



Par līgumdarba

“Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām”

izpildes gaitu

Projekta vadītājs:

/Ā. Jansons/

Salaspils, 2011

Kopsavilkums

Projekta ietvaros pārskata periodā pabeigta klimata izmaiņu modelēšana, sagatavojot metodiku un definējot vietas Eiropā, kurās jau šobrīd klimats atbilst Latvijā nākotnē prognozētajam. Konstatēts, ka Latvijas tuvās nākotnes klimatam līdzīgi apstākļi ir Polijas austrumu un centrālajā daļā, Lietuvā, Baltkrievijas R, Ukrainas ZR un Zviedrijas DR daļās; Latvijas tālās nākotnes klimatam līdzīgi – divos ģeotelpiski atdalītos apgabalos: 1) Polijas centrālajā un dienvidu daļā; 2) Vācijas rietumu daļā un Luksemburgā, Nīderlandes un Beļģijas DA reģionos. Definētajos reģionos konstatētas līdzīgas koku fenoloģisko procesu vēsturiskās izmaiņu tendences kā Latvijas teritorijā.

Veicot augsnes analīžu rezultātu izvērtēšanu konstatēts, ka boreālnemorālajā zonā, kur augsnes cilmiezi veido dažāda granulometriskā sastāva ledāja un ledāja kušanas ūdeņu veidotie nogulumi, daudzos gadījumos nav atrodama cieša sakarība starp nogulumu ģenētisko tipu un augsnes grupu, kas izdalīta atbilstoši FAO WRB augšņu klasifikācijai. Provizoriskie pētījumu rezultāti, ņemot vērā gan klimata, gan augsnes apstākļus liecina, ka klimatam kļūstot siltākam parastā priede joprojām dominēs uz *Podzols* un *Arenosols* augsnēm, bet nākotnē varētu palielināties starpsugu konkurence uz auglīgākajām *Luvisols* un *Stagnosols* augsnēm. Lai varētu novērtēt parastās egles konkurētspēju, jānoskaidro tās izplatības limitējošos klimatiskos parametrus Eiropā, kā arī parastā ozola (*Quercus robur*), parastā dižskābārža (*Fagus sylvatica*) un parastā skabārža (*Carpinus betulus*) limitējošos klimatiskos parametrus.

Veicot literatūras atziņu apkopojumu par iespējamo biotisko faktoru izmaiņām konstatēts, ka mērenas klimatiskas izmaiņas veicinās saimniecībā nozīmīgu skujkoku dendrofāgo kukaiņu sugu un to nodarīto postījumu pieaugumu. Sagaidāms, ka dažas esošās allohtonās sugas iegūs attīstībai optimālus apstākļus, tādējādi masveidā savairojoties. Krasa temperatūras celšanās gadījumā (prognozes gadsimta beigām) nozīmīgāk cietīs lapukoki (bērzs, apse, alkšņi), kuru lapgraužu kukaiņu sugām raksturīgā prasība pēc paaugstinātākas temperatūras.

Literatūras dati liecina, ka nākotnē sagaidāmie klimatiskie apstākļi būs labvēlīgāki sakņu trupes *Heterobasidion annosum s.l.* attīstībai paredzam šīs ģints citu sugu saimniekaugu maiņa, piemēram *H. abietinum* izplatība arī uz eglēm. Ļoti bīstama ir svešu patogēno sēņu invāzija, kuru izplatību var ietekmēt siltāks klimats un kas jau novērojama, piemēram: *Mycosphaerella pini* Somijā un Zviedrijā, *Cyclaneusma minus* – Igaunijā.

Sagaidāms, ka daudzas kokaugu slimības un kaitēkļi būs postošāki, ņemot vērā, ka palielinās abiotiskie stresi, kas pastiprināt koku uzņēmību, jutību. Pārskata periodā projekta ietvaros balstoties uz literatūras datiem analizēti tādi abiotiskie faktori kā vējš, uguns, CO₂. Izstrādātas atsevišķas rekomendācijas to ietekmes mazināšanai. Ievāks un apstrādāts empīriskais materiāls (pārmērīti parauglaukumi) ar mērķi precizēt Latvijas apstākļiem izstrādātos vēja bojājuma varbūtības prognožu vienādojumus. Saskaņā ar klimata izmaiņu prognozēm aprēķinātās Nesterova indeksa vērtības liecina: ja vēsturiski piejūras reģionā bijis 3% gadu, kad indekss lielāks par 4000, bet Dienvidlatgale ap 20% gadu, tad jau tuvajā nākotnē augsta ugunsbīstamība būs attiecīgi 16% gadu un 70% gadu. Tendences turpināsies arī līdz gadsimta beigām, kas liecina par nepieciešamību pievērst ievērojamu vērību uguns aizsardzības pasākumiem.

Dendroklimatoloģiskās analīzes, izmantojot datus no projekta ietvaros ierīkoti parauglaukumiem visā Latvijas teritorijā, liecina, ka klimatiskie faktori (vidējās gaisa temperatūras un nokrišņu daudzums) izskaidro vidēji 20-30% no gadskārtu platumu vērtību variēšanas. Rezultāti liecina, ka lapu kokiem (bērzam, melnalksnim) klimata ietekme izpaužas galvenokārt lokāli, sagaidāmo klimata izmaiņu efekts ir grūti prognozējams un atšķirsies dažādos apstākļos. Klimata izmaiņas var pozitīvi ietekmēt egļu augšanu pavasarī, ņemot vērā ziemas un pavasara mēnešu vidējo temperatūru pieaugumu, toties būtiskākais negatīvais efekts saistāms ar jūnija vidējo gaisa temperatūru pieaugumu un kaut vai minimālām izmaiņām jūnija nokrišņu daudzumā. Priežu augšanai nozīmīgākie klimatiskie faktori ar pozitīvu ietekmi ir janvāra, februāra un marta vidējās gaisa temperatūras, kuras nākotnē pieaugs.

Visi pārskata periodā plānotie darba uzdevumi izpildīti pilnā apmērā.

Starpatskaitē ietverta informācija par pārskata periodā saskaņā ar plānu veiktajām aktivitātēm līguma 1. pielikuma darba uzdevumiem Nr. 1 (nodaļas Nr. 1, 2), Nr. 2 (nodaļa Nr. 3), Nr. 3 un 4 (nodaļas Nr. 4 un 5), kā arī darba uzdevumu Nr. 8 (nodaļas Nr. 4.4)

Šajā pārskata periodā saskaņā ar darba uzdevumiem nav paredzēti un nav izstrādāti detalizēti secinājumi un priekšlikumi, tie paredzēti un balstoties uz literatūras datiem un iegūto empīrisko materiālu tiks izstrādāti nākamajā pārskata periodā

SATURS

1.	Latvijas nākotnes klimatam atbilstošu reģionu identifikācija.....	4
1.1	Salīdzinošajā analīzē izmantotā metodika.....	4
1.2	Salīdzinošās analīzes rezultāti.....	9
1.3	Fanoloģisko fāzu raksturojums identificētajos reģionos.....	17
2.	Edafisko apstākļu ietekmes analīze.....	21
2.1	Sakarības starp meža tipiem un edafiskajiem faktoriem mūsdienu apstākļos	21
2.2	Latvijas nākotnes klimatam raksturīgo reģionu raksturojums.....	27
3.	Klimata izmaiņu ietekme uz biotiskajiem faktoriem.....	28
3.1	Koku slimības.....	28
3.2	Dendrofāgie kukaiņi.....	31
4.	Klimata izmaiņu ietekme uz abiotiskajiem faktoriem.....	35
4.1	Vēja un koka/audzes mijiedarbības vispārējie principi.....	35
4.2	Vēju klimata modeļi Latvijas teritorijai.....	40
4.3	Vēja bojājumu varbūtības prognožu vienādojumu precizēšana.....	43
4.4	Rekomendācijas vēja risku mazināšanai.....	47
4.5	Uguns kā riska cēloņa izvērtējums.....	49
4.6	Ugunsgrēku ietekme uz meža ekosistēmas komponentēm.....	52
4.7	Klimata modeļu datu izvērtējums saistībā ar uguns bojājumu draudiem.....	58
4.8	CO ₂ izmaiņu atmosfērā tiešā ietekme uz kokaugiem.....	62
5.	Klimatisko faktoru ietekme uz koku pieaugumu.....	63
5.1	Dendroklimatoloģiskie pētījumi un koku sugu raksturojums.....	63
5.2	Dendroklimatoloģijas pētījuma materiāls un metodes.....	65
5.3	Radiālā pieauguma hronoloģijas.....	70
5.4	Klimatisko faktoru saistība ar hronoloģiju vērtībām.....	72
5.5	Izskaidrotā hronoloģiju vērtību variēšana.....	76
5.6	Zīmīgie gadi un to intensitātes vērtības.....	79
5.7	Klimatisko faktoru izskaidrotā zīmīgo gadu variēšanas daļa.....	85
5.8	Klimatisko faktoru izmaiņu ietekme uz koku pieaugumu.....	88
PIELIKUMS: Latvijas klimats pasaules ziemeļu puslodes klimata kontekstā.....		93
1.	Latvijas mūsdienu klimats.....	93
2.	Latvijas tuvās nākotnes klimats.....	97
3.	Latvijas tālās nākotnes klimats.....	102

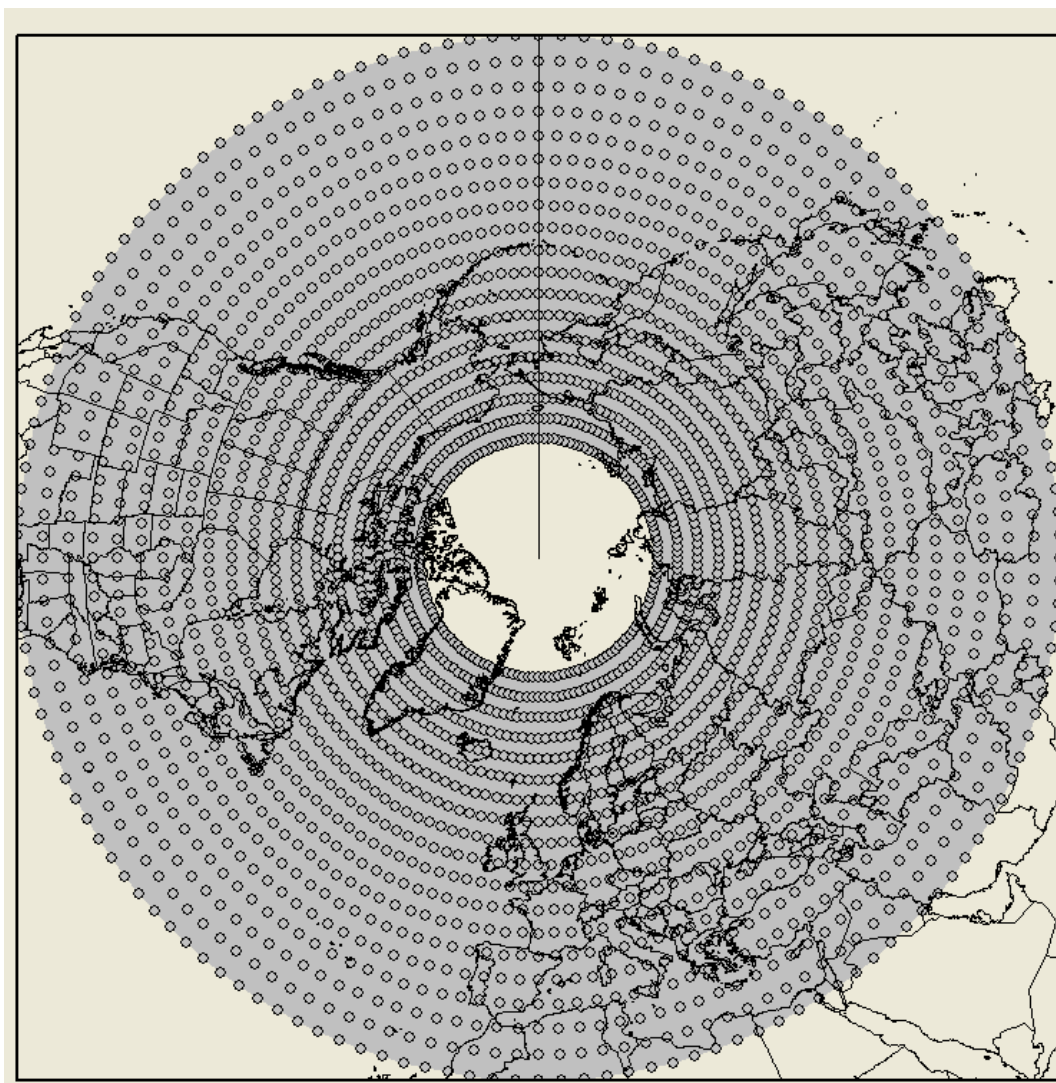
1. Latvijas nākotnes klimam atbilstošu reģionu identifikācija

Pētījuma daļas mērķis ir identificēt tādu reģionus pasaules un Eiropas mērogā, kuros klimatiskie apstākļi jau šobrīd atbilst tiem, kādi prognozēti Latvijā nākotnē (projekta I etapa rezultāts). Mežu analīze šādos reģionos sniegtu zināmu priekšstatu par iespējamajām klimata izmaiņu sekām, nepieciešamajiem pielāgojumiem meža apsaimniekošanas procesā Latvijā nākotnē

1.1 Salīdzinošajā analīzē izmantotā metodika

Latvijas nākotnes klimam atbilstošu reģionu atrašana Eiropā tika veikta, izveidojot klimatisko apstākļu novirzes funkciju, kas ļauj piekārtot vienu skaitli (klimata novirzi) jebkuriem diviem zemeslodes punktiem. Šī darba ietvaros tika pieņemts lēmums novirzes funkciju konstruēt no 24 parametriem - klimatiskam periodam (30 gadi) vidējotas temperatūras un nokrišņu intensitātes mēneša vidējās vērtības.

Izstrādātā klimata novirzes noteikšanas metodikas (aprakstīta turpmāk tekstā) pielietošanai nepieciešamas 24 parametru kopas visam salīdzināšanas apgabalam mūsdienu klimatam (1961-1990. gads) un klimata projekcijām – tuvās (2021-2050) un tālās (2071-2100) nākotnes klimatam Latvijā.

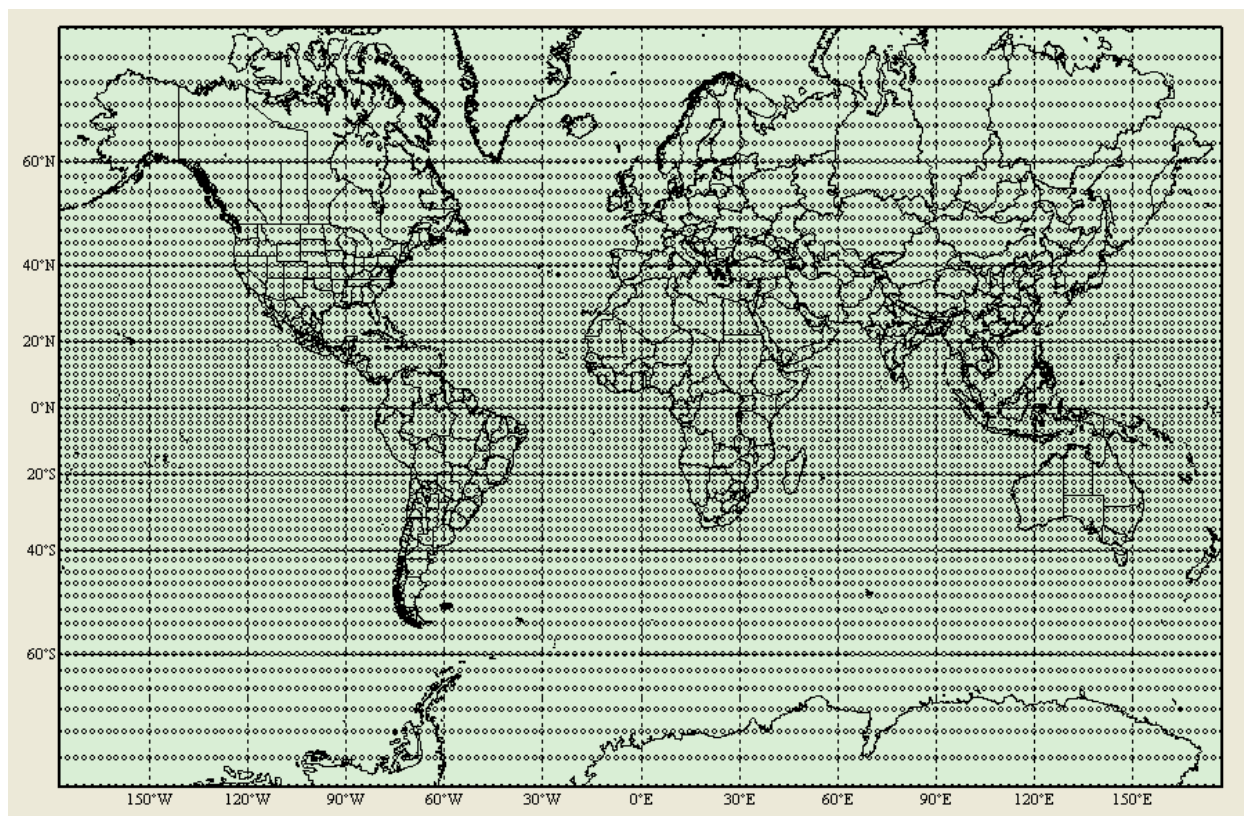


Attēls 1.1a. Salīdzināšanas apgabals un režģa punktu izvietojums tajā: apgabals Z-puslodē no 30.-75. paralēlei.

Darba gaitā tika veikta kopu salīdzinoša analīze starp izvēlēto kopējo salīdzināšanas apgabalu pasaulē un Latvijas teritoriju. Apskatītas divas situācijas:

- 1) izvēlētais apgabals novietots starp 30 un 75 paralēli ziemeļu puslodē (att. 1.1a);
- 2) izvēlētais apgabals novietots starp 75 paralēlēm ziemeļu un dienvidu puslodēs (att. 1.1b).

Abos gadījumos punkti, kam tika pielietota salīdzināšanas metodika, izvēlēti uz 2.5 x 2.5 grādu režģa (saistībā ar pieejamo datu telpisko izvietojumu).



Attēls 1.1b. Salīdzināšanas apgabals un režģa punktu izvietojums tajā: apgabals starp 75. paralēlēm Z un D-puslodēs.

Atskaites pamattekstā esošie secinājumi balstīti uz salīdzinošo analīzi lielākajā no apgabaliem (att. 1.1b). Aprēķinā, kas veikts tikai izmantojot Z-puslodē starp 30.-75.paralēli esošos režģu punktus, iegūtie rezultāti pievienoti 1.pielikumā.

Latvijas tuvās un tālās nākotnes klimatu raksturo ar pēc modeļansambļu metodes PAIC(2010a) atrastām vidējo izmaiņu (50 % percentilei atbilstošā) scenārija mēneša vidējām vērtībām temperatūrai un nokrišņu intensitātei un no tām izveidotām 24 parametru kopām (attieciņi laika posmos no 2021-2050 un 2071-2100. gadam).

Par Pasaules pašreizējo (mūsdienu) klimatu pētījumā iegūta informācija no ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) datu portāla http://data-portal.ecmwf.int/data/d/era40_moda/, izmantojot tur pieejamās temperatūras 2 m augstumā, kā arī konvektīvo un stratiformo nokrišņu intensitātes mēneša vidējās vērtības. Mēneša vidējā nokrišņu intensitāte pētījumā tika pieņemta kā konvektīvo un stratiformo nokrišņu mēneša vidējo vērtību summa.

Kvantitatīvas analīzes veikšanai matemātiski tika definēta klimata novirze - bezdimensionāls attālums Δ starp klimatu divos dažādos punktos raksturojošām datu kopām (ar minimālo vērtību 0 sakrītoša klimata gadījumam, un maksimālo iespējamo vērtību 1 iespējami atšķirīga klimata gadījumā). Attālums tika definēts tā, lai tā vērtība, ja klimats abos zemeslodes punktos, starp kuriem tiek veikta „klimata salīdzināšana”, sakrīt, ir vienāda ar nulli.

Vērtējot klimata sakrītību (kas tiek raksturota ar attālumu starp parametru kopām Δ) vienlaikus nozīme ir gan sakrītībai starp temperatūrām dažādos mēnešos, gan arī sakrītībai starp mēneša vidējām nokrišņu intensitātēm (citi parametri analīzē netika apskatīti).

Sakrītības raksturošanai starp visu mēnešu vidējām temperatūrām mūsdienās $T_{i,m}$ (kur $m=1..12$) kādā režģa punktā i un mēneša vidējām temperatūrām Latvijā periodā k (kur $k - CTL$ mūsdienu klimats, AIB – tuvā un $AIBL$ – tālā nākotne) tika aprēķināta novirze

$$\Delta T_{i,k} = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} |T_{i,m} - T_{k,m}^{LV}|.$$

Parametra $\Delta T_{i,k}$ dimensija sakrīt ar vidējās temperatūras dimensiju un ir $^{\circ}\text{C}$.

Ņemot vērā to, katra mēneša vidējā temperatūra Latvijā dažādos Latvijas apgabalos atšķiras un $T_{k,m}^{LV}$ nav viena vērtība, bet vērtību kopa Latvijas teritorijā ar minimālo vērtību $\min(T_{k,m}^{LV})$ un maksimālo vērtību $\max(T_{k,m}^{LV})$, tad lielums $|T_{i,m} - T_{k,m}^{LV}|$ tika aprēķināts sekojoši:

$$|T_{i,m} - T_{k,m}^{LV}| = \begin{cases} T_{i,m} - \min(T_{k,m}^{LV}), & \text{ja } T_{i,m} < \min(T_{k,m}^{LV}); \\ T_{i,m} - \max(T_{k,m}^{LV}), & \text{ja } T_{i,m} > \max(T_{k,m}^{LV}); \\ 0, & \text{ja } \min(T_{k,m}^{LV}) < T_{i,m} < \max(T_{k,m}^{LV}). \end{cases}$$

Salīdzinot klimatu pēc kāda no parametriem katrā ārpus Latvijas esošā staciju ar Latviju – uzskatām, ka parametrs nerada atšķirības no Latvijas klimata, ja tā vērtība ir starp šī parametra mazāko un lielāko vērtību Latvijā (salīdzināmajā apgabalā). Ja tā vērtība ir ārpus šī intervāla, tad tas palielina attālumu starp salīdzināmajiem klimatiem proporcionāli starpībai līdz tuvākai vērtībai salīdzināmajā teritorijā (tā var būt gan mazākā, gan lielākā), ko arī apraksta priekš lieluma $|T_{i,m} - T_{k,m}^{LV}|$ uzrakstītā sakarība.

Aprēķinot attālumu starp Latvijas klimatu un klimatu D-puslodē, izmantota 6 mēnešu fāzu nobīde.

Sakrītības raksturošanai starp visu mēnešu vidējām nokrišņu intensitātēm mūsdienās $T_{i,m}$ (kur $m=1..12$) kādā režģa punktā i un mēneša vidējām nokrišņu intensitātēm Latvijā periodā k tika aprēķināta novirze

$$\Delta p_{i,k} = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} |p_{i,m} - p_{k,m}^{LV}|.$$

Līdzīgi kā iepriekš temperatūrai $|p_{i,m} - p_{k,m}^{LV}|$ tiek aprēķināts sekojoši:

$$|p_{i,m} - p_{k,m}^{LV}| = \begin{cases} p_{i,m} - \min(p_{k,m}^{LV}), & \text{ja } p_{i,m} < \min(p_{k,m}^{LV}); \\ p_{i,m} - \max(p_{k,m}^{LV}), & \text{ja } p_{i,m} > \max(p_{k,m}^{LV}); \\ 0, & \text{ja } \min(p_{k,m}^{LV}) < p_{i,m} < \max(p_{k,m}^{LV}). \end{cases}$$

Parametra $\Delta p_{i,k}$ dimensija sakrīt ar nokrišņu intensitātes dimensiju un ir mm/dienn. Analīzē izmantotās $\min(T_{k,m}^{LV})$, $\max(T_{k,m}^{LV})$, $\min(p_{k,m}^{LV})$ un $\max(p_{k,m}^{LV})$ vērtības iekļautas 1.1. un 1.2 tabulās.

1.1 tabula

Mēneša vidējo temperatūru intervāls Latvijas teritorijā mūsdienās, tuvā un tālā nākotnē.

m	$\min(T_{CTL,m}^{LV})$	$\max(T_{CTL,m}^{LV})$	$\min(T_{AIB,m}^{LV})$	$\max(T_{AIB,m}^{LV})$	$\min(T_{AIBL,m}^{LV})$	$\max(T_{AIBL,m}^{LV})$
1	-7.78	-3.29	-4.87	-0.35	-2.54	2.06
2	-6.78	-3.03	-4.95	-0.99	-2.19	1.79
3	-2.59	0.32	-0.37	2.35	2.21	4.64
4	2.90	5.56	5.00	7.29	7.19	8.74
5	8.21	12.10	10.32	13.21	12.48	14.67
6	13.09	15.71	15.03	17.37	16.79	18.48
7	15.70	17.19	16.77	18.49	18.23	19.97
8	14.72	16.34	16.24	18.23	17.64	19.66
9	10.04	12.61	11.61	14.52	13.42	16.16
10	5.17	8.40	7.34	10.54	9.06	12.19
11	-0.33	3.66	1.52	5.61	3.15	7.28
12	-4.85	-0.35	-3.00	1.75	-0.49	4.06

1.2 tabula

Mēneša vidējo nokrišņu intensitāšu intervāls Latvijas teritorijā mūsdienās, tuvā un tālā nākotnē.

m	$\min(T_{CTL,m}^{LV})$	$\max(T_{CTL,m}^{LV})$	$\min(T_{AIB,m}^{LV})$	$\max(T_{AIB,m}^{LV})$	$\min(T_{AIBL,m}^{LV})$	$\max(T_{AIBL,m}^{LV})$
1	0.89	1.71	1.08	2.02	1.24	2.30
2	0.80	1.28	1.00	1.54	1.09	1.70
3	0.86	1.50	1.02	1.62	1.16	2.02
4	1.06	1.69	1.21	2.01	1.31	2.17
5	1.10	1.75	1.25	1.95	1.55	2.19
6	1.40	2.42	1.66	2.72	1.62	2.61
7	2.02	3.05	2.47	3.45	2.44	3.37
8	2.10	3.08	2.25	3.33	2.00	3.03
9	1.83	3.04	2.03	3.50	1.96	3.40
10	1.52	3.16	1.82	3.60	1.72	3.53
11	1.50	3.39	1.64	3.73	1.84	4.10
12	1.28	2.40	1.44	2.77	1.60	2.98

Klimata sakrītību raksturojošā parametra Δ veidošanā jāietver gan ar mēneša vidējām temperatūrām, gan nokrišņu intensitātēm saistītās atšķirības – tātad jānosaka bezdimensionāls attālums 24-dimensiju telpā. Nepieciešama ir mēroga izvēle, lai definētu – cik liela temperatūras atšķirība ir ekvivalenta konkrētai nokrišņu intensitātes atšķirībai. Tas ir svarīgi, lai spētu salīdzināt, kura no vietām ir ar Latvijas nākotnei tuvāku klimatu – tā, kurai ir sakrītošas mēneša vidējās temperatūras, bet nedaudz atšķirīga nokrišņu intensitāte, vai tā, kurai – nedaudz atšķirīgas vidējās mēneša temperatūras, bet sakrītošas nokrišņu intensitātes vērtības.

Kā mērogs temperatūras un nokrišņu atšķirībām tika izmantota maksimālās noviržu $\Delta T_{i,k}$ un $\Delta p_{i,k}$ vērtības aprēķinā ietvertajā apgabalā (att. 1.1), kas turpmāk apzīmētas kā $\max(\Delta T_k)$ un $\max(\Delta p_k)$,

skat. 1.3 un 1.4 tabulas. Atšķirīgie mērogi abos apgabalos ir iemesls tam, ka iegūtās Δ vērtību kartes atskaites pamattekstā un pielikumā nav identiskas.

1.3 tabula

Novirzes starp klimatiskiem apstākļiem Δ aprēķinā izmantotie mērogi temperatūrai un nokrišņiem visas pasaules aprēķinā.

Klimatiskais periods, k	$\max (\Delta T_k)$	$\max(\Delta p_k)$
mūsdienas, CTL	55.5	23.7
tuvā nākotne, A1B	57.4	23.3
tālā nākotne, A1BL	59.5	23.2

1.4 tabula

Novirzes starp klimatiskiem apstākļiem Δ aprēķinā izmantotie mērogi temperatūrai un nokrišņiem Z-puslodes aprēķinā (skat. 1.pielikumu).

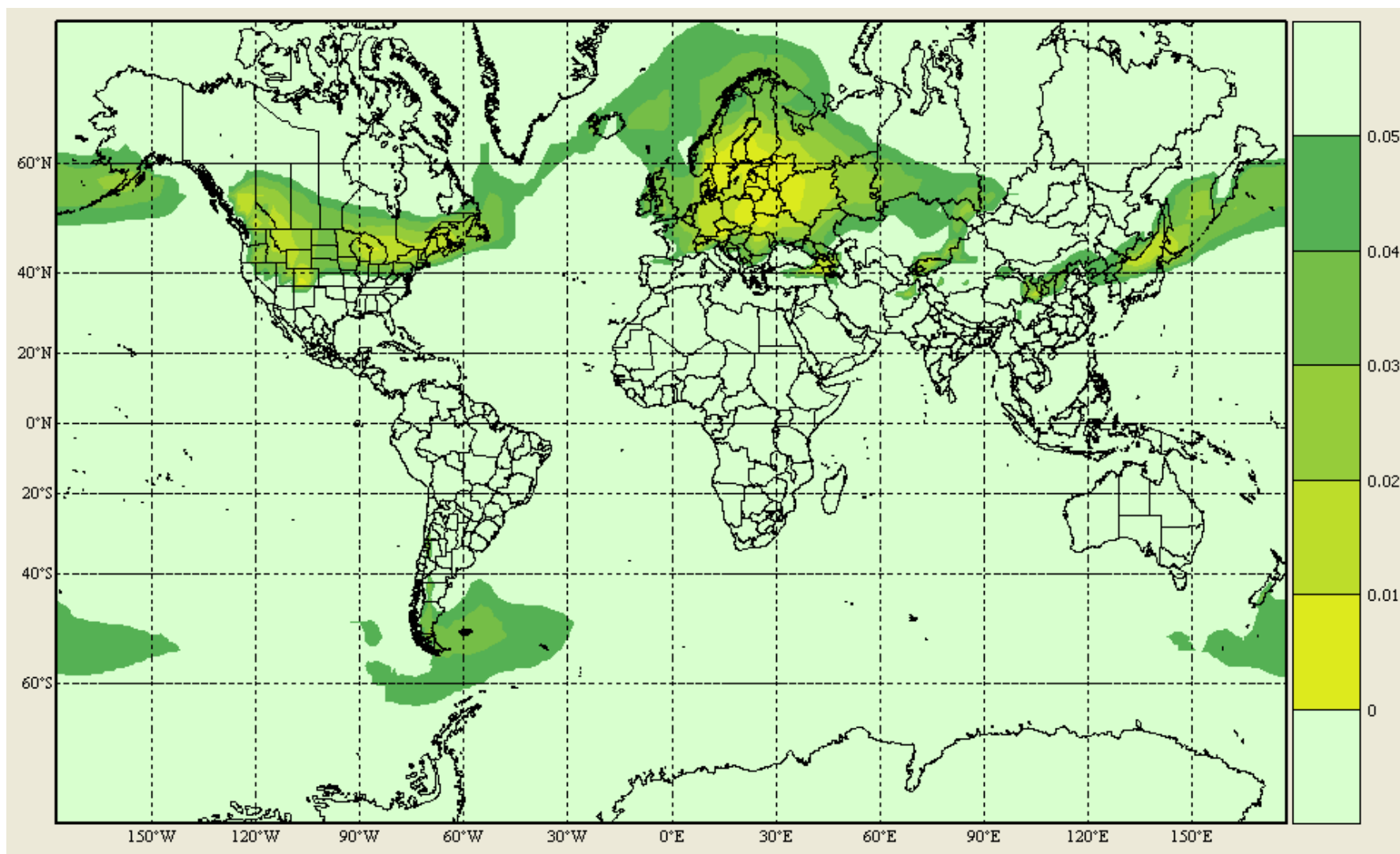
Klimatiskais periods, k	$\max (\Delta T_k)$	$\max(\Delta p_k)$
mūsdienas, CTL	32.1	5.9
tuvā nākotne, A1B	34.1	5.6
tālā nākotne, A1BL	36.1	5.5

Novirze (attālums) starp klimatiskajiem apstākļiem ir bezdimensionāla un tiek aprēķināta pēc formulas:

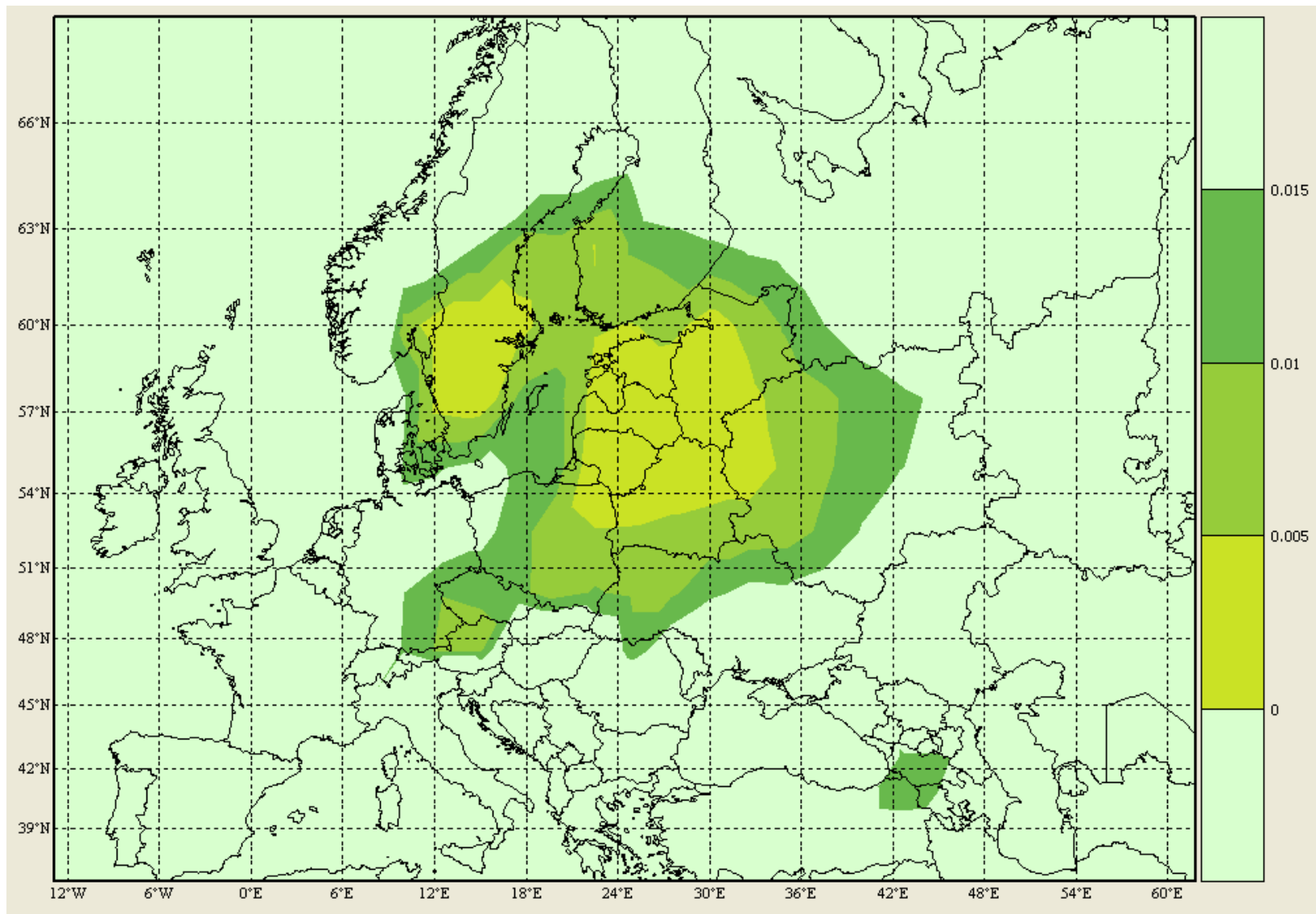
$$\Delta_{i,k} = 0.5 \left(\frac{\Delta T_{i,k}}{\max(\Delta T_k)} + \frac{\Delta p_{i,k}}{\max(\Delta p_k)} \right).$$

Mēroga izvēle nodrošina, ka Δ nevienā no aprēķina apgabala punktiem nepārsniedz 1, savukārt $\Delta T_{i,k}$ un $\Delta p_{i,k}$ definīcija nodrošina $\Delta = 0$ punktus, kuros, gan mēneša vidējās nokrišņu intensitātes, gan temperatūras ir sakrītošas ar Latvijas teritorijā esošajām.

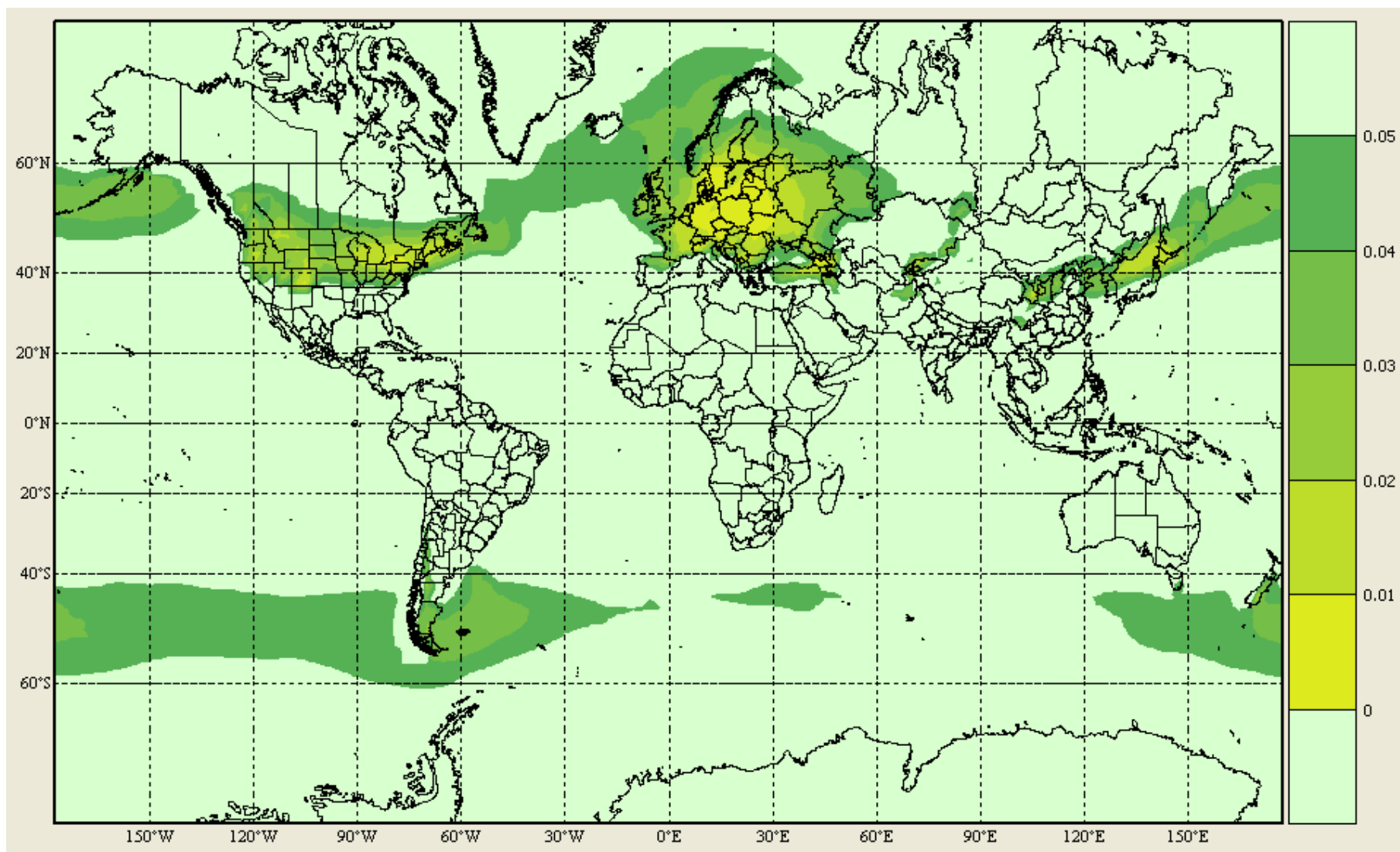
1.2 Salīdzinošās analīzes rezultāti



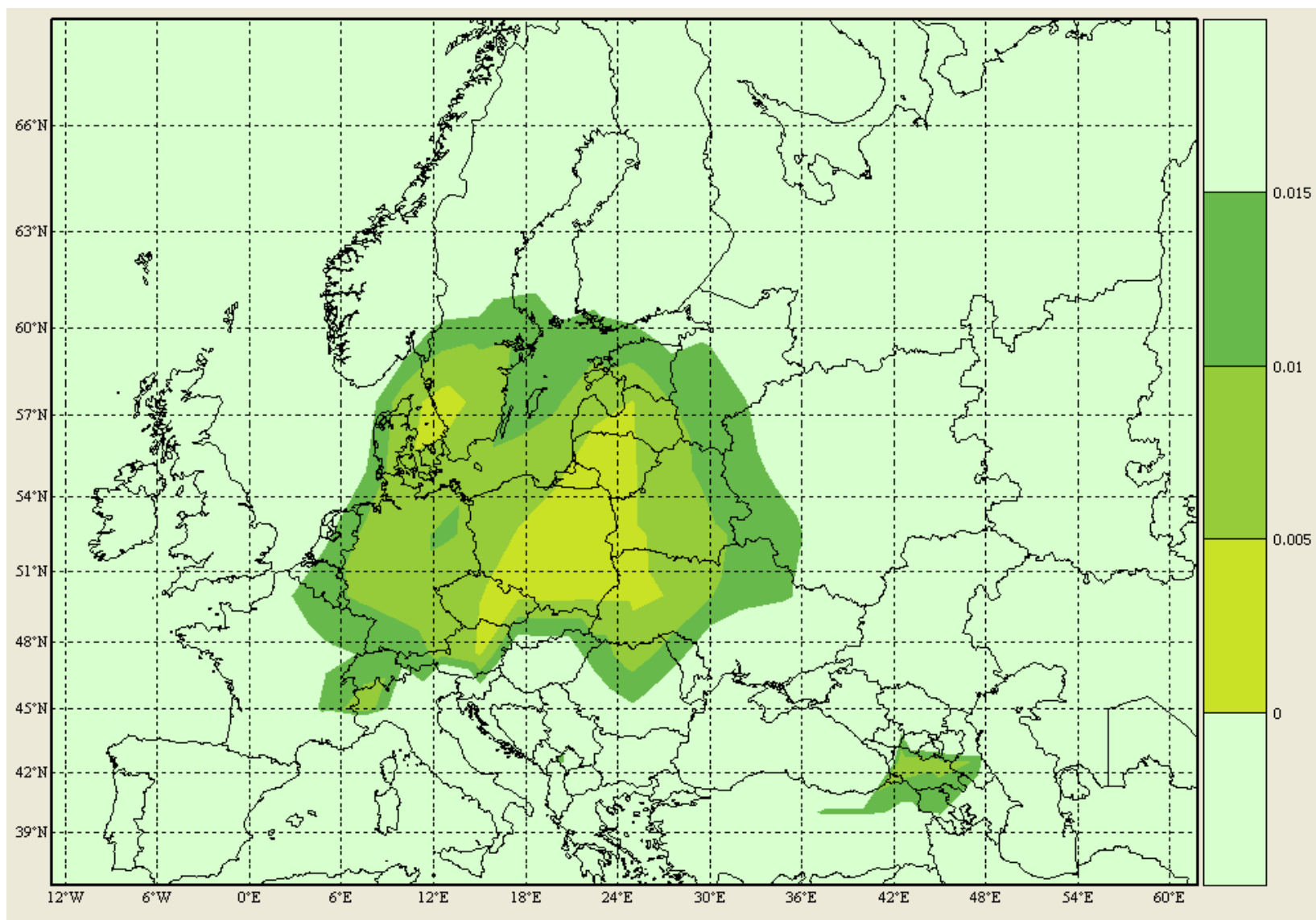
**Attēls 1.2. Pasaules mūsdienu klimata atšķirība Δ_{CTL} no Latvijas mūsdienu klimata.
Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.05 (0-5%).**



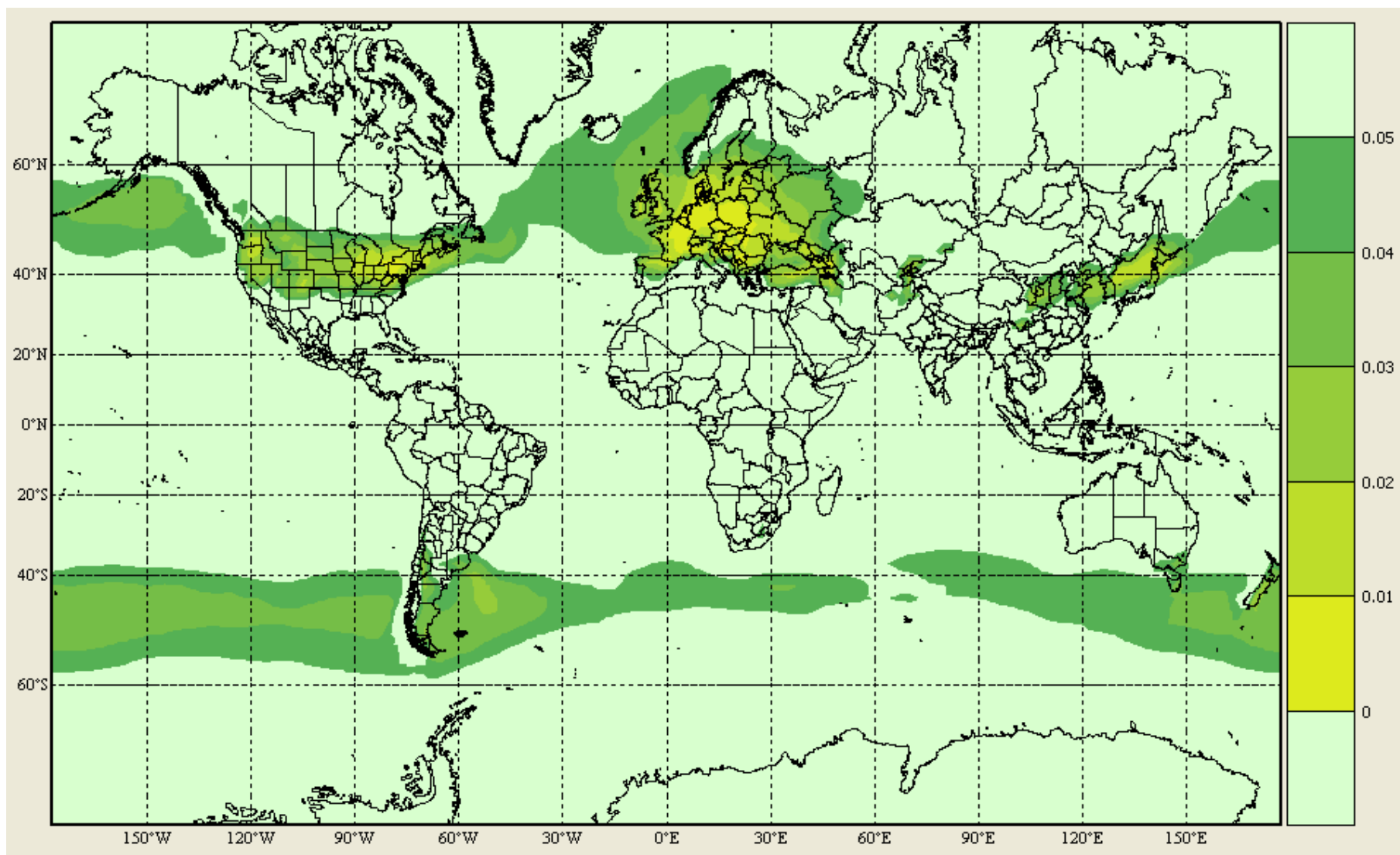
**Attēls 1.3. Eiropas mūsdienu klimata attālums Δ_{CTL} no Latvijas mūsdienu klimata.
Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.015 (0-1.5%).**



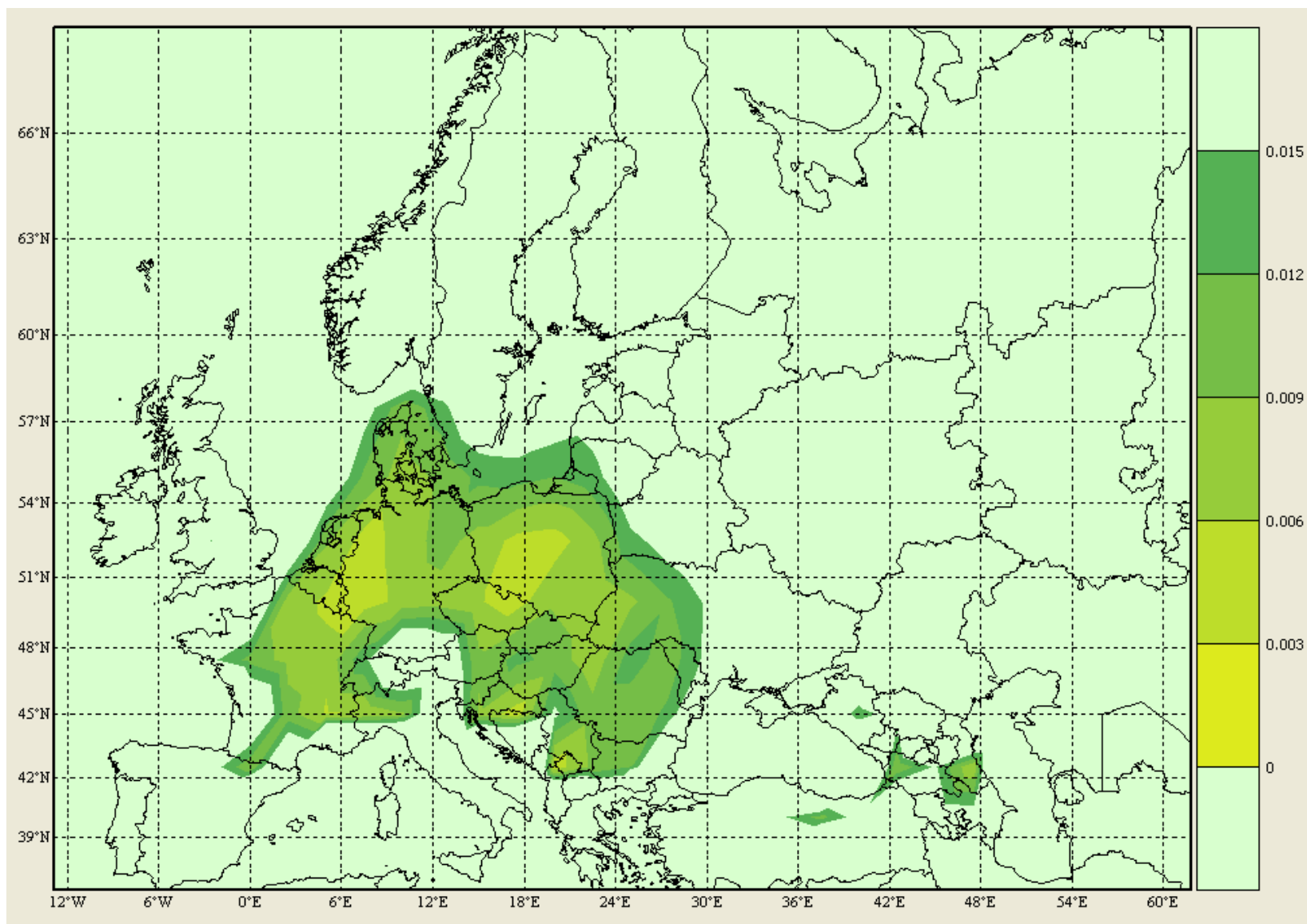
Attēls 1.4. Pasaules mūsdienu klimata attālums Δ_{AIB} no Latvijas tuvās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.05 (0-5%).



