



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

L-KC-11-0004

Pārskats par pētījuma

# Metodes un tehnoloģijas meža kapitālvērtības palielināšanai

virziena

## Potenciālo klimata izmaiņu ietekmes vērtējums un kvantifikācija

7. aktivitātes rezultātu izpildi

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

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

2014.gada jūlijs

# Izpētes rezultātu par prognozēto klimata izmaiņu ietekmi uz koku pieaugumu veidošanos un lielumu tekstuāls un matemātisks apraksts

## Kopsavilkums

Pētījumā, izmantojot dendrohronoloģijas metodes, novērtēta klimatisko faktoru ietekme uz četrus vietējos (egle, priede, bērzs un melnalksnis) un trīs introducēto sugu (lapegle, dižskābardis un sarkanais ozols) gadskārtu platumu variēšanu. Klimatisko faktoru ietekme uz radiālā pieauguma veidošanos vietējām sugām bija savstarpēji atšķirīga, bet visām pētītajām introducētajām sugām – līdzīga. Bērza un melnalkšņa gadskārtu platums parādīja visvājākās saistības ar klimatiskajiem faktoriem, bet priedes un introducēto sugu gadskārtu variēšanu šie faktori ietekmēja visvairāk. Tomēr atšķirības būtisko klimatisko faktoru kopumā norādīja uz klimata pārmaiņu ietekmes atšķirībām starp sugām. Tā kā priedei un melnalksnim konstatētas pozitīvas saistības starp gadskārtu platumu un temperatūru, tad sagaidāms prognozēto klimata izmaiņu (pasiltināšanās) pozitīvs efekts uz šo sugu radiālo pieaugumu. Turpretim egles un introducēto koku sugu radiālo pieaugumu negatīvi varētu ietekmēt prognozētie biežākie bezlietus periodi, kombinācijā ar augstāku temperatūru nosakot biežāku mitruma deficītu, jo šīm koku sugām konstatēta cieša gadskārtu platumu saikne ar klimatiskajiem faktoriem, kas raksturo ūdens pieejamību. Turpmākos pētījumos lietderīgi pagarināt references periodu (gadskārtu hronoloģijas), lai vērtētu klimata-radiālā pieauguma saiknes plastiskumu.

## Saturs

Ievads.....	3
Materiāls un metodes.....	4
Rezultāti.....	8
Šķērsdatēšana un datu kopas .....	8
Gadskārtu platumu variēšanas līdzība .....	12
Gadskārtu platumu hronoloģiju saistības ar klimatiskajiem faktoriem.....	13
Diskusija.....	18
Šķērsdatēšana un datu kopas .....	18
Gadskārtu platumu variēšanas līdzība .....	18
Klimatisko faktoru ietekme uz gadskārtu platumu variēšanu .....	19
Gadskārtu platums nākotnes klimatā.....	22
Izmantotā literatūra.....	23

## Ievads

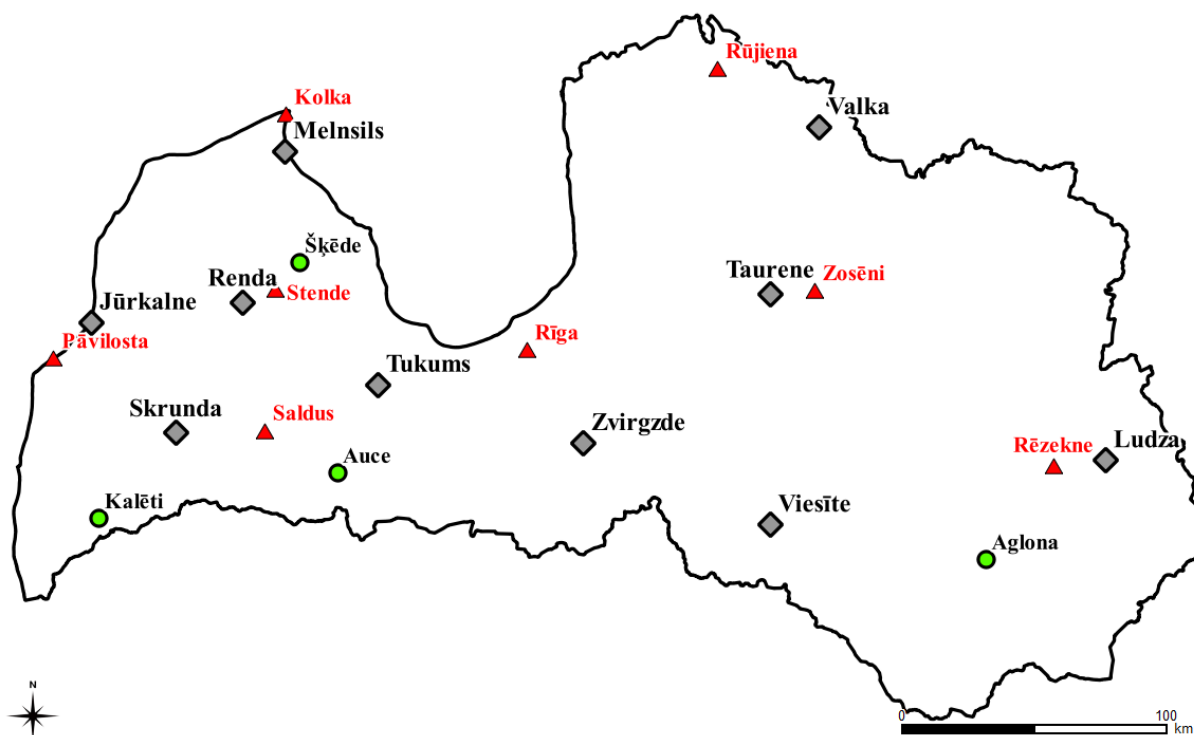
Klimats ir viens no galvenajiem faktoriem, kas nosaka veģetācijas attīstību, t. sk. arī kokaugu izplatību un produktivitāti (Sykes, Prentice, 1996; Thuiller, 2004; Walther et al., 2002). Mainoties klimatam, novēro izmaiņas meža ekosistēmās – gan esošo sugu produktivitātē, gan sugu sastāvā (Harrison et al., 2006; Kullman, 2008, Lindner et al., 2010). Nesen izstrādātie bioklimatiskie modeļi paredz, ka, 21. gs. klimatam kļūstot siltākam, Eiropā būs vērojama sugu migrācija, nemorālās sugas izplatīsies hemiboreālajā un boreālajā mežu zonā (Hickler et al., 2012; Maiorano et al., 2013), boreālā kompleksa sugas atspiežot tālāk uz ziemeļiem (Reich, Oleksyn, 2008). Līdz ar to ir sagaidāma liela mēroga veģetācijas nomaiņa, par ko liecina atsevišķu sugu izplatības un augšanas izmaiņas (Kullman, 2008; Walther et al., 2002). Lai arī klimata pārmaiņas var paaugstināt boreālo mežu ekosistēmu produktivitāti (Lindner et al., 2010), paaugstināta temperatūra var būt labvēlīga dažādu kaitēkļu attīstībai, tādējādi palielinot biotiskos riskus (Logan et al., 2003; Sturrock et al., 2011). Ņemot vērā iepriekš minēto, ir nepieciešamas izmaiņas meža apsaimniekošanas taktikā, lai mainīgā klimata apstākļos saglabātu mežaudžu produktivitāti un stabilitāti (Parry et al., 2007; Sturrock et al., 2011). Sugu, provenienču, kā arī hibrīdu, kuri ir potenciāli vispiemērotākie augšanai nākotnes klimatiskajos apstākļos, izmantošana uzskatāma par vienu no veidiem, kā saglabāt un paaugstināt mežaudžu produktivitāti un vērtību (Bright et al., 2014; Burton, 2011). Tomēr koku augšanas un vides apstākļu sakarības var būt laikā mainīgas; tās var ietekmēt koku vecums, audzes struktūras izmaiņas (kopšana, pašizretināšanās), kā arī pašu klimatisko faktoru komplekss (Carrer, Urbinati, 2006; Rozas, 2005; Wilmking et al., 2004). Detāla informācija par koku augšanas un klimatisko faktoru saistību ir nepieciešama, lai izstrādātu pamatotas rekomendācijas klimata iespējamās negatīvās ietekmes mazināšanai.

Informāciju par koku augšanas saistību ar dažādiem vides faktoriem var sniegt gadskārtu analīze (Schweingruber, 1996; Speer, 2010). Vides faktori ietekmē koka augšanu un koksnes pieaugumu, tātad arī gadskārtu platumu (Pallardy, 2008; Schweingruber, 1996). Tādējādi koka gadskārtas var uzskatīt par vides ietekmes arhīvu, kas uzkrāj informāciju par augšanas apstākļiem koka mūža laikā. Nozīmīgāko ietekmi uz gadskārtu platumu atstāj faktors, kurš konkrētajā laika momentā ir bijis limitējošs (Speer, 2010). Veicot retrospektīvu analīzi, ir iespējams noteikt, kuri faktori ir būtiski koku augšanai, un, balstoties uz šo informāciju, prognozēt iespējamās augšanas tendences (Fritts, 2001; Speer, 2010). Šādās analīzēs tiek pieņemts, ka augšanu ir ietekmējis kāds konkrēts faktors, kura ietekme ir bijusi konstanta (Speer, 2010). Tomēr ir zināms, ka koku augšanas un vides faktoru saistības ir laikā mainīgas (Carrer, Urbinati, 2006; Matisons et al., 2012); tas jāņem vērā, veicot nākotnes prognozes.

Darba mērķis bija raksturot radiālā pieauguma un klimatisko faktoru saistības Latvijā izplatītākajām koku sugām – priedei, eglei, bērzam un melnalksnim, kā arī potenciālām mežsaimniecībā pielietojamām introducētām sugām – dižskābardim, lapeglei un sarkanajam ozolam. Mērķa sasniegšanai izvirzīti vairāki uzdevumi: 1) ievākt materiālu, kas atspoguļotu izplatītāko vietējo koku sugu augšanas gaitu Latvijā, 2) ievākt materiālu, kas raksturotu introducēto koku sugu augšanas gaitu, 3) raksturot vietējo un introducēto sugu augšanas līdžību, 4) raksturot klimatisko faktoru un radiālā pieauguma saikni. Pētījumā izvirzīta hipotēze, ka introducēto sugu radiālā pieauguma (gadskārtu platuma) mainība, reaģējot uz dažādu klimatisko faktoru svārstībām, atšķiras no izplatītākajām vietējām koku sugām konstatējamās.

## Materiāls un metodes

Pētījuma materiāls kopumā ievākts 45 parauglaukumos. Apsekojamo teritoriju izvietojums izvēlēts tā, lai raksturotu klimatisko apstākļu dažādību Latvijā. Katrai no apskatītajām vietējām sugām (priede, bērzs, egļe un melnalksnis) materiāls ievākts desmit vietās Latvijā (1. att.); katrā vietā atsevišķo koku sugu audzes izvēlētas iespējami tuvu viena otrai, lai nodrošinātu nemainīgu tās ietekmējošo klimatisko faktoru kopumu. Pētījumam atlasītas tās audzes, kuru vecums paraugu ievākšanas brīdī bija 70-110 gadi. Materiāls introducētajām sugām (sarkanais ozols, dižskābardis un lapegļe) ievākts eksperimentālajos stādījumos pie Šķēdes (Laucienes novads), pie Vecauces (Auces novads), kā arī stādījumos pie Kalētiem (Priekules novads) un Aglonas dzelzceļa stacijas (Riebiņu novads). Detalizēts parauglaukumu raksturojums ietverts 1. tabulā.



1. att. Pētījuma teritoriju izvietojums.

