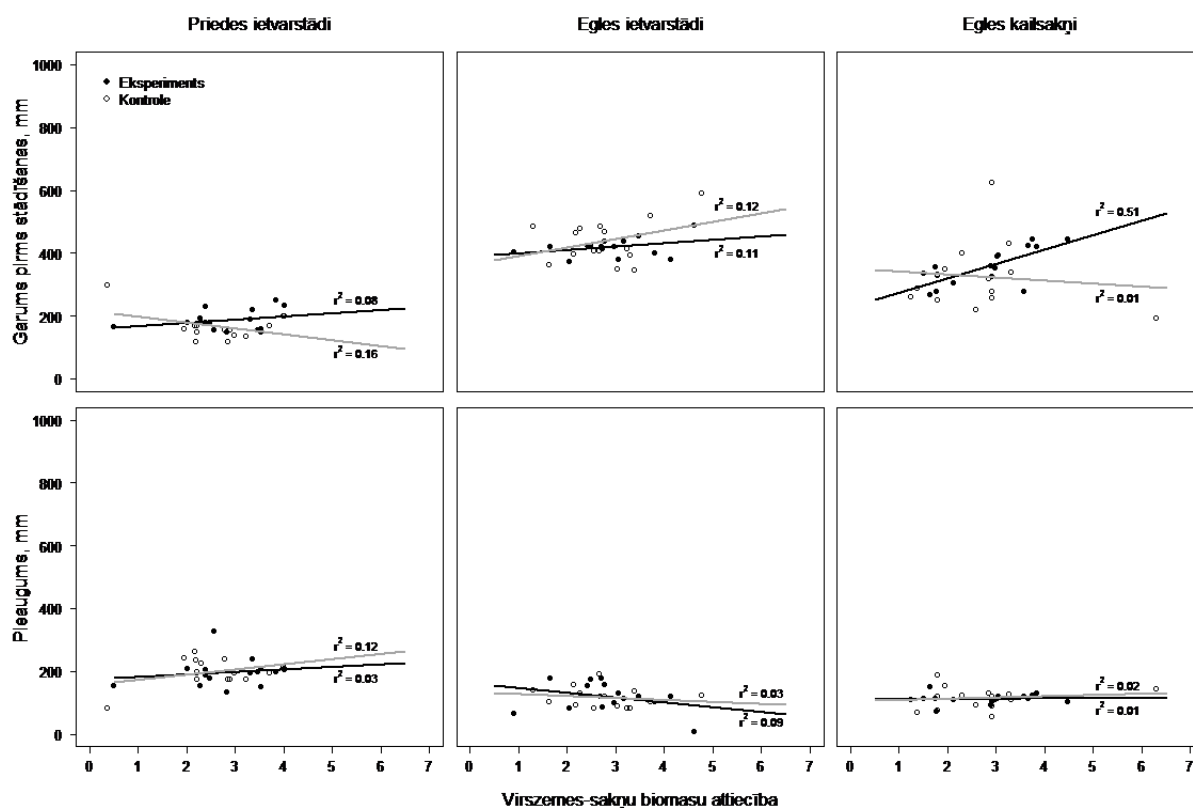
Lielākais augstuma pieaugums no skujkokiem konstatēts priedei. Bērza sakņu biomasu dabiskā nokrišņu režīmā bija lielāka nekā izmainītā nokrišņu režīmā (11.5. att.). Stādmateriāla sausuma adaptācijas iespējas raksturo tā virszemes un sakņu biomasu attiecība (SRR), kas atspoguļo auga virszemes orgānu transpirējošo un sakņu uzsūcošo virsmu laukumu atšķirību (11.6. att.). Potenciāli sausumizturīgāki ir stādi ar zemu SRR (Bernier et al., 1995; Maass et al., 1989), jo, ūdeni absorbējošajai daļai esot vienādā apjomā ar transpirējošo (vai mazākai par to), ir lielākas iespējas nodrošināt transpirācijas nepārtrauktību. Savukārt augsts SRR var izraisīt ūdens deficītu auga virszemes orgānos, jo mazs sakņu virsmas laukums var nenodrošināt pietiekamu ūdens absorbciju.

Kokaudzētavās sagatavotā stādmateriāla pārstādīšana jaunaudzēs ir viskritiskākais brīdis jaunā koka attīstībā, jo sakņu uzturēšana atklātā ārvīdē var izraisīt oksidatīvo stresu, bojājot smalkās uzsūcošās saknes (Pallardy, 2008). Sausuma stresa izraisīto fizioloģisko bojājumu ietekmes mazināšana ir tieši saistīta ar stāda spēju strauji attīstīt jaunas saknes apkārtējā augsnē, un augsta SSR gadījumā pirmajā lauka augšanas sezonā stādi var būt pakļauti sausuma stresam pat relatīvi mitros apstākļos. Sakņu bojājumu rezultātā var būt palielināts SSR, ietekmējot virszemes daļas augšanu. Šādi bojājumi ir potenciāli bīstamāki stādiem ar lielu virszemes biomasu stādīšanas brīdī, pietiekams augsnes mitrums un labi attīstīta sakņu sistēma var mazināt pārstādīšanas negatīvo ietekmi. Tāpēc, saskaņā ar literatūru (Bernier et al., 1995), SSR ietekme uz stāda augšanu pēc iestādīšanas lielā mērā atkarīga no stāda sākotnējā augstuma.

Pētījumā piemērotais izmainītais mitruma režīms neradīja ūdens deficītu, kas būtiski ietekmētu stādu augšanu vai pat saglabāšanos. Abiem egles stādmateriāla veidiem bija zemākie augstuma pieaugumi (30 % no stāda augstuma pavasarī ietvarstādiem un 29 % kailsakņiem). Tā kā egles kailsakņi ir vienīgais stādmateriāla veids, kam konstatēta izmainīta mitruma režīma

negatīvas ietekmes tendence uz sakņu biomasu, tad atbilstoši prognozētajām klimata pārmaiņām garāku beznokrišņu (sausuma) periodu gadījumā šāds stādmateriāls meža atjaunošanai nākotnē varētu būt mazāk piemērots.

Vienīgi egles kailsakņiem ir konstatēta lineāra saistība ($R^2=0,51$; $p<0,05$) starp SSR un stādu augstumu pirms stādīšanas. Tas nozīmē, ka garākiem stādiem lielāks SSR nozīmīgāk ietekmē to jutību pret sausumu pirmajā sezonā pēc stādīšanas. Smalko uzsūcošo sakņu iespējamie bojājumi pārstādot vēlāk veģetācijas periodā izraisa nepieciešamību tos kompensēt, liedzot veidot ar blakus kokiem vai zāļaugiem konkurējošu augstuma pieaugumu.



11.6. attēls. Virszemes/sakņu biomasas attiecības saikne ar stādu augstumu pirms stādīšanas un sezonas augstuma pieaugumu izmainītā (eksperiments) un dabiskā (kontrolē) nokrišņu režīmā.

Stādu lielākās sakņu biomasas un zemā SSR saistība ar augstumu stādīšanas brīdī dabiskā nokrišņu režīmā ($R^2=0,01$; $p<0,05$), liecina, ka regulāri nokrišņi veģetācijas sezonā varētu mazināt augsta SSR potenciāli negatīvās sekas.

Pētījumā secināts, ka eksperimentā piemērotajam izmainītajam vasaras nokrišņu sadalījumam, kas atbilst tādās nākotnes mērenu klimatisko izmaiņu scenārijam, nav būtiskas ietekmes uz pētījumā pārbaudītā stādmateriāla saglabāšanos pirmajā sezonā pēc stādīšanas.

Tomēr garāku beznokrišņu periodu atkārtšanās, saglabājoties mūsdienu gaisa temperatūru režīmam, nākotnē var negatīvi ietekmēt egļu kailsakņu sakņu biomasas attīstību, iespējams, būtiski kavējot augšanu pirmajā sezonā pēc stādīšanas.

Iegūtie rezultāti neliecina par nepieciešamību veikt izmaiņas meža atjaunošanas plānošanā prognozēto klimata izmaiņu dēļ.

Pētījumu lietderīgi turpināt tikai gadījumā, ja pieejamas precīzākas prognozes par ekstrēmām mitruma deficīta vērtībām un to biežumu, kā arī infrastruktūra atbilstoša temperatūras režīma nodrošināšanai, vērtējot šādu apstākļu ietekmi uz meža atjaunošanas sekmēm.

Temperatūras sēklu nogatavošanās laikā ietekme uz pēcnācēju pazīmēm

Iepriekšējā pārskata periodā veiktais literatūras datu apkopojums liecina par iespēju, ka ārējās vides ietekme uz koku sēklām to veidošanās laikā varētu veicināt no šīm sēklām izaugušās nākamās paaudzes labāku pielāgošanās klimata izmaiņām. Tomēr atrodamā informācija par šo fenomenu kokiem ir fragmentāra un plašāki pētījumi veikti tikai ar parasto egli Norvēģijā. Tādēļ pārskata periodā veikta infrastruktūras sagatavošana, lai iegūtu datus šī fenomena analīzei. Pētījuma objekta aizvēli ierobežoja nepieciešamība pēc elektrības pieslēguma, aizsardzības pret bojājumiem un iespējas veikt iekārtas darbības regulāru uzraudzību. Tādēļ eksperiments ierīkots Vecumnieku novadā, netālu no apdzīvotas mājas, iežogotā teritorijā. Ap zaru bērza apputeksnēšanās un sēklu nobriešanas laikā izvietoti sildelementi, nodrošinot nepārtrauktu paaugstinātu temperatūru; ņemot vērā, ka neizdevās izveidot pietiekami drošu automātiku, temperatūras kontrole veikta manuāli ne retāk kā reizi divās diennaktīs. Līdz ar to izmantotā metode nenodrošināja iespēju veikt temperatūras pazemināšanu un paaugstināšanu atbilstoši apstākļiem ārējā vidē (piemēram, nodrošinot visu laiku +2°C), bet temperatūra regulēta atbilstoši diennakts maksimālajai vērtībai. Pārskata periodā veikta iegūto sēklu ievākšana turpmākiem pētījumiem, lai raksturotu klimata ietekmi uz iegūto pēcnācēju augšanas ritmu. Pētījuma nākamajā etapā paredzēts veikt ievāktu sēklu sēšanu stādu audzēšanai MPS Kalsnavas kokaudzētavā, kā kontroli izmantojot sēklu materiālu no sēklu plantācijas. Tiks novērtēta sēklu sadīgšana un pēc tam reizi nedēļā vai divās veikta jauno kociņu garuma uzmērīšana, mērīšanas biežumu palielinot rudens periodā, lai iespējami precīzi fiksētu augšanas beigu datumu. Līdzīga uzmērīšana paredzēta vēl divas sezonas, fiksējot gan augšanas sākuma, gan beigu datumus, atšķirības salcietībā (saglabāšanās un bojātās daļas garums pavasarī) un augšanas intensitātē.

Iegūtā pieredze liecina par problēmām infrastruktūras izveidē, tādēļ turpmākiem eksperimentiem nepieciešamas izmantot ziedošus kokus, ko iespējams ievietot kontrolētos apstākļos (klimata kamerā), piemēram, bērzu (kas raksturīgs īss sēklas veidošanās periods) potējumus.

12. Dendrofāgo kukaiņu populāciju dinamiku un tās prognozes

Kukaiņu masveida savairošanās iemeslu analīze ir viens no meža entomoloģijas svarīgākajiem izpētes objektiem (Allard et al., 2003; Barbosa et al., 2012). Daudzu plaši pazīstamu dendrofāgo kaitēkļu sugu savairošanās pamatā ir dažādu biotisko faktoru ietekme, tai skaitā –putnu populācijas izmaiņas, plēsīgo posmkāju un specifisko parazītu ietekme, kaitēkļu starpsugu konkurence, saimniekaugu pieejamība, to reģenerācija un inducētā rezistence, kā arī patogēno aģentu apmaiņas biežums starp īpatņiem (Allard et al., 2003; Barbosa et al., 2012; Roques et al., 2006). Tomēr 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. Pastāvot salīdzinoši augstai gaisa temperatūrai, daudzas kukaiņu sugas var strauji savairoties pat pēc populācijas blīvuma krituma, kas noticis dabisko ienaidnieku ietekmē (Allard et al., 2003; Barbosa et al., 2012; Cheraghian, 2013; Herard, Mercadier, 1996).

Lai prognozētu kukaiņu savairošanās tendences nākotnē un noskaidrotu, vai temperatūra ir noteicošais savairošanās faktors salīdzinoši nelielā lokālā izplatības areālā, jāzin konkrēto kukaiņu sugu masveida uzliesmojumu vēsture. Pasaulē līdzīgi pētījumi bieži veikti atsevišķu sugu un faktoru kontekstā (Barbosa et al., 2012; Kuncu et al., 2014b), tomēr nav apskatīti sugu kompleksi kopumā, kas būtu svarīgāk, prognozējot to savairošanos un ietverot ietekmi meža apsaimniekošanas modeļos.

Mūsu apskats ir universāls, līdz šim pirmo reizi veikts informācijas apkopojums, kas balstās uz speciāli atlasītu nozīmīgāko meža dendrofāgo kukaiņu sugu savairošanās vēstures izpēti Centrāleiropas reģionā. Apskata pamatā ir hipotēze, ka, izmantojot informāciju par dažādu dendrofāgu savairošanās vēsturi vismaz pusgadsimta laikā, iespējams noteikt to savairošanās tendences salīdzinoši tuvā nākotnē; turklāt, tās lielā mērā atkarīgas no klimata izmaiņām. Apskata mērķis ir raksturot un prognozēt nozīmīgāko dendrofāgo kukaiņu savairošanās tendences.

Metodes

Apskatā ietvertu sugu atlase veikta pēc vairākiem kritērijiem:

- 1) izvēlētas tās sugas, kurām vēsturiski vismaz vienā gadā konstatēta savairošanās vairāk nekā 150 ha lielā platībā;

- 2) netika izvēlētas tās sugas, par kuru savairošanos trūka datu divus vai vairāk gadus pēc kārtas (jebkurā apskata perioda posmā).

Visas no apskatā ietvertajām sugām jau šobrīd sastopamas Latvijas teritorijā. Apkopota informācija par 25 mežam nozīmīgākajām dendrofāgu sugām (aiz sugas nosaukuma iekavās dots turpmāk tekstā izmantotais tās saīsinājums): *Lymantria dispar* (Lymdis), *Lymantria monacha* (Lymmon), *Ips typographus* (Ipstyp), *Ips acuminatus* (Ipsacu), *Hylobius abietis* (Hyabi), *Bupalus piniarius* (Buppin), *Neodiprion sertifer* (Neoser), *Phymatodes testaceus* (Phytes), *Scolytus ratzeburgi* (Scorat), *Euproctis chrysorrhoea* (Eupchr), *Aradus cinnamomeus* (Aracin), *Xyleborus dispar* (Xyldis), *Cryphalus piceae* (Crypic), *Archips crataegana* (Arc cra), *Melasoma populi* (Melpop), *Phalera bucephala* (Phabuc), *Diprion pini* (Dippin), *Rhyacionia buoliana* (Rhybuo), *Saperda carcharias* (Sapcar), *Panolis flammea* (Panfla), *Melolontha melolontha* (Melmel), *Dendrolimus pini* (Denpin), *Pityogenes chalcographus* (Pitcha), *Tomicus piniperda* (Tompin), *Tomicus minor* (Tommin). Visas atlasītās kukaiņu sugas ir pasaulē pazīstami mežu kaitēkļi ar plašu izplatību Eiropā un Latvijā (Barbosa et al., 2012; pēc *Fauna Europaea Database* informācijas). Šo sugu savairošanās platību apjoma vēsture analizēta, sākot ar 1950. gadu. Šādu apskatāmā perioda izvēli noteica uzticamu zinātnisku datu trūkums laikā pirms Otrā pasaules kara, kā arī nepieciešamība periodā ietvert arī kaitēkļu, kam raksturīga lēna augšana un attīstība (k-stratēģu), savairošanās ciklus (piemēram, *M. melolontha* savairošanās cikls ilgst līdz pat 20 gadiem) (Zimmermann, 2010).

Informācijas ievākšanai un apkopošanai izmantotas EFI (*European Forest Institute*), EFIATLANTIC, GISD (*Global Invasive Species Database*), EPPO (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*) un FED (*Fauna Europaea Database*) datubāzes, kā arī zinātniskā literatūra.

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. Izvēlēto valstu teritorijas ir relatīvi “tuvas” un atrodas uz dienvidiem no Latvijas (Allard et al., 2003; Haynes et al., 2014).

Lai noteiktu saistību starp laiku (gadi) un ievāktajiem vēsturiskajiem datiem, kā arī, lai prognozētu izmaiņas līdz 2020. gadam, izmantots GLS modelis (*generalized least square*); šī modeļa izvēli noteica analizētajām laika rindām raksturīgā augstā autokorelācija. Statistiskās analīzes veiktas programmā R 3.1.1. (R Core Team, 2014). GLS modeļus pielietoja, gan

analizējot savairošanās platību, gan attiecību starp šo platību un reģistrēto savairošanās gadījumu skaitu (12.1.–12.3. pielikums). Saskaņā ar iegūtajiem GLS modeļa rezultātiem, salīdzināts, cik strauji konkrētām sugām notikusi skarto meža platību palielināšanās aplūkotajā laika periodā, lai prognozētu konkrētu sugu savairošanās iespējas tuvā nākotnē.

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). Lai noskaidrotu, kā Latvijas mežsaimniecībai nozīmīgu kukaiņu savairošanās platību pieaugumu ietekmē dažādi klimatiskie faktori un to izmaiņas laikā, analīzei izmantoti dati par kaitēkļu skarto kopējo platību (12.1. pielikums) un platības attiecību pret reģistrēto savairošanās gadījumu skaitu (12.3., 12.4. pielikums) Eiropas valstīs, kā arī klimatiskie rādītāji, kas iegūti, apkopojot vairākus meteoroloģiskos parametrus no 53 kukaiņu savairošanās punktiem (aprēķinot vidējo rādītāju), izmantojot CRU (*Climatic Research Unit*) datubāzi (Harris et al., 2014) (12.5., 12.6. pielikums). Šie 53 savairošanās punkti (12.6. pielikums) ir visu 25 atlasīto dendrofāgu sugu masveida savairošanās reģionu epicentri, kas atlasīti pēc sekojošiem kritērijiem:

- 1) apskatītajā vēsturiskajā periodā attiecīgā reģionā notikusi vismaz trīs dendrofāgo kukaiņu sugu savairošanās;
- 2) savairošanās reģiona minimālā platība – 200 ha.

Attiecībai starp savairošanās platību un reģistrēto gadījumu skaitu veikta logaritmiskā transformācija, lai samazinātu datu variāciju, kas var radīt problēmas tālākajā datu analīzes procesā. Izmantoti galvenokārt klimatiskie dati par iepriekšējo sezonu (gadu) – pirms sezonas, kurā reģistrēta masveida savairošanās. Konkrētās sezonas dati izmantoti, vienīgi analizējot sausuma ietekmi (dienu skaits bez nokrišņiem).

No CRU datubāzes GLS faktoru ietekmes modeļu izstrādei atlasīti sekojoši ikmēneša meteoroloģiskie rādītāji (paskaidroti CRU oriģinālie rādītāju nosaukumi):

Mean TMean (°C) – vidējā temperatūra (°C);

Total Precipitation (mm) – kopējais nokrišņu daudzums (mm);

Mean TMax (°C) – vidējā maksimālā temperatūra (°C);

Consecutive Days Without Prcp (days) – nepārtraukto dienu skaits bez nokrišņiem;

RelativeHumidity (%) – relatīvais gaisa mitrums (%);

Nb Days With Prcp(days) – kopējais dienu skaits ar nokrišņiem;

Snowfall (mm of water) – sniega daudzums (ūdens mm);

WindSpeed (km h^{-1}) – vidējais vēja ātrums (km h^{-1});

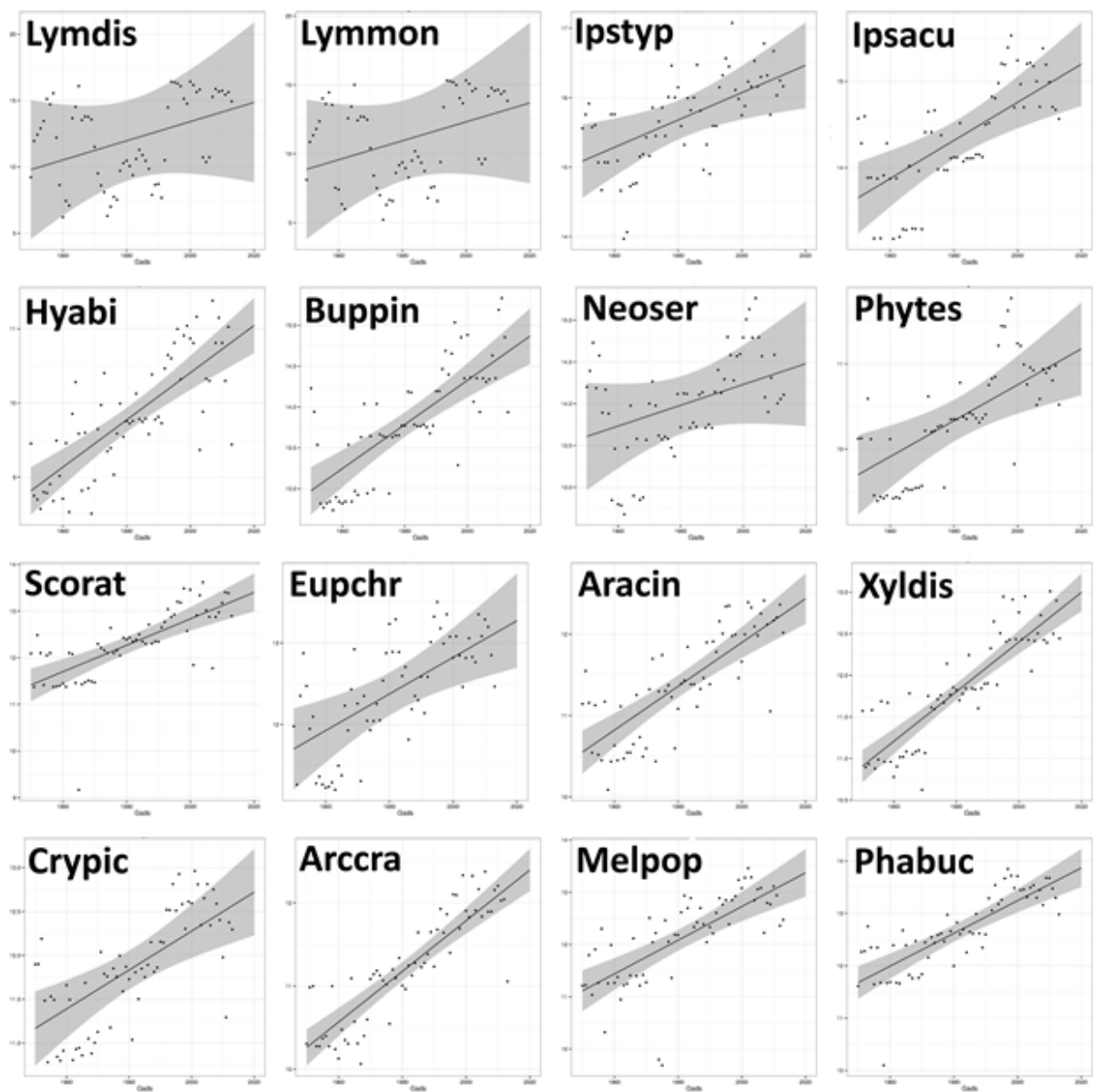
Frost Days (days) – kopējais kailsala dienu skaits (Harris et al., 2014).

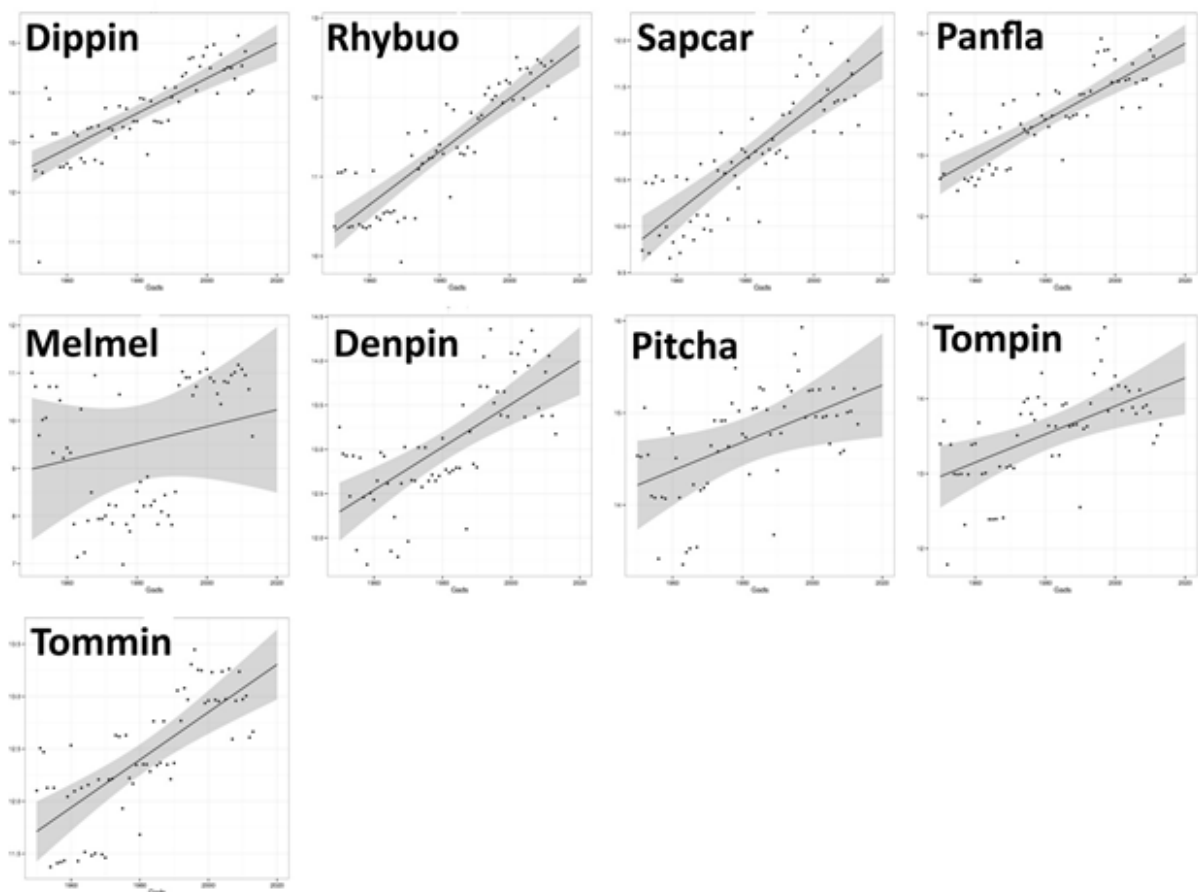
Katrai atlasītai vietējās nozīmes kaitēkļu sugai izveidots viens faktoru modelis. Katrā faktoru modelī iekļauti seši ietekmējošie mainīgie (faktori) – gads (lai noskaidrotu, vai pastāv noteiktas, statistiski būtiskas izmaiņas (tendence) vērtētajā laika periodā), kā arī sugu ietekmējoši pieci klimatiskie faktori (izvēlēti saskaņā ar literatūras datiem). Iekavās norādīti mēneši, kuros izvēlētie meteoroloģiskie parametri var būt kritiski attiecīgās sugas dzīvotspējai konkrētā tās attīstības posmā (12.5., 12.7., 12.8. pielikums). Šī analīze veikta par laika periodu no 1962. līdz 2011. gadam, kad pieejami CRU klimatiskie dati. Faktoru ietekmes būtiskuma novērtēšanai izmantota p-vērtība 0,1 (būtisks ar 90 % varbūtību).

Latvijā izplatītākajām koku sugām noteiktas specifiskās (vienai sugai raksturīgās) un kopīgās (t.s. ģenerālisti – barojas uz dažādiem saimniekaugiem) dendrofāgu sugas.

Dendrofāgo kukaiņu savairošanās un to ietekmējošie faktori

Veicot datu analīzi, vispirms izrēķinātas savairošanās platības attiecībā pret reģistrēto savairošanās gadījumu skaitu. GLS analīzes rezultātā iegūtās savairošanās platību izmaiņas apskatītajā vēstures periodā un to prognozes visām apskatītajām kukaiņu sugām parādītas 12.1. attēlā.



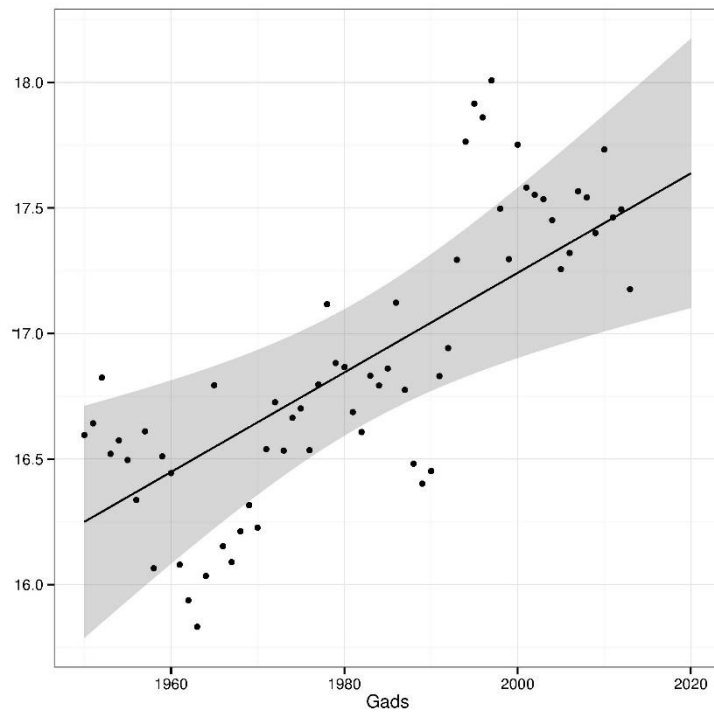


x-ass – laiks, gadi; y-ass - savairošanās platības attiecības pret reģistrēto savairošanās gadījumu skaitu logaritmiski transformētās vērtības

12.1. attēls. Dendrofāgo kukaiņu savairošanās platību dinamika un tās prognozes tuvākajiem sešiem gadiem izvēlētajām sugām.

Lai gan GLS analīzē iegūto platību rādītāju vidējās izkliedes atšķiras, tomēr visu sugu savairošanās platībām laikā ir augšupejoša tendence. Tādēļ arī prognozējams, ka tuvākajos 6 gados tendence nemainīsies un dendrofāgu ik gadus ietekmētās platības turpinās palielināties (12.2. att.).

Savairošanās platību pieauguma tendences atsevišķām sugām raksturo sakarības virziena koeficienti (12.1. tab.). Virziena koeficienta reizinājums ar gadu ir savairošanās platību attiecības pret gadījumu skaitu logaritmiskā transformācija. Virziena koeficienti ir salīdzināmi savā starpā, jo iegūti no standartizētām vērtībām. 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 sakarības virziena koeficienti pārsniedz 0,04.



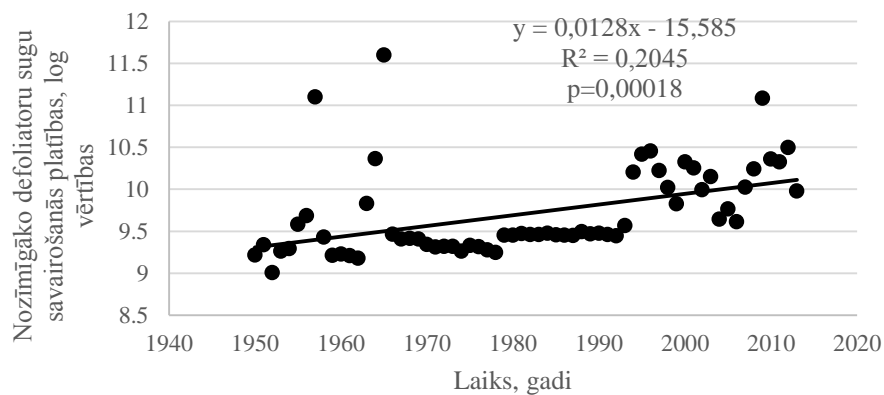
y-ass - savairošanās platības attiecības pret reģistrēto savairošanās gadījumu skaitu logaritmiski transformētās vērtības

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

Atlasīto dendrofāgo sugu prognožu projekciju virziena koeficienti

Nr. p.k.	Suga	Virziena koeficients	p vērtība
1	Rhybuo	0,0465	<0,001
2	Xyldis	0,0461	<0,001
3	Arccra	0,0459	<0,001
4	Sapcar	0,0441	<0,001
5	Phabuc	0,0428	<0,001
6	Dippin	0,0423	<0,001
7	Panfla	0,0420	<0,001
8	Aracin	0,0418	<0,001
9	Hyabi	0,0407	<0,001
10	Buppin	0,0398	<0,001
11	Tommin	0,0392	<0,001
12	Melpop	0,0384	<0,001
13	Scorat	0,0378	<0,001
14	Denpin	0,0367	<0,001
15	Crypic	0,0352	0,0002
16	Ipsacu	0,0348	0,0002
17	Eupchr	0,0339	0,0013
18	Phytes	0,0323	0,0014
19	Ipstyp	0,0309	0,0075
20	Tompin	0,0304	0,0014
21	Pitcha	0,0275	0,0203
22	Lymdis	0,0226	0,2894
23	Lymmon	0,0219	0,3000
24	Neoser	0,0208	0,1523
25	Melmel	0,0130	0,3796

Novērtējot nozīmīgāko dendrofāgo defoliatoru ietekmi laika gaitā, konstatēts to savairošanās teritoriju stabils pieaugums (12.3. att.), kas ļauj prognozēt, ka līdzīga tendence varētu saglabāties tuvāko 6 gadu laikā.

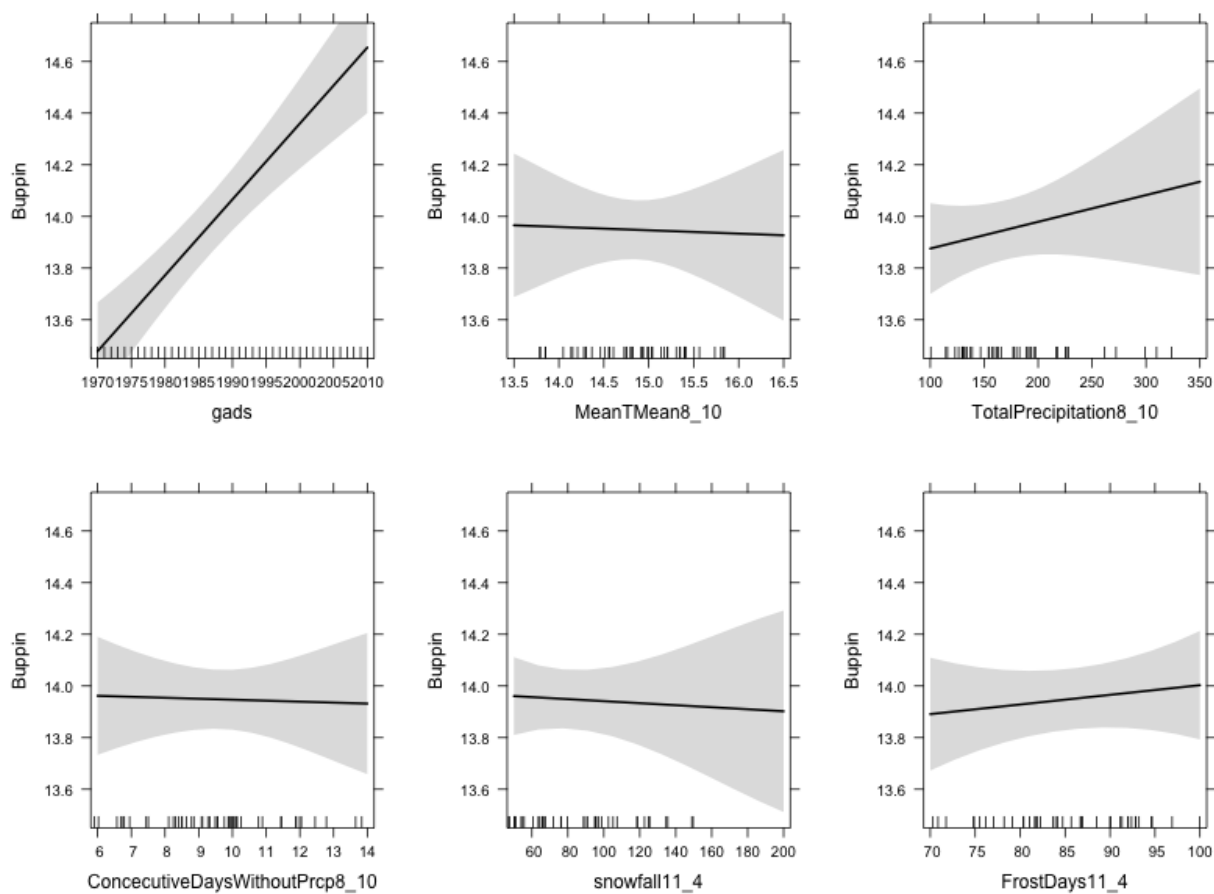


12.3. attēls. Meža nozīmīgāko defoliatoru sugu (*L. dispar*, *B. piniarius*, *N. sertifer*, *D. pini*) savairošanās platību un savairošanās gadījumu attiecības logaritmiskās transformācijas 1950. – 2020. gadu periodam.