Attēls 1.5. Eiropas mūsdienu klimata attālums Δ_{A1B} no Latvijas tuvās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.015 (0-1.5%).



Attēls 1.6. Pasaules mūsdienu klimata attālums Δ_{AIBL} no Latvijas tālās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.05 (0-5%).



Attēls 1.7. Eiropas mūsdienu klimata attālums Δ_{AIBL} no Latvijas tālās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.015 (0-1.5%).

Rezultāti 1.2 attēlā parāda, ka Latvijas mūsdienu klimatam tuvākie reģioni Z-puslodē izvietoti Latvijas teritorijā un tai tuvākās kaimiņvalstīs – Zviedrijas dienvidu daļā, Somijā, Igaunijā, Lietuvā, Krievijā, Baltkrievijā, Polijā, kā arī Z-Amerikā 50. paralēles tuvumā. D-puslodē attālumā <0.05 atrodas reģions D-Amerikas dienvidu daļā, kā arī Jaunzēlandes dienvidu salā, taču šo apgabalu līdzība Latvijai pēc šīs metodes ir vienāda ar Lielbritānijas vai Zviedrijas Z-reģiona līdzību. Dienvidu puslodes rezultātu interpretācijā būtiska var būt arī fāzu nobīdes nozīme, tādēļ 6 mēnešu kalendāro mēnešu vidējo vērtību fāzu nobīde jāvērtē kā analizē izmantots tuvinājums.

Eiropas mērogā 1.3 attēlā redzams, ka Latvijas klimats mūsdienās ir vistuvākais klimatam 2 reģionos: 1) Zviedrijas dienvidu daļai; 2) reģionam, kas ietver Igauniju, Lietuvu, Polijas ZA, Baltkrievijas Z un Krievijas R daļas - Latvijas robežai tuvākos apgabalus.

1.4 un 1.5 attēls parāda, ka tuvā nākotnē Latvijas klimatam līdzīgo reģionu pārbīde Eiropā ir DR virzienā, tādējādi klimats kļūs līdzīgāks mūsdienu klimatam Polijas austrumu un centrālajā daļā, Lietuvā, Baltkrievijas R, Ukrainas ZR un Zviedrijas DR daļā.

1.6 un 1.7. attēlā redzams, ka tālā nākotnē Latvijas klimatam līdzīgo reģionu pārbīde gan Eiropā, gan Z-Amerikā DR virzienā turpinās. Klimatam Latvijā tālā nākotnē pieaug līdzība ar diviem mūsdienu Eiropā ģeotelpiski atdalītiem apgabaliem: 1) ar klimatu Polijas centrālajā un dienvidu daļā; 2) ar klimatu Vācijas rietumu daļā un Luksemburgā, Nīderlandes un Beļģijas DA reģionos.

Iegūtos rezultātus pastiprina un klimatiski līdzīgo reģionu nedaudz paplašina tiešs klimatisko parametru salīdzinājums starp atbilstošajiem reģioniem Eiropā un Latvijas teritorijā, salīdzinot iegūtās starpības ar klimata izmaiņu prognozēm Latvijas teritorijā.

Analizējot pēc šādas metodikas konstatēts, ka **Latvijas rietumu daļas teritorijas** (tab. 1.5, 1.6) varētu būt līdzīgs ar Vācijas ziemeļu daļas, tās iekšzemes teritoriju, Dānijas un Nīderlandes centrālās daļas klimatu. Bez tam tika secināts, ka ievērojamākas gaisa temperatūras paaugstināšanās rezultātā, īpaši ziemas un pavasara sezonās, Latvijas Baltijas jūras piekrastes klimatiskie apstākļi nākotnē varētu būt līdzīgi pašreizējam Francijas ziemeļaustrumu līdzenumu teritoriju klimatam (Abbeville novērojumu stacija). Atmosfēras nokrišņu salīdzinājums kopumā gada griezumā arī apstiprināja augstāk minēto teritoriju klimatisko apstākļu līdzību prognozētajām klimata iezīmēm Latvijas teritorijā nākotnē. Galvenā atšķirība visām šīm teritorijām tika konstatēta atmosfēras nokrišņu sadalījumā pa sezonām – lielāks nokrišņu daudzums pavasara periodā un mazāks rudenī. Tomēr gan gaisa temperatūras, gan atmosfēras nokrišņu kopējo gada izmaiņu rezultātā Latvijas Baltijas jūras piekrastes teritorijas kopumā varētu būt vislīdzīgākās Vācijas ziemeļu daļas klimatiskajiem apstākļiem.

1.5 tabula

Starpības starp vidējām gada un sezonu gaisa temperatūrām klimatiskās normas periodam 1961.-1990. g. Baltijas jūras piekraste

Novērojumu stacijas	Ziema	Pavasaris	Vasara	Rudens	Gads
Hamburga-Liepāja	3.0	2.9	0.6	1.0	2.0
Brēmene-Liepāja	3.4	3.4	0.9	1.2	2.4
De Bilt – Liepāja	4.5	3.5	0.5	1.8	2.7
Elde- Liepāja	3.7	2.7	-0.2	1.2	2.0
Wijk aan Zee-Liepāja	4.8	3.5	-	2.1	2.8
Hannovere-Liepāja	3.1	3.3	0.9	1.1	2.2
Lingene-Liepāja	4.1	3.7	1.0	1.5	2.7
Volkel-Liepāja	4.4	3.7	0.7	1.6	2.7
Abbeville – Liepāja	5.7	3.9	0.3	2.5	3.2
Hamburga-Ventspils	3.2	3.3	1.0	1.2	2.2
Brēmene-Ventspils	3.6	3.8	1.3	1.4	2.6
De-Bilt- Ventspils	4.7	3.9	0.9	2.0	2.9
Elde-Ventspils	3.9	3.1	0.2	1.4	2.2
Wijk aan Zee- Ventspils	5.0	3.9	-	2.3	3.0
Hannovere-Ventspils	3.3	3.7	1.3	1.3	2.4
Lingene-Ventspils	4.3	4.1	1.4	1.7	2.9
Volkel-Ventspils	4.6	4.1	1.1	1.8	2.9
Abbeville-Ventspils	5.9	4.3	0.7	2.7	3.4

1.6.tabula

Starpības (%) starp vidējām gada un sezonu atmosfēras nokrišņu summām klimatiskās normas periodam 1961.-1990. g. , Baltijas jūras piekraste

Novērojumu stacijas	Ziema	Pavasaris	Vasara	Rudens	Gads
Hamburga-Liepāja	24	50.5	12	-13	1
Brēmene-Liepāja	11	43.2	2	-27	12
Hannovere-Liepāja	6	44.1	-1	-37	-5
Lingene-Liepāja	40	62.2	13	-15	17
Abbeville – Liepāja	24	40.5	-12	-6	6
Hamburga-Ventspils	17	50.5	23	-15	1
Brēmene-Ventspils	4	43.2	12	-28	12
Hannovere-Ventspils	-1	44.1	8	-38	-4
Lingene-Ventspils	32	62.2	23	-16	18
Abbeville-Ventspils	17	40.5	-4	-8	7

Temperatūras režīma ziņā **Latvijas centrālās un dienvidaustrumu daļas** (1.7, 1.8 tab.) klimatiskie apstākļi nākotnē varētu būt līdzīgi Polijas dienvidu daļas, Vācijas centrālās un austrumu daļas, kā arī Ukrainas ziemeļu daļas klimatiskajiem apstākļiem. Savukārt **Latvijas ziemeļaustrumu teritoriju** klimatiskie apstākļi varētu būt līdzīgi Polijas centrālās daļas mūsdienu klimatam. Atmosfēras nokrišņu salīdzinājums augstāk minētajās teritorijās atbilda Latvijas nākotnes prognozētajam nokrišņu režīmam tikai gada griezumā, ar samērā lielām neatbilstībām sezonālajā sadalījumā. Tomēr jāņem vērā, ka salīdzinājumā ar gaisa temperatūru, atmosfēras nokrišņu daudzumu konkrētās vietās lielā mērā ietekmē ļoti lokāli fiziogēogrāfiski apstākļi, kas arī noteica analizēto novērojumu staciju datu atšķirības.

1.7 tabula

Starpības starp vidējām gada un sezonu gaisa temperatūrām klimatiskās normas periodam 1961.-1990. g. Latvijas centrālā, ziemeļaustrumu un dienvidaustrumu daļa

Novērojumu stacijas	Ziema	Pavasaris	Vasara	Rudens	Gads
Ziemeļaustrumu daļa					
Varšava-Alūksne	4.0	3.6	1.9	3.4	3.2
Centrālā daļa					
Drēzdene-Bauska	5.3	2.9	1.2	2.8	2.9
Vroclava-Bauska	3.7	2.8	1.0	2.2	2.4
Berlīne-Bauska	4.9	3.3	1.2	2.5	2.9
Kijeva-Bauska	0.4	2.8	2.6	1.3	1.8
Dienvidaustrumu daļa					
Drēzdene-Daugavpils	6.4	3.1	1.1	3.4	3.4
Vroclava-Daugavpils	4.8	3.0	0.9	2.8	2.9
Berlīne-Daugavpils	6.0	3.5	1.1	3.1	3.4
Kijeva-Daugavpils	1.5	3.0	2.5	1.9	2.3

1.8 tabula

Starpības (%) starp vidējām gada un sezonu atmosfēras nokrišņu summām klimatiskās normas periodam 1961.-1990. g. Latvijas centrālā un dienvidaustrumu daļa

Novērojumu stacijas	Ziema	Pavasaris	Vasara	Rudens	Gads
Centrālā daļa					
Drēzdene-Bauska	41	30	7	-13	5
Vroclava-Bauska	-17	7	19	-24	-8
Berlīne-Bauska	29	12	-6	-24	-7
Kijeva-Bauska	40	14	13	-23	1
Dienvidaustrumu daļa					
Drēzdene-Daugavpils	33	26	-6	-12	12
Vroclava-Daugavpils	-21	3	5	-24	-2
Berlīne-Daugavpils	22	8	-17	-24	-2
Kijeva-Daugavpils	32	10	-1	-23	7

Jāņem vērā, ka nokrišņu sezonālais sadalījums, kā arī kopējā gada summa pat salīdzinoši nelielajā Latvijas teritorijā ir atkarīga no lokāliem fizioģeogrāfiskiem apstākļiem (piem., reljefs, Baltijas jūras tuvums, augstums vjl., zemes lietojuma veids), kas apgrūtina precīzi noteikt nākotnes klimatam līdzīgu teritoriju

1.3 Fanoloģisko fāzu raksturojums identificētajos reģionos

Nodaļas mērķis ir novērtēt, vai identificētajos Latvijas nākotnes klimatam līdzīgajos reģionos novērojamas arī līdzīgas koku atbildes reakcijas uz klimata izmaiņām vēsturiskā periodā,

tādejādi pārliecinoties reģionu izvēles atbilstību un piemērotību dentālākām analīzēm saistībā ar meža apsaimniekošanas jautājumiem

fenoloģiskie rādītāji Latvijā salīdzināti ar datiem no Polijas centrālajā un Vācijas Z, ZA daļā pieejamajām fenoloģisko novērojumu stacijām/punktiem. Fenoloģiskie dati tika salīdzināti izmantojot datus no projekta COST725 datu bāzes par divām sugām: parastā lazda *Corylus avellana* un āra bērzs *Betula pendula*.

Dati salīdzināti 2 periodos: 20.gs. 60tie gadi un 90-tie gadi, galvenokārt datu rindu kvalitātes un kvantitātes dēļ (datu rindas nav pilnīgas).

Baltijas jūras piekrastes punkta Popes dati salīdzināti ar Vācijas Z daļas punktiem Rostokas un Hamburgas apkārtnē (vidējie 3-5 punktu dati).

Latvijas ZA daļa Alūksnes punkts – ar Polijas vidienes staciju Janikowo un Gorzow Slaski datiem. Jaslicka, atrodas Polijas A, tuvu Ukrainas teritorijai, un Drēzdene, Berīne (Vācija) (vidējie 3-5 punktu dati) salīdzināta ar Dobeles un Dagdas datu rindu.

1.9 tabula

Fenoloģisko situāciju raksturojošie dati Vācijā un Latvijā

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

*80tie gadi

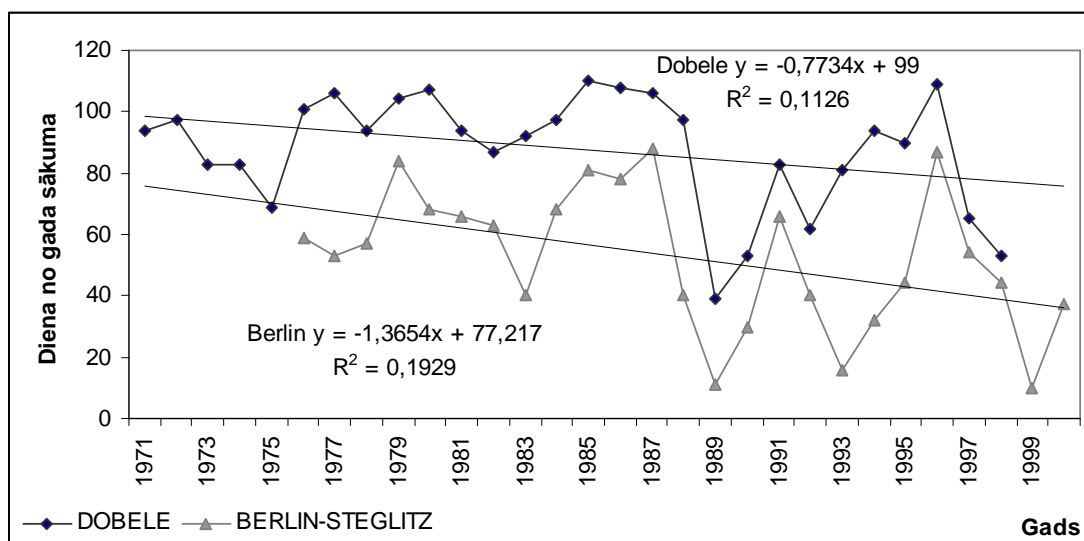
Iegūtie dati (1.9 tab.) liecina, ka Vācijas Z, ZA daļā lazdas ziedēšanas sākums 20.gs. 60-tajos gados tika fiksēts vidēji marta pirmajā –otrajā dekādē (agrāk Berlīnes apkārtnē ap 4.martu, vēlāk piekrastei tuvākās teritorijās ap 14.martu), Polijas vidienē lazdas ziedēšana 60-tajos gados fiksēta ap 20.martu. Savukārt Latvijas teritorijā fenoloģiskais pavasaris, ko iezīmē lazdas ziedēšana novērots no 29.marta Popē, piekrastes teritorijā līdz 6.aprīlim, kad lazda ziedējusi Alūksnē.

1.9 tabulā un 1.8 un 1.9 attēlos uzskatāmi var redzēt, ka lazdas ziedēšanas trends ir negatīvs, t.i., fāze iestājās vidēji agrāk. 20.gs. 90-tajos gados Rostokas apkārtnē lazda sākusi ziedēt februāra sākumā, vairāk nekā mēnesi agrāk nekā 60-tajos gados. Polijas teritorijā izmaiņas nav tik lielas, tomēr lazdas zied agrāk nekā 60-tajos gados.

Latvijas teritorijā lazdas ziedēšana mainījies vairāk nekā 10 dienu intervālā, bet izmaiņu lielums atšķiras pa novērojumu punktiem, piemēram, Dobelē, lazda 90-tajos gados ziedējusi

vidēji 21.martā, bet 60-tajos gados 30.martā, savukārt Alūksnē iestāšanās laiks lazdaī 80-tajos gados ir vēlāks.

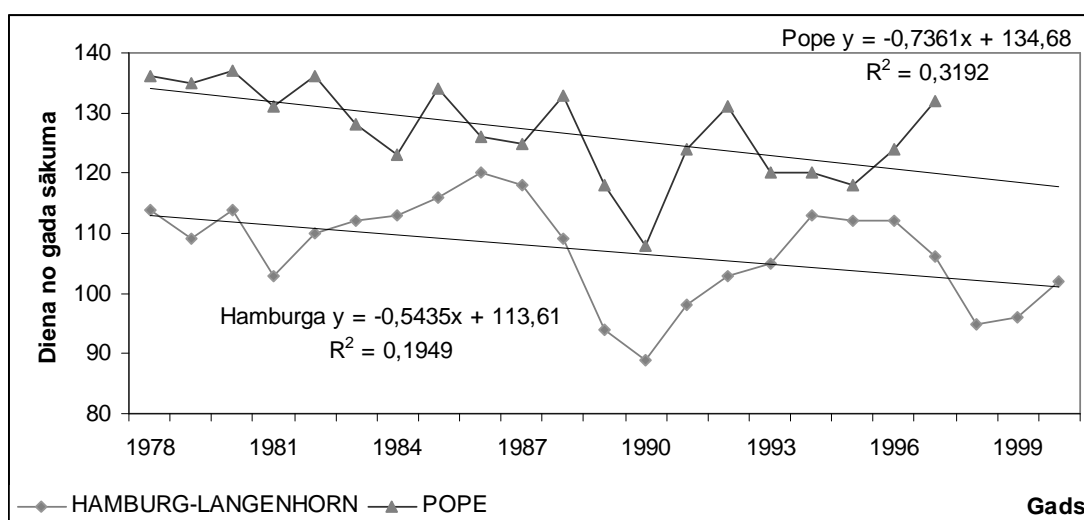
Bērza lapu plaukšanas sākums Vācijas piekrastē, kas tiek pieņemts par Latvijas piekrastes etalonteritoriju, fiksēts aprīļa beigās, Hamburgas teritorijā 22.aprīlī, Rostokas – ap 29. aprīli 20.gs. 60-tajos gados un attiecīgi 13. aprīlī 20. gs. 90-tajos gados Hamburgas apkārtnē un 20.aprīlī Rostokā, kas ir 8-16 dienas agrāk nekā Popē, Latvijā. Polijas centrālajā daļā bērza lapu plaukšana vidēji notiek aprīļa pēdējā dekādē, Alūksnē ap 12.maiju. Bērza lapu plaukšana, salīdzinot pa periodiem, nav mainījies tik būtiski kā lazdas ziedēšanas sākums, kas saskan ar citur veiktajiem pētījumiem, ka agrās fenoloģiskās fāzes mainījušās lielākā interālā, t.i, pēdējos gados iestājas daudz agrāk nekā 20.gs.



1.8 attēls. Parastā lazda *Corylus avellana*. Ziedēšanas sākuma trends Berlin-Steglitz, Vācija un Dobelē references periodā (1971.-2000. gads)

Informācija 1.8 attēlā liecina, ka agrajos gados gan Dobelē, gan Berlīnes apkārtnē lazdas ziedēšana novērota agrāk, vēlajos – vēlāk abās stacijās. Fenoloģiskais trends ir negatīvs, Dobelē lazda sāk ziedēt 0.77 dienas agrāk uz katru gadu, Berlīnē -1.4 dienas agrāk. Vidēji starpība starp fāzes iestāšanos Berlīnē un Dobelē ir 36 dienas.

Starpība starp lazdas ziedēšanu Alūksnē un Polijas C, Janikowo punktā ir 21 diena (periods 1972.-1988.).



1.9 attēls. Āra bērzs *Betula pendula*. Lapu plaukšanas sākuma trends Hamburga-Langenhorn, Vācija un Popē 1978.-2000.gads

Kopumā arī lapu plaukšanas sākuma tendences pa reģioniem ir līdzīgas, piemēram, 1990.gads ir bijis ļoti agrs, kas izteikti redzams attēlā, abās stacijās fāze novērota agrāk nekā vidēji. Reģionālā starpība visā periodā vidēji 20 dienas.

Starpība starp bērza lapu plaukšanu Berlīnes teritorijā un Dobeli ir 12 dienas, starp Alūksni un Janikowo staciju 10 dienas, kas nozīmē, ka piekrastes teritorijās izmaiņas ir lielākas nekā no piekrastes tālākos punktos.

Kā rāda datu analīze, veicot nākotnes bioklimata projekcijas jāņem vērā dažādi lokālie faktori, kas ne vienmēr iespējams. Tāpat, fenoloģisko fāzu iestāšanās laikus ietekmē ne tikai gaisa temperatūras un nokrišņu izmaiņas, kas nākotnes klimata projekcijās tiek izmantoti visbiežāk, bet arī reljefs, jau minētais mikroklimats, zemes lietojuma un zemes seguma veids, pie tam katrai sugai ietekmējošie faktori var atšķirties, tā piemēram, āra bērza fenoloģiskās fāzes vairāk ietekmē temperatūras izmaiņas nevis nokrišņi, savukārt lazdas un baltakšņa ziedēšana martā (Latvijas dati) labi korelē ar nokrišņu režīmu martā.

Kopumā, pie esošajām klimata mainības prognozēm, Latvijā fenoloģiskās fāzes pavasarī varētu iestāties aptuveni mēnesi agrāk, vasaras fāzēm izmaiņas varētu būt mazākas, bet ar lielām reģionālām un lokālām variācijām.

2. Edafisko apstākļu ietekmes analīze

Klimatiski līdzīgo reģionu mežaudžu un meža apsaimniekošanas jautājumu analīze nesniegs pietiekamu informāciju, ja netiks ņemtas vērā atšķirības augsnes apstākļos. Šīs nodaļas ietvaros analizētas sakarības starp augsnes apstākļiem un meža tipi, vērtētas augsnes identificējos klimatiski līdzīgajos reģionos, kā arī klimata izmaiņu iespējamā ietekme uz augsni (augšnes izmaiņas)

2.1 Sakarības starp meža tipi un edafiskajiem faktoriem mūsdienu apstākļos

Pētījumā tika izmantoti „Biosoil” projekta dati par Latvijas mežu ekosistēmām (meža tipi, kokaudzes sastāvu, ģeoloģiskajiem nogulumiem, augsnēm). Vispārējs datu apraksts ir sniegts 2.1. tabulā. Lai varētu atrast līdzīgas augsnes citviet Eiropā, tika izmantota starptautiskā FAO WRB augsnes klasifikācija.

Augsnes telpiskās izplatības izpētes likumsakarību noskaidrošanā tika izmantota ģeneralizēto lineāro modeļu analīze using *R (version 2.11.1) software*. Lai noskaidrotu ģeoloģisko noguluma tipa, reljefa, zemes apauguma un meža tipa ietekmi uz augsnes tipa sastopamību katra faktora tipam tika piešķirta kvantitatīvā vērtība pēc sastopamības katrā parauglaukumā (0 – nav sastopams, 1 – ir sastopams). Koku sugu, granulometriskā sastāva un augsnes savstarpējo izplatības likumsakarību noskaidrošanai tika izmantotas konkrētas sugas un ģeoloģisko nogulumu izplatības mežaudzē kvantitatīvās vērtības (1 – 100%).

2.1 tabula

Parauglaukumu skaits, kuri tiks izmantoti, lai noskaidrotu savstarpējās sakarības starp Latvijas mežu kokaudzes sastāvu un vides edafiskajiem apstākļiem

Augsnes grupa (WRB)	Skaits	Meža tips (Latvija)	Skaits	Ģeoloģiskie nogulumi	Skaits
Histosols	16	Sils	3	Organogēnie	18
Gleysols	6	Mētrājs	6	Aluviālie	1
Podzols	9	Lāns	6	Eolie	7
Planosols	10	Damaksnis	24	Litorīnas jūras	2
Stagnosols	8	Vēris	13	Baltijas ledus ezera	8
Phaeozems	1	Gārša	1	Glaciolimniskie	22
Albeluvisols	8	Slapjais mētrājs	2	Glaciofluviālie	16
Luvisols	7	Slapjais damaksnis	2	Morēnas	21
Umbrisols	2	Slapjais vēris	7		
Arenosols	23	Purvājs	2		
Cambisols	5	Niedrājs	2		
		Mētru ārenis	2		
		Šaurlapju ārenis	12		
		Platlapju ārenis	2		
		Mētru kūdrenis	1		
		Šaurlapju kūdrenis	7		
		Platlapju kūdrenis	3		
Kopā:	11	95	17	95	8
					95

Latvijas mežos ir relatīvi liela augsnes daudzveidība. Relatīvi viendabīgi ir eolie nogulumi, kur sastopams tikai *Albic*, *Rubic*, *Ferralic*, *Hypoferralic*, *Haplic Arenosols* un *Albic, Follic Podzols*. Visdaudzveidīgākās augsnes ir veidojušās uz morēnas nogulumiem (*Arenosols* (1 paraugl.), *Cambisols* (5 paraugl.), *Planosols* (1 paraugl.), *Luvisols* (3 paraugl.), *Albeluvisols* (5 paraugl.), *Stagnosols* (3 paraugl.), *Gleysols* (2 paraugl.)), glaciolimniskajiem nogulumiem (*Arenosols* (4 paraugl.), *Podzols* (1 paraugl.), *Planosols* (5 paraugl.), *Luvisols* (4 paraugl.), *Albeluvisols* (2 paraugl.), *Phaeozems* (1 paraugl.), *Stagnosols* (3 paraugl.), *Gleysols* (3 paraugl.)) un glaciofluviālajiem nogulumiem (*Arenosols* (9 paraugl.), *Podzols* (2 paraugl.), *Umbrisols* (1 paraugl.), *Planosols* (3 paraugl.), *Albeluvisols* (1 paraugl.), *Stagnosols* (1 paraugl.), kas kopumā Latvijā aizņem relatīvi lielākas platības. Baltijas jūras dažādu attīstības stadiju nogulumus veido smilts un māls un te sastopami *Arenosols* (3 paraugl.), *Podzols* (4 paraugl.), *Planosols* (1 paraugl.), *Umbrisols* (1 paraugl.) un *Stagnosols* (1 paraugl.).

Iegūto datu apstrādē, izmantojot ģeneralizēto lineāro modeli (2.2. tab.), tika konstatēts, ka augsnes grupa izplatība tikai atsevišķos gadījumos ir cieši saistīta ar noteiktiem ģeoloģiskajiem nogulumiem. Būtiska ($p < 0.05$) telpiskās likumsakarības pastāv starp Baltijas ledus ezera nogulumiem un *Podzolu*, eolajiem nogulumiem, glaciofluviālajiem, morēnas nogulumiem un *Arenosolu*, purvu nogulumiem un *Histosolu*, morēnas nogulumiem un *Albeluvisols* un *Luvisols* izplatību. *Gleysols* un *Stagnosols* nav cieši saistītas ar konkrētiem ģeoloģiskajiem nogulumiem.

2.2a tabula

Savstarpējā sakarība starp augsnes lielo grupu (WRB, 2007) un ģeoloģiskajiem nogulumiem

Augsnes lielā grupa (WRB, 2007)	Eolie nogulumi		Litorīnas jūras nogulumi		Baltijas ledus ezera nogulumi		Aluviālie nogulumi	
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>
Histosols	—	—	—	—	—	—	—	—
Gleysols	—	—	—	—	—	—	—	—
Stagnosols	—	—	56.44	0.08	—	—	—	—
Podzols	63.35	0.65	61.31	0.10	58.25	0.01	—	—
Cambisols	—	—	—	—	—	—	—	—
Albeluvisols	—	—	—	—	—	—	—	—
Luvisols	—	—	—	—	—	—	—	—
Planosols	—	—	—	—	67.90	0.85	—	—
Arenosols	96.12	0.003	—	—	108.39	0.36	106.29	0.99

2.2b tabula

Savstarpējā sakarība starp augsnes lielo grupu (WRB, 2007) un ģeoloģiskajiem nogulumiem

Augsnes lielā grupa (WRB, 2007)	Glaciofluviālie nogulumi		Glaciolimniskie nogulumi		Morēna		Organiskās izcelsmes nogulumi	
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>
Histosols	—	—	—	—	—	—	16.55	*
Gleysols	—	—	46.55	0.12	48.33	0.49	48.73	0.88
Stagnosols	58.77	0.73	57.98	0.32	57.82	0.28	—	—
Podzols	63.34	0.65	62.60	0.38	—	—	63.09	0.53
Cambisols	—	—	—	—	27.05	*	—	—
Albeluvisols	58.77	0.73	58.88	0.89	52.16	0.01	—	—
Luvisols	—	—	52.36	0.21	49.56	0.03	—	—
Planosols	67.85	0.77	60.79	0.007	66.82	0.34	—	—
Arenosols	99.73	0.002	107.25	0.19	102.11	0.04	—	—

* - augsnes sastopamas tikai atbilstošajos nogulumos

Precizējot konkrētas augsnes pamatgrupas un to modifikatora saistību ar parauglaukumos esošajiem ģeoloģiskajiem nogulumiem tika konstatēts, ka kopumā daļai augšņu ir iespējams konstatēt ciešu sakarību ar ģeoloģiskajiem nogulumiem (2.3 tab.). Piemēram, *Histic Podzols* sastopams Litorīnas jūras un Baltijas Ledus ezera līdzenumos, teritorijās, kurās ir traucēts augsnes mitruma režīms, kas sekmē organisko materiālu uzkrāšanos. Savukārt *Albic Podzols*, kas ir sastopams dažādās ģenēzes ģeoloģiskajos nogulumos, kur izplatīti smilts cilmieži, nav cieši saistīts ar konkrētiem ģeoloģiskajiem nogulumiem. *Cutanic Luvisols* un *Stagnic Cutanic Albeluvisols* ir cieši saistīti ar morēnas nogulumiem

2.3a tabula

Savstarpējā sakarība starp ģeoloģiskajiem nogulumiem un augsnes grupu (WRB, 2007)

Augsnes grupa (WRB, 2007)	Eolie nogulumi		Litorīnas jūras nogulumi		Baltijas ledus ezera nogulumi		Aluviālie nogulumi	
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>
Albic Podzols	53.55	0.47	51.26	0.07	51.26	0.07	—	—
Histic Podzols	—	—	39.76	0.03	39.09	0.02	—	—
Albic Arenosols	65.99	0.0004	—	—	78.83	0.91	75.80	0.99
Endogleyic Arenosols	—	—	—	—	39.09	0.02	—	—
Ferralic Arenosols	58.60	0.56	—	—	56.66	0.10	53.82	0.99
Rubic Arenosols	65.99	0.13	—	—	67.90	0.85	—	—

2.3b tabula

Savstarpējā sakarība starp ģeoloģiskajiem nogulumiem un augsnes grupu (WRB, 2007)

Augsnes grupa (WRB, 2007)	Glaciofluviālie nogulumi		Glaciolimniskie nogulumi		Morēna		Organiskās izcelsmes nogulumi	
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>
Endogleyic Stagnosols	—	—	30.47	0.67	27.80	0.10	—	—
Albic Podzols	53.33	0.39	53.61	0.56	—	—	—	—
Histic Podzols	—	—	43.14	0.86	—	—	43.17	0.95
Stagnic Albeluvisols	—	—	37.16	0.92	31.81	0.03	—	—
Cutanic Albeluvisols	48.75	0.99	48.59	0.69	42.83	0.01	—	—
Cutanic Luvisols	—	—	37.16	0.92	31.81	0.03	—	—
Albic Arenosols	75.67	0.03	77.37	0.18	—	—	—	—
Endogleyic Arenosols	43.14	0.84	42.43	0.37	—	—	—	—
Ferralic Arenosols	56.71	0.12	—	—	58.37	0.50	—	—
Rubic Arenosols	56.82	0.0008	66.65	0.31	—	—	—	—

Augsnes grupu lielā daudzveidība viena ģeoloģisko nogulumu ģenētiskā tipa ietvaros noteica, ka augsnes kartēšanas nolūkos šajā pētījumā tika meklētas citas telpiskās struktūras, kas atvieglotu identificēt mežu augsnes kontūras. Latvijā mežu ierīcības rezultātā ir veikta visu mežu kartēšana mērogā 1 : 10 000, izdalot meža tipus, kuri raksturo mežaudzes sastāvu, kas ir atkarīgs abiotikajiem faktoriem, ieskaitot augsnes mitrumu, barības vielu daudzumu un reģionālo

klimata atšķirības (Laasimer et al., 1993). Aprakstītajos parauglaukumos kopā pārstāvēti 17 no 23 meža tipi (2.4 tab.).

Kaut arī lielākā daļa augšņu grupas ir saistītas tikai ar 3 – 4 mežu tipi, izņemot *Histosols*, *Podzols* un *Arenosols*, tikai atsevišķos gadījumos, kā *Albeluvisolam* ar damaksni, *Arenosolam* ar mētrāju, *Stagnosolam* ar slapjo vēri un šaurlapu āreni, *Gleysolam* ar šaurlapu āreni un platlapu āreni pastāv relatīvi cieša telpiskās izplatības likumsakarības.

2.4 tabula

Savstarpējā sakarība starp mežu tipu un augsnes grupu (WRB, 2007)

Augsnes grupa (WRB, 2007)	Sils		Mētrājs		Lāns		Damaksnis		Vēris		Gārša	
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>
Histosols	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gleysols	—	—	—	—	—	—	—	—	48.71	0.82	—	—
Stagnosols	—	—	—	—	—	—	58.03	0.40	—	—	—	—
Podzols	—	—	63.21	0.54	—	—	61.79	0.17	63.48	0.81	—	—
Cambisols	—	—	—	—	—	—	—	—	40.90	0.10	—	—
Albeluvisols	—	—	—	—	—	—	53.41	0.02	58.09	0.34	—	—
Luisols	—	—	—	—	—	—	50.48	0.06	52.82	0.25	—	—
Planosols	—	—	—	—	—	—	67.80	0.71	67.59	0.54	—	—
Arenosols	100.34	0.99	99.03	0.008	90.80	0.99	109.15	0.91	108.47	0.43	—	—
Augsnes grupa (WRB, 2007)	Slapjais mētrājs		Slapjais damaksnis		Slapjais vēris		Purvājs		Niedrājs			
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>
Histosols	—	—	82.79	0.99	—	—	82.79	0.99	82.79	0.99	—	—
Gleysols	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Stagnosols	—	—	—	—	51.95	0.004	—	—	—	—	—	—
Podzols	61.31	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cambisols	—	—	—	—	38.54	0.01	—	—	—	—	—	—
Albeluvisols	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Luisols	—	—	—	—	52.86	0.99	—	—	—	—	—	—
Planosols	—	—	—	—	65.99	0.13	—	—	—	—	—	—
Arenosols	108.53	0.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Augsnes grupa (WRB, 2007)	Mētru ārenis		Šaurlapju ārenis		Platlapju ārenis		Mētru kūdrenis		Šaurlapju kūdrenis		Platlapju kūdrenis	
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>
Histosols	—	—	89.31	0.41	—	—	86.52	0.99	72.05	0.0006	86.28	0.05
Gleysols	—	—	43.30	0.01	45.73	0.05	—	—	—	—	46.66	0.09
Stagnosols	—	—	55.28	0.04	56.44	0.08	—	—	—	—	—	—
Podzols	61.31	0.10	63.51	0.88	—	—	—	—	—	—	—	—
Cambisols	—	—	—	—	—	—	—	—	42.28	0.29	—	—
Albeluvisols	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Luisols	51.26	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Planosols	—	—	65.51	0.09	—	—	—	—	—	—	—	—
Arenosols	108.04	0.99	101.97	0.98	108.04	0.99	108.61	0.99	105.11	0.99	107.47	0.99

Izmantojot datu apstrādē augsnes grupas modifikatoru, izdevās precizēt atsevišķu augšņu telpiskās izplatības likumsakarības saistībā ar meža tipiēm (2.5 tab.). Tā, piemēram, tika konstatēts, ka *Histic Podzols* galvenokārt ir sastopams Baltijas ledus ezera un Litorīnas jūras līdzenumos slapjajā mētrājā un mētru ārenī. Tāpat arī ģeneralizētā lineāro modeļu analīze deva iespēju precizēt *Arenosols* augšņu saistību ar meža tipiēm.

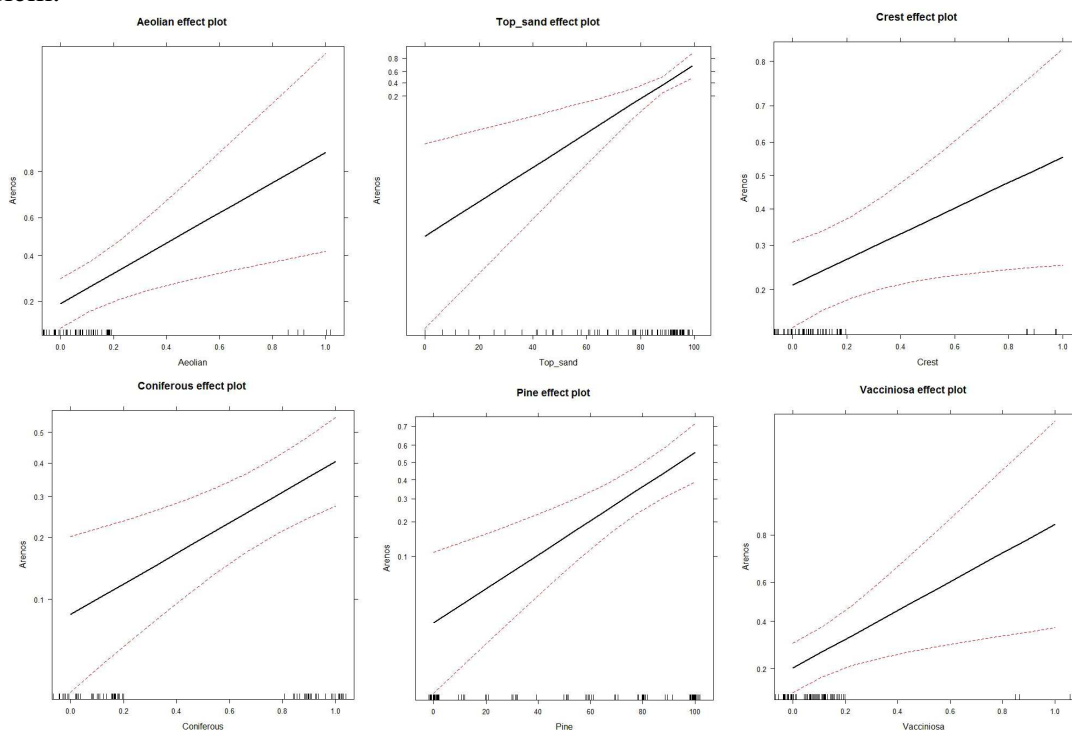
2.5 tabula

Savstarpējā sakarība starp mežu tipu un augsnes grupu (WRB, 2007)

Augsnes grupa (WRB, 2007)	Sils		Mētrājs		Lāns		Damaksnis		Vēris		Gārša	
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>
Endogleyic Stagnosols	—	—	—	—	—	—	30.53	0.74	—	—	—	—
Albic Podzols	—	—	53.35	0.38	—	—	52.86	0.27	53.98	0.96	—	—
Histic Podzols	—	—	—	—	—	—	42.62	0.44	—	—	—	—
Stagnic Albeluvisols	—	—	—	—	—	—	35.98	0.26	36.78	0.51	30.57	0.99
Cutanic Albeluvisols	—	—	—	—	—	—	46.94	0.16	47.12	0.17	43.06	0.99
Cutanic Luvisols	—	—	—	—	—	—	35.98	0.26	36.78	0.51	—	—
Albic Arenosols	67.25	0.99	74.87	0.01	74.87	0.01	79.80	0.84	79.32	0.50	—	—
Endogleyic Arenosols	—	—	42.04	0.23	37.87	0.01	43.09	0.78	—	—	—	—
Ferralic Arenosols	57.33	0.16	—	—	50.82	0.002	56.40	0.10	—	—	—	—
Rubic Arenosols	66.75	0.23	61.35	0.006	61.35	0.006	67.76	0.68	67.79	0.72	—	—
Soil group (WRB, 2007)	Slapjais mētrājs		Slapjais damaksnis		Slapjais vēris		Purvājs		Niedrājs			
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>		
Endogleyic Stagnosols	—	—	—	—	28.83	0.12	—	—	—	—		
Histic Podzols	39.76	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—		
Endogleyic Arenosols	39.76	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—		
Soil group (WRB, 2007)	Mētru ārenis		Šaurlapju ārenis		Platlapju ārenis		Mētru kūdrenis		Šaurlapju kūdrenis		Platlapju kūdrenis	
	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>
Endogleyic Stagnosols	—	—	—	—	26.08	0.01	—	—	—	—	—	—
Albic Podzols	51.26	0.07	53.96	0.89	—	—	—	—	—	—	—	—
Histic Podzols	—	—	42.94	0.61	—	—	39.76	0.03	—	—	—	—
Cutanic Luvisols	36.36	0.99	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Pētījums parādīja, ka boreālnemorālajā zonā, kur augsnes cilmiezi veido dažāda granulometriskā sastāva ledāja un ledāja kušanas ūdeņu veidotie nogulumu, daudzos gadījumos nav atrodama cieša sakarība starp nogulumu ģenētisko tipu un augsnes grupu, kas izdalīta atbilstoši FAO WRB augšņu klasifikācijai. Tas skaidrojams ar to, ka glacigēniem nogulumiem var būt ļoti atšķirīgs granulometriskais sastāvs ne tikai plašākā teritorijā, bet arī viena augsnes rakuma dažādos slāņos. Līdz ar to rodas sarežģītumi izmantot augsnes kartēšanā ģeoloģisko nogulumu ģenētisko informāciju, ja precīzi nav zināms to granulometriskais sastāvs. Nozīmīga loma ir arī nogulumu vecumam. Kaut arī *Podzols* Latvijas mežu ekosistēmās ir sastopams relatīvi dažādu veidu nogulumos, tas ciešāk ir saistīts ar Baltijas ledus ezera nogulumiem, kuri Latvijā ir relatīvi vecāki (13 500 – 10 000 cal yr BP) par Litorīnas jūras (8800 - 6600 cal yr BP) un eolajiem nogulumiem. Eolos nogulumos, kas Latvijā ir relatīvi jauni un kuriem ir raksturīga zema katjonu apmaiņas kapacitāte (2,8 – 5,4 cmol kg⁻¹), kas ir priekšnoteikums *Spodic* horizonta salīdzinoši ātrai attīstībai, dominē *Arenosols* augsnes.

Kopumā izmantojot ģeneralizēto lineāro modeli pie binomāla datu sadalījuma, iespējams noteikt atsevišķu augšņu grupu vai arī to modifikatoru izplatības likumsakarības, kas nākotnē varētu atvieglot mežu augšņu karšu sastādīšanu. Apkopjot visu pieejamo vides informāciju, iespējams prognozēt, ka, piemēram, eolo nogulumu gadījumā ar iespējamību 90 % var prognozēt *Arenosols* sastopamību (2.1. att.), savukārt, ja augsnes virskārtas granulometrisko sastāvu veido smilts, tad ar aptuveni 70% iespējamību var prognozēt *Arenosols*, ja teritorija atrodas pauguru virsotnē (55% *Arenosols* iespējamība), skujkoku mežs (40% *Arenosols* iespējamība), priede (50% *Arenosols* iespējamība), mētrājs (80% *Arenosols* iespējamība). Iepriekš zināmo atsevišķu vides faktoru gadījumā *Arenosols* iespējamība ir 40-80 % gadījumos atkarībā no konkrētiem faktoriem.



2.1. attēls. *Arenosols* izplatības iespējamība atkarībā no zināmiem vides faktoriem

Tomēr ne visu augsnes grupu vai to modifikatoru atbilstību konkrētiem vides faktoriem ir iespējams precīzi noteikt. Tas attiecas uz *Albeluvisols* un *Luvisols*, kā arī *Gleysols* un *Stagnosols* izplatību. *Albeluvisols* augšņu izdalīšanas kritēriji, piemēram, diagnostiskā pazīme- E horizonta mēļveidīgums, nav atkarīgs no pētījumā izmantotajiem vides faktoriem, tanī skaitā augsnes veidošanās vecumam. Pētījumā netika konstatētas ciešas sakarības starp *Gleysols* un *Stagnosols* telpisko izplatību un nogulumu ģenētisko tipu. Tas tikai parāda, ka šo augsnes grupu izplatību nozīmīga loma ir citiem faktoriem, tanī skaitā reljefam, augsnes granulometriskajam sastāvam.

Atsevišķos pētījumos, piemēram, Igaunijā, prognozējot nākotnes veģetāciju, ir pierādīts, ka pastāv relatīvi cieša korelācija starp augsnes un veģetāciju tipu. Pētījums Latvijā parādīja, ka tomēr starp starptautiskās FAO WRB augsnes klasifikācijas augsnes grupu un meža tipu vairums gadījumos nav atrodama cieša sakarība, kas parāda to, ka minētās klasifikācijas pamatā nav ekoloģiskie principi un līdz ar to boreālnemorālajā zonā, kur augsnes cilmieži veido dažāda granulometriskā sastāva ledāja un ledāja kušanas ūdeņu veidotie nogulumi, augšņu informāciju balstītu uz augstāk minēto klasifikāciju nevar izmantot, lai prognozētu potenciālo veģetāciju, kā arī mežu tipus nevar viennozīmīgi izmantot, lai prognozētu iespējamo augsnes tipu.

Tomēr ņemot vērā to, ka nav citas iespējas, lai salīdzinātu citus Eiropas reģionus ar Latviju, projektā tika izmantota starptautiskā FAO WRB augsnes klasifikācija.

2.2 Latvijas nākotnes klimam raksturīgo reģionu raksturojums

Baltijas jūras piekrastē Vācijas ziemeļdaļā līdzīgi kā Latvijā izplatītas ir *Arenosols* augsnes, bet attālinoties no piekrastes *Dystry- stagnic Gleysol*, *Haplic Luvisols*, *Lammellic Arenosol*, *Eutric Cambisol* un *Umbric Podzols* (Soil Atlas of Europe, 2005). Līdz ar to var uzskatīt, ka Vācijas ziemeļrietumdaļā, kas atbilst pēc klimatiskajiem parametriem Latvijas Baltijas jūras piekrastes nākotnes klimam, augsnes apstākļu būtiski neatšķiras no Latvijas augsnēm. Ņemot par pamatu Latvijas mežaudžu un augsnes grupas savstarpējo atbilstību, var pieņemt, ka nākotnē, mainoties klimam, nav sagaidāma būtiska sugu nomaiņa. Vienlaikus, jāņem vērā, ka Rietumlatvijā, neskatoties uz augstāk atzīmēto klimatisko parametru un edafisko faktoru atbilstību, izmainīsies konkurences apstākļi starp sugām, kā rezultātā starpkonkurences rezultātā var mazināties kādas sugas īpatsvars mežaudzēs. Kā rāda *ICP Forest* datu apkopošanas rezultāti, tad Vācijas ziemeļrietumdaļā relatīvi plaši izplatītas ir priežu (*Pinus sylvestris*) audzes, kā arī relatīvi daudz uz auglīgākajām augsnēm (*Dystry - stagnic Gleysol*, *Haplic Luvisols*) ir sastopams parastais dižskābārdis (*Fagus sylvatica*) (Köble and Seufert). Relatīvi maz te ir parastās egles (*Picea abies*) audžu. Domājams, ka relatīvi līdzīgos edafiskos apstākļos, ka dominē ar barības vielām bagātas augsnes, klimam pasiltinātos, parastais dižskābārdis (*Fagus sylvatica*) izkonkurē parasto egli (*Picea abies*). Kā jau pārskata pirmajā sadaļā tika atzīmēts, Krauklis Ā. un Zariņa A. (2002) norāda, ka Latvijas apstākļos parastais skabārdis (*Carpinus betulus*), klimam pasiltinoties, izkonkurē parasto egli (*Picea abies*). Līdz ar to var pieņemt, ka Latvijas rietumdaļā vēra un damakšņa, kā arī slapjā vēra un damakšņa meža tipos varētu palielināties starpsugu konkurence starp parasto skabārdi (*Carpinus betulus*) un parasto egli (*Picea abies*).

Polijas dienvidu daļā, Vācijas centrālajā un austrumu daļā izplatītas ir *Haplic Luvisols*, *Haplic Albeluvisols*, *Dystric Cambisols*, *Dystryc Gleysols* un *Haplic Podzols*. Augstāk minētās augsnes ir sastopamas arī Latvijā. Vienlaikus Vācijas centrālajā daļā ir sastopamas arī *Chermic Chernozems*, kas Latvijā nav sastopamas (Soil Atlas of Europe, 2005). Līdz ar to var uzskatīt, ka kopumā augsnes, kas veidojušās uz putekļaina materiāla Polijas un Vācijas centrālajā daļā ir auglīgākas, salīdzinot ar Latvijas augsnēm, bet tās augsnes, kas veidojušās uz smilts, smilšmāla un mālsmilts materiāla ir līdzīgas Latvijas augsnēm. Līdz ar to kopumā var pieņemt, ka nākotnē Latvijas meži, klimam pasiltinoties, var būt līdzīgi Polijas dienvidu daļas un Vācijas centrālās daļas mežiem. Analizējot dažādu kokaugu sugu izplatību augstāk aprakstītajos reģionos redzams, ka arī šajā gadījumā nākotnē priežu meži uz *Arenosols* un *Podzols* augsnēm nav apdraudēti, bet palielinās koku sugu konkurence uz *Luvisols* un *Stagnosols* augsnēm. Konkurences pieaugums ir saistīts ar klimata izmaiņām un līdz ar piemērotāka klimata apstākļu kopuma veidošanās parastam ozolam (*Quercus robur*), parastais dižskābārdim (*Fagus sylvatica*) un parastajam skabārdim (*Carpinus betulus*). Ja Polijas centrālajā daļā parastā egle tikpat kā nav izplatīta *Luvisols* un *Stagnosols* augsnēm tikpat kā nav izplatīta, tad Vācijā Alpu kalnu priekškalnēs parastā egle mežaudzēs ir ļoti plaši pārstāvēta. Mūsu pētījumi rāda, ka klimam pasiltinoties stipri apdraudēta uz barības ziņā bagātām augsnēm varētu būt parastā egle. Turpmākais pētījuma virziens ir noskaidrot egļu augšanas ierobežojošos klimatiskos parametrus, kā rezultātā starpsugu konkurencē egle zaudē lapkociem.

3. Klimata izmaiņu ietekme uz biotiskajiem faktoriem

Nodaļas ietvaros analizēta prognozēto klimatisko faktoru ietekme uz abiotiskajiem faktoriem – koku slimībām un dendrofāgajiem kukaiņiem – un to potenciālās ietekmes uz mežaudzēm izmaiņas

3.1 Koku slimības

Projekta iepriekšējos etapos aprakstīts, ka klimata izmaiņu dēļ vidējā pieaug klimatiski ekstrēmo faktoru skaits, tādu kā sausums, plūdi un vētras. Šādu apstākļu dēļ paaugstinās kokaugu stresa līmenis, kas var sekmēt slimību izplatību. Daudzas kokaugu slimības var kļūt postošākas, jo: a) palielinās abiotiskie stresi, tādi kā sausums un plūdi, kas var pastiprināt koku jutību pret dažiem patogēniem; b) temperatūra un mitrums ietekmē patogēnu sporulāciju un izplatību, klimata izmaiņas nereti var būt patogēniem labvēlīgas; c) patogēnu migrācija var paplašināt slimības ģeogrāfiskās robežas, un patogēni var inficēt jaunus saimniekaugus, izmantot jaunus infekcijas vektorus; d) koku kompozīcijas maiņas vai invazīvo patogēnu dēļ var parādīties jauni apdraudējumi. Ja infekciju ietekmē gaisa vai augsnes temperatūras, tad augstāka vidējā temperatūra veicina slimības areāla paplašināšanos. Patogēni, kas agrāk bija nozīmīgi tikai dienvidos, var izplatīties uz ziemeļiem un augstāk kalnos (La Porta *et al.* 2008) .