Apzīmējumi:

pelēkie – vietējo sugu parauglaukumi;

zaļie – introducēto sugu parauglaukumi;

sarkanie – meteoroloģisko novērojumu stacijas.

Paraugi (pieauguma urbumi) ievākti no pirmā stāva (dominantajiem) kokiem 1,3 m augstumā ar 5 mm Preslera svārpstu; katram kokam no pretējām stumbra pusēm ievākti divi urbumi. Paraugi vietējām sugām (priede, egļe, bērzs un melnalksnis), lapegļei, kā arī sarkanajam ozolam Auces parauglaukumos ievākti no 20 kokiem, bet dižskābardim un sarkanajam ozolam (Šķēdē un Aglonā) apsekoto koku skaits parauglaukumā bija zemāks – attiecīgi 10, 7 un 10 koki.

## Parauglaukumu atrašanās vietas

Vieta	Koordinātas (ETRS89 BalticTM)		Novads	Mežniecība	Kvartāls, nogabals	Meža tips
	x	y				
<b>Egle</b>						
Jūrkalne	342302	6323098	Ventspils	Ventspils	224, 2	Dm
Ludza	724893	6271019	Ludzas	Ludzas	216, 15	Dm
Melnšils	415308	6387634	Rojas	Vandzenes	149, 8	Dm
Renda	399489	6330688	Kuldīgas	Pārventas	179, 14	Ln
Skrunda	374264	6281395	Skrundas	Skrundas	261, 9	Dm
Taurene	598486	6333837	Vecpiebalgas	Taurenes	324, 7	Dm
Tukums	450329	6299567	Tukuma	Tukuma	424, 8	Ap
Valka	617036	6396784	Valkas	Valkas	143, 17	Kp
Viesīte	598323	6246711	Viesītes	Viesītes	1, 9	Dm
Zvirgzde	527869	6277492	Vecumnieku	Vecumnieku	343, 28	Dm
<b>Priede</b>						
Jūrkalne	342873	6321935	Ventspils	Ventspils	234, 9	Dm
Ludza	721509	6267408	Ludzas	Ludzas	1, 5	Nd
Melnšils	415326	6387920	Rojas	Vandzenes	149, 13	Ln
Renda	399238	6330548	Kuldīgas	Pārventas	178, 1	Dm
Skrunda	374428	6281471	Skrundas	Skrundas	261, 10	Ln
Taurene	597213	6334011	Vecpiebalgas	Taurenes	1, 3	Dm
Tukums	450644	6300125	Tukuma	Tukuma	419, 6	Mrs
Valka	616785	6396927	Valkas	Valkas	143, 9	Am
Viesīte	598034	6246609	Viesītes	Viesītes	1, 8	Dm
Zvirgzde	527731	6280281	Vecumnieku	Vecumnieku	223, 1	Ln
<b>Bērzs</b>						
Jūrkalne	345200	6321833	Ventspils	Ventspils	235, 16	As
Ludza	722740	6266901	Ludzas	Ludzas	7, 4	Nd
Melnšils	411777	6386937	Dundagas	Dundagas	144, 2	Ap
Renda	398488	6329706	Kuldīgas	Pārventas	177, 14	Dm
Skrunda	373416	6280871	Skrundas	Skrundas	259, 11	Dm
Taurene	598324	6334036	Vecpiebalgas	Taurenes	2, 2	Dm
Tukums	449725	6299587	Tukuma	Tukuma	423, 12	Dm
Valka	615316	6396866	Valkas	Valkas	140, 19	Vr
Viesīte	599400	6246916	Viesītes	Viesītes	234, 11	Dm
Zvirgzde	527419	6281070	Vecumnieku	Vecumnieku	205, 28	Dm

## 1. tabulas turpinājums

Vieta	Koordinātas (ETRS89 BalticTM)		Novads	Mežniecība	Kvartāls, nogabals	Meža tips
<b>Melnalksnis</b>						
Jūrkalne	345036	6321092	Ventspils	Ventspils	239, 20	As
Ludza	722659	6266808	Ludzas	Ludzas	7, 6	Db
Melnšils	411538	6386849	Dundagas	Dundagas	143, 6	Db
Renda	399237	6330657	Kuldīgas	Pārventas	649, 12	Nd
Skrunda	373903	6281243	Skrundas	Skrundas	260, 1	Vrs
Taurene	596856	6332770	Vecpiebalgas	Taurenes	1, 16	Db
Tukums	454233	6293432	Tukuma	Tukuma	1, 4	Vr
Valka	615316	6396866	Valkas	Valkas	140, 20	Db
Viesīte	599497	6247518	Viesītes	Viesītes	231,9	Db
Zvirgzde	527614	6280245	Vecumnieku	Vecumnieku	223, 4	Kp
<b>Dīžskābardis</b>						
Kalēti	345108	6248891	Priekules	Vaiņodes	354, 8	Dm
<b>Lapegle</b>						
Auce	435038	6263718	Auces	Dobeles	16, 22	Dm
<b>Sarkanais ozols</b>						
Auce	431546	6263132	Auces	Dobeles	21, 16	Vr
Šķēde	420850	6345596	Talsu	Talsu	20, 11	Vr
Aglona	679772	6233541	Riebiņu	Preiļu	263, 7	Gr

Ievāktie koksnes paraugi laboratorijā izžāvēti līdz gaissausam stāvoklim un ielīmēti fiksācijas planšetēs. Nostiprinātie (ielīmētie) paraugi slīpēti ar atšķirīga raupjuma smilšpapīru (no 100 līdz 500 graudi uz collu), izmantojot vibrācijas slīpmašīnu Makita BO3710. Gadskārtu platums mērīts, izmantojot mērīšanas sistēmu LINTAB 5 (RinnTECH), kas ietver Leica MS5 mikroskopu un TSAP datorprogrammu. Gadskārtu platums mērīts ar 0,01 mm precizitāti.

Meteoroloģiskie dati (mēneša vidējā temperatūra un nokrišņu summa) iegūti no astoņām Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas Centra (LVĢMC) meteostacijām (1. att.). Koku augšanas un klimatisko faktoru analīzēs izmantoti dati no parauglaukumiem vistuvāk esošajām meteoroloģisko novērojumu stacijām (2. tab.). Vērtēta meteoroloģisko faktoru ietekme periodā no iepriekšējā gada jūlija līdz oktobrim gadskārtas veidošanās gadā; šāda perioda izvēles pamatotība pierādīta iepriekšējos pētījumos (Carrer, Urbinati, 2006; Matisons et al., 2012; Rozas, 2005).

Lai nodrošinātu augstu datu kvalitāti un ticamību, visas nomērītās gadskārtu platumu rindas šķērsdatētas un to kvalitāte pārbaudīta grafiski un statistiski, izmantojot COFECHA (Grissino-Mayer, 2001) datorprogrammu (40 gadus gari segmenti ar 10 gadu pārklāšanos). Paraugu mērījumu rindas, kas uzrādīja zemu sinhronitāti ar citām mērījumu rindām parauglaukumā tika atmetas. Šķērsdatētas paraugu rindas apvienotas koku vidējā gadskārtu platumā rindās un to sinhronitāte atkārtoti pārbaudīta. Datu kopu raksturošanai aprēķināti *Expressed population signal* (EPS) (Wigley et al., 1984), sinhronitātes (Gleichläufigkeit (GLK)), starprindu korelācijas, autokorelācijas un vidējās jutības (Speer, 2010) koeficienti. Aprēķiniem izmantota COFECHA un R programma ar paketi “dplR” (Bunn, 2008). No šķērsdatētajām koku gadskārtu platumu rindām katram parauglaukumam izveidotas atlikumu

hronoloģijas. Hronoloģiju izveide veikta, lai noņemtu vecuma un iepriekšējās augšanas ietekmi uz augšanas mainību, tādējādi izceļot ikgadējo mainību un to ietekmējošo faktoru nozīmi. Hronoloģiju izveidi veica ar ARSTAN programmu (Cook, Holmes, 1986), izmantojot dubulto detrendēšanu (negatīvā eksponenciālā un trešās pakāpes līknes (viļņa garums 128 gadi un 50 % mainības saglabāšana)) un autoregresīvo modeli (autokorelācijas noņemšana). Saistības starp vienas sugas hronoloģijām noteiktas ar Pīrsona korelācijas analīzi.

2. tabula

Klimata-augšanas analīzēs izmantoto klimatisko datu avots (meteoroloģisko novērojumu stacija) pa apsekotajām teritorijām (parauglaukumiem)

Parauglaukumi	Meteoroloģisko datu avots (meteostacija)
Melnšils	Kolka
Jūrkalne	Pāvilosta
Aglona, Ludza	Rēzekne
Tukums, Viesīte, Zvirgzde	Rīga
Valka	Rūjiena
Auce, Kalēti, Skrunda	Saldus
Renda, Šķēde	Stende
Taurene	Zosēni

Augšanas gaitas līdzības noteikšanai starp parauglaukumiem un apskatītajām sugām veikta galveno komponentu analīze (PCA) (McCune, Mefford, 1999). Par pamatu ņemtas parauglaukumu (audžu) gadskārtu atlikumu hronoloģiju indeksu vērtības 60 gadu garam laika posmam no 1950. līdz 2009. gadam. Šāds laika posms izvēlēts, jo tas bija kopīgs visām izveidotajām hronoloģijām, kas ir priekšnosacījums PCA analīzes veikšanai (datu matricā nav pieļaujamas iztrūkstošas vērtības). Hronoloģiju indeksu vērtības izmantotas kā mainīgie (*variable*) un parauglaukumi izmantoti kā paraugi (*sample*). Galveno komponentu būtiskums novērtēts, izmantojot randomizācijas testu ar 10000 iterācijām. Analīze veikta programmā R v. 3.0.2. (R Core Team, 2013) izmantojot “vegan” paketi (Oksanen et al., 2013). Parametri, kas raksturoja datu kopas (vidējā gadskārtu jutība, starprindu korelācija, autokorelācija, EPS un sinhronitāte (GLK), gadskārtu platumu izkliedes rādītāji, kā arī audzes vecums (vecākā koka vecums) un koku diametrs) pievienoti analīzei kā faktoru matrica un to ietekme uz gadskārtu variēšanas struktūru noteikta ar korelācijas analīzi. Dati par melnalkšņu parauglaukumu pie Rendas netika iekļauti analīzē, jo melnalkšņa augšana šajā parauglaukumā krasi atšķīrās no pārējiem parauglaukumiem, uzrādot zemu sinhronitāti un „izlecošas” vērtības, kas, visticamāk, ir saistītas ar kāda lokāla faktora iedarbību.

Klimatisko faktoru ietekmes uz gadskārtu platumu variēšanu novērtējumam veica Pīrsona korelācijas analīzi starp gadskārtu platumu hronoloģijām un klimatiskajiem faktoriem, izmantojot programmu DendroClim2002 (Biondi, Waikul, 2004). Koeficientu būtiskumu noteica, izmantojot *bootstrap* principu, ko var uzskatīt par vienu no randomizācijas testu veidiem (Sokal, Rohlf, 1995). Visas analīzes veiktas pie ticamības līmeņa  $\alpha = 0,05$ . Klimatisko faktoru ietekme novērtēta, analīzē iekļaujot visu hronoloģijas un klimatisko datu (faktoru) aptverto periodu.