Veicot regresijas analīzi starp savairošanās gadījumu skaitu un apskatīto valstu platību, noskaidrots, ka valstīs ar salīdzinoši lielāku kopējo platību novērots augstāks savairošanās gadījumu skaits.

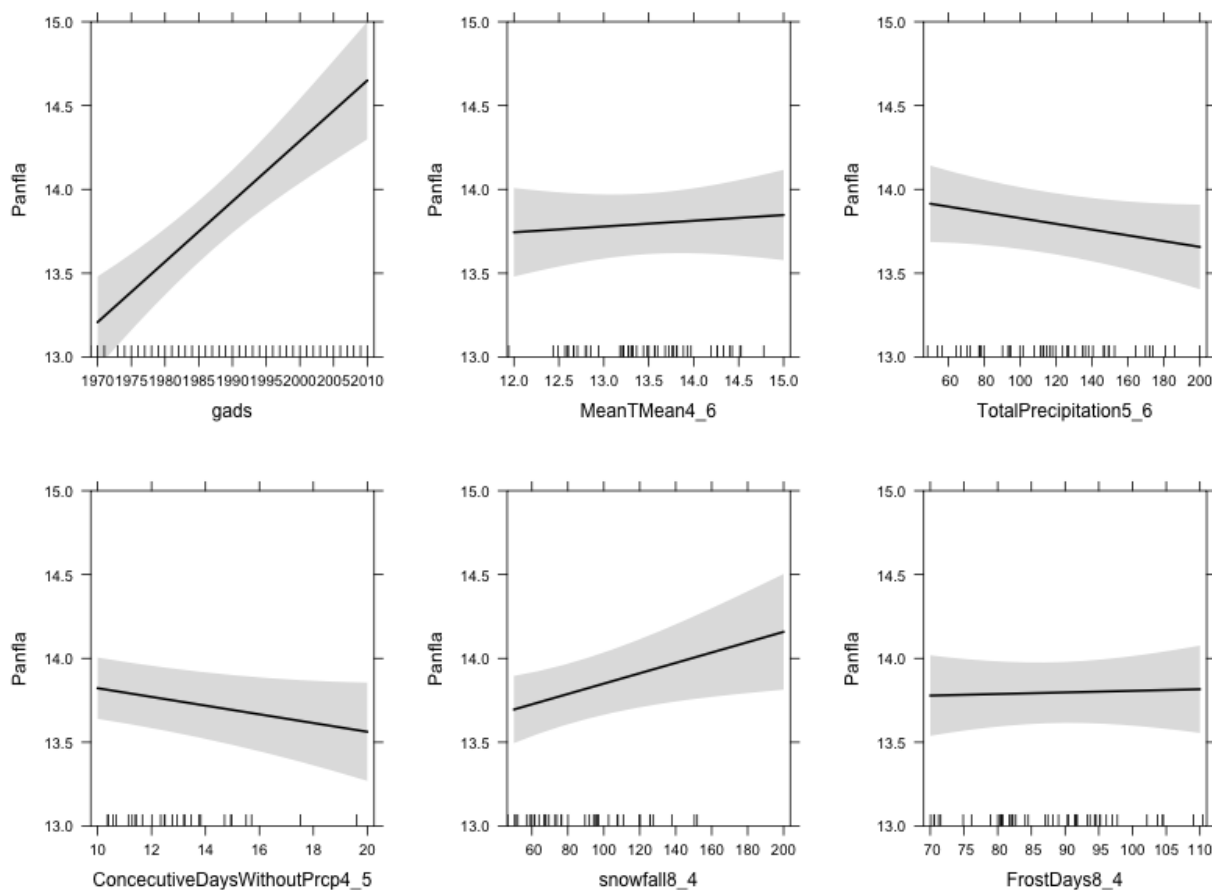
GLS klimata faktoru ietekmes analīzes modeļu rezultāti apskatītajām sugām doti 12.7. un 12.8. pielikumā, bet to grafiskā interpretācija – 12.4.-12.19. attēlos. Modeļu rezultātos uzmanība jāpievērš šādiem rādītājiem: Phi vērtībai, kas parāda autokorelāciju savairošanās platību datos; sakarības virziena koeficientam (tabulas *Coefficients* kolonnai *Value*), kas rāda, vai konkrētā faktora ietekme ir pozitīva vai negatīva, kā arī p-vērtībai (tabulas *Coefficients* kolonnai *p-value*), kas rāda, vai konkrētā faktora ietekme ir būtiska. Sakarību grafiskajos attēlos (12.4.-12.11. att.) uz x ass norādītas attiecīgā faktora vērtības, bet uz y ass – savairošanās platību logaritmiski transformētās vērtības.

B. piniarius novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; analizēto klimata faktoru ietekme nebija būtiska (12.4. att., 12.7. pielikums).



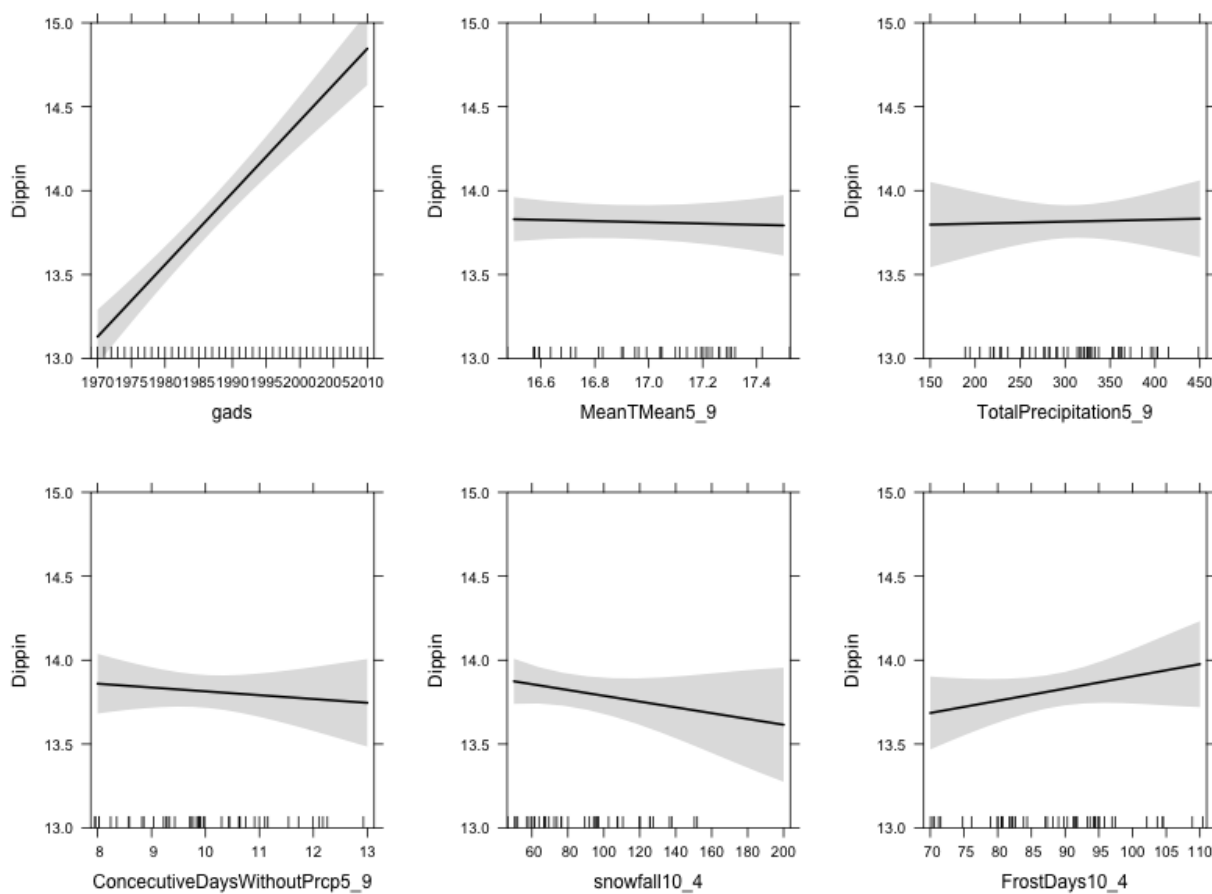
12.4. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *B. piniarius* savairošanās platību pieaugumu 1962. – 2011. gados.

P. flammea novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums, turklāt savairošanās platību pieaugumu būtiski ($p < 0,05$) negatīvi ietekmēja dienu skaits bez nokrišņiem savairošanās sezonas aprīlī un maijā, būtiski ($p = 0,105$) negatīvi – iepriekšējās sezonas nokrišņu daudzums maijā-jūnijā, kā arī būtiski pozitīvi ($p < 0,1$) iepriekšējās sezonas sniega sega (12.5. att., 12.7. pielikums).



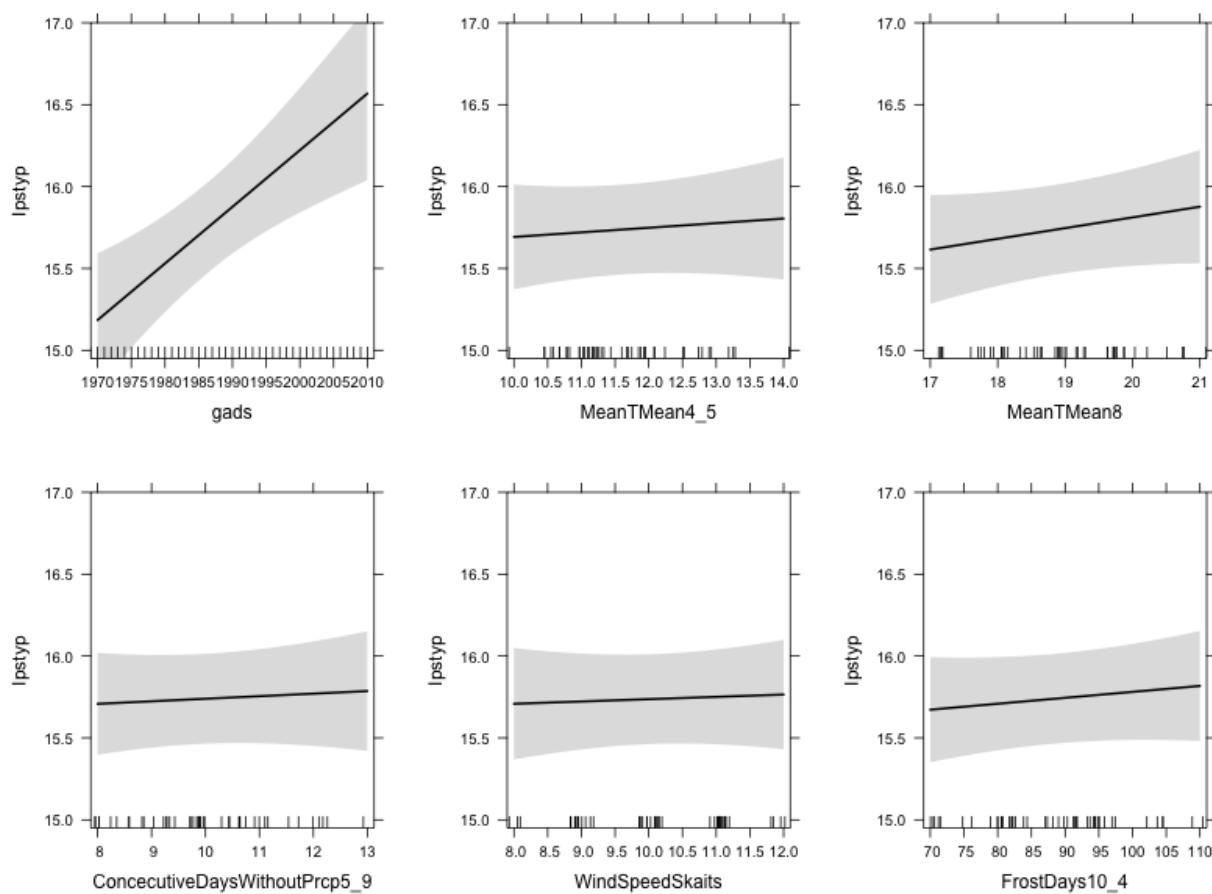
12.5. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *P. flammea* savairošanās platību pieaugumu 1962. – 2011. gados.

D. pini novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; analizēto klimata faktoru ietekme nebija būtiska (12.6. att., 12.7. pielikums).



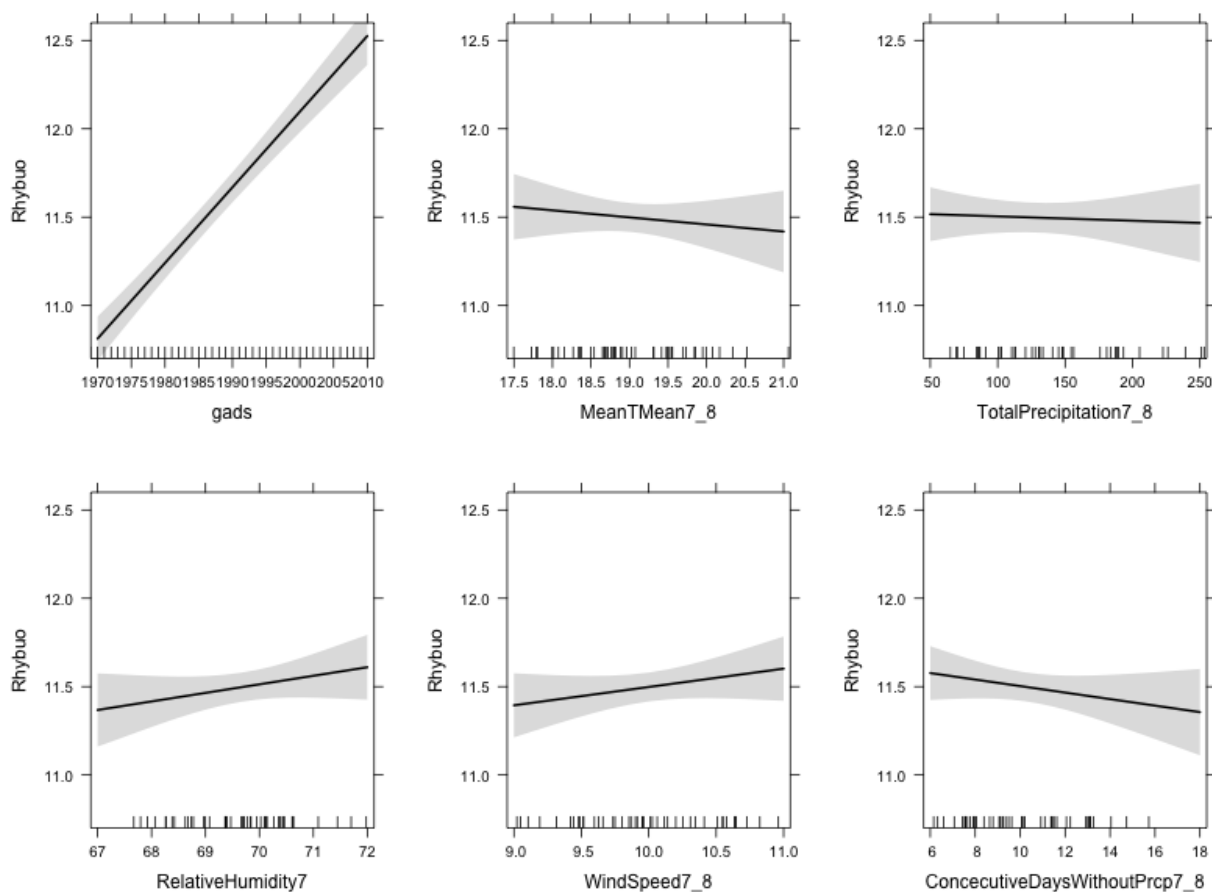
12.6. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *D. pini* savairošanās platību pieaugumu 1962. – 2011. gados.

I. typographus novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; analizēto klimata faktoru ietekme nebija būtiska (12.7. att., 12.7. pielikums).



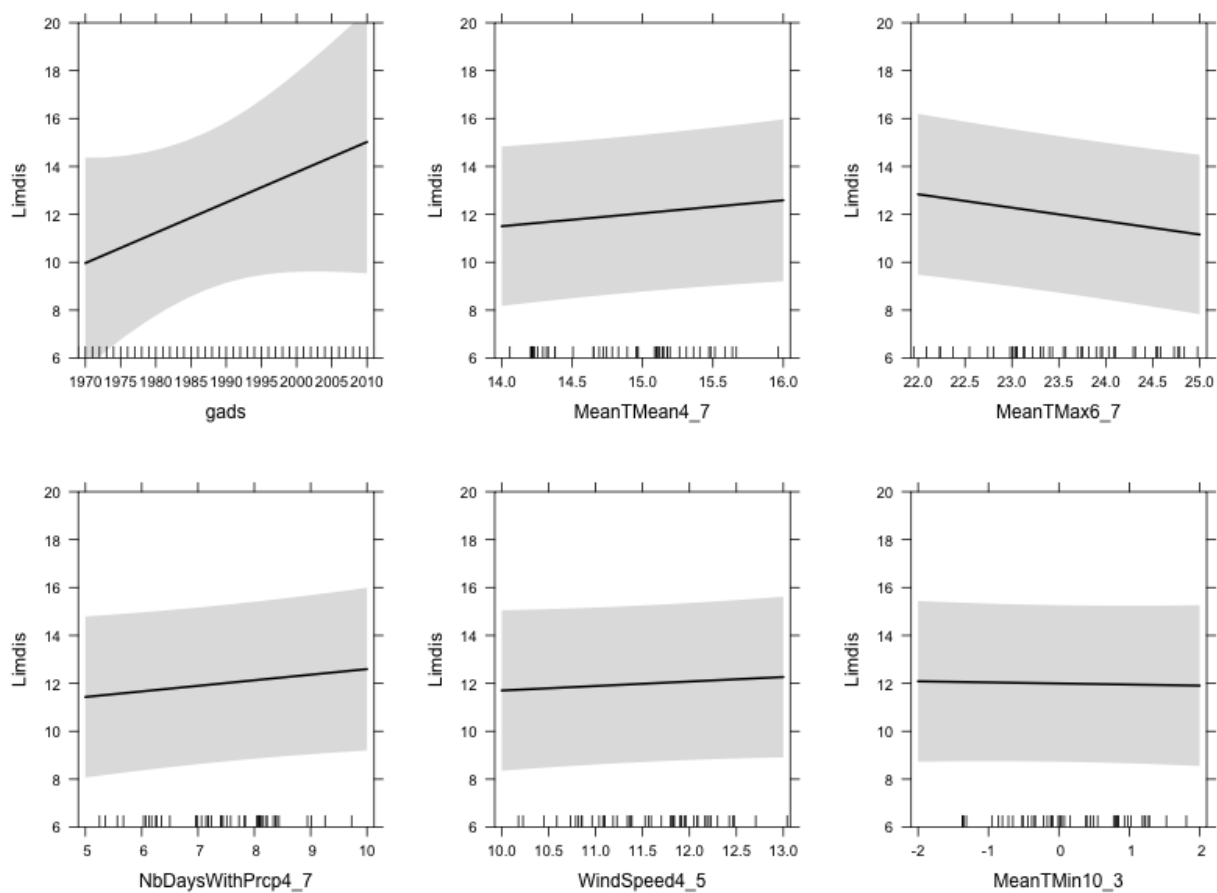
12.7. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *I. typographus* savairošanās platību pieaugumu 1962. – 2011. gados.

R. buoliana novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; analizēto klimata faktoru ietekme nebija būtiska (12.8. att., 12.7. pielikums).



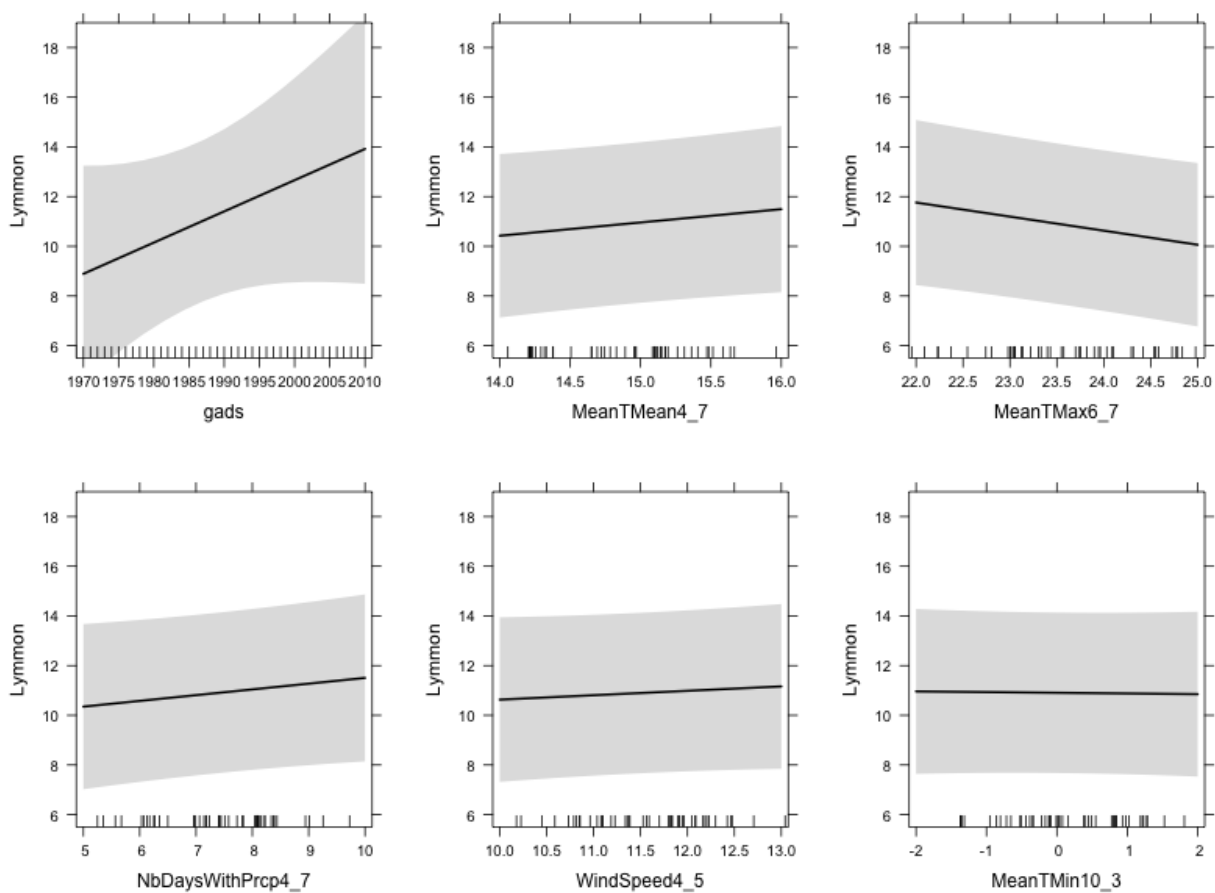
12.8. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *R. buoliana* savairošanās platību pieaugumu 1962. – 2011. gados.

L. dispar savairošanās platību pieaugumu būtiski negatīvi ietekmēja vidējās maksimālās temperatūras iepriekšējās sezonas jūnijā un jūlijā; pārējo analizēto faktoru ietekme nebija būtiska (12.9. att., 12.7. pielikums).



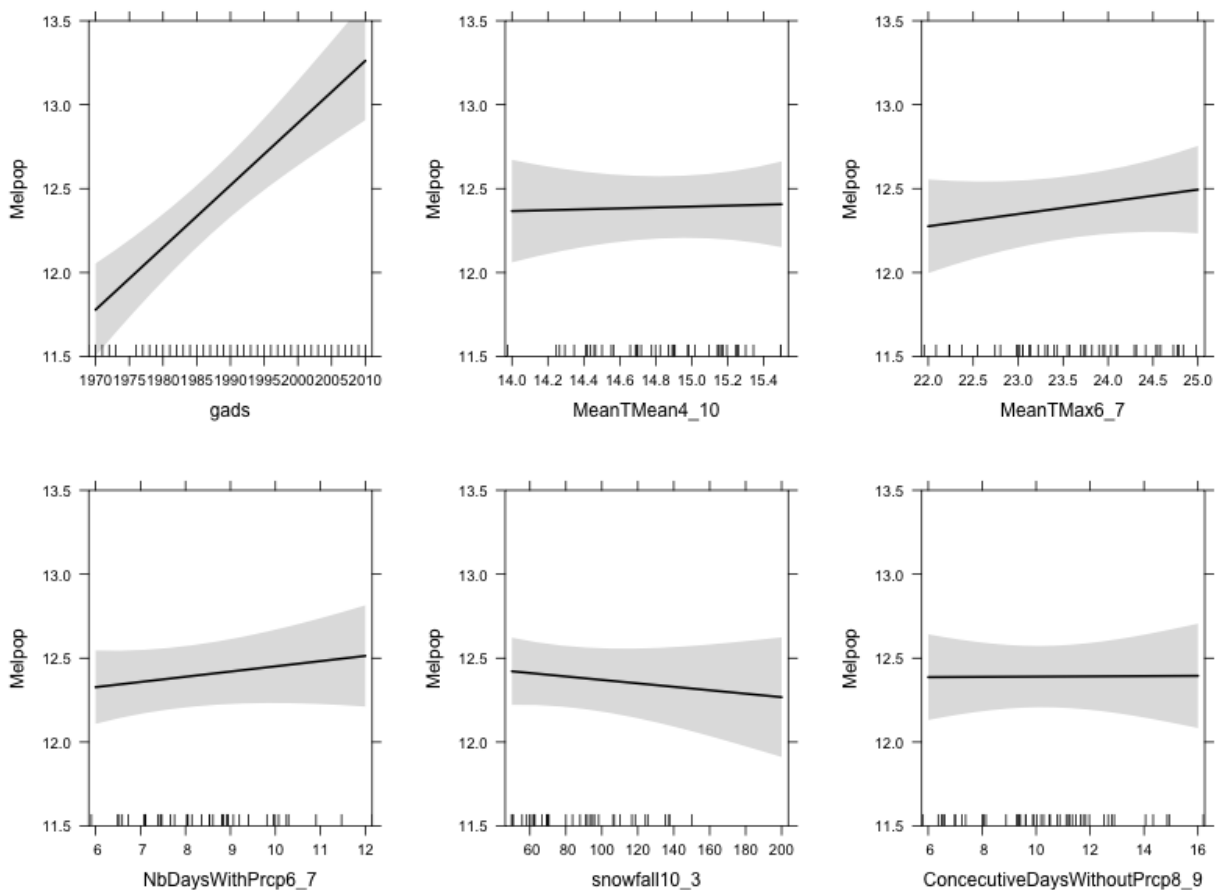
12.9. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *L. dispar* savairošanās platību pieaugumu 1962. – 2011. gados.

Līdzīgi kā *L. dispar*, *L. monacha* savairošanās platību pieaugumu arī būtiski negatīvi ietekmēja vidējās maksimālās temperatūras iepriekšējās sezonas jūnijā un jūlijā; pārējo analizēto faktoru ietekme nebija būtiska (12.10. att., 12.7. pielikums).



12.10. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *L. monacha* savairošanās platību pieaugumu 1962. – 2011. gados.

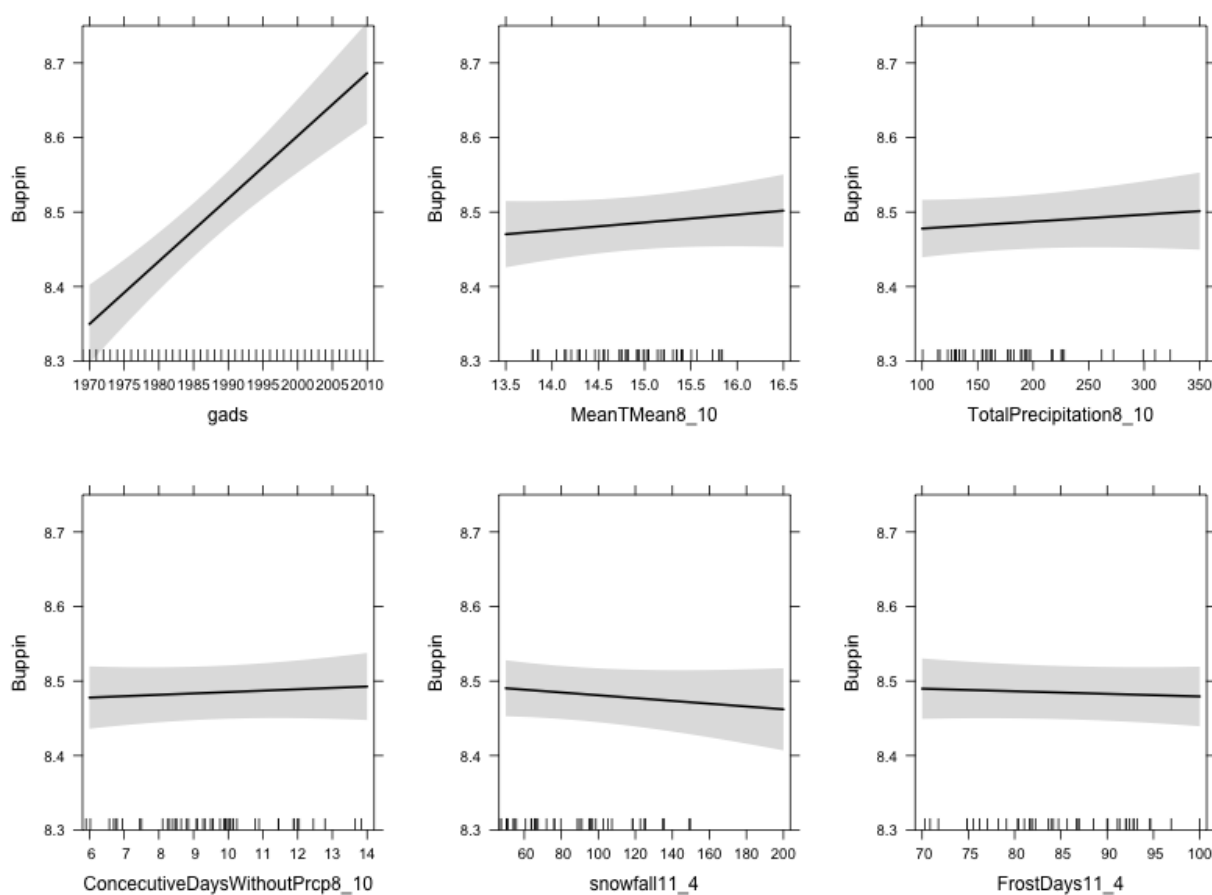
M. populi novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; analizēto klimata faktoru ietekme nebija būtiska (12.11. att., 12.7. pielikums)



12.11. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *M. populi* savairošanās platību pieaugumu 1962. – 2011. gados.

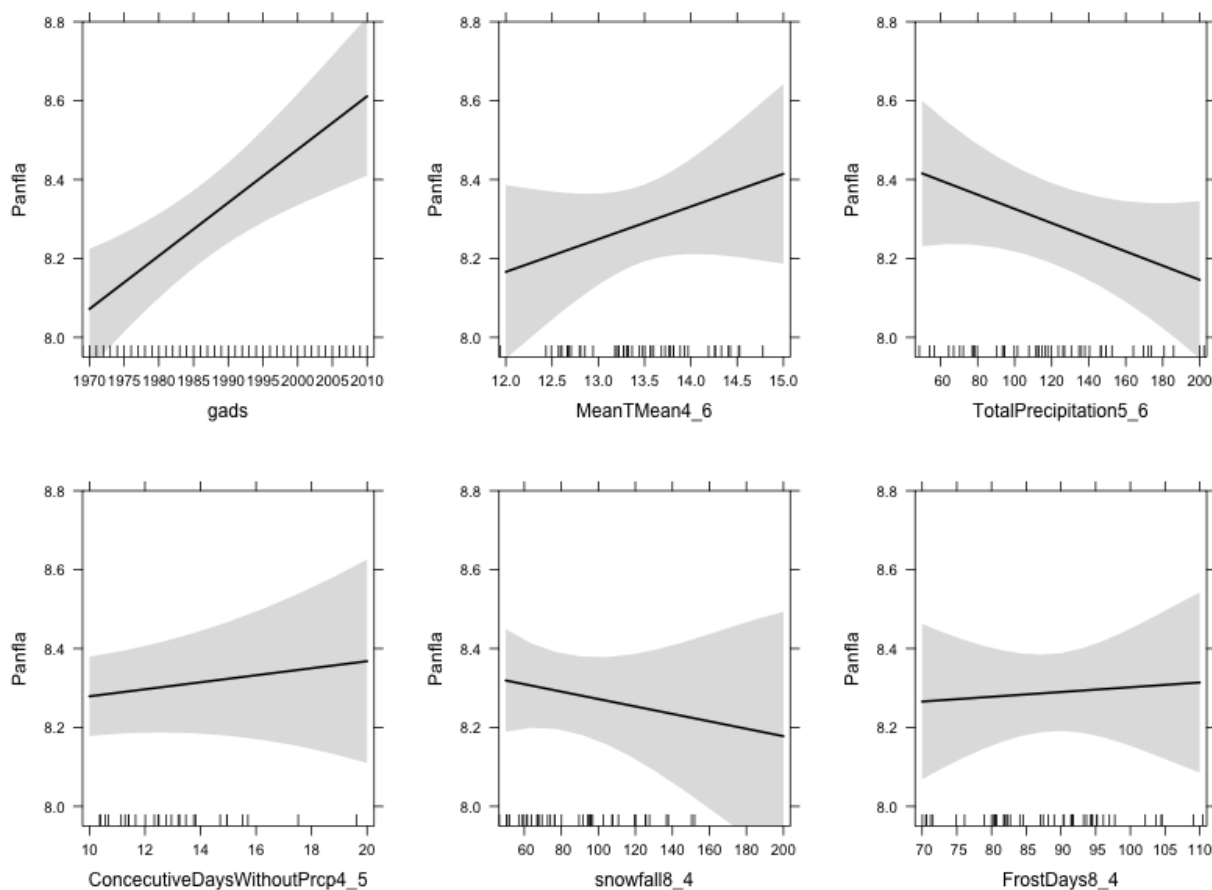
Novērtēta arī klimata faktoru ietekme uz savairošanās platību attiecību pret reģistrēto savairošanās gadījumu skaitu (12.8. pielikums, 12.12.-12.19. att.), uz x ass norādītas attiecīgā faktora vērtības, bet uz y ass – savairošanās platību attiecības pret reģistrēto savairošanās gadījumu skaitu logaritmiski transformētās vērtības.

Līdzīgi kā iepriekšējā analizē, *B. piniarius* novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; analizēto klimata faktoru ietekme nebija būtiska (12.12. att., 12.8. pielikums).



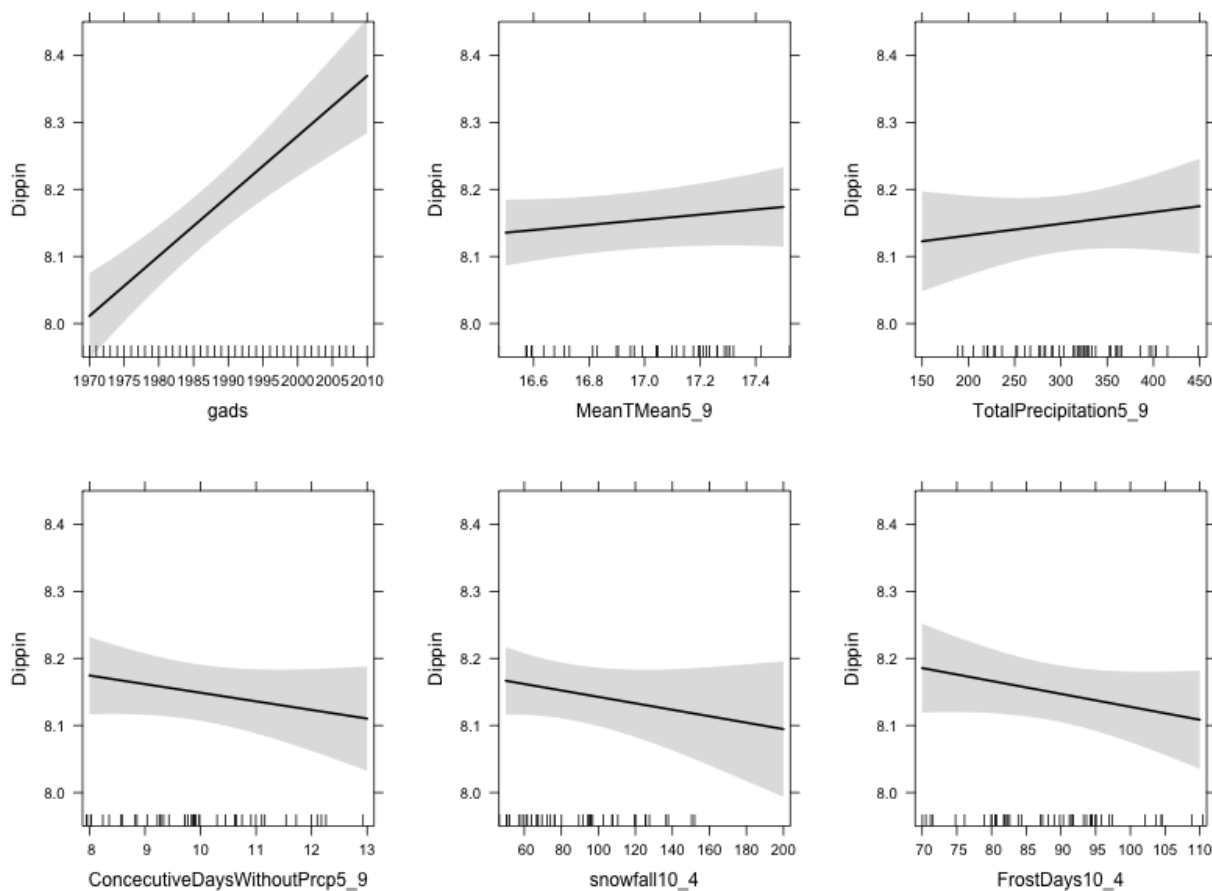
12.12. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *B. piniarius* savairošanās platību attiecībā pret gadījumu skaitu pieaugumu 1962. – 2011. gados.