Klimata izmaiņām var būt tieša un būtiska ietekme uz augiem - tās var izmainīt augu konkurētspēju un novest pie augu sabiedrības maiņas vai sugu daudzveidības palielināšanās/samazināšanās (Burdon *et al.* 2006). CO₂ koncentrācijas palielināšanās gaisā arī var ietekmēt auga – patogēna mijiedarbību, palielinoties oglekļa fiksēšanas efektivitātei, tiks veicināta straujāka auga augšana (Idso & Idso, 1994). Ogļskābās gāzes koncentrācijas palielināšanās rezultātā palielinās arī lapu lielums un biezums, koku vainaga pieaugums, stumbra un sakņu caurmērs (Coakley *et al.* 1999). Arī tiešās klimata izmaiņas - sausāks/mitrāks, siltāks/aukstāks laiks – ietekmē gan pašus patogēnus, gan rada papildus stresu augiem (Allen *et al.* 2010). Tādas izmaiņas var norītēt abos virzienos, palielinoties slimību izplatībai kalnu un boreālajā zonā, jo var tikt palielināts epidēmisko ciklu skaits, un slimību izplatībai samazinoties citās vietās, kur apstākļi kļūs tām mazāk labvēlīgi. Kā piemēru var minēt rūsas sēnes, kuras ziemeļos neveido pārziemojošas teliosporas. Lielākai daļai patogēnu, ikkatra siltās sezonas pagarināšana palielina teliosporu veidošanās iespējamību, kā arī veicina populācijas pieaugumu (Burdon *et al.* 2006). Tomēr, starp rūsas sēnēm, tādām kā apšu lapu rūsas *Melampsora pinotorqua*, kura attīstās uz *Pinus sylvestris* un *Populus tremula*, pat nelielas izmaiņas nokrišņu daudzumā un laika periodā, kad notiek priežu dzinumumu augšana (kad priede ir jutīga pret infekciju) vai kad sēne inficē apsi, var būtiski ietekmēt slimības dinamiku (Kurkela 1973). Arī sniega skujbiri izraisītie patogēni, kuru micēlija intensīva augšana notiek zem sniega segas, piemēram, *Phacidium infestans* uz *Pinus sylvestris*, var tikt negatīvi ietekmēti globālās sasilšanas dēļ (Burdon *et al.* 1994) .

Mikroskopiskās sēnes, kas izraisa nopietnas epidēmijas mežaudzēs, daudzās valstīs bieži ir saistītas ar klimatiskajiem faktoriem, piemēram, *Gremmeniella abietina* izraisītā priežu bojāeja Zviedrijā, Somijā un Dānijā (Kaitera & Jalkanen 1992, Bernhold 2008, Thomsen 2009) vai *Chalara fraxinea* izraisītā ošu bojāeja daudzās valstīs (Bakys *et al.* 2009), tai skaitā arī Latvijā. Nozīmīga ir arī Holandes gobu slimības (*Ophiostoma novo-ulmi*) izraisītā gobu bojāeja visā Eiropā.

Gremmeniella abietina izraisa dzinumumu vēzi („lietussargu slimību”) galvenokārt priedēm, bet var inficēt arī citus skujkokus. Vispostošāk šī slimība izpaužas uz kokiem, kas aug tuvu pie sava areāla robežām. Infekciju veicina noēnojums, atjaunotās mežaudzes biežība, augsts gaisa mitrums, temperatūras svārstības dzinumumu augšanas laikā. Slimība var būt letāla jauniem kokiem un palēnina pieaugušo koku augšanu. Tā izraisa nopietnus zaudējumus kokaudzētāvās (15 – 60% jauno stādīņu var būt infekcijas nesēji). Vairāki pētījumi liecina, ka *Gremmeniella abietina*

izplatību ietekmē klimats (Venier *et al.* 1998). Klimatiski faktori, tādi kā mitrs pavasaris un vēsa vasara, liels nokrišņu daudzums, biežas miglas, veicina slimības attīstību un izplatību (Butin & Hackelberg 1978, Uotila 1988). Siltās ziemās pastiprinās atsevišķu kokaugu infekcija, bet tās parasti neizraisa epidēmiju. Aukstas ziemas aizkavē pavasara dzinumumu augšanu, kas arī var veicināt infekciju. Dānijā kā dzinuma vēža epidēmiju izraisošos faktorus var minēt aukstu un mitru pavasari un vasaru (Thomsen 2009).

Temperatūra un mitrums ietekmē vairākas patogēnās sēnes, kas izraisa lielus ekonomiskos zaudējumus kokaudzētavās un plantācijās. Viena no tām ir priežu skujbires izraisītājs *Lophodermium seditiosum*, kā dēļ lietainās vasarās kokaudzētavās iet bojā tūkstošiem jauno stādiņu. Inficēšanos veicina arī mērenas ziemas, un temperatūras paaugstināšanās gadījumā patogēnās sēnes kokaudzētavās var radīt ievērojumus zaudējumus.

Ļoti bīstama ir svešu patogēno sēņu invāzija, kuru izplatību var ietekmēt siltāks laiks. Invazīvās sēnes var izraisīt jaunu slimību epidēmijas. Piemēram, *Mycosphaerella pini* nesen atrasta Somijā (Müller *et al.* 2009) un Zviedrijā, *Mycosphaerella dearnessii* – Šveicē (Holdenrieder & Sieber 1995), *Cyclaneusma minus* - Igaunijā (Hanso & Hanso 2003) un *Sphaeropsis sapinea* – Čehijā (Jankowsky & Pavlovcikova 2003).

Mycosphaerella pini izraisa skuju sarkan-svītraino plankumainību priedēm un palēnina priežu augšanu. Tā pārsvarā inficē priedes, bet ir konstatēta arī uz duļģāzījām, lapeglēm un eglēm. Sēne izraisa vainaga bojājumus, bet nereti izraisa koku bojāeju. Šī sēne izplātās ar vēju, un tās izplatību ietekmē mitrums, temperatūra un gaismas intensitāte. Priežu rezistence pret sēnes izraisīto slimību ir atkarīga no priežu sugas un vecuma. Agrāk tika uzskatīts, ka šī slimība ir izplatīta tikai Dienvidos uz eksotiskām priežu sugām, bet nesen tā ir konstatēta arī Eiropā (Austrijā, Ukrainā, Krievijā, Ungārijā, Igaunijā, Somijā, Zviedrijā) un Ziemeļamerikā. Nesen tā ir konstatēta arī Latvijā (Bradshaw 2004; OEPP/EPPO 2005b; Barnes 2008, Hanso & Drenkhan 2008).

Mycosphaerella dearnessii izraisa skuju brūno plankumainību priedēm, veicina vainaga izretināšanos un kavē vairāku priežu sugu augšanu, kā arī var izraisīt koku bojāeju. *M.dearnessii* inficē kokus no *Pinus* ģints. Pārsvarā konstatēta Ziemeļamerikā, bet pēdējos gados atrasta arī Eiropā (Holdenrieder & Sieber 1995; La Porta & Capretti 2000; OEPP/EPPO 2005a; Barklund 2008, Hanso & Drenkhan 2008, Jankovský *et al.* 2009).

Nepilnīgi pazīstamā sēne *Sphaeropsis sapinea* ir zināma kā visizplatītākais skujkoku patogēns. Dzinumu miltrasa, koku vainaga nokalšana un vēzis, īpatnēja koksnes nokrāsa, ko izraisa *S. sapinea* rada nopietnus ekonomiskos zaudējumus eksotisko priežu sugu plantācijās Jaunzēlandē, Austrālijā un Dienvidāfrikā (Zwolinski *et al.* 1990a). Slimība ir sastopama arī Ziemeļamerikas centrālajā un dienviddaļā uz vairākām introducētām un vietējām skujkoku sugām (Stanosz *et al.* 1997). Nesen tā atrasta arī Igaunijā (Hanso & Drenkhan 2008). Šīs sēnes izplatību veicina gan sausuma un minerālvielu deficīta radīts stress (Stahl 1968; Wright & Marks 1970; Minko & Marks 1973), gan straujāka koku augšana paaugstinātas temperatūras un mitruma ietekmē (Purnell 1975; Zwolinski *et al.* 1990b).

Augstākas gaisa temperatūras labvēlīgi ietekmē priežu koksnes nematožu un mizgraužu attīstību, kā arī samazina koka rezistenci pret dažādiem patogēniem, tai skaitā arī invazīviem (Rebetez & Dobbertyn 2004).

Klimatisko apstākļu izmaiņas var radīt labākus apstākļus sakņu piepes *Heterobasidion annosum s.l.* attīstībai, kas nozīmē vairāk inficētu audžu un lielākus ekonomiskos zaudējumus. *Heterobasidion* spp. sporu produkcija palielinās pie temperatūras virs 5 °C (Otrosina & Cobb 1989). Siltākas ziemas varētu palielināt sporulācijas periodu un koku inficēšanās biežumu. Ir noskaidrots, ka augstākas temperatūras korelē ar sporulācijas koeficientu (La Porta *et al.* 2001, Gonthier *et al.* 2005) un *Heterobasidion* spp. sastopamību. (Moykkynen *et al.* 1998, Thor *et al.* 2005; Mattila & Nuutinen 2007). Somijā veiktajos pētījumos konstatēts, ka temperatūras paaugstināšanas par 2°C ziemas apstākļos (pie temperatūras -4° – 0°C) palielina *H. annosum* koksnes noārdīšanu par 50%; pavasarī (pie temperatūras 0° - 6°C) - par 30%, bet vasarā (pie temperatūras 6° - 20°C) – par 20%. Optimāla temperatūra sakņu piepes hifu augšanai ir 20° –

30° C. (Woodward *et al.* 1998). Mežizstrādes intensifikācija pēdējās desmitgadēs, kad koki tiek cirsti siltajā gadalaikā arī veicina *H. annosum* izplatību, jo svaigi celmi tiek inficēti ar *H. annosum* sporām. Inficēto celmu daudzums būtiski samazinās, ja mežizstrāde tiek veikta ziemā. Turklāt, izstrādājot mežu veģetācijas perioda laikā, tiek bojātas augošo veselo koku saknes, kas arī veicina *H. annosum* izplatību. Ar klimata izmaiņām tiek saistītas arī arvien biežāk sastopamās vētras. Savukārt vējgāžu riska objekti ir tieši ar *H. annosum* inficētas audzes, jo koku saknes ir bojātas, un inficētie koki tiek izgāzti. Pēdējos desmit gados arī novērota lielāka *H. annosum* (P grupas) izplatība. Tā ir agresīvāka par S grupu (*H. parviporum*) un mistraudzēs var inficēt arī lapu kokus (Woodward *et al.* 1998, Nilson *et al.* 1999).

Vasaras temperatūrai pieaugot, var palielināties dažādu *Heterobasidion* sugu īpatsvars. Piemēram, gados, kad konstatēta augstāka gaisa temperatūra, *H. abietinum* (*H. annosum* F grupa) inficē koku sugas, kas parasti nav tā saimniekaugi (La Porta 2005). Ja šāda tendence saglabāsies, paredzama *H. abietinum* izplatība ne tikai uz balteglēm (*Abies*), bet arī eglēm (*Picea*) Centrālajā un Austrumeiropā. Siltāki laika apstākļi ir labvēlīgi ne tikai *Heterobasidion* attīstībai, bet veicina arī *Phlebiopsis gigantea* (lielās pergamentsēnes) attīstību (lielo pergamentsēni izmanto bioloģiskajai kontrolei, respektīvi, celmu aizsardzībai pret *Heterobasidion* spp. infekciju) (Thor *et al.* 1997). Turpmāk, paaugstinoties gaisa un augsnes temperatūrai, celmu apstrāde ar *Phlebiopsis gigantea* var kļūt obligāta visu gadu, ne tikai veģetācijas perioda laikā (Korhonen *et al.* 1994) un vairāk uzmanības vajadzēs pievērst jutīgo skujkoku aizvietošanai ar rezistentākiem lapu kokiem.

Eiropā ir sastopamas vairākas celmeņu sugas (Guillaumin *et al.* 1993), no tām *Armillaria mellea* (Vahl:Fr.) Kummer un *Armillaria ostoyae* (Romagnesi) Herik tiek raksturotas kā nopietni patogēni, un klimata izmaiņas varētu pozitīvi korelēt ar to izplatību. Siltāki klimatiskie apstākļi var radīt iespēju tām *Armillaria* sugām, kuras agrāk tika uzskatītas par vājiem patogēniem, inficēt ar karstuma stresu novājinātus kokus. Augšanas temperatūra *Armillaria* spp. hifām variē 10-31 °C robežās (Risbeth 1978). Ja klimats kļūs siltāks un paaugstināsies arī augsnes temperatūra, skujkoku audzēs palielināsies *Heterobasidion* un *Armillaria* izraisītās sakņu un stumbra trapes īpatsvars, turklāt inficētas tiks arī citas koku sugas (Cermak *et al.* 2004).

Alkšņus (*Alnus* spp.) apdraud letāla slimība, kuru izraisa patogēns *Phytophthora alni* Brasier & S. A. Kirk. Pirmo reizi šī slimība tika atrasta uz melnalkšņiem Anglijā 1993. gadā (Gibbs 1995). Pārsvārā *P. alni* tika atrasta uz melnalkšņiem, bet tā spēj inficēt arī baltalkšņus. Šī slimība Eiropā izplatās arvien plašāk, un ir atrasta Austrijā, Beļģijā, Čehijā, Dānijā, Somijā, Francijā, Vācijā, Ungārijā, Īrijā, Itālijā, Lietuvā, Nīderlandē, Norvēģijā, Polijā un Zviedrijā (Streito, 2003, Webber *et al.* 2004). Dažās valstīs, piemēram, Francijā un Vācijā, slimība izraisīja lielus zaudējumus, citur – slimības ietekme bija samērā neliela. Vides faktori ir nozīmīgi *P. alni* izplatībā, nereti masveida koku inficēšanās var būt saistīta ar plūdiem (Webber *et al.* 2004). Nesen, cita suga, kas izraisa alkšņu bojāeju – *Phytophthora polonica* L. Belbahri, E. Moralejo & F. Lefort sp. nov. tika pirmo reizi atrasta un aprakstīta Polijā (Belbahri *et al.* 2006). Šīm abām iepriekš minētajām *Phytophthora* sugām ir raksturīga optimāla augšanas temperatūra ap 30 °C, bet tās var augt arī pie 38 °C (Belbahri *et al.* 2006). *P. alni* izraisīta slimība var kļūt par epidēmiju, ja pieaugs ūdens vidējā temperatūra vasaras laikā (Thorian *et al.* 2007). Pagaidām Latvijā šīs sugas nav tā nav atrasta, taču 2010. gadā Latvijā uz alkšņiem konstatēta cita šīs ģints patogēnā sēne *Phytophthora citricola*.

3.2 Dendrofāgie kukaiņi

Nodaļas sastādīšanā izmantots plašs literatūras klāsts, no kurām nozīmīgākie avoti minēti literatūras sarakstā, norādot, par kurām no sugām attiecīgajā avotā ir atsauces.

Sagaidāms, ka mērenas klimatiskas izmaiņas veicinās saimniecībā nozīmīgu skujkoku – kā egle un parastā priede – dendrofāgu pieaugumu, jo vairākums to sugu ir palearktiskas, holarktiskas karstumtolerantas, siltummīlošas (saistīts ar izrobojumu, izcirtumu klimatu – saules pastiprinātu radiāciju) taigas entomofaunai raksturīgas sugas, kurām parasti raksturīgs plašs ziemļpuslodes izplatības areāls (Fleming, Volney, 1995; Moretti et al., 2010; Ozols, 1985; Singh, Satyanarayana 2009). Šāds scenārijs nozīmētu, ka cietīs ievērojams citu skujkoku sugu apjoms – piemēram dekoratīvie, dārzkopībā izmantojamie stādi, jo pēc datiem, šo sugām raksturīgas generālistu trofiskās grupas (Battisti, 2006; Heliovaara, Vaisanen, 1987; Moraal, Akkerhuis, 2010). Tikai nedaudzas no saimnieciski nozīmīgām skujkoku kaitēkļu sugām ir saimniekauga specifiskas (Lynn, 2009; Ozols, 1985). Nelielas klimatiskas izmaiņas jebkurā gadsimta posmā indicēja, droši vien arī indicēs turpmāk, ka jau esošās allohtonās sugas iegūs attīstībai optimālus apstākļus, tādējādi masveidā savairojoties (Singh, Satyanarayana, 2009). Jo iegūtie dati liecina, ka pat vietējiem apstākļiem raksturīgās sugas dzīvo labvēlīgas vairošanās vajadzībai nepietiekošos klimatiskos apstākļos, kas šajā gadījumā indicē, ka tās „obligātā kārtā” piesaistītas nevis klimatam, bet to barības bāzei. Šajā gadījumā jebkādas temperatūras celšanās liecinātu par daudzu vietēju sugu savairošanās iespējām (Kollár et al., 2009; Robinson, 2005; Singh, Satyanarayana 2009; Smelyanets, 1997).

Interesanti, ka tieši mizgraužiem un koksngraužiem ir lielākie temperatūru panesamības diapazoni, kas liecina, ka to ietekme nesamazinātos pat pie krasām klimatiskām izmaiņām (Mellec et al., 2011). Krasa temperatūras celšanās (vidēji 5 – 10 grādi pēc Celsija) ļautu ātrāk ieceļot potenciāli invazīvām sugām. Lai gan, pēc iegūtās informācijas, saimniecībai nozīmīgu potenciālo ieceļotāju sugu ir maz, tomēr to aklimatizācija mūsu apstākļos nozīmētu nekontrolētu šo sugu masveida savairošanos, kas skaidrojams ar dabisko ienaidnieku trūkumu mūsu reģionos (Battisti, 2006; Singh, Satyanarayana 2009). Šajā scenārijā ciestu saimniecībai nozīmīgi lapukoki – kā bērzs, apse, alkšņi, oši u.c. Par to liecina daudzām lapgraužu kukaiņu sugām raksturīgā prasība pēc paaugstinātākas temperatūras, kas nereti pārsniedz 25 grādus pēc Celsija, kas skaidrojams ar to pamatizcelšanos no subtropiskiem reģioniem (Fleming, Volney, 1995; Moraal, Akkerhuis, 2010). Visapdraudētākās koku sugas šajā gadījumā būtu ozoli, apses un alkšņi, jo tieši šīm koku sugām ir visvairāk nozīmīgu kaitēkļu, kuriem, atšķirībā no skujkoku dendrofāgiem, ir vairāk šīm koku sugām raksturīgo speciālistu (Mellec et al., 2011; Moraal, Akkerhuis, 2010; Raniuss, Janson, 2000).

Ja ņem vērā pašlaik vadošos klimata izmaiņu trendus, jāsecina, ka tuvāko gadsimtu laikā apdraudētāki ir skujkoki, vēlākā laika periodā – lapukoki.

3.1 tabula

Analizēto dendrofāgo kukaiņu sugu raksturojums

Atsauce Nr.	Sugas iedalījums	Suga	Savairošanās cikls, gadi	Koku suga	Optimālā t
1	*	<i>Altica ambiens</i>	?	Alnus incana, A. glutinosa	24
2	**	<i>Agelastica alni</i>	2	A. Incana	20
3	**	<i>Fenusa dohrnii</i>	1	A. Incana,	20
4	***	<i>Xiphidria camelus</i>	?	A. Incana, A. Glutinosa	20
5	**	<i>Limantria dispar</i>	vidēji 5-8	primāri: ozoli, bērzi u.c.	25
6	**	<i>Cameraria orchidae</i>	?	primāri kastaņu sugas, Acer platenoides	27
7	***	<i>Ips typographus</i>	10-40	Picea abies	25
8	***	<i>Ips minor</i>	?	Picea abies	23
9	***	<i>Hyllobius abietis</i>	vidēji 8	Pinus sylvestris, P. abies	30
10	***	<i>Bupalus piniarius</i>	vidēji 10-20	P. abies	27
11	**	<i>Fonscolombea fraxini</i>	?	Fraxinus excelsior	22
12	***	<i>Neodiprion sertifer</i>	vidēji 10-12	P. sylvestris	27
13	*	<i>Stilpnotia salicis</i>	?	Populus tremula	20
14	***	<i>Pissodes notatus</i>	vidēji 3-6	P. sylvestris	28
15	***	<i>Cossus cossus</i>	?	lapukoki, polifāgs	25
16	***	<i>Phymatodes testaceus</i>	?	ozoli, lapkoki	27
17	***	<i>Scolytus ratzeburgi</i>	?	bērzi	20
18	*	<i>Scolytus multistriatus</i>	?	Ulmus glabra	24
19	*	<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	8	ozoli, lapkoki	27
20	***	<i>Aradus cinnamomeus</i>	?	P. sylvestris	20
21	***	<i>Xyleborus dispar</i>	10	lapukoki, polifāgs	22
22	*	<i>Cryphalus piceae</i>	vidēji 10-20	egles, skujkoki	25
23	***	<i>Archips crataegana</i>	?	lapukoki, polifāgs	22
24	***	<i>Laspeyresia pactolana</i>	?	egles, skujkoki	22
25	***	<i>Melasoma populi</i>	vidēji 5-10	Populus tremula	24
26	**	<i>Phalera bucephala</i>	?	lapukoki, polifāgs	27

27	***	<i>Diprion pini</i>	10	skujkoki	25
28	**	<i>Rhyacionia buoliana</i>	8	P. sylvestris, skujkoki	25
29	***	<i>Saperda carcharias</i>	vidēji 10-15	Populus tremula	27
30	***	<i>Panolis flammea</i>	vidēji 10	P. sylvestris	25
31	***	<i>Melolontha melolontha</i>	vidēji 15	ozoli, lapkoki	25
32	***	<i>Dendrolimus pini</i>	?	P. sylvestris	27
33	***	<i>Lytta vesicatoria</i>	?	Fraxinus excelsior	26
34	***	<i>Anthaxia quadripunctata</i>	?	skujkoki	27

Sugas iedalījums * Potenciāli invazīvs

** Invadējies

*** Vietējs jeb alohtons

Analizēto dendrofāgo kukaiņu sugu temperatūras izturības robežas

Suga	Sugas izturības robežas		
	Minimālā temperatūra	Maksimālā temperatūra	Diapazons
<i>Altica ambiens</i>	-20	35	55
<i>Agelastica alni</i>	-20	35	55
<i>Fenusa dohrnii</i>	-15	35	50
<i>Xiphidria camelus</i>	-15	35	50
<i>Limantria dispar</i>	-40	45	85
<i>Cameraria orchidae</i>	-20	40	60
<i>Ips typographus</i>	-30	40	70
<i>Ips minor</i>	-30	40	70
<i>Hylobius abietis</i>	-20	45	65
<i>Bupalus piniarius</i>	-25	35	60
<i>Fonscolombea fraxini</i>	-20	35	55
<i>Neodiprion sertifer</i>	-25	35	60
<i>Stilpnotia salicis</i>	-15	30	45
<i>Pissodes notatus</i>	-25	45	70
<i>Cossus cossus</i>	-30	30	60
<i>Phymatodes testaceus</i>	-20	40	60
<i>Scolytus ratzeburgi</i>	-15	30	45
<i>Scolytus multistriatus</i>	-20	40	60
<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	-30	45	75
<i>Aradus cinnamomeus</i>	-30	40	70
<i>Xyleborus dispar</i>	-20	45	65
<i>Cryphalus piceae</i>	-15	30	45
<i>Archips crataegana</i>	-25	30	55
<i>Laspeyresia pactolana</i>	-15	30	45
<i>Melasoma populi</i>	-20	30	50
<i>Phalera bucephala</i>	-30	40	70
<i>Diprion pini</i>	-15	35	50
<i>Rhyacionia buoliana</i>	-30	40	70
<i>Saperda carcharias</i>	-30	40	70
<i>Panolis flammea</i>	-20	30	50
<i>Melolontha melolontha</i>	-20	35	55
<i>Dendrolimus pini</i>	-20	40	60
<i>Lytta vesicatoria</i>	-15	35	50
<i>Anthaxia quadripunctata</i>	-30	40	70

4. Klimata izmaiņu ietekme uz abiotiskajiem faktoriem

Šajā nodaļā ietvertās projekta ietvaros veiktās aktivitātes daļēji ir turpinājums 2005.gada Meža attīstības fonda finansētā pētījumā sasniegtajam, papildinot to ar jaunām atziņām un empīrisko materiālu. Nodaļas ietvaros detāli analizēti 2 abiotiskie faktori – vējš un uguns – kā arī konceptuāli trešais – ogļskābās gāzes koncentrācija.

Apsaimniekotiem mežiem vēja bojājumi uzskatāmi par nopietnu draudu. Ekonomiskie zaudējumi ir īpaši nozīmīgi vidēja vecuma audzēs un briestaudzēs, kur koku pieaugumi var dot nozīmīgu krājas, dimensiju un vērtības pieaugumu. Ja katastrofālu vēju bojājumus ir grūti „apsaimniekot”, tad ļoti daudz ir iespējams darīt, lai mazinātu t.s. endēmisko vēja bojājumu efektu.

4.1 Vēja un koka/audzes mijiedarbības vispārējie principi

Atbilstoši pastāvošajām sakarībām, ja pieliktais spēks un pretdarbības spēks nav līdzsvarā, tad sistēma sabrūk vai deformējas. Koks lūzt, ja pieliktais (deformējošais) spēks vispirms pārsniedz stumbra koksnes šķiedru stiprību (elastību). Savukārt, koks tiek izgāzts, ja pieliktais spēks vispirms pārsniedz sakņu un augsnes kamola stiprību (elastību). Lai arī sākotnēji var likties, ka process, kura rezultātā vējš ietekmē koku ir vienkāršs, tomēr šis process ir komplekss un dinamisks, un tajā vērojama vairāku faktoru mijiedarbība. Detāla pielikto un noturošo spēku analīze ir veikta virknē publikāciju (Mayer, 1987; Peltola, Kellomaki, 1993; Wood, 1995; Bruchert et al. 2000; Spatz, Bruechert, 2000; James, 2003; Quine, Gardiner, 2007). Vienkāršojot, uz koku šai sistēmā iedarbojas divi **pieliktie** spēki – vējš un gravitācija. Pieaugot vēja ātrumam divas reizes tā enerģija (spēja veikt darbu) pieaug četras reizes. Savukārt gaisa masa ir atkarīga no tā blīvuma un tilpuma. Kamēr koks stāv vertikāli un tā smaguma centrs atrodas virs atbalsta punkta, smaguma spēks (gravitācija) nav nozīmīgs, bet, ja koku sāk šūpot pietiekami lielā amplitūdā (pārsniedz 15-20 grādus), tad šim spēkam jau var būt liela ietekme un tas var izrādīties pietiekami liels, lai koku nogāztu vai nolauztu. Koka vainags faktiski ir liela bura, no kuras efektīvās virsmas laukuma un spēka pielikšanas augstuma ir atkarīga pielikto spēku nozīmīgums (lieces moments). Faktiski kopējais lieces moments pie stumbra pamatnes satur divas komponentes – pirmkārt, iepriekš minētais spēka plecs līdz spiediena centram (augstums) reiz pieliktais spēks un otrs moments rodas, kad koks ir noliekts un stumbra un vainaga svars ir pārvietots horizontālā virzienā, kā horizontālā attāluma starp aizvēja pusē sakņu sistēmas veidotā šarnīru un noliektā koka smaguma centru reizinājumu. Piem., 20 m augstai eglei, pieliktais otrais komponents var veidot pat 30% no kopējā izgāšanas momenta (Quine et al. 1995). Vainaga blīvums un masa, stumbra masa un elastība, svārstību norimšana – tie visi ir faktori, kas tā vai citādi ietekmē šī koka noturību.

Spēki, kas notur koku ir: sakņu - augsnes pretestība, ko ietekmē sakņu – augsnes svars, augsnes bīdes stiprība un sakņu stiprība, kā arī stumbra pretestība (elastība).

Svarīgi ir apzināties, ka koku un vēja mijiedarbība ir dinamiska. Koki vēja ietekmē šūpojas, un svārstības ir koka augstuma, vainaga masas, diametra, raukuma u.c. rādītāju funkcija (Peltola et al. 1993, James, 2003). Tā kā šie rādītāji ir atšķirīgi pat plantācijā augošiem kokiem, atsevišķa koka svārstību fāzes ir atšķirīgas no tam blakus augošiem kokiem. Tādējādi blakus koki var būtiski ierobežot konkrētā koka svārstības vai gluži pretēji – tās neietekmēt. Iekšējo spēku (spriegumu) un sadursmju ar blakus esošajiem kokiem rezultātā svārstības rimst (Quine et al., 1995).

Vēja slodze ir atkarīga no vainaga efektīvās virsmas, kuru ietekmē lapojuma esamība (bezlapu stāvoklī tas var būt pat 10 reizes mazāks nekā lapotā stāvoklī), kā arī zaru elastības, koku savstarpējā aizsega (aizvējš). Izveidojot atvērumu vainagu klājā veicot kopšanas circes, tiek palielināta vēja slodze uz individuālu koku.

Spiediena centrs un līdz ar to arī lieces moments pieaug palielinoties koka vecumam (augstumam), tādējādi valdaudzes kokiem ir lielāka vēja slodze. Taču tas nenozīmē, ka tie ir apdraudētāki, jo tiem parasti ir resnāki stumbri un plašāka sakņu sistēma, kas kompensē lielākās vēja slodzes to vainagos. Novērojumi liecina, ka sānsaknes palielina, koka izturību pret izgāšanu (Matheck, Bethge, 1990), taču citi pētījumi gan liecina, ka koku noturībā nozīmīgāka loma ir mietsaknei un nevis sānsaknēm (Mickovski, Ennos, 2002).

Bez tam brīvāk auguši koki ir mazāk vējlaužu apdraudēti, jo tiem ir resnāki un izturīgāki stumbri (stumbra izturība ir proporcionāla diametra kubam) (Quine et al., 1995).

Koka stumbra stresu (spriegumu) aprēķini liecina, ka kokiem vislielākā varbūtība ir salūzt apakšējā trešdaļā, tomēr tas nav vienmēr tā, piem., priedes bieži lūzt vainagā zaru mieturu vietās (Quine et al., 1995).

Vienkāršoti var uzskatīt, ka vēju rada spiediena starpība, un vējš ir gaisa daļiņu plūsma no augstāka spiediena apgabaliem uz zemāka spiediena apgabaliem. Patiesībā process ir sarežģītāks, jo bez tam iedarbojas arī Koriolisa spēks (rodas gaisam plūstot pār rotējošu Zemi), centrālās un centrālās spēki, kā arī berzes (gan virsmas, gan turbulences) spēki. Tā rezultātā veidojas tā saucamie ģeostrofiskie vēji, kā rezultātā gaisa daļiņas plūst paralēli izobārām (iedomātām vienāda spiediena līnijām) ap platībām ar augstu vai zemu spiedienu. Mūsu platuma grādos šīs rotācijas rezultātā ciklonu (zema spiediena sistēmās) vēji pamatā plūst no rietumiem un rotē pretēji pulksteņrādītāja virzienam (Quine, Gardiner, 2007).

No piecām globālām spēcīgu vēju sistēmām (Quine et al., 1999) Latvijā, līdzīgi kā visā mērenajā zonā būtiskākie ir ārpustropisko ciklonu vēji (Quine, Gardiner, 2007) un negaisa vētras. Pirmā – **ārpustropiskās joslas ciklonu vēji**, kas ir pat 4000 km diametrā un to pastāvēšanas ilgums vienā vietā – apmēram 3 diennaktis. Ārpustropisko vēju atgriešanās varbūtība lielākā mērogā ir vairāk vai mazāk paredzama. Otrā – **negaisa vētras** pie mums ir aktuālas vasarā, to dimensija ir mērāma desmitos kilometru un to ilgums vienā vietā ir līdz 30 minūtēm (Quine, Gardiner, 2007). Ievērojami retāk, bet ir arī sastopami t.s. virpuļviesuļi (tornado). Spēcīgākie vēji visbiežāk ir rudens vai ziemas periodā, taču vērojama ikgadēja variācija. Būtiski atzīmēt, ka īpaši spēcīgas vētras notikšana vienā gadā nemaina tik pat spēcīgas vētras atkārtotās varbūtību jau nākamajā gadā (Quine et al., 1995).

Vēja ātrums konkrētā vietā mainās lielā amplitūdā – sākot ar atsevišķām brāzmām, kuras ilgst dažas sekundes, diennakts vēja plūsmu maiņām, dienām (gaisa frontes), vai pat sezonālām maiņām. Reģionālā līmenī ir iespējams paredzēt spēcīgu vēju varbūtību ilgākā laika periodā, bet atsevišķu intensīvu vētru trajektorija grūti paredzama. Tādēļ vēja klimatoloģijā darbojas ar vēju ātrumu varbūtību sadalījumiem. Ekstrēmo vērtību noteikšanai visbiežāk tiek lietots Veibula vai Gumbela sadalījums. (Quine, Gardiner, 2007; Blennow, Salnās, 2004).

Zemes virsmas tuvumā berzes rezultātā vējš ir turbulents, un jo virsma ir nelīdzenāka, jo turbulence lielāka. Meža vainagu klājs ir nelīdzens, tādēļ gaisa plūsma virs tā ir turbulentāka nekā, piem., virs lauka. Turbulence ir „organizēta” saskaņotās brāzmās, kas kustas pāri mežam lielos attālumos, līdzīgi, kā viļņi pāri labības laukam. Katra brāzma veidojas no divām komponentēm - strauja ātruma pieauguma kopā ar lejupejošu gaisa plūsmu vainagu klājā. Tieši brāzmas ir galvenais meža bojājuma cēlonis, jo spēcīgāko brāzmu iedarbības spēks var pat līdz 10 reizēm pārsniegt vidējā vēja ātruma spēku (Quine et al. 1995).

Izmaiņas veģetācijas struktūrā vai pēkšņas izmaiņas tās augstumā var radīt papildus turbulenci un vēja paātrinājumu. Augšupejoša vēja novirze mežmalās, ceļmalās vai citās atklātās vietās, veicina bojājumu rašanos mežaudzē attālumā, kurš ir līdzvērtīgs dažu koku augstumam, jo šajā attālumā gaiss veido plūsmu lejup. Tāpat vēja spēka ietekme uz kokiem mežmalā ir ievērojami lielāka nekā meža iekšienē. It īpaši tas ir nozīmīgi nesen izveidotu mežmalu gadījumā.

Pētījumi liecina, ka lielākie koki saliktās audzēs uztver 7 -15 reizes lielāku slodzi nekā vidējie koki, kas ir pretēji pieņēmumiem, ka „dabiskā” mežā koki mazāk pakļauti vēja slodzēm (Quine, Gardiner, 2007).

Pēc Stathera un viņa kolēģu apkopotās informācijas (Stathers et al., 1994) individuāla koka bojājuma iespējamību ietekmē:

- Koka augstums, diametrs, stumbra forma;
- Vainaga izmēri un klase;
- Stumbra, zaru un lapu stiprība un elastība;
- Sakņu sistēmas dziļums un platība, sakņu skaits un dimensijas.

Audzes līmenī ietekmē:

- Audzes augstums un biezība;
- Sugu sastāvs;
- Mežsaimnieciskie pasākumi (retināšana, atzarošana, mežmalu veidošana, susināšana).

Augsnes īpašības:

- Augsnes dziļums;
- Mitruma režīms;
- Struktūra, blīvums, tekstūra, akmeņainība.

Topogrāfiskais raksturojums:

- Novietojums reljefā, ekspozīcija;
- Izmaiņas vēja virzienā un ātrumā.

Meteoroloģiskie apstākļi:

- Vēja ātrums, brāzmainība un ilgums;
- Augsnes mitrums;
- Sniega un lietus slodze vainagā.

Koku dimensijas

Koka dimensijas

Augstuma ietekme izpaužas tādējādi, ka palielinoties vēja spēka pielikšanas punkta augstumam, palielinās spēka plecs un tādējādi arī spēka moments.

Lielāku vainagu gadījumā ir lielāka uztverošā virsma un tādējādi arī lielāks pieliktais spēks. Būtiski atzīmēt, ka koka vainags atšķirībā no monolītām būvēm vēja ietekmē var mainīt savu formu, tādējādi pazeminot „efektīvo” virsmu (Hedden, et al., 1995; Wood, 1995; Quine et al., 1995).

Stumbra forma - blīvums, raukums, H/D attiecība ietekmē vēja bojājuma varbūtību. Lielākas H/D attiecības gadījumos, kā arī kokiem ar mazāku raukumu un bez blīvuma, ir lielāka bojājuma varbūtība pie citiem līdzīgiem apstākļiem (Peltola, Kellomaki, 1993; Peltola et al. 1997; Quine et al. 1995).

Bojājuma varbūtību ietekmē arī stumbra izturība, zaru un lapu stiprība un elastība. Dažādām sugām, kā arī vienai un tai pašai sugai dažādās to attīstības stadijās ir atšķirīga zaru elastība, kā arī stiprība. Piem., eglei zari ir elastīgāki nekā priedei (Quine, et al. 1995). Arī dažāda sociālā stāvokļa kokiem (piem., Krafta klases) ir atšķirīga mehāniskās īpašības (Bruchert et al. 2000). Būtisks faktors ir sakņu sistēmas dziļums un platība, sakņu skaits un dimensijas.

Audzes līmeņa faktori

Audzes augstums virs apkārtējās zemes virsmas ir būtisks faktors, kas ietekmē noturību, jo radot pārrāvumu aerodinamiskajā virsmā tiek radītas izmaiņas gaisa plūsmā veicinot tās turbulenci (Gardiner, Stacey, 1996; Quine, Gardiner, 2007). Līdzīgi arī sugu sastāvs un mistrojums ietekmē koka/audzes izturību, jo katrai sugai ir atšķirīgs aerodimaniskie parametri, kas radīt papildus turbulenci un tādējādi arī vējgāžu risku. Pētījumi rāda, ka atsevišķos gadījumos mistrotas audzes ir mazāk noturīgas nekā tīraudzes (Ērglis, 1977).

Vispār atzīts fakts, ka mežsaimnieciskie pasākumi var ietekmēt vējgāžu risku. Retināšana ir viens no faktoriem, kas īslaicīgi (uz apm. 5 gadiem) pazemina kokaudžu noturību (Ērglis, 1977; Quine, 1995; Quine et al. 1995; Bruchert et.al. 2000).

Augsnes īpašības un sakņu sistēmas īpatnības

Augsne kā vide, kurā koks ir „noenkurots”, ir ļoti būtisks faktors, kas nosaka koka stabilitāti. Dažādās augsnēs koku sakņu sistēma var izvietoties dažādi un tas savukārt var ietekmēt vējgāžu bojājumu lielumu un varbūtību. Limitējošo faktoru neesamības gadījumā sakņu sistēmas dziļums var pārsniegt pat 1 m. Slapjās un slikti aerētās augsnēs (gleja un kūdrainās gleja augsnēs) sakņu sistēma tipiski ir seklāka par 50 cm (Quine et al.1995).

Augsnes stiprība pieaug līdz ar augsnes tilpumsvaru, taču sakņu spēja iespiesties blīvākās augsnēs ir apgrūtināta. Augsnes ūdens saturs pieaugums arī palielina augsnes tilpumsvaru, bet strauji pazemina augsnes stingrību un augsnes spēju laist cauri skābekli, kurš nepieciešams sakņu elpošanai. Ideāls augsnes tilpumsvars ir starp 1,0 un 1,7 Mg m⁻³ un ar ūdens saturu pēc tilpuma 30% un gaisa saturu pēc tilpuma 20% (Quine et al. 1995).

Galvenie sakņu sistēmas dziļuma ierobežojošie faktori ir nepietiekams skābekļa daudzums un cieti augsnes slāņi (ortšteins), kā arī akmeņi, kuri var novirzīt saknes. Skābeklis augsnē iekļūst no gaisa galvenokārt difūzijas rezultātā pa augsnes porām. Ja poras ir aizpildītas ar ūdeni, iestājas skābekļa trūkums, ja vien ūdens nav strauji kustīgs un tādēļ bagāts ar skābekli. Augsne ar augstu tilpumsvaru vai smalku struktūru (māla augsnes) ir ar mazām porām, tādēļ slikti vada gan ūdeni gan arī gaisu. Šādas augsnes arī bieži ir ar augstu ūdens līmeni (ziemā mazāk kā 40 cm dziļumā). Bet arī augsnes ar labi izveidotu tekstūru var būt piesātinātas ar ūdeni, ja zem tām ir ūdensnecaurīdīgs slānis.

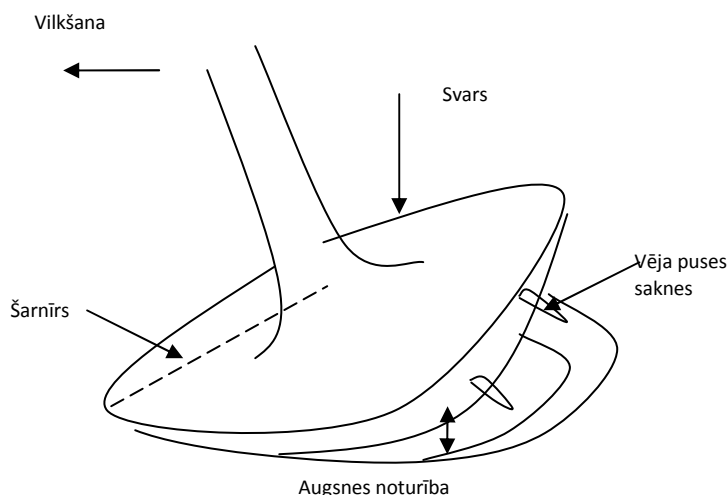
Sakņu enkurojuma stiprība ir atkarīga no augsnes un sakņu mehāniskajām īpašībām, sakņu sistēmas dimensijām un arhitektūras. Seklai sakņu sistēmai ir 4 enkurojuma komponenti (att. 4.1): sakņu un tai pielipušās augsnes svars, augsne zem un ap sakņu plāksni, kura ir jāpārtrauc, vēja pusē esošo sakņu izturība stiepē uz plāksnes robežas, aizvēja pusē esošo sakņu un augsnes izturība liecē šarnīra vietā.

Saknes ir 3 līdz 5 kārtas izturīgākas par augsnes izturību stiepē, tomēr zonā, kurā sakņu un augsnes plāksne atļūzt no pārējās augsnes, augsnes platība ir 3 kārtas lielāka par sakņu šķērslaukumu, tādējādi augsnes izturība arī ir svarīga (Quine et al. 1995). Saknes izstiepjas par 10-20% līdz pārtūkst, bet augsne mazāk par 2%. Tā rezultātā vispirms pārtūkst augsnes daļiņu saistība un tikai tad saknes. Tas izskaidro augsnes nozīmi sākotnējā koka izgāšanas fāzē. Tiklīdz augsne ir pārrauta, koks var sākt šūpoties un enkurojums pavājinās līdz ar sakņu pārtrūkšanu. Sakņu trupe ievērojami pazemina sakņu izturību. Vēja pusē esošo sakņu nozīmības dēļ koka enkurojumā, viss, kas kavē to attīstību - dziļas vagas, grāvji, lieks mitrums, samazina enkurojuma kopējo izturību. Līdzīgi aizvēja pusē - šarnīra attālums no stumbra ievērojami ietekmē koka izturību.

Būtiski arī atzīmēt, ka sakņu un augsnes plāksnes masa var pārsniegt virszemes daļas masu (Quine et al., 1995).

Topogrāfiskais raksturojums

Novietojums reljefā, ekspozīcija. Topogrāfija nosaka to kur reģionā ir sastopami stiprākie vēji. Vēja ātrums arī pieaug ar augstumu virs jūras līmeni un jūras tuvumu. Kompleksa reljefa apstākļos topogrāfija var ietekmēt gan vēja ātrumu gan virzienu, būtiski to paātrinot pauguru virsotnēs vai plūstot cauri ielejām. Koki pauguru nogāžu lejasdaļā vēja pusē sliecas samazināt vēja ātrumu paugura virsotnē. Tas var ļaut stādīt kokus pauguru virsotnes virzienā, kas citādi nebūtu lietderīgi. Koki tāpat ietekmē gaisa plūsmu arī aizvēja pusē radot relatīvi lielas bezvēja zonas aiz apmežota paugura (Quine et al.1995).



4.1. attēls. Seklas sakņu sistēmas enkurojuma komponenti.

Meteoroloģiskie apstākļi

Būtiskākie faktori vēja ātrums, brāzmainība un ilgums. Tie aprakstīti jau iepriekšējās nodaļās.

Slapjš sniegs var ievērojami palielināt vainaga masu (pat vairākas reizes pārsniedzot paša vainaga masu) un tādējādi palielināt bojājuma varbūtību (Peltola et al., 1997). Nokrišņi ļoti būtiski var ietekmēt augsnes stiprību, it īpaši augsnēs ar smalku granulometrisku sastāvu.

Koku adaptīva augšana

Koki, kuri aug vējam eksponētās vietās ir rauktāki nekā aizvējā augoši koki. Līdzīgi ar saknes adaptējas – veidojot ekscentrisku dubulta T veida šķērsriezumu. Atsevišķi augošiem kokiem gan adaptācijas vēja darbībai, gan arī vairāk pieejamas gaismas un augšanas telpas rezultātā veidojas lielāks vainags un plašāka sakņu sistēma. Taču, ja attālums līdz blakus esošajiem kokiem tiek palielināts retināšanas rezultātā, nepieciešams papildus laiks, gan lai izmantotu papildus gaismu, gan lai paplašinātu sakņu sistēmu.

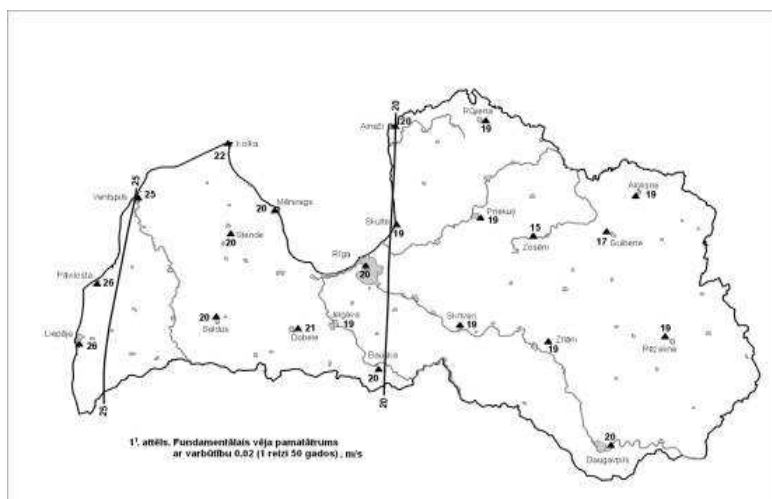
Visi iepriekš minētie aspekti ietekmē koka stabilitāti un atbilstoši arī vēja bojājumu risku. Visus faktoros, kas nosaka koka vārīgumu nosacīti var iedalīt 3 grupās:

- Pastāvīgie – tādi, kas maz mainās koka dzīves laikā – augsne, tās modifikācija;
- Progresējošie - mainās kokam augot – H, D, vainaga forma, sakņu sistēma;
- Epizodiskie – tādi, kas koka vārīgumu ietekmē īslaicīgi – piem., blakus koku izciršana retināšana, papildus slodze vainagā slapja sniega rezultātā, augsnes piesātinājums ar ūdeni (Quine, 1995).

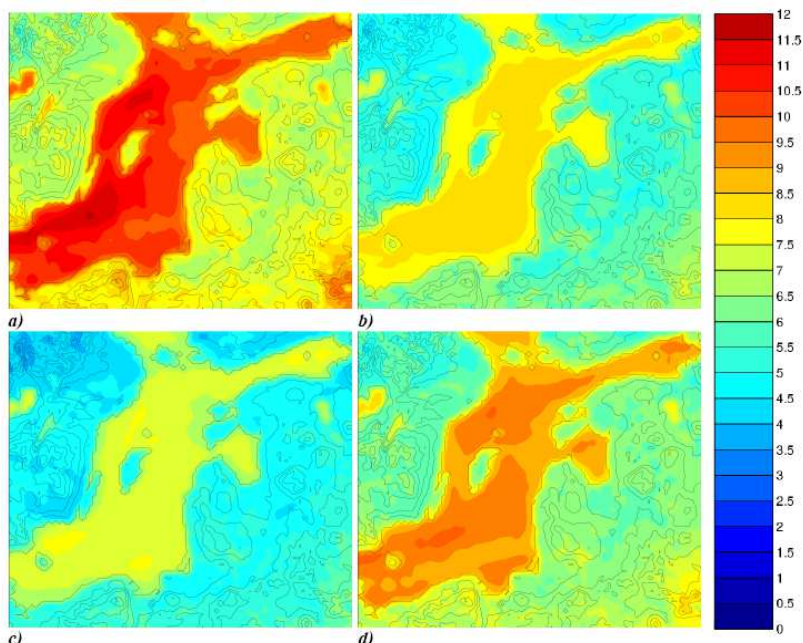
Vēja bojājuma risks ikvienā brīdī ir varbūtība, ka vēja ātrums pārsniegs to līmeni, pie kura pastāvīgo, progresējošo un epizodisko komponentu kombinācijas rezultātā noturošie spēki būs mazāki par pieliktajiem spēkiem. Tā kā vēja ātruma un tā atkārtotās varbūtība nav lineāra, pat nelieli uzlabojumi koku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

4.2 Vēja klimata modeļi Latvijas teritorijai

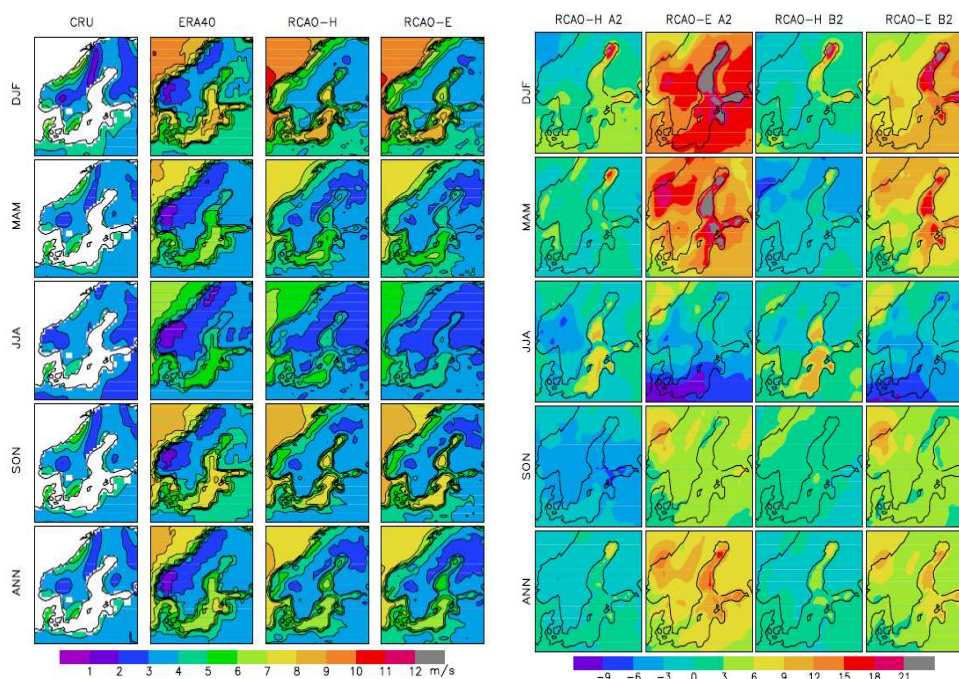
Reģionālā vēja klimata prognozēšanai izmantojama informācija par varbūtībām, ka vēja ātrums pārsniegs kādu noteiktu sliekšni. Dažādos dokumentos pieejama visai līdzīga informācija par vēja ātrumiem dažādos augstumos (att. 4.2-4.3) Tie visbiežāk ir veidoti citiem mērķiem – kā būvniecības normatīvi vai vēja resursu novērtējums vēja ģeneratoriem. Taču visos modeļos redzama viena un tā pati tendence, ka vidējie vēju ātrumi ir lielāki sagaidāmi Kurzemē piekrastē un Vidzemes jūrmalā. Lai arī modeļiem ir dažādas vērtības, būtiskākais ir fakts, ka atbilstoši klimata izmaiņu prognozēm, tiek paredzēts, ka vidējie vēja ātrumi Latvijas teritorijā varētu pat pieaugt par 3-18%. (Meier et al. 2006) (att. 4.4).