## Rezultāti

### Šķērsdatēšana un datu kopas

Vairums apskatīto sugu gadskārtu platumu mērījumu sērijas aptvēra periodu no 20. gs. sākuma (1900.–1930. gads) līdz 2009. gadam, tomēr melnalkšņa hronoloģijas atsevišķām audzēm bija īsākas (aprakstot gadskārtu mainību kopš 1940. gada), kā arī dižskābarža gadskārtu platuma rinda aptvēra periodu kopš 1948. gada (3. tab.). Vairumā parauglaukumu gadskārtu mērījumu sērijas parādīja augstu sinhronitāti (GLK > 0,60, vidējais starpsēriju korelācijas koeficients > 0,55) un lielākā daļa mērījumu (> 70 %) tika veiksmīgi šķērsdatēti (3. tab.), kas liecina, ka gadskārtu platumu variēšanu audzē ietekmē līdzīgs vides faktoru kopums. Šo faktu apstiprināja arī EPS vērtības, kuras vairumam parauglaukumu datu kopu pārsniedza 0,85. Konstatēts, ka bērzam, salīdzinājumā ar citām koku sugām, gadskārtu mērījumu rindu sinhronitāte bija zemāka un šķērsdatēšanas laikā atnesto mērījumu sēriju un koku skaits bija augstāks; audzē pie Ludzas EPS bija zems (< 0,85). Visos parauglaukumos gadskārtu platumu rindās bija augsta autokorelācija ( $\geq 0,60$ ) norādot uz iepriekšējo periodu augšanas ietekmi. Gadskārtu platumu vidējā jutība pārsniedza 0,20 visos parauglaukumos (izņemot sarkanā ozola parauglaukumu Šķēdē); vidēji gadskārtu platumu jutība visaugstākā bija melnalksnim (0,33), norādot uz izteiktāku ikgadējo gadskārtu platumu mainību.

3. tabula

Šķērsdatēto gadskārtu platumu mērījumu kopu raksturojums

1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Egle</b>													
Jūrkalne	31,17	109	20	1900-2009	8	681	143	75	0,68	0,78	0,26	0,95	0,65
Ludza	43,68	78	18	1931-2009	15	960	280	154	0,69	0,75	0,30	0,92	0,66
Melnšils	34,01	108	20	1901-2009	12	707	156	88	0,65	0,78	0,27	0,95	0,68
Renda	25,72	106	19	1903-2009	12	391	118	46	0,61	0,76	0,21	0,91	0,62
Skrunda	27,69	109	19	1900-2009	4	699	127	66	0,66	0,72	0,26	0,91	0,64
Taurene	43,39	96	20	1913-2009	27	896	226	89	0,74	0,89	0,22	0,96	0,71
Tukums	48,23	91	18	1918-2009	10	1068	265	155	0,64	0,88	0,23	0,93	0,68
Valka	22,45	109	16	1900-2009	2	499	103	59	0,56	0,80	0,26	0,88	0,60
Viesīte	43,82	105	19	1905-2009	17	890	201	25	0,64	0,66	0,25	0,91	0,66
Zvirgzde	34,01	108	20	1901-2009	25	683	156	79	0,66	0,81	0,23	0,97	0,68
<b>Priede</b>													
Jūrkalne	34,13	79	20	1930-2009	5	1022	216	111	0,68	0,82	0,20	0,96	0,67
Ludza	34,59	94	17	1915-2009	7	823	184	108	0,55	0,87	0,22	0,89	0,63
Melnšils	21,28	70	20	1939-2009	19	445	152	77	0,61	0,77	0,21	0,91	0,66
Renda	29,40	98	20	1911-2009	7	812	150	87	0,65	0,88	0,20	0,95	0,67
Skrunda	30,52	109	20	1900-2009	12	610	140	68	0,61	0,81	0,21	0,94	0,64
Taurene	32,40	91	20	1918-2009	31	866	178	97	0,61	0,82	0,20	0,93	0,65
Tukums	32,22	89	18	1920-2009	35	550	181	19	0,62	0,77	0,20	0,94	0,63
Valka	21,58	109	19	1900-2009	12	348	99	38	0,61	0,77	0,20	0,94	0,66
Viesīte	34,02	105	19	1904-2009	5	1366	162	107	0,56	0,87	0,23	0,93	0,64
Zvirgzde	29,21	109	19	1900-2009	16	593	134	58	0,55	0,80	0,20	0,90	0,62



## 3. tabulas turpinājums

1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Bērzs</b>													
Jūrkalne	23,09	74	19	1935 -2009	4	759	156	111	0,70	0,85	0,32	0,96	0,69
Ludza	32,22	89	15	1920 -2009	10	680	181	107	0,41	0,80	0,33	0,73	0,57
Melnšils	25,10	89	19	1920-2009	6	496	141	73	0,52	0,78	0,27	0,90	0,61
Renda	29,23	79	20	1930-2009	12	665	185	99	0,56	0,85	0,25	0,92	0,63
Skrunda	28,34	92	15	1917-2009	4	1084	154	110	0,65	0,85	0,33	0,93	0,64
Taurene	33,41	72	19	1937-2009	4	777	232	136	0,55	0,81	0,30	0,90	0,65
Tukums	27,92	99	14	1910-2009	7	612	141	71	0,57	0,75	0,29	0,86	0,61
Valka	30,22	73	15	1936-2009	37	589	207	84	0,60	0,69	0,23	0,89	0,67
Viesīte	33,15	74	19	1935-2009	6	790	224	119	0,66	0,75	0,33	0,93	0,66
Zvirgzde	25,38	76	20	1933-2009	2	538	167	89	0,61	0,80	0,28	0,94	0,66
<b>Melnalksnis</b>													
Jūrkalne	18,31	109	18	1900-2009	2	463	84	48	0,67	0,67	0,37	0,93	0,68
Ludza	36,50	79	15	1930-2009	10	719	231	111	0,58	0,64	0,34	0,81	0,73
Melnšils	25,92	80	19	1929-2009	8	495	162	72	0,72	0,62	0,31	0,73	0,70
Renda	25,23	106	15	1903-2009	1	564	119	83	0,72	0,71	0,44	0,93	0,73
Skrunda	24,34	72	20	1937-2009	4	579	169	90	0,69	0,72	0,31	0,95	0,66
Taurene	38,64	105	18	1904-2009	15	559	184	79	0,66	0,60	0,31	0,93	0,71
Tukums	31,91	81	16	1928-2009	4	618	197	103	0,53	0,81	0,25	0,87	0,61
Valka	26,62	64	19	1945-2009	4	1076	208	114	0,69	0,59	0,37	0,95	0,72
Viesīte	30,91	92	17	1917-2009	5	571	168	88	0,63	0,77	0,31	0,91	0,67
Zvirgzde	35,70	102	20	1907-2009	6	802	175	99	0,63	0,75	0,30	0,94	0,65
<b>Dižskābardis</b>													
Šķēde	34,16	61	9	1948-2009	30	663	280	120	0,69	0,61	0,22	0,88	0,70
<b>Lapegle</b>													
Auce	47,04	98	20	1911-2009	23	1322	240	148	0,61	0,76	0,29	0,91	0,64
<b>Sarkanais ozols</b>													
Šķēde	48,36	107	7	1902-2009	42	530	226	93	0,70	0,83	0,17	0,86	0,66
Auce	59,77	102	16	1907-2009	23	796	293	101	0,61	0,64	0,22	0,89	0,67
Aglona	43,05	103	10	1906-2009	15	699	209	81	0,69	0,74	0,22	0,87	0,67

\*1 – teritorija;

2 – vidējais šķērsdatēto koku diametrs (vidējo gadskārtu platumu summa), cm;

3 – maksimālais gadskārtu skaits (noteiktais koku vecums);

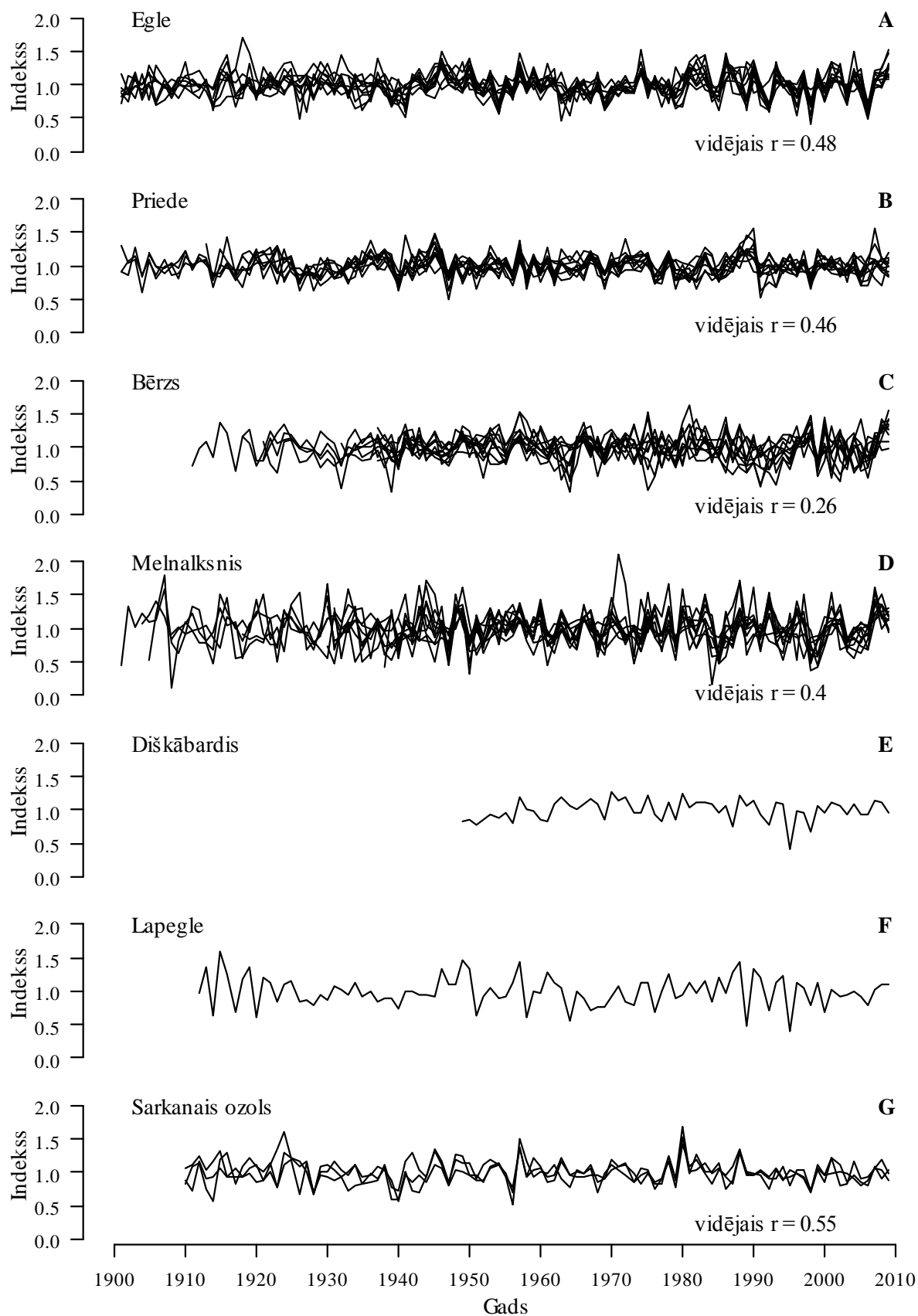
4 – šķērsdatēto koku skaits;

5 – gadskārtu platumu mērījumu aptvertais periods;

gadskārtu platuma rādītāju vērtības ( $10^{-2}$  mm): 6 – minimālā, 7 – maksimālā, 8 – vidējā vērtība, 9 – standartnovirze;

datu kopu vidējās vērtības: 10 – starpsēriju korelācijas, 11 – autokorelācijas, 12 – jutības, 13 – EPS, 14 – sinhronitātes koeficienta vērtības.