P. flammea novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; būtiska ($p=0,108$) negatīva ietekme konstatēta iepriekšējās sezonas nokrišņu daudzumam maijā-jūnijā (12.13. att., 12.8. pielikums).



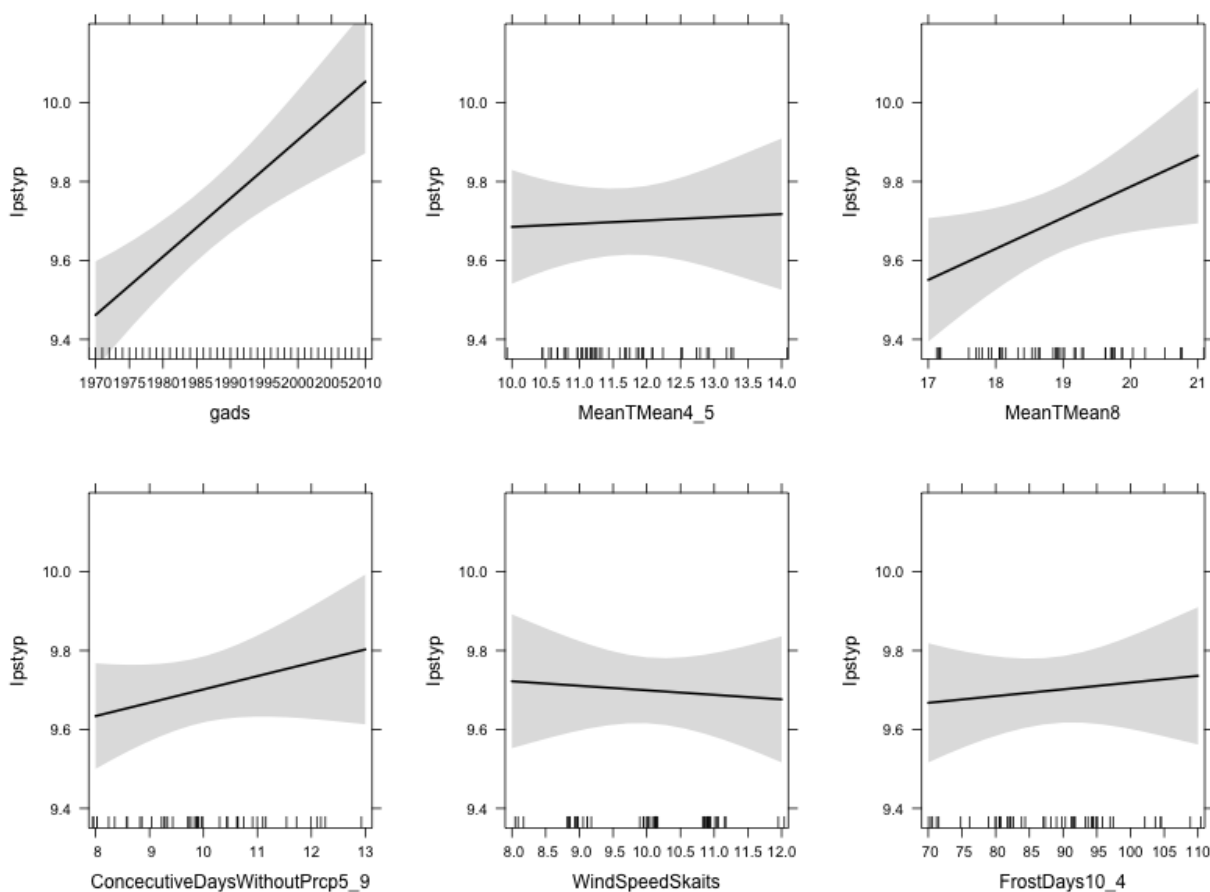
12.13. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *P.flammea* savairošanās platību (attiecībā pret gadījumu skaitu) pieaugumu 1962. – 2011. gados.

D. pini novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; analizēto klimata faktoru ietekme nebija būtiska (12.14. att., 12.8. pielikums).



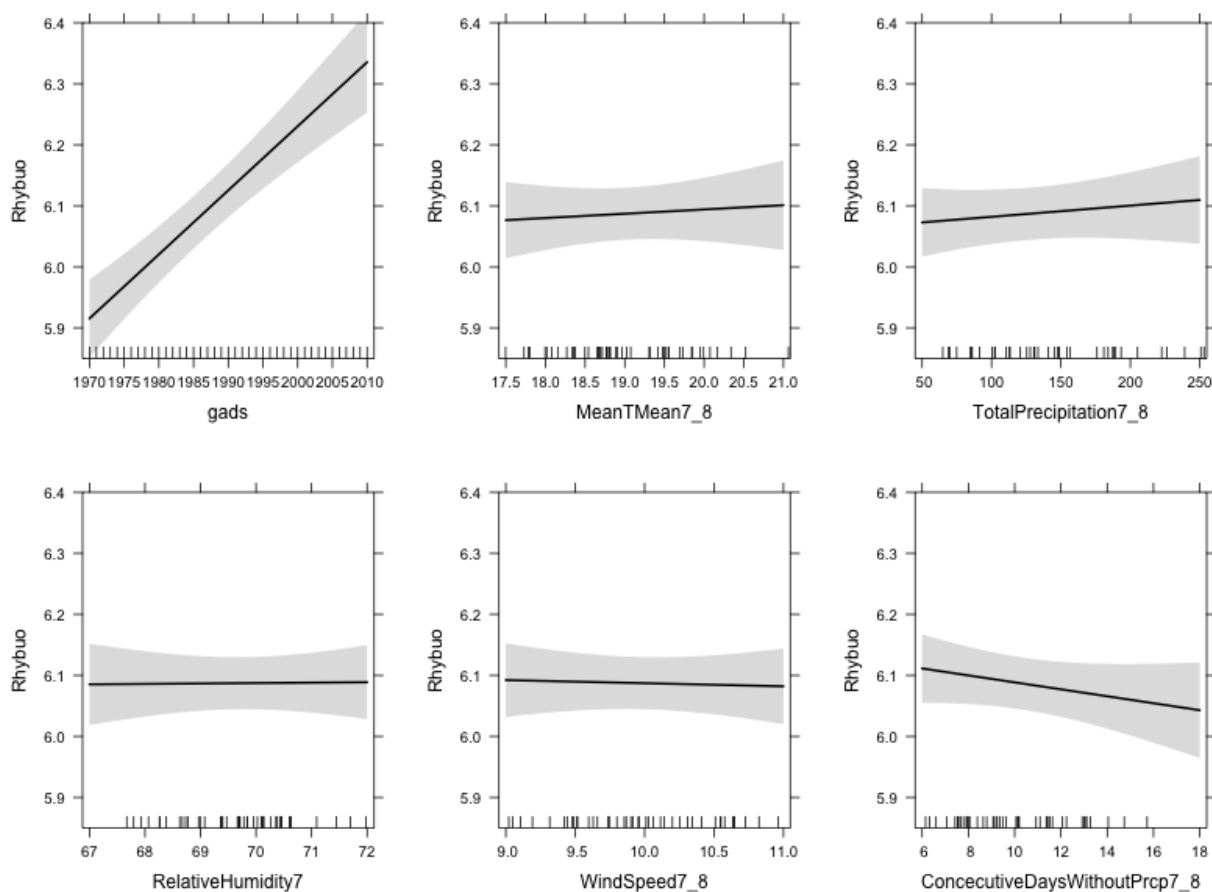
12.14. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *D. pini* savairošanās platību (attiecībā pret gadījumu skaitu) pieaugumu 1962. – 2011. gados.

I. typographus novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; savairošanās platību pieaugumu būtiski ($p < 0,05$) pozitīvi ietekmēja arī vidējās temperatūras iepriekšējās sezonas augustā (12.15. att., 12.8. pielikums).



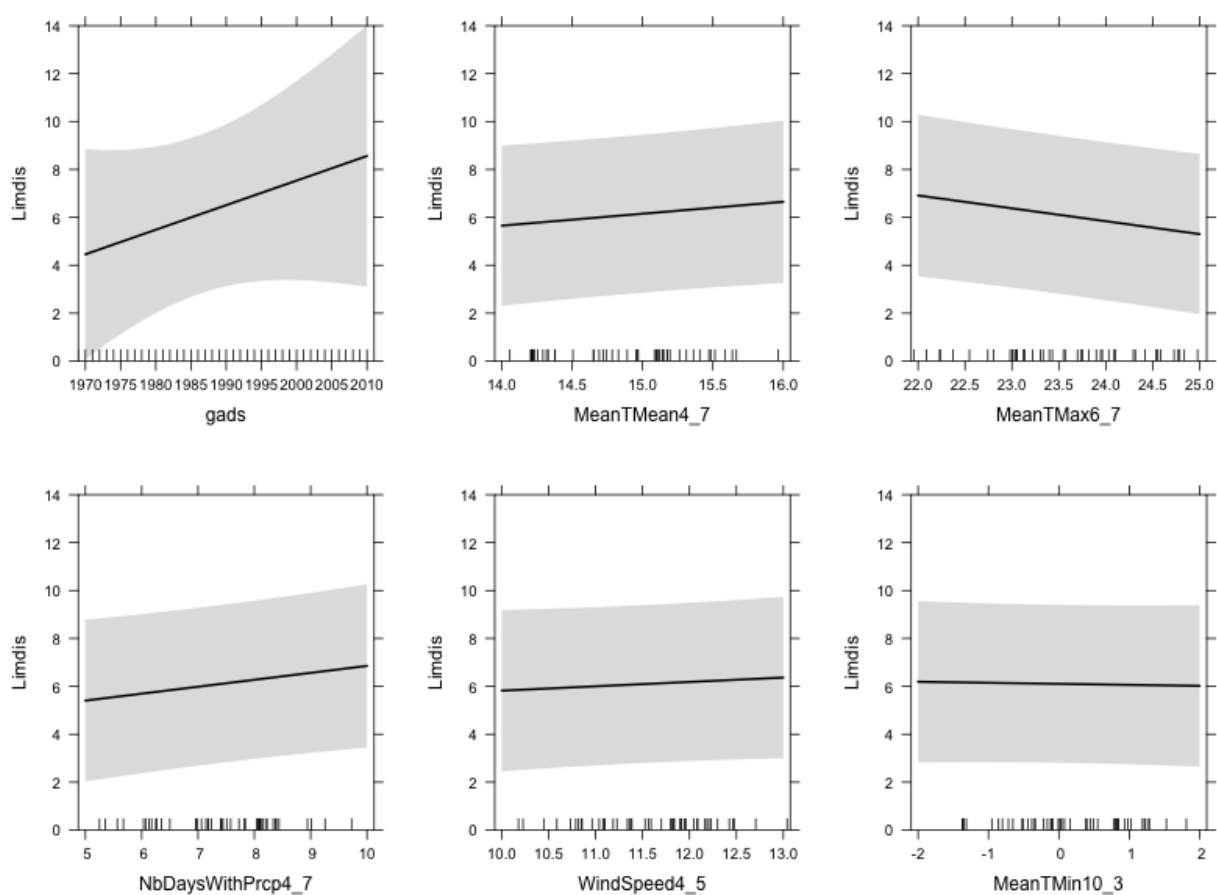
12.15. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *I. typographus* savairošanās platību (attiecībā pret gadījumu skaitu) pieaugumu 1962. – 2011. gados.

R. buoliana novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; analizēto klimata faktoru ietekme nebija būtiska (12.16. att., 12.8. pielikums).



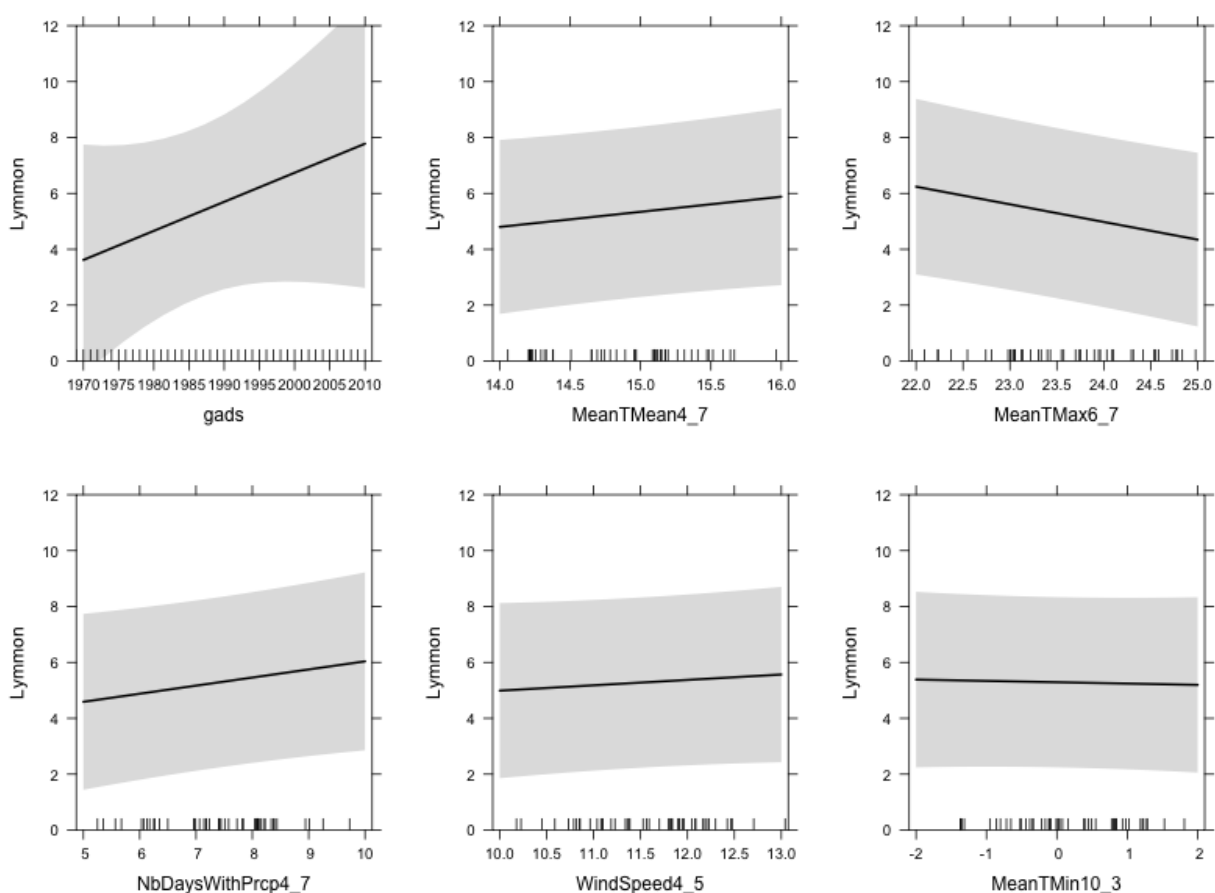
12.16. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *R. buoliana* savairošanās platību (attiecībā pret gadījumu skaitu) pieaugumu 1962. – 2011. gados.

L. dispar savairošanās platību pieaugumu būtiski negatīvi ($p < 0,05$) ietekmēja vidējās maksimālās temperatūras iepriekšējā gada jūnijā un jūlijā, būtiski ($p = 0,073$) pozitīvi – dienu skaits ar nokrišņiem iepriekšējās sezonas aprīlī–jūlijā (12.17. att., 12.8. pielikums).



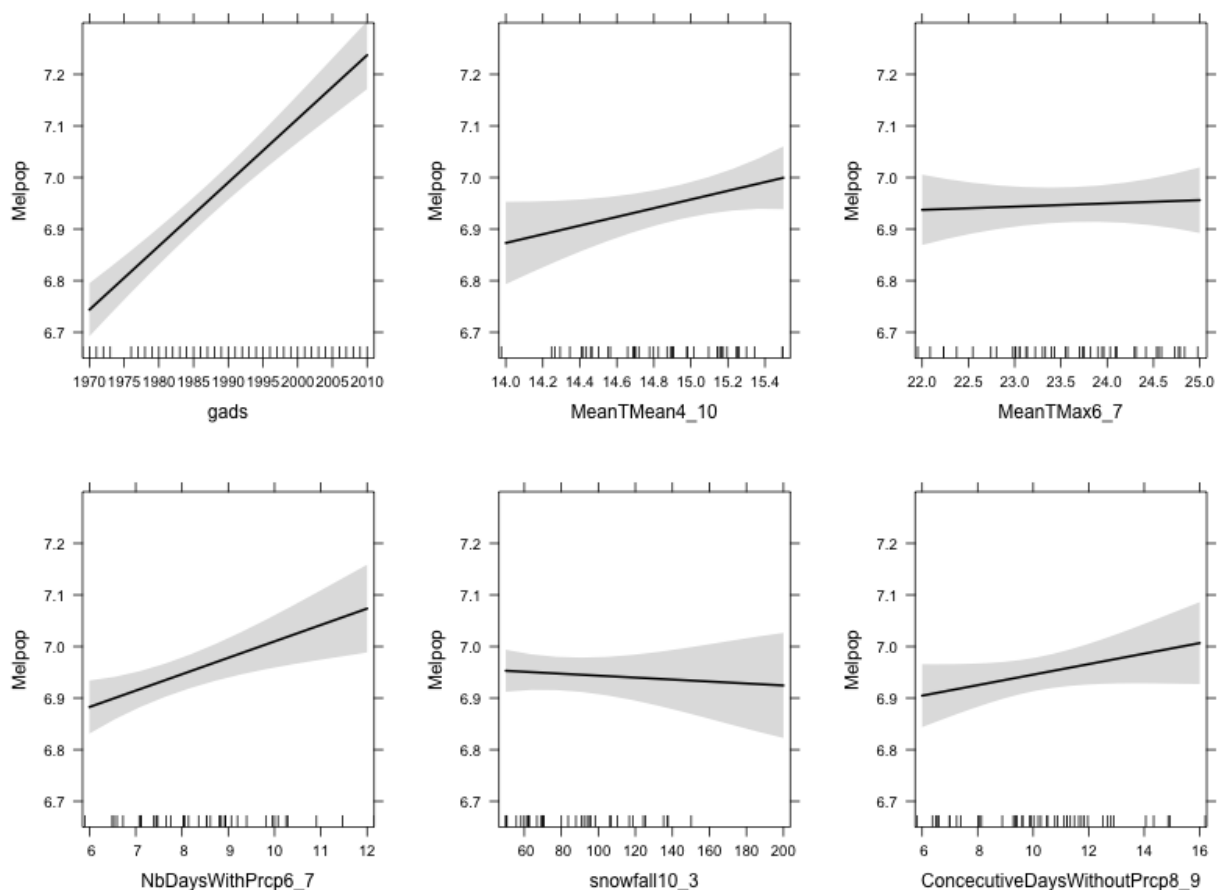
12.17. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *L. dispar* savairošanās platību (attiecībā pret gadījumu skaitu) pieaugumu 1962. – 2011. gados.

L. monacha savairošanās platību pieaugumu būtiski ($p < 0,05$) negatīvi ietekmēja vidējās maksimālās temperatūras iepriekšējās sezonas jūnijā un jūlijā, būtiski pozitīvi ($p = 0,095$) dienu skaits ar nokrišņiem iepriekšējās sezonas aprīlī-jūlijā (12.18. att., 12.8. pielikums).



12.18. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *L. monacha* savairošanās platību (attiecībā pret gadījumu skaitu) pieaugumu 1962. – 2011. gados.

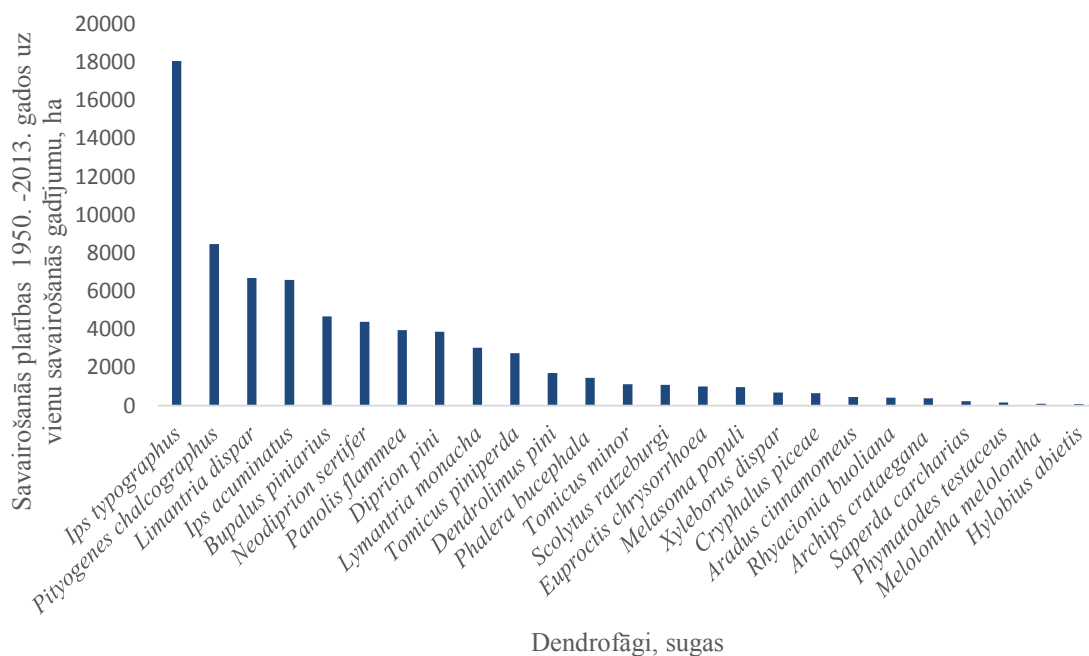
M. populi novērojumu periodā konstatēts būtisks savairošanās platību pieaugums; savairošanās platību pieaugumu būtiski ($p < 0,05$) pozitīvi ietekmēja vidējās temperatūras iepriekšējā veģetācijas periodā (aprīlis-oktobris), kā arī būtiski pozitīvi ($p < 0,05$) dienu skaits ar nokrišņiem iepriekšējās sezonas jūnijā un jūlijā (12.19. att., 12.8. pielikums).



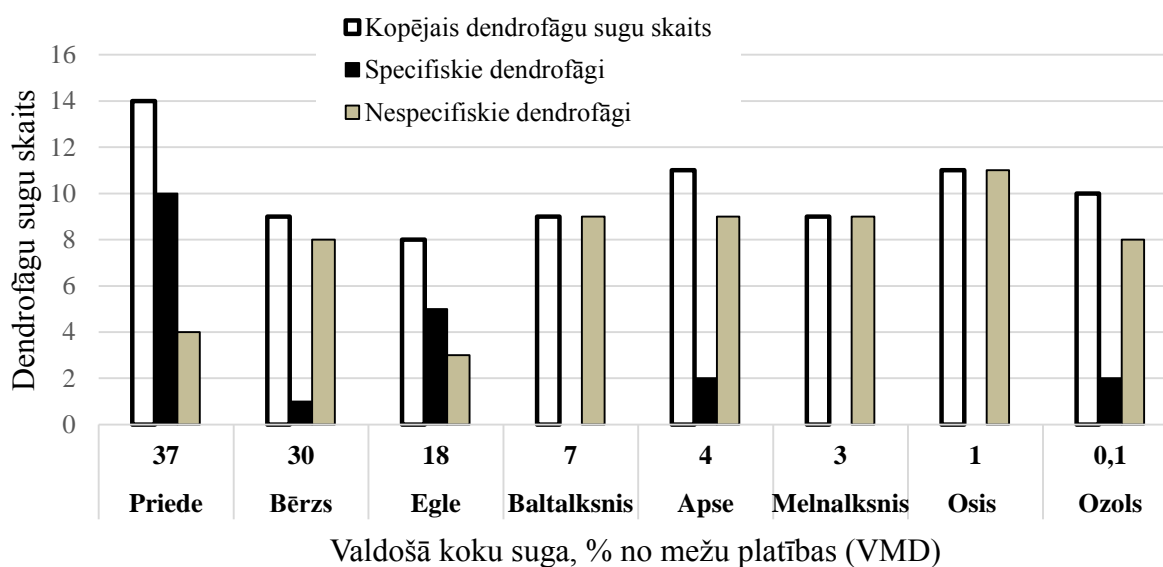
12.19. attēls. Dažādu faktoru ietekme uz *M. populi* savairošanās platību (attiecībā pret gadījumu skaitu) pieaugumu 1962. – 2011. gados.

Salīdzinot dendrofāgus pēc to vidējā savairošanās platību kopējā apjoma uz vienu savairošanās gadījumu laika periodā no 1950. – 2013. gadam visā apskatā ietvertajā teritorijā, visnozīmīgākā ietekme mežsaimniecībā konstatēta egļu astonezobu 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) (12.20. att.).



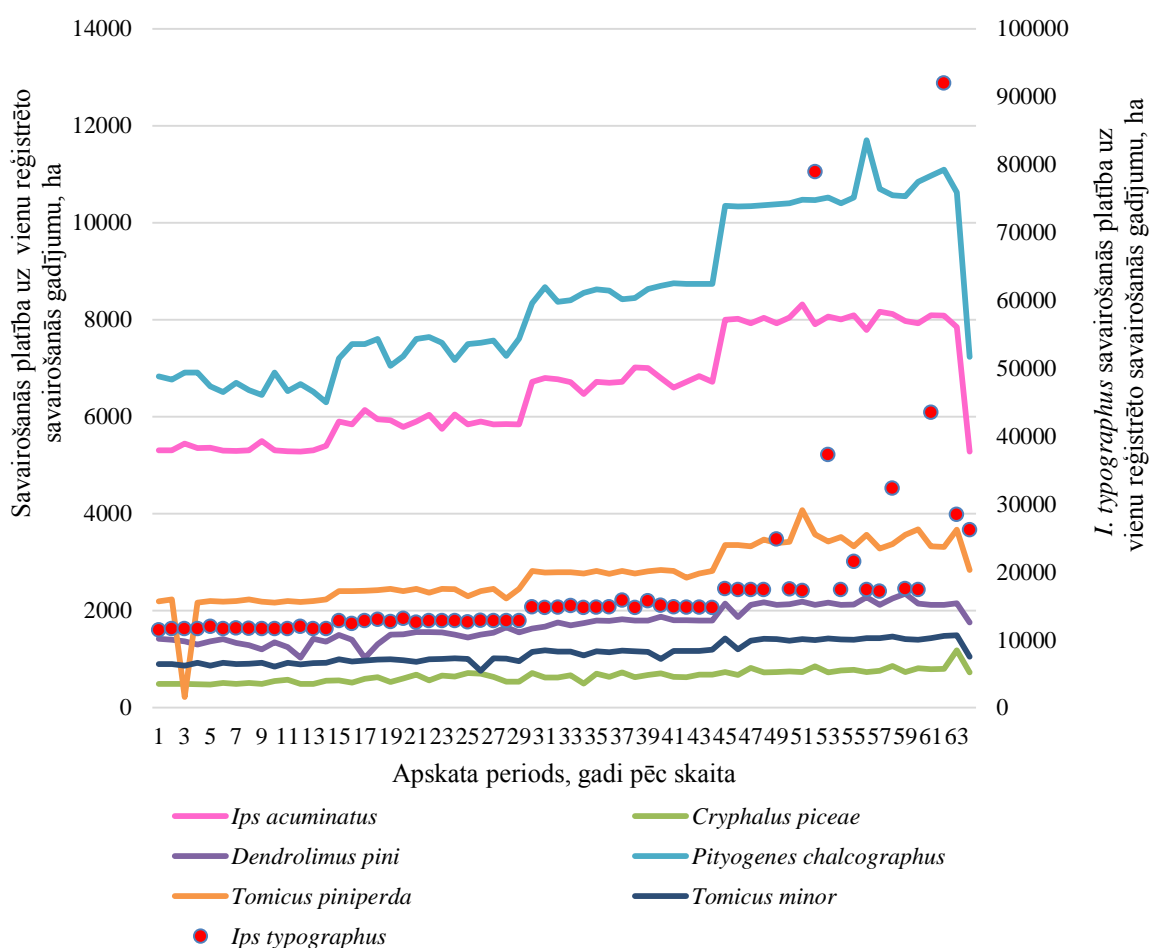
12.20. attēls. Dendrofāgu savairošanās platības 1950. – 2013. gados uz vienu savairošanās gadījumu.



12.21. attēls. Dendrofāgu sadalījums pēc to saimniekaugiem.

Salīdzinoši augstāks specializēto – monofāgo, t.i., vienam saimniekaugam raksturīgo kaitēkļu, skaits konstatēts priedei (10) un eglei (5); (12.21. att.). Savukārt, lielākais kopējais atlasīto dendrofāgu skaits konstatēts apsei (11) un ozolam (10).

Novērtējot skujkoku mizgraužu un lūksngraužu savairošanās dinamiku konstatēts, ka izvēlētajām sugām tā ir līdzīga (12.22. att.), 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) (12.2. tab.).



12.22. attēls. Skujkokiem raksturīgo mizgraužu, lūksngraužu (Scolitidae) savairošanās platību dinamika uz vienu savairošanās gadījumu 1950. – 2013. gados.

Skujkoku mizgraužu, lūksngraužu (*Scolitidae*) sugu skarto platību uz vienu savairošanās gadījumu dinamikas līdzība laika periodā 1950. – 2013. gads (Pīrsona korelācijas koeficienti)

<i>Dendrofāgo kukaiņu suga</i>	<i>Ips typographus</i>	<i>Ips acuminatus</i>	<i>Cryphalus piceae</i>	<i>Dendrolimus pini</i>	<i>Pityogenes chalcographus</i>	<i>Tomicus piniperda</i>
<i>Ips acuminatus</i>	0,49					
<i>Cryphalus piceae</i>	0,50	0,78				
<i>Dendrolimus pini</i>	0,47	0,93	0,78			
<i>Pityogenes chalcographus</i>	0,52	0,98	0,80	0,94		
<i>Tomicus piniperda</i>	0,44	0,88	0,76	0,86	0,87	
<i>Tomicus minor</i>	0,53	0,96	0,80	0,94	0,96	0,88

Apskatīto kukaiņu sugu savairošanās prognozes Centrāleiropā un Latvijā tuvā nākotnē

Viens no pamatkritērijiem dažādu prognožu izveidē ekoloģijā ir laiks (Steyerberg et al., 2010). Ilgākais laika periods prognožu veikšanai nav konkrēti definēts – tas atkarīgs no problēmas un faktoriem, kas to ietekmē, tomēr šis periods nedrīkstētu pārsniegt 1/3 no pagātnē aptvertā. Jo lielāks ir pieejamo datu apjoms un garāks analizētais vēsturiskais periods, jo precīzākas prognozes iespējams izstrādāt (Box et al., 2013; Neigh et al., 2014; Steyerberg et al., 2010). Šajā gadījumā, 63 gadi ir laiks, kurā vairākums no apskatā izvēlētajām sugām radījušas jau vidēji 63- 126 paaudzes.

Nemot vērā, ka atlasītajām kukaiņu sugām raksturīgas stabilas augšupejošas savairošanās tendences visā apskata periodā bez izteiktām cikliskuma iezīmēm, GLS analīzes pielietojums ir visloģiskākais. GLS modelis nerada atsevišķas, papildus ekstrēmas vērtības – tādējādi neizkropļo tendenču projekcijas (Zuur et al., 2009). Kopējā savairošanās platību pieauguma tendence visiem dendrofāgiem, iespējams, norāda uz meža kaitēkļu populāciju pieaugumu saistībā ar klimata izmaiņām – vidējiem temperatūras pieaugumiem (IPPC, 2007). Turklāt interesanti, ka, novērtējot savairošanās projekciju virziena koeficientus (12.1. tab.), straujākais savairošanās pieaugums raksturīgs tieši sugām ar zemākajiem mežu bojājumu apjomiem 1950. – 2013. gadu laika periodā (12.20. att.). Tātad sugām, kurām raksturīga salīdzinoši augsta sastopamība (par ko liecina savairošanās platības attiecībā uz vienu savairošanās gadījumu) ir iespējama populāciju lejupslīde un savairošanās riska samazināšanās, kamēr citām sugām ar salīdzinoši zemu populācijas līmeni un nelielām savairošanās platībām ir iespējams lokāls straujš savairošanās platību un riska pieaugums (piemēram, *R. buoliana*, *X. dispar*, *A. crataegana*, *S. carcharias*, *P. buchepala*).

Ņemot vērā, ka *A. crataegana* (agresīvs ozolu kaitēklis), *S. carcharias* (agresīvs apšu kaitēklis) un *P. buchepala* savairošanās gadījumi lielākoties ir lokāli un ar augstu defoliācijas pakāpi (Barbosa et al., 2012), domājams, Centrāleiropā un Latvijā tuvāko 6 gadu laikā visapdraudētākās ir tieši nelielas lapkoku mežu platības (galvenokārt apses un ozoli), kā arī stādītās plantācijas (piemēram, bērzu plantācijas). Taču tas nenozīmē, ka tādu kaitēkļu sugu kā *I. typographus*, *I. acuminatus*, *L. dispar*, *L. monacha*, *P. chalcographus* un *N. sertifer* savairošanās risks ir samazinājies, jo to kopējie skarto platību apjomi ir krietni augstāki, turklāt, nozīmīgi pieaug ar katru nākamo gadu dekādi.

Viszemākie savairošanās rādītāji konstatēti lauka maijvabolei *M. melolontha*, taču jāņem vērā, ka to populāciju ietekmē salīdzinoši garais preimago attīstības cikls (4 gadi, atsevišķos gadījumos arī garāks), kā arī specifisks augsnes mikroklimats un temperatūras – lokāli faktori, kas raksturīgi konkrētai majvaboles dzīvotnei (Imrei, Tóth, 2002; Luisa, Mauro, 1996). Turklāt, maijvaboles savairošanās cieši saistīta ar lauksaimniecības intensitāti. Pamestas auglīgās lauksaimniecības zemes bieži kalpo par savairošanās vietu. Ja augsne tiek apstrādāta katru gadu, tas vairākkārtīgi samazina maijvaboļu daudzumu, jo kāpuri tiek izcelti virspusē, kur tos apēd putni. Šī iemesla dēļ *M. melolontha* savairošanos ir grūti paredzēt. *M. melolontha* savairošanās netālu no meža platībām ir sevišķi bīstamas. *M. melolontha* imago nereti pāriet baroties uz mežā sastopamajiem lapkokiem (primāri – ozoliem), parasti pilnībā apgraužot to lapotnes. Šādā veidā maijvaboles, savairojoties meža platībās, spēj nodarīt ievērojamus zaudējumus (Imrei, Tóth, 2002; Kolár et al., 2012). Paradoksāli, tomēr arī *I. typographus* savairošanās tendences nav viegli prognozējamas, ņemot vērā, ka šī mizgrauža savairošanos ietekmē novājinātu egļu īpatsvars. Spēcīgu vētru rezultātā tiek izgāztas egles, un tas nodrošina labvēlīgus apstākļus, lai savairotos egļu astoņzobu mizgrauzis. Tāpat daļai koku tiek “izšūpota” sakņu sistēma, koki tiek novājināti un vairāk pakļauti vaboļu uzbrukumam (Borkowski, Podlaski, 2011; Öhr, 2012). Pārsniedzot ekoloģisko kapacitāti, masveida savairošanās vietās *I. typographus* iznīcina arī dzīvas, pilnīgi veselas egles, retāk priedes (Wermelinger, 2004).

Apskatā ietvertajām skujkoku mizgraužu, lūksngraužu sugām ir izteikti līdzīga savairošanās dinamika 1950. – 2013. gados – sakarības starp sugām (izņemot *I. typographus*) ir ciešas (Pīrsona korelācijas koeficienti pārsniedz 0,7; $p < 0,01$) (12.2. tab.). Līdz 1997. gadam *I. typographus* savairošanās dinamikai ir augsta saistība ar pārējām, līdzīgām sugām (Pīrsona korelācijas koeficienta vērtības pārsniedz 0,7; $p < 0,01$). Tas, visticamāk, skaidrojams ar šo sugu barības un dzīvesvietas nišu līdzību – skujkoku mežiem (pamatā – priedi un egli). Tomēr daudzi pētījumi liecina, ka vairākums šo sugu ir sekundāri “piesaistītas” *I. typographus* un *I. acuminatus*,

kas darbojas kā primārie kaitēkļi – uzsāk barošanas pirmie, un vēlāk to skartajās audzēs savairojas sekundārie kaitēkļi (Cheraghian, 2013; Zúbrík et al., 2008). Pastāv uzskats, ka tieši sekundārie koksnes kaitēkļi ir tie, kas izraisa koku bojāeju (Barbosa et al., 2012). *I. typographus* populāciju straujo pieaugumu pamatā 1997. – 2013. gados, iespējams, ir šādi iemesli: specifisko dabisko ienaidnieku trūkums, sugai specifisku mikroklimatisko apstākļu uzlabošanās, koksnes parazitisko sēņu un citu kokus novājinošo organismu savairošanās atsevišķos reģionos, mežsaimnieciskās darbības kļūdas; tomēr par galveno cēloni uzskatāmas biežās un spēcīgās vētras. Tas varētu būt nozīmīgākais iemesls, kādēļ saikne starp *I. typographus* un citām mizgraužu, lūksngraužu sugām 1997. – 2013. gados (vērtējot vienā savairošanās gadījumā ietekmēto platību) ir salīdzinoši vāja.