4.2 attēls. Fundamentālo vēja pamatātruma vērtība (ar varbūtību reizi 50 gados) atbilstoši ģeogrāfiskajam novietojumam (MK noteikumi Nr 396. 07.06.2005)



4.3 attēls. Mēnešu vidējais vēja ātrums 48 m augstumā – vērtējums no MIU modeļa rezultātiem. a) janvāris b) aprīlis c) jūlijs d) oktobris. (Lindholt, 2003)



a) 4.4 attēls. a) Sezonālie vidējie vēja ātrumi. Kreisajā kolonnā dati no 0.5*0.5o (apm. 55*55 km) tīklā no Klimata pētījuma vienības (CRU), otrā kolonna dati no 125*125km tīkla (ERA datu kopa) 3. un 4. kolonna RCAO kontroles klimats 0,44*0,44o (50*50km) tīklā. Visi dati reprezentē laika posmu no 1961 -1990. gadam b) Sezonālās un ikgadējās vēja ātrumu izmaiņas (% no pašreizējā) atbilstoši RCAO klimata izmaiņu simulācijām. (Meier et. al. 2006)

Modeļi ir radīti ar dažādām metodikām, bet kopējās tendences ir līdzīgas. Tā kā arī ekstrēmu notikumi aprakstāmi ar virkni teorētisko sadalījumu (piem., Veibula, Gumbela), vēlējāties pārbaudīt, cik droši izmantojami šie dati vētru varbūtību. Izmantojot Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūras sniegtos datus par ilggadīgajiem datiem laika periodā no 1977. gada līdz 2005. gadam (ieskaitot) gada maksimālā vēja ātruma (vidējo 10 minūtēs) vidējām aritmētiskajām vērtībām un to standartnovirzēm katrai no 8 debespusēm (vēja virzieniem) aprēķinātas varbūtības, ka vējā ātrums pārsniegs 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 m/s sliekšni. Šie vēja ātrumi atbilst attiecīgi 19, 22, 25, 29, 32, 35 un 39 m/s brāzmās, pieņemot, ka saglabājas tā pati sakarība starp vidējo vēja ātrumu un vēja ātrumu brāzmās, kāda tika konstatēta 2005.g. janvāra vētras laikā. Rezultāti atspoguļoti 4.1. tabulā. Aprēķini veikti MAF finansēta projekta ietvaros.

4.1. tabula
Varbūtība, ka vēja ātrums pārsniegs noteikto sliekšni dažās Latvijas meteostacijās atkarībā no vēja virziena (Gumbela sadalījums)

Vēja ātrums brāzmās m/s		19	22	25	29	32	35	39
vēja ātrums m/s		10	12	14	16	18	20	22
Stacija	virziens							
Ainaži	Z	65.5	28.3	9.8	3.2	1.0	0.3	0.1
	ZA	32.9	7.0	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0
	A	49.0	10.2	1.7	0.3	0.0	0.0	0.0
	DA	66.8	24.9	7.1	1.9	0.5	0.1	0.0
	D	99.9	57.7	9.7	1.2	0.1	0.0	0.0
	DR	69.5	13.1	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0
	R	91.6	47.4	15.3	4.2	1.1	0.3	0.1

Vēja ātrums brāzmās m/s		19	22	25	29	32	35	39
vēja ātrums m/s		10	12	14	16	18	20	22
Stacija	virziens							
	ZR	85.1	42.9	15.2	4.8	1.4	0.4	0.1
	kopējā	100.0	95.0	48.2	15.0	4.2	1.2	0.3
Alūksne	Z	5.3	1.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	ZA	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	A	3.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	DA	6.4	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	5.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	DR	11.8	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	R	39.1	13.6	4.2	1.3	0.4	0.1	0.0
	ZR	33.5	7.9	1.6	0.3	0.1	0.0	0.0
	kopējā	71.3	23.8	6.4	1.7	0.5	0.1	0.0
Bauska	Z	22.3	4.9	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0
	ZA	9.4	1.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	A	8.6	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	DA	16.9	3.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0
	D	24.1	6.4	1.6	0.4	0.1	0.0	0.0
	DR	32.9	7.0	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0
	R	47.2	16.2	4.8	1.4	0.4	0.1	0.0
	ZR	26.3	7.6	2.0	0.5	0.1	0.0	0.0
	kopējā	89.4	39.9	11.3	2.9	0.7	0.2	0.0
Daugavpils	Z	6.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	ZA	8.2	1.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
	A	10.0	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	DA	13.1	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	12.9	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	DR	30.6	6.4	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0
	R	51.2	19.0	6.0	1.8	0.5	0.2	0.0
	ZR	18.7	4.9	1.2	0.3	0.1	0.0	0.0
	kopējā	97.9	57.4	18.3	4.9	1.3	0.4	0.1
Liepāja	Z	66.6	30.2	11.1	3.8	1.3	0.4	0.1
	ZA	19.3	4.2	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0
	A	14.4	2.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	DA	18.9	2.9	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0
	D	88.3	48.7	18.8	6.3	2.0	0.6	0.2
	DR	99.4	86.8	55.5	27.7	12.2	5.1	2.1
	R	100.0	99.4	79.9	39.3	14.4	4.7	1.5
	ZR	86.8	48.5	19.5	6.9	2.3	0.8	0.3
	kopējā	100.0	100.0	94.9	63.2	29.0	11.2	4.1
Stende	Z	22.3	4.9	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0
	ZA	9.4	1.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	A	8.6	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	DA	28.5	2.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	56.7	15.5	3.3	0.7	0.1	0.0	0.0
	DR	60.8	22.9	7.0	2.0	0.6	0.2	0.0
	R	86.8	46.8	17.8	5.9	1.9	0.6	0.2
	ZR	42.9	14.4	4.2	1.2	0.3	0.1	0.0
	kopējā	99.4	73.3	30.4	9.8	2.9	0.9	0.3

Tā kā Gumbela sadalījuma kumulatīvās blīvuma funkcijas vērtības nosaka divi rādītāji - vidējā vērtība un standartnovirze, dažādu ekstrēmu vēju ātrumu varbūtības var atšķirties arī pie

vienādām vidējām vērtībām. Piem., Bauskā gan Z, gan D max vēju vidējā vērtība ir 9,0 m/s, bet varbūtība, ka tiks pārsniegta 12m /s ir attiecīgi 4.9 un 6.4%, jeb reizi 20 gados un reizi 15 gados.

Būtiski norādīt, ka visās meteostacijās (izņemot Ainažus) visspēcīgākie ir rietumu vēji – varbūtība, ka vēja ātrums pārsniegs 12 m/s, jeb 22 m/s brāzmās ir no 14 % gadu Alūksnē līdz par 99% gadu Liepājā. Tas nozīmē, ka tās kartes, kurām ir pieejama informācija tikai par vidējām vēja ātrumu vērtībām ir jāvērtē visai piesardzīgi.

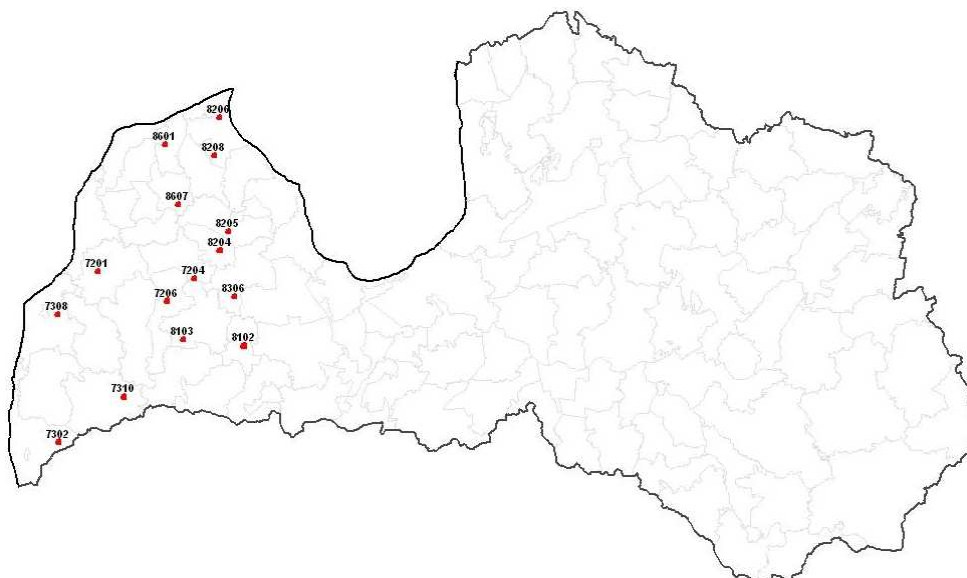
Izmantojot ArcGIS Inverse Weighted Distance tool un Kriging tool dažādus parametrus, konstatēts, ka no mērījumu punktiem tālākās virsmas interpolācijas vērtības visai ievērojami atšķiras, tādēļ precīzākas informācijas ieguvei par vēju ātrumiem dažādās vietās būtu izmantojamas specializētas programmas piem., WAsP, kuras ir paredzētas vēja klimata modelēšanai un atbilstoši Somijas un Zviedrijas pētnieku (Peltola, Sallnas, Blennow pers. komunikācija) ir piemērotas modelēšanai mēreni sarežģīta reljefa apstākļiem.

4.3 Vēja bojājumu varbūtības prognožu vienādojumu precizēšana

Literatūras dati un klimata izmaiņu prognozes liecina par potenciālu vēja bojājumu riska pieaugumu, tādēļ projekta ietvaros ievāks un apstrādāts empīriskais materiāls ar mērķi precizēt Latvijas apstākļiem izstrādātos vēja bojājuma varbūtības vienādojumus.

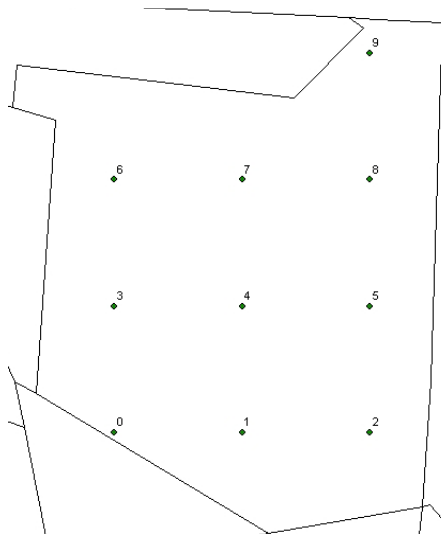
Pēc literatūras datiem svarīgs rādītājs, kas nosaka arī koku vējnoturību ir h/d attiecība. Tā kā tradicionāli Latvijā nogabali ir ierīkoti pēc acumēra taksācijas ar katra rādītāja pieļaujamo kļūdu $\pm 10\%$, gribējām pārbaudīt cik lietderīgi šādu rādītāju izmantot.

Objekti izvēlēti no 2005. gadā projektā „Ekstrēmu vēju ātrumu ietekmes uz kokaudzēs noturību novērtējums, lēmuma pieņemšanas atbalsta sistēmas izstrāde” apsekotajiem 7 objektiem (att. 4.5), kuri atkārtoti apsekoti 2007. gadā, kopā Kurzemes reģionā atlasot 30 nogabalus, kuros I stāva valdošā koku suga ir bērzs (12 nogabali), egle (7) un priede (11). Nogabalu atlases kritērijs - I stāva valdošā koku suga un I stāva valdošās koku sugas vecums, kas uzrādīts taksācijas aprakstos, kā arī audzes struktūra (tīraudze, mistraudze) un bojājuma pakāpe.



4.5 attēls. Objektu izvietojuma shēma

Katrā nogabalā ierīko 10 uzskaites laukumus. Uzskaites laukumi nogabalā izvietoti kvadrātveida tīklā, kas orientēts ziemeļu dienvidu virzienā. Attālums starp uzskaites laukumu centriem atkarīgs no nogabala platības un konfigurācijas. Nogabalā uzskaites laukumu tīklu veido izmantojot ArcGIS rīku „Jenness Enterprises Repeating Shapes” (att. 4.6).



4.6 attēls. Uzskaites laukumu izvietojuma shēma.

Uzskaites laukuma lielums var būt 100m^2 ($R=5,64\text{m}$), 200m^2 ($7,98\text{m}$), 250m^2 ($8,92\text{m}$), 300m^2 ($9,77\text{m}$), 400m^2 ($11,28\text{m}$) vai 500m^2 ($12,62\text{m}$). Uzskaites laukuma lielums atkarīgs no I stāva šķērslaukuma (pēc taksācijas datiem) un I stāva valdošās koku sugas caurmēra (pēc taksācijas datiem). Izmantojot abus iepriekš minētos rādītājus, izvēlās uzskaites laukuma platību tā, lai 10 uzskaites laukumos kopā būtu vismaz 100 I stāva koki.

Uzskaites laukumos uzmēra visus kokus, kuru krūšaugstuma caurmērs ir lielāks par 6,0 cm. Uzmērītajiem kokiem fiksē sugu, krūšaugstuma caurmēru (ar 0,1 cm precizitāti), stāvokļa klasi (dzīvs, sausoknis, stumbeņis) stāvu, krafta klasi, bojājumus – to atrašanās vietu, bojājuma veidu un bojājuma pakāpi atbilstoši meža veselības monitoringa metodikā lietotajiem kodiem (Forest Health Monitoring, 1995).

Uzskaites laukumā koku augstumus uzmēra vismaz 3 I stāva valdošās koku sugas kokiem un vismaz pa vienam kokam pārējiem meža elementiem (par vienu meža elementu uzskata vienas sugas kokus, kas atrodas vienā mežaudzes stāvā).

Katrā uzskaites laukumā vecuma precizēšanai ar Preslera svārpstu 1,3 m augstumā tiek izurbts viens I stāva valdošās koku sugas valdaudzes koks (I – III Krafta klases koks).

Veicot apsekošanu, četros nogabalos no 30 atlasītajiem nogabaliem netika ierīkoti uzskaites laukumi, jo trīs nogabalos bija veikta kailcirte un viens nogabals atzīts par projekta mērķiem neatbilstošu, jo nogabals (audzes sastāvs) ir neviendabīgs. Līdz ar to papildus atlasīti vēl 4 nogabali, kas pēc taksācijas rādītājiem bija līdzīgi neuzmērītajiem.

No 30 nogabaliem, kuros ierīkoti uzskaites laukumi, 11 ir bērzu audzes, 8 – egļu audzes un 11 – priežu audzes. Vienā no nogabaliem, kurā ierīkoti uzskaites laukumi I stāva valdošā koku suga pēc taksācijas apraksta (bērzs) neatbilst situācijai dabā (egle). 21 nogabalā audzes struktūra atbilda taksācijas aprakstam, 5 nogabalos tika konstatētas mistraudzes tīraudžu vietā, bet 4 nogabalos otrādi.

Kopā ierīkoti 293 uzskaites laukumi, kuros uzmērīti 6770 koki, no kuriem 3666 (54%) ir I stāva koki (4.2tab.).

Uzmērītie objekti

Nr. p.k.	Objekts	I stāva taksācijas rādītāji							Uzmērīto PL lielums, m ²	Uzmērīto PL skaits	Uzmērīto koku skaits	
		Valdošā suga	A, gadi	Audzies struktūra	D, cm	H, m	G, m ² *ha ⁻¹	V, m ³ *ha ⁻¹			I stāvs	Kopā
1	7308_234_18	P	32	Tīraudze	18,5	16,2	38,5	304,9	100	10	143	207
2	7308_234_20	P	32	Mistraudze	20,2	19,2	39,4	360,9	100	10	122	156
3	8607_428_11	P	33	Tīraudze	15,6	11,2	27,1	160,1	100	10	141	156
4	7308_252_1	P	37	Tīraudze	22,2	17,0	25,4	207,1	200	10	132	137
5	8204_208_1	P	49	Tīraudze	24,9	23,2	30,6	329,9	200	10	127	229
6	8607_410_18	P	57	Tīraudze	24,6	22,0	23,0	235,0	200	10	98	127
7	7204_609_13	P	81	Mistraudze	26,7	23,9	30,2	334,0	200	10	109	225
8	8607_411_21	P	92	Mistraudze	25,8	21,5	25,9	257,1	300	10	162	262
9	8204_124_7	P	96	Mistraudze	30,6	28,9	33,0	435,9	250	10	113	253
10	8204_124_4	P	111	Mistraudze	24,5	21,9	26,0	264,0	200	10	120	189
11	7204_611_14	P	123	Tīraudze	39,7	29,6	26,3	340,5	400	10	100	308
12	8607_427_13	E	36	Mistraudze	16,3	16,4	26,8	229,4	100	10	135	222
13	7204_617_10	E	38	Tīraudze	16,7	14,8	15,3	114,4	100	10	96	184
14	7204_617_11	E	43	Tīraudze	18,9	18,5	31,7	302,1	100	10	115	171
15	8102_310_8	E	51	Tīraudze	20,3	18,3	23,4	212,3	200	10	149	295
16	8102_309_4	E	52	Tīraudze	20,1	19,5	31,8	312,5	100	10	108	159
17	8103_293_23	E	86	Mistraudze	30,4	24,9	21,4	249,9	300	10	89	168
18	8607_429_8	E	87	Mistraudze	30,5	23,4	35,9	390,1	300	10	156	351
19	8103_289_39	E	91	Mistraudze	29,1	28,3	38,3	526,2	500	5	130	221
20	8306_350_4	B	28	Mistraudze	14,9	17,7	20,0	166,0	100	10	109	140
21	7308_251_4	B	42	Mistraudze	21,5	23,0	29,4	311,9	200	10	144	295
22	7308_253_14	B	42	Mistraudze	21,9	20,3	21,8	207,3	200	10	115	125
23	7308_252_7	B	45	Mistraudze	20,4	19,0	20,9	182,9	200	10	121	140
24	7308_233_15	B	46	Mistraudze	19,2	20,9	18,5	178,6	200	10	114	155
25	7308_235_18	B	57	Mistraudze	20,9	20,9	24,4	235,3	200	10	121	224
26	8102_316_1	B	57	Tīraudze	26,0	24,9	12,0	135,8	500	10	113	221
27	8103_294_9	B	61	Mistraudze	26,1	27,5	27,4	343,6	300	10	134	309
28	8306_352_6	B	63	Mistraudze	27,3	23,6	15,8	164,7	500	10	135	211
29	8102_310_11	B	66	Mistraudze	19,9	22,4	22,1	248,4	200	10	114	185
30	8103_294_11	B	66	Mistraudze	24,3	26,7	28,6	353,2	200	10	101	215

Lai noskaidrotu vai dati, kas iegūti 2005.-2007. gadā apsekojot nogabalus ir izmantojami H/D attiecības iegūšanai turpmāko aprēķinu veikšanai, salīdzinātas H/D attiecības, kas iegūtas no 2005.-2007. gadā apsekojumiem un 2010.gada pavasara parauglaukumu uzmērījumu H/D attiecības. 2005.-2007. gadā apsekojot nogabalus par pamatu izmantoti taksācijas apraksti, kuri nepieciešamības gadījumā mainīti pēc acumēra novērtējuma, ja situācija dabā atšķīrusies no taksācijas aprakstā esošās informācijas.

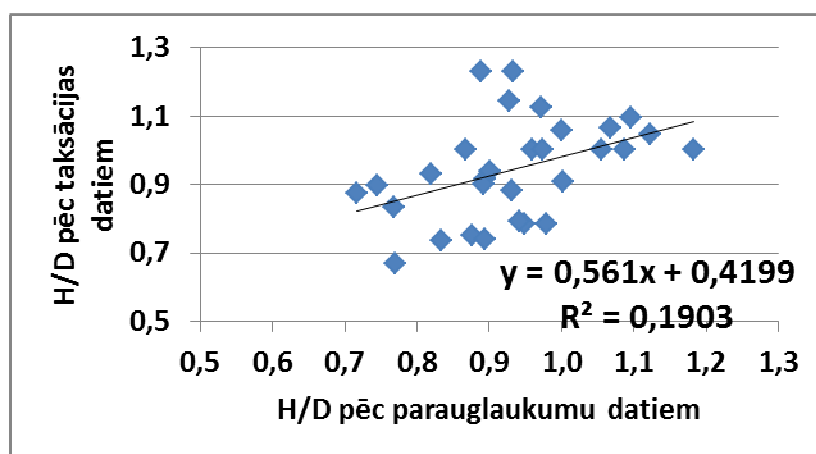
H/D attiecības, kas iegūtas no taksācijas aprakstiem svārstās no 0,67 līdz 1,23, bet no parauglaukumu datiem – no 0,72 līdz 1,18. Salīdzinot H/D attiecības, kas iegūti no taksācijas aprakstiem un parauglaukumu datiem, var konstatēt, ka atšķirības svārstās no -38,6% līdz 19,8% (vidēji -1,66%) (4.3 tab.). Savukārt sakarība starp parauglaukumu datiem un pēc taksācijas datiem iegūto H/D ir vāja ($r=0,436$), tomēr statistiski būtiska ($p=0,016<0,05$) (att. 4.7).

Ar acumēra novērtējumu un pēc parauglaukumu datiem iegūtu taksācijas datu salīdzinājums P, E, B dažāda vecuma un audzes struktūras nogabalos

Objekts	Boj. proc. grupa	A, desmit gade	Audzes struktūra	Valdošā koku suga	Taksācijas dati						H/D atšķirība, %
					Acumēra novērtējums ¹			Uzmērījums ²			
					H, m	D, cm	H/D	H, m	D, cm	H/D	
7308_234_18	>5	3	Tīraudze	P	9	12	0,75	16,2	18,5	0,88	14,3
7308_234_20	>5	3	Mistraudze	P	11	14	0,79	19,2	20,2	0,95	17,2
8607_428_11	0	3	Tīraudze	P	7	8	0,88	11,2	15,6	0,72	-22,1
7308_252_1	>5	4	Tīraudze	P	8	12	0,67	17,0	22,2	0,77	13,3
8204_208_1	>5	5	Tīraudze	P	15	17	0,88	23,2	24,9	0,93	5,3
8607_410_18	>5	6	Tīraudze	P	18	20	0,90	22,0	24,6	0,89	-0,9
7204_609_13	0	8	Mistraudze	P	22	24	0,92	23,9	26,7	0,89	-2,6
8607_411_21	1-5	9	Mistraudze	P	14	19	0,74	21,5	25,8	0,83	11,7
8204_124_7	0	10	Mistraudze	P	23	29	0,79	28,9	30,6	0,94	15,8
7204_611_14	>5	11	Mistraudze	P	26	29	0,90	29,6	39,7	0,75	-20,3
8204_124_4	>5	11	Tīraudze	P	20	27	0,74	21,9	24,5	0,89	17,1
7204_617_10	1-5	4	Mistraudze	E	16	13	1,23	14,8	16,7	0,89	-38,6
7204_617_11	0	4	Tīraudze	E	11	14	0,79	18,5	18,9	0,98	19,8
8607_427_13	>5	4	Tīraudze	E	10	11	0,91	16,4	16,3	1,00	9,3
8102_309_4	1-5	5	Tīraudze	E	18	16	1,13	19,5	20,1	0,97	-15,8
8102_310_8	>5	5	Tīraudze	E	15	16	0,94	18,3	20,3	0,90	-4,1
8103_289_39	>5	9	Mistraudze	E	25	25	1,00	28,3	29,1	0,97	-2,7
8103_293_23	>5	9	Mistraudze	E	26	28	0,93	24,9	30,4	0,82	-13,3
8607_429_8	1-5	9	Mistraudze	E	25	30	0,83	23,4	30,5	0,77	-8,6
8306_350_4	>5	3	Mistraudze	B	10	10	1,00	17,7	14,9	1,18	15,5
7308_251_4	0	4	Mistraudze	B	16	15	1,07	23,0	21,5	1,07	0,1
7308_252_7	>5	4	Mistraudze	B	16	13	1,23	19,0	20,4	0,93	-32,0
7308_253_14	0	4	Mistraudze	B	16	14	1,14	20,3	21,9	0,93	-23,2
7308_233_15	>5	5	Mistraudze	B	16	16	1,00	20,9	19,2	1,09	8,0
7308_235_18	>5	6	Mistraudze	B	19	18	1,06	20,9	20,9	1,00	-5,5
8102_316_1	1-5	6	Tīraudze	B	27	27	1,00	24,9	26,0	0,96	-4,3
8103_294_9	1-5	6	Mistraudze	B	24	24	1,00	27,5	26,1	1,05	5,2
8306_352_6	0	6	Mistraudze	B	25	25	1,00	23,6	27,3	0,87	-15,4
8102_310_11	0	7	Mistraudze	B	23	22	1,05	22,4	19,9	1,12	6,9
8103_294_11	>5	7	Mistraudze	B	23	21	1,10	26,7	24,3	1,10	0,1

Apzīmējumi: ¹- Acumēra novērtējums, veikts 2005.-2007. gadā, balstīts uz taksācijas aprakstu.

²-Aprēķināts, balstot uz 2010. gada pavasarī ierīkoto parauglaukumu datiem.



4.7 attēls. Sakarība starp pēc parauglaukumu datiem un pēc taksācijas datiem iegūto H/D.

Nemot vērā nelielo datu apjomu un lielo datu izkliedi ($r^2=0,19$) pagaidām uzskatām, ka nav īsti pamata mainīt 2007.g. izstrādātos modeļus un proti:

Bērzu audzēm

$B(\text{boj kods}) = 1/(1+e^{-(4,561+0,067*\text{veja atrums} + 0,096* H10 + 0,352*E_koefic_Dumi + 1,527*Kopsh_Dumi_1 + 1,140*Kopsh_Dumi_2 + 0,819*Kopsh_Dumi_3 + R_izcirtums*0,988)})$
Nagelkerke $r^2=0,16$

Egļu audzēm

$E(\text{boj kods}) = 1/(1+e^{-(5,461+0,141*\text{veja atrums} + 0,118* H10 + 3,088*Kopsh_Dumi_1 + 1,105*Kopsh_Dumi_2 + 0,497*Kopsh_Dumi_3 + R_izcirtums*0,506)})$
Nagelkerke $r^2=0,314$

Priežu audzēm

$P(\text{boj kods}) = 1/(1+e^{-(3,618+0,02*\text{veja atrums} + 0,121* H10 + 0,121*E_koefic_Dumi + 1,224*Kopsh_Dumi_1 + 0,642*Kopsh_Dumi_2 + 0,610*Kopsh_Dumi_3 + R_izcirtums*0,549)})$
Nagelkerke $r^2=0,175$

Vienādojumos lietotie saīsinājumi:

Bojājuma kods 1 –bojāts; 0 nebojāts

- *Krājas kopšanas cirte*

Bāze – nekopta audze

Kopsh_Dumi_1- pēccirtes periods 1-2 gadi

Kopsh_Dumi_2- pēccirtes periods 3-5 gadi

Kopsh_Dumi_3- pēccirtes periods 6-10 gadi

- *Nogabala rietumu pusē piekļaujošies objekti*

R_izcirtums - izcirtums

- *Egles piemistrojums (P, B)*

Bāze – bez egles piemistrojuma

E_koefic_Dumi – egle piemistrojums

- H10 – koka garums, m

- Vēja ātrums – vidējais vēja ātrums brāzmās ziemas vētrā

Turpmākā pētījuma laikā būtu nepieciešams pārbaudīt vai vienādojumus nevar uzlabot kā rādītāju izmantojot arī vēja pusē esošās izcirtuma vecumu, kuru ir iespējams noteikt precīzāk.

4.4 Rekomendācijas vēja risku mazināšanai

Rekomendācijas balstītas uz literatūras apskatu (Stathers et al. 1994; Quine et al. 1995; Gardiner, Stacey, 1996; Drouineau et al. 2000), kā arī mūsu pētījumu rezultātiem. Pamatā domātas mežiem, kurus apsaimnieko pēc kailciršu metodēm vietām, kurās pastāv augsta riska cēloņa (šajā gadījumā – spēcīgs vējš) draudi.

Atjaunošanas/ieaudzēšanas fāze

Koku iespējamo apdraudējumu nākotnē spēcīgu vēju ietekmē zināmā mērā jau nosaka darbības, kas veiktas meža atjaunošanas fāzē – gan atjaunošanas veida izvēle, gan augsnes sagatavošana, biežums u.c.

Atjaunošanās veida izvēle

Izvēloties atjaunošanas metodi būtu jāņem vērā, faktu, ka:

Stādījumi – paātrina audzes rašanos, dod iespēju ietekmēt ģenētiskos procesus (un attiecīgi ar iespējamās nākotnes ieņēmumus), bet prasa ievērojamus tūlītējos līdzekļus, nepieciešams gatavot augsni, iespējami būtiski pārnodžu bojājumi.

Dabiskā atjaunošanās – mazi sākotnējie ieguldījumi, mazāk apdraud pārnodži, daļēji saglabāts dabisks process, bet relatīvi nenoteiktas atjaunošanās sekmes.

Dabiskās atjaunošanās papildināšana – zemāki sākotnējie ieguldījumi salīdzinot ar stādījumiem, kaut daļēji saglabāts dabiskais process, apgrūtināta augsnes sagatavošana.

Augsnes sagatavošana

Viens no augsnes sagatavošanas mērķiem ir palielināt sakņu sistēmas noturību (enkurojumu), tās dziļumu un izvietojuma vienmērīgumu.

Lai palielinātu sakņu sistēmas dziļumu, vietās, kur izveidojies ortšteina slānis nepieciešama tā salaušana, ja tas ekonomiski attaisnojas.

Bijušajās lauksaimniecības zemēs nepieciešams uzart t.s. „arkla zoli”.

Lieka mitruma apstākļos augsni būtu vēlams sagatavot laukumiņos, kupicās, kā arī novadīt virsūdeņus.

Sākotnējais biežums un stādīšana

Pie sākotnējā biežuma 1500 līdz 3000 gab ha⁻¹, nav konstatēta būtiska sākotnējā biežuma ietekme uz koku stabilitāti. Lielu biežuma gadījumā palielinās koku kolektīvā stabilitāte (tie viens otru balsta), taču to individuālā stabilitāte pazeminās, kas saistīts gan ar sakņu konkurenci, gan arī izstīdzēšanu jaunaudžu stadijā.

Nav ieteicams stādīt kokus tuvāk par 1m no grāvja malas, jo kokiem augot veidosies asimetriska sakņu sistēma, kas palielinās to apdraudētību.

Mežmala ar nemeža ekosistēmām sākotnēji var veidot retāku un / vai mistrotu vai arī mežmalā stādīt vēlāk vai stādīt lēnāk augošas koku sugas.

Kopšanas fāze Manipulācija ar biežumu

Jāizvairās no nokavētas, intensīvas un nevienmērīgas retināšanas, kā rezultātā var rasties lieli logi – tie palielina brāzmu un virpuļu iespējamību un apdraud logu malā augošos kokus.

Pēc iespējas jāsamazina paliekošo koku sakņu un augsnes bojājumus izvēloties piemērotu tehniku un tehnoloģiju, kā arī cirsmu izstrādes laiku.

Vēja bojājumam pakļautās audzēs lietderīgāk ir izmantot biežākas, bet mazākas intensitātes kopšanas cirtes.

Malas

Veidojot mežmalas iespējamās 2 stratēģijas: 1. veidot pakāpenisku pārejas joslu, 2. veidojot skraju mežmalu.

Pārejas joslai jābūt vismaz ½ no koka augstuma audzes ciršanas vecumā.

Pārejas joslu var veidot vēlāk atzāģējot koku galotnes.

Skraja mežmala var tikt izveidota stādot kokus retāk, vai retinot iespējami agri.

Mežmalas noturību var palielināt arī veicot pieaugušu koku atzarošanu.

No vēja noturības viedokļa, nav ieteicams veidot ieliektus malu posmus, kas varētu radīt ”tuneli”.

Minimizēt jaunu malu veidošanu, vai tās veidot pēc iespējas audzes agrīnajās attīstības stadijās.

Malu var veidot retinot 20-30 m joslā izcērtot ne vairāk kā 30% no kokiem. Taču to nav lietderīgi darīt augstas biežības vienvecuma audzēs. Mežmalām vajadzētu būt vismaz 15m platām.

Ciršanas fāze Cirsmu dizains

Lai nodrošinātu „aizvēju”, izcirtumu platumiem valdošo/spēcīgāko vēju virzienā nevajadzētu pārsniegt 5 koku augstumu. Pētījumi liecina, ka vējš sasniedz sākotnējo (atklātu vietu) ātrumu, attālumā no meža sienas, kas pārsniedz 10-kāršu vēja pusē esošās meža sienas augstumu.

Spēcīgāko vēju pusē audzes malas vajadzētu veidot uz noturīgām augsnēm.

Nevajadzētu veidot kailcirtes malas vietās, kurās vērojamas hronisku vējgāžu pēdas.

Audzū malām vajadzētu būt relatīvi vienveidīgām un gludām. Nevajadzētu veidot asus stūrus – šādās vietās vēja slodze par 30 % pārsniedz vēja slodzi uz vējam perpendikulāru mežmalu.

Kailcirtēm pieguļošo audžu malās (Blakus audzes!) var izretināt, izvācot vēja apdraudētākos kokus. Tomēr nevajadzētu izvākt vairāk par 15-20% koku. Pārmērīga izretināšana var palielināt virsmas aerodinamisko raupjumu, tādējādi palielinot vējgāžu risku.

Ap mitrās vietās augošām audzēm spēcīgāko vēja pusē būtu vēlams atstāt buferjoslu uz minerālaugsnēm.

Veidojot grupu izlases cirtes nepieciešams atstāt pietiekami plašu neskartu joslu, kur iespējams nevajadzētu veidot logus, kuru dimensijas pārsniedz ½ no koka augstuma.

Meža plāna dizains

Cirsmas plānot pretēji valdošo vēju virzienam
Izvairīties no joslu cirtēm

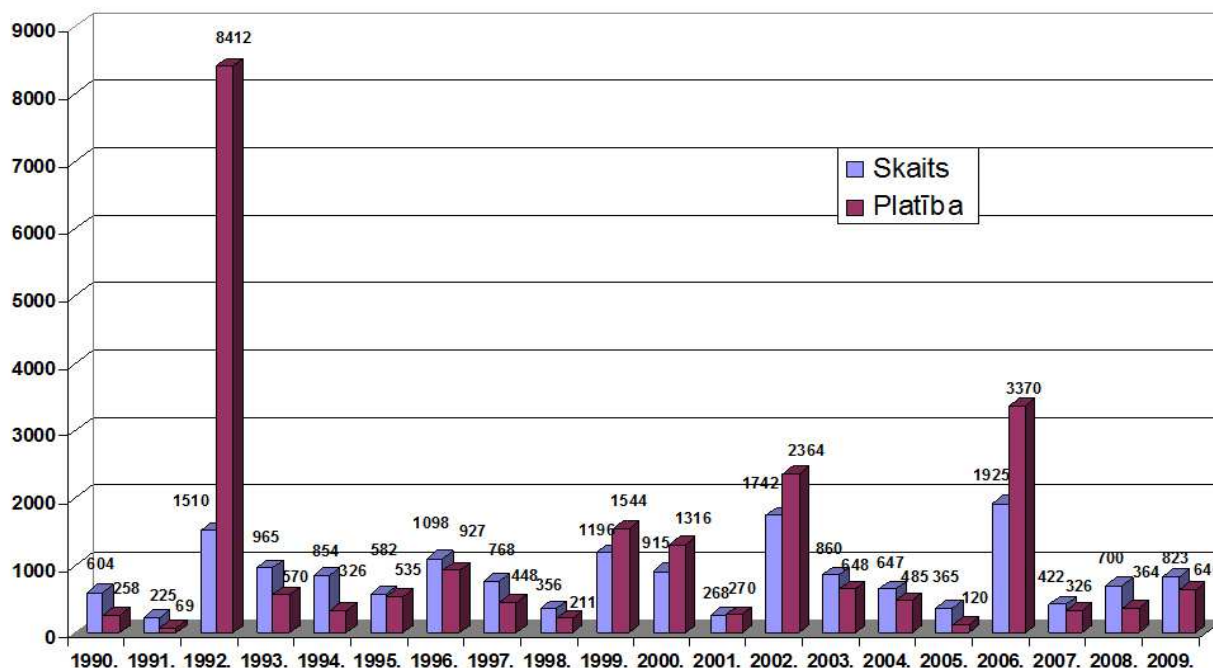
4.5 Uguns kā riska cēloņa izvērtējums

Ugunsgrēkus tāpat kā jebkuru citu traucējumu raksturo traucējuma režīms. Traucējuma režīma raksturošanai izmanto sekojošus mērus (Sousa, 1984):

1. Aptvertā platība – traucētās platības izmēri;
2. Svarīgums (magnitude):
 - a. intensitāte – traucējošā aģenta spēks (vēja ātrums, uguns temperatūra, jauda utt.);
 - b. bardzība (severity) – traucējošā aģenta nodarītais bojājums;
3. Frekvence – traucējumu skaits laika vienībā:
 - a. frekvence nejaušā punktā – vidējais traucējumu skaits laika vienībā reģiona nejaušā punktā - atgriešanās intervāls;
 - b. reģionālā frekvence – kopējais traucējumu skaits ģeogrāfiskā platībā laika vienībā;
4. Prognozējamība – vidējā laika posma garuma starp diviem traucējumiem mainība.
5. Apgrozījums (rotācijas periods) – vidējais laiks, kas nepieciešams, lai traucētu visu apskatāmo platību.

Latvijā meža ugunsgrēku skaits un to skartā platība ļoti mainās pa gadiem. Pēc VMD datiem (att. 4.8)

Ugunsgrēku skaits pa gadiem un uguns skartās platības (ha)



4.8 attēls. Ugunsgrēku skaits un uguns skartās platības ha pa gadiem.

Avots http://www.vmd.gov.lv/doc_upl/ugunsapskats.jpg

Ziemeļvalstīs un Baltijas valstīs ap 0.01 (Latvija, Igaunija) līdz 0.11 (Zviedrija) ugunsgrēki gadā uz 10 000 ha ir dabiskas izcelsmes. Zibens radītu ugunsgrēku skaits Zviedrijā ir visai nevienmērīgs un dažādos reģionos atšķirībā ir pat 8 reizes (0.03-0.24). Visaugstākais zibens radīto ugunsgrēku blīvums ir Zviedrijas dienvidaustrumu daļā, bet viszemākais - ziemeļrietumu un ziemeļu reģionos (Granstrom, 1993).

Bez tam jānorāda, ka valstu statistikas pārskatos ir norādīti arī nezināmas izcelsmes ugunsgrēki, no kuriem daļa varētu būt arī dabiskas izcelsmes, tādējādi dabiskas izcelsmes ugunsgrēku skaits varētu būt arī lielāks.

Literatūrā sastopami visai atšķirīgi uzskati par ugunsgrēka intensitātes definējumu. S.Belovs (Белов,1982). uzskata, ka ugunsgrēka intensitāti raksturo frontes virzības ātrums, liesmu augstums, degošās apmales platums un siltuma izdale no viena tekošā metra uguns frontes pusē, kur pēdējais rādītājs sevī integrējoši ietver gan degmateriālu daudzumu un raksturu, gan to mitrumu un vēja ietekmi. I.Meļehovs (Мелехов,1947) par ugunsgrēka intensitāti raksturojošiem rādītājiem uzskata skejuguns temperatūru, liesmas augstumu un uguns zonas platumu. N.Kurbatskis (Волоткина, 1979) par ugunsgrēka intensitāti sauc enerģijas izdalīšanās intensitāti no frontālās ugunsgrēka apmales garuma vienības laika vienībā.

$$P_f = m * c * v, \text{ kur}$$

P_f - ugunsgrēka intensitāte, J/(m*s);

m - sadegošā degmateriāla krājums, kg/m²;

c - degmateriāla siltumrades spēja, J/kg;

v - apmales izplatīšanās ātrums, m/s.

Kā redzams no definējuma, ugunsgrēki ar visai maz atšķirīgu intensitāti, bet dažādu izplatīšanās ātrumu un atbilstoši atšķirīgu uguns apmales iedarbības laiku kokus bojās atšķirīgā mērā (Шешуков et.al., 1979).

Pēc A.Volotkinas (Волоткина, 1979) datiem, elementārā iecirkņa degšanas laiks katram zemsedzes veidam ir pastāvīgs lielums, tā kā to nosaka slāņa blīvums un tā sastāvdaļu lielums

(virsmas-tilpuma attiecība), piem., ķērpju klājuma elementārā laukuma degšanas ilgums - 65 s. No tā var secināt, ka, pieaugot degošās apmales virzības ātrumam, proporcionāli pieaug apmales platums.

Pēc S.Vonska (Белов, 1982) uzskatiem, ugunsgrēka intensitāte pieaug, palielinoties vēja ātrumam un degmateriālu daudzumam, bet samazinās, pieaugot to mitrumam. Svarīga ir ne tikai masa, kāda atrodas uz platības vienības, bet arī tās agregātu lielums, jo visai atšķirīgi deg 1 kg monolīts koksnes gabals un 1 kg sasmalcinātas koksnes.

Literatūrā sastopamas daudzveidīgas ugunsgrēku klasifikācijas - gan pēc uguns iedarbības uz atsevišķām audzes (fitocenozes) daļām, gan pēc to aptvertās teritorijas, intensitātes utt. (Белов, 1982; Лесински, Армолаитис, 1972; LR Normat. akti, 1993; Heikkilät et.al. 1993; Денисов, 1979). Šāds iedalījums nepieciešams ne tikai zinātniskiem nolūkiem, bet arī praktiskajā darbībā, organizējot ugunsgrēku dzēšanu un profilaktiskos pretugunsgrēku pasākumus, kā arī novērtējot ugunsgrēku sekas. A.Savčenko (Савченко, 1984), novērtējot ugunsgrēku sekas, iesaka ievērot sekojošus principus:

1) pēcugunsgrēku izmaiņas meža biogeocenozēs un tās komponentēs skatīt no dinamiskās meža tipoloģijas viedokļa;

2) pēcugunsgrēku procesu izpēti veikt, pamatojoties uz degumu tipoloģiju;

3) mēroga faktora ievērošana (secinājumus un atziņas, kas gūtas, pētot atšķirīga lieluma degumus, nedrīkst vispārināt, jo tas saistīts ar kvantitatīvo izmaiņu pāreju kvalitatīvās izmaiņās);

4) uguns ietekmes spēka un rakstura ievērtēšana;

5) ugunsgrēku kā pirogēnās (uguns radītās) meža dinamikas cēloņa un iespējamās pirogēnās stabilitātes avota ievērtēšana.

Pēc ietekmes uz mežaudzes elementiem ugunsgrēkus klasificē sekojošās grupās:
skrejuguns, vainaguguns un zemdega

Pēc izcelsmes ugunsgrēkus iedala:

Antropogēnas izcelsmes;

Dabiskas izcelsmes:

- Zibens;
- Pašaiždegšanās;
- Meteorīti, vulkāni;
- Dzirksteles, kas rodas nogrūvumu laikā.

Balstoties uz degumu iedalījumu atkarībā no ugunsgrēka iedarbības uz audzi un pirmām kārtām uz tās galveno komponenti - kokaudzi, I. Meļehovs (Мелехов, 1983) izdala sekojošas degumu kategorijas:

1. kategorija. Degumi, kuros nav kokaudzes, jo tā pilnīgi vai gandrīz pilnīgi sadegusi ugunī;

2. kategorija. Degumi, kuros kokaudze saglabājusies, taču pilnīgi zaudējusi dzīvotspēju:

a) degumi, kuros sausokņi izgāzti (kritalas);

b) degumi, kuros sausokņi stāvoši;

3.kategorija. Degumi, kuros kokaudze vai atsevišķi koki saglabājuši dzīvotspēju:

a) ar nenozīmīgu (mazāk par 10%) dzīvotspējīgu 1.stāva koku skaitu un pilnīgi atmirušiem zemākiem stāviem;

b) ar nozīmīgāku (vairāk par 10%) dzīvo koku skaitu 1.stāvā un atmirušiem zemākiem stāviem;

c) daļēji atmiruši zemākie stāvi vai pat tie ir saglabājušies.

Aizdegšanos un ugunsgrēku izplatīšanos determinē virkne faktoru, tādi kā mežā esošo degmateriālu daudzums un veids, to mitruma saturs, temperatūra, kā arī vēja ātrums un topogrāfiskie apstākļi.

Degmateriālu veids. Degmateriāli mežā ir visi organiskie materiāli, kas var aizdegties un turpināt degt, neatkarīgi no tā, vai tie ir dzīvi vai atmiruši, kā arī to atrašanās vietas - zemē, uz zemes vai gaisā (Heikkilät et al. 1993). Pēc to izmēriem degmateriāli tiek iedalīti rupajos un

smalkajos. Pie pirmās grupas tiek pieskaitīti resnie zari, kritālas, koku stumbri, bet pie otrās - smalkie zariņi, lapas, skuju, zāle. Pēc Volotkinas (Волоткина, 1979) atziņām, degšana var notikt tikai tad, ja sausa degmateriāla krājums ir ne mazāks kā 0,1-0,2 kg /m².

Mitruma saturs. Degmateriālu galvenais mitruma avots ir atmosfēras nokrišņi, bez tam tie mitrumu var gūt no zemes un kondensējoties atmosfēras ūdens tvaikiem. Konkrētais mitruma saturs degmateriālā atkarīgs no temperatūras, gaisa mitruma, vēja ātruma, nokrišņu daudzuma un biežuma, diennakts laika un topogrāfiskā izvietojuma. Nedzīvajos degmateriālos mitruma izmaiņas notiek daudz straujāk nekā dzīvajos (Heikkilät et al. 1993).

Retās audzēs, kādas parasti arī ir 50-140 gadus vecas IV - V bonitātes priežu audzes uz smilts augsne, ķērpji, sūnas un nedzīvā zemsega saņem spēcīgu saules radiācijas plūsmu un izžūst straujāk, salīdzinot ar citām audzēm (Белов, 1982).

Vēja ietekme uz žūšanas ātrumu mežā ir mazāka nekā atklātā vietā, jo mežā parasti ir gan mazāks vēja ātrums, gan augstāks relatīvais gaisa mitrums (Белов, 1982).

P.Serebreņikovs (Ткаченко, 1955), pētot ugunsgrēku Gorkijas apgabalā (Krievija), secina, ka uz uguns izplatīšanos bremzējoši iedarbojas miltenes (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng), kaķpēdiņas (*Antennaria dioica* L). Savukārt kladonijas (*Cladonia* sp.) un virši (*Calluna vulgaris* (L.) Hill.) uguns izplatīšanos sekmē. Viena un tā pati suga dažādos gadalaikos atšķirīgi ietekmē uguns izplatību, piem., iepriekšējā gada rudenī atmirušās graudzāles ievērojami paaugstina ugunsbīstamību nākamā gada pavasarī.

Temperatūra. E.Arcibaševs (Белов, 1982), pētot dažādu meža materiālu temperatūru pusdienas laikā saulainā jūlija dienā, secina, ka tiešā saules gaismas ietekmē vairāk uzkarst nedzīvie materiāli (nedzīvā zemsedze, nobiras), kā arī ķērpji un sūnas. Saulē nobiru, ķērpju un sūnu temperatūra var sasniegt pat +49-52 °C laikā, kad ēnā to temperatūra ir 16-24 °C, bet gaisa temperatūra +24-27 °C. Savukārt paaugas eglīšu skuju un zālaugu temperatūra saulē ir +25-32 °C, bet ēnā +22-26 °C. D. Smits (Спурп, Баренс, 1984) Kentuki pavalstī (ASV) konstatējis, ka pie gaisa temperatūras +24 °C augsnes virskārta, kas klāta ar priežu skuju, dienā sakarst līdz +68 °C, savukārt minerālā augsne, kurai noņemts augājs, sakarsa līdz +46 °C, bet vietā, kur tā klāta ar sūnām (*Polytrichum* sp.), sakarsa tikai līdz 39 °C (Спурп, Баренс, 1984).

Jo augstāka materiāla sākotnējā temperatūra, jo mazāk enerģijas tam jāpievada, lai tas sasniegtu aizdegšanās temperatūru (Heikkilät et al. 1993).

4.6 Ugunsgrēku ietekme uz meža ekosistēmas komponentēm

Ugunsgrēku ietekme uz dzīvajiem organismiem

Dabisko mežu ugunsgrēki ir nozīmīgs fenomens boreālajos mežos Ziemeļeiropā (Zackrisson, 1977; Niklasson & Granstrom, 2000). Vislielākā nozīme mežu degumiem ir sēņu un vaboļu bioloģiskajā daudzveidībā (Esseen et al., 1997). Starp pirofīlajām sugām daudzas ir retas un apdraudētas, tāpēc tās ir iekļautas daudzu valstu īpaši apdraudēto sugu sarakstos (Granstrom, 2001).

Tiek uzskatīts, ka Zviedrijas un Somijas mežos mīt 60 – 70 sugas, kas ir atkarīgas no ugunsgrēkiem. (Wikars, 1997, T. Kulluvainen pers. kom.). Degumu nozīme bioloģiskajā daudzveidībā Latvijas apstākļos ir salīdzinoši maz pētīta. Daudz lielāka uzmanība tam ir veltīta pasaules zinātniskajā literatūrā. Analizējot degumu nozīmi bioloģiskajā daudzveidībā, kā objekts parasti ir izmantotas vaboles (Coleoptera). Vaboles ir salīdzinoši viegli pētāmas ar standartizētām metodēm, starp tām ir vairākas indikatorsugas, kuras viegli izmantot sukcesijas procesu analīzei un modelēšanai.

Kukaiņi var tikt iedalīti divās grupās: mikofāgās sugas, kurām dedzis substrāts vajadzīgs kā tāds, un ar floēmu barojošies kukaiņi un plēsēji, kuriem nepieciešams konkurences samazinājums (Wikars, 1997).

Pēc Vikara (Wikars, 1997, 2002) veiktajiem pētījumiem, ja pirms dedzināšanas notiek koku izciršana, pirofīlā vabole *Sericoda quadripunctata* tajos nevairojas, jo pirofīlās sugas, ierodoties dedzinātos izcirtumos, var sastapties ar konkurentiem, kas pielāgojušies atklātiem biotopiem.

Salīdzinot apdegušus un nedegušus baļķus degumos un nedegušus baļķus izcirtumos un mežā, tika konstatēts, ka 1) apdegušus egļu un bērzu baļķus apdzīvoja mazāk ar floēmu barojošies un vairāk ar askomicētām barojošies posmkāji, 2) vaboļu sugu bagātību (speciess richness) degšana neietekmē, 3) daudzveidība lielāka degušā platībā un 4) specifisku saimniekaugu izvēle bija zemāka vairāk traucētās vietās un degušos baļķos.

Dažas vaboļu sugas sastopamas tikai uz apdegušās koksnes. Liela daļa saprofītu arī iegūst no mežu ugunsgrēkiem, jo tie dzīvo mirušā koksne, zem apdegušās mizas u.c. degumos palikušajā koksne (Lundberg, 1984; Ehnstrom, 1991; Muona & Rutanen, 1994).