Pētīto sugu gadskārtu platumu atlikumu hronoloģijas atspoguļotas 2. attēlā. Vietējo sugu hronoloģijas vērojamas līdzīgas tendences; koku augšanas sākumā (20. gs. sākumā) ir konstatējama paaugstināta izkliede un zema sinhronitāte starp teritorijām, turpretim kopš 20 gs. vidus koku augšanas mainība starp dažādām teritorijām ir kļuvusi sinhronākā. Tendences bija vājāk izteiktas bērzam (zemākā korelācija ( $r = 0,26$ ) starp hronoloģijām), norādot uz lokālo faktoru ietekmi. Kopumā korelāciju (vidējie korelācijas koeficienti) starp vienas sugas hronoloģijām var raksturot kā vidēji ciešu, kas norāda uz lokālām un reģionālām iezīmēm koku augšanā. Diemžēl apskatīto introducēto sugu audžu skaits bija par mazu, lai novērtētu gadskārtu platumu variēšanas lokālās iezīmes. Hronoloģiju indeksu diapazons atšķīrās starp sugām; vislielākā indeksu amplitūda bija novērota melnalksnim, bet vismazākā priedei, kā arī dižskābardim, kura augšanu reprezentēja tikai viena hronoloģija. Tomēr, pētīto introducēto sugu (dižskābardis, lapegle un sarkanais ozols) gadskārtu ikgadējā variācija pēdējo dekāžu laikā (kopš 1990.-tajiem gadiem) samazinājās, uz ko norāda mazāka indeksu vērtību amplitūda. Visām sugām novērotas atsevišķas kopīgas iezīmes – izteikti šauras gadskārtas 1917., 1940., 1969., 1979. un 2006. gadā un izteikti platākās gadskārtas 1916. un 1957. gadā.

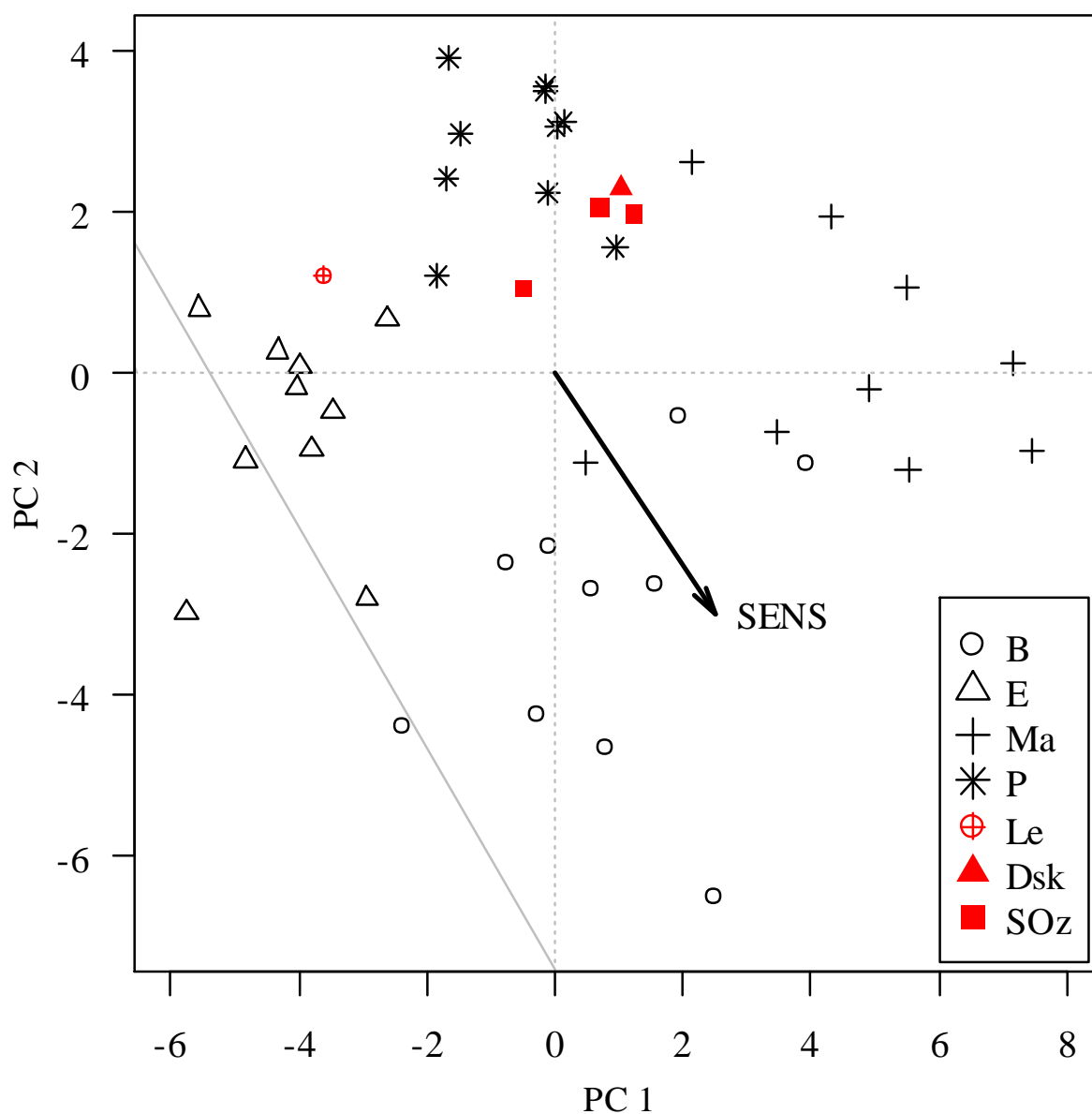


2.attēls. Gadskārtu platumu atlikumu hronoloģijas pētītajām sugām.

A – egle, B – priede, C – bērzs, D – melnalksnis, E – dižskābardis, F – lapegle, G – sarkanais ozols,  
 $r$  – vidējie Pīrsona korelācijas koeficienti starp hronoloģijām.

### Gadskārtu platumu variēšanas līdzība

Gadskārtu platumu ikgadējās variēšanas (atlikumu hronoloģiju) PCA analīze parādīja, ka pirmās divas komponentes (PC) bija būtiskas ( $p$ -vērtība  $< 0,001$ ), un izskaidroja attiecīgi 17,8 un 9,9 % no kopējās datu izkliedes. Izveidotās gadskārtu platumu hronoloģijas grupējās pa sugām, bet parauglaukumu novietojumam (teritorijai) nebija izteiktas ietekmes uz galveno komponentu vērtībām (3. att.). No pārbaudītajiem audžu un datu kopu parametriem tikai vidējā gadskārtu jutība parādīja saistību ar gadskārtu mainības īpatnībām (galvenokārt parauglaukumu hronoloģiju ordinācijas otro komponenti). Priedes un egles parauglaukumu hronoloģijas veidoja visciešākās grupas, bet bērza un melnalkšņa hronoloģiju grupas bija izkliedētākas un daļēji pārklājās, norādot uz šo sugu augšanas plastiskumu un lokālajām iezīmēm. Pretstatā izvirzītajai hipotēzei, introducēto sugu hronoloģiju novietojums ordinācijas plaknē liecināja, ka to augšanas (gadskārtu platumu) variēšana bija vislīdzīgākā priedei (dižskābardis un ozols) un eglei (lapegle), liecinot, ka gan introducēto sugu, gan vietējo skujkoku augšanu ietekmējošo faktoru kopums ir līdzīgs.



3.attēls. Izveidoto atlikumu hronoloģiju PCA ordinācija periodam no 1950. līdz 2009. gadam. Vektors norāda ordinācijas asu (galveno komponentu) korelāciju ar vidējo gadskārtu jutību (SENS).

## Gadskārtu platumu hronoloģiju saistības ar klimatiskajiem faktoriem

### Egls

Egles gadskārtu hronoloģijas uzrādīja būtiskas saikni ar 21 no 32 analizētajiem klimatiskajiem faktoriem (4. tab.), tomēr būtisko klimatisko faktoru kopas atšķīrās starp teritorijām. Temperatūrai vasarā vērojama negatīva, bet temperatūrai ziemā un pavasarī pozitīva ietekme uz egles gadskārtu platumu. Lai arī neviens no pētītajiem klimatiskajiem faktoriem nebija būtisks visās teritorijās, vasaras (jūnijs un jūlijs) nokrišņu, kā arī aprīļa temperatūras pozitīva ietekme bija novērojama visbiežāk (līdz pat 6 no 10 pētītajām audzēm). Iepriekšējā gada vasaras, kā arī ziemas nokrišņu daudzumam bija vērojama gan pozitīva, gan negatīva ietekme, norādot, ka klimata-pieauguma saikni nosaka arī lokāli vides faktori. Korelācijas koeficientu vērtības kopumā bija zemas (sasniežot maksimāli 0,39 iepriekšējā gada decembra temperatūras ietekmei Ludzā), norādot, ka pētītajiem klimatiskajiem faktoriem nebija izteiktas limitējošas ietekmes uz egles gadskārtu platumu; korelācijas koeficientu vērtības starp gadskārtu un nokrišņu datiem bija augstākas nekā starp gadskārtu un temperatūras datiem.

4. tabula

Statistiski būtiskie ( $\alpha < 0,05$ ) Pīrsona korelācijas koeficienti starp egles gadskārtu platumu atlikumu hronoloģijām un klimatiskajiem faktoriem\*

Klimatiskais faktors	Jūrkalne	Ludza	Melnais	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
<b>Temperatūra</b>										
Iepr. augusts	-0,25		-0,26		-0,28					
Iepr. novembris	-0,22			-0,19						
Iepr. decembris		0,39			0,19	0,25			0,24	
Janvāris						0,27		0,28		
Februāris		0,27			0,34			0,37		
Marts					0,27					
Aprīlis		0,24				0,24	0,18	0,24		0,20
Maijs				-0,24						
Jūnijs				-0,24	-0,30				-0,27	
<b>Nokrišņi</b>										
Iepr. septembris						-0,27				
Iepr. oktobris									0,18	
Iepr. novembris								-0,23		
Iepr. decembris				0,23	0,28		-0,22			
Janvāris	0,30				0,25	0,38				
Marts								0,20		
Aprīlis			-0,24							
Maijs							-0,26			
Jūnijs	0,33	0,30	0,35	0,30						
Jūlijs	0,25	0,22	0,30			0,25	0,33			0,24
Augusts					-0,32					
Septembris				0,26			-0,31			

\*parādīti tikai tie faktori, kuri uzrādīja būtisku korelāciju ar gadskārtu hronoloģiju(-ām)

### Priede

Priedes gadskārtu platuma variēšana pētītajās audzēs uzrādīja statistiski būtiskas korelācijas ar 21 no 32 pētītajiem klimatiskajiem faktoriem (5. tab.). Spriežot pēc korelācijas koeficientu vērtībām un statistiski būtisko korelāciju biežuma parauglaukumos, temperatūrai bija galvenā loma gadskārtu platumu variēšanā, turpretim nokrišņu ietekme bija salīdzinoši zema. Marta temperatūrai bija būtiska pozitīva ietekme uz priedes gadskārtu platumu visās apsekotajās teritorijās, kā arī korelācijas koeficientu vērtības šim faktoram bija visaugstākās (sasniedzot 0,50 Zvirgzdes parauglaukumā). Līdzīgi, pozitīva februāra temperatūras ietekme bija vērojama 7 no 10 apsekotajām audzēm, tomēr korelācijas koeficientu vērtības bija nedaudz zemākas ( $r < 0,45$ ). Temperatūrai iepriekšējās vasaras beigās (augustā) bija negatīva ietekme, turpretim augšanas sezonas vasaras temperatūrai (jūlijs un augusts) bija novērojama pozitīva ietekme; šāds efekts tomēr novērots tikai atsevišķās audzēs. No pētītajiem nokrišņu parametriem, nokrišņu daudzumam septembrī un iepriekšējā gada augustā bija visbiežāk novērotā būtiskā ietekme uz gadskārtu platumu. Pārējo pētīto nokrišņu parametru ietekme bija būtiska tikai vienā vai divās audzēs, liecinot par lokālu faktoru nozīmi.