Salīdzinot Latvijas mežsaimniecībā nozīmīgās koku sugas pēc tās apdraudošo dendrofāgo kukaiņu sugu skaita, konstatēts, ka Latvijā tuvāko 6 gadu laikā apdraudētāki ir tieši skuju koku meži: priedei raksturīgo specifisko dendrofāgu skaits no apskatītajiem ir vidēji par 8 kaitēkļu sugām, bet eglei – par 4 lielāks nekā pārējām koku sugām. Egļu astoņzobu mizgrauzis *I. typographus* ir specifisks tieši eglei, un tā nodarītais kaitējums ekonomikai, salīdzinot ar citiem meža kaitēkļiem, ierindojas pirmajā vietā – ne tikai Eiropā, bet visā pasaulē (Barbosa et al., 2012). Egļu mūķene *L. monacha* ir otrs agresīvākais egļu kaitēklis Eiropā un ASV (Barbosa et al., 2012), kas ietekmē arī plašas priežu audžu platības. No lapkokiem apdraudētas ir apses un ozoli, kuriem specifiskas ir divas kaitēkļu sugas, bet kopējais kaitēkļu sugu skaits pārsniedz sešas. Bērziem ir zems specifisko kaitēkļu skaits – tikai 1 suga. Šādas kaitēkļu sadalījuma tendences atkarībā no to saimniekaugiem, iespējams, izskaidrojamas ar salīdzinoši “vēsāku”, lapkoku kaitēkļu sugām mazāk piemērotu klimatu Centrāleiropā (Lust et al., 2001).

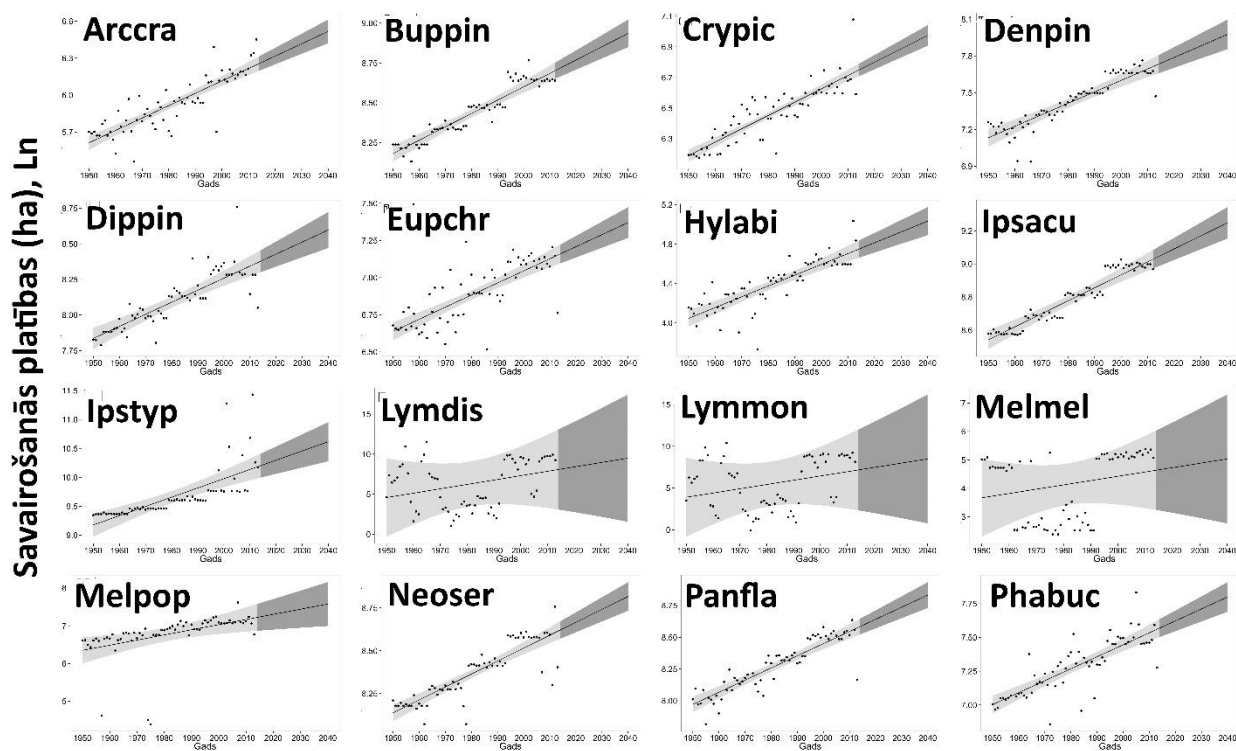
Noskaidrots, ka valstīs ar lielāku kopējo platību ir raksturīgs proporcionāli augstāks dendrofāgo kaitēkļu savairošanās gadījumu skaits neatkarīgi no to saimniekaugu izplatības. To, iespējams, nosaka kukaiņu augšanai un attīstībai piemērotu apstākļu augstāka sastopamība lielākā teritorijā. Tomēr šī sakarība nenorāda uz zemāku dendrofāgo kaitēkļu savairošanās iespējamību Latvijā salīdzinoši nelielās valsts teritorijas dēļ. Mūsu valstī ir augsts mežainums un nesen ieceļojušām kaitēkļu sugām labvēlīgi apstākļi, piemēram, pamatareāliem raksturīgu, specifisku parazitāru trūkums, tāpēc Latvijā nākotnē ir iespējamās plašas savairošanās. To pierāda nesen reģistrētās ozolu mūķenes *L. dispar* masveida savairošanās Latvijā 2008. un 2011. gados.

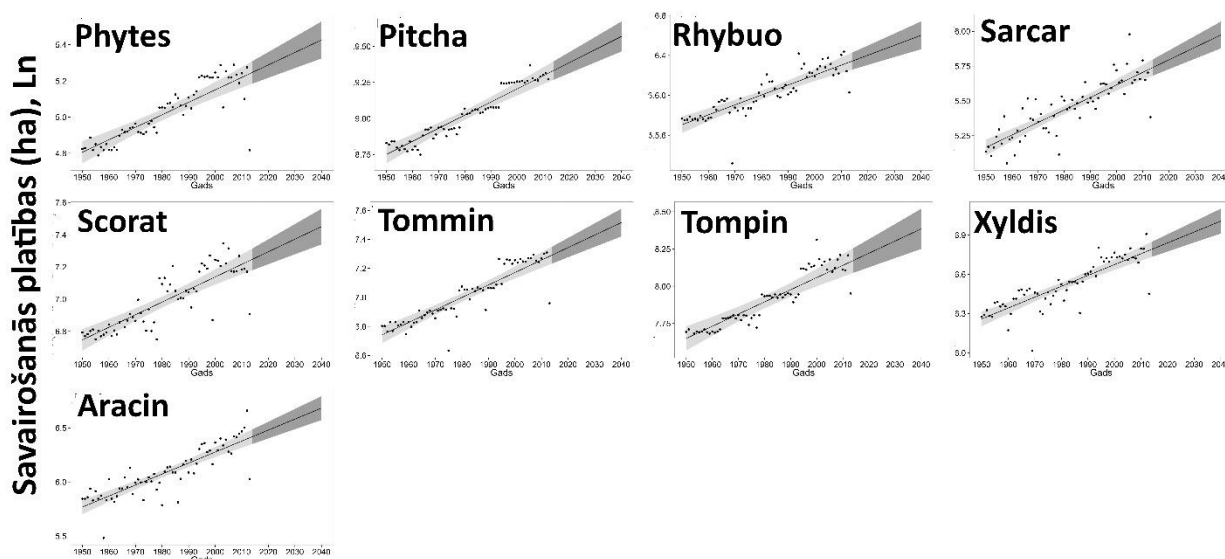
Novērtējot apskatīto defoliatoru sugu savairošanās dinamiku Centrāleiropā (12.3. att.), redzams, ka to skarto platību apjoms uz vienu savairošanās gadījumu kopš 1950. gada palielinājies gandrīz 2 reizes. Iespējams, šādas defoliatoru savairošanās izmaiņas ir ietekmējusi

memorālo (mēreno lapkoku) mežu zonas pakāpeniska “ienākšana” Centrāleiropā un tās ziemeļu daļā. Lapkoku izplatību ziemeļu virzienā veicina globālu klimata izmaiņu ierosināts vidējās ikgadējās temperatūras pakāpenisks pieaugums (Allard et al., 2003; Bottero et al., 2003; Haynes et al., 2014). Defoliatoru sugu savairošanās mežos pasaulē iespējams noteikt arī ar satelīta palīdzību, reģistrējot koku vainagu seguma izmaiņas, tādējādi nosakot savairošanās reģionu platības un defoliācijas pakāpi, kā arī prognozējot kaitēkļu tālākās izplatības virzienus (Meshkova, 2006).

Apskatīto kukaiņu sugu savairošanās ilgtermiņa prognozes

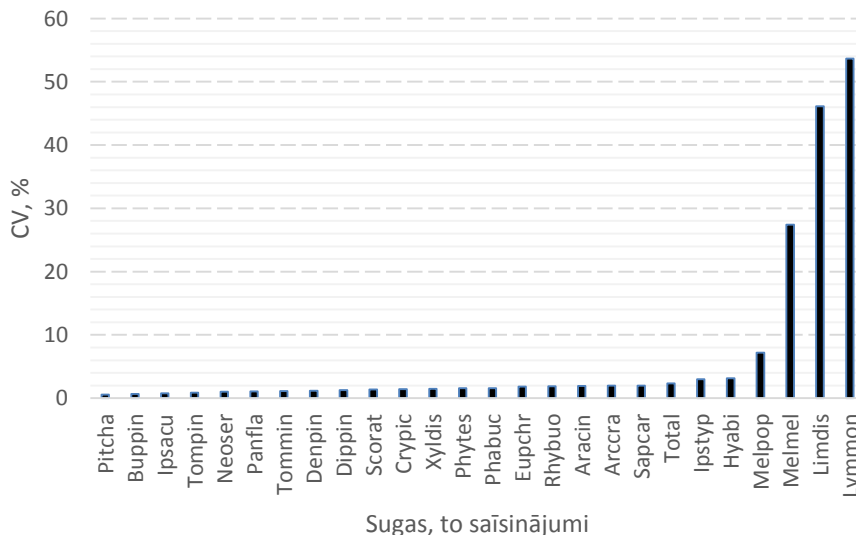
Apskatā ietvertajām 25 mežam nozīmīgajām dendrofāgu sugām veikta ne vien savairošanās datu analīze laika periodam no 1950. gada līdz mūsdienām un prognoze tuvākajiem 6 gadiem, bet arī šo kaitēkļu savairošanās iespēju novērtējums (ar GLS modeli) ilgākā laika periodā – līdz 2040. gadam (12.23. att.).





12.23. attēls. Dendrofāgo kukaiņu savairošanās platību dinamika un tās prognozes 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 (12.24. att.). *M. populi*, *M. melolontha*, *L. dispar* un *L. monacha* projekcijas ir ar viszemāko paredzēto savairošanās platības pieaugumu un augstākajām variācijas koeficienta vērtībām. GLS modeļa prognožu zemākās vērtības 2030.-2040. gadā līdzīgas tām, kas konstatētas 1950. – 1960. gadā.



12.24. attēls. Variācijas koeficientu atšķirības starp apskatītajām sugām.

Šāda prognožu nenoteiktība var būt skaidrojama ar sugu bioloģijas īpatnībām: *L. dispar* un *L. monacha* ir kaitēkļi, kuriem ir raksturīga strauja savairošanās, kas atkarīga no vidējām maksimālajām mēneša temperatūrām. Šo sugu populācijas spēj strauji pārsniegt ekoloģisko kapacitāti „uzliesmojuma” ekscesa fāzē, un strauji samazināties recesijas fāzē (biežāk parazitā un plēsēju iedarbības rezultātā, bet netieši – vidējo gaisa temperatūru samazināšanās ietekmē) (Tan et al., 2010). *M. populi* arī raksturīgas straujas, lokālas savairošanās, ko ietekmē saimniekaugu kvalitāte un sekmē temperatūras paaugstināšanās veģetācijas periodā tā dzīvotnēs. Savukārt, *M. melolontha* savairošanos vismazāk ietekmē tiešas klimata izmaiņas, bet gan auglīgu, pamestu lauksaimniecības zemju īpatsvars (Battisti, 2006; Schroeder, 2008). Visas apskatā ietvertās dendrofāgo kukaiņu sugas līdz 2040. gadam var nozīmīgi savairoties, jo ir salīdzinoši izplatītas Latvijā un vēsturē reģistrētas to masveida savairošanās.

Lai saprastu, kā šo dendrofāgo kukaiņu sugu savairošanās varētu skart Latvijas mežus, projekta ietvaros izstrādātās prognozes vērtētas pasaulē un Eiropā pieejamās zinātniskās literatūras kontekstā. *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 „izrobojumu”, 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 ieeļotāju 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 ieeļot, „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*).

Ieteikumi kaitēkļu uzraudzības uzlabošanā, balstoties uz klimatisko rādītāju ietekmes uz kaitējuma apjomu (platībām) analīzi

Latvijas mežsaimniecībai nozīmīgās izvēlētās dendrofāgo kukaiņu sugas ietekmējošo faktoru analīzes rezultātā iegūti sekojoši secinājumi un ieteikumi:

Bupalus piniarius –priežu sprīžotājs (Buppin)

Nevienam no analīzē iekļautajiem klimatiskajiem rādītājiem netika konstatētas būtiskas sakarības ar kaitējuma apjomu. Tas skaidrojams ar šī kaitēkļa bioloģiju. Tauriņi lido vasaras vidū, tikai lidošanai piemērotos laikapstākļos. Kāpuru attīstība ilgst līdz vēlam rudenim, kas ir jutīgākais periods sprīžotāja attīstībā. Tā kā savairošanās platībām raksturīga tendence palielināties ilgstošā laika periodā, šī suga jāiekļauj meža kaitēkļu monitoringa pamatprogrammā. Kaitēkļa savairošanās blīvuma izmaiņas viegli konstatēt, pavasarī uzskaitot zemsedzē ziemojošās kūniņas. Šī kaitēkļa savairošanās rezultātā vērojama atsevišķu koku kalšana, īpaši 20-40 gadus vecās audzēs. Šajos kokos, vairojoties sekundārajiem kaitēkļiem (sveķotājsmecerniekiem, lūksngraužiem, galotņu sešzobu mizgrauzim), būtiski palielinās koku mirstība un ekonomiskie zaudējumi (Šmits, Vilka, 1993), tāpēc savairošanās laikā svarīgs pasākums ir sekundāro kaitēkļu invadēto koku izciršana. Meža kaitēkļu monitoringā novērojot strauju skaita pieaugumu, riska audzēs jāizvieto putnu būri. Dobumperētāju putnu piesaistīšana mežaudzēm visefektīvākā ir tieši *B. piniarius* savairošanās laikā (Vilka, 1999). Intensīva putnu barošanās ar pieaugušiem kāpuriem notiek rudenī pirms putnu migrācijas.

Panolis flammea – priežu pūcīte (Panfla)

Analizējot klimatisko faktoru ietekmi uz priežu pūcītes savairošanos, konstatēts, ka nokrišņu daudzums maijā- jūnijā būtiski samazina *P. flammea* kaitējuma apjomu nākamajā gadā. Šajā laikā pūcītes kāpuri ir 1-3 augumā un strauji barojas. Šim kaitēklim raksturīgas lokālas savairošanās, kā arī savairošanās platību palielināšanās ilgstošā laika periodā. Veicot kaitēkļa uzraudzību, jāapseko riska audzes (Ozols, 1985) nākamajā sezonā pēc gadiem ar izteikti sausu

maiju un jūniju. *P. flammea* uzraudzība pavasara zemsedzes kontrolē ir apgrūtināta, jo tauriņi lido vēl pirms pilnīgas sniega nokušanas. Lietderīgi izlikt planšetes nobiru savākšanai. Intensīva ekskrementu krāšanās planšetēs norāda uz kaitēkļa savairošanos. Putnu būru izvietošana mežaudzēs ir īpaši efektīva, jo kāpuri attīstās putnu mazuļu barošanās laikā. Divas pēdējās šī kaitēkļa savairošanās novērotas Garkalnes apkārtnē.

Diprion pini – priežu parastā zāglapsene (Dippin)

Neviens no analīzē iekļautajiem klimatiskajiem rādītājiem neuzrādīja būtisku sakarību ar kaitēkļa savairošanās apjomu. Kaitēklis, atšķirībā no abiem iepriekš minētajiem, raksturīgas divas paaudzes gadā un nav iespējams izdalīt kādu īpaši jutīgu periodu sugas attīstībā. Arī šim kaitēklis raksturīgs būtisks savairošanās platību pieaugums ilgstošā laika periodā. Kaitēkļa savairošanās raksturīgas ar augstu koku mirstību (Langström et al., 2001). Par priežu parastās zāglapsenes kaitējumu liecina ekskrementi, kāpuru kolonija uz paaugas priedēm, kokoni zemsegā pirms otrās paaudzes izlidošanas. Līdz ar to ir iespējams laicīgi konstatēt skuju-lapu grauzēju savairošanos, pirms mežaudzes ir pilnībā atlapotas. Šīs sugas savairošanās profilaksei liela nozīme ir savlaicīgai svaigi invadēto koku izciršanai un putnu būru izvietošanai.

Ips typographus – egļu astoņzobu mizgrauzis (Ipstyp)

Egļu astoņzobu mizgrauzis ir bīstamākais kaitēklis Latvijas mežos. Savairojoties tas iznīcina pat veselīgas egļu audzes, kuras vecākas par 50 gadiem. Šis kaitēklis primāri savairojas pēc plašām vējgāzēm, bet lokāli arī appludinātās teritorijās vai sakņu trupes stipri invadētās egļu audzēs. Egļu astoņzobu mizgrauža vaboļu lidošana parasti sākas aprīļa beigās, bet maijā - jūnijā sasniedz maksimumu; savairošanās sekmes lielā mērā nosaka nokrišņi šajā laika periodā. Aalizējot klimatisko faktoru ietekmi uz šī kaitēkļa savairošanos, tomēr netika konstatēta būtiska ietekme. Klimatiskie apstākļi vien reti izraisa masveida savairošanos. Masveida savairošanās parasti aizsākas pēc vētrām, kad vaboles savairojas svaigi gāztās eglēs, bet sauss un saulains laiks maijā-jūnijā sekmē šī kaitēkļa invāziju augošās eglēs. Šim kaitēklis jābūt meža kaitēkļu monitoringa pamatprogrammā. Uzraudzību var veikt ar feromonu slazdiem svaigās skuju koku cirmās (cirmās, kuras cirstas pēc 1.novembra) vaboļu lidošanas laikā un svaigi invadēto koku uzskaitēm egļu mežaudzēs.

Rhyacionia buoliana – priežu galotnes dzinumu tinējs (Rhybuo)

Šim kaitēklim vērojams būtisks savairošanās platību palielinājums ilgstošā laika periodā, bet būtiska konkrētu klimatisko rādītāju ietekme analīzē netika konstatēta. Iepriekšējie pētījumi liecina, ka šī kaitēkļa attīstībai kritiskas ir ziemas temperatūras. Pie -30°C daudzi ziemojošie kāpuri iet bojā (Ozols, 1985). Visvairāk no šis kaitēklis bojā 5-15 gadus vecas priežu jaunaudzes. Uzraudzību var veikt, izlases veidā apsekojot priežu jaunaudzes.

Lymantria monacha – egļu mūķene (Lymmon)

Egļu mūķenes savairošanās platību apjomam arī ir tendence pieaugt laikā, tomēr šī tendence ir mazāk izteikta nekā pārējiem analīzē iekļautajiem kaitēkļiem, un nav statistiski būtiska. Konstatēta statistiski būtiska negatīva iepriekšējās sezonas vidējās maksimālās gaisa temperatūras jūnijā un jūlijā ietekme uz savairošanās platību un tās attiecību pret savairošanās gadījumu skaitu. Jūlija sākumā novērojama tauriņu masveida lidošana. Iespējams, ka karsts un sauss laiks šajā laika periodā veicina dabisko ienaidnieku, pārsvarā putnu, sekmes, iznīcinot mazkustīgās uz koku stumbriem „sēdošās” egļu mūķenes mātītes. Ņemot vērā, ka šis kaitēklis var būtiski bojāt gan egļu, gan priežu audzes, egļu mūķene jāiekļauj meža kaitēkļu monitoringa pamatprogrammā. Efektīvs egļu mūķenes populācijas monitorings iespējams, izmantojot feromonu slazdus.

Lymantria dispar – ozolu mūķene (Lymdis)

Arī ozolu mūķenes savairošanās apjomam ir tendence pieaugt laikā, tomēr šī tendence nav statistiski būtiska. No klimatiskiem faktoriem būtiska negatīva ietekme ir iepriekšējā gada maksimālajai temperatūrai jūnijā-jūlijā, kas sakrīt ar kāpuru iekūņošanos un tauriņu lidošanu. Līdzīgi kā egļu mūķenes gadījumā, svarīga var būt putnu barošanās ar tauriņiem. Atšķirībā no egļu mūķenes, ozolu mūķenes mātītes nav spējīgas lidot, bet pārvietojas tikai rāpojot. Ņemot vērā, ka šīs sugas pirmā savairošanās Latvijā konstatēta tikai 2008. gadā, tās uzraudzībai nepieciešams piešķirt īpašu vērību. Šī suga jāiekļauj meža kaitēkļu monitoringa pamatprogrammā. Ozolu mūķenes populācijas monitorings iespējams, izmantojot feromonu slazdus. Ir pieejami universāli feromonu dispenserī egļu mūķenes un ozolu mūķenes vienlaicīgai uzraudzībai. Papildus slazdi ozolu mūķenes kontrolei izliekami lapu koku audzēs riska reģionos. Līdzīgi kā daudzām citām meža kaitēkļu tauriņu sugām, ozolu mūķenes savairošanās riskus un to radītās sekas var būtiski samazināt, attiecīgajās mežaudzēs uzstādot putnu būrišus, bet ārkārtas stāvoklī, kad ozolu mūķenes kāpuru barošanās rezultātā pilnīga (100%) vainagu defoliācijas platība pārsniedz vairākus simtus hektāru, ieteicams pielietot *Bacillus thuringiensis kurstaki*

(tauriņiem specifiski toksiska baktērija) un *Entomophaga maimaiga* (entomofāgā sēne) šķīduma izsmidzināšanu defoliācijas zonā (Davidson et al., 2001; Lipa, Kolk, 2008).

Melasoma populi- Lielais apšu lapgrauzis (Melpop)

Šī kaitēkļa savairošanās apjomam ir tendence būtiski pieaugt ilgstošā laika periodā. Analizējot klimatisko faktoru ietekmi uz lielā apšu lapgrauža savairošanos, konstatēta būtiska gaisa temperatūras (aprīlis-oktobris) ietekme. Šim kaitēklim raksturīgas divas paaudzes gadā. Masveida savairošanās var notikt viena gada laikā. Konstatēta arī pozitīva būtiska nokrišņu ietekme jūnijā-jūlijā. Iespējams, ka nokrišņi veicina saimniekaugu lapotnes atjaunošanos, kas nodrošina lapgraužu otrās paaudzes sekmīgu attīstību. Parasti savairošanās ir lokālas un ilgst tikai vienu gadu, līdz ar to ir grūti prognozējamas. Uzraudzība veicama jaunaudzēs.

Kopsavilkums

Šis apskats veidots kā informācijas apkopojums, kas balstās uz 25 atlasītu agresīvāko dendrofāgo kukaiņu sugu savairošanās vēsturēm Centrāleiropas reģionā, lai prognozētu šo sugu savairošanās tendences un to iespējamo ietekmi uz Latvijas mežsaimniecībā nozīmīgām koku sugām. Informācijas ievākšanai un apkopošanai izmantotas EFI (*European Forest Institute*), GISD (*Global Invasive Species Database*), EPPO (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*) un FED (*Fauna Europaea Database*) datubāzes, kā arī zinātniskā literatūra. Ievāktajiem vēsturiskajiem datiem veiktas projekcijas līdz 2020. gadam (tuvai nākotnei) un līdz 2040. gadam (tālai nākotnei) ar GLS (*generalized least square*) modeli.

Visām apskatā ietvertajām dendrofāgo kukaiņu sugām konstatēta savairošanās platību pieauguma tendence ilgstošā laika periodā, kas vairumā gadījumu ir statistiski būtiska. Analīzes rezultāti liecina, ka kaitēkļu savairošanās platību pieaugumi atlasītajām sugām noris atšķirīgi: salīdzinoši augsti GLS projekciju virziena koeficienti (virs 0,04) konstatēti lapu kokiem raksturīgiem kaitēkļiem - *Xyleborus dispar*, *Archips crataegana*, *Saperda carcharias* un *Phalera buchepala*.

Skujkoku mizgraužu, lūksngraužu savairošanās dinamikai (platību palielinājumam) apskata periodā starp sugām raksturīgas līdzīgas tendences (pārsvārā gadījumu $r > 0,6$; $p < 0,01$).

Dendrofāgo kaitēkļu sugu savairošanās pamatā ir daudzi ietekmējošie faktori, no kuriem ne visi ir zināmi (Allard et al., 2003; Barbosa et al., 2012; Roques et al., 2006). Likumsakarīgi,

vairākumā gadījumu nebija iespējams konstatēt kādu specifisku, statistiski būtisku klimatisko faktoru, kas noteiktu tās vai citas kukaiņu sugas ietekmēto platību pieaugumu vērtētajā laika periodā. Tomēr atsevišķi būtiski faktori tika konstatēti, piemēram, nozīmīgākā skujkoku kaitēkļa *Ips typographus* ietekmētās platības palielina (pozitīvi ietekmē) iepriekšējās sezonas vidējā temperatūra augustā, un kārtējās sezonas temperatūra aprīlī – maijā.

Nemot vērā, ka priedei un eglei Latvijā ir liels meža platību īpatsvars, un šīm sugām raksturīgs salīdzinoši augsts kopējais un specifisko dendrofāgu sugu skaits, lielākais kaitēkļu savairošanās risks prognozējams tieši skujkoku audzēs. No lapu kokiem tuvākajā nākotnē visvairāk apdraudēti ir ozoli un apses.

13. Klimata izmaiņu kontekstā potenciāli saimnieciski nozīmīgākās koku slimības

Pētījumi liecina, ka klimata izmaiņu dēļ vidējā temperatūra līdz 21. gadsimta beigām paaugstināsies vidēji no 2 līdz 5 °C. Analizējot temperatūras pieaugumu Rīgā no 1851. līdz 2006. gadam, konstatēts, ka līdz šim augstākais temperatūras pieaugums ir novērots maijā, aprīlī, martā, decembrī, bet niecīgākais – vasaras mēnešos. Analizējot datus, kas ievākti no 1961. līdz 2006. gadam, konstatēts, ka nokrišņu daudzuma mainība ir atkarīga no sezonas - ziemā nokrišņu daudzums palielinās, bet rudenī samazinās. Tomēr SWECLIM klimata mainības modelis norāda, ka arī Latvijas apstākļos arvien biežākas var kļūt bezsniega ziemas (Kļaviņš, Briede, 2008). Pastāv liela varbūtība, ka līdz ar temperatūras izmaiņām pieaugs arī klimata ekstrēmu (tādu kā sausums, plūdi un vētras) biežums (Lindner et al., 2010). Tāpat palielināsies arī veģetācijas sezonas garums, kas nodrošinās ilgāku attīstības periodu ne tikai kokiem, bet arī to patogēniem. Konstatēts, ka līdz 2050. gadam klimata apstākļi Latvijā līdzināsies valstīm, kas atrodas uz dienvidrietumiem no mūsu valsts teritorijas Latvijas, (Polijas austrumu un centrālā daļa, Baltkrievijas rietumu, Ukrainas ziemeļrietumu daļa). Tas nozīmē, ka, analizējot patogēno sēņu attīstību, jāņem vērā gan šobrīd Latvijā sastopamās sugas, gan potenciāli invazīvās.

Mežu ekosistēmas ir īpaši jutīgas pret klimata izmaiņām, jo to ilgais saimnieciskās aprites cikls ierobežo adaptācijas spējas. Ne tikai tieša temperatūras paaugstināšanās, bet arī CO₂ daudzums, barības vielu pieejamība, ozona slāņa biezums un citi faktori ietekmē meža ekosistēmu attīstību. Arī biotisko risku, piemēram, kukaiņu un sēņu patogēnu ietekme uz mežu ekosistēmām var palielināties (Lindner et al., 2010). Tomēr, saistībā ar klimata izmaiņām, nevar noliegt arī cilvēku darbības ietekmi uz meža ekosistēmām – augsnes, ūdens, gaisa piesārņojuma, kā arī svešzemju organismu introdukcijas un urbanizācijas rezultātā (Pautasoo et al., 2012).

Klimata izmaiņām ir liela ietekme uz kokaugu un iespējamo patogēnu koakciju attīstību, to raksturo klasiskais „slimību trijstūris”, kas parāda saimniekauga, patogēna un vides savstarpējo mijiedarbību (Lonsdale, Gibbs, 1996; Pautasoo et al., 2012). Dabiskos apstākļos patogēna un saimniekauga koakcijas parasti raksturojamas kā stabilas (Lonsdale, Gibbs, 1996). Klimata izmaiņas var ietekmēt vienlaicīgi kā kokaugu, tā patogēnu izplatību un attīstības ciklus, piemēram, kokaugu pumpuru plaukšanu un patogēnu sporu izdalīšanās dinamiku. Iespējams, ka sausuma izraisīts stress pazeminās koka rezistences spējas, tāpēc sēnes, kas parasti tiek raksturotas kā saprofīti, izmainoties klimatiskajiem apstākļiem, būs spējīgas inficēt koku, tādējādi, klimatam tieši ietekmējot kokauga fizioloģiskos procesus, netieši tiks veicināta sēņu

izplatība un attīstība. Jāņem vērā, ka patogēniem klimata izmaiņas ietekmē un izmaina dzīves ciklu daudz straujāk nekā kokaugiem, kuriem adaptācijas process norit daudz lēnāk. Tāpēc, mainoties klimatiskajiem apstākļiem, patogēnu populāciju izmaiņas var būt daudz dinamiskākas, un tie ir pielāgotāki jauniem vides apstākļiem, salīdzinot ar kokaugiem (Ayres, Lombardero, 2000; Grišule, 2008; Sturrock et al., 2011). Lai noteiktu, vai kokaugu slimības Latvijas apstākļos var kļūt postošākas, jānoskaidro, kā izmainīsies abiotiskie apstākļi un kā šīs izmaiņas ietekmēs Latvijā sastopamo patogēnu sporulāciju, izplatību un vai sagaidāma jaunu patogēnu sugu invāzija.

Klimata izmaiņu ietekme uz patogēnajām sēnēm

Patogēnu attīstību ietekmē temperatūra, nokrišņu daudzums, ozona slāņa biezums, CO₂ koncentrācija un UV-B starojums, kā arī šo faktoru komplekss. Iespējams izdalīt divas sēņu patogēnu grupas: patogēni, kurus klimata izmaiņas ietekmē tieši, un patogēni, kuru attīstība un izplatība tiek ietekmēta netieši, piemēram, novājinot to saimniekaugus vai dabiskos ienaidniekus (Sturrock et al., 2011).

Literatūrā minēts, ka kaitēkļu un patogēno sēņu sugu daudzveidību un atsevišķu populāciju blīvumu meža ekosistēmās klimata izmaiņas varētu ietekmēt pozitīvi, kaut arī atsevišķu patogēnu attīstībai optimālie apstākļi ir diezgan ierobežoti (Dukes et al., 2009). Ļoti daudzi patogēni raksturojami kā stenotermi (pielāgojušies šauram temperatūras diapazonam), tāpēc klimata izmaiņas tieši ietekmētu to izplatīšanās un vairošanās spēju (Lonsdale, Gibbs, 1996). *Populus* spp. lapu rūsas izraisošā *Melampsora allii-populina* Kleb. ir izteikti termofīla. Līdz 1970. gadam tika uzskatīts, ka tās izplatības areāls ir Centrāleiropa, bet 1985. gadā šī slimība konstatēta arī teritorijās vairāk uz ziemeļiem, mūsdienās tās areāls vietām pārklājas ar *Melampsora larici – populina* Kleb. izplatības areālu (Lonsdale, Gibbs, 1996). Tas liecina, ka, paaugstinoties gaisa temperatūrai, iespējama arī citu patogēno sēņu attīstība jaunos, tām neraksturīgos areālos. Tiek prognozēts, ka tādas sugas kā *Dothistroma* spp., *Phytophthora cinnamomi* Rands (13.1. un 13.2. att.), *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).



13.1.attēls. *Phytophthora cinnamomi* izplatība 1994. gadā. Ar punktiem atzīmētas *Phytophthora cinnamomi* populācijas, ar krustiņiem reģioni, kas nav piemēroti *Phytophthora cinnamomi* attīstībai (Brasier, Scott 1994 cit. pēc Brasier 1996).



13.2. attēls. *Phytophthora cinnamomi* izplatība, ja temperatūra paaugstinātos par 3°C. Ar punktiem atzīmētas iespējamās *Phytophthora cinnamomi* populācijas (Brasier, Scott 1994 cit. pēc Brasier 1996).

Ja klimats kļūs siltāks un paaugstināsies augsnes temperatūra, kā arī samazināsies augsnes mitrums, tad 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, rada priekšnoteikumus 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).

Palielinoties nokrišņu daudzumam, palielinās patogēno sēņu sporu izplatības iespēja (Dukes et al., 2009). Piemēram, sakņu piepes bazīdijsporu izplatībai un dīgtspējai nozīmīgs faktors veicinošs ir nokrišņu daudzums, kā arī koksnes un augsnes mitrums (Korhonen, Stenlid, 1998; Redfern, 1993). Paaugstināts mitrums – lietainas vasaras, kurās bieži ir migla, tāpat kā sniega sega koku vainagos ziemā, var veicināt *Gremmeniella abietina* (Lagerberg) attīstību (Hellgren, Barklund, 1992; Lonsdale, Gibbs, 1996).

Patogēnu izplatību ietekmē arī cilvēka saimnieciskā darbība, bet izdzīvošanas spējas nosaka abiotiskie apstākļi. Piemēram, pagājušā gadsimta beigās uzskatīja, ka *Heterobasidion irregulare* Garbel. & Otrosina izplatības areāls aptver Ziemeļamerikas *Pinus* sp. audzes, tomēr 2002. gadā *H. irregulare* tika atrasts Itālijas centrālajā daļā *Pinus pinea* L. mežos (netālu no

Romas). Uzskata, ka *H. irregulare* invāzija Apenīnu pussalā saistāma ar II Pasaules karu, kad ieveda inficētus kokmateriālus Amerikas Savienoto Valstu karaspēka vajadzībām (Gonthier et al., 2004). Pētnieki aprēķinājuši, ka *H. irregulare* invāzijas ātrums vidēji sasniedz aptuveni 1,3 km gadā, tā izplatība galvenokārt konstatēta piekrastē. *H. irregulare* konkurē ar *H. annosum* s.s. apvidos, kur *H. annosum* s.s. attīstība ir ierobežota (Gonthier et al., 2007). 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 un mitrākam, arī Latvijā var izveidoties piemēroti apstākļi dažādu patogēno sēņu attīstībai un invāzijai.

Stresa apstākļos augi ir uzņēmīgāki pret patogēniem, kurus raksturo zemāka virulence, piemēram, *Armillaria gallica* Marxm. & Romagn. vai vēžu izraisītājiem no *Xylariaceae* (nav saimniekauga specifiska, bet biežāk konstatēta lapu kokiem (Whalley, 1985)) un *Diatrypaceae* dzimtas. Piemēram, *Acer pseudoplatanus* L. ir rezistenta pret *Cryptostroma corticale* (Ellis & Everh.) Greg. & Waller (izraisa koksnes krāsošanos un koku nokalšanu), bet, kokam augot nepiemērotos apstākļos, tas var inficēties ar šo patogēnu. Tomēr atsevišķos gadījumos stresa faktors vairāk ietekmē patogēnu, nekā koku, piemēram, Holandes gobu slimības izraisītājs (*Ophiostoma ulmi* (Buisman) Melin & Nannf.) sausākos apstākļos attīstās lēnāk (Lonsdale, Gibbs, 1996). Jāņem vērā, ka klimats ietekmē ne tikai patogēno sēņu dzīves ciklu un izplatību, bet arī kaitēkļu un mikorizas sēņu attīstību un izplatību (Lonsdale, Gibbs, 1996), tas, savukārt, var veicināt kokaugu uzņēmību pret dažādiem patogēniem.

Latvijas apstākļiem potenciāli bīstamās patogēnās sēnes

Latvijas mežos 46 % sastāda audzes, kur valdošā koku suga ir parastā priede (*Pinus sylvestris* L.) un parastā egļe (*Picea abies* (L.) Karst.) (Latvijas meža resursu statistiskā inventarizācija, 2011). Tāpēc īpaši svarīgi novērtēt klimata izmaiņu ietekmi uz patogēniem, kas sastopami skuju koku audzēs. Latvijā agrāk veiktos pētījumos konstatēts, ka stādaudzētavās liela ietekme uz parasto priedi ir *Lophodermium* spp., bet vecākās mežaudzēs bieži sastopams *Heterobasidion* spp. Gan kokaudzētavās, gan mežaudzēs bieži konstatēta arī *Armillaria* spp., *Fusarium* spp. (izraisa stādu sakņu trupi), *Melampsora pinitorqua* (Braun Rost.) (priežu-apšu rūsas izraisītājs), *Sirococcus strobilinus* Preuss (miltrasas izraisītājs), *Ascoalyx abietina* (Lagreb.) Shläpfer-Bernhard (vēža izraisītājs). Priežu skuju slimības izraisa dažādas sēnes: *Botrytus* sp. Pers., *Phacidium infestans* P. Karsten, *Gloeosporium* spp., *Lophodermium sediciosum* (Minter.) Staley & Millar, *Peridermium pini* (Pers.) Lev. (McLaughlin, Šica 1993). Savukārt egļu

audzēs celmos un augošos kokos bieži konstatēts *Heterobasidion parviporum* (Fr.) Niemelä & Korhonen, *Stereum sanguinolentum* (Alb. & Schwein.) Fr. un *Neonectria fuckeliana* (C. Booth) Castl. & Rossman (Arhipova *et al.* 2011). *Neonectria fuckeliana* šobrīd eglēm neizraisa nopietnus slimības simptomus, bet ir zināms, ka tā var darboties arī kā patogēns (Dick, Crane, 2009). Mākslīgas inficēšanas eksperiments ar vietējiem *N. fuckeliana* izolātiem Latvijā parādīja, ka šī sēne spēj izraisīt nelielas stumbra deformācijas inokulācijas vietās pieaugušām eglēm 5 gadu laikā (Hopkins, nepublicētie dati), kas liecina par tās potenciālu bīstamību. Ja klimata izmaiņu izraisīta sausuma vai karstuma dēļ egles kļūs novājinātas, tās varētu apdraudēt arī sēnes, kas līdz šim tika uzskatītas par nekaitīgām.