No koksne dzīvojošo kukaiņu viedokļa, meža sukcesijā pēc ugunsgrēka var izdalīt trīs posmus (Wikars, 1992). Uzreiz pēc ugunsgrēka kļūst pieejama mirušu un novājinātu koku miza, kas piesaista vaboles un dažus citus kukaiņus. Turpmākajos 5 – 25 gados meža degumos paliek lielāks vai mazāks trūdošas koksnes daudzums. Svaigā podzolētā augsne pēc ugunsgrēka sāk aizaugt ar lapkokiem, zem kuru vainagiem parasti sāk attīstīties egle. Novērojot lapkokiem, kas izauguši pēc boreāla meža ugunsgrēka, veidojas ļoti daudzveidīgs saprofītu sugu komplekss (Wikars & As, 1991). Tādā veidā meža ugunsgrēks ilglaicīgi, vairākus gadu desmitus uz priekšu veido specifiskus un bioloģiskajā daudzveidībā ļoti nozīmīgus sugu kompleksus (Siitonen, 2000, 2001).

Pēc ugunsgrēka mirušie koki kā saprofītu dzīvesvieta pēc daudziem parametriem atšķiras no citiem mirušajiem kokiem mežā (Ahnlund & Linde, 1992). Apdegušajiem kokiem miza parasti ir biezāka un vairāk piemērota kukaiņu eksistencei, salīdzinot ar tiem kokiem, kas miruši dabiskas konkurences rezultātā. Uz apdegušās koksnes laika gaitā parādās atsevišķas specifiskas sēņu sugas. Meža degumos veidojas savdabīgs mikroklimats, kas kopumā šajās vietās ir karstāks un sausāks nekā nedegušā mežā (Siitonen, 2000).

Daudzas vaboļu sugas apdzīvo uz apdegušiem bērzu stumbriem augošo sēni *Daldinia concentrica*. Starp tām – tādas sugas kā *Laemophloeus muticus*, *Cryptophagus corticinus* un *Platyrhinus resinosus* (Siitonen, 2000).

Neskatoties uz to, ka kopumā Latvijā mežu ugunsgrēki ir pētīti, ziņas par to ietekmi uz bioloģisko daudzveidību ir salīdzinoši nepilnīgas. Publikācijās atrodamas tikai atsevišķas norādes par sugu saistību ar degušu koksni.

V. Spuņģis ir pētījis purvu ugunsgrēka ietekmi uz epigejisko posmkāju faunu Ķemeru un Sudas purvos (Spungis, 2001). Viņš norāda, ka lielākā daļa sugu, kas sastopamas zālē un zemsedzē, ugunsgrēka laikā aiziet bojā. Pirmajā gadā pēc ugunsgrēka parādās skrejvaboles (Carabidae), īsspārņi (Staphylinidae), skudras (Formicidae). Vairākas no šīm sugām uzskatāmas par šādu ietekmētu ekosistēmu indikatoriem.

V. Spuņģis norāda, ka degušos purvos, kas ir atklātās vietās, sugu daudzveidība ir ievērojami mazāka, nekā purvu mežu degumos (Spungis, 2001).

Sudas purvā pēc ugunsgrēka dominēja skudras (Formicidae), skrejvaboles (Carabidae), īsspārņi (Staphylinidae) un smecernieki *Hylobius abietis*, kas kā raksturīga suga tika norādīta katram priežu mežam pēc ugunsgrēka (Spungis, 2001).

Literatūras datu analīze liecina, ka:

- boreālo mežu degumu fauna kopumā gan Latvijā, gan Ziemeļeiropā ir diezgan nepilnīgi izpētīta. Trūkst plašu ekosistēmas sukcesiju kopumā aptverošu pētījumu;
- degumu nozīme bioloģiskajā daudzveidībā ir neapstrīdama, taču tā joprojām ir nepilnīgi izpētīta. Nav precīzi zināms to sugu skaits, kas saistīts ar mežu degumiem tieši un to sugu skaits, kas no meža degumiem iegūst netiešu labumu;
- pēc dažādu zinātnieku datiem, kopumā ar meža ugunsgrēkiem Ziemeļeiropā vairāk vai mazāk saistītas ir apmēram 100 kukaiņu sugas. Šie dati pagaidām ir neprecīzi un reālais sugu skaits varētu būt krietni lielāks.
- apsaimniekojot meža degumus, svarīgi to fragmentus saglabāt neizkoptus, tādējādi nodrošinot sugu daudzveidību.

Ugunsgrēkā cietušu koku izdzīvošanas prognoze

Ugunsgrēka tiešā ietekme izpaužas kā atsevišķu augu vai to kompleksu, zemsedzes faunas iznīcināšana vai bojāšana tieši ugunsgrēka laikā. Uguns radītie bojājumi kokam izpaužas kā:

- a) stumbra bojājumi;
- b) sakņu apdegšana un pārdegšana;
- c) vainaga apdegšana.

Koka bojājuma pakāpi nosaka vairāki faktori.

Temperatūra un ekspozīcijas laiks. Augsnē augstā temperatūra skrejuguns gadījumā parasti iespiežas nelielā dziļumā, jo augsnei ir zema siltumvadītspēja (Мелехов, 1947). Pēc N.Kazanska un V.Gumsašvili (Мелехов, 1947) pētījumiem, skrejuguns laikā temperatūra augsnes virskārtā svārstās no 290 °C līdz 702 °C, bet 1 cm dziļumā tā parasti nerasniedz 100 °C, izņemot gadījumus, kad, degot sevišķi sausai zemsedzei, tika konstatēta 300 °C temperatūra.

Amerikāņu zinātnieks Heivards (Heyward) secina, ka tieši uz augsnes virskārtas temperatūra reti sasniedz 94 °C. Mākslīgā degumā, kur sākotnēji bija 4-6 kg degmateriālu uz kvadrātmetru, humusa kārtā 1-2 cm zem virskārtas konstatēts, ka temperatūra pieauga tikai par 15 °C (Vassander un Lindholm, 1985).

Pirolīzes procesā radušos gāzu sadegšanas temperatūra ir 700 - 1100 °C. Sadegšanas produktiem paceļoties virs skrejuguns, to temperatūra strauji krītas no 800-900 °C līdz 50 °C 10 m augstumā un 24-26 °C 20 m augstumā. Temperatūras kritums izskaidrojams ar jaunu gaisa masu iesaistīšanos gaisa "stabā" virs uguns (Белов, 1982).

Atsevišķu koku, kā arī kokaudžu kopumā, karstumizturība, pēc M. Šešukova (Шешуков et. al., 1979) uzskatiem, bez tam atkarīga no:

- 1) augšanas apstākļu tipa un sakņu sistēmas rakstura;
- 2) degošo materiālu veida, to mitruma satura un daudzuma;
- 3) vainagu uzliesmotspējas;
- 4) vainagu klāja horizontālā un vertikālā slēguma;
- 5) sezonas (augšanas stadijas);
- 6) koka vecuma un morfoloģijas;
- 7) augāja sākotnējās temperatūras.

Skrejuguns gadījumā koku atmiršana pārsvarā notiek stumbra lejasdaļas un sakņu kambija bojājuma rezultātā (Шешуков et. al, 1979). Kambijs un floēma ir ļoti jutīgi pret temperatūras paaugstināšanos. Dzīvo šūnu bojāeja sākas jau pie +50 °C, ja tās iedarbības ilgums turpinās apm. 1 stundu. +55 °C temperatūrā audu bojāeja notiek 5 min laikā, pie +60 °C - 30 s, bet pie + 65 °C - gandrīz acumirkli. Tādējādi temperatūras paaugstināšana par 5 °C saīsina laiku, kāds nepieciešams letālam bojājumam, desmit un vairāk reizi. Dažādām mērenās zonas koku sugām šūnu protoplazmas termiskā noturība praktiski ir vienāda (Шешуков et. al, 1979; Гирс, 1982; Мелехов, 1983). Citos pētījumos konstatēts, ka 55 līdz 65 grādu temperatūrā dzīvie audi iet bojā apm. 10 minūšu laikā (Wright, 1970, citēts pēc Granstrom un Schimmel, 1993). Tā gan nedaudz variē arī atsevišķam īpatnim atkarībā no veģetācijas perioda fāzes (Гирс, 1982), tomēr pamatā dažādu ugunsnoturību nosaka izolējošā slāņa biezums un tā īpatnības (Johnson, Miyaniishi, 2001).

Stumbra dzīvās šūnas aizsargā miza, bet saknes no karstuma vismaz sākotnēji aizsargā arī augsne. Tādēļ dažādu koku sugu izturību vienādos apstākļos nosaka mizas biezums un uzbūve, sakņu sistēmas izvietojuma dziļums un dzīvā vainaga sākuma augstums (Мелехов, 1983).

Sakņu letālās temperatūras mainās no 55-59 °C, sēklām 65-75 °C, bet *Geranium spp.* ap 100 °C.

Augšanas apstākļu tips un sakņu sistēmas raksturs. Augsnes mehāniskais sastāvs un mitruma režīms ietekmē gan sakņu izvietojanos dziļumu, gan sakņu sistēmas formu un attiecīgi arī vēja

noturību. M. Tkačenko (Ткаченко, 1955) parastajai priedei (*Pinus silvestris L.*) konstatējis vairākus sakņu sistēmas tipus:

- 1) spēcīga sakņu sistēma ar izteiktu mietsakni un sānu saknēm – svaigās, labi drenētās augsnēs;
- 2) spēcīga sakņu sistēma ar vāji attīstītu mietsakni, bet ļoti attīstītām sānu saknēm, kuras izvietojas nelielā dziļumā paralēli augsnes virskārtai - sausās augsnēs ar ļoti dziļu gruntsūdens horizontu;
- 3) vāji attīstīta sakņu sistēma, kura sastāv no virsēji novietotām, īsām, mazzarotām saknēm - augsnēs ar lieku mitrumu;
- 4) bieža, bet sekli izvietojusies "sukas" veida sakņu sistēma - blīvās augsnēs ar zemu gruntsūdens līmeni.

Degošo materiālu veids, to mitruma saturs un daudzums. Dažādiem materiāliem atšķirīgs var būt gan sadegšanas ātrums, gan siltumrades spēja, tādēļ atšķirīga ir arī ietekme uz dzīvo kambiju un floēmu. Degot "viegliem" degmateriāliem (ķērpji, nobirušās lapas, sausā zāle), koki tiek bojāti nenozīmīgi, jo uguns pārvietojas ātri, ar nelielu intensitāti (Шешуков et. al, 1979).

Vainagu uzliesmotspēja. Skujkoku vainagi ir daudz ugunsbīstamāki nekā lapu koku vainagi, jo tajos ir ievērojams daudzums viegli uzliesmojošu ēterisko eļļu un terpēnu (Шешуков et. al, 1979).

Sezona (augšanas stadijas). Kambija un jauno dzinumu aktīvās augšanas stadijā tie ir uzņēmīgāki pret siltumu nekā miera stāvoklī. Priedes skujuas ir visjutīgākās pret paaugstinātu temperatūru to plaukšanas fāzē (Гирс, 1982).

Mizas siltumfizikālās īpašības. Siltumapmaiņas aspektā miza ir trīsfāzu porains ķermenis, kurš sastāv no šķiedras masas, ūdens un gaisa. Svarīgākā termoizolācijas aspektā ir korķa kārta, kurai ir zema siltumvadītspēja, tā slikti vada mitrumu un grūti samirkst (Казенс, 1982). Savukārt lūksnei, kuru veido dzīvas šūnas, pašai nepieciešama aizsardzība pret paaugstinātu temperatūru. Mizas biezums mainās atkarībā no koka caurmēra un mērījuma vietas (stumbra lejas, vidus vai galotnes daļā). Pie tam priedei atkarībā no caurmēra būtiski mainās korķa mizas un lūksnes biezuma attiecības. Ja, piem., 10-15 cm resnai priedei korķa miza un lūksne no kopējā mizas biezuma ir 15 un 85%, tad 30-40 cm resnam kokam attiecīgi 60 un 40% (Житков, 1975). Šeit nav norādīts koku vecums, bet tas ir visai nozīmīgi, jo vienāda diametra, bet atšķirīga vecuma kokiem atšķirīgi ir arī korķa mizas un lūksnes biezumi.

Vainagu klāja horizontālais un vertikālais slēgums. 1. un 2. ugunsbīstamības klasē - jo blīvāks slēgums, jo mazāk koki cieš no uguns, bet, pieaugot ugunsbīstamības klasei (kompleksajam rādītājam), - jo blīvāks slēgums, jo vairāk tie cieš (Шешуков et. al, 1979).

Augāja sākotnējā temperatūra. Jo tā augstāka, jo mazāk siltuma vajag, lai sasniegtu audiem letālo temperatūru (Шешуков et. al, 1979).

Ekspozīcijas laiks. Tas galvenokārt atkarīgs no pieejamā degmateriālu daudzuma un ugunsgrēka intensitātes. I.Meļehovs (Мелехов, 1947) konstatējis, ka audzes biežības pazemināšanās un pielūžņojuma palielināšanās - kombinācija, kas ne tikai palielina ugunsgrēka izcelšanās iespējamību, bet arī tā intensitāti.

Ugunsgrēka netiešā ietekme - dendrofāgo kukaiņu, parazitāro sēņu izplatīšanās, pieauguma izmaiņas saistībā ar augsnes-apgaisojuma apstākļu izmaiņām, jaunu (pēcugunsgrēku) meža paaudžu veidošanās, kā arī faunas sastāva izmaiņas, kas saistītas ar pēcugunsgrēku izmaiņām mežā utt. (Мелехов, 1983).

Slimības. Pirmajos gados pēc ugunsgrēka izplatās sēnes, kuras izraisa korozijas tipa trupi, piem., *Yrpex fusco voilaceus* Fr., vēlākajos gados attīstās sēnes, kas izraisa destruktīvo trupi, piem., *Fomes pinicola* Fr., *Lenzites sepiaria* Fr. u. c. Bez tam kokus var inficēt arī rūsas (*Peridermium pini*) (Мелехов, 1983).

Dendrofāgie kukaiņi. Meža ugunsgrēki ir viens no galvenajiem iemesliem stumbru kaitēkļu masveida izplatībai. Kukaiņu sugu sastāvs un skaits saistīts ar koku sugu, vecumu un ugunsgrēka intensitāti. Pēc vainaguguns kaitēkļi, kuri ieviešas degumā, nav bīstami blakus esošajām audzēm.

Bīstamāki kā kaitēkļu perēkļi ir noturīgas skrejuguns ugunsgrēki (Воронцов et. al., 1991). Šķiet, ka ne mazāk būtisks kukaiņu sugu sastāvu noteicošs faktors ir ugunsgrēka izcelšanās laiks (pavasaris, vasara), jo katrai sugai ir noteikts bioloģiskās attīstības cikls. Pēc V.Starka (Мелехов, 1983) pētījumiem, lielos degumos kukaiņu izplatības maksimums ir 4.-5. gadā, bet nelielos degumos pirmajos gados, parasti - otrajā. Lielajos degumos kaitēkļi izplatās pakāpeniski, sākot no deguma perifērās daļas. Stumbra kaitēkļu perēkļa funkcionēšanas ilgums lielos degumos visbiežāk ir ne mazāk kā 3-6 gadi (Воронцов et. al., 1991). Pirmajos gados priede tiek invadēta galvenokārt sakņu daļā un stumbra lejasdaļā. Vainaga daļā stumbra kaitēkļi ieviešas tikai otrajā vai trešajā gadā (Воронцов, Галасьева, 1976). Latvijā kā degumos nozīmīgākās uz priedes sastopamās relatīvi primārās (spējīgas invadēt maz novājinātus, vēl pilnīgi dzīvotspējīgus kokus, izraisot to bojāeju) stumbra kaitēkļu sugas tiek minētas (Ozols, 1985):

priežu zilā krāšņvabole (*Phaenops cyanea* F.),

priežu māņmizgrauzis (*Sephanopachys linearis* Kug.),

priežu lielais lūksngrauzis (*Blastophagus piniperda* L.)

priežu mazais lūksngrauzis (*Blastophagus minor* Htg.)

No relatīvi sekundārajām stumbra kaitēkļu sugām (parasti seko primārajām, tādejādi paātrinot koku atmiršanas procesu, pastāvīgi var invadēt stipri novājinātus kokus), kas sastopamas uz priedes, par nozīmīgākajām degumos G.Ozols uzskata:

degumu krāšņvaboli (*Melanophila acuminata* De G.),

skujkoku ligzdu ūsaini (*Rhagium inquisitor* L.),

priežu celmu melno ūsaini (*Spondylis buprestoides* L.),

priežu lielo ūsaini (*Monochamus galloprovincialis* Oliv.),

priežu malkcirti (*Acantothocinus aedilis* L.),

priežu galotņu sveķotājsmecernieku (*Pissodes piniphilus* Herbst.),

priežu audžu sveķotājsmecernieku (*Pissodes pini* L.),

priežu lielo smecernieku (*Hylobius abietis* L.),

priežu vidējo smecernieku (*Hylobius pinastri* Gyll.),

egļu lielo lūksngrauzi (*Dendroctonus micans* Kug.),

skujkoku violeto lūksngrauzi (*Hylurgops palliatus* Gyll.),

skujkoku koksnes lūksngrauzi (*Trypodendron lineatum* Oliv.),

degumu sešzobu mizgrauzi (*Orthotomicus suturalis* F.).

Kaitēkļu sugas klātbūtne degšanā novājinātu priežu un egļu audos liecina par novājinājuma pakāpi.

Mazāk pētīts, kā strauja augsnes skābuma vai mitruma dinamikas maiņa ietekmē koka sakņu dzīvotspēju un līdz ar to kaitēkļu savairošanos.

Bez tam tiešā un netiešā ugunsgrēka ietekme savstarpēji pārklājas. Piem., pēcugunsgrēku pieaugumu izmaiņas uguns skartajiem kokiem var būt gan tiešas uguns iedarbības sekas (ievainojums), gan arī tā netiešās iedarbības rezultāts (izmaiņas augsnes-gaismas apstākļos koku atmiršanas rezultātā, pēcugunsgrēku augšņu pārpurvošanās vai nosusināšanās utt.) (Мелехов, 1983).

Augsta korelācija starp apogļojuma augstumu un kambija atmirumu konstatēta eglei un bērzam ($r = +0,90$ un $r = +0,98$), bet kokiem ar biezu mizu (priede) atšķirībā no kokiem ar plānu mizu (egle) ne vienmēr atmiršana saistīta ar kambija bojājumiem, tomēr, palielinoties apdeguma augstumam, kambija bojājuma pakāpe un koku atmiršana palielinās (Мелехов, 1983).

O.Zabeļins (Щербakov, 1979) noskaidrojis, ka vājas un spēcīgas skrejuguns gadījumos apdeguma augstums nav atkarīgs no koka diametra un variē nenozīmīgā intervālā. Vidējas intensitātes ugunsgrēkos apdeguma augstums pieaug, palielinoties diametram, dažreiz nedaudz samazinoties vislielākajās caurmēra pakāpēs.

Maksimālais apdeguma augstums ir caurmēra pakāpēs, kuras ir nedaudz virs vidējā diametra. Pie viena un tā paša apdeguma augstuma kambijs augstāk tiek bojāts tievākiem kokiem, kas saistīts galvenokārt ar atšķirīgo mizas biezumu (Мелехов, 1983).

Skrejuguns ietekmē bojā gājušo priežu procents samazinās pieaugot diametram ($r = -0,921 \pm 0,057$), vēlākajos gados korelācijas ciešums samazinās ($r = -0,769 \pm 0,136$) (Щербаков, 1979). Vājas intensitātes skrejuguns izsauc tievo caurmēra pakāpju koku atmiršanu, bet vidējas un spēcīgas intensitātes skrejuguns var izraisīt pat visas audzes atmiršanu.

Romanovs (Денисов, 1979) konstatējis, ka priedes atmiršana pēc skrejuguns atkarīga no diametra, vecuma un ugunsgrēka intensitātes (4.4 tab.).

4.4 tabula

Atmirušo priežu īpatsvars (%) atkarībā no skrejuguns intensitātes, koku diametra un vecuma

Taksācijas rādītājs	Ugunsgrēka intensitāte		
	Stipra	Vidēja	Vāja
Caurmēra pakāpe			
8	87	73	36
16	31	23	13
24	23	19	9
32	17	11	-
Vecuma klase			
III-IV	40	26	12
V	35	19	9
VI	30	14	7
VII-VIII	19	10	6

LVM finansēta pētījuma „Meža ugunsgrēka ietekmes uz koku dzīvotspēju novērtēšanas metodikas izstrāde” ietvaros konstatēts, ka koku izdzīvošana ir atkarīga no koku sugas, sakņu bojājuma pakāpes un apdeguma augstuma un koka caurmēra pakāpes. Šo pētījumu rezultātā ir radītas vadlīnijas koku dzīvotspējas novērtējumam, tādēļ šajā darbā detālāk netiek apskatīta.

Izdzīvojušās kokaudzes daļas reakcija

Pieaugumi. Pēc V. Antanaiša (Антанайтис, Загреев, 1981) uzskatiem, tekošais pieaugums ir viens no galvenajiem rādītājiem, kas raksturo meža stāvokli. Zinot krājas tekošo pieaugumu, var novērtēt zudumus, kas radušies kukaiņu bojājumam, slimību, ugunsgrēku utt. ietekmē. Visu šo faktoru ietekme vispirms atspoguļojas gadskārtu slāņu platumā.

Normālos apstākļos, pēc P.Zālīša (Zālītis, 1967) atziņām, ikgadējā pieauguma veidošanai koks izmanto ne tikai kārtējā gadā izveidotos asimilātus, bet zināma pieauguma daļa veidojas no iepriekšējos gados uzkrātajām dažāda veida rezerves vielām. Pie tam jauno koku augšanas gaita atkarīga galvenokārt no vides apstākļiem augšanas laikā, kamēr veco koku augšanas gaitā pārsvarā iezīmējas iepriekšējo gadu meteoroloģisko apstākļu ietekme.

Iepriekšējos gados uzkrātās rezerves vielas tiek izmantotas agrīnās koksnes veidošanai, bet vēlīnās koksnes veidošanai tiek izmantoti arī augšanas gada fotosintēzes produkti. Priedei vēlīnā koksne sāk veidoties jūlija pirmajā pusē un diametra pieaugums apstājas augusta beigās, septembra sākumā, t.i., šajā laikā beidzas jaunu traheīdu veidošanās, lai arī turpinās traheīdu sienu uzbiezīnāšanās, kas var ilgt pat līdz septembra beigām vai oktobra sākumam.

Pēcugunsgrēku pieauguma izmaiņas iespējamās abos virzienos, t.i., gan palielinoties, gan samazinoties. Pieauguma samazināšanās cēloņi var būt kaitēkļi, pēcugunsgrēku pārpurvošanās, tiešā uguns iedarbība. Savukārt pieaugumu palielināšanos var izraisīt nosusināšanās, ugunij iznīcinot kūdras virsējo slāni kopā ar hidrofīlo augāju, apgaismojuma apstākļu uzlabošanās, audzei izretinoties, kā arī tiešā uguns iedarbība (Мелехов, 1983).

I.Meļehovs (Мелехов, 1983) noskaidrojis, ka „damaksnī” parastajai priedei gadskārtu platumu pieaugumi uguns ietekmē gūtā ievainojuma tuvumā rodas, palielinoties vēlīnās koksnes daļai, bet ievainojumam pretējā pusē - palielinoties gadskārtas agrīnās koksnes daļas pieaugumam. Ķērpju

silos papildpieaugums veidojas galvenokārt, palielinoties traheīdu skaitam, pie tam tiešā uguns traumas tuvumā var notikt arī gadskārtas "dubultošanās".

Ugunsgrēka gada gadskārtā raksturīga strauja traheīdu skaita samazināšanās (pēc pavasara ugunsgrēkiem), kā arī to sienīņu biezuma un diametra samazināšanās. Mētrājā priedei konstatēta kambija darbības ilguma palielināšanās - nedaudz agrāka tā "pamošanās" un ievērojami vēlāka traheīdu veidošanas stabilizācija, kā arī traheīdu sienīņu pabiezīšanās perioda paildzināšanās.

Vājas skrejuguns gadījumā, sadegot virsējiem zemsegas slāņiem un kļūstot pieejamam tajā fiksētajam slāpeklim, iespējama audžu produktivitātes paaugstināšanās (Куприянов et. al., 1976). Vidēji intensīva skrejuguns samazina tekošo pieaugumu par 20-25% 8-10 gadus, savukārt spēcīga skrejuguns priēžu audzēs pieaugumu samazina par 30-35% 12-15 gadus (Куприянов et. al., 1976). Dārznieki (*Blastopagus sp.*) pieaugumu jūtami ietekmē tikai pirmajos 3-4 gados pēc ugunsgrēka (Мелехов, 1983). Furjajevs (Гирс, 1982) norāda, ka pēc vidējas un augstas intensitātes skrejuguns radiālais pieaugums atjaunojas līdz normālam līmenim vairāk nekā 10 gadu laikā.

Pieaugumu samazinājumu silā, mētrājā var izraisīt augsnes fizisko un bioķīmisko īpašību maiņa. Humusa un zemsedzes sadegšana var novest pat pie bonitātes pazemināšanās (Мелехов, 1983).

Defoliācija. Pēc pētījumiem Dienvidzvidrijā, priedes izdzīvošanas potenciālu pēc ugunsgrēka var noteikt, kā pamatkritēriju izmantojot vainaga stāvokli. Kokam ir lielas izredzes izdzīvot, ja vairāk nekā 30% vainaga ir neskarti; ja 50% - tad izdzīvošana ir nodrošināta (Zackrisson et. al., 1993). Arī M. Daņilovs un E. Švedovs, pētot degumus bijušajā Mari APSR (Krievija), noskaidrojuši, ka visdrošākais koku dzīvotspējas parametrs ir vainaga stāvoklis, t.i., pieaugot vainaga zaļās daļas garumam, samazinās bojāejošo koku skaits, bez tam nākamajos pēcugunsgrēka gados atmirstošajām priedēm ir samazināts skuju svars (Данилов, Шведков, 1976). Vienreizēji asimilācijas aparāta bojājumi dendrofāgo kukaiņu darbības rezultātā ir par cēloni pieauguma samazinājumam uz diviem līdz trim gadiem (Гирс, 1982).

Fizioloģiskais stāvoklis. Stumbra un sakņu kambija slāņa, kā arī vainaga bojājumi uguns ietekmē izjauc ūdens režīmu. Noskaidrots, ka vidēji stipri bojātiem kokiem mitruma saturs aplievā ir ievērojami pazemināts (Данилов, Шведков, 1976). Guņāženko (Бушс, Кāposts, 1984) konstatē, ka priedes skujās pēc ugunsgrēka samazinās slāpekļa, fosfora un kālija saturs. Priedēm atkarībā no to bojājuma pakāpes mainās arī sveķu izdalīšanās intensitāte.

4.7 Klimata modeļu datu izvērtējums saistībā ar uguns bojājumu draudiem

Iepriekšējās nodaļās aprakstīts, ka aizdegšanās varbūtību nosaka ekosistēmas degamība, meteoroloģiskie apstākļi un aizdegšanās/ aizdedzināšanas varbūtība. Tādēļ kā viens no rādītājiem, kas raksturo mežu iespēju aizdegties ir Nesterova indekss. Savukārt ugunsgrēka skartā platība atkarīga no tā izplatīšanās ātruma un laika posma, kurā tas pamanīts un uzsākta tā ierobežošana

Pētījuma ietvaros izmantojot klimata izmaiņu iepriekšējā etapā iegūtos klimata izmaiņu prognožu datus, analizēti tikai meteoroloģiskie apstākļi, kas nosaka ugunsbīstamību.

Nesterova indekss

W

$$NI = \sum_{i=1}^x (Ti - Di)$$

i=1

kur:

NI = Nesterova indekss

W = dienu skaits kopš lietuss>3mm

T = pusdienas laika t (°C)

D = rases punkta t ($^{\circ}\text{C}$).

To sāk uzskaitīt pavasarī t ir virs 0 un līdz lietus $>3\text{mm}$. Kopējā aprēķināta t summa sekojošās dienas, kuru nokrišņu daudzums ir $\leq 3\text{mm}$. Nolīstot 3mm , NI tiek pielīdzināts 0. Beidz skaitīt rudenī, kad $t < 0$. Noteikts periodu skaits un garums, kad a) $4000 < \text{NI} \leq 10000$; b) un $\text{NI} > 10000$.

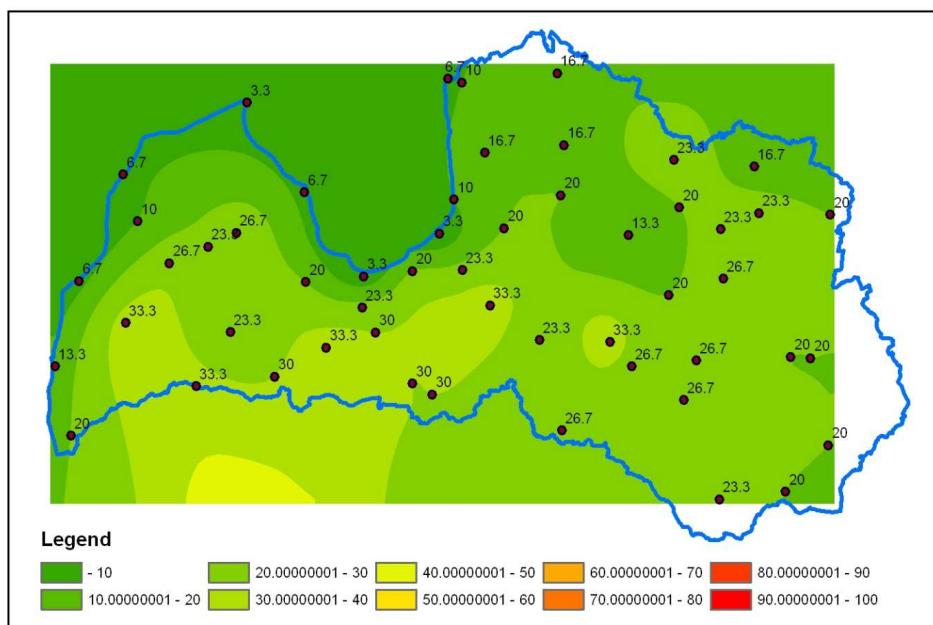
Pielautas vairākas novirzes no oriģinālās Nesterova indeksa aprēķināšanas formulas:

- 1) sākotnēji formulā nokrišņu rādītājs bija 2,5mm, taču tas daudzviet aizvietots ar 3mm;
- 2) sākotnēji formula paredzēja relatīvā mitruma mērījumu pusdienas laikā (Roga, 1979), taču ilglaicīgajās prognozēs tiek aprēķināts diennakts vidējais relatīvais mitrums, kas ir zemāks nekā pusdienas laikā konstatējams.

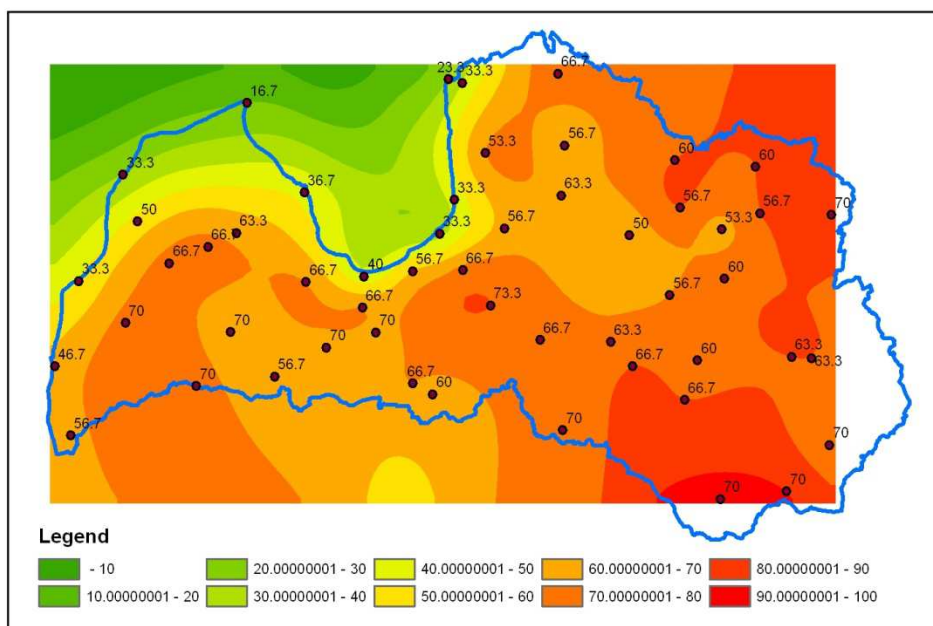
Ņemot vērā minētās izmaiņas, aprēķinātie rādītāji faktiski ir zemāki nekā tie būtu, ja izmantotu sausā un slapjā termometra rādījumus.

Lai raksturotu iespējamās klimata izmaiņas aprēķināti Nesterova indeksu vērtības retrospekcijas periodam (1961-1990), tuvākajai nākotnei (2021-2050), kā arī tālākai nākotnei (2069-2098).

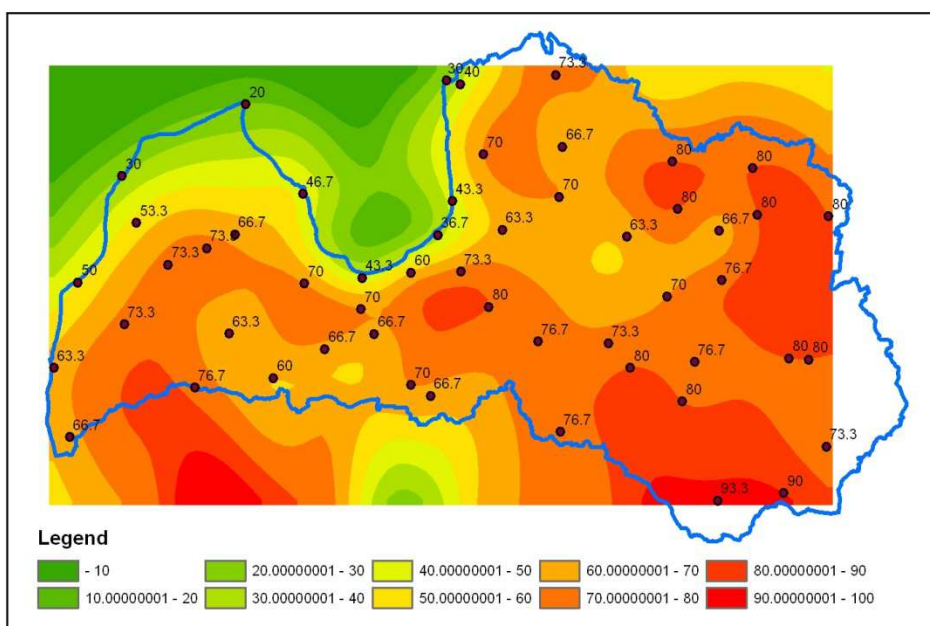
Gadu skaita īpatsvars %, kad Nesterova indekss pārsniedz 4000 references periodā, tuvā un tālā nākotnē vidēju izmaiņu gadījumā norādīts 4.9 līdz 4.13 attēlos. Līdzīgas tendences arī redzamas nozīmīgu un nelielu prognozēto izmaiņu gadījumā. No prognožu datiem izriet, ka atbilstoši modeļiem, pieņemot, ka vēsturiski Piejūra bijis 3% gadu NI lielāks par 4000, bet Dienvidlatgale ap 20% gadu, tad nākotnē paredzams, ka augsta ugunsbīstamība būs 16% gadu un 70% gadu tuvākajā nākotnē, bet uz gadsimta beigām, Ziemeļkurzmē šis rādītājs varētu tikt pārsniegts reizi 5 gados, bet Dienvidlatgalē praktiski katru gadu.



4.9 attēls. Aprēķinātais gadu skaita īpatsvars %, kad Nesterova indekss pārsniedz 4000 references periodā.

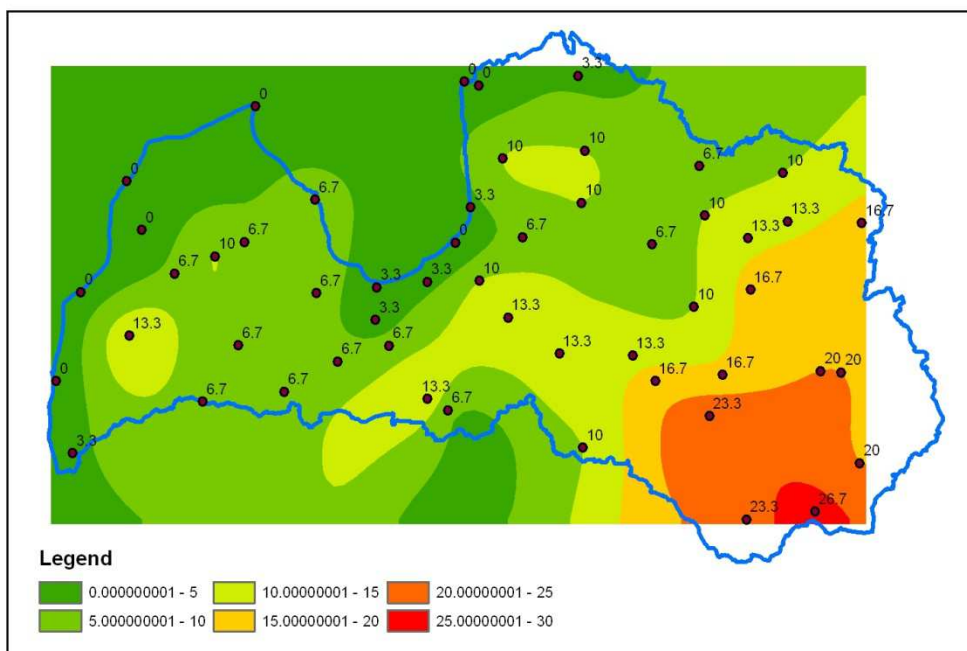


4.10 attēls. Prognozētais gadu skaita īpatsvars %, kad Ņesterova indekss pārsniedz 4000 tuvā nākotnē. periodā

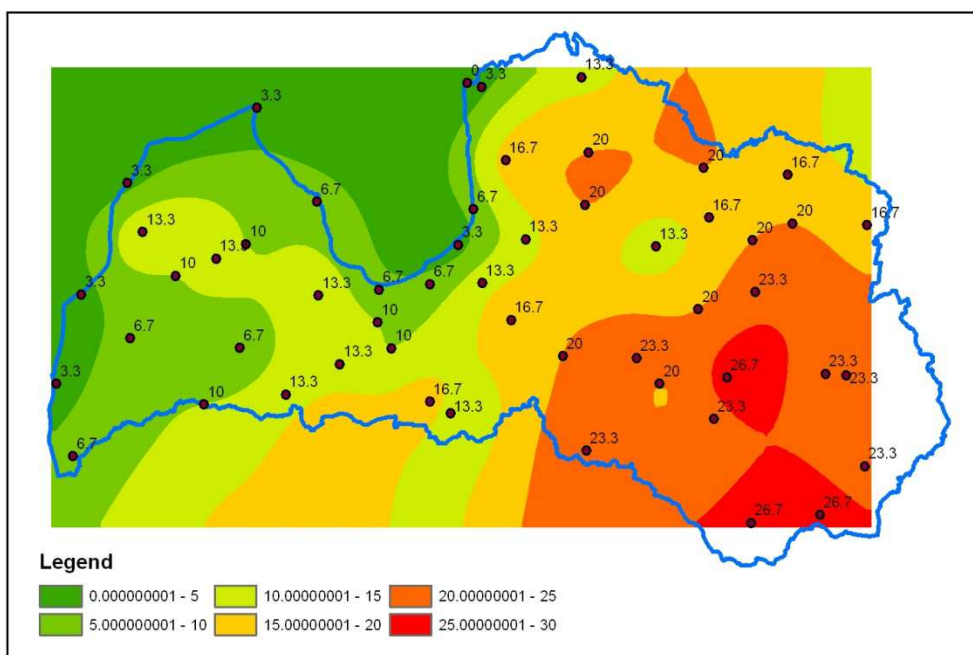


4.11 attēls. Prognozētais gadu skaita īpatsvars %, kad Ņesterova indekss pārsniedz 4000 tālā nākotnē. periodā

Līdzīgas tendences prognozētas arī ārkārtējas uguns bīstamības sasniegšanai ($NI > 10000$). Gadsimta beigās tiek prognozēts, ka Ziemeļkurzemē NI varētu pārsniegt 10000 vērtību 3% gadu, tad Dienvidlatgalē šis rādītājs tiktu pārsniegts reizi 25% gadu. Vēlreiz jāuzsver, ka šajos aprēķinos ir izmantots diennakts vidējais relatīvais mitrums, bet vēsturiski aprēķinos izmantots pusdienas laika relatīvais mitrums.



4.12 attēls. Prognozētais gadu skaita īpatsvars %, kad Nesterova indekss pārsniedz 10 000 tuvā nākotnē. periodā



4.13 attēls. Prognozētais gadu skaita īpatsvars %, kad Nesterova indekss pārsniedz 4000 tālā nākotnē. periodā

4.8 CO₂ izmaiņu atmosfērā tiešā ietekme uz kokaugiem

Pētījumos ir izvirzītas hipotēzes, ka daudz dažādi vides mainīgie faktori, kā, piemēram, CO₂, temperatūra, slāpekļa depozicija un citi, izraisa un nākotnē izraisīs kopējās primārās produkcijas (KPP) pieaugumu (Melillo et al., 1993; Friedlingstein et al., 1995; Holland et al., 1997; Hasenauer et al., 1999; Nadelhoffer et al., 1999; Laubhann et al., 2009). Kā apkopots pārskata rakstā (Hyvönen et al., 2007), labi dokumentētas ietekmes uz tekošo pieaugumu ir par paaugstinātu fotosintēzes ātrumu (galvenokārt CO₂ ietekme), augšanas sezonas garuma pieaugumu (galvenokārt temperatūras ietekme) un paaugstinātu lapu laukuma indeksu (galvenokārt N depozicijas ietekme).

Pielietojot modelēšanas pieeju, ir noskaidrots, ka temperatūra ir relatīvi maznozīmīga, savukārt kombinācijā ar CO₂ pieaugumu un paaugstinātu N depoziciju, var notikt mežu NPP pieaugums par 15-20 % (Rehfuess et al., 1999). Šajā kontekstā, N depozicija tiek uzskatīta kā nozīmīgāka. Līdzīgus rezultātus ieguvuši arī Milne un van Oijens (2005).

Viņu rezultāti, kas iegūti, izmantojot procesu-balstītu modeli, liecina, ka galvenais virzītājspēks paaugstinātam mežu pieaugumam 20. gs. vairāk ir paaugstināta N depozicija nekā paaugstinātas CO₂ koncentrācijas vai klimata izmaiņas.

Kokaudze mežos kontrolē sauszemes C pārnesi starp atmosfēru un augsni: meži uzņem lielu daudzumu CO₂ no atmosfēras fotosintēzes rezultātā un lielu daudzumu atgriež atpakaļ augu transpirācijas rezultātā un degradējoties augsnes organiskajām vielām (Hyvönen et al., 2006).

Turpmākā pētījuma gaitā nepieciešamas papildināt tiešās CO₂ koncentrācijas pieaugam ietekmes uz kokiem analīzi.

5. Klimatisko faktoru ietekme uz koku pieaugumu

Pētījuma daļas mērķis ir noskaidrot esošo klimatisko faktoru ietekmi uz parastās egles (*Picea abies* (L.) Karst.), parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.), bērza (*Betula sp.*) un melnalkšņa (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) radiālo augšanu un prognozēt turpmāko augšanu pie dažādiem klimata mainības scenārijiem.

5.1 Dendroklimatoloģiskie pētījumi un koku sugu raksturojums

Dendroklimatoloģisko pētījumu pirmsākumi meklējami jau 1901. gadā, kad ASV zinātnieks A.E.Douglass novēroja sakarību starp koku gadskārtu platumu svārstībām un klimata izmaiņām (Robinson, 1990; Fritts, 2001). Vēlāk šīs zinātnes nozares pētījumi veikti daudzās pasaules valstīs, piemēram, Francijā, Kiprā, Šveicē, Vācijā, Austrijā, Krievijā (Rigling, et al., 2001), Somijā (Mäkinen, et al., 2000), Zviedrijā (Linderholm, et al., 2002), Kanādā (Tardif, et al., 2001), kā arī Latvijā (Špalte, 1975; Elferts, 2008; Zunde, et al., 2008).

Pamatojums, kāpēc ir iespējams veikt dendroklimatoloģiskos pētījumus ir tas, ka daudzām koku sugām ikgadējā augšana mainās atkarībā no klimata izmaiņām, kas viegli konstatējams pēc koku gadskārtu platumu vai koksnes blīvuma izmaiņām (Fritts, 2001). Šī zinātnes virziena galvenais uzdevums ir noskaidrot un aprēķināt saistības starp klimatu un koku augšanu, kas pamatojas ar to, ka gadskārtas „uzglabā” informāciju par klimatiskajiem apstākļiem noteiktā apgabalā (Carrer, Urbinati, 2001). Katra koka gadskārtu principā var uzskatīt kā „attēlu” tam laikam, kad gadskārta veidojusies, jo tā satur informāciju par pārmaiņām vidē, kas atspoguļojas gadskārtas izmērā, struktūrā un kompozīcijā (Schweingruber, 1996; Vaganov, et al., 2006). Lai precīzāk raksturotu saistības starp vides (klimatiskajiem) faktoriem un gadskārtu rindām, parasti izmanto gadskārtu platumu hronoloģijas, jo tās labāk parāda klimata signālus (Osborn, Briffa, 2000). Gadskārtu hronoloģija ir vidēji standartizētie gadskārtu platumi vairākiem kokiem no noteiktas paraugu ņemšanas vietas (Fritts, 2001).

Egle

Parastā egle ir priežu dzimtas (Pinaceae) mūžzaļš vienmājas koks. Skujas ir 1,2-2,5 cm garas, adatveida, tumši zaļā krāsā. Zied maijā, bet čiekuri nogatavojas oktobrī (Mauriņš, Zvirgzds, 2006). Egles mūža ilgums var sasniegt 300 gadu, savukārt koki augstums var būt vairāk kā 40 metru (Zviedre, Mangalis, 2003b).

Eglei optimālie augšanas apstākļi ir vēss, mitrs klimats ar bagātīgu augsni (Froment, A., 1981 cit. pēc Sullivan, 1994). Piemērotākās augsnes egles augšanai ir sausināts smilšmāls (Bušs, 1981), bet egle spēj augt gandrīz visu tipu augsnēs, ar optimālo augsnes pH ir no 3,5 – 5 (Kostler, 1956 cit. pēc Sullivan, 1994; Laiviņš, 2005). Pastāvīgi piemirkušas, pārpurvotas augsnes nomāc egļu augšanu, jo pazeminās slāpekļa daudzums augsnē (Gailis, 2005). Egle ir ēncietīga suga, spēj atrasties ilgstošā noēnojumā. Sakņu sistēma – sekla, līdz ar to koks nepiecieš ilgstošus sausuma periodus. Labi aug viegli skābās smilšainās māla augsnēs (Mauriņš, Zvirgzds, 2006). Egle dabiskajā areālā Eiropā sastopama gan tīraudzēs, gan mistraudzēs ar priedi, melnalkšni, parasto apsi (Priedītis, 1999). Kā konstatējis M.Laiviņš (2005), tad parastā egļu audzes Latvijā pēdējā laikā ir kļūdas dinamiskās, kas skaidrojams ar saimnieciskās darbības un vides faktoru, tai skaitā, klimata izmaiņu ietekmi.

Eiropā parastajai eglei ir divi savstarpēji nodalīti izplatības areāli – Viduseiropas, Dienvideiropas kalnu apvidi un ziemeļaustrumu Eiropas zemienes daļa (Zviedre, Mangalis, 2003b). Egle ir otra sastopamākā koku suga Latvijas teritorijā – 18% (Valsts meža dienests, 2011).

Priede

Parastā priede ir priežu dzimtas priežu ģints koks. Tas ir mūžzaļš vienmājas koks, ziedi ir viendzimuma. Skujas atrodas uz īsvasām pa divām kopā, to garums ir trīs līdz septiņi centimetri,

un tās saglabājas divus līdz astoņus gadus (Richardson, Rundel, 2000). Priedes sāk ziedēt maijā vai jūnija sākumā. Savrup augošie koki sāk ziedēt 15 gadu vecumā, bet mežaudzēs augošie sāk ziedēt 20 – 25 gadu vecumā. Parastās priedes mūža ilgums var būt no 300 līdz 350 gadiem. Tās garums Latvijā var sasniegt 46 m un apkārtmērs četrus metrus (Cinovskis, 1997). Parastā priede ir gaismas prasīga suga (Priedītis, 1999).

Parastai priedei ir raksturīga plaša ekoloģiskā valence, kas ļauj šai sugai sekmīgi ieņemt dažādus biotopus uz sausajām augsnēm, piemēram, sausas, nabadzīgas piejūras un iekšzemes kāpas. Tā kā tā ir stresa toleranta suga (Willis et al., 2000) ar plašu ekoloģisko valenci, tad tas ļauj šai sugai ieņemt arī biotopus uz slapjām un kūdrainām purva augsnēm (Zackrisson, 1977; Cinovskis, 1997; Priedītis, 1999; Neimane u.c., 2008), piemēram, slapjos mežos un dabiskos vai antropogēni ietekmētos purva biotopus.

Priedes ir spējīgas pielāgoties dažādām vides faktoru kombinācijām (Kelly, Connolly, 2000). Priežu augšanu un gadskārtu struktūru galvenokārt ietekmē tādi faktori kā mežaudzes struktūra un dinamika (Sarkkola et al., 2005), kā arī augšanas apstākļi dotajā teritorijā, piemēram, gruntsūdens līmenis (Залитис, 1967, 1968; Zālītis, Muižzemniece, 2005). Būtiska nozīme ir klimatiskajiem apstākļiem (Tegelmark, 1999).

Parastā priede Eirāzijā sastopama no Itālijas līdz Skandināvijas ziemeļdaļai (Priedītis, 1999). Parastajai priedei ir plašākais areāls no visām priežu sugām Eiropā, apmēram 10800 km² (Nikolov, Helmisaari, 1992). Lielā daļā Ziemeļeiropas boreālo mežu parastā priede ir dominējošā koku suga (Kuusela, 1990). Latvijā tā bieži sastopama visā teritorijā, veido tīraudzes vai mistraudzes un aizņem 37% mežu kopplatības (Valsts meža dienests, 2011). Parastā priede Latvijā ir visvecākais mūsdienu mežu koks (Priedītis, 1999).

Bērzs

Āra un purva bērzs ir bērzu dzimtas (Betulaceae), ātraudzīgs, vasarzaļš lapukoks. Tā maksimālais garums reti pārsniedz 30 m augstumu (pat ļoti labos augšanas apstākļos) un vidējai garums ir ap 25 m. Bērza mūža ilgums ir apmēram 100 gadi, bet ir novēroti arī līdz 150 gadu veci eksemplāri. Bērzu izplatība un reģenerācija notiek ar sēkļu palīdzību. Bērziem nav raksturīga dziļa sakņu sistēma (Atkinson, 1992; Priedītis, 1999; Vakkari, 2009).

Augšanai ārā bērzam nepieciešama samērā barības vielām bagāta augsne, bet purva bērzs var augt arī barības vielām nabadzīgās, pārmitrās un skābās augsnēs. Ārā bērzs ir gaismas prasīga suga (Atkinson, 1992; Vakkari, 2009; Zviedre, Mangalis, 2003a). Uz minerālaugsnēm bērza augšanas ātrumu galvenokārt ietekmē augsnes mehāniskais sastāvs (Kāposts, 2006).

Āra bērzs Eiropā ir izplatīts no Vidusjūras līdz apmēram 70° platumam Eiropas ziemeļos. Izplatības areāla dienvidu daļā tas sastopams pārsvarā augstākās vietās un nelielā skaitā, toties austrumu daļā sastopams gan jaukto koku mežos, gan arī atsevišķās audzēs (Vakkari, 2009). Bērzi veido 30% no Latvijas mežu kopplatības (Valsts meža dienests, 2011).

Melnalksnis

Melnalksnis ir bērzu dzimtas koks, kam raksturīga ātraudzība. Tas ir vienmājas koks, zied martā, aprīlī, kā arī tam ir raksturīga vējappute. Augļi (sēklas) izplatās galvenokārt ar ūdens palīdzību (McVean, 1953; Pizelle, 1984; Zviedre, Mangalis, 2003c).