5. tabula

Statistiski būtiskie ( $\alpha < 0,05$ ) Pīrsona korelācijas koeficienti starp priedes gadskārtu platumu atlikumu hronoloģijām un klimatiskajiem faktoriem

Klimatiskais faktors	Jūrkalne	Ludza	Melnisils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
<b>Temperatūra</b>										
Iepr. augusts	-0,35		-0,29			-0,34				
Iepr. oktobris		0,31							0,19	
Iepr. decembris		0,27							0,26	
Janvāris								0,26		0,26
Februāris	0,33		0,38	0,42	0,32			0,43	0,27	0,45
Marts	0,46	0,35	0,36	0,42	0,40	0,31	0,22	0,37	0,41	0,50
Aprīlis			0,24	0,20		0,26				0,37
Maijs	0,23									
Jūlijs		0,30				0,32		0,32		0,19
Augusts				0,19				0,20	0,19	0,28
Septembris		0,31								
<b>Nokrišņi</b>										
Iepr. augusts	0,28	0,27	0,30							
Iepr. oktobris						-0,27				
Janvāris							-0,22			
Februāris				0,22						
Aprīlis	-0,26									
Maijs	-0,23									
Jūnijs	0,25							-0,23		
Jūlijs	0,36		0,27							
Augusts	0,25									
Septembris				0,22	0,33	0,21	-0,21		-0,23	-0,23

\* parādīti tikai tie faktori, kuri uzrādīja būtisku korelāciju ar gadskārtu hronoloģiju(-ām)

### Bērzs

Lai arī 15 klimatiskie faktori parādīja būtiskas saistības ar izveidotajām bērza gadskārtu hronoloģijām (6. tab.), klimatisko faktoru ietekmē uz bērza augšanu bija izteiktas lokālas iezīmes, jo vairums no faktoriem bija būtiski vienā vai divās audzēs. Gadskārtas platums galvenokārt bija saistīts ar klimatiskajiem faktoriem augšanas sezonas laikā, apstākļiem miera periodā bija mazāk izteikta ietekme. Temperatūrai kopumā bija neliela ietekme uz bērza augšanu, jo katrs temperatūras faktors bija būtisks vienā audzē; vairums korelācijas koeficientu bija zemi ( $\sim 0,20$ ), tomēr korelācijas koeficienti starp gadskārtu platumu un augusta, kā arī iepriekšēja gada oktobra temperatūru bija attiecīgi -0,44 un 0,37. Nokrišņu daudzuma ietekme uz bērza gadskārtu platumu bija vērojama lielākā skaitā audžu; negatīva iepriekšējā gada jūlija un pozitīva oktobra nokrišņu daudzuma ietekme bija vērojama attiecīgi četrās un trīs audzēs. Korelācijas koeficientu vērtības nokrišņu un temperatūras faktoriem kopumā bija līdzīgas.

6. tabula

Statistiski būtiskie ( $\alpha < 0,05$ ) Pīrsona korelācijas koeficienti starp bērza gadskārtu platumu atlikumu hronoloģijām un klimatiskajiem faktoriem

Klimatiskais faktors	Jūrkaļne	Ludza	Melnšils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
<b>Temperatūra</b>										
Iepr. jūlijs		-0,24								
Iepr. oktobris				0,37						
Marts										0,21
Aprīlis									0,22	
Jūlijs									-0,21	
Augusts								-0,44		
Septembris								-0,28		
<b>Nokrišņi</b>										
Iepr. jūlijs		-0,26	-0,36		-0,35		-0,19			
Iepr. oktobris				0,23		0,27				
Iepr. decembris					0,33			0,27		
Marts	0,26									
Jūnijs	0,30						-0,23			
Jūlijs								0,22		
Augusts	0,30							0,25		
Oktobris	0,31						0,21			0,30

\*parādīti tikai tie faktori, kuri uzrādīja būtisku korelāciju ar gadskārtu hronoloģiju(-ām)

### Melnalksnis

Līdzīgi kā novērots bērzam, pētīto klimatisko faktoru ietekmē uz melnalkšņa gadskārtu platumu bija vērojamas lokālas tendences, tomēr tās bija salīdzinoši vājāk izteiktas. Kopumā 18 klimatiskie faktori gan augšanas, gan miera perioda laikā parādīja būtiskas saistības ar melnalkšņa gadskārtu platumu vienā līdz piecās audzēs (7. tab.).

7. tabula

Statistiski būtiskie ( $\alpha < 0,05$ ) Pīrsona korelācijas koeficienti starp melnalkšņa gadskārtu platumu atlikumu hronoloģijām un klimatiskajiem faktoriem

Klimatiskais faktors	Jūrkalne	Ludza	Melnšils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
<b>Temperatūra</b>										
Iepr. augusts	-0,25						-0,25			
Iepr. septembris				-0,24						0,22
Iepr. oktobris	0,23	0,23							0,23	0,21
Iepr. decembris	0,24			0,21			0,27		0,20	
Janvāris						0,25				
Februāris	0,30								0,27	
Marts									0,18	
Maijs	0,24	0,25				0,26		0,27		0,18
Jūlijs		0,24			0,24					
Augusts		0,32								0,20
<b>Nokrišņi</b>										
Iepr. jūlijs			-0,34							
Iepr. augusts			-0,20	-0,24					0,17	
Iepr. oktobris			-0,23							
Iepr. novembris	0,38			0,26						
Marts						0,24				
Aprīlis		0,27								
Maijs				0,25						
Jūnijs	0,30	-0,26								

\*parādīti tikai tie faktori, kuri uzrādīja būtisku korelāciju ar gadskārtu hronoloģiju(-ām)

Korelācijas koeficientu vērtības nepārsniedza 0,38 (vidēji 0,25), norādot, ka pētītajiem klimatiskajiem faktoriem nebija izteiktas limitējošas ietekmes uz gadskārtu platumu. No pētītajiem klimatiskajiem faktoriem visbiežāk novērota maija temperatūras pozitīvā ietekme, kas bija būtiska gadskārtu platumam piecās no 10 pētītajām audzēm, tomēr korelācijas koeficientu vērtības bija ~ 0,25, izņemot Zvirgzdes parauglaukumu, kur  $r = 0,18$ . Iepriekšējā gada oktobra un decembra temperatūras parādīja būtiskas pozitīvas korelācijas ar gadskārtu platumu četrās audzēs. Augusta temperatūra parādīja pozitīvu, bet iepriekšēja gada augusta temperatūra parādīja negatīvu korelāciju ar gadskārtu platumu divās audzēs. Nokrišņu ietekmei uz gadskārtu platumu bija izteiktākas lokālās iezīmes; trīs audzēs iepriekšējā gada augusta nokrišņu daudzuma ietekme uz gadskārtu platumu bija būtiska, tomēr atšķirīga (gan pozitīva, gan negatīva).



### Introducētās sugas

Klimatisko faktoru skaits, kas parādīja būtiskas korelācijas ar pētīto introducēto koku sugu gadskārtu platumu, bija zemāks (14 faktori) nekā vietējām sugām (8. tab.). Pretstatā vietējām sugām, atsevišķu klimatisko faktoru limitējošā ietekme bija spilgtāk izteikta; temperatūrai bija spēcīgāka ietekme nekā nokrišņu daudzumam. Iepriekšējā gada jūlija un it īpaši augusta temperatūrai bija izteikta negatīva ietekme uz visu pētīto introducēto sugu gadskārtu platumu visās audzēs, par ko liecināja arī visaugstākās vidējās korelācijas koeficientu vērtības ( $\sim -0,38$ ). Tomēr papildus šiem faktoriem novērota arī citu faktoru ietekme, kas atšķiras starp sugām un parauglaukumiem. Lapegles gadskārtu platums parādīja arī saistības ar iepriekšējā gada septembra temperatūru (negatīva ietekme), kā arī nokrišņiem šajā jūnijā un iepriekšējā gada augustā (pozitīva ietekme). Dižskābarža gadskārtu platumam būtiska bija arī temperatūra jūlijā un iepriekšējā gada oktobrī (pozitīva ietekme), bet mēneša nokrišņu daudzumam netika konstatēta būtiska saistība ar gadskārtu platumu. Klimatisko faktoru kopums, kas ietekmēja sarkanā ozola gadskārtu platumu, atšķīrās starp pētītajiem parauglaukumiem, tomēr būtisko klimatisko faktoru skaits un korelācijas koeficientu vērtības bija augstākas audzē pie Aglonas (Latvijas austrumu daļā). Audzēs pie Šķēdes un Auces novērota pozitīva jūlija un augusta (gadskārtas veidošanās gadā) nokrišņu ietekme, turpretim audzē pie Aglonas būtiska pozitīva ietekme novērota rudens un ziemas temperatūrai, kā arī nokrišņu daudzumam augšanas sezonas beigās.

8. tabula

Statistiski būtiskie ( $\alpha < 0,05$ ) Pīrsona korelācijas koeficienti starp pētīto introducēto sugu gadskārtu platumu atlikumu hronoloģijām un klimatiskajiem faktoriem

Klimatiskais faktors	Lapegle, Auce	Dižskābardis, Kalēti	Sarkanais ozols, Šķēde	Sarkanais ozols, Auce	Sarkanais ozols, Aglona
<b>Temperatūra</b>					
Iepr. jūlijs	-0,39	-0,27	-0,35	-0,25	-0,44
Iepr. augusts	-0,36	-0,41	-0,38	-0,43	-0,50
Iepr. septembris	-0,33				-0,40
Iepr. oktobris		0,24			
Iepr. decembris					0,25
Jūlijs		0,21			
Oktobris					0,27
<b>Nokrišņi</b>					
Iepr. jūlijs					0,26
Iepr. augusts	0,24				0,28
Iepr. novembris				0,25	-0,24
Jūnijs	0,28				
Jūlijs				0,27	
Augusts			0,28		
Septembris					0,34

\* parādīti tikai tie faktori, kuri uzrādīja būtisku korelāciju ar gadskārtu hronoloģiju(-ām)

## Diskusija

### Šķērsdatēšana un datu kopas

Gadskārtu platumu rindu šķērsdatēšana, kas ir viens no priekšnosacījumiem gadskārtu platumu-klimata saistību analīzei (Douglass, 1941, Fritts, 2001), bija veiksmīga, un gadskārtu rindas parādīja augstu sinhronitāti (3. tab.), liecinot, ka gadskārtu platumu variēšanu ir ietekmējuši lielmēroga vides faktori kā laikapstākļi (klimatiskie faktori). Relatīvi grūtākā bērza gadskārtu platumu mērījumu sēriju šķērsdatēšana ir skaidrojama ar gadskārtu identificēšanu – bērza gadskārtas reizēm bija neizteiksmīgas, kā arī bieži novērotas gadskārtu anomālijas, piemēram, viltus un ķīļveida gadskārtas. Tādēļ, lai nodrošinātu augstu datu kvalitāti, mērījumu sērijas, kurās kļūdas nebija viennozīmīgi novēršamas, netika iemantotas turpmākajās analīzēs, tādējādi samazinot šķērsdatētas datu kopas apjomu. Tomēr EPS vērtības, kas ir viens no galvenajiem gadskārtu mērījumu datu kopu raksturojošiem rādītājiem, vairumā gadījumu pārsniedza kritisko 0,85 robežu (3. tab.), norādot, ka mērījumi var tikt sekmīgi izmantoti klimatisko faktoru ietekmes uz pētīto audžu augšanu novērtēšanai (Wigley et al., 1984). Ludzas parauglaukuma bērza gadskārtu mērījumu kopas EPS vērtība bija zem 0,85 (0,73) (3. tab.), kas gan varētu tikt skaidrots ar relatīvi zemāku šķērsdatēto koku skaitu. Vairumā gadījumu gadskārtu mērījumu kopu jutība bija robežās no 0,20 līdz 0,35 (3. tab.), norādot, ka gadskārtu platumu variēšana labi parāda vides faktoru ietekmi (Speer, 2010). Gadskārtu platumu autokorelācijas (3. tab.), kas samazina vides faktoru ietekmes izpausmes laiku (Fritts, 2001; Lichstein et al., 2002), visās gadskārtu datu kopās bija augstas. Tādēļ klimata ietekmes novērtēšanai šis traucējums tika novērsts, veidojot atlikumu hronoloģijas (Cook, Holmes, 1986; Speer, 2010).