Projekta iepriekšējos pārskatos aprakstīts, ka Latvijā, mainoties klimatam, pakāpeniski varētu palielināties lapu koku, piemēram, *Quercus robur* L., *Fagus sylvatica* L. īpatsvars un pastāv egļu augšanu varētu kavēt lapu koku konkurences. Tāpēc, analizējot klimata izmaiņu ietekmi uz patogēnajām sēnēm, jāizvērtē arī potenciāli bīstamie lapu koku patogēni

Patogēnās sēnes, kuru izplatību ietekmē klimata izmaiņas

Patogēni, kuru izplatību tieši ietekmē klimata izmaiņas, spēj novājināt un izraisīt pat vitālu un veselu koku bojāeju. Šo patogēnu dzīves ciklu ietekmē gaisa temperatūra un mitrums. Patogēni, kurus netieši ietekmē klimata izmaiņas, spēj inficēt kokus, kuru aizsargsistēmu ir novājinājis vides, citu patogēnu vai kaitēkļu izraisītais stress, bet tie nespēj inficēt vitālus kokus. Šiem patogēniem ir raksturīgs latentais periods (iekļuvis organismā, patogēns attīstās tikai tad, kad organisms ir novājināts) (Sturrock *et al.*, 2011). Minēto patogēnu populāciju blīvums varētu palielināties kokaudzēs, kuru attīstībai jaunie klimatiskie apstākļi nav piemēroti.

Patogēnās sēnes, kuras izraisa lielus ekonomiskos zaudējumus

***Lophodermium seditiosum* – skujbire**

Lophodermium seditiosum Minter, Staley & Millar izraisa priežu brūno skujbiri, tā konstatēta gan kokaudzētavās, gan jaunos priežu stādījumos ziemeļu un centrālajā Eiropā (Jansons *et al.*, 2008; Ortiz-García *et al.*, 2003). *Lophodermium seditiosum* attīstību un izplatību stādaudzētavās veicina pārlietu liels mitrums un nepiemērots laistīšanas režīms. Auglķermeņu sporulācijai optimālais nokrišņu daudzums dienā ir 8-10 mm, bet temperatūra 15-20 °C (Lazarev *et al.*, 2007). Ņemot vērā, ka boreālajā reģionā prognozēts gan temperatūras, gan nokrišņu daudzuma pieaugums (Lindner *et al.*, 2010), visticamākais, ka klimata izmaiņas varētu veicināt slimības izplatību. Igaunijā pētījumos konstatētas gandrīz regulāras skujbires epidēmijas:

atsevišķos gadījumos pat tik biežas, ka viena gada epidēmija ir grūti nodalāma no nākamā gada epidēmijas (Hanso, Drenkhan, 2007).

Heterobasidion – sakņu trupe

Aprēķināts, ka koksnes vērtības samazināšanās dēļ radītie zaudējumi, ko izraisa *H. annosum s.l.*, Latvijā egļu audzēs ar koksnes krāju 100-400 m³ ha⁻¹, ir 800 līdz 4790 EUR ha⁻¹ (Gaitnieks et al., 2008). *H. annosum s.l.* micēlija augšanai optimālie apstākļi ir 22-28 °C temperatūra (Korhonen, Stenlid, 1998). Sporu koncentrācija vidē ir augstāka siltajos gada mēnešos, kad paaugstināts gaisa mitrums (Holdenrieder, Greig, 1998). Sporu veidošanās mērenajā klimata joslā notiek no pavasara līdz rudenim (Gonthier et al., 2005; Hodges, 1969). Tā kā boreālajā reģionā, tai skaitā Latvijā, veģetācijas periods klimata izmaiņu ietekmē kļūs garāks (Lindner et al., 2010), tad arī *Heterobasidion* spp. sporulācijas periods palielināsies. Latvijā veiktie pētījumi liecina, ka 24 stundās uz 1 dm² izdalījušos sporu skaits zem *H. parviporum* augļķermeņa sastāda gandrīz 30 milj. (Kenigshalde, nepublicētie dati). Pētījumi Somijā pierādījuši, ka *H. parviporum* spēj adaptēties lokāliem vides apstākļiem (Müller et al., 2009). Sēnes augļķermeņi gandrīz beidz sporulēt, ja diennakts gaisa temperatūra samazinās līdz 4-5 °C, tomēr neliels sporu daudzums var izdalīties arī temperatūrai pazeminoties zem 0 °C novembrī – decembrī, īpaši, ja aukstuma periods neturpinās ilgi (Brūna, nepublicētie dati). Tāpēc klimata izmaiņas radīs situāciju, ka būs nepieciešams gandrīz visu gadu veikt skuju koku celmu apstrādi ar *Phlebiopsis gigantea*, lai novērstu zaudējumus šajā un nākošajā koku ģenerācijā (Holdenrieder, Greig, 1998).

Armillaria – sakņu trupe

Armillaria solidipes Peck. un *Armillaria mellea* (Vahl) P.Kumm. raksturoti kā izteikti nekrotrofi. *Armillaria solidipes* saimniekaugi ir gan skuju koki, gan lapu koki. *Armillaria solidipes* Ziemeļu puslodē tas ir izplatītākais skuju koku patogēns no *Armillaria* spp. sugu kompleksa (Lygis, 2005; Redfern, Gregory, 1991; Roll-Hansen, 1985). *Armillaria* spp. izplatību Latvijas apstākļos pozitīvi varētu ietekmēt temperatūras paaugstināšanās, jo rizomorfu attīstībai (iesala-agara barotnē) optimāli ir 22 °C. *Armillaria* attīstību ietekmē arī augsnes pH, aerācija un citu sēņu konkurence, bet mitrums parasti nav limitējošais faktors (Shaw, Kile, 1991). Tiek uzskatīts, ka, klimatam kļūstot siltākam, arī tās *Armillaria* spp. sugas, kas raksturotas kā vāji patogēni, tiks konstatētas biežāk, jo koku rezistences mehānismus novājinās temperatūras un kaitēkļu izraisītais stress. Tomēr atsevišķos pētījumos uzsvērts, ka stresa inducētie sekundārie metabolīti, kas akumulējas saknēs, var inhibēt *Armillaria* spp. attīstību (Dukes et al., 2009; Fox, 2000). Tātad Latvijas skuju un lapu koku audzēs aizvien biežāk būs iespējama inficēšanās ar

Armillaria spp., jo augstāka gaisa un augsnes temperatūra veicinās rizomorfu attīstību, palielinās sporulācijas periodu kā arī novājinās skuju kokus (Dukes et al., 2009).

Patogēnās sēnes, kuras potenciāli varētu izraisīt lielus ekonomiskos zaudējumus

***Gremmeniella abietina* – dzinumu vēzis**

Gremmeniella abietina (Lagerberg) Morelet izraisa dzinumu vēzi skuju kokiem, galvenokārt priedēm. Notiek skuju atmiršana, kas izraisa radiālā un augstuma pieauguma samazināšanos vai koku bojāeju. Sēnes attīstībai piemērotas vēsas, nokrišņiem bagātas vasaras, jo auglķermeņu sporulēšanu veicina nokrišņi (Annala et al., 2006). Piemēram, Zviedrijā 1987. gada vasara bija vēsākā pēdējo 100 gadu laikā, arī rudenī gaisa temperatūra saglabājās neraksturīgi zema, kas veicināja *G. abietina* attīstību *Pinus contorta* Dougl. audzēs (Karlman, 2001). Tomēr postošākā slimības epidēmija tika novērota 2001.-2003. gadā, kad infekcija tika konstatēta aptuveni 484 000 ha vidēja vecuma *P. sylvestris* audzēs (Wulff et al., 2006). Tas nozīmē, ka ekstrēmi klimatiskie apstākļi ar lielu nokrišņu daudzumu pozitīvi ietekmēs infekcijas attīstību nākotnē.

***Phytophthora* – sakņu trupe**

Ģints nosaukums grieķu valodā nozīmē „augu iznīcinātājs”. Saskaņā ar pēdējo gadu pētījumiem šo patogēnu vairs neiedala sēņu valstī, bet gan sēnēm līdzīgu oomicētu grupā, kas tagad kopā ar dažām mikroskopiskajām aļģēm veido atsevišķu valsti - *Chromalveolata*. *Phytophthora* sakņu trupe konstatēta vairāk kā 1000 dažādiem saimniekaugiem un ir plaši izplatīta mērenajos un tropiskajos klimata apgabalos. *Phytophthora* izraisa sakņu vēzi, koku nokalšanu. Patogēna attīstību ietekmē temperatūra, augsnes pH un mitrums. Centrāleiropā, paaugstinoties gaisa temperatūrai, arvien biežāk novērota kokaugu inficēšanās ar *Phytophthora* (1. un 2.att.). To veicina ziemas temperatūru paaugstināšanās un nokrišņu daudzuma palielināšanās. Klimata izmaiņu ietekmē mežaudzēs, kur valdošā koka suga ir bērzs, ozols, alksnis, kļava, priede, iespējama šīs sugas ekspansīva izplatība. Vācijā tika konstatēta pastiprināta bērzu kalšana, kad ekstrēmi mitrajam 2002. gadam sekoja ekstrēmi sausais 2003. gads. Kalšanu galvenokārt izraisīja *Ph. citricola* Sawada, un *Ph. cambivora* (Petri) Buisman. Abi patogēni konstatēti daudzām lapu koku sugām Eiropā. Tā kā šo patogēnu dabiskais izplatības areāls ir Taivāna un Austrālija, kokaugiem, kuru izplatības pamatareāls ir Eiropa, nav attīstījušies rezistences mehānismi pret šīm slimībām (Jung, 2009; Sturrock et al., 2011). Līdzīgi arī *Ph. ramorum* Werres & Man līdz 2003. gadam tika novērota tikai stādaudzētavās, bet pēc 2003. gada infekcija izplatījies mežā un inficējusi vairāk nekā 20 dažādas koku sugas Lielbritānijā un

Nīderlandē. Šīs sugas attīstībai vispiemērotākā gaisa temperatūra ir no 18 °C līdz 22 °C, bet izplatību un izdzīvošanu limitējošais faktors ir mitrums (Sturrock et al., 2011). Tā kā tiek prognozēts, ka boreālajā reģionā klimata izmaiņu dēļ ne tikai paaugstināsies gaisa temperatūra, bet arī nokrišņu daudzums (Lindner et al., 2010), tas nodrošinās piemērotus apstākļus dažādu *Phytophthora* sugu izplatībai. Tā kā Latvija atrodas boreālā reģiona dienvidu daļā, nokrišņu daudzuma palielināšanās būs minimāla, līdz ar to Latvijas apstākļos šo patogēnu izplatībai mitrums vēl aizvien varētu būt limitējošais faktors. *Climex* modelis paredz, ka *Phytophthora* infekcijas izplatība būs straujāka Lielbritānijā un Eiropas piekrastes reģionos, bet samazināsies tropiskajos un subtropiskajos reģionos (Brasier, 1996; Sturrock et al., 2011).

***Dothistroma* sp. – sarkanā plankumainība**

Dothistroma sp. izraisītā sarkanā plankumainība ir postošs skuju koku patogēns, kas izraisa skujbiri. Lai gan līdz šim tika uzskatīts, ka mērenās joslas mežos, kur patogēns raksturojams kā autohtons, *Dothistroma* sp. izraisa nelielus ekonomiskos zaudējumus, tomēr tās izplatības areāls un kokaugu inficēšanās intensitāte Eiropā kopš 1990. gada dramatiski pieaugusi. Daži autori to skaidro ar nokrišņu daudzuma palielināšanos veģetācijas periodā (Sturrock et al., 2011; Woods et al., 2005). *Dothistroma* sp. konīdijsporu attīstība notiek jau pie +5 °C, bet maksimumu sasniedz 12-20 °C. Saimniekorganismi galvenokārt ir *Pinus* ģints koki (Sturrock et al., 2011). Arī Baltijas valstīs šis patogēns ir konstatēts priežu audzēs (Markovskaja, Treigiene, 2009). Noskaidrots, ka pastāv pozitīva korelācija starp *Dothistroma* sp. izplatību un nokrišņu daudzumu pavasarī un vasarā, kā arī temperatūras pieaugumu vasaras beigās (Sturrock et al., 2011). Pētījumos Kanādā konstatēts, ka temperatūra būtiski neietekmē *Dothistroma* sp. izplatību, bet noteicošais ir nokrišņu daudzums. Nokrišņu daudzuma palielināšanās vasaras sezonā pozitīvi korelē ar *Dothistroma* sp. izplatību (Woods et al., 2005), tas nozīmē, ka arī Latvijā, pieaugot nokrišņu daudzumam, iespējama *Dothistroma* sp. epidēmija priežu audzēs.

Sastopami arī patogēni, kuru izplatība saistīta ar novājinātu koku īpatsvara pieaugumu, piemēram, *Stereum sanguinolentum*, daļa *Armillaria* spp. sugu, lielākā daļa vēžu izraisītāju no ģintīm *Biscogniauxia*, *Botryosphaeria*, *Diplodia*, *Septoria*, *Nectria* (Sturrock et al., 2011). *Stereum sanguinolentum* izraisa stumbra trupi. Sēne izplatās ar bazīdijsporām. Bazīdijsporas dīgst un attīstās brūču vietās, piemēram, briežveidīgo dzīvnieku barošanās izraisītu mizas bojājumu vietās. Izplatības ātrums koksņē var sasniegt pat 42 cm gadā (Vasiliauskas, Stenlid, 1998). *S. sanguinolentum* attīstību varētu veicināt klimata izmaiņas, it īpaši nepietiekams ūdens daudzums, kas ietekmētu koka fizioloģiskos procesus un tādējādi veicinātu inficēšanos (Čermák et al., 2004b).

Jāņem vērā, ka patogēnu ekonomisko ietekmi ir ļoti grūti novērtēt, jo nereti zaudējumi tiek aprēķināti tikai nozīmīgākajiem patogēniem, vai arī netiek aprēķināti sekundārie zaudējumi. Turklāt dažas patogēnas sēnes var nodrošinot labvēlīgus apstākļus citiem patogēniem un kaitēkļiem (Ayres, Lombardero, 2000). Piemēram, Ziemeļamerikas pētnieki uzsver, ka, paaugstinoties gaisa temperatūrai, var palielināties askusēņu *Neonectria* spp. īpatsvars bērzu audzēs. Savukārt šīs sēnes nodrošina labvēlīgus apstākļus *Cryptococcus fagisuga* Lind. attīstībai – to kāpuri barojas ar bērzu koksni (Dukes et al., 2009).

Secinājumi

Prognozēto klimata izmaiņu ietekmē Latvijā var palielināties līdz šim konstatēto, nopietnus ekonomiskos zaudējumus izraisošo patogēno sēņu populācijas (*Lophodermium* spp., *Armillaria* spp., *Heterobasidion* spp.).

Klimatam kļūstot siltākam un mitrākam, Latvijas mežaudzēs iespējamās līdz šim neraksturīgu patogēno sēņu epidēmijas, piemēram, *Dothistroma* sp., *Phytophthora* sp.

Rekomendācijas

- Galotņu vēzis, skujbire: nākotnē pastiprināsies – kokaudzētavās meklēt efektīvākas ierobežošanas metodes, lai mērķtiecīgāk veiktu profilaktiskos pasākumus;
- Celmene – ietekmē kokus, ja ir stress – izraisa sakņu trupi, profilakse – „uzturēt labā formā mežus” – audzes kopt, uzturēt meliorācijas sistēmas kārtībā;
- *Heterobasidion*:
 - jaunaudžu kopšanu egļu audzēs (ja egle ir valdošā suga) veikt ziemas mēnešos, ja nocirsto koku celma caurmērs ir lielāks par 4 cm;
 - krājas kopšanas cirtēs – turpināt lietot bioloģiskos augu aizsardzības līdzekļus (ROTSTOP);
 - kailcirtēs – lietot bioloģiskos augu aizsardzības līdzekļus;
 - pielietot atjaunošanas vadlīnijās ieteikto prasību – koku sugu maiņa, ja vairāk par 20% no skuju kokiem ir ar trupi;
- *Dothistroma* sp., *Phytophthora* sp. – monitorēt situāciju, iekļaut šīs sugas kāda valsts monitoringa programmā, pārrunāt šo iespēju ar VAAD.

Izmantotā literatūra

- Aasa A. (2005). Changes in phenological time series in Estonia and central and eastern Europe 1951–1998: Relationships with air temperature and atmospheric circulation. Doctoral thesis, Tartu University Press, Tartu, Estonia, 130 p.
- Adams H.D., Guardiola-Claramonte M., Barron-Gafford G.A., Villegas J.C., Breshears D.D., Zou C.B., Troch P.A., Huxman T.E. (2009). Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 7063–7066.
- Allard G.B., Fortuna S., See L.S., Novotny J., Baldini A., Courtinho T. (2003). Global information on outbreaks and impact of major forest insect pests and diseases. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/1019-B3.HTM>
- Alvarez-Uria P., Körner C. (2007). Low temperature limits of root growth in deciduous and evergreen temperate tree species. *Functional Ecology*, 21: 211–218.
- Andreu L., Guitierrez E., Macias M., Ribas M., Bosch O., Camarero J.J. (2007). Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests. *Global Change Biology*, 13: 804–815.
- Annala E. (1977). Seasonal flight patterns of spruce bark beetles. *Annales Entomologica Fennica*, 43: 31–35.
- Annala E., Kytö M., Lilja A., Lija S., Kurkeela T., Juntinen M.L., Poteri M., Rikala R., Uotila A. (2006). Kaitēklī un slimības kokaudzētavās: rokasgrāmata. AS „Latvijas valsts meži”. 128 lpp.
- Aphalo P.J., Lahti M., Lehto T., Repo T., Rummukainen A., Mannerkoski H., Finér L. (2006). Responses of silver birch saplings to low soil temperature. *Silva Fennica*, 40(3): 429–442.
- Aronson E.L., McNulty S.G. (2009). Appropriate experimental ecosystem warming methods by ecosystem, objective, and practicality. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(11): 1791–1799.
- Arthofer W. (2005). Mitochondrial and nuclear markers for analyzing the phylogeography of *Pityogenes chalcographus* (Coleoptera, Scolytidae): development, applications and pitfalls. Dissertation. Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Department für Wald- und Bodenwissenschaften. 133 p.

- 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.
- Augustaitis A., Augustaitiene, I., Mozgeris G., Juknys R., Vitas A., Jasinevičiene D. (2014). Growth patterns of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under the current regional pollution load in Lithuania. iForest. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: <http://www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor1267-007>.
- 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.
- Barbaroux C., Bréda N. (2002). Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse porous beech trees. Tree Physiology, 22: 1201–1210.
- Barber V.A., Juday G.P., Finney B.P. (2000). Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. Nature, 405: 668–673.
- Barbosa P., Letourneau D.K., Agrawal A.A. (2012). Insect outbreaks revisited. Blackwell Publishing Ltd. 459 p.
- Barbour D.A. (1988). The pine looper in Britain and Europe. – Berryman A.A. (ed.). Dynamics of Forest Insect Populations. Plenum Press, New York, 291–308.
- Barnes J.D., Pfirrmann T., Steiner K., Lütz C., Busch U., Küchenhoff H., Payer H.D. (1995). Effects of elevated CO₂, elevated O₃ and potassium deficiency on Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]: seasonal changes in photosynthesis and non-structural carbohydrate content. Plant Cell and Environment, 18: 1345–1357.
- 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.
- Bergh J., Linder S. (1999). Effects of soil warming during spring on photosynthetic recovery in boreal Norway spruce stands. Global Change Biology, 5: 245–253.
- Bernier P.Y., Lamhamedi M.S., Simpson D. (1995). Shoot: Root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. Tree Planter's Notes, 46: 102–106.
- Berry J.A., Downton W.J.S. (2012). Environmental regulation of photosynthesis. –Govindjee (ed.) Photosynthesis: development, carbon metabolism and plant productivity. Amsterdam, Elsevier, Vol. 2, 265–345.

- Beven K., Germann P. (1982). Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*, 18: 1311-1325.
- Biondi F., Waikul K. (2004). DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree ring chronologies. *Computers and Geosciences*, 30: 303–311.
- Bjorkman C., Bylund H., Klapwijk M.J., Kollberg I., Schroeder M. (2011). Insect pests in future forests: more severe problems? *Forests*, 2: 474–485.
- Bolte A., Czajkowski T., Kompa T. (2007). The north-eastern distribution range of European beech – a review. *Forestry*, 80: 413–429.
- Borkowski A. (2006). Spatial distribution of losses in growth of trees caused by the feeding of pine shoot beetles *Tomicus piniperda* and *T. minor* (Col., Scolytidae) in Scots pine stands growing within range of the influence of a timber yard in southern Poland. *Journal of Forest Science*, 52: 130–135.
- Borkowski A., Podlaski R. (2011). Statistical evaluation of *Ips typographus* population density: a useful tool in protected areas and conservation-oriented forestry. *Biodiversity and Conservation*, 20: 2933–2951.
- Bottero A., Garbarino M., Long J.N., Motta R. (2013). The interacting ecological effects of large-scale disturbances and salvage logging on Montane spruce forest regeneration in the western European Alps. *Forest Ecology and Management*, 292: 19–28.
- Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C. (2013). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. John Wiley & Sons. 746 p.
- Brasier C.M. (1996). *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Annales des Sciences Forestières*, 53: 347–358.
- Brookes M.H., Stark R.W., Campbell R.W. (1978). *The Douglas-fir tussock moth: a synthesis*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington. 321 p.
- Bunn A.G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26: 115–124.
- Carter D.J. (1984). *Pest Lepidoptera of Europe: with special reference to the British Isles*. Dr. W. Junk Publishers. 437 p.
- Cedervind J., Pettersson M., Långström B. (2003). Attack dynamics of the pine shoot beetle, *Tomicus piniperda* (Col.; Scolytinae) in Scots pine stands defoliated by *Bupalus piniaria* (Lep.; Geometridae). *Agricultural and Forest Entomology*, 5: 253–261.
- Čermák P., Jankovský L., Cudlin P. (2004a). 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.
- Čermák P., Jankovský L., Glogar J. (2004b). Progress of spreading *Stereum sanguinolentum* (Alb. et Schw.: Fr.) Fr. wound rot and its impact on the stability of spruce stands. *Journal of Forest Science*, 50: 360–365.
- Cheraghian A. (2013). A guide for diagnosis & detection of quarantine pests. Eight-toothed spruce bark beetle *Ips typographus* (Linnaeus, 1758), Coleoptera: Scolytidae. Plant Protection Organization, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Islamic Republic of Iran. 11 p.
- Christensen J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen, A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W.-T., Laprise R., Rueda V.M., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A., Whetton P. (2007). Regional climate projections. – Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., 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 University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, NY, USA, 847–940.
- Colombari F., Battisti A., Schroeder L.M., Faccoli M. (2012). Life-history traits promoting outbreaks of the pine bark beetle *Ips acuminatus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in the south-eastern Alps. *European Journal of Forest Research*, 131: 553–561.
- Colombari F., Schroeder M.L., Battisti A., Faccoli M. (2013). Spatio-temporal dynamics of an *Ips acuminatus* outbreak and implications for management. *Agricultural and Forest Entomology*, 15: 34–42.
- Cook E.R. (1985). A time series analysis approach to tree ring standardization. Academic dissertation, Tucson, University of Arizona. 187 p.
- Dale V.H., Joyce L.A., McNulty S., Neilson R.P., Ayres M.P., Flannigan M.D., Hanson P.J., Irland L.C., Lugo A.E., Peterson C.J., Simberloff D., Swanson F.J., Stocks B.J., Wotton B.M. (2001). Climate change and forest disturbances. *BioScience*, 51: 723–734.
- Essiamah S., Eschrich W. (1985). Changes of starch in the storage tissues of deciduous trees during winter and spring. *IAWA Journal*, 6: 97–106.
- Dang Q.-L., Cheng S. (2004). Effects of soil temperature on ecophysiological traits in seedlings of four boreal tree species. *Forest Ecology and Management*, 194(1-3): 379–387.
- Davidson C.B., Gottschalk K.W., Johnson J.E. (2001). European gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) outbreaks: a review of the literature. USDA, Forest Service, General Technical Report NE-278. 19 p.

- De Somviele B., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Niemelä P., (2004). Sawfly (Hym., Diprionidae) outbreaks on Scots pine: effect of stand structure, site quality and relative tree position on defoliation intensity. *Forest Ecology and Management*, 194: 305–317.
- Dick M.A., Crane P.E. (2009). *Neonectria fuckeliana* is pathogenic to *Pinus radiata* in New Zealand. *Australasian Plant Disease Notes*, 4: 12–14.
- 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. (2011). Latvijas meža resursu ilgtspējīgas, ekonomiski pamatotas izmantošanas un prognozēšanas modeļu izstrāde. Meža attīstības fonds, LVMI Silava, Salaspils. 146 lpp.
- 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.
- 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., Lerdau 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.
- Dzuteski B. (1960). Occurrence of, and control measures against, *Euproctis chrysorrhoea* in Macedonia in the post-war period. *Zastita Bilja*, 57/58: 239–244.
- EFI – European Forest Institute databases. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: <http://dataservices.efi.int/dfde/>
- EFIATLANTIC database Forest pests and diseases. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: http://www.efiatlantic.efi.int/portal/databases/pests_and_diseases/.
- Elferts D. (2007). Scots pine pointer-years in north western Latvia and their relationship with climatic factors. *Acta Universitatis Latviensis*, 723: 163–170.
- Elferts D., Dauškane I., Ūsele G., Treimane A. (2011). Effect of water level and climatic factors on the radial growth of black alder. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*, 65: 164–169.

- Ellenberg H.H. (1988). Vegetation ecology of Central Europe. Cambridge University press, London, 731 pp.
- EPPO – European and Mediterranean Plant Protection Organization databases. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: <https://www.eppo.int/DATABASES/databases.htm>
- EUFORGEN 2009. Distribution maps. [skatīts 2014.gada 1.novārī] Pieejams: http://www.euforgen.org/distribution_maps.html.
- FED – Fauna Europaea Database. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: <http://www.faunaeur.org/index.php>
- Foit J. (2012). Felling date affects the occurrence of *Pityogenes chalcographus* on Scots pine logging residues. Agricultural and Forest Entomology, 14: 383–388.
- Fox R.T.V. (2000). Pathogenicity. –Fox R.T.V. (ed.). *Armillaria* root rot: biology and control of honey fungus. Intercept Ltd., Andover, UK, 113–138.
- Frago E., Guara M., Pujade-Villar J., Selfa J. (2010). Winter feeding leads to a shifted phenology in the browntail moth *Euproctis chrysorrhoea* on the evergreen strawberry tree *Arbutus unedo*. Agricultural and Forest Entomology, 12: 381–388.
- Fritts H.C. (2001). Tree rings and climate. Blackburn Press, Caldwell, New Jersey. 567 p.
- Gaitnieks T., Arhipova N., Donis J., Stenlid J., Vasaitis R. (2008). Butt rot incidence and related losses in Latvian *Picea abies* (L.) Karst. stands. – Garbelotto M., Gonthier P. (eds.). Proceedings of the 12th International Conference on Root and Butt Rots of Forest Trees, IUFRO Working Party 7.02.01., Barkeley, California – Medford, Oregon, August 12-19, The University of California, Berkeley, USA, 177–179.
- Gavrilović Bo., Gavrilović Br., Ćurčić S., Stojanović D., Savić D. (2014). Leaf beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) of Mt. Fruška Gora (Vojvodina province, Northern Serbia), with an overview of host plants. Izvorni znanstveni članci – Original scientific papers; Šumarski list, 1-2: 29–41.
- Gedminas A. (2003). Outbreaks of pine defoliating insects and radial growth. – Kamata N., Liebhold A.M., Quiring D.T., Clancy K.M. (eds.). Proceedings: International Symposium of IUFRO „Forest Insect Population Dynamics and Host Influences”, September 14-19, Kanazawa, Japan, 100–102.
- GISD – Global Invasive Species Database. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: <http://www.issg.org/database/welcome/>
- Gonthier P., Garbelotto M.M., Nicolotti G. (2005). Seasonal patterns of spore deposition of *Heterobasidion* species in four forests of the western Alps. Phytopathology, 95: 759–767.

- Gonthier P., Nicolotti G., Linzer R., Guglielmo F., Garbelotto M. (2007). Invasion of European pine stands by a North American forest pathogen and its hybridization with a native interfertile taxon. *Molecular Ecology*, 16: 1389–1400.
- Gonthier P., Warner R., Nicolotti G., Mazzaglia A., Garbelotto M.M. (2004). Pathogen introduction as a collateral effect of military activity. *Mycological Research*, 108: 468–470.
- Greene D.F., Jones K.F., Proulx O.J. (2007). *The effect of icing events on the death and regeneration of North American trees*. Johnson E.A., Miyanishi K. (eds). *Plant Disturbance Ecology: The Process and Response*. Elsevier, Academic Press, 181–214.
- Grissino-Mayer H.D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57: 205–221.
- 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.
- Groffman P.M., Pamela H., Campbell J.L., Christenson L.M. (2012). Long-Term integrated studies show complex and surprising effects of climate change in the northern hardwood forest. *BioScience*, 62(12): 1056–1066.
- Grossnickle S.C., Blake T.J. (1987). Water relation patterns of bare-root and container jack pine and black spruce seedlings planted on boreal cut-over sites. *New Forests*, 1: 101–116.
- Haldimann P., Feller U. (2004). Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves grown under natural conditions closely correlates with a reversible heatdependent reduction of the activation state of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. *Plant Cell and Environment*, 27: 1169–1183.
- Hänninen H. (2006). Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits. *Tree Physiology*, 26: 889–898.
- Hansen L.W., Ravn H.P., Geldmann J. (2005). Within- and between-stand distribution of attacks by pine weevil [*Hylobius abietis* (L.)]. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20: 122–129.
- Hanso M., Drenkhan R. (2007). Retrospective analysis of *Lophodermium seditiosum* epidemics in Estonia. *Acta Silvatica Lignaria Hungarica*, Special Edition, 31–45.
- Hardy J.P., Groffman P.M., Fitzhugen R.D., Henry K.S., Welman A.T., Demers J.D., Fahey T.J., Driscoll C.T., Tierney G.L., Nolan S. (2001). Snow depth manipulation and its influence on soil frost and water dynamics in a northern hardwood forest. *Biogeochemistry*, 56: 151–174.

- Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34: 623–642.
- Haynes K.J., Allstadt A.J., Klimetzek D. (2014). Forest defoliator outbreaks under climate change: effects on the frequency and severity of outbreaks of five pine insect pests. *Global Change Biology*, 20: 2004–2018.
- Heeley T., Alfaro R.I., Humble L., Strong W. (2003). Distribution and life cycle of *Rhyacionia buoliana* (Lepidoptera: Tortricidae) in the interior of British Columbia. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 100: 19–25.
- Hellgren M., Barklund P. (1992). Studies of the life cycle of *Gremmeniella abietina* on Scots pine in southern Sweden. *European Journal of Forest Pathology*, 22: 300–311.
- Herard F., Mercadier G. (1996). Natural enemies of *Tomicus piniperda* and *Ips acuminatus* (Col., Scolytidae) on *Pinus sylvestris* near Orléans, France: Temporal occurrence and relative abundance, and notes on eight predatory species. *Entomophaga*, 41: 183–210.
- 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.
- Hicks B.J., Leather S.R., Watt A.D. (2008). Changing dynamics of the pine beauty moth (*Panolis flammea*) in Britain: the loss of enemy free space? *Agricultural and Forest Entomology*, 10: 263–271.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965–1978.
- Hodges C.S. (1969). Modes of infection and spread of *Fomes annosus*. *Annual Review of Phytopathology*, 7: 247–266.
- Holdenrieder O., Greig B.J.W. (1998). Biological methods of control. –Woodward S., Stenlid J., Karjalainen R., Hüttermann A. (eds.). *Heterobasidion annosum*: biology, ecology, impact and control. CAB International, Wallingford, UK, 235–258.
- Hrašovec B., Pernek M., Matošević D. (2008). Spruce, fir and pine bark beetle outbreak development and gypsy moth situation in Croatia in 2007. *Forstschutz Aktuell*, 44: 12–13.
- Humble L.M., Allen E.A. (2006). Forest biosecurity: alien invasive species and vectored organisms. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 28: S256–S269.

- Hytteborn H., Maslov A.A., Nazimova D.I., Rysin L.P. (2005). Boreal Forests of Eurasia, in: Andersson F. (Ed.), Coniferous forests, ecosystems of the world, sixth ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 23–99.
- Ikonen A. (2001). Leaf beetle feeding patterns on and variable plant quality in Betulaceous and Salicaceous hosts. Doctoral dissertation. University of Joensuu. 154 p.
- Ilyinykh A.V., Kurenshchikov D.K., Baburin A.A., Imranova E.L. (2011). Factors influencing the duration of gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) population outbreaks. Russian Journal of Ecology, 42: 236–240.
- Imrei Z., Tóth M. (2002). European common cockchafer (*Melolontha melolontha* L.): preliminary results of attraction to green leaf odours. Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae, 48: 151–155.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core writing team supervised by Pachauri R.K. and Reisinger A.). IPCC, Geneva, Switzerland. 103 p.
- Jansons Ā. (2010). Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām. Starpatskaite, LVMI Silava. 133 lpp.
- Jansons Ā. (2011). Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām. Starpatskaite, LVMI, Silava. 106 lpp.
- Jansons Ā., Baumanis I. (2005). Growth dynamics of Scots pine geographical provenances in Latvia. Baltic Forestry, 11: 29–37.
- Jansons Ā., Neimane U., Baumanis I. (2008). Parastās priedes skujbīres rezistence un tās paaugstināšanas iespējas. Mežzinātne, 18: 3–18.
- 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 south-western part of Latvia. Silva Fennica, 48: 13 p.
- Jarvis P., Linder S. (2000). Botany: Constraints to growth of boreal forests. Nature, 405: 904–905.
- Jatcel H., Kleinhentz M. (1997). Intensive silvicultural practices increase the risk of infestation by *Dioryctria sylvestrella* Ratz (Lepidoptera: Pyralidae), the Maritime pine stem borer. – Grégoire J.C., Liebhold A.M., Stephen F.M., Day K.R., Salom S.M. (eds.). Proceedings: Integrating cultural tactics into the management of bark beetle and reforestation pests. USDA Forest Service General Technical Report NE-236, 177–190.

- Johnson D.M., Liebhold A.M., Bjørnstad O.N., Mcmanus M.L. (2005). Circumpolar variation in periodicity and synchrony among gypsy moth populations. *Journal of Animal Ecology*, 74: 882–892.
- Johnstone J.F., Henkelman J., Allen K., Helgason W., Bedard-Haughn A. (2013). Controlled soil warming powered by alternative energy for remote field sites. *PLoS ONE*, 8(12). [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0082903>.
- Jung T. (2009). Beech decline in Central Europe driven by interaction between *Phytophthora* infections and climatic extremes. *Forest Pathology*, 39: 73–94.
- Junttila O. (1986). Effect of temperature on shoot growth in northern provenances of *Pinus sylvestris* L. *Tree Physiology*, 1: 185–192.
- Jurc M., Bojović S. (2004). Bark beetle outbreaks during the last decade with special regard to the eight-toothed bark beetle (*Ips amitinus* Eichh.) outbreak in the Alpine region of Slovenia. – Csóka G., Hirka A., Koltay A. (eds.). *Biotic damage in forests: Proceedings of the IUFRO Symposium (WP 7. 03. 10 “Methodolgy of forest pest and disease survey in Central Europe”)*, September 12–16, Mátrafüred, Hungary, 85–95.
- Jury W.A., Horton R. (2004). *Soil Physics*, 6th Edition. John Wiley and Sons, New York. 384 p.
- Kalberer S.R., Arora R., Leyva-Estrada N., Krebs S.L. (2007). Cold hardiness of floral buds of deciduous azaleas: dehardening, rehardening, and endodormancy in late winter. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132: 73–79.
- Karlman M. (2001). Risks associated with the introduction of *Pinus contorta* in northern Sweden with respect to pathogens. *Forest Ecology and Managment*, 141: 97–105.
- Kellomäki S., Maajärvi M., Strandman H., Kilpeläinen A., Peltola H. (2010). Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica*, 44(2): 213–233.
- Khomik M., Arain M.A., Brodeur J.J., Peichl M., Restrepo-Coupé N., McLaren J.D. (2010). Relative contributions of soil, foliar, and woody tissue respiration to total ecosystem respiration in four pine forests of different ages. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 115(G3): 1–17.
- Kļaviņš M., Briede A. (2008). Latvijas klimats un tā 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*, 75.–100.; 105.–111. lpp.