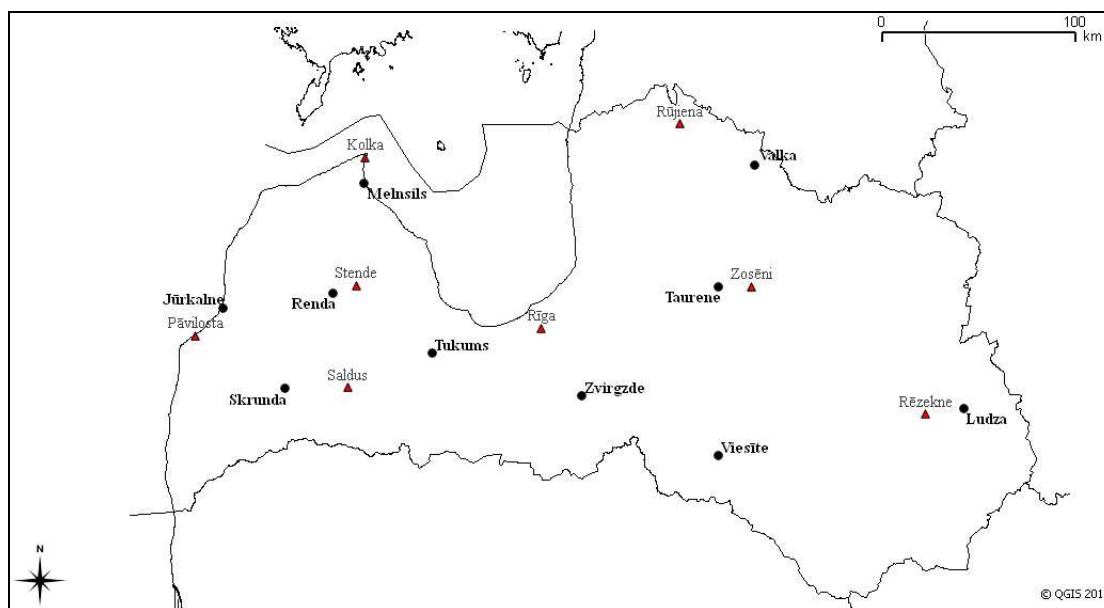
Melnalksnis, atšķirībā no citām koku sugām, spēj fiksēt slāpekli, jo jau pirmajās augšanas sezonās kokiem uz saknēm veidojas gumiņi, ar kuriem tiek fiksēts slāpeklis (Griffiths, McCormick 1984). Melnalksnim atšķirībā no daudzām citām sugām spēj labāk pārciest applūdinājumu, tomēr samazināts skābekļa daudzums augsnē nomāc sakņu gumiņu darbību, kas negatīvi ietekmē arī koka radiālo augšanu (McVean, 1956). Melnalksnis ir gaismprasīgs koks, īpaši dzīves pirmajā daļā (McVean, 1953). Melnalksnis pieder pie sala izturīgām sugām, bet ilgstoša aukstuma periodam ziemā ir negatīva ietekme uz koku augšanu, un rezultātā samazinās koksnes pieaugums (Zviedre, Mangalis 2003c). Melnalkšņi spēj augt gan sausās, gan mitrās vietās un vietās ar sezonāli mainīgu mitruma režīmu (Bair, Hennessey, 1982). To nodrošina melnalkšņu īpatnēja sakņu sistēma – daļa no tā saknēm ir izvietota ļoti tuvu augsnes virskārtai,

toties daļa ar mietsakni iestiepjas dziļi zemē. Dziļi esošā mietsakne labi pārcieš sausumu. Krītoties gruntsūdens līmenim, mietsaknes nodrošina iespēju iegūt ūdeni no dziļākiem slāņiem (McVean, 1953, 1956). Spēju augt pārmitrās vietās palīdz nodrošināt arī augstās transpirācijas spējas (Priedītis, 1997).

Melnalkšņa izplatības areāls aptver Dienvideiropu, Centrāleiropu un daļu no dienvidu Skandināvijas (Priedītis, 1999). Viens no limitējošiem faktoriem Eiropas ziemeļdaļā tiek minētas zemās ziemas temperatūras (McVean 1953). Melnalksnis satopams gan tīraudzēs – parasti melnalkšņu dumbrājs (Priedītis, 1999), gan mistraudzēs ar egli, bērzu, retāk ar apsi (Zviedre, Mangalis 2003c). No visām koku sugām tas aizņem 3% no Latvijas kopējās mežu platības (Valsts meža dienests, 2011).

5.2 Dendroklimatoloģijas pētījuma materiāls un metodes

Egļu, priežu, bērzu un melnalkšņu gadskārtu paraugi ņemti desmit teritorijās (att. 5.1), kas relatīvi vienmērīgi izvietotas visā Latvijas teritorijā. Paraugu ņemšanas vietas izvēlētas tā, lai mežu augšanas apstākļu tipi egļu (5.1. tab.) un priežu (5.2. tab.) parauglaukumiem būtu samērā līdzīgi starp visām paraugu ņemšanas vietām, kā arī pāris parauglaukumus ierīkojot atšķirīgos mežu augšanas apstākļu tipos, lai varētu veikt salīdzināšanu. Bērzu (5.3. tab.) un melnalkšņu (5.4. tab.) parauglaukumi izvēlēti pēc nosacījuma, lai tie atrastos iespējami tuvāk pārējo sugu parauglaukumiem konkrētajā teritorijā. Parauglaukumi izvēlēti arī tā, lai koku vecums atbilstu briestaudzes vai pieaugušas audzes vecumam.



5.1 attēls. Parauglaukumu (melns aplis) un meteoroloģisko staciju (sarkans trijstūris) izvietojums.

5.1 tabula

Egļu parauglaukumu raksturojums

Paraugu ņemšanas vieta	Koordinātes (LKS92)	Novads	Mežniecība	Kvartāls, Nogabals	Augšanas apstākļu tips
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

5.2 tabula

Priežu parauglaukumu raksturojums

Paraugu ņemšanas vieta	Koordinātes (LKS92)	Novads	Mežniecība	Kvartāls, Nogabals	Augšanas apstākļu tips
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

5.3 tabula

Bērzu parauglaukumu raksturojums

Paraugu ņemšanas vieta	Koordinātes (LKS92)	Novads	Mežniecība	Kvartāls, Nogabals	Augšanas apstākļu tips
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

4. tabula.

Melnalkšņu parauglaukumu raksturojums

Paraugu ņemšanas vieta	Koordinātes (LKS92)	Novads	Mežniecība	Kvartāls, Nogabals	Augšanas apstākļu tips
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

Meteoroloģiskie dati ņemti no Latvijas Vides, Meteoroloģijas un Ģeoloģijas centra. Kopumā izmantoti dati par astoņām meteoroloģiskajām stacijām (5.5 tab.). Statistiskajām analizēm izmantoti dati par mēnešu un dekāžu nokrišņu summām un vidējām gaisa temperatūrām. Analizēm kā faktori ņemti konkrētā gada dati par periodu no janvāra līdz septembrim, kā arī iepriekšējā gada oktobris, novembris un decembris.

5.5 tabula

Meteoroloģiskās stacijas, pieejamais laika periods datiem un parauglaukumi, kuriem izmantoti šie dati.

Stacija	Nokrišņu dati	Temperatūru dati	Parauglaukumi
Kolka	1891-2009	1925-2009	Melnšils
Pāvilosta	1945-2009	1945-2009	Jūrkalne
Rēzekne	1947-2009	1947-2009	Ludza
Rīga	1851-2009	1851-2009	Tukums, Viesīte, Zvirgzde
Rūjiena	1926-2009	1926-2009	Valka
Saldus	1933-2009	1948-2009	Skrunda
Stende	1923-2009	1923-2009	Renda
Zosēni	1945-2009	1945-2009	Taurene

Prognozēto klimata izmaiņu ietekmes noskaidrošanai izmantoti dati tām pašām meteoroloģiskajām stacijām, kuru dati izmantoti šībrīža situācijas pētījumā. Izmantotie dati ir par mēnešu un dekāžu vidējām gaisa temperatūrām un nokrišņu summu laika periodam no 2011. līdz 2100. gadam atbilstoši A1B scenārijam. Katram no faktoriem aprēķināti un rezultātu interpretācijai izmantotas trīs datu rindas, atbilstoši mērenām izmaiņām, vidējām izmaiņām un krasām izmaiņām saskaņā ar prokelta I etapa rezultātiem.

Paraugu ņemšana veikta laika periodā no 2010. gada aprīļa līdz 2010. gada jūlijam. Katrā parauglaukumā ar Preslera svārpstu iegūti urbumi (gadskārtu platumu paraugi) no 20 līdz 25 kokiem. Katram kokam ņemti divi urbumi no pretējām koka pusēm krūšu augstumā (apmēram 1,3 m). Izņēmums bija Zvirgzdes priežu parauglaukums, kurā ņemtas stumbra šķērsriezuma ripas no celmiem, jo audze nesen bija nocirsta.

Laboratorijā urbumi salīmēti iepriekš sagatavotos dēlīšos, noslīpēti ar smilšpapīru (smilšpapīra raupjums – 80, 180, 250, 400, 500). Egļu un priežu gadskārtu paraugi (izņemot Zvirgzdes parauglaukuma priedes paraugus) ieskanēti, izmantojot skeneri EPSON Expression 10000XL pie izšķirtspējas 2400 dpi. Iegūtie attēli mērīti, izmantojot datorprogrammu WinDendro 2008 (Regent Instruments Canada INC, 2007), kas nosaka ne tikai gadskārtu platumu, bet arī agrīnās (pavasara) un vēlinās (rudens) koksnes platumu. Bērzu un melnalkšņu, kā arī Zvirgzdes parauglaukuma priežu paraugi mērīti izmantojot gadskārtu mērīšanas galdu LINTAB 5 (precizitāte 0.01 mm), kas ietver Leica MS5 mikroskopu un TSAPWin datorprogrammu (Rinn 1996). Vēlinās un agrīnās koksnes mērījumu rezultāti pārbaudīti, lai no tiem izslēgtus tos gadus, kuros datorprogramma noteica vēlinās koksnes platumu kā 0 vienības (mērījumu kļūdu izslēgšana).

Lai pārbaudītu vai gadskārtu platumu mērījumi veikti precīzi, kā arī, lai precīzi noteiktu katrai gadskārtai atbilstošo gadu, veikta gadskārtu šķērsdatēšana, izmantojot datorprogrammu COFECHA (Holmes, 1992). Pēc kļūdu novēršanas un precīzu gadu noteikšanas, katram kokam abu urbumu gadskārtu rindas apvienotas vienā, aprēķinot vidējo gadskārtu platumu.

Katram egļu un priežu (izņemot Zvirgzdes) parauglaukumam izveidotas trīs hronoloģijas, attiecīgi gadskārtu platumiem, pavasara koksnes platumiem un rudens koksnes platumiem. Katram bērzu, melnalkšņu un Zvirgzdes priedes parauglaukumam izveidotas tikai gadskārtu platumu hronoloģiju. Šķērsdatētās gadskārtu platumu vērtības standartizētas, lai novērstu ar

vecumu saistīto pieauguma tendenci, izmantojot datorprogrammu ARSTAN (Holmes et al., 1986). Standartizācija veikta piemērojot 30 gadu kubisko likni katrai platumu rindai, un pēc tam dalot platumus ar piemēroto likni. Iegūtie dati – bezdimensijas indeksi, kas apvienoti hronoloģijās. Turpmākajām analīzēm izmantotas „atlikuma” hronoloģijas, kurām noņemtas autokorelācijas. Hronoloģiju kvalitātes un piemērotības analīzēm izmantoti vidējās jutības un EPS rādītāji, kas aprēķināti ar paketi dplR (Bunn, 2008) programmā R. Vidējā jutība (*mean sensitivity*) raksturo ikgadējo mainību gadskārtu platumos (hronoloģiju vērtības). Pieņemts, ka vidējās jutības vērtība ap 0,2 uzskatāma par pietiekamu klimata ietekmes pētīšanai. EPS (*expressed population signal*) raksturo kopējo variabilitāti hronoloģijā atkarībā no paraugu skaita tajā. Ja EPS vērtība ir zem 0.85, tad var uzskatīt, ka hronoloģijā dominē katra koka signāli, nevis kopējais audzes signāls (Speer, 2010).

Zīmīgo gadu analīzei izmantota modificētā *Skeleton-plot* metode (Neuwirht, et al., 2004). Dendroklimatoloģijā ar zīmīgo gadu apzīmē tās gadskārtas, kuras ievērojami atšķiras no tuvāko iepriekšējo gadu gadskārtām (Schweingruber, 1990). Analīze veikta katram parauglaukumam atsevišķi. Katrai gadskārtu rindai konkrētā gadskārtu platumā vērtība salīdzināta ar vidējo gadskārtu platumu iepriekšējos piecos gados pēc formulas $=(x_i-x_5)/x_5$, kur x_i – konkrētā gada gadskārtas platums, x_5 – iepriekšējo piecu gadu vidējais gadskārtu platums. Iegūtā atšķirība aizstāta ar intensitātes klasi pēc principa:

- -5. intensitātes klase, ja starpība mazāka par -0,8;
- -4. klase = -0,8 – -0,6;
- -3. klase = -0,6 – -0,4;
- -2. klase = -0,4 – -0,2;
- -1. klase = -0,2 – 0;
- 1. klase = 0 – 0,2;
- 2. klase = 0,2 – 0,4;
- 3. klase = 0,4 – 0,6;
- 4. klase = 0,6 – 0,8;
- 5. klase >0,8.

Zīmīgo gadu intensitātes vērtības visam parauglaukumam aprēķinātas pēc formulas:

$$I = \frac{100}{k * n} \sum_{j=1}^k h_j * i_j$$

kur k – intensitātes klašu skaits (šajā gadījumā 5); n – kopējais koku skaits; h_j

– koku skaits konkrētajā intensitātes klasē; i_j – intensitātes klases vērtība (Elferts, 2008).

Turpmāk tekstā ar „zīmīgais gads” apzīmē konkrēto gadu, kurā aprēķinātā intensitātes vērtība (I) ir lielāka par 25 vai mazāka par -25. Ar „zīmīgā gada intensitātes vērtībām” apzīmē I vērtības, kas aprēķinātas konkrētā parauglaukuma kokiem.

Lai raksturotu zīmīgo gadu skaitu, aprēķināts kopējais, pozitīvo un negatīvo zīmīgo gadu skaits katram parauglaukumam un pēc tam noteikts atbilstošais vidējais skaits katros desmit gados.

Visas statistiskās analīzes veiktas izmantojot datorprogrammu R 2.12.0 (R Development Core Team, 2010).

Lai noskaidrotu saistību starp gadskārtu platumiem (hronoloģiju vērtībām), zīmīgo gadu intensitātes vērtībām un klimatiskajiem faktoriem (mēnešu un dekāžu nokrišņu daudzumu un vidējo gaisa temperatūru), veiktas Pīrsona korelācijas analīzes pie būtiskuma līmeņa 0,05. Laika periods, kurā veikta analīze bija atkarīgs no meteoroloģisko datu pieejamības konkrētajai stacijai, bet ne agrāk par 1900. gadu. Daudzfaktoru regresijas analīze veikta, lai noskaidrotu, cik lielu daļu no hronoloģiju vērtību variācijas izskaidro klimatiskie faktori. Šai analīzē sākotnējā modelī iekļāva visus klimatiskos faktorus (regresorus), kas uzrādīja statistiski būtisku korelāciju ar konkrētā parauglaukuma hronoloģiju vai zīmīgo gadu intensitātes vērtībām. Turpmākajos regresijas analīzes „soļos” pakāpeniski no modeļa izslēdza tos faktorus, kas neuzrādīja būtisku saistību, līdz visi regresori bija statistiski būtiski. Analīzes rezultātā iegūtais determinācijas koeficients (R^2) izmantots modeļa izskaidrotās variācijas raksturošanai.

Prognozēto klimata izmaiņu ietekmes noskaidrošanai izmantots regresijas vienādojumus, kas izveidots saistībai starp esošajiem klimatiskajiem apstākļiem un zīmīgo gadu intensitātes vērtībām katrai no koku sugām katrā parauglaukumā. Prognozētās zīmīgo gadu intensitātes vērtības aprēķinātas laika periodam no 2011. līdz 2100. gadam katram no trīs klimata izmaiņu scenārijiem (mērenas, vidējas un krasas). Rezultātā aprēķināts, cik daudz zīmīgo gadu ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25 prognozēts pie katra no scenārijiem vidēji katros desmit gados.

5.3 Radiālā pieauguma hronoloģijas

Visjaunākā audze un attiecīgi arī īsākā hronoloģija bija izveidota Ludzas parauglaukumam (5.6. tab.). Vecākie koki bija Jūrkalnes, Rendas un Skrundas parauglaukumos.

Starp parauglaukumu hronoloģijām ir samērā atšķirīgas vidējās jutības vērtības (tās raksturo cik liela ir ikgadējā mainība un attiecīgi jutību uz izmaiņām vidē). Zemākā jutības vērtība ir Rendas parauglaukuma hronoloģijām, bet augstākā Ludzas parauglaukuma hronoloģijām. Salīdzinot gadskārtu platumu, pavasara un rudens koksnes hronoloģiju jutības vērtības, augstākais rādītājs ir rudens koksnes hronoloģijai – vidēji 0,245, turklāt vidējās jutības vērtības virs 0,2 jau ir uzskatāmas par ļoti labām. Tas varētu nozīmēt, ka rudens koksnes hronoloģijas varētu būt labāk piemērotas klimatisko faktoru ietekmes analīzēm. Mazākais šķērsdatēto paraugu (koku) skaits ir Valkas parauglaukumā (16), kas ir pietiekams skaits, lai rezultātu uzskatītu par reprezentatīvu visam parauglaukumam (teritorijai). Pārējos parauglaukumos paraugu skaits ir 18 vai vairāk. Arī EPS vērtības, kas visos gadījumos ir virs 0,9 apliecina, ka hronoloģijas raksturo visā audzē notiekošos procesus.

5.6 tabula

Egles parauglaukumu hronoloģiju raksturojums: šķērsdatēto paraugu skaits, gadskārtu skaits paraugos un gadskārtu, pavasara koksnes un rudens koksnes hronoloģiju vidējās jutības vērtības

Parauglaukums	Paraugu skaits	Gadskārtu skaits paraugos	EPS	Vidējā jutība		
				Gadskārtu platums	Pavasara koksne	Rudens koksne
Jūrkalne	20	58-161	0,952	0.191	0.173	0.235
Ludza	18	44-79	0,941	0.223	0.236	0.320
Melnšils	20	71-109	0,947	0.217	0.211	0.281
Renda	19	52-198	0,925	0.152	0.138	0.189
Skrunda	19	45-178	0,930	0.197	0.189	0.241
Taurene	20	43-97	0,968	0.193	0.186	0.269
Tukums	18	62-92	0,946	0.188	0.213	0.292
Valka	16	54-135	0,917	0.169	0.182	0.209
Viesīte	19	57-117	0,932	0.210	0.242	0.201
Zvirgzde	24	57-143	0,965	0.183	0.200	0.213

No priedes parauglaukumiem, pēc vecuma visjaunākie koki bija sastopami Melnsila parauglaukumā (līdz 70 gadiem) (5.7. tab.), pēc tam Jūrkalnē un Tukumā. Visvecākie koki bija Skrunda parauglaukumā. To vecums sasniedza pat 145 gadus. Visām priežu parauglaukumu gadskārtu platumu hronoloģijām ir raksturīga ļoti zema jutības vērtība (zem 0,2), toties rudens koksnes platumu hronoloģijām vairākos parauglaukumos vidējās jutības vērtības līdzīgi kā egļu parauglaukumos ir virs 0,2. Tas apliecina, ka rudens koksnes platumus varētu būt labāks rādītājs dažādu vides faktoru ietekmes noteikšanai nekā kopējais gadskārtu platums. Paraugu skaits parauglaukumos ir vismaz 17, un EPS vērtības ir lielākas par 0,9, norādot, ka izveidotās hronoloģijas ir piemērotas klimata ietekmes noskaidrošanai.

5.7 tabula

Priedes parauglaukumu hronoloģiju raksturojums: šķērsdatēto paraugu skaits, gadskārtu skaits paraugos un gadskārtu, pavasara koksnes un rudens koksnes hronoloģiju vidējās jutības vērtības

Parauglaukums	Paraugu skaits	Gadskārtu skaits paraugos	EPS	Vidējā jutība		
				Gadskārtu platums	Pavasara koksne	Rudens koksne
Jūrkalne	22	62-80	0,963	0,162	0,171	0,231
Ludza	17	64-95	0,902	0,172	0,170	0,203
Melnšils	22	57-70	0,925	0,163	0,171	0,193
Renda	21	85-98	0,958	0,164	0,186	0,196
Skrunda	20	84-145	0,950	0,184	0,216	0,225
Taurene	21	64-91	0,936	0,157	0,160	0,217
Tukums	18	73-89	0,931	0,144	0,163	0,167
Valka	19	108-128	0,949	0,168	0,179	0,288
Viesīte	17	86-106	0,942	0,168	0,183	0,202
Zvirgzde	19	74-133	0,915	0,157	NA	NA

Bērzu parauglaukumiem noteica tikai kopējo gadskārtu platumu un attiecīgi izveidoja tikai vienu hronoloģiju katram parauglaukumam. Hronoloģiju garums bija no 73 (Taurene) līdz 100 (Tukums) gadiem (5.8. tab.). Vidējās jutības vērtības variē robežās no 0,17 līdz pat 0,25. Atsevišķos parauglaukumos šķērsdatēto paraugu skaits ir tikai 14 vai 15. Tas skaidrojams ar to, ka reizēm bērzu paraugiem bija ļoti grūti savstarpēji atšķiramas gadskārtas, kā arī lokāli iztrūkstošas gadskārtas, kas apgrūtināja šķērsdatēšanas procesu un daļu no paraugiem bija jāizslēdz no turpmākās analīzes. Atbilstoši EPS vērtībām, tikai Ludzas parauglaukuma gadījumā vērtība ir zem 0,85 (0,792), kas varētu nozīmēt, ka šī parauglaukuma hronoloģija pilnībā neraksturo audzes kopējās izmaiņas, bet gan koku individuālās reakcijas.

5.8 tabula

Bērzu parauglaukumu hronoloģiju raksturojums: šķērsdatēto paraugu skaits, gadskārtu skaits paraugos un gadskārtu hronoloģijas vidējās jutības vērtības

Parauglaukums	Paraugu skaits	EPS	Gadskārtu skaits paraugos	Vidējā jutība
Jūrkalne	19	0,957	63-75	0,246
Ludza	15	0,792	56-90	0,197
Melnšils	19	0,914	76-91	0,182
Renda	20	0,930	58-80	0,174
Skrunda	15	0,933	83-93	0,219
Taurene	19	0,905	59-73	0,182
Tukums	14	0,893	63-100	0,207
Valka	15	0,908	52-74	0,191
Viesīte	18	0,943	44-75	0,245
Zvirgzde	21	0,943	70-77	0,199

Melnalkšņu parauglaukumos ir ļoti atšķirīgs gadskārtu skaits, piemēram, Valkas parauglaukumā līdz 65 gadskārtām, savukārt Melnsila parauglaukumā pat 182 gadskārtas (5.9 tab.). Melnalkšņiem ir raksturīga visaugstākā jutība starp visām šajā pētījumā apskatītajām sugām (līdz pat 0,36). Līdzīgi kā gadījumā ar bērziem, atsevišķu melnalkšņu parauglaukumu paraugos bija grūti atšķiramas, kā arī iztrūkstošas gadskārtas, kā rezultātā daļu paraugu izslēdza no turpmākās analīzes. Tomēr EPS vērtības visos parauglaukumos, neatkarīgi no paraugu skaita, ir virs 0,85.

Melnalkšņu parauglaukumu hronoloģiju raksturojums: šķērsdatēto paraugu skaits, gadskārtu skaits paraugos un gadskārtu hronoloģijas vidējās jutības vērtības

Parauglaukums	Paraugu skaits	EPS	Gadskārtu skaits paraugos	Vidējā jutība
Jūrkalne	18	0,950	80-146	0,261
Ludza	15	0,945	25-80	0,265
Melnais sils	19	0,957	35-182	0,327
Renda	15	0,948	79-107	0,359
Skrunda	23	0,958	52-73	0,251
Taurene	18	0,958	54-106	0,268
Tukums	16	0,886	54-82	0,179
Valka	19	0,953	47-65	0,279
Viesīte	17	0,929	56-93	0,231
Zvirgzde	22	0,959	44-103	0,201

5.4 Klimatisko faktoru saistība ar hronoloģiju vērtībām

Kopumā visu veidu egļu hronoloģijas uzrāda korelāciju ar 59 klimatiskiem faktoriem, turklāt ar 37 no šiem faktoriem korelācija ir tikai ar vienu līdz četrām hronoloģijām (no 30). Pārējiem faktoriem ir saistība ar piecām līdz 19 hronoloģijām (5.10 tab.).

Nav tāda klimatiskā faktora, kuram būtu statistiski būtiska saistība ar visu parauglaukumu hronoloģijām. Kā nozīmīgāko no temperatūras faktoriem jāizceļ aprīļa vidējās gaisa temperatūras, sevišķi aprīļa pirmās dekādes vidējās temperatūras. Šiem abiem faktoriem kopumā ir pozitīva saistība ar visu parauglaukumu hronoloģijām, īpaši ar kopējo gadskārtu platumu un pavasara koksnes platumu hronoloģiju. Tas varētu nozīmēt, ka pavasaros ir nepieciešamas paaugstinātas temperatūras, lai ātrāk uzsāktu augšanas sezonu. Vēl no temperatūru faktoriem būtu jāizceļ februāra vidējās gaisa temperatūras (gan mēnesī kopumā, gan otrajā dekādē) – labvēlīgāka augšana ir novērojama pie paaugstinātām gaisa temperatūrām, kas varētu būt saistīts, piemēram, ar sasalušās augsnes biežumu. Uz pozitīvo paaugstinātu (siltu) ziemas temperatūru ietekmi uz egļu pieaugumu ir norādījuši arī citi autori (Mäkinen, et al. 2002). Negatīva saistība vērojama ar jūnija vidējo gaisa temperatūru, kas tiešā veidā varētu būt saistāms ar iztvaikošanas daudzumu un pieejamo mitruma daudzumu, līdzīgi kā tas atklāts, piemēram, Rumānijā (Bouriaud, Popa, 2009).

No nokrišņu faktoriem nozīmīgākais ir jūnija nokrišņu daudzums, ar kuru ir statistiski būtiska pozitīva saistība visiem parauglaukumiem, izņemot Tukumu un Valku. Šeit jāņem vērā, ka Tukuma un Valkas parauglaukumi ir uz nosusinātajām augsnēm, kas varētu nozīmēt, ka šajos parauglaukumos nav nepieciešams papildus mitruma daudzums. Uz jūnija nokrišņu pozitīvo ietekmi norāda arī Savva et al. (2006) savā pētījumā par egļu augšanu Polijā. Vēl nozīmīgs ir janvāra nokrišņu daudzums trešajā dekādē. Tā kā šajā laikā nokrišņi ir sniega veidā, tad to pozitīvo efektu var saistīt kā aizsargkārtu pret pastiprinātu augsnes sasalušanu. Kopumā nozīmīgo nokrišņu saistību ar gadskārtu platumu variāciju var skaidrot ar to, ka parastā egle ir uzskatāma par daļēji mitrumprasīgu sugu (Mauriņš, Zvirgzds, 2006).

Klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska pozitīva (+) vai negatīva (-) korelācija ar egles gadskārtu platumu (HR), pavasara koksnes (PK) un rudens koksnes (RK) hronoloģijām.

(Parādīti tikai tie klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska korelācija ar vismaz sešām hronoloģijām.)

	Temperatūras																															
	Jūrkalne			Ludza			Melnais			Renda			Skrunda			Taurene			Tukums			Valka			Viesīte			Zvirgzde				
	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK		
Mēneši																																
Decembris				-	+																											
Februāris				+	+																											
Aprīlis	+			+	+																											
Jūnijs																																
Dekādes																																
Decembris_II				+	+																											
Decembris_III																																
Janvāris_III	+	+	+	+	+																											
Februāris_I				+	+																											
Februāris_II				+	+																											
Marts_III	+																															
Aprīlis_I				+	+																											
	Nokrišņi																															
	Jūrkalne			Ludza			Melnais			Renda			Skrunda			Taurene			Tukums			Valka			Viesīte			Zvirgzde				
	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK
Mēneši																																
Decembris				-																												
Jūnijs	+	+	+	+	+																											
Jūlijs				+	+																											
Dekādes																																
Decembris_I	+			+	+																											
Decembris_II																																
Janvāris_III	+	+																														
Aprīlis_I	-	-	-																													
Jūnijs_I	+			+	+																											
Jūnijs_II				+	+																											
Jūnijs_III																																
Septembris_III																																

Priežu hronoloģijām ir statistiski būtiska korelācija ar 75 klimatiskajiem faktoriem (5.11 tab.). Turklāt 51 no šiem faktoriem ir būtiska korelācija tikai ar vienu līdz piecām no 28 priežu hronoloģijām. No 75 faktoriem 40 ir saistīti ar vidējo gaisa temperatūru un 35 ar nokrišņu summu.

Kā nozīmīgākie klimatiskie faktori ir jāatzīmē februāra un marta vidējās gaisa temperatūras gan mēnesī kopumā, gan arī atsevišķi pa dekādēm (katram no šiem faktoriem ir statistiski būtiska korelācija ar 20 līdz 25 hronoloģijām) un šī saistība ir pozitīva (jo siltāks, jo platāka gadskārta). Līdzīgs rezultāts jau bija novērots gan iepriekš veiktā pētījumā Latvijā (Elferts, 2008), gan arī Polijā (Cedro, 2001) un Igaunijā (Pärn, 2009). Ja atsevišķi skatās uz dekādēm, tad gan marta, gan februāra mēnesī izteiktāka saistība ir ar pirmo dekādi, lai gan arī visām pārējām dekādēm ir saistība ar hronoloģiju vērtību variēšanu. Nākamais faktors, kuram ir korelācija ar vismaz pusi no visām hronoloģijām, ir janvāra pirmās dekādes vidējā gaisa temperatūra. Tas skaidri parāda, ka priežu augšanu Latvijā dažādās teritorijā kopīgi ietekmē ziemas mēnešu gaisa temperatūras. Latvijā ir ļoti zema saistība ar vasaras mēnešu vidējām gaisa temperatūrām (maksimums kādam faktoram ar septiņām no 28 hronoloģijām), kas ir pretēji, piemēram, Norvēģijā novērotajam, kur tieši vasaras mēnešu gaisa temperatūrām ir lielāka ietekme (Kirchhefer, 2001). Te gan jāņem vērā, ka veģetācijas sezona Norvēģijā ir daudz īsāka nekā Latvijā.

5.11 tabula

Klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska pozitīva (+) vai negatīva (-) korelācija ar priedes gadskārtu platumu (HR), pavasara koksnes (PK) un rudens koksnes (RK) hronoloģijām.

(Parādīti tikai tie klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska korelācija ar vismaz sešām hronoloģijām.)

Temperatūras																													
	Jūrkalne			Ludza			Melnais			Renda			Skrunda			Taurene			Tukums			Valka			Viesīte			Zvirgzde	
	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	
Mēneši																													
Janvāris			+						+	+		+																+	
Februāris	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+					+	+		+	+	+	+	+	+	+	
Marts	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Aprīlis	+	+	+				+											+										+	
Jūlijs				+		+												+		+								+	
Augusts									+		+						+		+							+	+	+	
Dekādes																													
Decembris_II				+		+	+	+		+	+		+	+		+	+									+		+	
Janvāris_I				+		+	+	+	+							+	+	+							+	+	+	+	
Janvāris_III	+	+	+						+	+	+																		
Februāris_I	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Februāris_II	+	+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+											+	+	+	+	
Februāris_III			+							+	+	+	+	+											+	+	+	+	
Marts_I	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Marts_II	+	+	+	+		+			+	+	+	+	+	+	+									+	+	+	+	+	
Marts_III	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+								+	+	+	+	+	+	
Aprīlis_I	+	+				+	+	+	+	+		+					+							+	+	+		+	
Jūnijs_I			+							+					+								+	+			+	+	
Jūnijs_III				+		+					+			+	+		+										+	+	
Jūlijs_I				+	+	+			+						+		+											+	
Augusts_II	+	+					+	+						+				+	+							+	+	+	
Nokrišņi																													
	Jūrkalne			Ludza			Melnais			Renda			Skrunda			Taurene			Tukums			Valka			Viesīte			Zvirgzde	
	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	PK	RK	HR	
Decembris_II							+	+	+																		+	+	
Jūlijs_II	+	+	+												+												+	+	+
Septembris_III	+	+		+								+	+	+	+														

Attiecībā uz nokrišņu ietekmi, ir grūti atrasts kādu faktoru, kuram būtu līdzīga ietekme uz priežu augšanu visā Latvija teritorijā. Septembra trešās dekādes nokrišņu daudzumam ir būtiska korelācija ar astoņām hronoloģijām (no četriem parauglaukumiem). Taču šajā gadījumā pilnībā droši nevar apgalvot, ka šim faktoriem tiešām ir ietekme, ņemot vērā, ka šajā laikā gadskārtu veidošanās varētu būt jau apstājusies. Otrs nozīmīgākais faktors ir jūlija otrās dekādes nokrišņu daudzums (septiņas hronoloģijas no trīs parauglaukumiem), kam arī ir pozitīva ietekme. Rezultāti apliecina, ka nokrišņu ietekmei Latvijā ir lokāls raksturs, tas ir, nokrišņu ietekme ir atkarīga no mitruma apstākļiem konkrētajā audzē. Var uzskatīt, ka vismaz vairumā no pētītajām audzēm, priedēm ir optimāli mitruma apstākļi (Linderholm, 2001), kā arī jāņem vērā, ka priedes veido mietsakni (Mauriņš, Zvirgzds, 2006), kas nodrošina ūdens pieejamību no dziļākiem augsnes slāņiem.

Attiecībā uz bērziem, to hronoloģijām ir vismazāk statistiski būtisko korelāciju ar klimatiskajiem faktoriem (41) (5.12. tab.). Turklāt tikai 16 faktoriem ir korelācija ar vismaz divu parauglaukumu hronoloģijām.

Kā būtiskāko faktoru, kuram ir saistība ar piecu parauglaukumu hronoloģiju vērtību variāciju, ir jāizdala nokrišņu daudzums iepriekšējā gada oktobra mēnesī. Šī saistība ir pozitīva, tas ir, platākas gadskārtas ir novērotas tad, kad iepriekšējā gada oktobrī nokrišņu daudzums ir bijis palielināts, un šaurākas gadskārtas pie samazināta nokrišņu daudzuma. Oktobra nokrišņu ietekme var arī nebūt tieši saistāma ar koku augšanu, bet skaidroja ar to, ka oktobra nokrišņu daudzumam ir saistība (korelācija) ar kādu citu faktoru piemēram, pavasara nokrišņu daudzums. Kopumā nokrišņi ir svarīgāks faktors bērzu augšanai, nekā vidējās gaisa temperatūras. Vēl pozitīva ietekme (novērota divos vai trīs parauglaukumos) ir maija, jūnija un augusta nokrišņu

daudzumam, parādot, ka bērziem ir nepieciešams papildus mitruma daudzums, lai veidotos platākas gadskārtas.

Attiecībā uz temperatūru ietekmi, ir grūti izcelt kādu vienotu faktoru, jo vairumā gadījumu korelācija ir tikai ar vienu vai divu parauglaukumu bērzu hronoloģiju vērtībām. Tas norāda, ka temperatūru ietekmei ir lokāls raksturs. Tātad kopumā temperatūras vismaz apskatītajos parauglaukumos nevar izcelt kā augšanu limitējošu faktoru.

Diemžēl nav iespējams šajā pētījumā iegūtos rezultātus salīdzināt ar citās valstīs veiktajiem pētījumiem, jo vismaz klasiskajos dendroklimatoloģijas pētījumos ārā bērzs tiek izmantots ļoti reti. Daļēju salīdzinājumu var veikt ar Īslandē veikto pētījumu, kas gan ir par purva bērzu. Tur novērots, ka paaugstināts nokrišņu daudzums ziemā (biezāka sniega sega) veicina bērzu augšanu (Levanič, Eggertsson, 2008), kas Latvijas bērziem novērots tikai atsevišķās teritorijās.

5.12 tab.

Klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska pozitīva (+) vai negatīva (-) korelācija ar bērzu gadskārtu platumu hronoloģijām. (Parādīti tikai tie klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska korelācija ar vismaz divām hronoloģijām.)

Temperatūras										
	Jūrkalne	Ludza	Melnšils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Dekādes										
Oktobris_I			+	+						+
Novembris_I		-	-							
Februāris_III		+								+
Marts_I				+						+
Augusts_III	-							-		
Nokrišņi										
	Jūrkalne	Ludza	Melnšils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Oktobris		+		+		+	+			+
Decembris					+			+		
Jūnijs	+		+						+	
Augusts	+							+		
Dekādes										
Oktobris_I				+		+				+
Novembris_I				+			+			
Decembris_I	+				+			+		
Maijs_III	+							+	+	
Augusts_III	+		+							

Ar kādu no 10 melnalkšņu hronoloģijām statistiski būtiska korelācija konstatēta 50 no analizē iekļautajiem klimatiskajiem faktoriem (5.13 tab.). Tikai 20 no šiem faktoriem ir korelācija ar divām vai vairāk hronoloģijām, norādot, ka melnalkšņu augšanu lielā mērā ietekmē lokāli faktori. Tikai janvāra pirmās dekādes un maija otrās dekādes vidējai gaisa temperatūrai un janvāra pirmās dekādes nokrišņu daudzumam ir būtiska korelācija ar piecām no desmit hronoloģijām, kas ir lielākais skaits. No tā var secināt, ka no pētījumā iekļautajiem klimatiskajiem faktoriem nav tāda faktora, kura ietekme būtu novērojama visā Latvijas teritorijā vienādi. Gan janvāra gaisa temperatūras, gan nokrišņu daudzuma pozitīvo ietekmi var saistīt ar augsnes slāņa sasulumu un temperatūru. Jo ir siltāka gaisa temperatūra un biežāka sniega sega, jo mazāk sasulusi augsne un līdz ar to arī ātrāks veģetācijas perioda sākums (Aphalo, et al., 2006). Maija pirmās dekādes temperatūru pozitīvā ietekme saistāma ar augšanas aktivitātes veicināšanu, jo augstas temperatūras liecina, ka šajā periodā nav salu, kas var negatīvi ietekmēt koku augšanu. Atsevišķās teritorijās ir vērojama negatīva nokrišņu daudzuma ietekme rudenī un pavasarī. Tas būtu

skaidrojams ar paaugstinātu gruntsūdens līmeni, kas var radīt anaerobus apstākļus augsnē un negatīvi ietekmē augšanas procesus (Kaelke, Dawson, 1997; Kozłowski, 1997). Toties citos mēnešos nokrišņu daudzumam ir pozitīva ietekme uz gadskārtu pieaugumu (hronoloģiju vērtībām), jo melnalksni var uzskatīt daļēji mitrumprasīgu sugu (McVean, 1956).

5.13 tabula

Klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska pozitīva (+) vai negatīva (-) korelācija ar melnalkšņu gadskārtu platumu hronoloģijām. (Parādīti tikai tie klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska korelācija ar vismaz divām hronoloģijām.)

Temperatūras										
	Jūrkaine	Ludza	MeInsiils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Oktobris									+	+
Janvāris			+			+				
Februāris	+								+	
Maijs	+	+				+				
Dekādes										
Oktobris_II	+		+							
Decembis_III					+			+		
Janvāris_I			+	+	+	+			+	
Februāris_I	+								+	
Februāris_II	+								+	
Marts_I	+		+						+	
Maijs_II		+	+			+			+	+
Jūnijs_I	+	+				+				
Nokrišņi										
	Jūrkaine	Ludza	MeInsiils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Decembris	+			+			-			
Janvāris					+	+			+	
Dekādes										
Novembris_I			+	+	+					
Decembris_II					+	+				
Janvāris_I		+				+		+	+	+
Marts_II	+			+						
Aprīlis_I	-		-							
Maijs_III				+					+	

5.5 Izskaidrotā hronoloģiju vērtību variēšana

Lai gan egles rudens koksnes hronoloģijām vidēji bija augstākas jutības vērtības, izskaidrotās variācijas daļa starp hronoloģijām dažādiem parauglaukumiem ir atšķirīgas. Lielākais izskaidrotās variācijas apjoms ir 38,96% (5.14 tab.), kas konstatēts Ludzas parauglaukuma rudens koksnes hronoloģijai. To var uzskatīt par ļoti labu rezultātu. Astoņiem no desmit parauglaukumiem vismaz vienai no hronoloģijām klimatiskie faktori izskaidro vairāk kā 20% no vērtību variēšanas, kas norāda, ka šie rezultāti ir izmantojami arī turpmākai augšanas prognozēšanai. Uz kopējā fona izceļas Tukuma parauglaukums, kurā klimatiskie faktori izskaidro tikai līdz 12,66% no vērtību variēšanas. Tas nozīmē, ka ir kādi citi faktori, kas ietekmē augšanu (jāņem vērā, ka šis parauglaukums ir uz nosusinātajām augsnēm) – tādējādi potenciālo klimata izmaiņu ietekmes novērtēšanai šis parauglaukums ir tikai daļēji piemērots.

5.14 tabula

Ar klimatiskajiem faktoriem izskaidrotā egles gadskārtu platumu, pavasara un rudens koksnes hronoloģiju vērtību variēšanas daļa (%)

	Gadskārtu platumi	Pavasara koksne	Rudens koksne
Jūrkalne	36,74	22,94	22,46
Ludza	29,32	32,15	38,96
Melnšils	34,94	26,43	30,31
Renda	28,00	23,06	10,79
Skrunda	36,00	32,61	28,51
Taurene	35,64	28,93	24,47
Tukums	12,66	6,01	9,60
Valka	32,00	26,61	36,94
Viesīte	12,00	9,51	17,64
Zvirgzde	18,65	8,46	25,24

Starp priežu parauglaukumiem pastāv ļoti lielas atšķirības izskaidrotajā hronoloģijas variācijas apjomā atkarībā no klimata ietekmes (5.15 tab.). Vislielāko daļu no vērtību variēšanas klimats izskaidro Jūrkalnes parauglaukumā (līdz 63% kopējam gadskārtu platumam) un Taurenes parauglaukuma priežu rudens koksnes platumu hronoloģijai (49%). Iegūtie rezultāti ir daudz augstāki, nekā iepriekš Latvijā veiktajos pētījumos (Elferts, 2008), norādot, ka kopumā ir izvēlētie atbilstoši parauglaukumi (koki jutīgi pret klimatu), lai raksturotu klimata ietekmi. Toties Tukuma parauglaukuma hronoloģijām klimats izskaidro tikai 8 līdz 18% no vērtību variēšanas atkarībā no hronoloģijas veida. Šeit jāņem vērā, ka Tukuma parauglaukums pēc mežu augšanas tipa atbilst slapjšajam mētrājam, kas varētu nozīmēt, ka lielāka tiešā ietekme varētu būt faktoriem, kas saistās ar mitrumu un gruntsūdens līmeni, ko diemžēl šī pētījuma ietvaros nav iespējams pārbaudīt. Vismazāko variēšanas daļu klimatiskie faktori izskaidro pavasara koksnes platumu hronoloģijām. Tas norāda, ka klimatiskie faktori vairāk ietekmē tieši rudens koksnes veidošanos. Ja salīdzina rezultātu kopējam gadskārtu platumam un rudens koksnes platumam, tad rezultāti ir samērā līdzīgi, norādot, ka kopējais gadskārtas platumam pietiekami labi raksturo priežu augšanu.

5.15 tabula

Ar klimatiskajiem faktoriem izskaidrotā priedes gadskārtu platumu, pavasara un rudens koksnes hronoloģiju vērtību variēšanas daļa

	Gadskārtu platumi	Pavasara koksne	Rudens koksne
Jūrkalne	62,99	42,65	51,53
Ludza	43,07	30,41	34,27
Melnšils	31,04	23,86	24,93
Renda	39,84	37,06	34,73
Skrunda	33,83	34,66	38,91
Taurene	41,16	29,87	49,22
Tukums	18,21	7,84	16,74
Valka	31,75	17,68	25,65
Viesīte	24,54	23,28	36,24
Zvirgzde	40,92	NA	NA

Līdzīgi kā citām pētījumā ietvertajām sugām arī bērzam, ir atšķirīgs apjoms no gadskārtu platumu hronoloģiju vērtību variēšanas, ko var izskaidrot ar klimatisko faktoru ietekmi. Izskaidrotās variācijas apjoms variē robežās no 9,2% līdz pat 37,5% (5.16. tab.), bet joprojām nevar apgalvot, ka klimats būtu galvenais bērzu augšanu ietekmējošais faktors Latvijas teritorijā. Jau iepriekš publicētos aprakstos par bērza ekoloģiju ir minēts, ka tā ir klimata svārstību izturīga koku suga (Mauriņš, Zvirgds, 2006). Attiecīgi, iegūtie rezultāti tikai daļēji ļauj spriest par to, kā gaidāmās klimata izmaiņas ietekmēs turpmāko bērzu augšanu. Izskaidrotās variācijas apjomu nav iespējams sasaistīt ar noteiktu mežu augšanas apstākļu tipu (izskaidrotās variācijas apjoms variē arī viena tipa ietvaros), kā arī tas nebūtu saistāms ar parauglaukumu ģeogrāfisko novietojumu.

5.16 tabula

Ar klimatiskajiem faktoriem izskaidrotā bērzu gadskārtu platumu hronoloģiju vērtību variēšanas daļa.

	Gadskārtu platumi
Jūrkalne	37,49
Ludza	34,05
Melnšils	32,25
Renda	21,85
Skrunda	9,16
Taurene	19,99
Tukums	16,50
Valka	22,25
Viesīte	13,67
Zvirgzde	21,21

Klimatiskie faktori izskaidro no 7,2 līdz 32,4% no melnalkšņu hronoloģiju vērtību variēšanas (5.17. tab). Tas norāda, ka vidējās gaisa temperatūras un nokrišņu daudzums nav galvenie faktori, kas ietekmē gadskārtu platumu veidošanos, bet svarīgāki ir citi faktori, piemēram, gruntsūdens līmenis (ūdens līmeņa ietekme uz melnalkšņu radiālo augšanu ir novērota citā Latvijā veiktā pētījumā (Ūsele, 2009)). Visaugstākā izskaidrotā variācija ir Jūrkalnes un Taurenes parauglaukumos, attiecīgi 32,4 un 31,20%. Kopumā šie rezultāti parāda, ka melnalkšņu hronoloģiju dati tikai daļēji izmantojami klimata izmaiņu ietekmes pētīšanai.

5.17 tabula

Ar klimatiskajiem faktoriem izskaidrotā melnalkšņu gadskārtu platumu hronoloģiju vērtību variēšanas daļa.

	Gadskārtu platumi
Jūrkalne	32,40
Ludza	28,64
Melnšils	17,44
Renda	17,37
Skrunda	25,95
Taurene	31,20
Tukums	14,99
Valka	15,78
Viesīte	22,93
Zvirgzde	7,17

5.6 Zīmīgie gadi un to intensitātes vērtības

Egļu parauglaukumos zīmīgo gadu skaits ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25 ir robežās no 3,2 līdz 5,1 katros desmit gados (5.18. tab.), turklāt vairumā parauglaukumu vairāk ir tieši negatīvo zīmīgo gadu nekā pozitīvo. Tas nozīmē, ka audzes līmenī visus kokus līdzīgi ietekmē tie faktori, kas samazina augšanas gaitu, bet pozitīvie faktori visos kokos neizpaužas vienādi. Audzēs, kurās ir zems būtisko zīmīgo gadu skaits kā, piemēram, Skrundas un Ludzas parauglaukumos, vairāk dominē faktori, kas ietekmē katru koku individuāli, nevis visu kokaudzi kopumā.

Datu analīzē noteikti deviņi gadi, kuros zīmīgais gads novērots astoņās vai deviņās audzēs no desmit. No šiem deviņiem gadiem pieci ir pozitīvi (1946., 1974., 1982., 1983. un 2009. gads) un četri ir negatīvi (1954., 1964., 1992. un 2006. gads). No negatīvajiem zīmīgajiem gadiem 1954. gads raksturojams ar siltu pavasari, bet ļoti zemu nokrišņu daudzumu tajā (Rīgā maijā nokrišņu daudzums tikai 6 mm), toties 1992. gadā bija visai augsta jūnija vidējā gaisa temperatūra un mazs nokrišņu daudzums. 2009. gadā, kas ir pozitīvs zīmīgais gads, nokrišņu daudzums jūnija mēnesī bija lielāks par vidējo.

5.18 tabula

**Pozitīvo, negatīvo un kopējais zīmīgo gadu
(ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25) skaits vidēji desmit gados egļu
parauglaukumos.**

Parauglaukums	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā
Jūrkalne	2,8	2,2	5,0
Ludza	1,6	1,8	3,4
Melsils	2,1	3,0	5,1
Renda	2,1	1,8	3,9
Skrunda	1,6	1,6	3,2
Taurene	1,8	2,6	4,4
Tukums	2,1	1,7	3,8
Valka	2,1	2,2	4,3
Viesīte	2,2	2,3	4,5
Zvirgzde	1,8	2,5	4,3

Priedes datu analīzes rezultātos iegūts, ka katros desmit gados būtisko zīmīgo gadu (intensitātes vērtības virs 25 vai zem -25) skaits ir robežās no 3,0 līdz 4,9 (5.19 tab.). Lielākais zīmīgo gadu skaits ir Rendas parauglaukumā, bet mazākais ir Tukuma un Melsila parauglaukumos. Astoņos no desmit parauglaukumiem, līdzīgi kā egļu parauglaukumu gadījumā, ir lielāks tieši negatīvo zīmīgo gadu skaits, norādot uz kopīgiem, spēcīgiem ietekmējošiem faktoriem, kas straujie samazina gadskārtu pieaugumu.

Visos pētītajos parauglaukumos 1989. gads ir bijis pozitīvs zīmīgais gads, deviņos parauglaukumos arī 1990. gads bija pozitīvs zīmīgais, septiņos no desmit parauglaukumiem pozitīvie gadi bija arī 1936. un 1945. gads. Kā būtiski negatīvie zīmīgie gadi (kuros zīmīgais gads novērojams vismaz septiņos parauglaukumos) izceļami 1926., 1927., 1928. un 1940. gads. Ar klimatiskajiem faktoriem no šiem gadiem skaidri var saistīt 1940. gadu, kas raksturojams ar ļoti aukstu ziemu (februāra vidējā gaisa temperatūra Rīga -13,4 °C). Pārējos negatīvos zīmīgos gadus daļēji varētu saistīt ar to, ka, lai gan ziemas mēnešu temperatūras bija tuvu ilgtermiņa vidējiem rādītājiem, tomēr sniega segas biezums bija salīdzinoši mazs. Savukārt 1990. gads izceļas ar ļoti siltu ziemu (februāra vidējā temperatūra 4,0 °C).

5.19 tabula

Pozitīvo, negatīvo un kopējais zīmīgo gadu (ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25) skaits vidēji desmit gados priežu parauglaukumos.