Lai arī pētījumā apskatītas audzes, kuru vecums bija 70–110 gadi, atsevišķu gadskārtu mērījumu kopu aptvertais periods bija īsāks (3. tab.) Dižskābardim gadskārtu platumu sērijas sniedzās līdz 1948. gadam, kaut arī pētītie stādījumi datēti ar 19. gs. beigām. Tas galvenokārt skaidrojams ar augšanas īpatnībām - dižskābardis ir ēncietīga koku suga, tā augšana pirmajos gados ir lēna, un agrīno dzīves posmu tas var pavadīt paaugā, nerasniedzot 1,3 m (urbšanas) augstumu. Tāpēc koka dzīves pirmie gadi var nebūt pārstāvēti ievāktajā koksnes paraugā, kā arī stumbra serdes daļas vecums var būt ievērojams (Mauriņš, Zvirgzds, 2006), turklāt stumbra augšana dzīves sākumā bieži ir asimetriska (Dreimanis, 2005).

Palielinātā indeksu vērtību izkliede (2. att.), kas novērojama vietējo sugu hronoloģiju sākuma daļās, ir skaidrojama ar lokālo faktoru pastiprināto ietekmi uz koku augšanu nelielā vecumā (Rozas, 2005; Speer, 2010). Kokiem novecojot, sinhronitāte (izteiktāko izmaiņu kopīgā izpausme) starp vienas sugas hronoloģijām palielinājās (2. att.), norādot uz līdzīgu reakciju pret vides faktoru ekstrēmajām izpausmēm (Schweingruber, 1996; Wigley et al., 1984). Tomēr vidējie korelācijas koeficienti starp vienas sugas hronoloģijām bija salīdzinoši nelieli, norādot uz lokālo faktoru ietekmi, kas raksturīgs koku augšanai izplatības areāla centrālajā daļā, kur vides faktori nav krasi limitējoši (Andreu et al., 2007; Merian et al., 2011; Speer, 2010).

### Gadskārtu platumu variēšanas līdzība

Lai arī visās hronoloģijās bija vērojamas atsevišķas kopīgas gadskārtu platumu mainības iezīmes (izteikti šaurākas gadskārtas 1940., 1956. un 1979. gadā), kādas novērotas Baltijas jūras reģionā un Centrāleiropā (Kelly et al., 2002; Neuwirth et al., 2007; Vitas, Žeimavičius, 2010), pētītās vietējās sugas parādīja atšķirības gadskārtu platumu ikgadējā variēšanā (3. att.).

Šīs atšķirības norāda uz sugai specifiskām iezīmēm gadskārtu un vides faktoru saistībās, jo hronoloģiju grupējums atbilda attiecīgajām sugām. Pretstatā izvirzītajai hipotēzei, introducēto sugu gadskārtu variēšana bija līdzīga vietējām skujkoku sugām un neveidoja savrup nodalošos grupu, par ko liecināja šo sugu izvietojums ordinācijas plaknē, norādot uz līdzīga vides faktoru kopuma ietekmi. Vietējo skujkoku (priedes un egles) un lapeles hronoloģiju līdzību (3. att.) ir iespējams skaidrot ar piederību vienai klasei (*Pinaceae*) (Mauriņš, Zvirgzds, 2006); lapegles gadskārtu platums bija līdzīgāks eglei. Sarkanā ozola un dižskābarža gadskārtu platuma variēšanas līdzību (3. att.) ir iespējams izskaidrot ar to ekoloģiskajām prasībām, jo abas ir pret ūdens deficītu jutīgas sugas (Mauriņš, Zvirgzds, 2006; Rozas, 2001; Sander, 1990; van Hees, 1997). Tomēr sarkanā ozola, dižskābarža un strestolerantās parastās priedes gadskārtu platuma variēšanas līdzību ir grūti izskaidrot. Iespējams, šādu līdzību nosaka gadskārtu ikgadējās variēšanas izpausmes, uz ko norāda ordinācijas asu (galveno komponentu) korelācija ar gadskārtu platumu vidējo jutību (3. att.). Hronoloģiju ikgadējā variēšana (3. att.) un gadskārtu platuma vidējā jutība (3. tab.) bija lielāka bērzam un melnalksnim, bet zemāka priedei, eglei un introducētajām sugām, norādot uz mazāku augšanas uzņēmību pret vides faktoriem (Speer, 2010). Tā kā parastā priede Latvijā atrodas izplatības areāla vidusdaļā (EUFORGEN, 2009), kur vides apstākļi uzskatāmi par augšanu nelimitējošiem (Schweingruber, 1996), iespējams, ka augšanas apstākļus Latvijā varētu uzskatīt par atbilstošiem arī pētīto introducēto sugu augšanai.

## **Klimatisko faktoru ietekme uz gadskārtu platumu variēšanu**

### *Priede*

Klimatiskajiem faktoriem (mēneša vidējā temperatūra un nokrišņu summa) novērota būtiska ietekme uz pētīto gadskārtu platumu variēšanu, tomēr būtisko klimatisko faktoru kopums atšķīrās starp sugām, apliecinot tot atšķirīgas ekoloģiskās prasības. Vietējām sugām visciešākās saistības (augstākās korelācijas koeficientu vērtības) starp gadskārtu platumu un klimatiskajiem faktoriem novērotas priedei, kuras gadskārtu platumu visos parauglaukumos ietekmēja temperatūra martā, kā arī lielākajā daļā no parauglaukumiem arī temperatūra februārī (5. tab.). Lai arī šādas saistības ir novērotas arī citos pētījumos (Cedro 2001, Elferts 2008, Pärn 2009), miera perioda temperatūras ietekmi uz koksnes pieaugumu ir grūti izskaidrot. Zema temperatūra ziemā var radīt tiešus bojājumus fotosintezējošajam aparātam (Leininen, 1996; Pearce, 2001), samazinot asimilāciju, kā rezultātā samazinās pieaugumi (Schweingruber, 1996). Pazeminoties temperatūrai, ciete tiek pārveidota šķīstošajos cukuros, lai samazinātu sulas (sveķu) sasalšanas temperatūru un novērstu šūnu bojājumus sasalšanas ietekmē (Alden, Hermann, 1971; Essiamah, Eschrich, 1985; Michelot et al., 2012), tādējādi var tikt ietekmētas barības vielu rezerves, kas nosaka augšanu pavasarī (Barbaroux, Breda, 2002). Iespējams, pazemināta gaisa temperatūra miera periodā ietekmē sakņu sistēmu (sīkās saknes) (Tierney, 2001), ietekmējot ūdens uzņemšanu un augšanu pavasarī (Pallardy, 2008; Steudle, 2000). Negatīvās saistības ar iepriekšējā augusta temperatūru un pozitīvās saistības ar nokrišņiem, kas gan novērotas atsevišķās audzēs (5. tab.), liecina par sausuma stresa ietekmi uz barības vielu rezervju veidošanos. Sausuma stress samazina vai aptur asimilāciju (Berry, Downtown, 2012; Tezara et al., 1999), samazinot barības vielu rezervju veidošanos, tādējādi ietekmējot augšanu nākamajā pavasarī (Pallardy, 2008). Tomēr, gadskārtas veidošanās gada augusta temperatūrai bija pozitīva ietekme uz gadskārtas platumu (5. tab.), kas ir pretrunā ar sausuma stresa ietekmi uz augšanu. Iespējams, pozitīvā korelācija starp priedes gadskārtu platumu un augusta temperatūru ir skaidrojama ar palielinātu koksnes pieaugumu ar

nokrišņiem bagātajos gados, kad ūdens daudzums ir pietiekams, un temperatūra stimulē asimilāciju (Berry, Downtown, 2012). Nokrišņu daudzums septembrī parādīja būtiskas saistības ar priedes gadskārtu platumu sešos parauglaukumos (5. tab.), bet novērotas gan pozitīvas, gan negatīvas saistības, norādot uz lokālo apstākļu nozīmi ūdens režīma ietekmē. To apstiprina arī korelācijas ar pārējiem nokrišņu parametriem, kas bija būtiskas atsevišķos parauglaukumos. Negatīva nokrišņu daudzuma ietekme ir skaidrojama ar sakņu funkciju zaudēšanu pārmitros apstākļos (Kramer, 1951), kā rezultātā koks iet bojā no fizioloģiskā sausuma sekām (Pallardy, 2008).

#### *Egle*

Pretstatā priedei, egles gadskārtu platumu nozīmīgāk ietekmēja nokrišņu daudzums, par ko liecināja lielāks to parauglaukumu skaits (4. tab.), kuros konstatēta būtiska korelācija starp gadskārtu platumu un nokrišņu parametriem. Nokrišņu daudzums jūlijā būtiski ietekmēja egles gadskārtu platumu sešās no 10 audzēm, kā arī atsevišķās audzēs novērota negatīva vasaras sākuma temperatūras ietekme, norādot, ka egles augšana ir saistīta ar klimatiskajiem faktoriem, kas raksturo ūdens pieejamību (Rozas, 2005; Traykovic, 2005) un līdz ar to sausuma stresa ietekmi (Lu et al., 1995; Pallardy, 2008). Pozitīvā ziemas nokrišņu, kas parasti ir sniega formā, ietekme skaidrojama ar augsnes temperatūras izmaiņām. Eglei ir sekla sakņu sistēma, (Mauriņš, Zvirgzds, 2006) un sniega segas biezums ietekmē augsmes sasaluma dziļumu, kā arī augsnes temperatūru (Hardy et al., 2001), kas savukārt ietekmē uzsūcošo sakņu izdzīvošanu (Tierney et al., 2001). Pazeminoties augsnes temperatūrai, smalko sakņu mirstība pieaug (Tierney et al., 2001), samazinot ūdens uzņemšanu pavasarī un radot fizioloģisko sausuma stresu, kas samazina pieaugumu (Stedle, 2000). Šādas sakarības apstiprina arī būtiskās pozitīvās saistības starp egles gadskārtu platumu un ziemas perioda temperatūru (4. tab.). No temperatūras parametriem, temperatūrai aprīlī visbiežāk novērotas saistības ar egles gadskārtu platumu, kas bija būtiskas pusē no apsekotajiem periodiem (4. tab.). Aprīļa beigās var uzskatīt par augšanas sezonas sākumu, kad koks pārtrauc miera periodu, un temperatūras svārstības (pazemināšanās) šajā periodā var radīt bojājumus meristēmām (Gu et al., 2008; Pearce, 2001), samazinot augšanu sezonas sākumā. Negatīvā korelācija ar iepriekšējā gada augusta temperatūru, kas gan novērota atsevišķos parauglaukumos, norāda, ka arī egles augšanai ir nozīmīgas iepriekš uzkrātās barības vielu rezerves (Pallardy, 2008) un šo rezervju veidošanos ietekmē sausuma stress (Berry, Downtown, 2012; Lu et al., 1995).