- Kolář T., Rybníček M., Tegel W. (2012). Dendrochronological evidence of cockchafer (*Melolontha sp.*) outbreaks in subfossil tree-trunks from Tovačov (CZ Moravia). *Dendrochronologia*, 31: 29-33.
- Kolk A. (2006). Insect outbreaks in managed and unmanaged forests. Forest Research Institute, Warsaw. 113 p.
- Kolk A., Burzynski J., Rodziewicz A. (1981). Rearing the European pine shoot *Rhyacionia buoliana* on synthetic substrates. *Prace Instytutu Badawczego Lesnictwa, Poland*, 584/589: 87-98.
- Kolomiets N.G., Stadnitskii G.V., Vorontsov A.I. (1972). The European pine sawfly. Distribution, biology, economic importance, natural enemies and control. Nauka Publishers, Siberian Branch, Novosibirsk. 138 p.
- Korhonen K., Stenlid J. (1998). Biology of *Heterobasidion annosum*. –Woodward S., Stenlid J., Karjalainen R., Hüttermann A. (eds.). *Heterobasidion annosum: biology, ecology, impact and control*. CAB International, Wallingford, UK, 43-70.
- Kramer P.J., Boyer J.S. (1995). Water relations of plant sand soils. Academic Press, San Diego. 495 p.
- Kukkola M., Saramäki J. (1983). Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 144: 1-55.
- 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.
- Kunca A., Dubec M., Findo S., Galko J., Gubka A., Kaštier P., Konôpka B., Leontovyč R., Longauerová V., Malová M., Nikolov C., Rell S., Vakula J., Zúbrik M. (2014a). Problémy ochrany lesa v roku 2013 a prognóza na rok 2014. – Kunca A. (ed.). *Aktuálne problémy v ochrane lesa, Zborník referátov z 23. ročníka medzinárodnej konferencie, ktorá sa konala 23. a 24. apríla 2014 v Novom Smokovci*, 8-15.
- Kunca A., Galko J., Zúbrik M. (2014b). Významné kalamity v lesoch Slovenska za posledných 50 rokov. – Kunca A. (ed.). *Aktuálne problémy v ochrane lesa, Zborník referátov z 23. ročníka medzinárodnej konferencie, ktorá sa konala 23. a 24. apríla 2014 v Novom Smokovci*, 25-31.
- Kunca A., Zúbrik M., Leontovy R., Vakula J., Konôpka B., Gubka A., Galko J., Longauerová V., Nikolov, C., Findo S., Varinsky J., Kaštier P. (2012). Major forest damaging agents in Slovakia. *Forstschutz Aktuell*, 56: 7-9.

- Lakatos F. (2006). Xylophagous and phloeophagous insects in the Hungarian coniferous forest – conflicts of forest protection and conservation. – Csóka Gy., Hirka A., Koltay A. (eds.). Biotic damage in forests, Proceedings of the IUFRO (WP 7.03.10) Symposium, September 12-16, 2004, Mátrafüred, Hungary, 114–123.
- Lambers H., Chapin III, F.S., Pons T.L. (2008). Plant Physiological Ecology. Springer New York. 591 p.
- Lang G.A., Early J.D., Arroyave N.J., Darnell R.L., Martin G.C., Stutte G.W. (1985). Dormancy: Toward a reduced universal terminology. HortScience, 20: 809–812.
- Langström B., Annala E., Hellqvist C., Varama M., Niemelä P. (2001). Tree mortality, needle biomass recovery and growth losses in Scots pine following defoliation by *Diprion pini* (L.) and subsequent attack by *Tomicus piniperda* (L.). Scandinavian Journal of Forest Research, 16: 342–353.
- Lanner R.M. (1976). Patterns of shoot development in *Pinus* and their relationship to growth potential. – Cannell M.G.R., Last F.T. (eds.). Tree Physiology and Yield Improvement. Academic press, London, 223–243.
- Latvijas meža resursu statistiskā inventarizācija (2011). Latvijas meža resursu statistiskās inventarizācijas I cikla rezultāti. [skatīts 2014.gada 29.novembrī] Pieejams: <http://www.silava.lv/24/section.aspx/View/119>
- Lazarev V., Karadžić D., Marković M., Pap P., Poljaković-Pajnik L. (2007). The most frequent *Lophodermium* spp. on Scots pine and Austrian pine and their role in the appearance of other fungi on the needles. Acta Silvatica Lignaria Hungarica, Special Edition: 53–59.
- Lazdāns D. (2009). Distribution of *Scolytus ratzeburgi* Janson, 1856 (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in the nature park „Daugavas loki”. Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis, 9: 221–224.
- Leather S.R., Day K.R., Salisbury A.N. (1999). The biology and ecology of the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae): a problem of dispersal? Bulletin of Entomological Research, 89: 3–16.
- Lebourgeois F., Rathgeber C.B.K., Ulrich E. (2010). Sensitivity of French temperate coniferous forests to climate variability and extreme events (*Abies alba*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*). Journal of Vegetation Science, 21: 364–376.
- Liepa I. (1996). Pieauguma mērīšana. LLU, Jelgava. 123 lpp.
- Lieutier F., Day K.R., Battisti A., Grégoire J.-C., Evans H.F. (2004). Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a Synthesis. Springer Publishers. 569 p.

- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer J.M., Marchetti M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 689–709.
- Lipa J.J., Kolk A. (2008). The recent situation of the gypsy moth (*Lymantria dispar*) and other Lymantriids in Poland. *EPPO Bulletin*, 25: 623–629.
- Liska J., Srutka P. (1998). Recent outbreak of the Nun moth (*Lymantria monacha* L.) in the Czech Republic. – McManus M.L., Liebhold A.M. (eds.). *Proceedings: Population dynamics, impacts, and integrated management of forest defoliating insects*. USDA Forest Service General Technical Report NE-247, 351–352.
- 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.
- Lugowoj J. (1993). New data on the biology of *Saperda carcharias* Linnaeus, 1758. Coleoptera, Cerambycidae. *Wiadomosci Entomologiczne*, 12: 306.
- Luisa M., Mauro V. (1996). Presence and diffusion of the common cockchafer (*Melolontha melolontha* L.) in the areas of Mezzocorona and San Michele a/A in Trento province. *Bulletin OILB/SROP*, 19: 15–20.
- Lupi C., Morin H., Deslauriers A., Rossi S., Houle D. (2012). Increasing nitrogen availability and soil temperature: effects on xylem phenology and anatomy of mature black spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 42(7): 1277–1288.
- Lust N., Geudens G., Nachtergale L. (2001). Aspects of biodiversity of Scots pine forests in Europe. *Silva Gandavensis*, 66: 16–39.
- Lutz H.J., Chandler R.F. (1947). *Forest Soils*. John Wiley and Sons, New York. 514 p.
- Luxmoore R.J., Hanson P.J., Beauchamp J.J., Joslin J.D. (1998). Passive nighttime warming facility for forest ecosystem research. *Tree Physiology*, 18 (8–9): 615– 623.
- Lygis V. (2005). Root rot in north-temperate forest stands: biology, management and communities of associated fungi. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 39 pp.
- Lyr H. (1996). Effect of the root temperature on growth parameters of various European tree species. *Annals of Forest Science*, 53(2-3): 317–323.
- Lyr H., Hoffmann G. (1967). *Growth rates and growth periodicity of tree roots*. *International Review of Forestry Research*, 2: 181–236.

- Maass D.I., Colgan A.N., Cochran N.L., Haag C.L., Hatch J.A. (1989). Field performance of five species in four different containers in Maine. *Northern Journal of Applied Forestry*, 6: 183–185.
- Markovskaja S., Treigienė A. (2009). New data on invasive pathogenic fungus *Dothistroma septosporum* in Lithuania. *Botanica Lithuanica*, 15: 41–45.
- Matisons R., Brūmelis G. (2012). Influence of climate on tree-ring and earlywood vessel formation in *Quercus robur* in Latvia. *Trees*, 26: 1251–1266.
- Matisons R., Elferts D., Brūmelis G. (2012). Changes in climatic signals of English oak tree-ring width and cross-section area of early wood vessels in Latvia during the period 1900–2009. *Forest Ecology and Management*, 279: 34–44.
- Mattila U., Nuutinen T. (2007). Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica*, 41: 29–43.
- Mauriņš A., Zvirgzds A. (2006). *Dendroloģija*. Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds, Rīga. 447 lpp.
- McLaughlin J.A., Šica L. (1993). Growing pine in Latvia: pathological considerations. *Latvijas Zinātņu Akadēmijas Vēstis, B daļa, Dabaszinātnes*, 7: 49–55.
- Mellander P., Bishop K., Lundmark T. (2004). The influence of soil temperature on transpiration: a plot scale manipulation in a young Scots pine stand. *Forest Ecology and Management*, 195: 15–28.
- Mellander P.E., Bergh J., Lundmark T., Bishop K. (2008). Recovery of photosynthetic capacity in Scots pine: a model analysis of forest plots with contrasting soil temperature. *European Journal of Forest Research*, 127(1): 71–79.
- Mellander P.E., Stähli M., Gustafsson D., Bishop K. (2006). Modelling the effect of low soil temperatures on transpiration by Scots pine. *Hydrological Processes*, 20(9): 1929–1944.
- Menenti M., Bastiaanssen W., van Eick D., Abd el Karim M.A. (1989). Linear relationships between surface reflectance and temperature and their application to map actual evaporation of groundwater. *Advances in Space Research*, 9: 165–176.
- Menzel A. (2003). Phenological data, networks, and research: Europe. Schwartz M.D. (ed.). *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Kluwer Publishers, Dordrecht, Boston, London, 45–56.
- Menzel A., Fabian P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 397: 659.
- Meshkova V. (2006). Foliage browsing insects risk assessment using forest inventory information. IUFRO Working Party 7.03.10 Proceedings of the Workshop on

- „Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe”, September 11-14, Gmunden, Austria: 100–108.
- Milanović S., Marković N. (2013). Gypsy moth in Serbia – status and prospects. Conference paper. [skatīts 2014.gada 29.novembrī] Pieejams: http://bfw.ac.at/cms_stamm/400/PDF/expertmeeting2013/Milanovic_Gypsy_moth_Serbia.pdf
- Möller K. (2014). Forest protection changes – Current forest protection problems in Brandenburg. Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde. [skatīts 2014.gada 20.novembrī] Pieejams: - <http://www.conference-eberswalde.eu/program-konferencji/10-moellerk.pdf>
- Monteith J.L. (1965). Evaporation and environment. Symposia of the Society for Experimental Biology, 19: 205–234.
- Moore R. (2009). Pine-tree lappet moth & *Hylobius* MSS. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/FHD2009_NorthScotland_Moore_LappetMoth.pdf/\\$FILE/FHD2009_NorthScotland_Moore_LappetMoth.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FHD2009_NorthScotland_Moore_LappetMoth.pdf/$FILE/FHD2009_NorthScotland_Moore_LappetMoth.pdf)
- Moore R. (2011). Insect pests of trees in Scotland the auld, the new and potential pests. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/fhd_scotland2011_insect_pests_\(Moore\).pdf/\\$FILE/fhd_scotland2011_insect_pests_\(Moore\).pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/fhd_scotland2011_insect_pests_(Moore).pdf/$FILE/fhd_scotland2011_insect_pests_(Moore).pdf)
- Moran M. (2003). Arguments for rejecting the sequential Bonferroni in ecological studies. *Oikos*, 100: 403–405.
- 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.
- Müller J., Bußler H., Goßner M., Rettelbach T., Duelli P. (2008). The European spruce bark beetle *Ips typographus* in a national park: from pest to keystone species. *Biodiversity and Conservation*, 17: 2979–3001.
- Müller M.M., Porta N., Ekojärvi J., Pavlov I., Morozova T., Korhonen K. (2009). Response of wood decomposition by *Heterobasidion parviporum* to temperature changes and differentiation of subpopulations according to local climate. Abstract of SNS Workshop “Network of Climate Change Risks on Forests (FoRisk)”, October 26-28, 2009, Tvärminne, Finland, p. 26.

- Myers J.H. (1998). Synchrony in outbreaks of forest Lepidoptera: a possible example of the Moran effect. *Ecology*, 79: 1111–1117.
- Natali V., Paparatti B., Canganella F. (1994). Microorganisms carried by *Xyleborus dispar* (F.) (Coleoptera, Scolytidae) females, collected on European hazel trees in the area surrounding the lake of Vico (Viterbo, central Italy). *Redia* 77: 285–295.
- Neigh C.S.R., Bolton, D.K., Diabate M., Williams J.J., Carvalhais N. (2014). An automated approach to map the history of forest disturbance from insect mortality and harvest with landsat time-series data. *Remote Sensing*, 6: 2782–2808.
- Nieukerken van E.J., Doorenweerd C., Ellis W.N., Huisman K.J., Koster J.C., Mey W., Muus T.S.T., Schreurs A. (2012). *Bucculatrix ainsliella* Murtfeldt, a new North American invader already widespread on northern red oaks (*Quercus rubra*) in Western Europe (Bucculatricidae). *Nota lepidopterologica*, 35: 135–159.
- Novak V., Temmlöva B. (1964). Outbreak of *Hylobius abietis* in Czechoslovakia, and analysis of current measures of control and protection. *Lesn. Cas Praha*, 10: 659–780.
- Oberhuber W., Stumböck M., Kofler W. (1998). Climate-tree-growth relationships of Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness. *Trees*, 13: 19–27.
- Ögren E., Nilsson T., Sundblad L.G. (1997). Relationship between respiratory depletion of sugars and loss of cold hardiness in coniferous seedlings over-wintering at raised temperatures: indications of different sensitivities of spruce and pine. *Plant, Cell and Environment*, 20: 247–253.
- 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.
- Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. (1998). Adaptation to changing environment in Scots pine populations across a latitudinal gradient. *Silva Fennica*, 32(2): 129–140.
- Oleksyn J., Zytowskiak R., Karolewski P., Reich P.B., Tjoelker M.G. (2000). Genetic and environmental control of seasonal carbohydrate dynamics in trees of diverse *Pinus sylvestris* populations. *Tree Physiology*, 20: 837–847.
- 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>

- Oltean I., Varga M., Gliga S., Florian T., Bunesco H., Bodis I., Covaci A. (2010). Monitoring *Melolontha melolontha* L. species in 2007, in the Nursery from U.P. IV Bătrâna O.S. Toplița, Harghita Forest District. Bulletin UASVM Horticulture, 67: 525–527.
- O'Malley P.E.R., Milburn J.A. (1983). Freeze-induced fluctuations in xylem sap pressure in *Acer pseudoplatanus*. Canadian Journal of Botany, 61: 3100–3106.
- Ortiz-García S., Gernandt D.S., Stone J.K., Johnston, P.R., Chapela I.H., Salas-Lizana R., Alvarez-Buylla E.R. (2003). Phylogenetics of *Lophodermium* from pine. Mycologia, 95: 846–859.
- Ozols G. (1968). Egles stumbra kaitēkļi un to ekoloģiskās grupas Latvijas PSR. Latvijas Entomologs, 21: 19–34.
- Ozols G. (1985). Priedes un egles dendrofāgie kukaiņi Latvijas mežos. Zinātne, Rīga. 207 lpp.
- Pallardy S.G. (2008). Physiology of Woody Plants (Third Edition). Elsevier, London. 454 p.
- Pallardy S.G. (2008). Physiology of Woody Plants (Third Edition). Elsevier, London. 454 p.
- Parr J.F., Bertrand A.R. (1960). Water infiltration into soils. Advances in Agronomy, 12: 311–363.
- Pasaules pārtikas un lauksaimniecības organizācija, “ET₀ Calculator” [skatīts 2014.gada 29.novembrī] Pieejams: <http://www.fao.org/nr/water/eto.html>.
- Patek K. (1998). A description of the occurrence of pine moth *Dendrolimus pini* L. larvae in the between-outbreak period in pine stands in the Tuczn Forest District. Sylwan 142: 55–65.
- Paul K.I., Polglase P.J., O'Connell A.M., Carlyle J.C., Smethurst P.J., Khanna P.K. (2002). Soil nitrogen availability predictor (SNAP): a simple model for predicting mineralisation of nitrogen in forest soils. Australian Journal of Soil Research, 40(6): 1011-1026.
- Pautasoo M., Döring T.F., Garbelotto M., Pellis L., Jeger M.J. (2012). Impacts of climate change on plant diseases – opinions and trends. European Journal of Plant Pathology, 133: 295–313.
- Pearce R.S. (1988). Extra cellular ice and cell shape in frost-stressed cereal leaves: a low-temperature scanning-electron-microscopy study. Planta, 175: 313–324.
- Pearce R.S. (2001). Plant freezing and damage. Annals of Botany, 87: 417–424.
- Pederson N., Cook E.R., Jacoby G.C., Peteet D.M., Griffin K.L. (2004). The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species. Dendrochronologia, 22: 7–29.

- Peltola H., Kelomäki S., Vaisanen H., Ikonen V.P. (1999). A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 647–66.
- Peterjohn W.T., Melillo J.M., Bowles F.P., Steudler P.A. (1993). Soil warming and trace gas fluxes: experimental design and preliminary flux results. *Oecologia*, 93: 18–24.
- Port G.R., Thompson J.R. (1980). Outbreaks of insect herbivores on plants along motorways in the United Kingdom. *Journal of Applied Ecology*, 17: 649–656.
- Pronin D., Vaughan C.L. (1968). A literature survey of *Populus* species with emphasis on *P. tremuloides*. USDA Forest Service Research note. 68 p.
- 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.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Piepjams: <http://www.R-project.org/>.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>
- Redfern D.B. (1993). The effect of wood moisture on infection of Sitka spruce stumps by basidiospores of *Heterobasidion annosum*. *European Journal of Forest Pathology*, 23: 218–235.
- Redfern D.B., Gregory M. F. (1991). Inoculum and infection. – Shaw C.G., III, Kile G.A. (eds.). *Armillaria* root disease. United States Department of Agriculture, Forest Service, Agricultural Handbook No.691, 48–62.
- Reiner P. (1998). *Phymatodes testaceus* Der Veranderliche Scheibenbock. *Praktische Schaedlingsbekaempfer*, 504: 15–16.
- Repo T., Sirkiä S., Heinonen J., Lavign   A., Roitto M., Koljonen E., Sutinen S., Fin  r L. (2014). Effects of frozen soil on growth and longevity of fine roots of Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 313: 112–122.
- Repo T., Zhang G., Ryypp   A., Rikala R., Vuorinen M. (2000). The relation between growth cessation and frost hardiness in Scots pine of different origins. *Trees*, 14: 456–464.
- 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. - Research for Rural Development: international scientific conference proceedings, Latvia University of Agriculture, Jelgava, 57–62.

- Ripa A., Pētersons E. (1968). Kopsim un saglabāsim pilsētu kokaugu stādījumus. Dārzs un Drava, 10/11: 20–22; 19–21.
- Robertson G.P., Coleman D.C., Bledsoe C.S., Sollins P. (1999). Standard soil methods for long-term ecological research. Oxford University Press. 466 p.
- Robitaille G., Boutin, R., Lachance D. (1995). Effects of soil freezing stress on sap flow and sugar content of mature sugar maples (*Acer saccharum*). Canadian Journal of Forest Research, 25: 577–587.
- Roga A. (1979). Meža ugunsgrēku veidi, to dzēšanas paņēmieni un taktika. Apskats. LatZTIZPI, Rīga. 58 lpp.
- Roll-Hansen F. (1985). The *Armillaria* species in Europe. European Journal of Forest Pathology, 15: 22–31.
- Roques A., Auger-Rozenberg M.A., Boivin S. (2006). A lack of native congeners may limit colonization of introduced conifers by indigenous insects in Europe. Canadian Journal of Forest Research, 36: 299–313.
- Ryan M.G. (2013). Three decades of research at Flakaliden advancing whole-tree physiology, forest ecosystem and global change research. Tree Physiology, 33: 1123–1131.
- Salminen H., Jalkanen R. (2005). Modelling the effect of temperature on height increment of Scots pine at high latitudes. Silva Fennica, 39: 497–508.
- Santini A., Ghelardini L., De Pace C., Desprez-Loustau M.L., Capretti P., Chandelier A., Cech T., Chira D., Diamandis S., Gaitniekis T., Hantula J., Holdenrieder O., Jankovsky L., Jung T., Jurc D., Kirisits T., Kunca A., Lygis V., Malecka M., Marcais B., Schmitz S., Schumacher J., Solheim H., Solla A., Szabò I., Tsopelas P., Vannini A., Vettraino A.M., Webber, J., Woodward S., Stenlid, J. (2013). Biogeographical patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe. New Phytologist, 197: 238–250.
- Schaberg P.G., Shane J.B., Hawley G.J., Strimbeck G.R., DeHayes D.H., Cali P.F., Donnelly J.R. (1996). Physiological changes in red spruce seedlings during a simulated winter thaw. Tree Physiology, 16: 567–574.
- Schaberg P.G., Snyder M.C., Shane J.B., Donnelly J.R. (2000). Seasonal patterns of carbohydrate reserves in red spruce seedlings. Tree Physiology, 20: 549–555.
- Schiegg K. (2001). Saproxylic insect diversity of beech: limbs are richer than trunks. Forest Ecology and Management, 149: 295–304.
- Schindler U. (1970). Large-scale operations against insect pests of forests in N.W. Germany, 1947–69. Forstarchiv, 41: 69–76.

- Schnaiderowa J. (1968). Reasons for the outbreak of *Saperda carcharias* and *S. populnea* in Poland. Prace Instytutu, Badawezego Lesnictwa, 35: 3-90.
- Schroeder L.M. (2002). Tree mortality by the bark beetle *Ips typographus* (L.) in storm-disturbed stands. Integrated Pest Management Reviews, 6, 169–175.
- Schroeder L.M. (2008). Insect pests and forest biomass for energy. – Röser D., Asikainen A., Raulund-Rasmussen K., Stupak I. (eds.). Sustainable use of forest biomass for energy – a synthesis with focus on the Nordic and Baltic countries, 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.
- Shaver G.R., Canadell J., Chapin F.S., Gurevitch J., Harte J., Henry G., Ineson P., Jonasson S.E., Melillo J., Pitelka L., Rustad L. (2000). Global warming and terrestrial ecosystems: A conceptual framework for analysis. BioScience, 50(10): 871–882.
- Shaw C.G., III, Kile G.A. (1991). *Armillaria* root disease. United States Department of Agriculture, Forest Service, Agricultural Handbook No.691. 231 p.
- Sierpińska A. (1998). Towards an integrated management of *Dendrolimus pini* L. – McManus M.L., Liebhold A.M. (eds.). Proceedings: Population dynamics, impacts, and integrated management of forest defoliating insects. USDA Forest Service General Technical Report NE-247, 129–142.
- Šmits A., Striķe Z., Liepa I. (2008). Priežu rūsganās zāģlapsenes (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) izraisītās defoliācijas ietekme uz priežu (*Pinus sylvestris* L.) pieaugumu. Mežzinātne, 18: 53–73.
- Šmits A., Vilka M. (1993). Priežu sprīžotāja (*Bupalus piniarius* L.) savairošanās Kurzemē. Mežzinātne, 1, 2: 73–78.
- Sokal R.R., Rohlf F.J. (1995). Biometry, third ed. Freeman and Company, New York. 887 p.
- Speer J.H. (2010). Fundamentals of tree-ring research. Tucson, University of Arizona Press. 333 p.
- Steyerberg E.W., Vickers A.J., Cook N.R., Gerds T., Gonen M., Obuchowski N., Pencina M.J., Kattan M.W. (2010). Assessing the performance of prediction models: a framework for some traditional and novel measures. Epidemiology, 21: 128–138.
- Steyrer G., Tomiczek C., Hoch G., Lackner C. (2012). Proceedings of the 3rd meeting of forest protection and forest phytosanitary experts, October 14-16, 2009, Vienna, Austria, Federal Research Centre for Forests, Department of Forest Protection, Forstschutz Aktuell, Wien, 55. 76 p.

- Strömngren M. (2001). Soil-surface CO₂ flux and growth in a boreal Norway spruce stand: Effects of soil warming and nutrition. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria, 200, 44 p.
- Strömngren M., Linder S. (2002). Effects of nutrition and soil warming on stemwood production in a boreal Norway spruce stand. *Global Change Biology*, 8(12): 1195–1204.
- 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.
- Sudachkova N.E., Milyutina I.L., Romanova L.I., Semenova G.P. (2004). The annual dynamics of reserve compounds and hydrolytic enzymes activity in the tissues of *Pinus sylvestris* L. and *Larix sibirica* Ledeb. *Eurasian Journal of Forest Research*, 7: 1–10.
- Sundseth, K. (2010). Natura 2000 boreālajā reģionā. [skatīts 2014.gada 29.novembrī] Pieejams: http://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/biogeos/Boreal/KH7809634LVC_002.pdf
- Supatashvili A.S. (1990). Biological agents controlling *Diprion pini*. *Zashchita Rastenii* (Moscow), 6: 23–24.
- Tan J.Y., Wainhouse D., Day K.R., Morgan G. (2010). Flight ability and reproductive development in newly-emerged pine weevil *Hylobius abietis* and the potential effects of climate change. *Agricultural and Forest Entomology*, 12: 427–434.
- Temņikova N. (1975). Klimats. – Pūriņš V. (red.). Latvijas PSR ģeogrāfija. Zinātne, Rīga, 45–54.
- Templer P.H., Schiller A.F., Fuller N.W., Socci A.M., Campbell J.L., Drake J.E., Kunz T.H. (2012). Impact of a reduced winter snowpack on litter arthropod abundance and diversity in a northern hardwood forest ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 48(4): 413–424.
- Thom D., Seidl R., Steyrer G., Krehan H., Formayer H. (2013). Slow and fast drivers of the natural disturbance regime in Central European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 307: 293–302.
- Tjarve D. (2013). Parastās priedes radiālā pieauguma parametriska analīze vides izmaiņu noteikšanai. Promocijas darbs, Latvijas Universitāte. 117 lpp.
- Trajkovic S. (2005). Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131: 316–323.
- Turbé A., Jana U., de Toni A., Woodward S., Schopf A., Netherer S., Angelstam P., Mudgal S., Sonigo P. (2012). Disturbances of EU forests caused by biotic agents. Final Report. European Commission (DG ENV). 273 p.

- Turcek F.J. (1964). On the ecology of the flat-bug *Aradus cinnamomeus*. Panz. Biologia, 19: 762–777.
- Turner N.C., Jarvis P.G. (1975). Photosynthesis in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). IV. Response to soil temperature. Journal of Applied Ecology, 12(2): 561–576.
- 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.
- Vapaavuori E.M., Rikala R., Ryyppö A. (1992). Effects of root temperature on growth and photosynthesis in conifer seedlings during shoot elongation. Tree Physiology, 10(3): 217–230.
- Vasiliauskas R. (2001). Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in temperate forests: a literature review. Forestry, 74: 319–336.
- Vasiliauskas R., Stenlid J. (1998). Spread of *Stereum sanguinolentum* vegetative compatibility groups within a stand and within stems of *Picea abies*. Silva Fennica 32: 301–309.
- Veihmeyer F.J., Hendrickson A.H. (1928). Soil moisture at permanent wilting of plants. Plant Physiology, 3: 355–357.
- Vetaas O.R. (2002). Realized and potential climate niches: a comparison of four *Rhododendron* tree species. Journal of Biogeography, 29: 545–554.
- Vilka I. (1999). Population dynamics of small cavity-nesting birds in Latvia (1984–1997). Vogelwelt, 120: 223–227.
- Virtanen T., Neuvonen S., Nikula A., Varama M., Niemelä P. (1996). Climate change and the risks of *Neodiprion sertifer* outbreaks on Scots pine. Silva Fennica, 30: 169–177.
- Vitas A., Žeimavičius K. (2010). Regional tree-ring chronology of European larch (*Larix decidua* Mill.) in Lithuania. Baltic Forestry, 16: 187–193.
- Voolma K., Luik A. (2001). Outbreaks of *Bupalus piniaria* (L.) (Lepidoptera, Geometridae) and *Pissodes piniphilus* (Herbst) (Coleoptera, Curculionidae) in Estonia. Journal of Forest Science, 47: 171–173.
- Watt A.D., Stork N.E., Hunter M.D. (1997). Forests and insects. Chapman & Hall. 406 p.
- Welling A., Kaikuranta P., Rinne P. (1997). Photoperiod induction of dormancy and freezing tolerance in *Betula pubescens*. Involvement of ABA and dehydrins. Plant Physiology, 100: 119–125.
- Welling A., Palva E.T. (2006). Molecular control of cold acclimation in trees. Physiologia Plantarum, 127: 167–181.

- Wermelinger B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202: 67–82.
- Whalley A.J.S. (1985). The Xylariaceae: some ecological considerations. *Sydowia*, 38: 369–382.
- White M.A., Running S.W., Thornton P.E. (1999). The impact of growing-season length variability on carbon assimilation and evapotranspiration over 88 years in the eastern US deciduous forest. *International Journal of Biometeorology*, 42: 139–145.
- Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. (1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 201–213.
- Wilmking M., Juday G.P., Barber V.A., Zald H.J. (2004). Recent climate warming forces contrasting growth responses of white spruce at treeline in Alaska through temperature thresholds. *Global Change Biology*, 10: 1724–1736.
- Woodboring beetles: mountain pine beetle, emerald ash borer, coffee borer beetle, Buprestidae, ambrosia beetle, bark beetle. (2010). Books LLC. 106 p.
- Woods A., Coates D.K., Hamann A. (2005). Is an unprecedented *Dothistroma* needle blight epidemic related to climate change? *Bioscience*, 55: 761–769.
- Wulff S., Hansson P., Witzell J. (2006). The applicability of national forest inventories for estimating forest damage outbreaks - Experiences from a *Gremmeniella* outbreak in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 2605–2613.
- Zālītis P. (2006). Mežkopības priekšnosacījumi. “Et cetera”, Rīga. 219 lpp.
- Zālītis P., Jansons J. (2009). Mērķtiecīgi izveidoto kokaudžu struktūra. LVMI Silava, Salaspils. 80 lpp.
- Zang C. (2014). treeclim: Numerical calibration of proxy-climate relationships. R package version 1.0.7. [skatīts 2014.gada 1.decembrī] Pieejams: <http://CRAN.R-project.org/package=treeclim>.
- Zang C., Pretzsch H., Rohte A. (2012). Size-dependent responses to summer drought in Scots pine, Norway spruce and common oak. *Trees*, 26: 557–569.
- Zariņš I. (2001). Possibilities of the use of entomopathogenous viruses to control the multiplying of the nun moth (*Lymantria monacha* L.) and the pine looper (*Bupalus piniarius* L.) in the coniferous forests of Latvia. *Latvijas Entomologs*, 38: 64–72.
- Zethner O., Bejer-Petersen B. (1972). Outbreak years of the pine-shoot moth (*Rhyacionia buoliana* Schiff.) known from Denmark. *Forstlige Forsogsvaesen i Danmark*, 33: 31–38.

- Zhou L., Tucker C.J., Kaufmann R.K., Slayback D., Shabanov N.V., Myneni R.B. (2001). Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981-99. *Journal of Geophysical Research*, 16: 20069-20083.
- Zimmermann G. (2010). Maikäfer in Deutschland: Geliebt und gehasst. Ein Beitrag zur Kulturgeschichte und Geschichte der Bekämpfung. *Journal für Kulturpflanzen*, 62: 157–172.
- Zimmermann U., Schneider H., Wegner L.H., Wagner H.J., Szimtenings M., Haase A., Bentrup F.W. (2002). What are the driving forces for water lifting in the xylem conduit? *Physiologia Plantarum*, 114: 327–335.
- Zúbrik M., Raši R., Vakula J., Varínski J., Nikolov C., Novotný J. (2008). Bark beetle (*Ips typographus* L., *Pityogenes chalcographus* L., Col.: Scolytidae) pheromone traps spatial distribution optimisation in central Slovakian mountains. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, 54: 235–248.
- Zuur A., Ieno E.N., Walker N., Saveliev A.A., Smith G.M. (2009). Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer, New York. 574 p.
- Zweifel R., Zimmermann L., Zeugin F., Newbery D.M. (2006). Intra-annual radial growth and water relations of trees: implications towards a growth mechanism. *Journal of Experimental Botany*, 57: 1445–1459.
- Макарова Т.А. (2004). Биоэкологические особенности и причины вспышек массового размножения обыкновенного соснового пилильщика (*Diprion pini* L.) в условиях Севера Западной Сибири. Диссертация. 131 с.
- Мамаев Б.М. (1977). Биология насекомых – разрушителей древесины. Всесоюзный институт научной и технической информации, Москва. 213 с.

Pielikumi

1.1.pielikums. Sasalstoša lietus bojāto audžu regresijas analīzes tabula (SPSS rezultāti)

Audzū bojājumu prognozes modelis

Modeļa kopsavilkums

S10	Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	4	34,205 ^b	,566	,783
3	1	29,546 ^c	,541	,744

Klasifikācijas tabula

S10			Observed	Predicted		
				Audz_bojk2		Percentage Correct
				0	1	
1	Step 1	Audz_bojk2	0	22	4	84,6
			1	4	46	92,0
		Overall Percentage				89,5
	Step 2	Audz_bojk2	0	22	4	84,6
			1	4	46	92,0
		Overall Percentage				89,5
	Step 3	Audz_bojk2	0	22	4	84,6
			1	3	47	94,0
		Overall Percentage				90,8
	Step 4	Audz_bojk2	0	22	4	84,6
			1	4	46	92,0
		Overall Percentage				89,5
3	Step 5	Audz_bojk2	0	23	3	88,5
			1	3	47	94,0
		Overall Percentage				92,1
	Step 6	Audz_bojk2	0	23	3	88,5
			1	4	46	92,0
		Overall Percentage				90,8
	Step 1	Audz_bojk2	0	18	2	90,0
			1	3	34	91,9
		Overall Percentage				91,2
	Step 2	Audz_bojk2	0	18	2	90,0
			1	3	34	91,9
		Overall Percentage				91,2
	Step 3	Audz_bojk2	0	18	2	90,0
			1	3	34	91,9
		Overall Percentage				91,2

a. The cut value is ,500

S10 – koku suga: 1 – priede, 3 – egle

Audz_bojk2 – audze bojāta vai iznīkusi: 0 – nē, 1 – jā

Mainīgie, kas iekļauti vienādojumā

S10		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
1 Step 1 ^a	(H ²):D	4,069	3,024	1,811	1	,178	58,499
	D10	4,035	2,748	2,156	1	,142	56,516
	Gmin:Gfakt	36,607	9,989	13,430	1	,000	7907161067596 325,000
	H10	-8,308	5,781	2,065	1	,151	,000
	Constant	-24,530	7,296	11,302	1	,001	,000
Step 2 ^a	D10	,333	,273	1,487	1	,223	1,395
	Gmin:Gfakt	33,792	9,071	13,877	1	,000	4740899864287 77,600
	H10	-,530	,390	1,846	1	,174	,588
	Constant	-22,149	6,799	10,611	1	,001	,000
Step 3 ^a	Gmin:Gfakt	32,372	8,527	14,413	1	,000	1145641138113 33,880
	H10	-,093	,130	,511	1	,475	,911
	Constant	-23,096	6,616	12,186	1	,000	,000
Step 4 ^a	Gmin:Gfakt	31,243	8,071	14,986	1	,000	3702281969522 7,350
	Constant	-24,489	6,348	14,884	1	,000	,000
3 Step 1 ^a	(H ²):D	5,267	2,891	3,318	1	,069	193,808
	D10	3,665	2,246	2,662	1	,103	39,055
	Gmin:Gfakt	25,327	7,662	10,927	1	,001	99847658184,2 66
	H10	-8,951	5,149	3,022	1	,082	,000
	Constant	-18,923	6,459	8,583	1	,003	,000

a. Variable(s) entered on step 1: H2D, D10, gmin_gfakt, H10.

Mainīgie vienādojumā

S10		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
1 Step 1 ^a	kopts(1)	1,197	1,282	,872	1	,351	3,309
	D10	4,391	3,214	1,866	1	,172	80,713
	gmin_gfakt	38,256	10,952	12,201	1	,000	4114024000821 6136,000
	H2D	4,143	5,074	,667	1	,414	62,961
	H10	-8,800	8,041	1,198	1	,274	,000
	H_D	10,025	57,813	,030	1	,862	22580,873
	Constant	-35,097	57,274	,376	1	,540	,000
Step 2 ^a	kopts(1)	1,162	1,268	,840	1	,359	3,196
	D10	4,636	2,929	2,505	1	,114	103,106
	gmin_gfakt	37,838	10,579	12,793	1	,000	2709340416753 6920,000
	H2D	4,828	3,243	2,216	1	,137	124,948
	H10	-9,706	6,216	2,438	1	,118	,000
	Constant	-25,291	7,424	11,605	1	,001	,000
Step 3 ^a	D10	4,035	2,748	2,156	1	,142	56,516
	gmin_gfakt	36,607	9,989	13,430	1	,000	7907161067591 549,000
	H2D	4,069	3,024	1,811	1	,178	58,499
	H10	-8,308	5,781	2,065	1	,151	,000
	Constant	-24,530	7,296	11,302	1	,001	,000
Step 4 ^a	D10	,333	,273	1,487	1	,223	1,395

	gmin_gfakt	33,792	9,071	13,877	1	,000	4740899864287 77,600
	H10	-,530	,390	1,846	1	,174	,588
	Constant	-22,149	6,799	10,611	1	,001	,000
Step 5 ^a	gmin_gfakt	32,372	8,527	14,413	1	,000	1145641138113 33,880
	H10	-,093	,130	,511	1	,475	,911
	Constant	-23,096	6,616	12,186	1	,000	,000
Step 6 ^a	gmin_gfakt	31,243	8,071	14,986	1	,000	3702281969522 7,350
	Constant	-24,489	6,348	14,884	1	,000	,000
3 Step 1 ^a	kopts(1)	,154	1,207	,016	1	,898	1,167
	D10	5,482	3,191	2,951	1	,086	240,255
	gmin_gfakt	26,433	8,322	10,090	1	,001	301921726381, 587
	H2D	10,293	6,391	2,594	1	,107	29516,830
	H10	-15,651	9,333	2,813	1	,094	,000
	H_D	-69,896	73,380	,907	1	,341	,000
	Constant	46,858	68,065	,474	1	,491	2239579262737 63570000,000
Step 2 ^a	D10	5,528	3,167	3,046	1	,081	251,582
	gmin_gfakt	26,269	8,210	10,237	1	,001	256125231160, 000
	H2D	10,385	6,350	2,674	1	,102	32375,959
	H10	-15,777	9,276	2,893	1	,089	,000
	Constant	47,780	67,899	,495	1	,482	5630119940726 00400000,000
	H_D	-70,882	73,223	,937	1	,333	,000
Step 3 ^a	D10	3,665	2,246	2,662	1	,103	39,055
	gmin_gfakt	25,327	7,662	10,927	1	,001	99847658184,2 19
	H2D	5,267	2,891	3,318	1	,069	193,808
	H10	-8,951	5,149	3,022	1	,082	,000
	Constant	-18,923	6,459	8,583	1	,003	,000

a. Variable(s) entered on step 1: kopts, D10, gmin_gfakt, H2D, H10, H_D.