Parauglaukums	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā
Jūrkalne	1,9	2,5	4,4
Ludza	1,4	2,7	4,1
Melsils	1,1	2,0	3,1
Renda	1,7	3,2	4,9
Skrunda	2,0	1,9	3,9
Taurene	1,0	2,7	3,7
Tukums	1,8	1,2	3,0
Valka	1,4	2,4	3,8
Viesīte	1,9	2,7	4,6
Zvirgzde	1,3	2,2	3,5

Bērzu parauglaukumos ir vērojams samērā augsts būtisko zīmīgo gadu (ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25) skaits (5.20 tab.). Turklāt visos parauglaukumos vidēji desmit gados ir vairāk tieši negatīvo zīmīgo gadu, kas parāda, ka tieši negatīvu, nevis pozitīvu faktoru ietekme atspoguļojas visas audzes ietvaros. Tomēr, ja zīmīgo gadu vērtības tiek apstatītas visiem parauglaukumiem kopā, tad nav tāda gada, kas visās teritorijās ir vienādas zīmes zīmīgais gads ar vērtību zem -25 vai virs 25. Taču ir vairāki gadi, kuros zīmīgie gadi sakrīt septiņās teritorijās: negatīvi (1963., 2003.) un pozitīvi (1997., 1998., 2008., 2009.). Tas parāda, ka bērzu augšana Latvijā teritorijā ir atkarīga vairāk no lokāliem faktoriem, nevis tādiem, kas darbotos vienādi visā Latvijā teritorijā.

Negatīvais zīmīgais gads 1963. gadā raksturojams ar aukstu ziemu, kā arī samazinātu nokrišņu daudzumu iepriekšējā gada rudenī un konkrētā gada pavasarī/vasarā. Savukārt 2003. gads raksturojams ar samazinātu nokrišņu daudzumu pavasarī un karstu vasaru. Toties pozitīvie zīmīgie gadi 1997. un 1998. gadā raksturojami ar siltu ziemu un nokrišņiem bagātu iepriekšējā gada rudenī.

5. 20 tabula

Pozitīvo, negatīvo un kopējais zīmīgo gadu (ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25) skaits vidēji desmit gados bērzu parauglaukumos.

Parauglaukums	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā
Jūrkalne	2,7	3,3	6,0
Ludza	1,8	2,4	4,1
Melsils	1,9	2,2	4,1
Renda	1,7	2,4	4,1
Skrunda	2,0	3,4	5,5
Taurene	1,6	2,5	4,1
Tukums	2,1	2,4	4,5
Valka	1,2	1,9	3,1
Viesīte	2,0	2,7	4,7
Zvirgzde	1,4	2,9	4,3

Melnalkšņu parauglaukumos vērojams lielākais būtisko zīmīgo gadu skaits katros desmit gados (5.21 tab.). Mazākais skaits ir 3,8 (Tukuma parauglaukums) un vislielākais skaits ir 6,0 (Jūrkalnes parauglaukums). Atšķirībā no citām sugām, kur negatīvo un pozitīvo zīmīgo gadu skaits ir līdzīgs, tad melnalkšņiem tikai pusē parauglaukumos negatīvo zīmīgo gadu skaits ir lielāks nekā pozitīvo. Tas nozīmē, ka melnalkšņu parauglaukumos starp kokiem ir kopīgi gan negatīvi, gan pozitīvi augšanu ietekmējošie faktori. Turklāt visām pētītajām audzēm ir viens

kopīgs zīmīgais gads – 2008. gads, kas raksturojams ar augstām februāra un marta temperatūrām. Vēl kopīgi (vismaz septiņiem parauglaukumiem) būtiskie pozitīvie būtiskie gadi ir 2002. un 2007. Kopīgie negatīvie zīmīgie gadi ir 1952., 1961., 1962., 1985., 1998. un 1999. gads.

5.21 tabula

Pozitīvo, negatīvo un kopējais zīmīgo gadu (ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25) skaits vidēji desmit gados melnalkšņu parauglaukumos.

Parauglaukums	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā
Jūrkalne	3,0	3,0	6,0
Ludza	1,9	2,7	4,5
Melnšils	2,8	2,9	5,7
Renda	2,1	3,1	5,2
Skrunda	2,5	2,2	4,7
Taurene	2,6	3,0	5,6
Tukums	1,7	2,1	3,8
Valka	2,7	3,2	5,9
Viesīte	2,3	2,3	4,6
Zvirgzde	2,0	2,7	4,7

Kopumā 51 klimatiskajam faktoram ir statistiski būtiska korelācija ar kāda no egļu parauglaukumu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām (5.22 tab.), bet tikai 19 no šiem faktoriem ir korelācija ar vismaz divu parauglaukumu intensitātes vērtībām. Līdzīgi kā gadskārtu platumu hronoloģiju gadījumā, kā nozīmīgākie klimatiskie faktori izceļami februāra gaisa temperatūras (gan mēnesī kopumā, gan atsevišķās dekādēs) un aprīļa pirmās dekādes gaisa temperatūras ar pozitīvi ietekmi, tas ir, jo augstākas ir temperatūrās, jo lielākas ir gadskārtu platumu pieaugums salīdzinot ar iepriekšējiem gadiem. Toties jūnija mēneša vidējām gaisa temperatūrām ir negatīva saistība ar četrus parauglaukumu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām. Tas norāda, ka paaugstinātās temperatūras jūnija mēnesī ne tikai ietekmē gadskārtu platumus ilgtermiņā (ko parādīja hronoloģiju analīze), bet arī īstermiņa izmaiņas (salīdzinot konkrēto gadu ar iepriekšējiem pieciem gadiem) saistāmas ar šo faktoru.

Nokrišņu daudzuma saistība ar zīmīgo gadu intensitātes vērtībām ir minimāla. Lai gan kopumā ir 25 nokrišņu faktori, kuriem ir korelācija ar kāda no parauglaukumu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām. Vienlaicīga korelācija ir tikai ar vienu vai divu parauglaukumu vērtībām, tādējādi secināms, ka nokrišņu ietekme uz straujām izmaiņām egļu gadskārtu pieaugumos ir izteikti lokāla, tas ir, nav iespējams definēt vienu faktoru, kas līdzīgi ietekmētu visas egles Latvijas teritorijā.

Klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska pozitīva (+) vai negatīva (-) korelācija ar egles zīmīgo gadu vērtībām. (Parādīti tikai tie klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska korelācija ar vismaz divu parauglaukumu vērtībām.)

Temperatūras										
	Jūrkalne	Ludza	Melnsils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Februāris		+	+		+			+		
Aprīlis		+						+		+
Jūnijs				-	-		-		-	
Dekādes										
Oktobris_II				-			-			
Decembris_III				+				+		
Janvāris_III	+	+			+	+		+		
Februāris_I		+	+					+		
Februāris_II		+	+		+	+		+	+	+
Marts_II		+						+		
Marts_III				+				+		
Aprīlis_I		+	+		+	+		+		+
Jūnijs_I		-					-			
Jūlijs_II				+		+	+	+		
Nokrišņi										
	Jūrkalne	Ludza	Melnsils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Jūnijs	+		+							
Dekādes										
Janvāris_III						+		+		
Aprīlis_I	-			-						
Jūnijs_II	+		+							
Jūlijs_II	+		+							
Augusts_III					-		-			

Priežu, tāpat kā egļu parauglaukumu gadījumā, ir 51 klimatiskais faktors, kuram ir statistiski būtiska korelācija ar kāda priežu parauglaukuma zīmīgo gadu intensitātes vērtībām, bet tikai 29 no šiem faktoriem ir korelācija ar vismaz divu parauglaukumu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām (5.23 tab.). Kā nozīmīgākie faktori, kas ietekmē zīmīgo gadu rašanos priedēm, minami marta mēneša un februāra pirmās dekādes vidējās gaisa temperatūras. Abiem šiem faktoriem ir pozitīva saistība ar astoņu no desmit parauglaukumu vērtībām, kas parāda līdzīgu reakciju tāpat kā ar gadskārtu hronoloģijām. Tātad ievērojami šaurākas gadskārtas ir vērojamas gados, kad ir ļoti zemas temperatūras šajos mēnešos, bet daudz platākas gadskārtas gados ar siltām ziemām. Nākamie nozīmīgākie faktori ir februāra mēneša un marta trešās dekādes vidējās gaisa temperatūras, kas saistāms ar iepriekšējiem faktoriem. Pārējo temperatūru faktoru ietekme arī uzskatāma par lokālu. Otrā līdžība ar eglēm ir tā, ka nokrišņu ietekme ir lokāla, jo vairumā gadījumu saistība ir tikai ar viena parauglaukuma zīmīgo gadu intensitātes vērtībām. Daļējs izņēmums varētu būt februāra nokrišņu daudzums – šī mēneša kopējam un atsevišķu dekāžu nokrišņu daudzumam ir pozitīva saistība ar četrus parauglaukumu priežu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām. Pozitīva nokrišņu ietekme ziemā varētu izpausties tā, ka, ja ir samazināts nokrišņu daudzums (sniega segas biezums), tad temperatūrām var būt izteikta negatīva ietekme, bet pie biežākas sniega segas šī ietekme nav tik izteikta.

5. 23 tabula

Klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska pozitīva (+) vai negatīva (-) korelācija ar priedes zīmīgo gadu vērtībām. (Parādīti tikai tie klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska korelācija ar vismaz trīs parauglaukumu vērtībām.)

Temperatūras										
	Jūrkalne	Ludza	Melnšils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Oktobris		+					+		+	
Janvāris		+							+	+
Februāris	+	+	+	+				+	+	+
Marts	+	+	+	+		+		+	+	+
Aprīlis_I		+							+	+
Augusts								+	+	+
Dekādes										
Oktobris_III		+					+		+	
Janvāris_I		+				+			+	+
Februāris_I	+	+	+	+		+		+	+	+
Februāris_II	+	+	+	+				+		+
Februāris_III				+				+	+	+
Marts_I	+	+				+			+	+
Marts_II	+			+				+	+	+
Marts_III	+		+	+	+			+	+	+
Jūnijs_III		+		+	+					
Jūlijs_I		+			+	+				
Augusts_II								+	+	+
Nokrišņi										
	Jūrkalne	Ludza	Melnšils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Dekādes										
Februāris_I				+				+		+

Ar bērzu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām statistiski būtiska korelācija ir vēl mazākam klimatisko faktoru skaitam, nekā ar hronoloģiju vērtībām – tikai 37 faktoriem (5.24 tab.), turklāt tikai 13 faktoriem ir statistiski būtiska korelācija ar vismaz divu parauglaukumu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām. No tā būtu izdarāms pirmais secinājums, ka bērziem zīmīgo gadu rašanās ir samērā maz saistīt ar klimatisko faktoru ietekmi.

Kā nozīmīgākais faktors atkal būtu jāizceļ nokrišņu daudzums oktobra mēnesī, sevišķi pirmajā dekādē (saistība ar četrus parauglaukumu vērtībām), kam ir pozitīva ietekme. No temperatūru faktoriem vienīgi var izcelt februāra trešās dekādes vidējo gaisa temperatūru, kurai ir pozitīva statistiski būtiska saistība ar trīs parauglaukumu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām. Tas nozīmē, ka bērziem platākas gadskārtas novērotas tajos gados, kad ziemas ir bijušas siltas, bet daudz šaurākas gadskārtas ir gados ar aukstām ziemām. Šāda iezīme daļēji ir raksturīga arī citām pētījumā iekļautajām sugām, ka straujas gadskārtu platumu izmaiņas vērojamas atkarībā no ziemas temperatūras. Pārējo faktoru ietekme ir izteikti lokāla.

5.24 tabula

Klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska pozitīva (+) vai negatīva (-) korelācija ar bērzu zīmīgo gadu vērtībām.

(Parādīti tikai tie klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska korelācija ar vismaz divu parauglaukumu vērtībām.)

Temperatūras										
	Jūrkalne	Ludza	Melnšils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Oktobris				+						+
Augusts							+	-		
Dekādes										
Oktobris_I				+						+
Februāris_III		+							+	+
Nokrišņi										
	Jūrkalne	Ludza	Melnšils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Oktobris				+		+	+			+
Februāris						+	+			
Marts							+		+	
Dekādes										
Oktobris_I				+		+	+			+
Oktobris_II		+		+						
Novembris_II							-	-		
Decembris_I	+							+		
Maijs_III						+		+	+	
Jūnijs_II			+			+				

Kopumā 44 klimatiskajiem faktoriem ir statistiski būtiska korelācija ar kāda no melnalkšņu parauglaukumu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām, bet tikai 19 no šiem faktoriem ir korelācija ar vismaz divu parauglaukumu intensitātes vērtībām (5.25 tab.). Turklāt tikai vienam faktoram ir korelācija ar četrus parauglaukumus un diviem faktoriem ar trīs parauglaukumu zīmīgo gadu intensitātes vērtībām. Tādējādi varam secināt, ka melnalkšņiem apskatītie klimatiskie faktori zīmīgo gadu veidošanos ietekmē lokāli, pat vairāk nekā ilgtermiņa augšanas izmaiņas kā to parādīja hronoloģiju analīze. Vienīgi no faktoriem, kurus var uzskatīt par kopīgiem vismaz daļai Latvijā augošo melnalkšņu ir janvāra mēneša un janvāra otrās dekādes vidējās gaisa temperatūras, kurām ir pozitīva saistība ar gadskārtu platumu straujām izmaiņām līdzīgi kā citām pētījumā iekļautajām koku sugām. Nokrišņu ietekme uz zīmīgo gadu veidošanos ir minimāla un lokāla, kas visdrīzāk ir atkarīgs no konkrētajiem augšanas apstākļiem (piemēram, gruntsūdens līmeņa vai barības vielu daudzuma) katrā no parauglaukumiem.

5.25 tabula

Klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska pozitīva (+) vai negatīva (-) korelācija ar melnalkšņu zīmīgo gadu vērtībām. (Parādīti tikai tie klimatiskie faktori, kuriem ir statistiski būtiska korelācija ar vismaz divu parauglaukumu vērtībām.)

Temperatūras										
	Jūrkalne	Ludza	Melnsils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Janvāris		+			+	+			+	
Februāris	+								+	
Marts						+			+	
Jūlijs					+			+		
Augusts		+						+		
Dekādes										
Oktobris_II	+		+							
Novembris_I					-	-				
Novembris_II	+							+		
Janvāris_I					+				+	
Janvāris_II					+	+		+		
Februāris_I	+								+	
Maijs_II		+							+	
Nokrišņi										
	Jūrkalne	Ludza	Melnsils	Renda	Skrunda	Taurene	Tukums	Valka	Viesīte	Zvirgzde
Mēneši										
Novembris	+			+						
Dekādes										
Novembris_I			+	+	+					
Janvāris_II						+		+		
Marts_II	+									+
Aprīlis_I	-		-							
Maijs_I					-				+	
Jūnijs_III	+									+

5.7 Klimatisko faktoru izskaidrotā zīmīgo gadu variācijas daļa

Klimatisko faktoru (vidējā gaisa temperatūra un nokrišņu daudzums) tikai daļēji izskaidro zīmīgo gadu rašanos egļēs (daļēji izskaidro strauju pieauguma samazināšanos vai palielināšanos). Ludzas parauglaukumā klimats izskaidro 48,8% no zīmīgo gadu intensitātes vērtību variācijas (5.26. tab.), toties Viesītes parauglaukumā tikai 6,7%. Jāņem vērā, ka zīmīgo gadu rašanās var būt saistīta ne tikai ar klimatiskajiem faktoriem, bet arī, piemēram, ar kaitēkļu invāziju, izmaiņām gruntsūdens līmeņos, kā arī kādiem citiem abiotiskiem un biotiskiem faktoriem, kas vienlaicīgi ir ietekmējuši vairākus kokus vienas audzes ietvaros. Atšķirības mežu augšanas apstākļu tipos neizskaidro vērtību variācijas apjomu, jo, piemēram, Viesītes un Ludzas parauglaukumi, kuros attiecīgi ir vismazākā un visaugstākā izskaidrotā variācija, abi damakšņi. Tukuma un Valkas parauglaukumos, kuros ir visatšķirīgākie augšana apstākļi (susinātie), izskaidrotā variācija ir līdzīga citiem tipiem. Arī ģeogrāfiskais novietojums nav uzskatāms par noteicošo faktoru. Drīzāk šīs atšķirības skaidrojamas ar kādiem lokāliem faktoriem, piemēram, gruntsūdens līmeņa izmaiņām konkrētajā audzē, vai arī lokālām kaitēkļu invāzijām.

Ņemot vērā, ka daļā parauglaukumu izskaidrotā variācija ir zema, tad attiecīgi arī prognozes, kuras tiks veiktas ar šiem datiem jāvērtē piesardzīgi, jo prognozēšanas laikā tiks ņemta vērā tikai klimata ietekme.

5.26 tabula

Ar klimatiskajiem faktoriem izskaidrotā egļu zīmīgo gadu vērtību variēšanas daļa.

	Izskaidrotā variācija
Jūrkalne	18,65
Ludza	48,79
Melnšils	26,30
Renda	22,96
Skrunda	38,79
Taurene	37,06
Tukums	24,19
Valka	33,61
Viesīte	6,69
Zvirgzde	12,78

Atšķirībā no eglēm, priedēm klimatiskie faktori izskaidro lielāku zīmīgo gadu vērtību variēšanas daļu. Zemākais rādītājs ir Tukuma parauglaukuma priedēm – 21,2%, toties Ludzas parauglaukuma priedēm izskaidrotā variācija ir jau 54,2% (5.27 tab.). Tātad priedēm klimats ir būtiskāks faktors straujām pieauguma izmaiņām gan pozitīvā, gan negatīvā virzienā. Ar šādiem datiem veiktās prognozes arī jau būs uzskatāmas par labākām, nekā atsevišķos egļu parauglaukumos. Izskaidrotās variācijas apjomu arī priedēm nevar skaidrot ar mežu augšanas apstākļu tipiem (vismaz balstoties uz pieejamo informācijas apjomu). Piemēram, Jūrkalnes un Rendas parauglaukumi, kuriem izskaidrotās variācijas apjoms atšķiras vairāk kā divas reizes, abi ir damaksni, turklāt arī ģeogrāfiskais novietojums (Latvijas rietumu daļa) ir līdzīgs. Tādējādi varam apstiprināt novērojumu, ka zīmīgo gadu rašanās ir atkarīga ne tikai no faktoriem, kas ir kopīgi visā Latvijas teritorijā, bet liela nozīme ir arī lokāliem faktoriem, kas ir atšķirīgi starp audzēm.

5.27 tabula

Ar klimatiskajiem faktoriem izskaidrotā priežu zīmīgo gadu vērtību variēšanas daļa.

	Izskaidrotā variācija
Jūrkalne	49,70
Ludza	54,16
Melnšils	27,29
Renda	23,07
Skrunda	25,71
Taurene	31,82
Tukums	21,19
Valka	23,22
Viesīte	28,75
Zvirgzde	29,18

To, ka bērziem zīmīgo gadu rašanās ir ar salīdzinoši mazu saistību ar klimata ietekmi, parāda arī ar klimatiskajiem faktoriem izskaidrotās zīmīgo gadu intensitātes vērtību variēšanas daļa. Augstākais rādītājs ir tikai 27,3% (5.28 tab.), kas nozīmē, ka pārējie vairāk kā 70% ir saistāmi ar citu abiotisko un biotisko faktoru ietekmi, kā, piemēram, ar kādu kaitēkļu invāziju, vai slimību izplatību, vai arī gruntsūdens līmeni. Šie rezultāti skaidri parāda, ka bērzu zīmīgo gadu vērtības tikai daļēji varēs raksturot to, kāda būs nākotnes klimatisko apstākļu ietekme uz bērzu augšanu.

5.28 tabula

Ar klimatiskajiem faktoriem izskaidrotā bērzu zīmīgo gadu vērtību variēšanas daļa.

	Izskaidrotā variācija
Jūrkalne	24,40
Ludza	19,29
Melnšils	15,51
Renda	26,70
Skrunda	10,08
Taurene	17,20
Tukums	22,55
Valka	27,31
Viesīte	19,01
Zvirgzde	24,41

Līdzīgi kā citām pētījumā iekļautajām sugām, arī melnskņiem klimatisko faktoru izskaidrotā zīmīgo gadu intensitātes vērtību variēšanas daļa ir ļoti mainīga – no 5,2% Tukuma parauglaukuma melnskņiem līdz 40,6% Jūrkalnes parauglaukuma melnskņiem (5.29 tab.). Melnskņņu gadījumā zemākā izskaidrotā variācija ir parauglaukumam, kura mežu augšanas apstākļu tips ir vēris (sausieņu mežs). Toties pārējiem parauglaukumiem mežu augšanas apstākļu tips atbilst slapjainu, purvainu vai susinātajiem mežiem. Pēc mežu augšanas apstākļu tipa varam sagaidīt, ka šajā parauglaukumā varētu būt salīdzinoši sausa augsne, kas savukārt nozīmē, ka šajā audzē limitējošāki varētu būt ar gruntsūdens līmeni saistītie faktori, nevis tieša klimata ietekme. Arī citās audzēs lielāka loma varētu būt tieši ar gruntsūdens līmeni saistītiem faktoriem, kas diemžēl šajā pētījumā nav ņemti vērā, jo šādi dati nav pieejami.

5.29 tabula

Ar klimatiskajiem faktoriem izskaidrotā melnskņņu zīmīgo gadu vērtību variēšanas daļa

	Izskaidrotā variācija
Jūrkalne	40,60
Ludza	26,78
Melnšils	9,30
Renda	14,32
Skrunda	22,34
Taurene	20,57
Tukums	5,22
Valka	23,59
Viesīte	20,19
Zvirgzde	16,07

5.8 Klimatisko faktoru izmaiņu ietekme uz koku pieaugumu

Lai noskaidrotu gaidāmo klimata izmaiņu (pie mērena, vidējā un krasa izmaiņu scenārija) ietekmi uz pētījumā iekļautajām koku sugām, prognozes izteiktas divos veidos. Pirmkārt, izmantojot regresijas analīzē iegūtos saistību vienādojumus, aprēķināts gaidāmais zīmīgo gadu skaits pie trīs klimata izmaiņu scenārijiem. Otrkārt, analītiski salīdzināti rezultāti par šībrīža klimata saistību ar koku augšanu ilgtermiņā (hronoloģiju analīze) un gaidāmajām izmaiņām būtiskajos klimatiskajos faktoros.

Egle

Atbilstoši prognozētajām klimata izmaiņām zīmīgo gadu intensitātes vērtību modeļi paredz, ka pie mērenām un vidējām klimata izmaiņām zīmīgo gadu skaits būs mazāks nekā pētījuma periodā, savukārt pie krasām klimata izmaiņām zīmīgo gadu skaits vairākās teritorijās varētu palielināties (5.30 tab.). Arī attiecība starp pozitīvajiem un negatīvajiem zīmīgajiem gadiem mainīsies – ja līdz šim eglēm vairāk bija tieši negatīvo zīmīgo gadu skaits, tad turpmāk vairumā parauglaukumu ievērojami pieaugs tieši pozitīvo zīmīgo gadu skaits, bet negatīvo vispār nebūs. Šeit jāņem vērā, ka gandrīz visiem klimatiskajiem faktoriem, kuriem bija ietekme uz zīmīgo gadu veidošanos, šī ietekme bija pozitīva un tā kā klimata pārmaiņu scenāriji paredz, ka būs vērojama vidējo gaisa temperatūru un daļēji arī nokrišņu daudzuma pieaugums, tad paredzams, ka ir mazāka iespējamība veidoties negatīviem zīmīgajiem gadiem. Uz šī fona gan izceļas Rendas, Skrundas un Tukuma parauglaukumi, kuros negatīvo zīmīgo gadu skaits varētu tieši pieaugt. Šajos gadījumos regresijas modeļos bija iekļauti faktori, kuriem ir negatīva ietekme, piemēram, jūnija vidējās gaisa temperatūras un, ja šādiem faktoriem ir paredzēts vērtību pieaugums atbilstoši klimata scenārijiem, tad arī gaidāms, ka varētu pieaugt negatīvo zīmīgo gadu skaits. Tomēr uz visiem šiem rezultātiem jāskatās kritiski, jo prognozētais zīmīgo gadu skaits ietver tikai tiešo klimatisko faktoru (gaisa temperatūru un nokrišņu) ietekmi, bet nav ietverti visi citi faktori, kas arī veido zīmīgos gadus. To ļoti labi raksturo Viesītes parauglaukuma piemērs, kur modeļi neparedz zīmīgos gadus, kaut arī tādi pirms tam bija novēroti. Tātad šajā parauglaukumā dominēja citu faktoru ietekme. Tāpēc nevar apgalvot, ka, piemēram, nākotnē būs ievērojami mazāks negatīvo zīmīgo gadu skaits, bet drīzāk jāsaprot, ka vismaz tiešas klimatisko faktoru ietekmes rezultātā varētu samazināties negatīvo zīmīgo gadu skaits.

5.30 tabula

Prognozētais pozitīvo, negatīvo un kopējais zīmīgo gadu (ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25) skaits vidēji desmit gados eglu parauglaukumos pie mērenām, vidējām un krasām klimata izmaiņām.

Parauglaukums	Mērenas			Vidējas			Krasas		
	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā
Jūrkalne	2,2	0,1	2,3	3,1	0,1	3,2	2,8	0,4	3,2
Ludza	3,3	0,0	3,3	4,1	0,1	4,2	6,0	0,0	6,0
Melnšils	3,1	0,0	3,1	3,0	0,0	3,0	7,2	0,0	7,2
Renda	0,1	0,2	0,3	0,1	0,9	1,0	0,0	2,4	2,4
Skrunda	2,4	0,1	2,5	1,1	1,7	2,8	0,6	1,2	1,8
Taurene	2,9	0,1	3,0	3,6	0,1	3,7	6,7	0,0	6,7
Tukums	0,4	0,8	1,2	0,3	1,1	1,4	0,4	2,4	2,8
Valka	3,6	0,1	3,7	3,2	0,2	3,4	6,9	0,0	6,9
Viesīte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zvirgzde	1,0	0,1	1,1	1,7	0,0	1,7	4,9	0,0	4,9

Egļu hronoloģiju un zīmīgo gadu intensitātes vērtību analīzes parādīja, ka ir vairāki faktori, kuri līdzīgi ietekmē egļu augšanu lielā daļā Latvija teritorijas. Šie faktori ir janvāra, februāra, aprīļa un jūnija vidējās gaisa temperatūras (kopējā mēneša vai kādas dekādes), kā arī janvāra un jūnija nokrišņu daudzums. No temperatūru faktoriem janvāra, februāra un aprīļa vidējo gaisa temperatūru ietekme ir pozitīva, tas ir, platāki egļu gadskārtu platumi tika novēroti gados, kad šajos mēnešos bija paaugstinātas temperatūras. Toties negatīva ietekme novērota jūnija vidējo gaisa temperatūru ietekmei, tas ir, jo augstākas jūnija temperatūras, jo šaurākas egļu gadskārtas. Tā kā visi klimata izmaiņu scenāriji (mērenas, vidējas un krasas izmaiņas) paredz vidējo gaisa temperatūru pieaugumu 21. gadsimta laikā, tad attiecībā uz ziemas mēnešiem var prognozēt, ka samazināsies tādu gadu skaits, kuros eglēm būs samazināts pieaugums sakarā ar ļoti zemām ziemas mēnešu temperatūrām. Klimata izmaiņu negatīvā ietekme varētu izpausties attiecībā uz jūnija gaisa temperatūrām. Jau šobrīd novērojama negatīva ietekme, bet temperatūrām turpinot pieaugt, šī negatīvā ietekme varētu tikai palielināties un jūnija temperatūras var kļūt par vienu no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē egļu augšanu gan tiešā, gan arī pastarpinātā veidā. Arī vairāk dienviņos augošās egļu audzēs, piemēram, Slovēnijas zemienēs, tieši jūnija vidējai gaisa temperatūra ir negatīva ietekme (Levanič, et al., 2009).

Pastarpinātā ietekme būtu saistām ar jūnija nokrišņu daudzumu, kas šobrīd ir galvenais no nokrišņu faktoriem, kas ietekmē egļu augšanu. Rezultāti parāda, ka eglēm ir nepieciešams lielāks nokrišņu daudzums jūnija mēnesī, lai veidotos platākas gadskārtas. Klimata izmaiņu scenāriji attiecībā uz nokrišņiem paredz vairākas iespējas – nelielu pieaugumu sākotnējā periodā, pēc tam izlīdzināšanos, vai arī atsevišķās vietās pat samazināšanos. Tātad, ja nokrišņu daudzums nemainīsies vai samazināsies, tad jūnija un varbūt arī citu mēnešu nokrišņu daudzums būs limitējošais faktors egļu augšanai. Turklāt minimāli mainoties nokrišņu daudzumam, bet pieaugot gaisa temperatūrām, pieaug arī potenciālā evapotranspirācija, kas var izraisīt mitruma deficītu. Kopējais secinājums būtu, ka galvenās izmaiņas egļu augšanā atkarībā no klimata ir jāsaista ar nepietiekamu nokrišņu/mitruma daudzumu.

Priede

Visi trīs klimata izmaiņu scenāriji paredz, ka būs ļoti maz negatīvo zīmīgo gadu (intensitātes vērtības zem -25) visās teritorijās, izņemot Skrundas parauglaukumu pie mērena klimata izmaiņu scenārija (5.31 tab.). Tas ir, samazināsies to gadu skaits, kuros koku pieaugums būs ievērojami mazāks, nekā iepriekšējos piecos gados. Toties pozitīvo zīmīgo gadu skaits ir atkarīgs no klimata izmaiņu scenārija. Zemākais zīmīgo gadu skaits ir pie mērena klimata izmaiņu scenārija, bet vislielākais pie krasām klimata izmaiņām. Šeit izceļas Skrundas, Tukuma un Taurenas parauglaukumi, kuros prognozēts zems zīmīgo gadu skaits. Daļēji tas skaidrojams ar to, ka šajos parauglaukumos jau esošo zīmīgo gadu veidošanās daudz mazākā mērā bija saistīts ar klimatisko faktoru ietekmi, tāpēc arī turpmākajās prognozēs nav novērojama izteikta analizēto klimatisko faktoru ietekme uz zīmīgajiem gadiem. Tam, ka ievērojami samazinās negatīvo zīmīgo gadu skaits (kontroles periodā vidēji virs 2,0 katros desmit gados), būtu iespējami divi skaidrojumi. Pirmkārt, zīmīgo gadu veidošanās ir saistīta ne tikai ar klimata ietekmi, bet arī ar citu faktoru ietekmi, piemēram, ar kaitēkļu invāzijām, kas šajā modelī netiek ņemts vērā. Otrkārt, zīmīgo gadu intensitātes vērtībām ir pārsvarā pozitīva saistība ar klimatiskajiem faktoriem, kas nosaka to veidošanos (šauras gadskārtas un zemas intensitātes vērtības ir gados, kad šo klimatisko faktoru vērtības ir zemas). Visi klimata izmaiņu scenāriju prognozē, ka vidējās gaisa temperatūras (kas ir galvenais ietekmējošais faktors) turpinās paaugstināties, attiecīgi samazinās varbūtība, ka klimata ietekmes rezultātā priedēm veidoties ļoti šauras gadskārtas. Kritiski ir jāskatās uz to, ka varētu ievērojami palielināties pozitīvo zīmīgo gadu skaits, jo no bioloģiskā viedokļa nav iespējams, ka katru gadu tie paši koki augs labāk nekā iepriekšējā gadā, jo jāņem vērā koku dabisko novecošanos un augšanas procesu palēnināšanos.

Prognozētais pozitīvo, negatīvo un kopējais zīmīgo gadu (ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25) skaits vidēji desmit gados prieku parauglaukumos pie mērenām, vidējām un krasām klimata izmaiņām.

Parauglaukums	Mērenas			Vidējas			Krasas		
	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā
Jūrkalne	2,7	0,6	3,3	2,6	0,1	2,7	4,2	0,7	4,9
Ludza	3,6	0,1	3,7	4,9	0,3	5,2	5,3	0,3	5,6
Melnšils	1,4	0,1	1,5	3,3	0,2	3,5	6,4	0,0	6,4
Renda	1,0	0,2	1,2	2,2	0,2	2,4	3,6	0,0	3,6
Skrunda	1,1	1,0	2,1	0,8	0,1	0,9	0,4	0,3	0,7
Taurene	0,4	0,1	0,5	1,0	0,1	1,1	2,1	0,0	2,1
Tukums	1,0	0,0	1,0	0,6	0,0	0,6	1,9	0,0	1,9
Valka	0,3	0,1	0,4	0,6	0,3	0,9	1,0	0,2	1,2
Viesīte	3,4	0,0	3,4	5,1	0,0	5,1	7,6	0,0	7,6
Zvirgzde	1,7	0,0	1,7	2,2	0,0	2,2	7,1	0,0	7,1

Kā parādīja gan zīmīgo gadu, gan hronoloģiju analīze, tad galvenie klimatiskie faktori, kas ietekmē prieku gadskārtu platumu variāciju (gan kopējo gadskārtu platumu, gan atsevišķi pavasara un rudens koksnes platumu) ir janvāra, februāra un marta temperatūras (gan mēnesi kopumā, gan arī atsevišķās dekādēs). Turklāt visiem šiem faktoriem ir pozitīva saistība ar gadskārtu platumu, tas ir, ja klimatisko faktoru vērtības ir zemas (aukstas ziemas), tad arī gadskārtu platumi šajos gados parasti ir daudz šaurāki, toties gados ar siltām ziemām, gadskārtu platumi mēdz būt daudz platāki. Ja apskata visiem šiem trim faktoriem prognozētās izmaiņas pie visiem trim klimata izmaiņu scenārijiem, tad visiem šiem faktoriem tiek prognozēts vidējo vērtību pieaugums, tas ir, samazināsies gadu skaits, kuros ir ļoti zemas ziemas mēnešu temperatūras. Tātad varam sagaidīt, ka negatīvā ziemas mēnešu ietekme būtiski samazināsies, bet nevar pilnīgi apgalvot, ka pieaugot temperatūrām, turpināsies pieaugumu palielināšanās. Drīzāk ir iespējams cits scenārijs. Jau iepriekšējie pētījumi (Elferts, 2008) Latvijā parādīja, ka laika periodā kopš 20. gadsimta 70.-iem un 80.-iem gadiem sāk pazust saistība starp februāra un marta gaisa temperatūrām un prieku gadskārtu pieaugumu. Tātad, šīs temperatūras jau šobrīd sāk sasniegt tādu līmeni, kad to ietekme vairs nav būtiska. Tā kā tiek prognozēts turpmāks vērtību pieaugums, tad drīzāk nākamo 90 gadu laikā ziemas mēnešu temperatūras nebūtiski ietekmēs prieku augšanu (izņēmums varētu būt ekstrēmās vērtības noteiktos gados). Arī citiem temperatūru faktoriem ir prognozēts vērtību pieaugums un tā kā to ietekme vairumā gadījumu līdz šim bija pozitīva, tad varam uzskatīt, ka arī turpmāk šī ietekme būs tāda pati.

Atšķirīga situācija ir ar nokrišņu ietekmi. Līdz šim nokrišņus daudzumu nevar izdalīt kā būtiski ietekmējošu faktoru visā Latvija teritorijā, bet, ja saistība arī tika novērota, tad tā vairumā gadījumu bija pozitīva, tas ir, priedēm bija platākas gadskārtas tajos gados, kad arī nokrišņu daudzums bija palielināts. Klimata izmaiņu scenāriji paredz, ka nokrišņu daudzums noteiktos gadījumos varētu pieaugt vai mainīties minimāli, vai arī pie mērena izmaiņu scenārija atsevišķās teritorijās pat nedaudz samazināties. Attiecībā uz nokrišņu ietekmi varētu būt sagaidāmas lielākas izmaiņas, jo nokrišņu daudzums mainīsies minimāli, bet temperatūru pieaugums būs daudz krasāks. Tā rezultātā var lielākā mērā pieaugt potenciālā evapotranspirācija, kas samazinās priedēm pieejamo mitruma daudzumu. Sevišķi aktuāli tas var kļūt vasaras mēnešos. Lai gan šobrīd to vēl īsti nevar redzēt, bet iespējamākais scenārijs attiecībā uz priedēm ir tas, ka ar laiku tās mainīsies no temperatūru limitētām (kā tas ir šobrīd) uz nokrišņu limitētām kā tas ir raksturīgs priedēm, kas aug vairāk uz dienvidiem (Bogino, et al., 2009). To apliecina novērojumi

Lietuvā (Vitas, Erlickytė, 2008) un Polijā (Cedro, 2001), kur jau parādās būtiska pozitīva saistība ar nokrišņu daudzumu vasaras mēnešos.

Bērzs

Prognozes attiecībā uz gaidāmo būtisko zīmīgo gadu skaitu katrā no parauglaukumiem parāda ļoti atšķirīgus rezultātus dažādos parauglaukumos, bet tendences paliek nemainīgas atkarībā no mērena, vidējā vai krasa klimata izmaiņu scenārija (32. tabula). Pirmkārt, ir daļa parauglaukumu (Skrunda, Taurene, Valka un Zvirgzde), kur tiek prognozēts ļoti mazs zīmīgo gadu skaits. Šie rezultāti parāda, ka būs teritorijas, kurās klimatiskie apstākļi tiešā veidā minimāli ietekmēs straujas izmaiņas gadskārtu platumos, bet zīmīgo gadu rašanās būs lielā mērā saistīta ar citu faktoru izmaiņām, kas diemžēl nav iekļauti šajos modeļos. Daļā parauglaukumu prognozēts negatīvo zīmīgo gadu pieaugums, kas norāda, ka būtiskas izmaiņas sagaidāmas tajos klimatiskajos faktoros, kas negatīvi ietekmē bērzu augšanu konkrētajā parauglaukumā. Toties citos parauglaukumos vērojama pretēja aina. Tā rezultātā attiecībā ar bērziem, nevar izvirzīt vienotu secinājumu par gaidāmo klimata izmaiņu ietekmi uz bērzu zīmīgo gadu rašanos, jo tas ir atkarīgs no lokāliem vides faktoriem.

5.32 tabula

Prognozētais pozitīvo, negatīvo un kopējais zīmīgo gadu (ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25) skaits vidēji desmit gados bērzu parauglaukumos pie mērenām, vidējām un krasām klimata izmaiņām.

Parauglaukums	Mērenas			Vidējas			Krasas		
	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā
Jūrkalne	0,9	1,2	2,1	1,2	1,1	2,3	1,8	0,9	2,7
Ludza	0,1	0,3	0,4	0,1	0,0	0,1	0,1	1,0	1,1
Melnšils	0,0	2,1	2,1	0,0	2,7	2,7	0,1	4,2	4,3
Renda	1,3	0,1	1,4	2,2	0,0	2,2	1,8	0,0	1,8
Skrunda	1,3	0,0	1,3	1,4	0,0	1,4	0,7	0,0	0,7
Taurene	0,2	0,1	0,3	0,2	0,0	0,2	0,3	0,0	0,3
Tukums	0,9	0,2	1,1	0,7	0,3	1,0	3,2	0,0	3,2
Valka	0,1	0,3	0,4	0,2	0,4	0,6	0,0	0,2	0,2
Viesīte	0,6	0,3	0,9	1,8	0,0	1,8	3,3	0,1	3,4
Zvirgzde	0,3	0,6	0,9	1,3	0,3	1,6	0,4	0,2	0,6

Līdzīgi kā ar melnalkšņiem, arī bērziem nav vienota klimatiskā faktora, kas ietekmētu to augšanu visā Latvijas teritorijā, ko parādīja gan zīmīgo gadu, gan arī hronoloģiju analīze, tāpēc arī grūti izteikt vienotu pieņēmumu par to, kā norisināsies bērzu augšanu pie dažādiem klimata izmaiņu scenārijiem.

Galvenie faktori, kam būtu jāpievērš uzmanību, ir nokrišņu daudzums. Vairāku mēnešu nokrišņu daudzumam ir pozitīva saistība ar bērzu gadskārtu platumu izmaiņām. Klimata izmaiņu scenāriji paredz, ka nokrišņu daudzums sākotnēji varētu pieaugt, bet pēc tam nostabilizēties vai arī pie mērena klimata izmaiņu scenārija pat nedaudz samazināties. Tātad, ja nokrišņu daudzums pieaugs, tad varam sagaidīt, ka tas radīs pozitīvu efektu uz bērzu augšanu. Bet nokrišņu samazinājums var radīt negatīvu efektu. Turklāt nokrišņu daudzuma izmaiņas nedrīkst skatīt atrauti no vidējo gaisa temperatūru izmaiņām, jo pēc visiem klimata izmaiņu scenārijiem ir paredzēts, ka vidējās gaisa temperatūras pieaugs. Jau šobrīd atsevišķās teritorijās noteiktu mēnešu gaisa temperatūrām ir negatīva ietekme uz bērzu pieaugumu – pieaugot temperatūrām, šī negatīvā ietekme var izpausties vēl vairāk. Turklāt, pieaugot temperatūrām, pieaug arī potenciālā

evapotranspirācija, kas samazina potenciāli bērziem pieejamo mitruma daudzumu, kas atkal var radīt negatīvu efektu.

Melnalknis

Attiecībā uz melnalkšņiem nav redzamas vienādas zīmīgo gadu izmaiņas visos parauglaukumos atkarībā no klimata izmaiņu scenārijiem, kā tas bija vērojams, piemēram, priežu gadījumā. Ir parauglaukumi (Jūrkalne, Ludza un Valka) (5.33 tab.), kuros prognozēts ievērojams pozitīvo zīmīgo gadu pieaugums (lielākais skaits pie krasās klimata izmaiņām). Tas nozīmē, ka šajos parauglaukumos šo gadu rašanās saistāma ar klimatiskajiem faktoriem, kuriem ir pozitīva ietekme un šie faktoriem tiek prognozēts vērtību pieaugums. Skrundas un Tauresnes parauglaukumos varētu pieaugt tieši negatīvo zīmīgo gadu skaits, bet minimāls būs pozitīvo zīmīgo gadu skaits. Šajos gadījumos noteicošie faktori bija ar negatīvu ietekmi (novembra un jūnija temperatūras). Pieaugot šo faktoru turpmākajām vērtībām, var sagaidīt lielākā mērā samazinātu pieaugumu. Tādējādi attiecībā uz melnalkšņiem un zīmīgo gadu vērtībām nav iespējams izdarīt vienotu secinājumu.

Atšķirībā no eglēm un priedēm, melnalkšņiem ne hronoloģiju, ne zīmīgo gadu intensitātes vērtības neuzrādīja vienotus klimatisko faktorus, kas ietekmētu melnalkšņu gadskārtu pieaugumus visā Latvijas teritorijā līdzīgi. Attiecīgi nav iespējams izvirzīt kopīgu secinājumu par nākotnes klimata pārmaiņu ietekmi uz melnalkšņu augšanu Latvijā.

Viens no secinājumiem varētu būt tas, ka vismaz šobrīd lielai daļai no klimatisko faktoru (gan vidējās temperatūras, gan nokrišņu daudzuma) ir pozitīva saistība ar gadskārtu platumu pieaugumu un pēc klimata izmaiņu scenāriju šiem faktoriem ir prognozēts vērtību pieaugums, tātad varam paredzēt, ka samazināsies šo klimatisko faktoru negatīvais efekts uz gadskārtu pieaugumu. Taču tas neattiecas uz visām teritorijām, jo vismaz daļai no klimatiskajiem faktoriem bija negatīva saistība ar gadskārtu pieaugumu (sevišķi nokrišņu daudzuma faktori) – pieaugot šo faktoru vērtībām (pieaugot nokrišņu daudzumam), var rasties papildus negatīvais efekts uz gadskārtu pieaugumu.

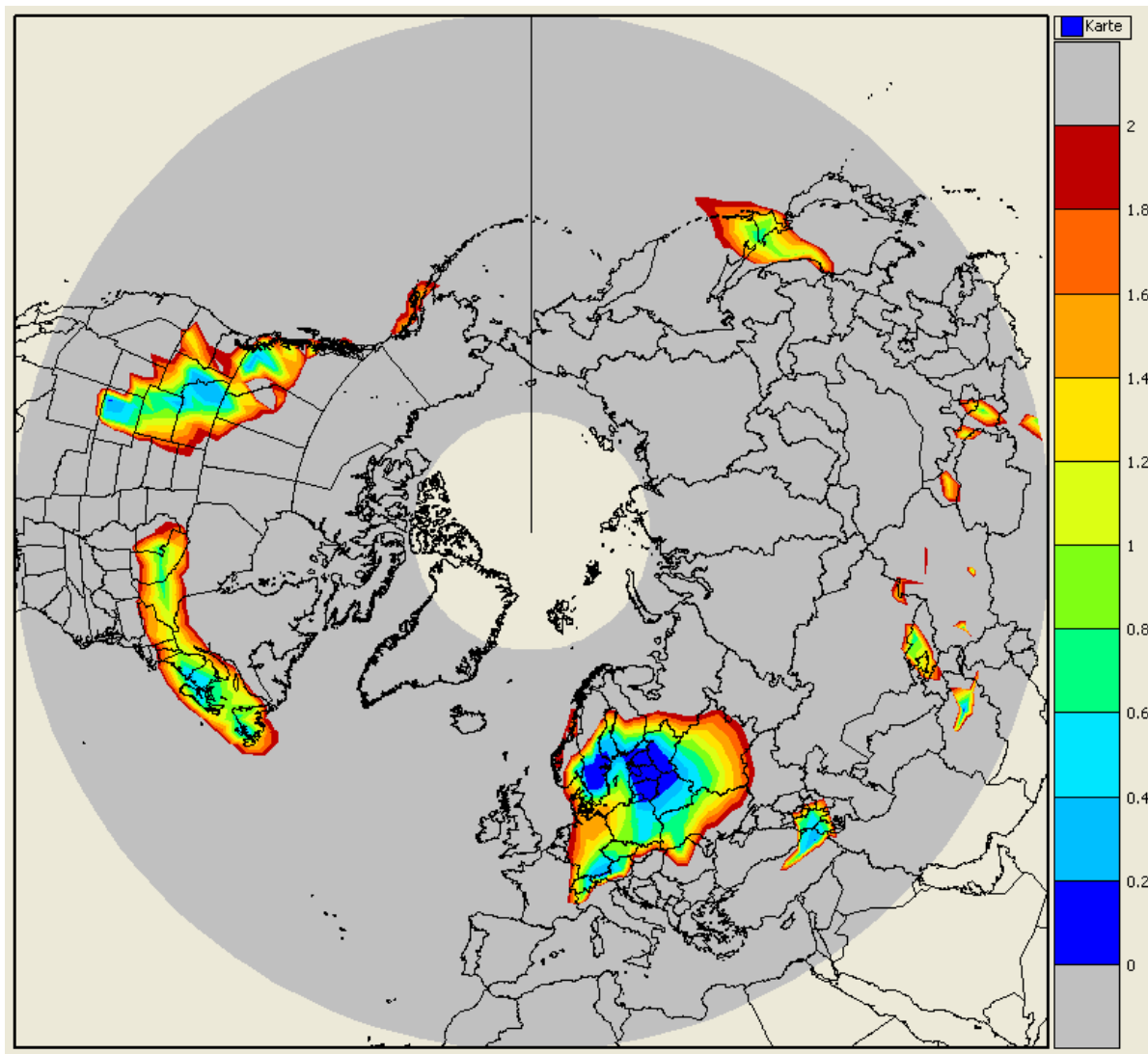
5.33 tabula

Prognozētais pozitīvo, negatīvo un kopējais zīmīgo gadu (ar intensitātes vērtībām virs 25 vai zem -25) skaits vidēji desmit gados melnalkšņu parauglaukumos pie mērenām, vidējām un krasām klimata izmaiņām.

Parauglaukums	Mērenas			Vidējas			Krasas		
	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā	Pozitīvi	Negatīvi	Kopā
Jūrkalne	2,4	0,6	3,0	2,6	0,6	3,2	4,0	0,2	4,2
Ludza	5,1	0,2	5,3	5,0	0,3	5,3	7,9	0,0	7,9
Melnšils	0,0	0,3	0,3	0,0	0,1	0,1	0,0	1,1	1,1
Renda	0,1	1,2	1,3	0,7	1,4	2,1	0,6	1,3	1,9
Skrunda	0,0	1,1	1,1	0,3	0,9	1,2	0,0	0,7	0,7
Taurene	0,2	0,6	0,8	0,3	1,2	1,6	0,2	3,7	3,9
Tukums	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	1,4	0,0	1,4
Valka	3,0	0,2	3,2	2,8	0,4	3,2	6,2	0,1	6,3
Viesīte	0,7	0,0	0,7	1,7	0,1	1,8	2,4	0,2	2,6
Zvirgzde	0,7	0,0	0,7	1,1	0,3	1,4	1,7	0,0	1,7

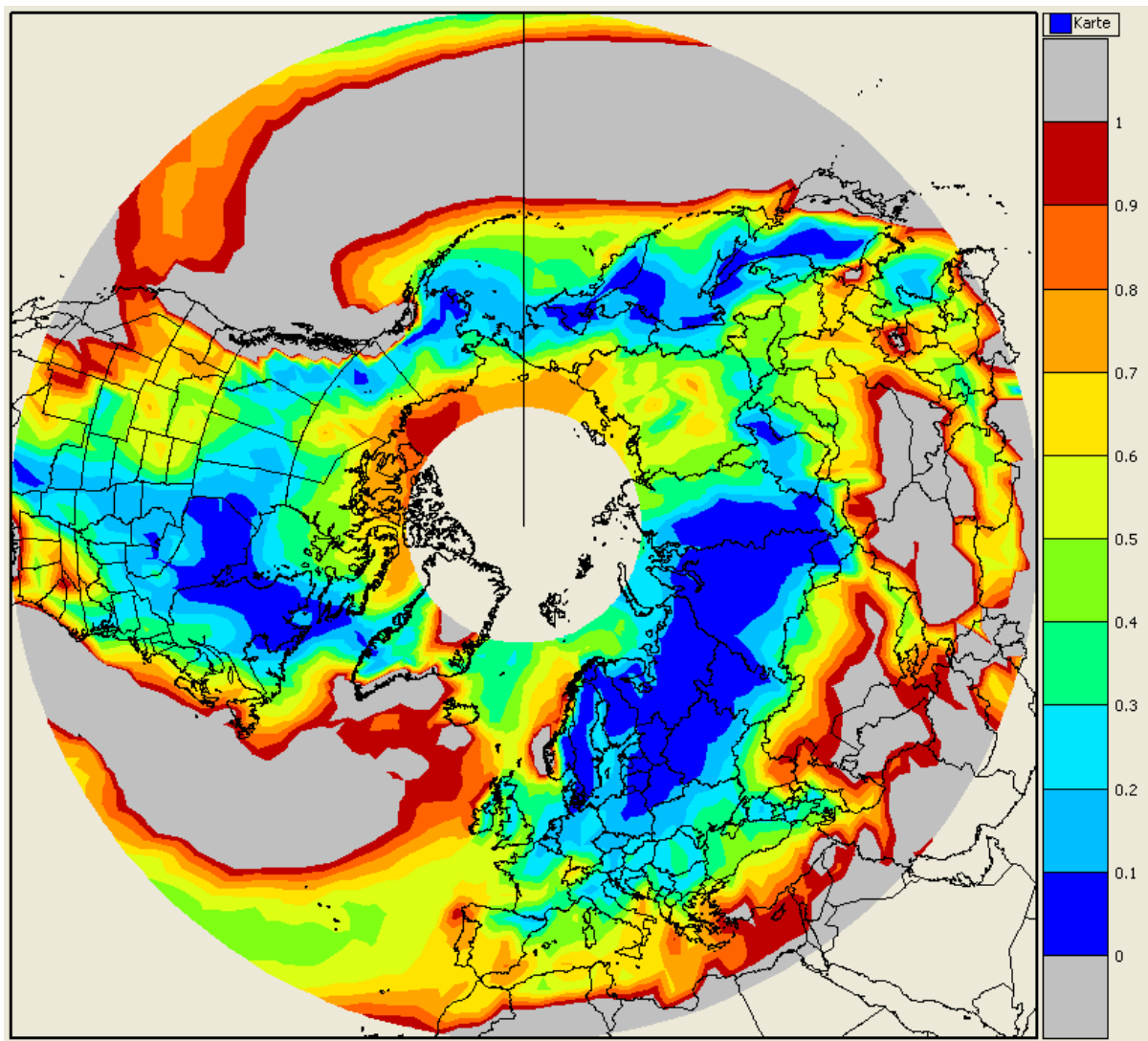
PIELIKUMS: Latvijas klimats pasaules ziemeļu puslodes klimata kontekstā

1. Latvijas mūsdienu klimats



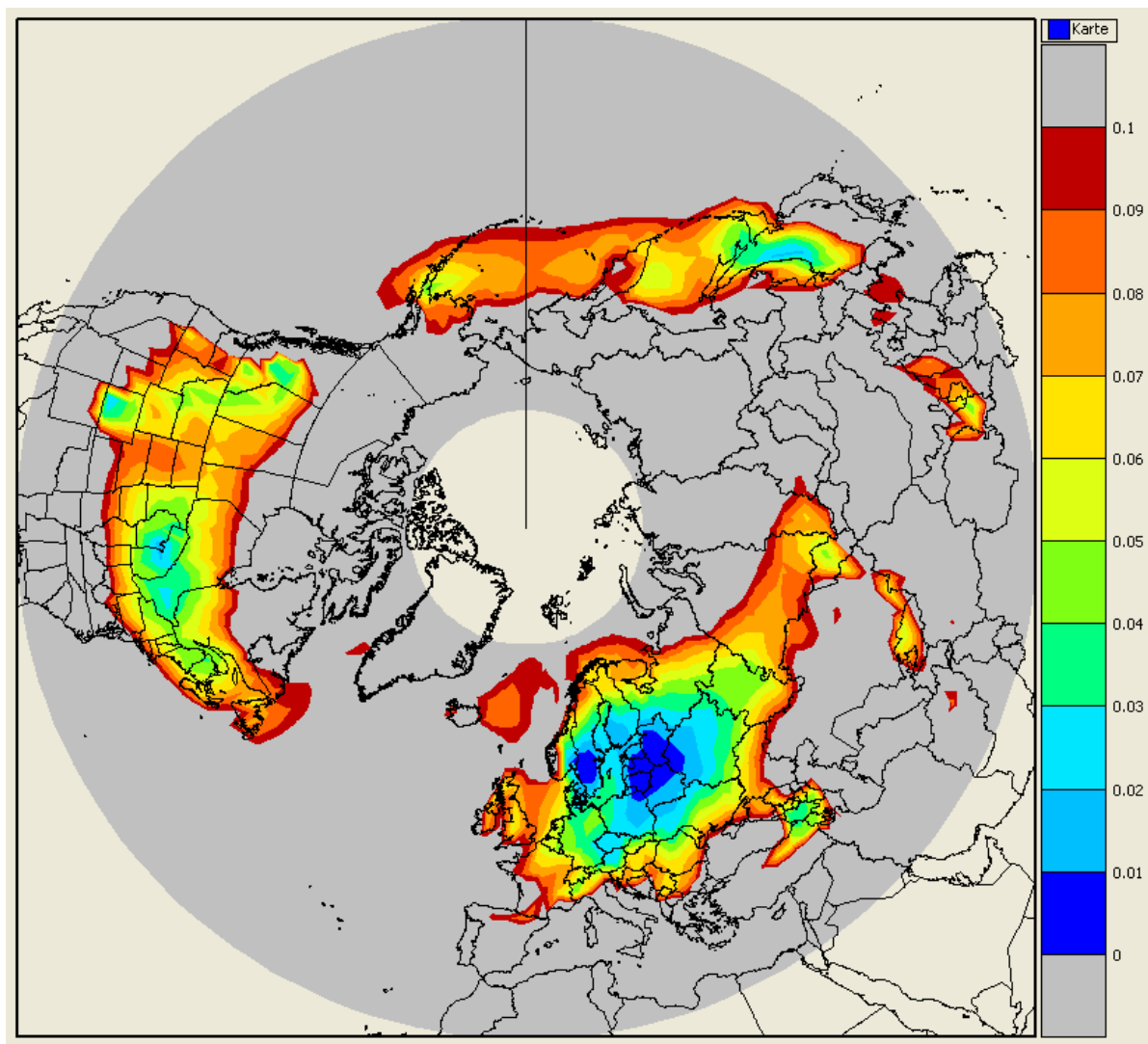
1. attēls. Ziemeļu puslodes mūsdienu klimata atšķirība ΔT_{CTL} no Latvijas mūsdienu klimata. Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-2 °C.