#### *Bērzs*

No pētītajām sugām bērza gadskārtu platuma variēšana parādīja vismazākās saistības ar klimatiskajiem faktoriem, kā arī visizteiktāko lokālo faktoru ietekmi uz gadskārtu platumu variēšanu, jo vairums korelāciju bija būtiskas vienā vai divās audzēs (6. tab.). Lai arī novērojama tikai atsevišķās audzēs, negatīvā vasaras (augšanas sezonas) temperatūras un pozitīvā nokrišņu daudzuma ietekme norāda uz iespējamu sausuma ietekmi. Tomēr pretstatā priedei, eglei un introducētajām sugām (4., 5., 8. tab.), bērza gadskārtu platums negatīvi korelēja ar iepriekšējā gada jūlija nokrišņiem. Šādas saistības ir pretrunā ar sausuma ietekmi uz gadskārtu platumu. Jūlijs ir siltākais gada mēnesis (LVGMC), paaugstināts nokrišņu daudzums var būt labvēlīgs patogēnu darbībai (Logan et al., 2003; Mattson, Haack, 1987), tādējādi samazinot koka vitalitāti un augšanu (Pallardy, 2008).

### *Melnalksnis*

Lai arī melnalkšņa gadskārtu platuma un klimatisko faktoru saistībās vērojama lokālu faktoru iedarbība, tomēr klimatisko faktoru ietekme uz gadskārtu platuma variēšanu bija izteiktāka salīdzinājumā ar bērzu (7. tab.). Analizējot atsevišķas audzes visbiežāk novērota gadskārtu platuma saistība ar maija temperatūru, kas bija statistiski būtiska pusē no parauglaukumiem. Tā, iespējams, ir skaidrojama ar tiešu temperatūras ietekmi uz kambiju. Maijs ir laiks, kad koki sāk veidot agrīno koksni (Ahas et al., 2000; Michelot et al., 2012), lai nodrošinātu sulas (ūdens) transportu uz lapām (Carlquist, 2001; Pallardy, 2008); temperatūra ietekmē koksnes veidošanos (Deslauriers et al., 2008; van der Werf et al., 2007), kā rezultātā var tikt izmainīta koksnes ūdens vadītspēja, tādējādi ietekmējot ūdens pieejamību lapām (Tyree, Ewers, 1991) un asimilācijas intensitāti (Berry, Downtown, 2012). Iepriekšējā gada oktobra temperatūras pozitīvo ietekmi ir iespējams skaidrot ar paaugstinātu barības vielu asimilēšanu gados ar pagarinātu veģētācijas sezonu (White et al., 1999). Pozitīvo ziemas temperatūras ietekmi iespējams skaidrot ar samazinātu sala bojājumu ietekmi uz augšanu (Pearce, 2001) gados, kad temperatūra ir augstāka. Ņemot vērā, ka melnalksnis aug vietās ar paaugstinātu mitrumu, pozitīvā saistība ar vasaras nokrišņiem (7. tab.) ir skaidrojama ar temperatūras pozitīvo ietekmi uz fotosintēzes intensitāti (Berry, Downtown, 2012). Novērotās negatīvās saistības ar augšanas sezonas beigu nokrišņiem, iespējams, skaidrojamas ar patogēnu aktivitātes izmaiņām (Logan et al., 2003; Mattson, Haack, 1987). Kā alternatīvs skaidrojums būtu atzīmējama applūšanas negatīvā ietekme uz sakņu sistēmu un augšanu (Kaelke, Dowson, 1997; Kramer, 1951), jo melnalkšņa augšanā gruntsūdens līmenim ir būtiska loma (Elferts et al., 2011).

### *Introducētās sugas*

Pētītās introducētās sugas Latvijā atrodas uz ziemeļiem no to dabiskā izplatības areāla (EUFORGEN, 2009), reģionā, kur temperatūrai parasti novērojama pozitīva ietekme uz augšanu (Schweingruber, 1996; Speer, 2010; Wilmking et al., 2004), tomēr klimatiskie faktori, kas saistīti ar sausumu vasaras beigās (negatīva temperatūras ietekme un pozitīva nokrišņu ietekme), limitēja gadskārtu platumu, neatkarīgi no sugas (8. tab.). Lai arī negatīva iepriekšējā gada temperatūras ietekme atsevišķos parauglaukumos bija vērojama arī uz vietējo sugu gadskārtu platumu variēšanu (4., 5., 7. tab.), tomēr tā daudz spilgtāk bija izteikta introducēto sugu gadskārtu platuma variēšanā, norādot uz paaugstinātu klimatisko jutību. Iespējams, šīs saistības bija viens no faktoriem, kas noteica augšanas variēšanas līdzību starp vietējām un introducētajām sugām (3. att.). Vasarzaļajiem kokiem, it īpaši tiem, kuriem ir lielas trahejas (Tyree, Ewers, 1991; Tyree, Zimmermann, 2002), uzkrāto barības vielu rezervju daudzumam ir paaugstināta nozīme (Carlquist, 2001; Pallardy, 2008). Lielas trahejas ir spēcīgāk pakļautas ziemas embolismam – procesam, kad gaisa burbulis nosprosto traheju (Tyree, Cochard, 1996). Tādēļ, lai nodrošinātu pietiekamu sulu plūsmu uz lapotni, katru pavasari jau pirms lapu plaukšanas tiek veidotas jaunas trahejas (Carlquist, 2001; Umebayashi et al., 2008); šim procesam ir nepieciešama enerģija, kas tiek ņemta no rezerves (uzkrātajām) barības vielām (Barbaroux, Breda, 2002). Lapegles un sarkanā ozola (Aglonas parauglaukumā) gadskārtu platumam parādīja būtisku iepriekšējā gada septembra temperatūras ietekmi (8. tab.), liecinot par ilgāku veģētācijas periodu, ar ko daļēji izskaidrojama šo sugu ātraudzība (Larsson-Stern, 2003; Sander, 1990). Pozitīvā saistība starp dižskābarža gadskārtu platumu un iepriekšējā oktobra temperatūru (8. tab.) ir skaidrojama ar veģētācijas sezonas pagarināšanās pozitīvo ietekmi (Menzel, Fabian, 1999; White et al., 1999). Iegūtie rezultāti

norāda, ka gados ar siltu oktobri asimilācija noris ilgāk, līdz ar to tiek akumulētas papildus barības vielas (White et al., 1999), kas uzlabo koka vitalitāti un pārziemošanu (Alden, Hermann, 1971; Essiamah, Eschrich, 1995). Lai arī sarkanais ozols bija pētīts tikai trīs audzēs, gadskārtas platuma būtisko klimatisko faktoru kopas atšķirās starp Latvijas rietumu un austrumu reģioniem (8. tab.), līdzīgi kā novērots parastajam ozolam (Matisons, Brūmelis, 2012). Latvijas austrumu reģionā, kur klimats ir kontinentālāks un skarbāks (pēc LVĢMC datiem), klimatisko faktoru ietekme uz gadskārtu platumu (korelācija) bija stiprāka (8. tab.), norādot, ka šajā reģionā klimatam nozīmīgāka ietekme uz sarkanā ozola pieaugumu.

### **Gadskārtu platums nākotnes klimatā**

Koku augšanas un klimatisko faktoru saistības ir laikā mainīgas, ko nosaka gan koka vecums, gan arī klimatisko faktoru kompleksa izmaiņas (Carrer, Urbinati, 2006; Matisons et al., 2012; Wilmking et al., 2004), tādēļ nepieciešama informācija par augšanas-klimata saistību plastiskumu un izmaiņām laikā, lai veiktu ticamu koku augšanas izmaiņu prognozi (Fritts, 2001). Diemžēl pētījumā ietvertu gadskārtu sēriju garums ir nepietiekams, lai novērtētu augšanu ietekmējošo faktoru izmaiņas laikā. Tomēr, balstoties uz novērotajām saistībām starp klimatiskajiem faktoriem un gadskārtu platumu (4.-8. tab.), var secināt, ka pētīto sugu augšanā ir sagaidāmas izmaiņas. Prognozes (A1B) (IPCC, 2007) Eiropas austrumu un ziemeļu daļā norāda uz temperatūras paaugstināšanos, nokrišņu daudzumam būtiski nemainoties un temperatūras ekstrēmu biežumam un nokrišņu sadalījuma heterogenitātei pieaugot (Avotniece et al., 2010), kas kopumā pastiprinās iztvaikošanu un sausumu (Traykovic, 2005). Ņemot vērā, ka bērzs uzrādīja visvājāko saistību starp gadskārtu platumu un klimatiskajiem faktoriem (6. tab.), tā augšana varētu būtiski nemainīties, vai arī izmaiņām varētu būt lokāls raksturs. Piemēram, Valkas parauglaukumā, kur vasaras beigu temperatūrai bija negatīva ietekme, augšana varētu samazināties, bet parauglaukumos, kuros iepriekšējās vasaras nokrišņu daudzumam bija negatīva ietekme, prognozētie sausākie augšanas apstākļi varētu veicināt augšanu. Temperatūrai pavasarī un vasarā kļūstot siltākai (IPCC, 2007; Lizuma et al., 2007), melnalkšņa augšana varētu uzlaboties, uz ko norāda pozitīvās saistības ar pavasara un vasaras temperatūru un negatīvās saistības ar vasaras nokrišņiem (mitrumu). Tomēr arī melnalksnim atsevišķās audzēs varētu būt vērojams sausuma ietekmēts augšanas samazinājums. No pētītajām sugām, priede varētu būt lielākā ieguvēja, klimatam kļūstot siltākam, jo līdz šim priedes gadskārtas platumu vispēcīgāk ietekmēja marta temperatūra (5. tab.), kurai ir vērojams viens no straujākajiem pieaugumiem (Lizuma et al., 2007). Prognozētajām klimata pārmaiņām, visticamāk, būs negatīva ietekme uz egles augšanu; palielinoties sausuma periodu biežumam (Avotniece et al., 2010; IPCC, 2007), pret nokrišņu daudzumu (ūdens deficītu) jutīgās egles (4. tab.) pieaugums varētu jūtami samazināties. Tomēr ziemas temperatūras kāpums varētu mīkstināt šo efektu, kas gan visdrīzāk sagaidāms tikai atsevišķās audzēs. Pētīto introducēto sugu augšanu, ko galvenokārt noteica iepriekšējā gada vasaras beigu ūdens pieejamība (8. tab.), sagaidāmās klimata pārmaiņas, visticamāk, samazinās, tomēr šādu klimata pārmaiņu ietekmi varētu mazināt ar mežsaimniecības paņēmieniem – stādot šīs sugas vietās ar paaugstinātu mitruma daudzumu. Tomēr, tā kā koku augšanu parasti ietekmē viskritiskākais faktors (Speer, 2010), iespējams, ka klimata pārmaiņu rezultātā mainoties limitējošiem faktoriem, sagaidāmais augšanas uzlabojums var būt mazāks nekā gaidīts vai izpalikt (Wilmking et al., 2004).