Pirmā stāva bojātās daļas šķērslaukuma prognozes modelis

Coefficients ^a							
S10	Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
			B	Std. Error	Beta		
1	1	(Constant)	11,224	5,466		2,053	,044
		kopts	-1,471	,562	-,311	-2,619	,011
		H10	-,293	2,177	-,442	-,135	,893
		D10	-,019	,988	-,041	-,019	,985
		H2D	,337	1,197	,463	,281	,779
		G_SUM1	-,083	,135	-,177	-,615	,541
		gmin_gfakt	-3,807	3,303	-,312	-1,153	,253
2		(Constant)	11,221	5,425		2,069	,042
		kopts	-1,474	,539	-,312	-2,736	,008

		H10	-,335	,139	-,505	-2,413	,018
		H2D	,360	,145	,495	2,484	,015
		G_SUM1	-,083	,134	-,177	-,619	,538
		gmin_gfakt	-3,808	3,280	-,312	-1,161	,250
3		(Constant)	8,204	2,379		3,448	,001
		kopts	-1,386	,518	-,293	-2,678	,009
		H10	-,363	,130	-,548	-2,784	,007
		H2D	,358	,144	,493	2,486	,015
		gmin_gfakt	-1,961	1,362	-,161	-1,441	,154
4		(Constant)	6,106	1,895		3,222	,002
		kopts	-1,442	,520	-,305	-2,774	,007
		H10	-,403	,129	-,607	-3,132	,003
		H2D	,420	,139	,577	3,023	,003
3	1	(Constant)	-4,459	6,765		-,659	,513
		kopts	,951	,893	,137	1,065	,292
		H10	-6,429	3,982	-6,701	-1,614	,113
		D10	2,450	1,826	3,746	1,342	,186
		H2D	3,542	2,211	3,195	1,602	,115
		G_SUM1	,460	,231	,789	1,991	,052
		gmin_gfakt	9,642	6,192	,605	1,557	,126
	2	(Constant)	-2,150	6,417		-,335	,739
		H10	-5,683	3,925	-5,923	-1,448	,154
		D10	2,087	1,796	3,191	1,162	,251
		H2D	3,140	2,181	2,833	1,440	,156
		G_SUM1	,421	,228	,723	1,845	,071
		gmin_gfakt	9,084	6,177	,570	1,471	,148
	3	(Constant)	-3,188	6,376		-,500	,619
		H10	-1,133	,263	-1,181	-4,306	,000
		H2D	,622	,240	,561	2,586	,013
		G_SUM1	,478	,224	,822	2,139	,037
		gmin_gfakt	9,923	6,156	,623	1,612	,113
	4	(Constant)	6,033	2,858		2,111	,040
		H10	-,837	,192	-,873	-4,371	,000
		H2D	,706	,238	,637	2,967	,005
		G_SUM1	,137	,074	,236	1,863	,068

a. Dependent Variable: G_boj

Kopts – veikta retināšanā pēdējo 3 gadu laikā pirms sasalstošā lietus

12.1.pielikums. Atlasīto sugu reģistrētās savairošanās platības (ha) 1950. – 2013. gados

No.	Dendroflāģi, sugas/ gadi	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	
1	<i>Limnoria dispar</i>	10050	155750	251000	400550	700200	3650325	2450323	5671325	200000	5600	500	1700	1200	870520	2038020	9790445.5	748605	979583	957550	781572	99132	13530	5500	3300	550	1100	2310	1837	16500	29095	35231	23403	11891	
2	<i>Lymantria monacha</i>	3350	5916	8366	133516	234300	1216775	816774	1674660	764660	1866	1670	567	400	290173	676940	3263481	249535	326528	319183	260524	33044	4510	1832	1100	584	540	770	712	5500	9698	11744	7801	3365	
3	<i>Ips typographus</i>	5716050	6981270	8156470	5826050	5992640	3497620	2350410	3505670	3495630	6991260	6991260	3591160	2330420	1165210	1281731	2483465	2563462	2600062	3805183	3942193	5026805	3845193	7700350	5126924	6309765	7720280	5126924	8972117	14099041	8913945	10317934.6	5915865	4511872	
4	<i>Ips acuminatus</i>	2124160	1593120	2180068	1071190	1072901	1529990	1058975	531040	1100076	1599120	1058112	527930	1062080	540011	590144	984133	1228579	595120	593147	1157875	590121	1812234	2299575	1813532	2336576	1179890	1752432	1170293	1168288	1345331	1360002	1354423	2014186	
5	<i>Hylobius abietis</i>	12760	6308	5995	5286	6636	6552	7368	5880	13270	8246	6057	12820	5070	19036	29195	14565	6759	14753	6981	4961	7750	15481	21428	32976	11481	11981	8371	14597	21887	13968	17334	16750	17300	
6	<i>Bupalus piniarius</i>	1513300	1134750	756500	369453	350960	370340	378250	340998	398570	376783	369945	376250	756500	423875	408956	832150	1248225	417893	849856	439475	439475	1248225	831133	830384	849773	850438	959045	958080	959045	958080	1460234	1485408		
7	<i>Neodiprion sertifer</i>	1470253	1781150	2493610	1440836	1373380	1079384	1424020	1068690	379254	709880	369098	356230	320120	712460	1175559	400130	790570	391853	381420	391853	780310	1204560	1570284	1175509	1570284	820110	785503	810320	780586	710940	640450	1351974	908123	1351898
8	<i>Phymatodes testaceus</i>	24882	25001	126411	39757	24740	12782	12008	12578	12363	12763	24740	12363	12552	12370	13377	13849	13668	13692	13975	14013	14315	27334	40821	27016	27330	28642	29047	14026	27214	31275	31308	31251	47970	
9	<i>Scythopus ratzeburgi</i>	178354	87197	264810	180011	90812	170945	180275	87120	87982	89278	129674	87331	180659	176134	94906	9583	92094	96018	100025	98076	95832	218391	200940	190817	180025	308994	180032	190005	170895	249823	240913	250189	230485	
10	<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	159899	77823	231306	390600	260989	154263	179203	79023	85962	78001	74902	75908	80036	73014	98000	87099	204961	151427	250371	409892	210355	81293	230910	170368	151864	170020	205934	171322	278923	391231	559087	396470	591820	
11	<i>Aradus cinnamomeus</i>	69016	100330	70013	37899	68810	37019	34510	71029	24017	34035	41431	34510	67001	35330	37976	37961	42108	77019	45900	36090	39994	82557	120396	34008	80672	126078	81027	86789	75142	40011	65080	88734	92306	
12	<i>Xyleborus dispar</i>	106097	53918	55883	107074	53078	59051	119006	57481	116928	57531	47919	54320	60918	61004	64990	130948	62922	65028	65936	41027	63905	126809	110475	108425	122400	128110	117031	187033	129012	140941	136324	120227	130180	
13	<i>Cryphalus piceae</i>	146928	147390	196520	97021	48130	101927	98113	51296	49004	54902	115909	98260	49330	55798	56711	52060	60552	68036	169037	132006	128015	124540	162129	108086	144946	124109	62200	134204	124109	62200	134204	124109	62200	
14	<i>Archips crataegana</i>	29924	59005	59880	29037	29004	31890	32809	29005	59880	28036	25047	35500	31287	29940	65647	39050	30042	23475	32934	40036	65162	69021	72078	68093	64056	61085	38026	73070	65688	84020	60237	57809	76704	
15	<i>Melasma popul</i>	74094	75014	132799	62110	148290	78200	220170	30441	77350	161004	78264	87260	56823	74785	77090	90135	183079	89020	74088	97015	79060	270947	170140	203117	18010	16142	258225	172150	86075	195902	195018	301862	415025	
16	<i>Phalera bucephala</i>	110284	211920	215004	345690	231028	114071	230460	117539	24289	117005	119070	240090	117513	115799	319752	138467	128241	260167	129354	138276	254098	190667	280479	252190	295236	301137	258724	430790	315088	162007	370981	298083		
17	<i>Diprion pini</i>	501423	250178	40020	241190	1324600	1056880	529142	530120	270304	272102	289910	264920	542902	500310	321909	296733	584876	599248	312095	619019	291412	888146	90067	570978	940627	920458	602910	174101	582841	680114	678200	1079178	1060210	
18	<i>Rhyacionia buoliana</i>	31926	62910	63190	65141	31627	32005	62718	32883	31829	31270	32100	64511	35909	34859	37829	38530	38074	38990	33920	24003	35664	103681	78141	35409	69800	70818	106227	75402	76298	82796	89783	80005	149261	
19	<i>Saperda carcharias</i>	17015	35201	16482	35005	37800	19941	36390	21904	15627	18555	37643	16540	19795	36549	23200	19031	24879	43080	21364	24782	21047	44578	40194	60291	35803	23815	43890	38037	33285	50521	49052	46057	69991	
20	<i>Panolis flammea</i>	301756	328020	580271	875310	649060	248093	610267	300990	291161	310264	370008	301256	345992	649060	324001	356983	700200	1020155	347410	356983	1099018	76903	740910	680167	640931	701342	620185	1027302	850897	801134	708250	849155		
21	<i>Melolontha melolontha</i>	60120	45091	16024	22460	23440	44925	11230	44923	11230	10030	12430	11230	2514	1257	28822	1383	2698	4898	57040	38710	2809	2990	3780	2550	3707	38209	1078	2500	2156	3012	5006	6098	3688	
22	<i>Dendrolimus pini</i>	568512	421002	410985	260183	411435	141533	401676	257910	120353	270114	250995	310261	427190	409187	300157	140082	205817	131097	301026	454505	156341	312100	310204	453018	289017	452019	310023	310135	310135	327196	501270	351495	340173	
23	<i>Pityogenes chalcographus</i>	2050153	2030168	3455685	2073411	1325108	1301426	670156	1310241	1290167	2764548	2610490	201681	1302637	630142	720011	750120	1500041	7602507	1410263	1450190	1530501	2293635	3010280	2150240	3000139	3010925	2271130	3629251	5327299	3338805	2601730	2510184	1680151	
24	<i>Tomiscus piniperda</i>	658020	802096	131457	651025	440125	438010	440371	223149	437811	650680	660152	872860	439905	446298	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	240304	
25	<i>Tomiscus minor</i>	180031	270116	260210	184930	87016	184930	90262	91026	92465	170120	277395	179124	92000	184930	100253	190270	97010	99016	200125	98062	95012	200113	201550	305134.5	302016	152028	305134	203020	192351	230165	118254	231712	231250	

No.	Dendroflāģi, sugas/ gadi	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	Umnātrīdis dārgs	40480	79948	53636	34787	18975	2657	5693	6072	2151	36306	194912	1346475	1284881	11837708	9702699	3747125	2567594	1361471	10613246	6194854	7466485	45527	31943	45527	4329277	7842944	6421595	6851493	5079658	6105143	3074962
2	Lymantria monacha	13494	26649	17880	11596	6325	887	1895	2024	717	12102	649704	4488250	4281660	3945903	3234233	1249041	855865	4538057	3537749	2064952	2488829	15176	1043093	2614314	2140532	2238331	1693219	2035048	1024987		
3	Ips typographus	8849454	7409754	8912915	14267916	7379155	3146972	4521982	2967883	5921971	5911963	10317935	12286153	15653781	19314472	26089615	9942636	8746545	6897137	7893109	11188726.9	10435854	15909566	10435853.8	11994169	19392053.8	12285063	6957238	17406135	9202808	11387117	10840900
4	Ips acuminatus	1293432	1343531.2	1339643	1435351.2	1400444	1400502	1360054	1981397	251296.8	2736054	2687062	3200531	401118	3963417.04	4825132	5548784	2413250	4158619	3162835	2419141	4002536	4045978	3893419	3266324	2436052	4783930	3963415	3237454	2426151	2354760	2113822
5	Hylobius abietis	24968	17757	17098	17810	14484	32340	17634	18254	16787	35092	42019	40206	49503	59741	30346	54691	62255	52588	49310	70366	11702	19570	30566	29713	87468	49522	69481	49476	29715	61446	12606
6	Bupalus piniarius	970340	950012	950480	969254	940050	870045	956973	1459304	1460200	1811945	2392432	1789320	2309462	3386394	590174	2824019	1709823	2904998	1723985	1283613	1710260	1130290	1708238	1622900	1690093	2259670	1712080	2953131	4559000	2825219	1129228
7	Neodiprion sertifer	901957	960130	912905	1339056	1793192	901261	3939784	900560	1385490	1913494	1369340	612189	2671563	2152975	1950378	1213561	1708365	2656231	3298102	373002	2649704	4253951.67	2658723	1210280	1300114	2009998	1640985	2199305	1208354	1270945	1339278
8	Phymatodes testaceus	32081	31338	33642	32975	31638	30054	31571	33047	46719	50343	51339	74006	93270	92641	111633	129522	18467	75963	73968	59373	60798	57366	55394	36932	39637	56341	53750	56728	49230	58633	37075
9	Scolytus ratzeburgi	24014	269023	230780	219045	331312	220320	230897	229083	312422	505049	300006	140265	504456	530463	719204	289611	700084	139265	40410	62199	820989	450936	391423	130044	306663	403100	527835	661436	65020	399331	
10	Eupristiphora pini	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014	29014
11	Axylus cinimomeus	139408	88040	87990	66798	83007	95017	147085	87991	148922	130965.45	190091	154093	229011	231010	159382	161799	95094	116605	162305	241093	226132	178927	160050	209901	246086	183460	63089	193037	200105	243089	165860
12	Xyleborus diprion	139057	207841	139004	137265	105964	139006	147071	147809	225026	311075	140858	268673	418994	242428	249276	405037	250927	347025	250927	420099	296105	170983	246102	268909	334791	294904	21026	44704	268106	44004	25356
13	Cryphalus piceae	98024	140035	127014	146052	189110	135076	141798	190351	188254	273798	132704	367152	271054	411060	292086	220423	300130	259085	425894	366033	229946	312074	366990	229047	345008	293117	243685	159010	80300	237089	218560
14	Archips crataegae	69031	78990	114001	75050	78930	87911	114680	75750	118305	151496	113622.3	124039	89383	180107	129801	119610	226924	147925	137123	226090	1426924	138278	237014	146707	190152	200100	127129	170060	63362		
15	Melasma populi	326980	395945	227005	248910	327030	240017	170115	227014	201035	268892	395945	350012	380401	239956	380153	410789	599881	479041	584630	700823	590349	379025	469452	480120	203468	360740	352010	495350	417026	239303	261633
16	Phalara bucephala	320078	210836	311200	300100	438024	301977	230515	295670	590352	468806	759032	528095	572634	689730	1032023	908546	718296	900254	689730	699151	608187	723005	756282	597011	689770	518825	870032	8697309	761304	543000	434007
17	Diprion pini	348019	1020189	680887	672010	665050	1330020	160203	1101425	1340495	1005371	1675619	1790211	2379026	2405950	1260190	2039481	2520192	3011947	1977320.42	3163568	1187761	2600931	1907282	2010300	1977730	1590270	3796073	2072675.6	2768123	1186338	125452
18	Rhyacionia buoliana	46289	191069	86389	80113	79041	86728	149208	81440	124094	129266	168745	184019	157932	165890	193749	151926	208055	147913	157296	268903	231901	260693	234901	220875	148098	262052	259881	241905	187250	125439	124539
19	Saperda chalcidipes	43900	23111	48142	43298	50380	56010	48625	49943	73125	64223	72009	95701	111005	137904	180344	187901	126890	61011	111799	96004	77081	95816	157903	83520	85390	60100	85902	130895	113791	89904	65342
20	Panolis flammea	129001	1229199	410530	840712	802200	851670	878025	120014	1209176	847291	174029	195078	2418931	3001880	2481011	2510940	1470020	2130791	1490166	969002	1520118	1550300	990179	1453277.19	968582	153604	1550892	2505744	2250947	3119928	1405189
21	Melolontha melolontha	6799	3719	4298	2501	3277	4677	3008	4749	4958	4	6180	54603	45698	37527	45089	61070	48580	50025	50165	38816	31192	50012	50012	50012	50012	50012	50012	50012	50012	50012	50012
22	Pityogenes chalcographus	3421014	345025	4210993	3380735	2590898	87000	175064	3622864	39714512	4711442	1440997	6200182	5170411	8290365	3115487	4160682	699354	3140744	2206891	4270391	3155890	2340556	4280947	3170782	210959	607009	3291647	200901	4250984	2893636	
23	Tomicus piniperda	830175	564567	1103647	1219314	830208	845019	852905	282283	803746	830183	1129134	1678423	2689192	1998567	3120361	1019283	1367983	1630190	1430210	1029371	1408154	1332378	1070190	985012	1350319	1070190	1100298	999254	662621	734015	852071
24	Tomicus minor	216245	349172	1229317	349152	230520	201152	234176	467873	350905	478163	601165	691346	569815	567192	451001	425180	557198	428236	561022	431026	574890	294087	400194	100000	430205	445018	299093	100000	430205	445018	299093

12.2.pielikums. Atlasīto sugu reģistrēto savairošanās gadījumu skaits 1950. – 2013. gados

No.	Dendrofāgi, sugas/ gadi	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	
1	<i>Limantria dispar</i>	1	1	1	5	6	8	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	8	9	8	10	6	2	2	2	2	2	2	4	5	10	6	9	
2	<i>Lymantria monacha</i>	1	1	1	3	3	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	6	3	4	4	2	2	2	2	2	2	3	5	4	5		
3	<i>Ips typographus</i>	5	6	7	5	4	3	2	3	3	6	6	3	2	1	1	2	2	2	3	3	4	3	6	4	5	6	4	7	11	6	7	4	3	
4	<i>Ips acuminatus</i>	4	3	4	2	2	1	2	1	2	3	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	3	4	3	4	2	3	2	2	2	2	2	2	
5	<i>Hylobius abietis</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	3	4	2	1	2	1	1	1	2	3	4	2	2	2	2	3	2	2	2	2	
6	<i>Bupalus piniarius</i>	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3	1	2	1	3	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3	
7	<i>Neodiprion sertifer</i>	4	5	7	4	6	3	4	3	1	2	1	1	1	2	3	1	2	1	1	2	3	4	3	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	
8	<i>Phymatodes testaceus</i>	2	2	1	3	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2	2	2	1	2	2	2	3	
9	<i>Scolytus ratzeburgi</i>	2	1	3	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	
10	<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	2	1	3	5	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	3	1	2	2	2	2	2	2	2	4	5	4	6	
11	<i>Aradus cinnamomeus</i>	2	3	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3	1	2	3	2	2	2	1	2	2	2	
12	<i>Xyleborus dispar</i>	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	
13	<i>Cryphalus piceae</i>	3	3	4	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	2	2	1	2	2	3	2	2	2	1	2
14	<i>Archips crataegana</i>	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	
15	<i>Melasma popul</i>	1	1	2	1	2	1	3	3	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	4
16	<i>Phalera bucephala</i>	1	2	2	3	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	
17	<i>Diprion pini</i>	2	1	2	1	5	4	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	3	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	3	3
18	<i>Rhyacionia buollana</i>	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2	3	
19	<i>Saperda carcharias</i>	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	3	2	1	2	2	2	2	2	2	3	
20	<i>Panolis flammea</i>	1	1	2	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3	1	1	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	
21	<i>Melolontha melolontha</i>	4	3	1	2	2	4	1	4	3	1	1	1	2	1	2	1	2	3	4	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	2	2	2	2	
22	<i>Dendrolimus pini</i>	4	3	3	2	3	1	3	2	1	2	2	3	3	3	2	1	2	1	2	3	1	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	
23	<i>Pityogenes chalcographus</i>	3	3	5	3	2	2	1	2	2	4	4	3	2	2	1	1	2	1	2	2	2	3	4	3	4	3	5	7	4	3	3	2	2	
24	<i>Tomicus piniperda</i>	3	4	6	3	2	2	2	1	2	3	3	4	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	3	4	5	5	4	4	5	6	4	3	2
25	<i>Tomicus minor</i>	2	3	3	2	1	2	1	1	1	2	3	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	2	3	2	3	2	2	2	1	2	2

No.	Dendrofāgi, sugas/ gadi	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
1	<i>Limantria dispar</i>	11	7	6	4	2	2	2	6	3	8	12	12	7	6	8	5	8	9	8	10	7	3	3	2	5	6	4	4	3	3	3	
2	<i>Lymantria monacha</i>	6	4	4	3	2	2	2	4	3	5	6	7	6	5	5	4	5	6	4	6	3	3	4	3	2	3	3	3	3	2	3	
3	<i>Ips typographus</i>	6	5	6	9	5	2	3	2	4	4	7	7	9	8	15	4	5	4	1	3	6	7	6	7	6	7	4	4	1	4	4	
4	<i>Ips acuminatus</i>	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	7	3	5	4	3	5	5	5	4	3	6	5	4	3	3	4	
5	<i>Hylobius abietis</i>	3	2	2	2	2	3	2	2	2	4	5	4	5	6	3	5	6	5	5	7	1	2	3	3	8	5	7	5	3	4	1	
6	<i>Bupalus piniarius</i>	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	5	3	4	6	1	5	3	5	3	2	3	2	3	3	3	4	3	7	8	5	3	
7	<i>Neodiprion sertifer</i>	2	2	2	3	3	2	2	2	3	4	3	3	5	4	3	4	4	5	6	7	5	8	5	4	3	2	3	4	3	2	3	
8	<i>Phymatodes testaceus</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	3	4	5	5	6	7	1	4	4	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	
9	<i>Scolytus ratzeburgi</i>	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	4	3	3	4	4	5	3	5	1	3	4	6	3	3	1	3	3	4	5	5	4	
10	<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	4	3	3	2	2	2	2	3	2	3	4	4	5	6	4	4	5	4	3	4	3	2	3	4	3	3	5	4	5	4	3	3
11	<i>Aradus cinnamomeus</i>	3	2	2	2	2	2	3	2	3	3	4	3	4	4	3	3	2	2	3	4	4	3	3	4	4	3	1	3	3	3	4	
12	<i>Xyleborus dispar</i>	2	3	2	2	2	2	2	3	4	2	3	5	3	3	3	5	3	4	3	5	3	2	3	3	4	3	3	5	3	4	4	
13	<i>Cryphalus piceae</i>	2	2	2	2	3	2	2	3	3	4	4	5	4	5	4	3	4	4	5	5	3	4	5	3	4	4	3	2	1	2	3	
14	<i>Archips crataegana</i>	2	2	3	2	2	2	3	2	3	4	3	3	2	4	3	4	5	3	3	5	3	4	3	5	3	3	4	4	3	3	1	
15	<i>Melasma popul</i>	3	4	2	2	3	2	2	2	2	3	4	3	3	2	3	3	4	4	5	6	5	3	4	4	1	3	3	4	3	2	3	
16	<i>Phalera bucephala</i>	2	2	2	2	3	2	2	2	4	3	5	3	3	5	6	5	4	5	4	4	3	4	3	3	4	3	5	5	4	3	3	
17	<i>Diprion pini</i>	1	3	2	2	2	3	2	3	4	3	5	4	6	6	3	5	6	7	5	8	3	6	3	5	5	4	1	6	7	3	4	
18	<i>Rhyacionia buolana</i>	1	3	2	2	2	2	3	2	3	3	4	3	3	3	4	3	4	4	3	5	4	3	4	4	3	5	5	4	3	5	3	
19	<i>Saperda carcharias</i>	2	1	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	4	5	7	7	4	2	4	3	3	3	4	4	3	2	3	4	4	3	3	
20	<i>Panolis flammea</i>	3	3	1	2	2	2	2	3	3	2	3	4	5	6	5	5	3	4	3	2	3	3	4	3	2	3	3	5	4	6	4	
21	<i>Melolontha melolontha</i>	2	3	2	2	2	2	2	2	4	3	4	3	3	2	3	4	5	4	3	3	2	2	3	3	3	3	4	3	3	2	1	
22	<i>Dendrolimus pini</i>	2	2	2	4	1	3	2	2	5	7	5	8	4	4	3	4	3	6	5	6	7	3	5	8	6	3	3	5	6	3	3	
23	<i>Pityogenes chalcographus</i>	4	4	5	5	4	3	1	2	3	4	5	4	6	5	8	3	4	4	3	4	3	3	2	4	3	2	2	3	3	4	4	
24	<i>Tomicus piniperda</i>	3	2	4	4	3	3	3	1	3	3	4	5	8	6	9	3	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	2	2	3
25	<i>Tomicus minor</i>	2	3	2	2	3	2	2	2	4	3	4	3	5	5	4	4	3	3	4	3	3	4	4	3	4	2	3	4	3	3	2	3

Atsauces uz avotiem pēc kārtas numura:

1. – Ilynikh et al., 2011; Johnson et al., 2005; Lipa, Kolk, 2008. 2. – Barbosa et al., 2012; Liska, Srutka, 1998. 3. – Cheraghian, 2013; Öhr, 2012; Wermelinger, 2004. 4. – Colombari et al., 2013; Colombari et al., 2012. 5. – Barbosa et al., 2012; Leather et al., 1999; Novak, Temmlöva, 1964. 6. – Barbosa et al., 2012; Barbour, 1988; Roques et al., 2006; Voolma, Luik, 2001. 7. – Kolomiets et al., 1972; Šmits et al., 2008; Virtanen et al., 1996. 8. – Humble, Allen, 2006; Reiner, 1998. 9. – Barbosa et al., 2012; Lieutier et al., 2004. 10. – Barbosa et al., 2012; Frago et al., 2010; Мамаев, 1977. 11. – Barbosa et al., 2012; Jatcel, Kleinhentz, 1997; Turcek, 1964. 12. – Lieutier et al., 2004; Schiegg, 2001; Natali et al., 1994. 13. – Hrašovec et al., 2008; Jurec, Bojović, 2004. 14. – Barbosa et al., 2012; Carter, 1984. 15. – Barbosa et al., 2012; Ikonen, 2001. 16. – Nieuwenkerken et al., 2012; Port, Thompson, 1980. 17. – Augusaitis, 2007; Barbosa et al., 2012; Supatashvili, 1990; Makapova, 2004. 18. – Allard et al., 2003; Heeley et al., 2003; Kolk et al., 1981; Zethner, Bejer-Petersen, 1972. 19. – Lugo-Argüelles, 1993; Pronin, Vaughan, 1968; Schnaiderowa, 1968; Steyrer et al., 2012

12.3.pielikums. Atlasīto sugu savairošanās platība (ha) uz vienu reģistrēto savairošanās gadījumu 1950. – 2013. gados

No.	Dendrofāgi, sugas/ gadi	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
1	Limantria dispar	100.5	1558	627.5	801.1	1167	4563	6126	56713	2000	56	5	17	12	8705	20308	97904	1872	1224	1064	977	99.13	22.55	27.5	16.5	2.75	5.5	11.55	9.185	41.25	58.19	35.23	39.01	13.21
2	Lymantria monacha	33.5	519.2	278.9	445.1	583.5	4056	4084	18904	7647	18.66	16.7	5.67	4	2902	6769	32635	831.8	653.1	532	868.4	82.61	11.28	9.16	5.5	0.92	2.7	3.85	3.56	27.5	32.33	23.49	19.5	7.93
3	Ips typographus	11432	11635	11652	11652	11985	11659	11752	11686	11652	11652	11971	11652	11652	12817	12417	12817	13000	12684	13141	12567	12817	12834	12817	12620	12867	12817	12817	12817	14857	14740	14790	15040	
4	Ips acuminatus	5310	5310	5450	5356	5365	5300	5295	5310	5500	5310	5291	5279	5310	5400	5901	5841	6143	5951	5931	5789	5901	6041	5749	6045	5841	5899	5841	5851	5841	6718	6800	6772	6714
5	Hylobius abietis	63.8	63.08	59.95	52.86	66.36	65.52	73.68	58.8	66.35	82.46	60.57	64.1	50.7	63.45	72.99	72.83	67.59	73.77	69.81	49.61	77.5	77.41	71.43	82.44	57.41	59.91	41.86	72.99	72.96	69.84	86.17	83.75	86.5
6	Bupalus piniarius	3783	3783	3783	3695	3510	3703	3783	3401	3986	3777	3698	3783	3783	3783	4294	4099	4161	4161	4179	4204	4395	4161	4295	4205	4156	4169	4152	4246	4252	4795	4790	4834	4785
7	Neodiprion sertifer	3676	3562	3562	3625	3562	3598	3562	3562	3793	3505	3609	3562	3201	3562	3919	4001	3953	3804	3919	3905	4014	3926	3919	4101	3928	4052	3953	3555	3202	4507	4541	4536	4506
8	Phymatodes testaceus	124.4	125	1264	132.5	123.7	127.8	120.1	125.8	123.6	127.8	123.7	123.6	125.5	123.7	133.8	138.5	136.7	136.9	139.8	140.1	143.2	136.7	136.1	135.1	136.7	143.2	145.2	140.3	136.1	156.4	156.5	156.3	159.9
9	Scolytus ratzeburgi	891.8	872	882.7	900.1	908.1	854.7	901.4	871.2	879.8	892.8	936.7	873.3	903.3	880.7	949.1	95.83	920.9	960.2	1000	980.8	958.3	1092	1005	954.1	901.4	1030	900.2	950	854.5	1249	1205	1251	1152
10	Euproctis chrysorrhoea	794.9	778.2	771	781.2	870	771.3	896	790.2	859.6	780	749	759.1	800.4	730.1	980.9	871	1025	757.1	834.6	1025	701.2	812.9	1155	851.8	759.3	850.1	1048	856.6	1395	978.1	1118	991.2	986.4
11	Aradus cinnamomeus	345.1	345.1	350.1	379	340.1	370.2	345.1	355.1	240.2	340.4	414.3	345.1	335	353.3	379.8	379.6	421.1	385.1	459	360.9	399.9	412.8	401.3	340.8	403.4	420.3	405.1	433.9	375.7	400.1	325.4	443.7	461.5
12	Xyleborus dispar	530.5	539.2	558.8	535.4	530.8	590.5	595	574.8	584.6	575.3	479.2	543.2	609.2	610	649.9	654.7	629.2	650.3	659.4	410.3	639.1	634	552.4	542.1	610.2	640.6	585.2	623.4	645.1	704.7	681.6	601.1	650.9
13	Cryphalus piceae	489.8	491.3	491.3	485.1	481.3	509.6	490.6	513	490	549	579.5	491.3	493.3	558	567.1	520.6	595.1	630.2	531.8	600.5	680.4	563.5	660	640.1	714.5	701	639.5	540.4	540.4	714.7	620.5	622	671
14	Archips crataegana	299.2	295	299.4	290.4	290	318.9	328.1	290.1	299.4	280.4	250.5	355	312.9	299.4	328.2	390.5	300.4	234.8	329.3	400.4	325.8	345.1	360.4	340.5	320.3	305.4	380.3	365.4	329.3	420.1	301.2	289	383.5
15	Melasoma populi	740.9	750.1	664	621.1	741.5	782	733.9	101.5	773.5	805	782.6	872.6	568.2	747.9	770.9	901.4	915.4	890.2	740.9	910.8	790.6	903.2	850.7	1016	90.05	80.71	860.8	860.8	860.8	979.5	975.1	1006	1038
16	Phalera bucephala	1103	1060	1075	1152	1155	1141	1152	1175	121.4	1170	1191	1200	1175	1158	1599	1201	1365	1282	1301	1294	1383	1270	951.3	1402	1261	1463	1506	1294	1436	1575	1620	1855	1490
17	Diprion pini	2507	2502	200.1	2412	2649	2649	2646	2651	2703	2721	2899	2649	2715	2550	3219	2967	2924	2996	3121	3095	2914	2960	2950	2855	2451	3068	3015	2914	2914	3401	3391	3597	3534
18	Rhyacionia buoliana	319.3	314.6	316	325.7	316.3	320.1	313.6	328.8	318.3	312.7	321	322.6	359.1	348.6	378.3	385.3	380.7	389.9	339.2	204	356.6	345.6	390.7	354.1	329	354.1	354.1	377	381.5	414	448.9	400	497.5
19	Saperda carcharias	170.2	176	164.8	175	189	199.4	180.2	219	156.3	185.6	188.2	165.4	198	182.7	232	190.3	248.8	215.4	213.6	247.8	210.5	222.9	201	201	195	238.2	219.5	190.2	166.4	252.6	245.3	230.3	233.3
20	Panolis flammea	3018	3280	2901	2918	3245	2481	3051	3010	2912	3103	2700	3013	3460	3245	3810	3240	3570	3501	3401	3474	3570	3663	384.5	3705	3401	3205	3507	3101	4024	4254	4006	3541	4246
21	Melolontha melolontha	150.3	150.3	162	112.3	117.2	112.3	112.3	112.3	112.3	100.3	124.3	112.3	12.57	12.57	140.1	13.83	13.49	16.33	142.6	14.04	14.05	14.95	18.9	12.75	12.36	191	10.78	12.5	10.78	15.06	25.03	30.49	18.44
22	Dendrolimus pini	1421	1403	1370	1301	1371	1415	1339	1290	1204	1351	1252	1034	1424	1364	1501	1401	1029	1311	1505	1514	1563	1561	1551	1510	1445	1507	1550	1659	1551	1636	1671	1757	1701
23	Pityogenes chalcographus	6834	6767	6911	6911	6626	6507	6702	6551	6451	6911	6526	6672	6513	6301	7200	7501	7501	7603	7051	7251	7603	7645	7526	7167	7500	7527	7570	7259	7610	8347	8672	8367	8401
24	Tomicus piniperda	2193	2231	219.1	2170	2201	2190	2202	2231	2189	2169	2201	2182	2200	2231	2404	2403	2410	2425	2455	2403	2455	2375	2455	2448	2301	2408	2455	2256	2455	2823	2786	2794	2796
25	Tomicus minor	900.2	900.4	867.4	924.7	870.2	924.7	902.6	910.3	924.7	850.6	924.7	895.6	920	924.7	1003	951.4	970.1	990.2	1001	980.6	950.1	1001	1008	1017	1007	760.1	1017	1015	961.8	1151	1183	1159	1156

No.	Dendrofāgi, sugas/ gadi	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	Limantria dispar	36.8	114.2	89.39	86.97	94.88	13.29	28.47	10.12	7.17	45.38	1624	11221	18350	19730	12128	7494	3209	15127	13267	6195	10666	151.8	106.5	227.6	8659	13072	16054	17129	16932	20350	10250
2	Lymantria monacha	22.49	66.62	44.7	38.65	31.63	4.435	9.475	5.06	2.39	24.2	1083	6412	7136	7922	6468	3123	1712	7563	8844	3442	8296	50.59	26.62	50.58	7215	8714	7135	7613	5644	10175	3417
3	Ips typographus	14740	14820	14855	15853	14758	15735	15073	14839	14805	14780	14740	17552	17393	17393	17393	24857	17493	17243	78931	37296	17393	21558	17393	17135	32320	17550	17393	43515	92028	28468	26201
4	Ips acuminatus	6467	6718	6698	6718	7017	7003	6800	6605	6718	6840	6718	8001	8022	7927	8042	7927	8044	8317	7907	8064	8005	8092	7787	8166	8120	7973	7927	8094	8087	7849	5285
5	Hylobius abietis	83.23	88.79	85.49	89.05	72.42	107.8	88.17	91.27	83.94	87.73	84.04	100.5	99.01	99.57	101.2	109.4	103.8	105.2	98.62	100.5	117	97.85	101.9	99.04	109.3	99.04	99.26	98.95	99.04	153.6	126.1
6	Bupalus piniarius	4852	4750	4752	4846	4700	4355	4785	4864	4867	4785	4785	5964	5774	5644	5902	5648	5699	5810	5747	6418	5701	5651	5694	5443	5634	5648	5707	5644	5699	5650	3764
7	Neodiprion sertifer	4510	4801	4565	4464	4597	4506	4699	4503	4618	4503	4564	5374	5343	5382	5301	5309	5451	5312	5497	5329	5299	5317	5317	5302	4334	5453	5470	5398	4028	6355	4464
8	Phymatodes testaceus	160.4	156.7	168.2	164.9	158.2	150.3	157.9	165.2	155.7	167.8	171.1	185	186.5	185.3	186.1	184.6	184.7	189.9	184.9	197.9	156.6	191.2	184.6	184.7	198.2	187.8	179.2	189.1	164.1	195.4	123.6
9	Scolytus ratzeburgi	1200	1345	1154	1095	1104	1102	1154	1145	1041	1169	1150	1300	1368	1351	1326	1438	963.4	1400	1393	1347	1550	1368	1503	1305	1300	1302	1434	1320	1323	1300	998.3
10	Euproctis chrysorrhoea	988.5	984	1097	677.4	981.7	1155	1095	974.6	936.2	974.8	1118	1221	1218	1323	1097	1257	1196	1233	1201	1267	1291	1226	1172	1242	1164	1258	1202	1180	1347	1270	864.2
11	Aradus cinnamomeus	464.7	440.2	440	334	415	475.1	490.3	440	496.4	436.6	477.3	547	572.5	577.5	531.3	539.3															