Konstatēts, ka $\Delta T_{CTL} < 0.2$ °C atbilst reģionam, kas iekļauj Latvijas, Lietuvas, Igaunijas teritorijas, daļu D-Zviedrijas un Z-Polijas. Nosacījumam atbilst arī neliela teritorija Krievijā Latvijas-Krievijas robežas tuvumā. Daudz plašāks ir apgabals, kur $\Delta T_{CTL} < 0.8$ °C – tajā iekļaujas arī reģioni Z-Amerikas R un A daļās, plašs C-Eiropas reģions (Polija, Baltkrievija, Z-Ukraina), kalnu apgabali D-Eiropā, kā arī apgabali ZA-Turcijā, Armēnijā, Gruzijā.



2. attēls. Ziemeļu puslodes mūsdienu klimata atšķirība Δp_{CTL} no Latvijas mūsdienu klimata. Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-1 mm/dienn.

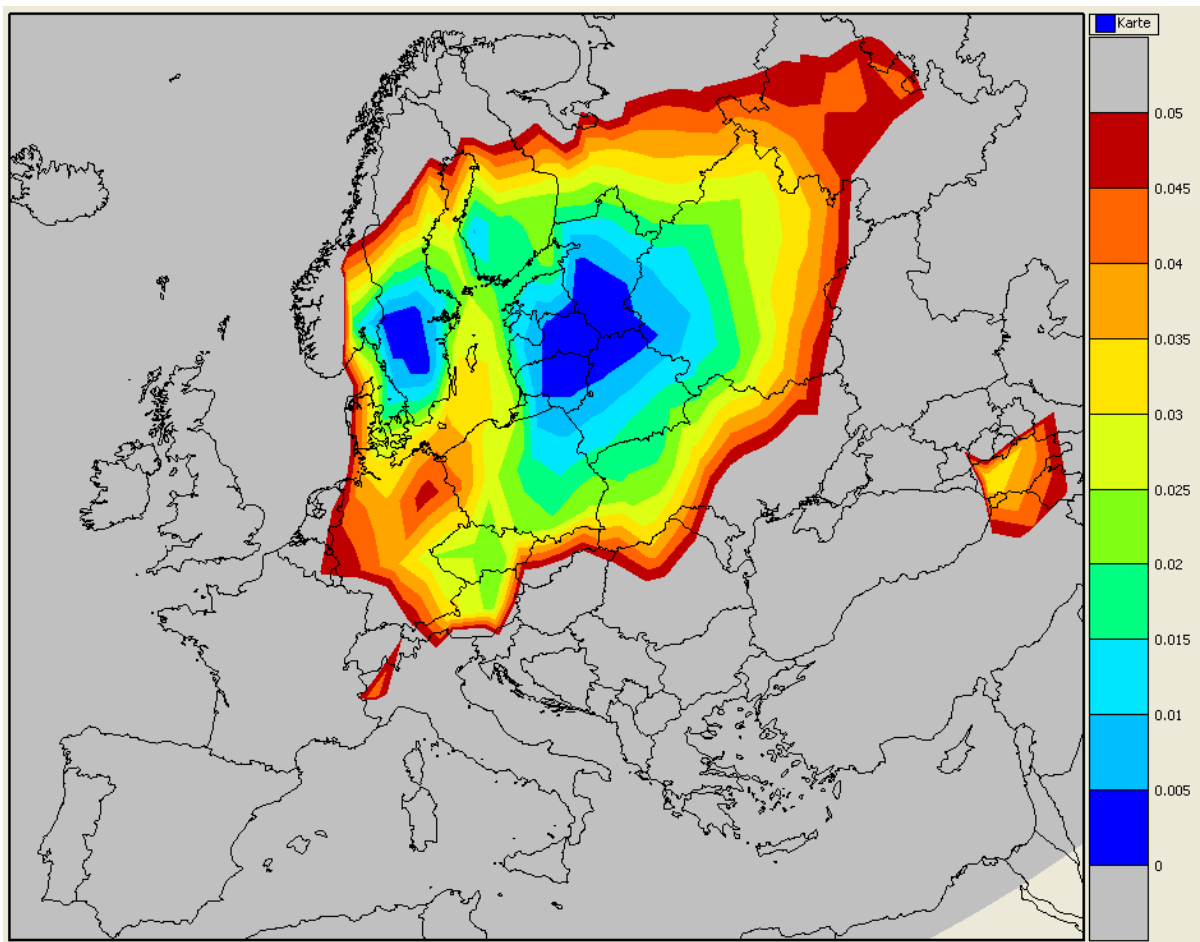
Redzams, ka pašreizējie Latvijas nokrišņu apstākļi ir līdzīgi ($\Delta p_{CTL} < 0.1$ mm/dienn.) ar Lietuvas, Igaunijas, Z-Baltkrievijas reģionu, plašu reģionu Z-Krievijā, Somijā un Zviedrijā. No Eiropai tālākiem apgabaliem līdzība vērojama Z-Amerikas ZA. Būtiskas atšķirības ($\Delta p_{CTL} > 0.7$ mm/dienn.) vērojamas ar Norvēģijas un Portugāles piekrasti, kā arī Spānijas dienvidu reģionu.



3. attēls. Ziemeļu puslodes mūsdienu klimata atšķirība Δ_{CTL} no Latvijas mūsdienu klimata. Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.1 (0-10%).

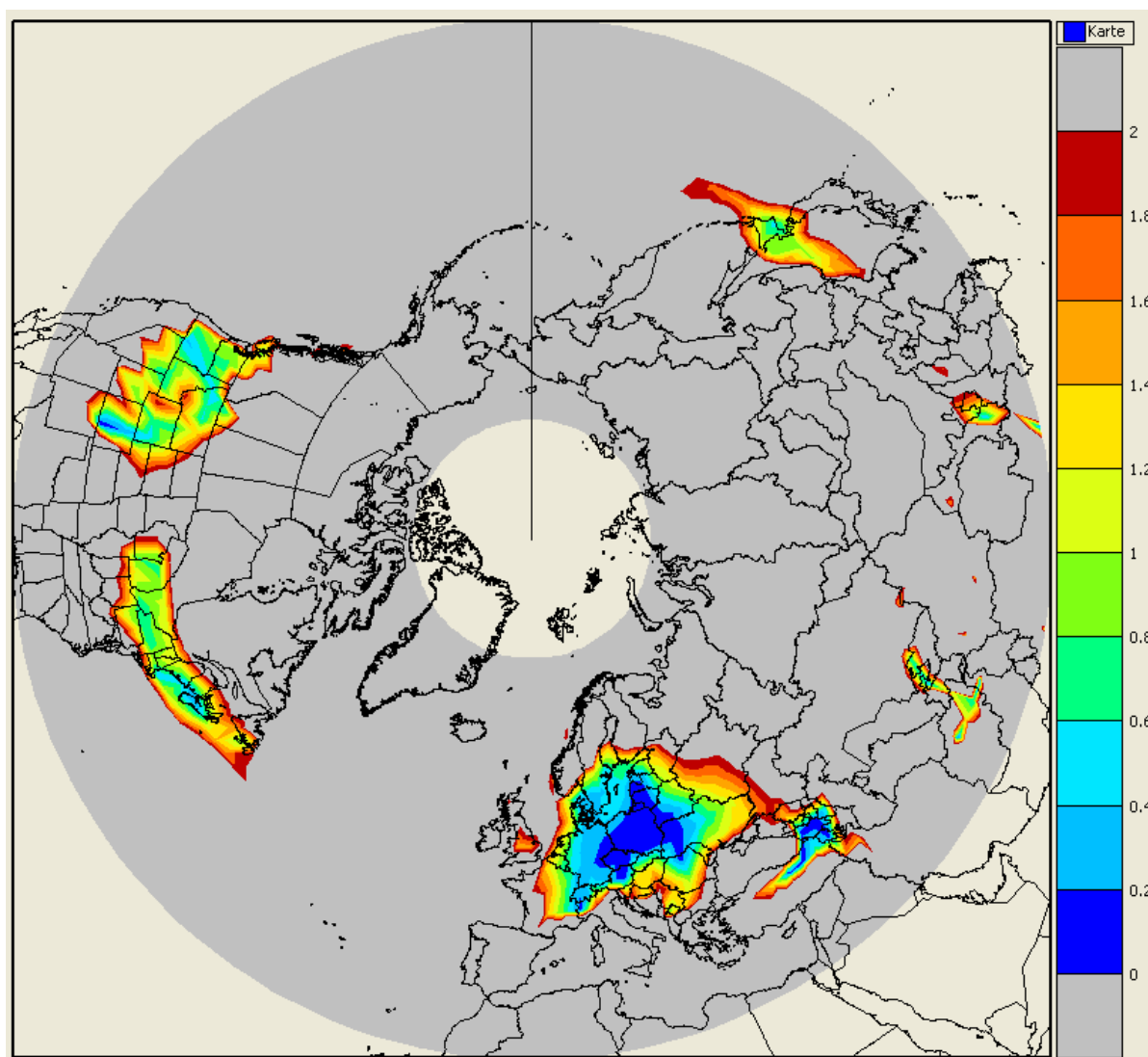
Parādīti apgabali pasaulē, kuru klimatiskais attālums mūsdienās līdz Latvijs mūsdienu klimatam $\Delta_{CTL} < 0.1$. Līdzība vērojama ($\Delta_{CTL} < 0.02$) ar DR-Somiju, Z-Ukrainu, Poliju. Daudz būtiskākas atšķirības ($\Delta_{CTL} > 0.07$) ar Lielbritāniju, Franciju, Norvēģijas piekrastes rajoniem. Ārpus Eiropas līdzība vērojama Z-Amerikas centrālajā daļā un Āzijas austrumos.

Apvienojot temperatūras un nokrišņu apstākļu radītās atšķirības, 3. att. redzams, ka Eiropā Latvijas klimatam tuvākais ($\Delta_{CTL} < 0.01$) ir reģions Zviedrijas dienvidu daļā, Lietuvā, Baltkrievijas Z un Latvijas-Krievijas robežai tuvajā teritorijā.



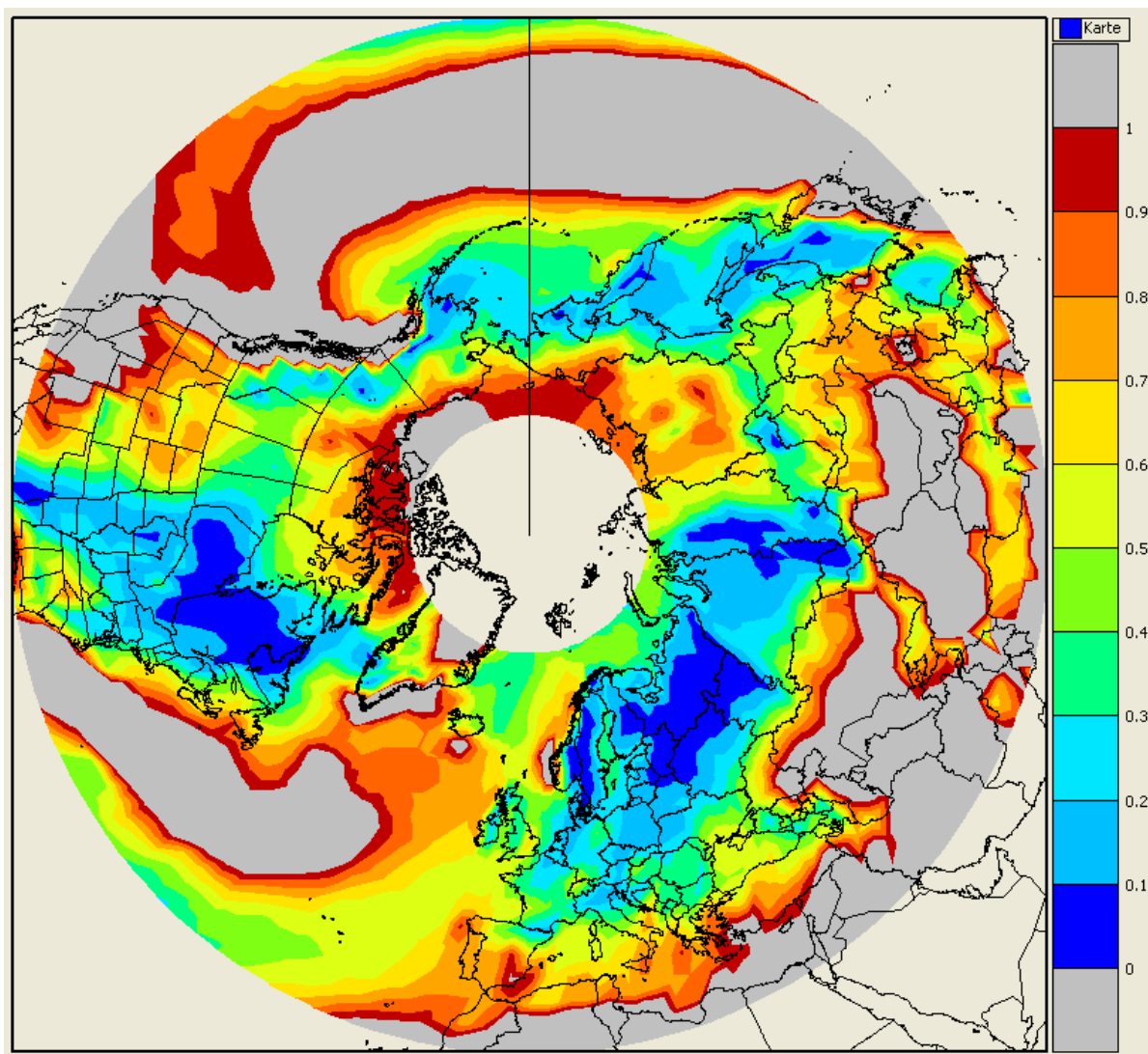
4. attēls. Eiropas mūsdienu klimata atšķirība Δ_{CTL} no Latvijas mūsdienu klimata. Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.05 (0-5%).

2. Latvijas tuvās nākotnes klimats



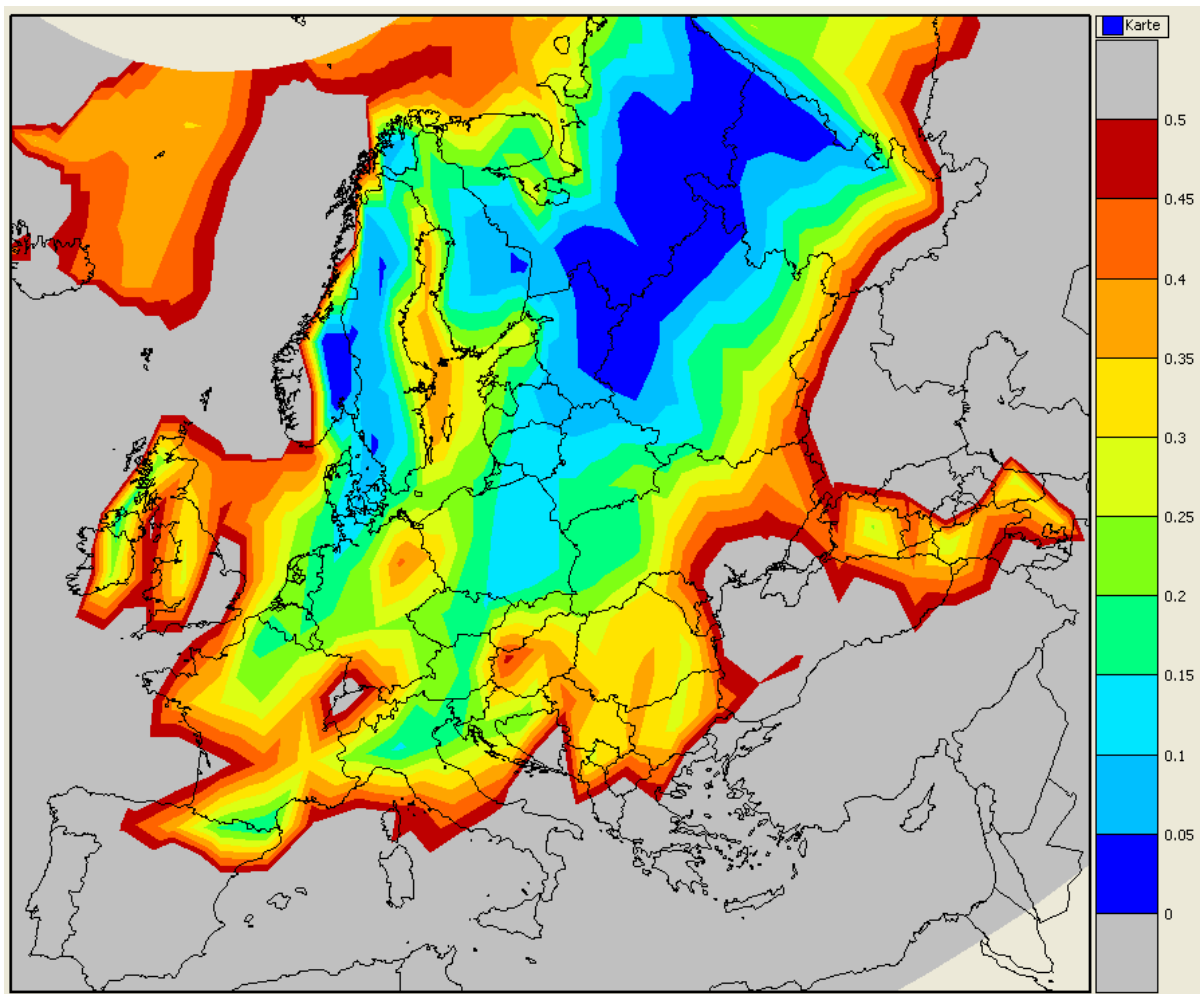
5. attēls. Ziemeļu puslodes mūsdienu klimata atšķirība ΔT_{A1B} no Latvijas tuvās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-2 °C.

Salīdzinot ar situāciju mūsdienās, ar temperatūru saistītie tuvās nākotnes klimata apstākļi Latvijā ir tuvi apstākļiem Lietuvā, Polijā, Ukrainas rietumdaļā, Vācijas austrumdaļā, kā arī nelielam apgabalam Turcijas, Armēnijas, Gruzijas teritorijās. Mazāka līdzība ir vērojama ar Vācijas centrālo daļu, Zviedrijas dienvidiem un Baltkrievijas un Ukrainas centrāliem reģioniem. Arī ārpus Eiropas – Z-Amerikā un tālajos austrumos vērojamas līdzīgas ar temperatūru saistītas iezīmes.

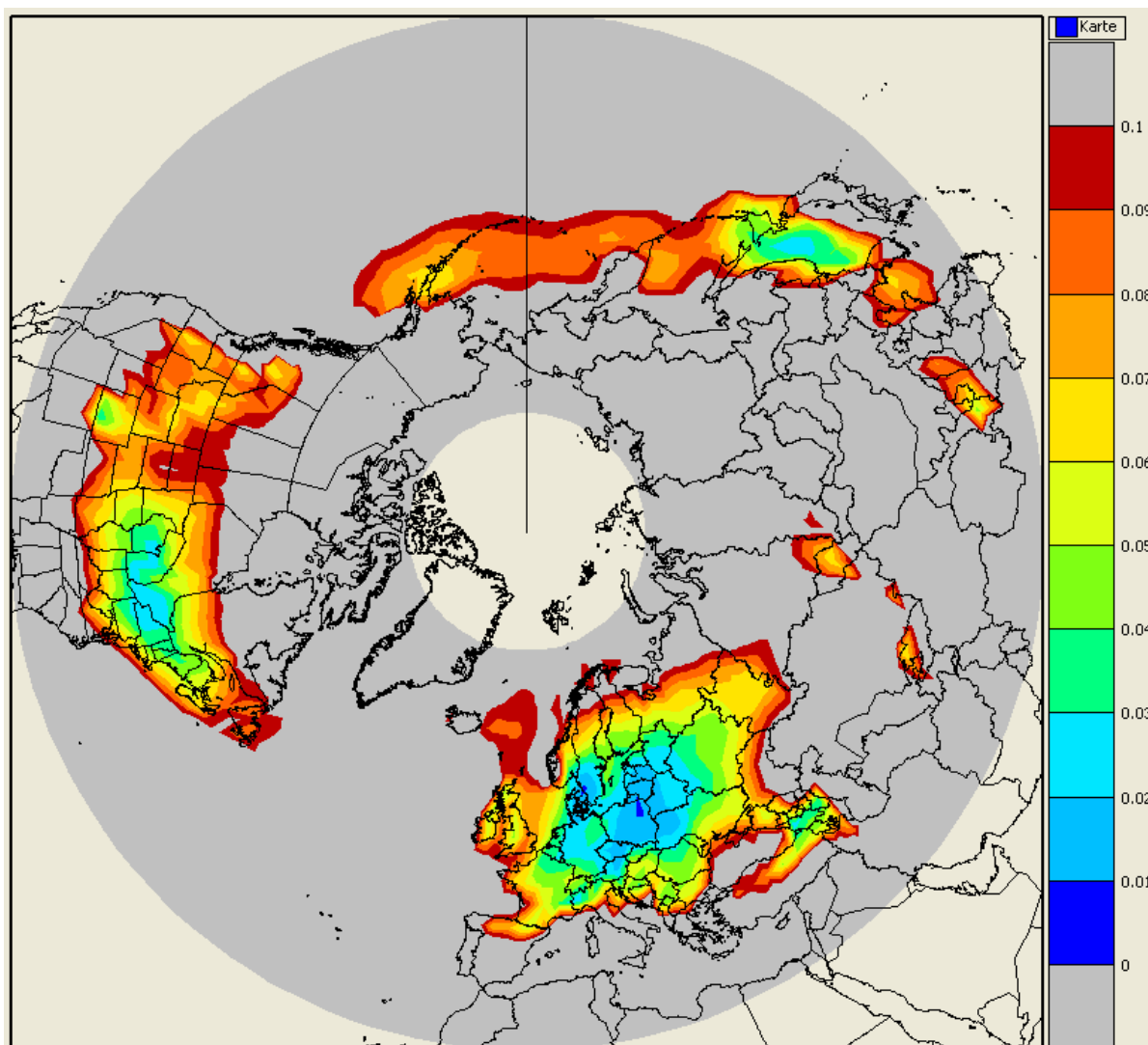


6. attēls. Ziemeļu puslodes mūsdienu klimata atšķirība Δp_{A1B} no Latvijas tuvās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-1 mm/dienn.

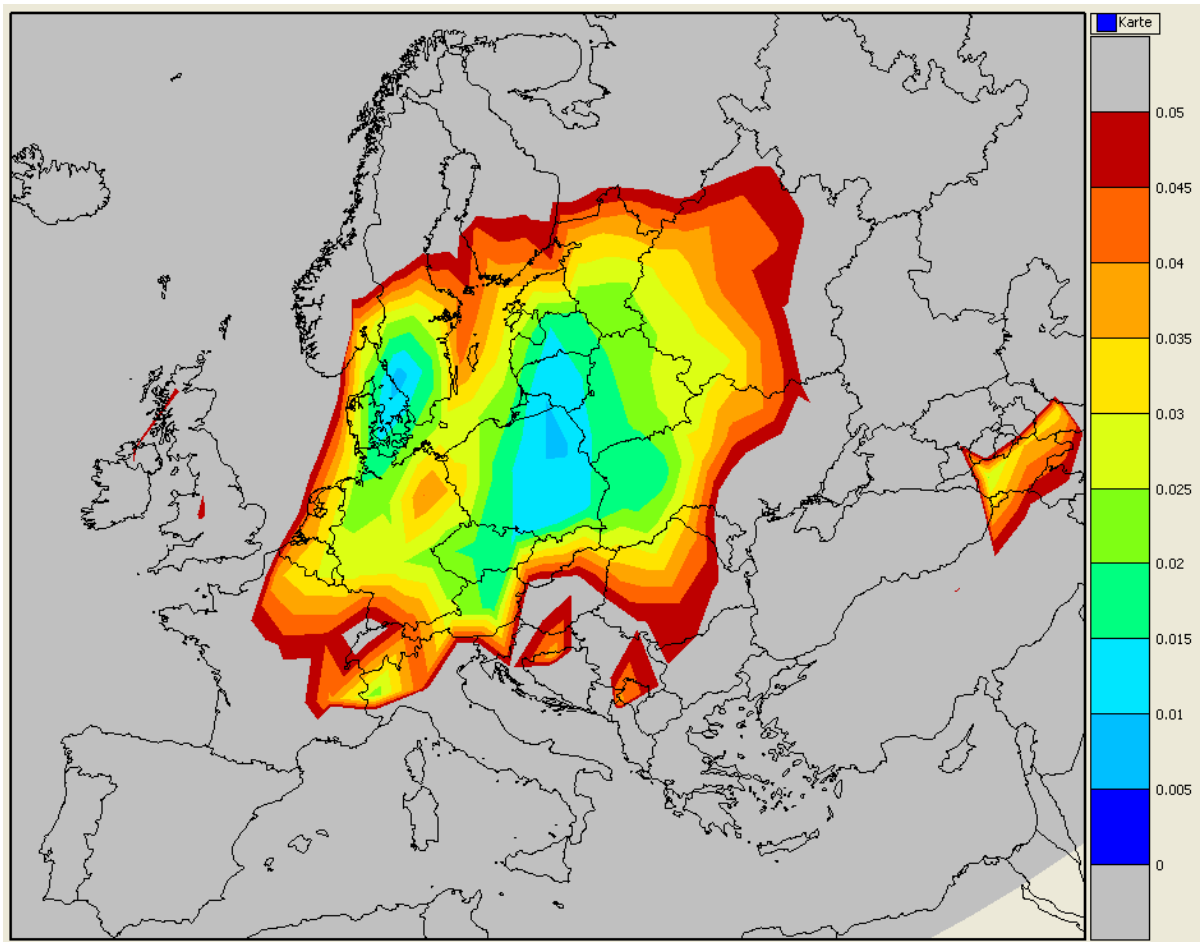
Salīdzinot ar situāciju mūsdienās, ar nokrišņu intensitāti saistītie tuvās nākotnes klimata apstākļi Latvijā ir tuvi apstākļiem divos Eiropas apgabalos – Zviedrijas un Norvēģijas pierobežas rajonos, kā arī A-Somijas un R-Krievijas reģionos. Ārpus Eiropas ar nokrišņiem saistītie apstākļi ir tuvi Kanādas austrumu daļai un reģioniem Krievijas centrālajā daļā.



7. attēls. Eiropas mūsdienu klimata atšķirība Δp_{A1B} no Latvijas tuvās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.5 mm/dienn.



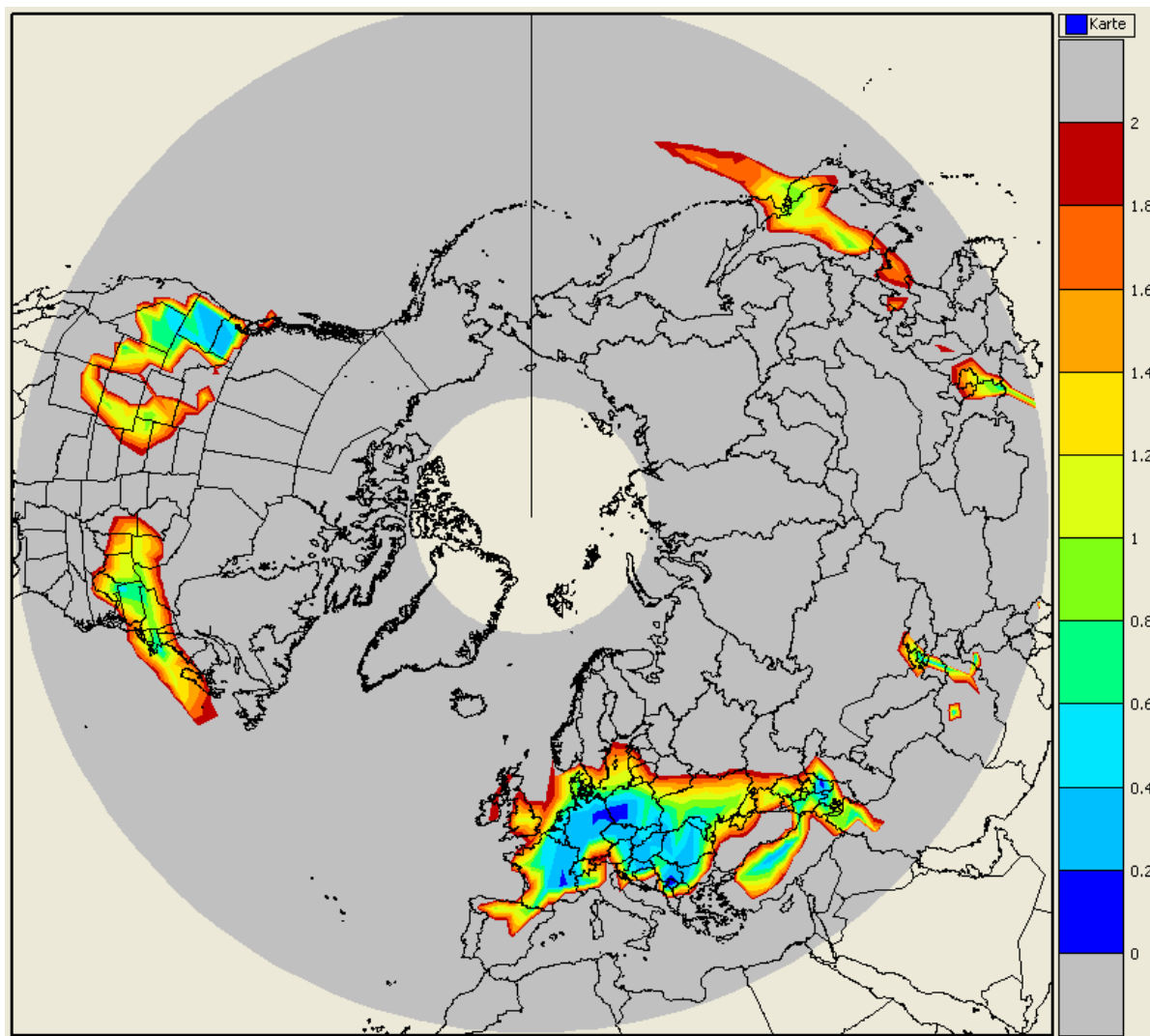
8. attēls. Z puslodes mūsdienu klimata atšķirība Δ_{A1B} no Latvijas tuvās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.1 (0-10%).



9. attēls. Eiropas reģiona mūsdienu klimata atšķirība Δ_{A1B} no Latvijas tuvās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.05 (0-5%).

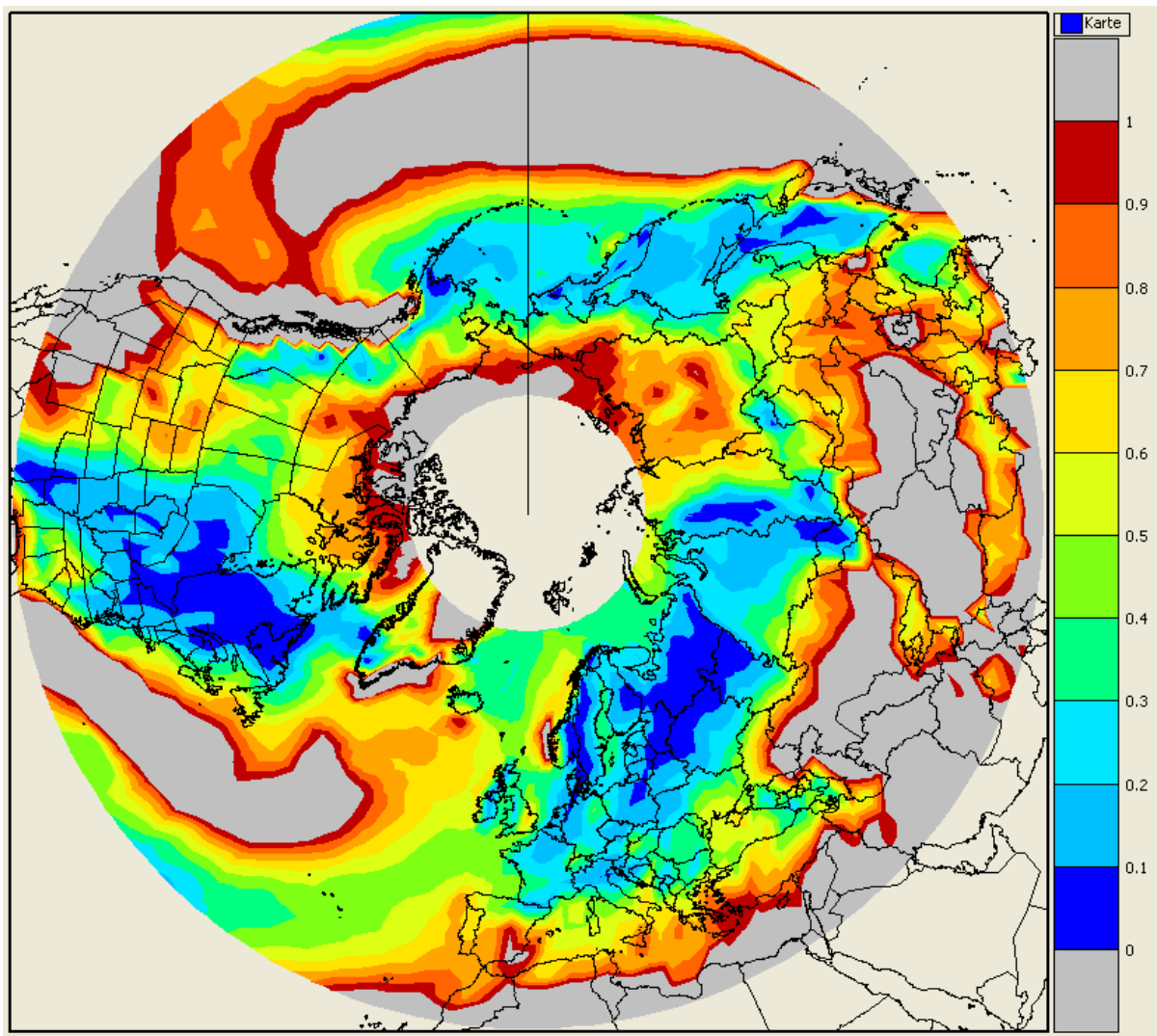
Ievērojot kopējo ar temperatūru un nokrišņiem saistīto parametru ietekmi, 9. att. redzams, ka tuvajā nākotnē Latvijas klimats ir tuvs klimatam Zviedrijas dienvidrietumos, kā arī klimatam Lietuvas teritorijā un Polijas centrālajā un austrumu daļā.

3. Latvijas tālās nākotnes klimats



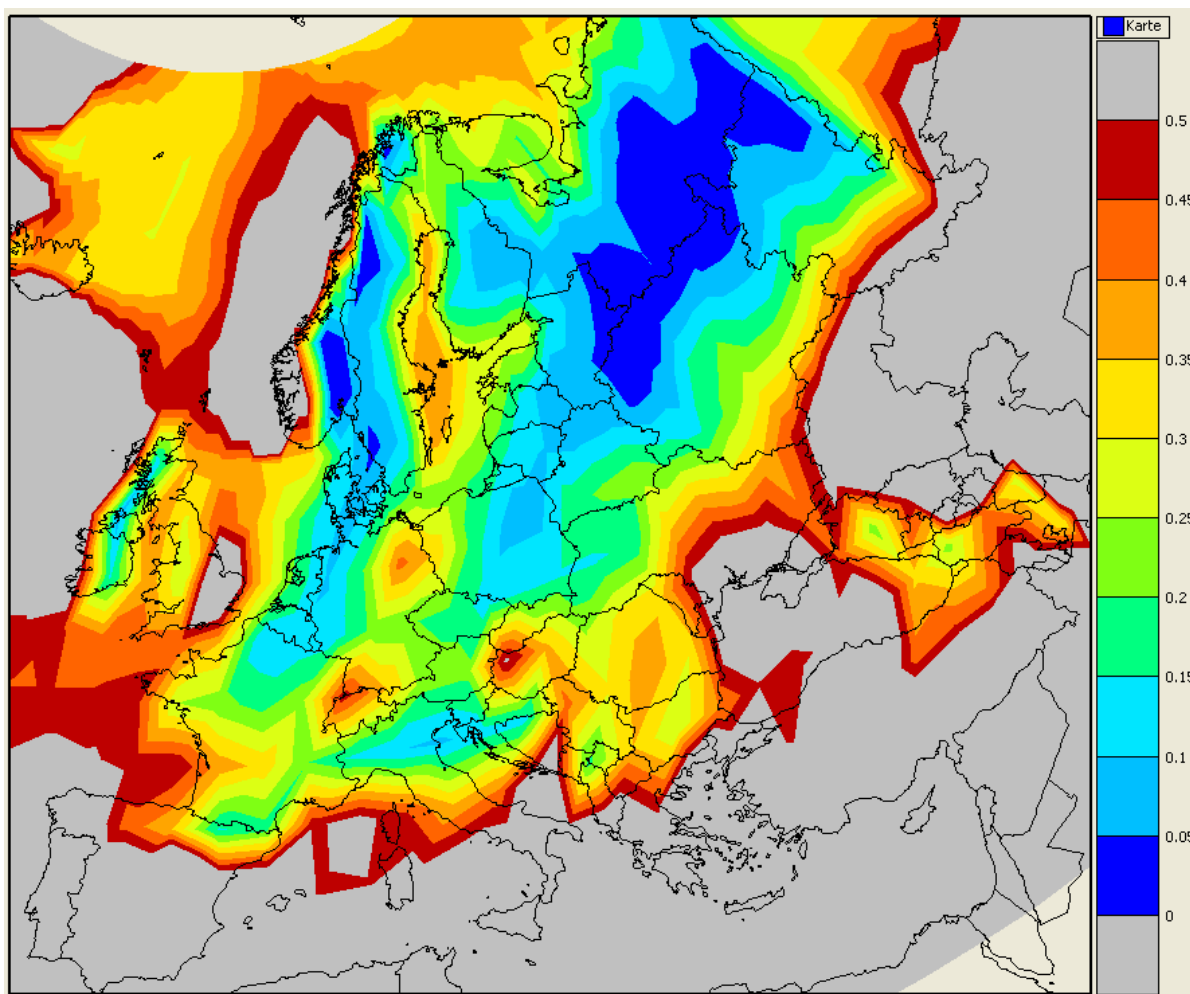
10. attēls. Ziemeļu puslodes mūsdienu klimata atšķirība ΔT_{AIBL} no Latvijas tālās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-2 °C.

Redzams, ka tālajā nākotnē ar temperatūru saistītie klimatiskie apstākļi Latvijā ir tuvi teritorijām Polijā un Vācijā. Latvijas klimatiskajiem apstākļiem tuvais reģions ($\Delta T_{AIBL} < 2^\circ\text{C}$) Eiropas teritorijā ir pārvietojies DR virzienā.

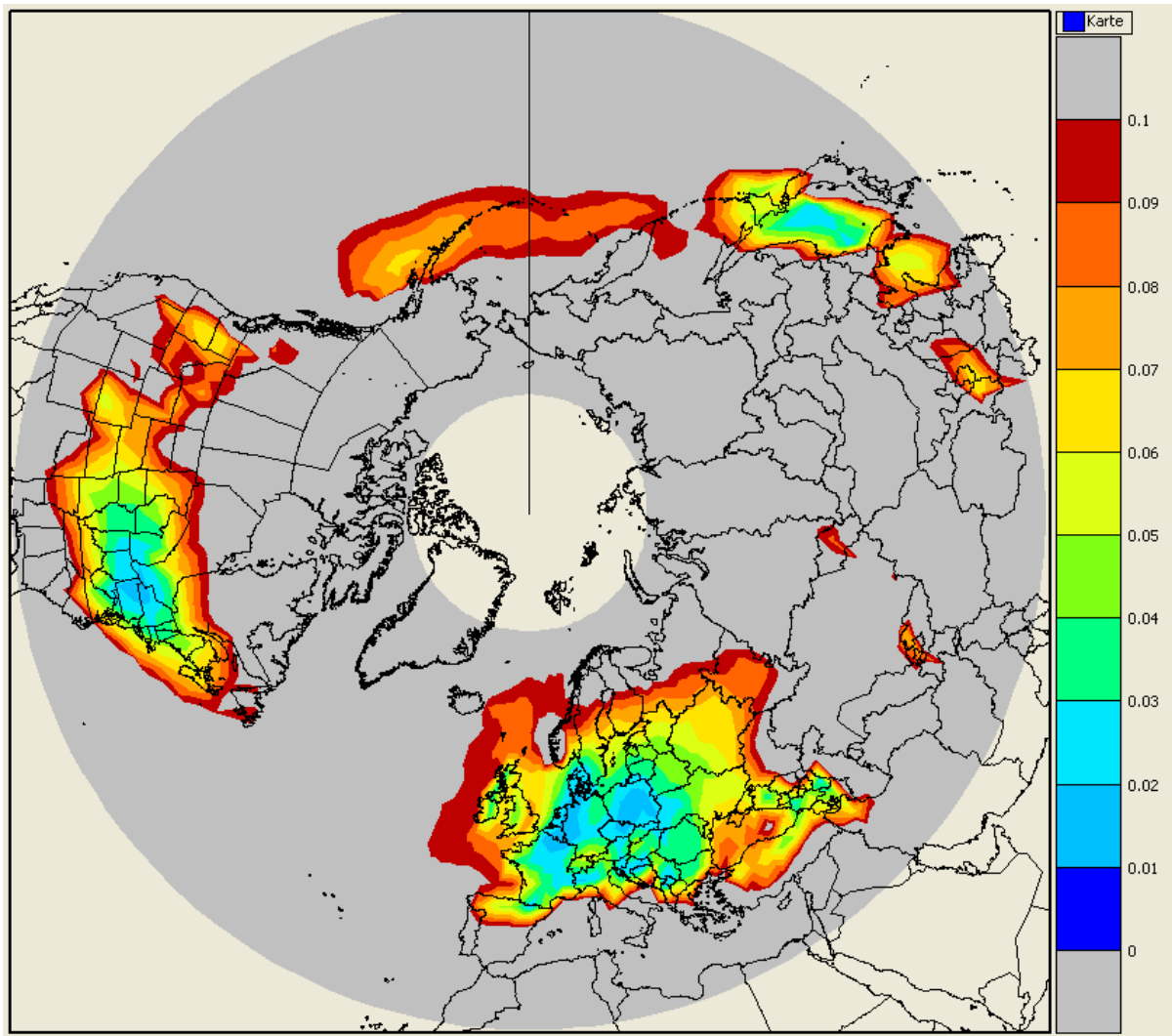


11. attēls. puslodes mūsdienu klimata atšķirība Δp_{A1BL} no Latvijas tālās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-1 mm/dienn.

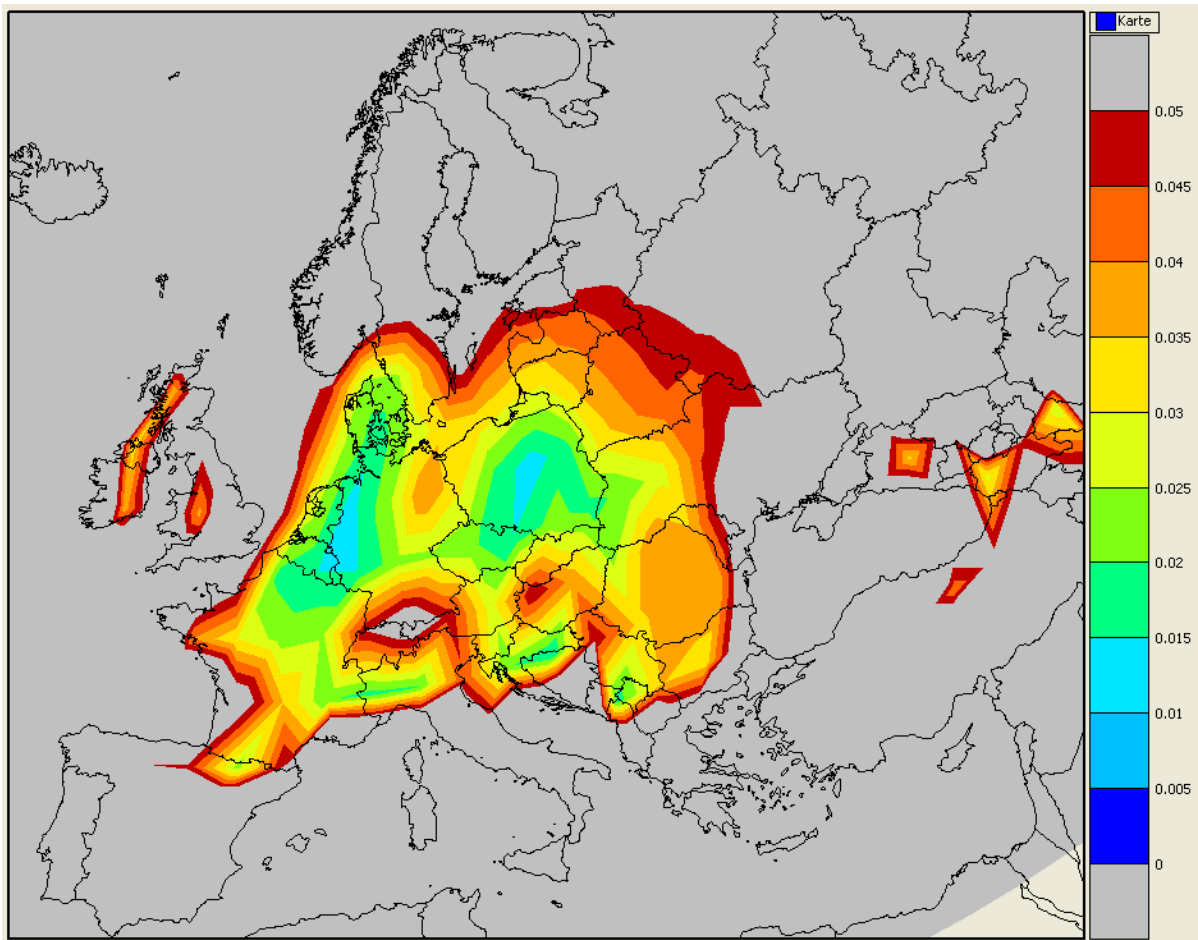
Līdzīgi kā tuvajā nākotnē, arī tālajā nākotnē ar nokrišņu intensitāti saistītie klimatiskie apstākļi Latvijā ir tuvi diviem nošķirtiemiem reģioniem Eiropā – Zviedrijas un Norvēģijas pierobežas teritorijām, kā arī Krievijas Rietumu un Baltkrievijas Z reģioniem. Starp šiem reģioniem DR-ZA virzienā (no Vācijas Botnijas līča virzienā) atrodas teritorija, ar kuru līdzība ir mazāka.



12. attēls. Eiropas mūsdienu klimata atšķirība Δp_{AIBL} no Latvijas tālās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.5 mm/dienn.



13. attēls. Ziemeļu puslodes mūsdienu klimata atšķirība Δ_{A1BL} no Latvijas tālās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.1 (0-10%).



14. attēls. Eiropas mūsdienu klimata atšķirība Δ_{AIBL} no Latvijas tālās nākotnes klimata (saskaņā ar vidējo izmaiņu scenāriju). Attēloti apgabali ar atšķirību no 0-0.05 (0-5%).

Ievērojot kopējo ar temperatūru un nokrišņiem saistīto parametru ietekmi, 14.att. redzams, ka tālajā nākotnē Latvijas klimats ir tuvs klimatam Vācijas ZA reģionā, kā arī klimatam Polijas centrālajā daļā. Ar nokrišņiem saistīto parametru atšķirību dēļ, Latvijas klimats tālajā nākotnē ir mazāk līdzīgs Polijas un Vācijas Baltijas jūras piekraistei, kā arī Vācijas-Polijas pierobežas teritorijām.