## Izmantotā literatūra

- Ahas R., Jaagus J., Aasa A. (2000). The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature. *International Journal of Biometeorology*, 44: 159–166.
- Alden J., Hermann R.K. (1971). Aspects of the cold-hardiness mechanisms in plants. *Botanical Review*, 37: 37–142.
- 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.
- Avotniece Z., Rodinov V., Lizuma L., Briede A., Kļaviņš M. (2010). Trends in frequency of extreme climate events in Latvia. *Baltica*, 23: 135–148.
- Barbaroux C., Breda N. (2002). Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse porous beech trees. *Tree Physiology*, 22: 1201–1210.
- Berry J.A., Downton W.J.S. (2012). Environmental regulation of photosynthesis (vol. 2). In: Govindjee ed., *Photosynthesis: development, carbon metabolism and plant productivity*. London, Elsevier, pp 265–345.
- 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.
- Bright R.M., Antón-Fernández C., Astrup R., Cherubini F., Kvalevåg M., Strømman A.H. (2014). Climate change implications of shifting forest management strategy in a boreal forest ecosystem of Norway. *Global Change Biology*, 20: 607–621.
- Bunn A.G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26: 115–124.
- Burton L.D. (2011). *Introduction to forestry science*, 3rd ed. Clifton Park. Delmar, 544 pp.
- Carlquist S.J. (2001). *Comparative wood anatomy: Systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Berlin, Springer, 448 pp.
- Carrer M., Urbinati C. (2006). Long-term change in the sensitivity of tree-ring growth to climate forcing in *Larix decidua*. *New Phytologist*, 170: 861–872.
- Cedro A. (2001). Dependence of radial growth of *Pinus sylvestris* L. from western Pomerania on the rainfall and temperature conditions. *Geochronometria*, 20: 69–74.
- Cook E.R., Holmes R.L. (1986). Guide for computer program ARSTAN. In: Holmes, R.L., Adams, R.K., Fritts, H.C. Eds., *Tree-ring chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin*. Tucson, University of Arizona Press, pp. 50–65.
- Deslauriers A., Rossi S., Anfodillo T., Saracino A. (2008). Cambial phenology, wood formation and temperature thresholds in two contrasting years at high altitude in southern Italy. *Tree Physiology*, 28: 863–871.
- Douglass A.E. (1941). Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry*, 39: 825–831.
- Dreimanis A. (2005). Mežsaimniecības vēsturiskā mantojuma zinātniskā izpēte un izvērtējams Šķēdes mežu novadā. Pētījuma atskaite, Jelgava, 87 lpp.
- Elferts D. (2008). Klimatisko faktoru ietekme uz parastās priedes *Pinus sylvestris* L. radiālo augšanu Latvijas rietumu daļas sausieņu mežos. Promocijas darbs, Rīga, Latvijas Universitāte, 106 lpp.

- Elferts D., Dauškane I., Ūsele G., Treimane A. (2011). Effect of water level and climatic factors on the radial growth of black alder. *Proceeding of Latvian Academy of Science*, 65: 164–169.
- Essiamah S., Eschrich W. (1985). Changes of starch in the storage tissues of deciduous trees during winter and spring. *IAWA Bulletin*, 6: 97–106.
- EUFORGEN (2009). Distribution maps. <http://www.euforgen.org/distribution-maps/>, apskatīts 05.06.2014.
- Fritts H.C. (2001). *Tree-rings and climate*. Caldwell, The Blackburn Press, 582 pp.
- Grissino-Mayer H.D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57: 205–221.
- Gu L., Hanson P.J., Post W.M., Kaiser D.P., Yang B., Enami R., Pallardy S.G., Meyers T. (2008). The 2007 Eastern US spring freeze: Increased cold damage in a warming world? *BioScience*, 58: 253–262.
- 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: 151–74.
- Harrison, P.A., Berry, P.M., Butt, N., New, M., 2006. Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale: implications for conservation policy. *Environmental Science and Policy*, 9: 116–128.
- Hickler T., Vohland K., Feehan J., Miller P.A., Smith B., Costa L., Giesecke T., Fronzek S., Carter T.R., Cramer W., Kühn 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.
- IPCC (2007). Randall D.A., et al. *Climate Models and Their Evaluation*. In: Solomon S., Qin M., Manning, Z., Chen M., Marquis K.B., Averyt M., Tignor Miller H.L. eds., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, 566 pp.
- Kaelke C.M., Dawson J.O. (1997). Seasonal flooding regimes influence survival, nitrogen fixation, and the partitioning of nitrogen and biomass in *Alnus incana* ssp. *rugosa*. *Trees-Structure and Function*, 12: 27–34.
- Kelly P.M., Leuschner H.H., Briffa K.R., Harris I.C. (2002). The climatic interpretation of pan-European signature years in oak ring-width series. *Holocene*, 12: 689–694.
- Kramer P.J. (1951). Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil. *Plant Physiology*, 26: 722–736.
- Kullman L. (2008). Thermophilic tree species reinvade subalpine Sweden—early responses to anomalous late Holocene climate warming. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 40: 104–110.
- Larsson-Stern M. (2003). *Larch in Commercial Forestry: A Literature Review to Help Clarify the Potential of Hybrid Larch (*Larix × eurolepis* Henry) in Southern Sweden*. Swedish forestry, Alnarp. 32 pp.
- Leininen I. (1996). A simulation model for the annual frost hardness and freeze damage of Scots pine. *Annals of Botany*, 78: 687–693.



- Lichstein J.W., Simons T.R., Shriner S.A., Franzreb K.E. (2002). Spatial autocorrelation and autoregressive models in ecology. *Ecological Monographs*, 72: 445–463.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M.J., Marchetti M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709.
- Lizuma L., Kļaviņš M., Briede A., Rodinovs V. (2007). Long-term changes of air temperature in Latvia. In: Kļaviņš M. Ed., *Climate change in Latvia*. Riga, University of Latvia, pp. 11–20.
- Logan J.A., Regniere J., Powell J.A. (2003). Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1: 130–137.
- Lu P., Biron P., Breda N., Granier A. (1995). Water relations of adult Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) under soil drought in the Vosges mountains: water potential, stomatal conductance and transpiration. *Annals of Forest Science*, 52: 117–129.
- Maiorano L., Cheddadi R., et al. (2013). Building the niche through time: using 13,000 years of data to predict the effects of climate change on three tree species in Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 22: 302–317.
- Matisons R., Brūmelis G. (2012). Influence of climate on tree-ring and earlywood vessel formation in *Quercus robur* in Latvia. *Trees-Structure and Function*, 26: 1521–1266.
- Matisons R., Elferts D., Brūmelis G. (2012). Changes in climatic signals of English oak tree-ring width and cross-section area of earlywood vessels in Latvia during the period 1900–2009. *Forest Ecology and Management*, 279: 34–44.
- Mattson W.J., Haack R.A. (1987). Role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *Bioscience*, 37: 110-118.
- Mauriņš A., Zvirgzds A. (2006). *Dendroloģija*. Rīga, Latvijas Universitātes apgāds, 447 lpp.
- McCune B., Mefford M.J. (1999). *PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data*. Glenden Beach, MjM Software, 237 pp.
- Menzel A., Fabian P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 397: 659–659.
- Merian P., Bontemps J.D., Berger L., Lebourgeois F. (2011). Spatial variation and temporal instability in climate-growth relationships of sessile oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) under temperate conditions. *Plant Ecology*, 212: 1855–1871.
- Meža likums. Izdevējs Latvijas republikas saeima, stājies spēkā 2000. gada 24. februārī. Aktuālā redakcija skatīta 10.06.2014.
- Michelot A., Simard S., Rathgeber C., Dufrene E., Damesin C. (2012). Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and nonstructural carbohydrate dynamics. *Tree Physiology*, 32: 1033–1043.
- Neuwirth B., Schweingruber F.H., Winiger M. (2007). Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971. *Dendrochronologia*, 24: 79–89.
- Oksanen J., Blanchet F.G., Kindt R., Legendre P., Minchi P.R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M.H., Wagner H. (2013). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.0-6. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Pallardy S.G. (2008). *Physiology of woody plants*, third ed. London, Elsevier, 464 pp.

- Parry M., Canziani O., Palutikof J., van der Linden P., Hanson C. Eds. (2007). Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge, Cambridge university press, 976 pp.
- Pärn H. (2009). Temporal history of relationships between Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth and mean monthly temperatures. *Baltic Forestry*, 15: 48–57.
- Pearce R.S. (2001). Plant freezing and damage. *Annals of Botany*, 87: 417–424.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Reich P.B., Oleksyn J. (2008). Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north. *Ecology Letters*, 11: 588–597.
- Rozas V. (2001). Detecting the impact of climate and disturbances on tree-rings of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in a lowland forest in Cantabria, Northern Spain. *Annals of Forest Science*, 58: 237–251.
- Rozas V. (2005). Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an oldgrowth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Annals of Forest Science*, 62: 209–218.
- Sander I.L. (1990). *Quercus rubra* L. Northern red oak. In: Burns R.M., Honkala B.H. Eds. *Silvics of North America, Vol. 2, Hardwoods*. Washington DC, Forest Service United States Department of Agriculture, pp. 727–733.
- Schweingruber F.H. (1996). *Tree rings and environment—dendroecology*. Berlin, Paul Haupt Verlag, 609 pp.
- Sokal R.R., Rohlf F.J. (1995). *Biometry*, third ed. New York, Freeman and Company, 887 pp.
- Speer J.H. (2010). *Fundamentals of tree-ring research*. Tucson, The University of Arizona Press, 333 pp.
- Steudle E. (2000). Water uptake by plant roots: an integration of views. *Plant and Soil*, 226: 45–56.
- Sturrock R.N., Frankel S.J., Brown A.V., Hennon P.E., Kliejunas J.T., Lewis K.J., Worall J.J., Woods A.J. (2011). Climate changes and forest diseases. *Plant Pathology*, 60: 133–149.
- Sykes M.T., Prentice I.C. (1996). Climate change, tree species distributions and forest dynamics: A case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic Change*, 34: 161–177.
- Tezara W., Mitchell V.J., Driscoll S.D., Lawlor D.A. (1999). Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*, 401: 914–917.
- Thuiller W. (2004). Patterns and uncertainties of species range shifts under climate change. *Global Change Biology*, 10: 2020–2027.
- Tierney G.L., Fahey T.J., Groffman P.M., Hardy J.P., Fitzhugh R.D., Driscoll C.T. (2001). Soil freezing alters fine root dynamics in a northern hardwood forest. *Biogeochemistry*, 56: 175–190.
- Traykovic S. (2005). Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage E.-ASCE*, 131: 316–323.
- Tyree M.T., Cochard H. (1996). Summer and winter embolism in oak: Impact of water relations. *Annals of Forest Science*, 53: 173–180.

- Tyree M.T., Ewers F.W. (1991). The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist*, 119: 345–360.
- Tyree M.T., Zimmermann M.H. (2002). *Xylem structure and ascent of sap*. Berlin, Springer, 283 pp.
- Umebayashi T., Utsumi Y., Koga S., Inoue S., Fujikawa S., Arakawa K., Matsumura J., Oda K. (2008). Conducting patterns in north temperate deciduous broadleaved trees. *IAWA Journal*, 29: 247–263.
- van der Werf G.W., Sass-Klaassen U., Mohren G.M.J. (2007). The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia*, 25: 103–112.
- van Hees A.F.M. (1997). Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in relation to shading and drought. *Annals of Forest Science*, 54: 8–18.
- Vitas A., Žeimavičius K. (2010). Regional tree-ring chronology of European larch (*Larix decidua* Mill.) in Lithuania. *Baltic Forestry*, 16: 187–193.
- Walther G.R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J.M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. (2002). Ecological response to recent climate change. *Nature*, 416: 389–395.
- 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. *Journal of International 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.