12.4.pielikums. Atlasīto sugu reģistrēto savairošanās gadījumu skaits apskatītajās valstīs 1950. – 2013. gados

Dendrofāgi, sugas/ valstu platība	Beļģija 30520	Nīderlande 41530	Slovākija 49035	Lietuva 65200	Čehija 78860	Austrija 83850	Serbija 87460	Ungrārija 93030	Baltkrievija 207600	Rumānija 238500	Apvienotā Karaliste 243610	Polija 312700	Vācija 357000	Francija 552000	Ukraina 603700
<i>Aradus cinnamomeus</i>	1	3	4	3	4	5	6	5	11	12	8	22	18	22	20
<i>Archips crataegana</i>	4	5	8	5	9	6	9	7	8	12	10	14	15	15	18
<i>Phymatodes testaceus</i>	3	5	11	7	6	6	7	12	8	11	10	13	15	17	16
<i>Xyleborus dispar</i>	2	4	7	2	5	5	6	6	10	12	11	17	18	21	22
<i>Saperda carcharias</i>	3	4	5	3	4	5	7	6	9	13	12	18	20	27	14
<i>Scolytus ratzeburgi</i>	2	3	4	2	5	6	4	3	10	11	12	20	19	25	27
<i>Melasoma populi</i>	4	4	8	3	11	7	8	11	12	14	10	15	18	15	14
<i>Rhyacionia buoliana</i>	7	4	11	2	6	7	9	12	8	10	13	16	14	16	19
<i>Melolontha melolontha</i>	4	5	10	3	9	12	7	10	7	12	9	12	20	14	23
<i>Tomicus minor</i>	6	7	12	4	5	9	6	11	6	13	11	17	25	15	11
<i>Panolis flammea</i>	5	6	9	7	8	12	7	8	9	10	8	19	20	10	21
<i>Cryphalus piceae</i>	3	3	9	3	4	7	10	8	8	12	12	18	27	20	16
<i>Bupalus piniarius</i>	3	4	6	7	7	8	6	8	10	7	13	20	23	17	24
<i>Phalera bucephala</i>	4	5	11	2	9	11	11	12	7	14	10	15	19	16	18
<i>Hyllobius abietis</i>	5	6	9	4	8	10	9	8	10	13	9	18	25	17	25
<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	3	4	6	0	7	9	7	11	5	16	14	19	22	32	27
<i>Ips acuminatus</i>	7	8	7	5	8	11	13	14	9	7	16	29	27	12	15
<i>Diprion pini</i>	7	13	4	9	6	15	7	4	19	11	12	43	22	10	11
<i>Neodiprion sertifer</i>	6	13	6	8	7	15	8	5	17	10	10	50	21	9	13
<i>Lymantria monacha</i>	7	6	7	7	16	17	9	7	22	8	10	34	26	13	14
<i>Dendrolimus pini</i>	4	12	4	9	15	9	7	4	24	5	11	50	12	9	29
<i>Pityogenes chalcographus</i>	2	7	7	0	14	18	8	9	13	14	15	30	33	12	25
<i>Tomicus piniperda</i>	3	5	9	8	13	17	5	7	16	17	16	26	24	11	32
<i>Ips typographus</i>	12	21	11	15	31	30	10	4	20	11	17	44	39	17	23
<i>Limantria dispar</i>	5	8	11	4	14	13	15	19	15	34	18	31	57	23	41

12.5.pielikums. Atlasītie klimata parametri dendrofāgu savairošanas ietekmējošo faktoru analīzei

Sugas/ Faktori, (mēneši)	Faktors 1	Faktors 2	Faktors 3	Faktors 4	Faktors 5
<i>Bupalus piniarius</i>	Mean TMean (°C), (8-10)	Total Precipitation (mm), (8-10)	Concecutive Days Without Prcp (days), (8-10)	Snowfall (mm of water), (11-4)	Frost Days (days), (11-4)
<i>Panolis flammea</i>	Mean TMean (°C), (4-6)	Total Precipitation (mm), (5-6)	Concecutive Days Without Prcp (days), (4-5)	Snowfall (mm of water), (8-4)	Frost Days (days), (8-4)
<i>Diprion pini</i>	Mean TMean (°C), (5-9)	Total Precipitation (mm), (5-9)	Concecutive Days Without Prcp (days), (5-9)	Snowfall (mm of water), (10-4)	Frost Days (days), (10-4)
<i>Ips typographus</i>	Mean TMean (°C), (4-5)	Mean TMean (°C), (8)	Concecutive Days Without Prcp (days), (5-9)	WindSpeed (km/h), (1-12)	Frost Days (days), (10-4)
<i>Rhyacionia buoliana</i>	Mean TMean (°C), (7-8)	Total Precipitation (mm), (7-8)	RelativeHumidity (%), (7)	WindSpeed (km/h), (7-8)	Concecutive Days Without Prcp (days), (7-8)
<i>Lymantria dispar</i>	Mean TMean (°C), (4-7)	Mean TMax (°C), (6-7)	Nb Days With Prcp(days), (4-7)	WindSpeed (km/h), (4-5)	Mean TMin (°C), (10-3)
<i>Lymantria monacha</i>	Mean TMean (°C), (4-7)	Mean TMax (°C), (6-7)	Nb Days With Prcp(days), (4-7)	WindSpeed (km/h), (4-5)	Mean TMin (°C), (10-3)
<i>Melasoma populi</i>	Mean TMean (°C), (4-10)	Mean TMax (°C), (6-7)	Nb Days With Prcp(days), (6-7)	Snowfall (mm of water), (10-3)	Concecutive Days Without Prcp (days), (8-9)

12.6.pielikums. Nozīmīgāko savairošanās reģionu epicentru ģeogrāfiskās koordinātas

Svairošanās vietas, Nr.	Koordinātas	
	platums	garums
1	48°39'14.49"N	23°55'43.83"E
2	47°16'12.32"N	25°29'16.83"E
3	46°21'29.29"N	22°58'0.61"E
4	50°38'18.38"N	27°14'9.93"E
5	49°33'9.93"N	32° 5'26.82"E
6	51°19'50.84"N	25°16'35.86"E
7	48°36'58.14"N	19°22'42.37"E
8	48°45'17.86"N	20°54'41.75"E
9	47°47'5.93"N	20°21'13.09"E
10	47° 3'2.78"N	17°41'16.39"E
11	45°21'4.87"N	22°53'15.10"E
12	44°41'29.06"N	19°47'50.19"E
13	52°26'34.48"N	29° 6'46.53"E
14	52°43'26.59"N	25°54'55.71"E
15	54°31'53.84"N	27°44'11.06"E
16	54°18'29.47"N	28°28'7.26"E
17	50°31'13.83"N	22° 8'5.21"E
18	50°48'22.14"N	19°16'47.93"E
19	52°30'45.99"N	15°44'3.29"E
20	51°56'32.04"N	15°21'8.50"E
21	52°15'3.92"N	19°33'18.83"E
22	53°22'39.90"N	21°48'15.97"E
23	55°17'25.29"N	25°25'19.73"E
24	54°18'49.75"N	24°18'57.76"E
25	54°54'11.26"N	23°35'28.43"E
26	56°43'40.75"N	25°35'2.53"E
27	56°14'22.49"N	26° 0'31.88"E
28	57°12'12.86"N	22° 2'10.02"E
29	56°23'11.84"N	21°16'0.07"E
30	47°39'23.13"N	15°39'32.61"E
31	47°35'39.52"N	14°26'35.82"E
32	49°48'2.43"N	17° 4'52.18"E
33	49°15'37.07"N	16°18'54.16"E
34	52° 5'0.20"N	13° 5'19.25"E
35	50°57'57.31"N	8°25'53.56"E
36	49°38'46.43"N	8°57'24.38"E
37	48°26'19.51"N	8°42'38.96"E
38	50°24'51.67"N	11° 4'42.04"E
39	49° 3'10.65"N	10°34'37.83"E
40	48°42'5.45"N	12°46'17.41"E
41	50°18'11.51"N	5°43'37.49"E
42	50° 1'53.44"N	5° 5'42.54"E
43	47°14'4.30"N	2°58'41.46"E
44	47°58'23.65"N	6°28'41.87"E
45	45°37'22.84"N	4° 7'53.45"E
46	47°14'24.24"N	1°16'17.63"E
47	51°19'5.30"N	5°37'30.40"E
48	51°53'15.49"N	1°32'55.91"W
49	52° 2'22.50"N	3°11'15.99"W
50	53°54'46.52"N	1°32'3.21"W
51	55°19'57.01"N	3°49'18.72"W
52	54°24'7.98"N	6°27'13.54"W
53	53°36'10.50"N	7° 2'35.85"W

12.7.pielikums. Klimata faktoru ietekmes novērtējums uz savairošanās platību

Buppin:

```
##           Loading           required           package:           lattice
##           Loading           required           package:           grid
##           Loading           required           package:           colorspace
##
##           Attaching           package:           'effects'
##
## The following object is masked from 'package:car':
##
## Prestige
##
## Generalized least squares fit by REML
## Model: Buppin ~ gads + MeanTMean8_10 + TotalPrecipitation8_10 + Conce
cutiveDaysWithoutPrctp8_10 + snowfall11_4 + FrostDays11_4
##
## Data: klim_datil
##
## AIC BIC logLik
## 110.9982 126.6372 -46.49911
##
## Correlation Structure: AR(1)
## Formula: ~gads
## Parameter estimate(s):
## Phi
## 0.008593633
##
## Coefficients:
## Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept) -44.67127 8.941329 -4.996044 0.0000
## gads 0.02940 0.004689 6.269238 0.0000
## MeanTMean8_10 -0.01291 0.093179 -0.138509 0.8905
## TotalPrecipitation8_10 0.00104 0.000946 1.093864 0.2802
## ConcecutiveDaysWithoutPrctp8_10 -0.00375 0.027688 -0.135558 0.8928
## snowfall11_4 -0.00039 0.001561 -0.251077 0.8030
## FrostDays11_4 0.00373 0.006004 0.622129 0.5372
##
## Correlation:
## (Intr) gads MTM8_1 TP8_10 CDWP8_ sn11_
4
## gads -0.986
## MeanTMean8_10 0.206 -0.352
## TotalPrecipitation8_10 0.309 -0.374 0.312
## ConcecutiveDaysWithoutPrctp8_10 0.110 -0.136 0.013 0.241
## snowfall11_4 -0.145 0.149 0.015 -0.079 -0.033
## FrostDays11_4 -0.196 0.140 -0.008 0.134 -0.074 -0.42
2
##
## Standardized residuals:
## Min Q1 Med Q3 Max
## -2.36230264 -0.70183593 -0.04748271 0.73498352 2.00406945
## Residual standard error: 0.3894571
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Panfla:

No analīzes izslēgts viens („izlecošs”) novērojums ar ļoti zemu vērtību.

```
## Generalized least squares fit by REML
## Model: Panfla ~ gads + MeanTMean4_6 + TotalPrecipitation5_6 + Concecu
tiveDaysWithoutPrcp4_5 + snowfall8_4 + FrostDays8_4
## Data: subset(klim_datil, Panfla > 12)
## AIC BIC logLik
## 95.63586 111.058 -38.81793
##
## Correlation Structure: ARMA(1,0)
## Formula: ~gads
## Parameter estimate(s):
## Phi1
## 0.4843632
##
## Coefficients:
## Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept) -58.07569 12.514353 -4.640727 0.0000
## gads 0.03603 0.006236 5.777274 0.0000
## MeanTMean4_6 0.03434 0.064614 0.531468 0.5980
## TotalPrecipitation5_6 -0.00172 0.001036 -1.657066 0.1051
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp4_5 -0.02598 0.012661 -2.051866 0.0466
## snowfall8_4 0.00309 0.001253 2.464234 0.0180
## FrostDays8_4 0.00094 0.004270 0.220538 0.8265
##
## Correlation:
## (Intr) gads MTM4_6 TtP5_6 CDWP4_ snw8_4
## gads -0.997
## MeanTMean4_6 -0.124 0.048
## TotalPrecipitation5_6 0.109 -0.118 0.042
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp4_5 -0.005 -0.021 0.192 0.129
## snowfall8_4 -0.037 0.051 -0.110 -0.093 -0.002
## FrostDays8_4 -0.187 0.151 0.186 -0.199 -0.003 -0.424
##
## Standardized residuals:
## Min Q1 Med Q3 Max
## -1.687793398 -0.650007448 0.008354393 0.578929432 1.935091170
##
## Residual standard error: 0.3756204
## Degrees of freedom: 48 total; 41 residual
```


Dippin:

```
## Generalized least squares fit by REML
## Model: Dippin ~ gads + MeanTMean5_9 + TotalPrecipitation5_9 + Concecu
tiveDaysWithoutPrcp5_9 + snowfall10_4 + FrostDays10_4
## Data: klim_datil
## AIC BIC logLik
## 102.1608 117.7998 -42.08041
##
## Correlation Structure: AR(1)
## Formula: ~gads
## Parameter estimate(s):
## Phi
## -0.0556537
##
## Coefficients:
## Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept) -71.04993 8.119295 -8.750752 0.0000
## gads 0.04289 0.003997 10.731086 0.0000
## MeanTMean5_9 -0.03688 0.118744 -0.310622 0.7576
## TotalPrecipitation5_9 0.00012 0.000729 0.160315 0.8734
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp5_9 -0.02278 0.038768 -0.587482 0.5600
## snowfall10_4 -0.00173 0.001383 -1.248013 0.2189
## FrostDays10_4 0.00727 0.005342 1.361261 0.1807
##
## Correlation:
## (Intr) gads MTM5_9 TtP5_9 CDWP5_ sn10_4
## gads -0.968
## MeanTMean5_9 -0.207 -0.033
## TotalPrecipitation5_9 0.055 -0.070 -0.068
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp5_9 0.377 -0.385 -0.126 -0.101
## snowfall10_4 -0.107 0.109 0.012 0.038 0.071
## FrostDays10_4 -0.343 0.303 0.013 0.118 -0.259 -0.357
##
## Standardized residuals:
## Min Q1 Med Q3 Max
## -2.4698718 -0.6035728 0.1296202 0.7994153 1.3711717
##
## Residual standard error: 0.355287
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Ipstyp:

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Ipstyp ~ gads + MeanTMean4_5 + MeanTMean8 + ConcecutiveDaysWit
houtPrcp5_9      +      WindSpeedSkaitS      +      FrostDays10_4
##                                     Data:      klim_datil
##                                     AIC      BIC      logLik
##                                     98.72921      114.3682      -40.3646
##
##      Correlation      Structure:      AR(1)
##                                     Formula:      ~gads
##                                     Parameter      estimate(s):
##                                     Phi
##                                     0.581646
##
##                                     Coefficients:
##                                     Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept)      -55.10331 18.516023 -2.975980 0.0048
## gads      0.03457 0.009330 3.705948 0.0006
## MeanTMean4_5      0.02804 0.051585 0.543618 0.5896
## MeanTMean8      0.06542 0.049336 1.325905 0.1920
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp5_9      0.01557 0.038502 0.404370 0.6880
## WindSpeedSkaitS      0.01408 0.048551 0.289998 0.7732
## FrostDays10_4      0.00362 0.004474 0.809792 0.4226
##
##                                     Correlation:
##                                     (Intr) gads MTM4_5 MnTMn8 CDWP5_ WndSpS
## gads      -0.997
## MeanTMean4_5      -0.088 0.050
## MeanTMean8      0.087 -0.130 -0.026
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp5_9      0.096 -0.122 0.122 0.022
## WindSpeedSkaitS      -0.062 0.042 0.054 -0.213 -0.009
## FrostDays10_4      -0.173 0.145 0.165 -0.057 0.015 0.149
##
##      Standardized      residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
## -1.94577911 -0.50446830 0.05308591 0.67033798 1.81836316
##
##      Residual      standard      error:      0.5022874
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Rhybuo:

```
## Generalized least squares fit by REML
## Model: Rhybuo ~ gads + MeanTMean7_8 + TotalPrecipitation7_8 + RelativeHumidity7 + WindSpeed7_8 + ConcecutiveDaysWithoutPrcp7_8
## Data: klim_datil
## AIC BIC logLik
## 74.68668 90.32571 -28.34334
##
## Correlation Structure: AR(1)
## Formula: ~gads
## Parameter estimate(s): Phi
## -0.0242357
##
## Coefficients:
## Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept) -76.96086 6.150210 -12.513533 0.0000
## gads 0.04282 0.002930 14.611520 0.0000
## MeanTMean7_8 -0.04005 0.054108 -0.740170 0.4633
## TotalPrecipitation7_8 -0.00025 0.000826 -0.298772 0.7666
## RelativeHumidity7 0.04838 0.035112 1.377832 0.1756
## WindSpeed7_8 0.10366 0.080332 1.290426 0.2040
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp7_8 -0.01843 0.014816 -1.243888 0.2204
##
## Correlation:
## (Intr) gads MTM7_8 TtP7_8 RltvH7 WnS7_8
## gads -0.893
## MeanTMean7_8 -0.042 -0.149
## TotalPrecipitation7_8 0.193 -0.073 0.033
## RelativeHumidity7 -0.356 -0.057 0.094 -0.182
## WindSpeed7_8 -0.067 -0.039 -0.155 -0.518 0.001
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp7_8 -0.041 0.017 -0.066 -0.243 -0.051 0.276
##
## Standardized residuals:
## Min Q1 Med Q3 Max
## -2.47942591 -0.41854995 -0.02810273 0.51794060 2.26022999
##
## Residual standard error: 0.2900544
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Lymdis:

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Lymdis ~ gads + MeanTMean4_7 + MeanTMax6_7 + NbDaysWithPrcp4_7
##      +      WindSpeed4_5      +      MeanTMin10_3
##      Data:      klim_datil
##      AIC      BIC      logLik
##      208.5282      224.1673      -95.26411
##
##      Correlation      Structure:      AR(1)
##      Formula:      ~gads
##      Parameter      estimate(s):
##      Phi
##      0.8677434
##
##      Coefficients:
##      Value Std.Error t-value p-value
##      (Intercept)      -237.81808      180.87650      -1.3148092      0.1957
##      gads      0.12640      0.09103      1.3885549      0.1723
##      MeanTMean4_7      0.54168      0.37158      1.4577684      0.1523
##      MeanTMax6_7      -0.56029      0.23310      -2.4036926      0.0207
##      NbDaysWithPrcp4_7      0.23278      0.17069      1.3637136      0.1799
##      WindSpeed4_5      0.18766      0.24666      0.7608210      0.4510
##      MeanTMin10_3      -0.04471      0.18997      -0.2353802      0.8151
##
##      Correlation:
##      (Intr) gads      MTM4_7      MTM6_7      NDWP4_      WnS4_5
##      gads      -0.999
##      MeanTMean4_7      -0.028      0.008
##      MeanTMax6_7      -0.025      0.009      -0.369
##      NbDaysWithPrcp4_7      0.039      -0.048      -0.041      0.137
##      WindSpeed4_5      0.017      -0.028      0.112      -0.271      -0.062
##      MeanTMin10_3      0.046      -0.043      -0.232      0.138      -0.041      0.028
##
##      Standardized      residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
##      -1.58665461      -0.63012148      -0.07597953      0.67854409      1.55809128
##
##      Residual      standard      error:      3.394078
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Lymmon:

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Lymmon ~ gads + MeanTMean4_7 + MeanTMax6_7 + NbDaysWithPrcp4_7
##      +      WindSpeed4_5      +      MeanTMin10_3
##      Data:      klim_datil
##      AIC      BIC      logLik
##      208.2455      223.8845      -95.12276
##
##      Correlation      Structure:      AR(1)
##      Formula:      ~gads
##      Parameter      estimate(s):
##      Phi
##      0.8665005
##
##      Coefficients:
##      Value Std.Error t-value p-value
##      (Intercept)      -237.09480 179.14787 -1.3234587 0.1928
##      gads      0.12568 0.09016 1.3938856 0.1707
##      MeanTMean4_7      0.53520 0.37050 1.4445662 0.1560
##      MeanTMax6_7      -0.56619 0.23240 -2.4362226 0.0192
##      NbDaysWithPrcp4_7      0.23141 0.17019 1.3597147 0.1812
##      WindSpeed4_5      0.17720 0.24593 0.7205291 0.4752
##      MeanTMin10_3      -0.02789 0.18941 -0.1472329 0.8837
##
##      Correlation:
##      (Intr) gads      MTM4_7 MTM6_7 NDWP4_ WnS4_5
##      gads      -0.999
##      MeanTMean4_7      -0.029 0.008
##      MeanTMax6_7      -0.025 0.009 -0.369
##      NbDaysWithPrcp4_7      0.039 -0.048 -0.041 0.138
##      WindSpeed4_5      0.017 -0.028 0.112 -0.271 -0.062
##      MeanTMin10_3      0.046 -0.044 -0.232 0.138 -0.041 0.028
##
##      Standardized      residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
##      -1.60327816 -0.63658137 -0.08384551 0.67929406 1.55402862
##
##      Residual      standard      error:      3.367451
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Melpop:

No analīzes izslēgti divi novērojumi.

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Melpop ~ gads + MeanTMean4_10 + MeanTMax6_7 + NbDaysWithPrcp6_
7      +      snowfall10_3      +      ConcecutiveDaysWithoutPrcp8_9
##      Data:      subset(klim_datiL,      Melpop      >      10)
##      AIC      BIC      logLik
##      88.25379      103.4537      -35.1269
##
##      Correlation      Structure:      ARMA(1,0)
##      Formula:      ~gads
##      Parameter      estimate(s):
##      Phil
##      0.4371384
##
##      Coefficients:
##      Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept) -63.53613 12.596386 -5.043997 0.0000
## gads 0.03707 0.006291 5.892663 0.0000
## MeanTMean4_10 0.02703 0.139734 0.193437 0.8476
## MeanTMax6_7 0.07278 0.065437 1.112192 0.2727
## NbDaysWithPrcp6_7 0.03100 0.029707 1.043371 0.3030
## snowfall10_3 -0.00103 0.001281 -0.802039 0.4273
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp8_9 0.00077 0.021280 0.036338 0.9712
##
##      Correlation:
##      (Intr) gads MTM4_1 MTM6_7 NDWP6_ sn10_3
## gads -0.986
## MeanTMean4_10 -0.014 -0.098
## MeanTMax6_7 -0.128 0.069 -0.426
## NbDaysWithPrcp6_7 -0.162 0.122 -0.159 0.402
## snowfall10_3 -0.163 0.131 0.022 0.173 0.086
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp8_9 0.051 -0.069 0.097 -0.110 -0.077 -0.090
##
##      Standardized      residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
## -2.70003423 -0.76131311 -0.01170562 0.73617217 1.83100128
##
##      Residual      standard      error:      0.3980778
## Degrees of freedom: 47 total; 40 residual
```

12.8.pielikums. Klimata faktoru ietekmes novērtējums uz savairošanās platības attiecību pret savairošanās gadījumu skaitu

Buppin:

```
##          Loading          required          package:          lattice
##          Loading          required          package:          grid
##          Loading          required          package:          colorspace
##
##          Attaching          package:          'effects'
##
## The following object is masked from 'package:car':
##
## Prestige
##
## Generalized least squares fit by REML
## Model: Buppin ~ gads + MeanTMean8_10 + TotalPrecipitation8_10 + Conce
cutiveDaysWithoutPrcp8_10 + snowfall11_4 + FrostDays11_4
##          Data:          klim_attiel
##          AIC          BIC          logLik
##          -66.40886          -50.76983          42.20443
##
##          Correlation          Structure:          AR(1)
##          Formula:          ~gads
##          Parameter          estimate(s):
##          Phi
##          0.6229998
##
##          Coefficients:
##          Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept)          -8.374438 2.3639842 -3.542510 0.0010
## gads          0.008416 0.0011983 7.023479 0.0000
## MeanTMean8_10          0.010515 0.0098405 1.068531 0.2914
## TotalPrecipitation8_10          0.000094 0.0001033 0.907268 0.3694
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp8_10          0.001855 0.0030581 0.606611 0.5474
## snowfall11_4          -0.000188 0.0001786 -1.054038 0.2979
## FrostDays11_4          -0.000348 0.0006188 -0.562294 0.5769
##
##          Correlation:
##          (Intr) gads MTM8_1 TP8_10 CDWP8_ sn11_
4
## gads          -0.998
## MeanTMean8_10          0.081 -0.145
## TotalPrecipitation8_10          0.126 -0.155 0.290
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp8_10          0.009 -0.019 -0.027 0.009
## snowfall11_4          -0.036 0.040 0.034 -0.125 -0.061
## FrostDays11_4          -0.068 0.045 0.041 0.231 -0.016 -0.51
4
##
##          Standardized          residuals:
##          Min          Q1          Med          Q3          Max
## -1.8151203 -0.6958518 -0.1161588 0.6932063 2.4861675
##
## Residual standard error: 0.06151229
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Panfla:

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Panfla ~ gads + MeanTMean4_6 + TotalPrecipitation5_6 + Concecu
tiveDaysWithoutPrcp4_5 + snowfall8_4 + FrostDays8_4
##                                     Data: klim_attieL
##                                     AIC      BIC      logLik
##                                     95.85551      111.4945      -38.92776
##
##      Correlation      Structure:      AR(1)
##                                     Formula: ~gads
##                                     Parameter      estimate(s):
##                                     Phi
##                                     0.04212141
##
##                                     Coefficients:
##                                     Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept)      -19.503050      7.406719 -2.633156      0.0118
## gads      0.013478      0.003632      3.710526      0.0006
## MeanTMean4_6      0.082829      0.066605      1.243591      0.2205
## TotalPrecipitation5_6      -0.001798      0.001094      -1.643945      0.1077
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp4_5      0.008892      0.013097      0.678892      0.5009
## snowfall8_4      -0.000942      0.001276      -0.738074      0.4646
## FrostDays8_4      0.001207      0.004682      0.257914      0.7977
##
##                                     Correlation:
##                                     (Intr) gads      MTM4_6 TtP5_6 CDWP4_ snw8_4
## gads      -0.991
## MeanTMean4_6      -0.168      0.043
## TotalPrecipitation5_6      0.106      -0.134      0.088
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp4_5      0.053      -0.074      0.010      0.200
## snowfall8_4      -0.122      0.140      -0.065      -0.049      0.013
## FrostDays8_4      -0.287      0.238      0.073      -0.128      -0.093      -0.371
##
##      Standardized      residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
## -5.7575512      -0.1769691      0.1180934      0.3988944      1.2390609
##
##      Residual      standard      error:      0.3231393
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```


Dippin:

No analīzes izslēgts viens novērojums.

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Dippin ~ gads + MeanTMean5_9 + TotalPrecipitation5_9 + Concecu
tiveDaysWithoutPrcp5_9 + snowfall10_4 + FrostDays10_4
##      Data:      subset(klim_attiel,      Dippin      <      9.5)
##      AIC      BIC      logLik
##      -3.071838      12.35031      10.53592
##
##      Correlation      Structure:      ARMA(1,0)
##      Formula:      ~gads
##      Parameter      estimate(s):
##      Phil
##      0.3062459
##
##      Coefficients:
##      Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept)      -9.969880 3.0382883 -3.281413 0.0021
## gads      0.008944 0.0015201 5.883575 0.0000
## MeanTMean5_9      0.038289 0.0335922 1.139809 0.2610
## TotalPrecipitation5_9      0.000174 0.0001969 0.884404 0.3816
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp5_9      -0.012844 0.0104388 -1.230406 0.2256
## snowfall10_4      -0.000481 0.0003954 -1.215659 0.2311
## FrostDays10_4      -0.001927 0.0013824 -1.393643 0.1709
##
##      Correlation:
##      (Intr) gads      MTM5_9 TtP5_9 CDWP5_ sn10_4
## gads      -0.981
## MeanTMean5_9      -0.131 -0.059
## TotalPrecipitation5_9      0.027 -0.035 -0.057
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp5_9      0.207 -0.227 -0.047 -0.138
## snowfall10_4      -0.069 0.068 0.031 -0.057 0.042
## FrostDays10_4      -0.199 0.142 0.126 0.104 -0.110 -0.401
##
##      Standardized      residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
## -1.90378109 -0.58881810 -0.02717871 0.53261324 2.77220433
##
##      Residual      standard      error:      0.1056242
## Degrees of freedom: 48 total; 41 residual
```

Ipstyp:

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Ipstyp ~ gads + MeanTMean4_5 + MeanTMean8 + ConcecutiveDaysWit
houtPrcp5_9      +      WindSpeedSkaitS      +      FrostDays10_4
##                                     Data:      klim_attieL
##                                     AIC      BIC      logLik
##                                     60.2631      75.90213      -21.13155
##
##      Correlation      Structure:      AR(1)
##                                     Formula:      ~gads
##                                     Parameter      estimate(s):
##                                     Phi
##                                     0.1173192
##
##                                     Coefficients:
##                                     Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept)      -21.608567  6.609200 -3.269468  0.0022
## gads      0.014782  0.003330  4.439341  0.0001
## MeanTMean4_5      0.008093  0.035952  0.225094  0.8230
## MeanTMean8      0.078730  0.035011  2.248732  0.0298
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp5_9      0.033783  0.027287  1.238033  0.2226
## WindSpeedSkaitS      -0.011462  0.035214 -0.325493  0.7464
## FrostDays10_4      0.001711  0.003455  0.495354  0.6229
##
##                                     Correlation:
##                                     (Intr) gads MTM4_5 MnTMn8 CDWP5_ WndSpS
## gads      -0.991
## MeanTMean4_5      -0.173  0.109
## MeanTMean8      0.179 -0.254 -0.079
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp5_9      0.263 -0.301  0.096 -0.049
## WindSpeedSkaitS      -0.154  0.109  0.026 -0.204  0.028
## FrostDays10_4      -0.382  0.339  0.090 -0.148 -0.131  0.198
##
##      Standardized      residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
## -1.2472843 -0.5566290 -0.2201983  0.2256865  4.3235715
##
##      Residual      standard      error:      0.2572505
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Rhybuo:

No analīzes izslēgts viens novērojums.

```
## Generalized least squares fit by REML
## Model: Rhybuo ~ gads + MeanTMean7_8 + TotalPrecipitation7_8 + RelativeHumidity7 + WindSpeed7_8 + ConcecutiveDaysWithoutPrpc7_8
## Data: subset(klim_attiel, Rhybuo > 5.5)
## AIC BIC logLik
## -28.02142 -12.59927 23.01071
##
## Correlation Structure: ARMA(1,0)
## Formula: ~gads
## Parameter estimate(s):
## Phil
## 0.4352049
##
## Coefficients:
## Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept) -14.860349 2.9682660 -5.006407 0.0000
## gads 0.010498 0.0014608 7.186142 0.0000
## MeanTMean7_8 0.006993 0.0149489 0.467803 0.6424
## TotalPrecipitation7_8 0.000184 0.0002341 0.785360 0.4368
## RelativeHumidity7 0.000694 0.0093725 0.074019 0.9414
## WindSpeed7_8 -0.005096 0.0217419 -0.234390 0.8158
## ConcecutiveDaysWithoutPrpc7_8 -0.005696 0.0042088 -1.353402 0.1833
##
## Correlation:
## (Intr) gads MTM7_8 TtP7_8 RltvH7 WnS7_8
## gads -0.963
## MeanTMean7_8 -0.047 -0.091
## TotalPrecipitation7_8 0.139 -0.038 -0.123
## RelativeHumidity7 -0.233 -0.012 0.191 -0.253
## WindSpeed7_8 -0.048 -0.044 -0.042 -0.522 0.112
## ConcecutiveDaysWithoutPrpc7_8 -0.070 0.012 0.210 -0.412 0.052 0.221
##
## Standardized residuals:
## Min Q1 Med Q3 Max
## -1.721010820 -0.758838490 -0.004690368 0.702357410 2.336486101
##
## Residual standard error: 0.09378507
## Degrees of freedom: 48 total; 41 residual
```

Lymdis:

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Lymdis ~ gads + MeanTMean4_7 + MeanTMax6_7 + NbDaysWithPrcp4_7
+                               WindSpeed4_5 + MeanTMin10_3
##                               Data:      klim_attieL
##                               AIC      BIC      logLik
##                               202.0051      217.6442      -92.00257
##
##      Correlation      Structure:      AR(1)
##                               Formula:      ~gads
##                               Parameter      estimate(s):
##                               Phi
##                               0.8799451
##
##                               Coefficients:
##                               Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept)      -196.70822  178.29564 -1.1032699  0.2762
## gads      0.10261  0.08974  1.1434508  0.2593
## MeanTMean4_7      0.49853  0.34237  1.4560977  0.1528
## MeanTMax6_7      -0.53746  0.21485 -2.5014951  0.0164
## NbDaysWithPrcp4_7      0.28970  0.15731  1.8415219  0.0726
## WindSpeed4_5      0.18195  0.22729  0.8005077  0.4279
## MeanTMin10_3      -0.04317  0.17500 -0.2467112  0.8063
##
##                               Correlation:
##      (Intr) gads      MTM4_7 MTM6_7 NDWP4_ WnS4_5
##      gads      -0.999
##      MeanTMean4_7      -0.025  0.006
##      MeanTMax6_7      -0.026  0.011 -0.370
##      NbDaysWithPrcp4_7      0.040 -0.048 -0.040  0.136
##      WindSpeed4_5      0.018 -0.028  0.112 -0.272 -0.061
##      MeanTMin10_3      0.043 -0.040 -0.232  0.138 -0.040  0.027
##
##      Standardized      residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
##      -1.5691783 -0.7215269 -0.2199599  0.5611209  1.8285661
##
##      Residual      standard      error:      3.291128
## Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Lymmon:

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Lymmon ~ gads + MeanTMean4_7 + MeanTMax6_7 + NbDaysWithPrcp4_7
##      +                      WindSpeed4_5 +                      MeanTMin10_3
##      Data: klim_attieL
##      AIC                      BIC                      logLik
##      207.7124                      223.3514                      -94.85618
##
##      Correlation                      Structure:                      AR(1)
##      Formula: ~gads
##      Parameter                      estimate(s):
##      Phi
##      0.8585127
##
##      Coefficients:
##      Value Std.Error t-value p-value
##      (Intercept) -198.75584 171.16791 -1.1611747 0.2521
##      gads 0.10397 0.08614 1.2069467 0.2342
##      MeanTMean4_7 0.54060 0.36919 1.4642656 0.1506
##      MeanTMax6_7 -0.63137 0.23153 -2.7269928 0.0093
##      NbDaysWithPrcp4_7 0.28959 0.16957 1.7078086 0.0951
##      WindSpeed4_5 0.19254 0.24506 0.7857147 0.4364
##      MeanTMin10_3 -0.04749 0.18877 -0.2515511 0.8026
##
##      Correlation:
##      (Intr) gads MTM4_7 MTM6_7 NDWP4_ WnS4_5
##      gads -0.999
##      MeanTMean4_7 -0.031 0.009
##      MeanTMax6_7 -0.024 0.008 -0.369
##      NbDaysWithPrcp4_7 0.038 -0.048 -0.041 0.138
##      WindSpeed4_5 0.016 -0.027 0.112 -0.271 -0.062
##      MeanTMin10_3 0.049 -0.046 -0.232 0.138 -0.041 0.028
##
##      Standardized residuals:
##      Min Q1 Med Q3 Max
##      -1.67615106 -0.68584990 -0.09000255 0.59141169 1.72358526
##
##      Residual standard error: 3.253919
##      Degrees of freedom: 49 total; 42 residual
```

Melpop:

No analīzes izslēgti divi („izlecoši”) novērojumi ar zemu vērtību.

```
##      Generalized      least      squares      fit      by      REML
##      Model: Melpop ~ gads + MeanTMean4_10 + MeanTMax6_7 + NbDaysWithPrcp6_
7      +      snowfall10_3 +      ConcecutiveDaysWithoutPrcp8_9
##      Data:      subset(klim_attiel,      Melpop      >      5)
##      AIC      BIC      logLik
##      -7.996474      7.203441      12.99824
##
##      Correlation      Structure:      ARMA(1,0)
##      Formula:      ~gads
##      Parameter      estimate(s):
##      Phil
##      0.0294783
##
##      Coefficients:
##      Value Std.Error t-value p-value
## (Intercept)      -19.296432 2.4555670 -7.858239 0.0000
## gads      0.012333 0.0012055 10.230371 0.0000
## MeanTMean4_10      0.084225 0.0411499 2.046795 0.0473
## MeanTMax6_7      0.006257 0.0189670 0.329867 0.7432
## NbDaysWithPrcp6_7      0.031800 0.0098053 3.243149 0.0024
## snowfall10_3      -0.000189 0.0004013 -0.472110 0.6394
## ConcecutiveDaysWithoutPrcp8_9      0.010192 0.0061558 1.655708 0.1056
##
##      Correlation:
##      (Intr) gads      MTM4_1 MTM6_7 NDWP6_ sn10_3
##      gads      -0.964
##      MeanTMean4_10      -0.052 -0.136
##      MeanTMax6_7      -0.188 0.076 -0.329
##      NbDaysWithPrcp6_7      -0.323 0.258 -0.149 0.416
##      snowfall10_3      -0.304 0.267 -0.003 0.152 0.152
##      ConcecutiveDaysWithoutPrcp8_9      0.080 -0.097 0.018 -0.075 -0.015 -0.076
##
##      Standardized      residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
##      -1.94493020 -0.60425865 -0.02886391 0.53854992 2.99304528
##
##      Residual      standard      error:      0.1058591
## Degrees of freedom: 47 total; 40 residual
```