

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE  
BOTĀNIKAS UN EKOLOĢIJAS KATEDRA

KLIMATISKO FAKTORU IETEKME UZ  
PUNDURBĒRZA *BETULA NANA* AUGŠANU TEIČU  
PURVĀ UN PURVAINAJĀ MEŽĀ

Bakalaura darbs

Autors: Katrīna Madara Stadgale

Stud.apl.Nr: 17125

Darba vadītājs: Dr.biol. Iluta Dauškane

RĪGA 2020

## Satura rādītājs

IEVADS .....	5
1. LITERATŪRAS APSKATS .....	6
1.1. <i>Betula nana</i> sistemātika un morfoloģija .....	6
1.2. <i>Betula nana</i> izplatība un ekoloģija.....	7
1.3. <i>Betula nana</i> gadskārtu raksturojums.....	9
1.4. Klimata ietekme uz <i>Betula nana</i> augšanu .....	11
1.5. Zīmīgo gadi un to aprēķināšanas metodes .....	14
2. MATERIĀLI UN METODES .....	18
2.1. Pētījumu vietas apraksts.....	18
2.2. <i>Betula nana</i> paraugu ievākšana.....	20
2.3. <i>Betula nana</i> paraugu sagatavošana un stumbra šķērsriezumu iegūšana .....	21
2.4. <i>Betula nana</i> gadskārtu mērīšana un šķērsdatēšana .....	22
2.5. Dendroekoloģisko datu analīze .....	23
2.5.1. Gadskārtu platumu salīdzināšana un zīmīgo gadu aprēķināšana .....	23
3. REZULTĀTI.....	26
4. DISKUSIJA.....	33
5. SECINĀJUMI .....	39
6. PATEICĪBAS .....	40
7. LITERATŪRAS SARAKSTS .....	41

## KOPSAVILKUMS

Lai paredzētu, kādu iespaidu uz augu augšanu atstās klimatiskās pārmaiņas nākotnē, ir jāuzzina, kā uz svarīgākajiem klimatiskajiem faktoriem tie reaģējuši iepriekš. Viena no biežāk izmantotajām metodēm kā iegūt informāciju par klimatisko faktoru ietekmi uz attiecīgo sugu ir izmantojot gadskārtu platumu variēšanu un atšķirības gadskārtu anatomiskajā uzbūvē. Pēdējā laikā šādos dendrokoloģiskajos pētījumos izmanto tieši sīkkrūmu sugas, jo tie aug arī vietās, kur neaug koki. Bieži pētījumos izmanto pundurbērzu, kas Latvijā ir reta un aizsargājama suga.

Pētījuma mērķis bija noskaidrot Teiču purvā un purvainajā mežā augošā pundurbērza gadskārtu platumu ekstrēmu jeb zīmīgo gadu saistību ar klimatiskajiem faktoriem.

Pundurbērza indivīdus ievāca Teiču dabas rezervāta teritorijas augstajā purvā un purvainajā mežā. Katrā teritorijā ievāca piecus indivīdus, no kuriem pēc tam ieguva plānus šķērsgriezumus. Griezumiem mērīja gadskārtas, iegūtās gadskārtu rindas grafiski šķērsdatēja. Zīmīgos gadus aprēķināja, izmantojot modificētu augšanas relatīvās izmaiņas metodi. Noskaidroja zīmīgo gadu un klimatisko faktoru saistību, veicot korelācijas analīzes. Klimatiskie faktori, ar kuriem pārbaudīja saistību, bija gaisa vidējā, minimālā, maksimālā temperatūra, nokrišņu vidējais daudzums un sniega segas biezums dažādos laika periodos, kā arī veģetācijas un miera perioda ietekme. Darba rezultāti uzrāda, ka visvairāk būtisku korelāciju ir tieši ar gaisa temperatūru. Nokrišņu daudzumam ir pārsvarā negatīva ietekme uz pundurbērza radiālo augšanu. Pētījumā konstatēja, ka gan starp gadskārtu, gan arī zīmīgo gadu variēšanu starp abiem biotopiem nav būtiskas atšķirības, taču klimatiskie faktori, kas ietekmē pundurbērza augšanu atšķirīgajos biotopos, pārsvarā atšķirās.

**Atslēgas vārdi:** *Betula nana*, dendroekoloģija, zīmīgie gadi, Teiču dabas rezervāts, augstais purvs, purvainais mežs.

## SUMMARY

In order to predict the impact of future climate change on plant growth, it is necessary to find out how they have responded to the most important climate factors in the past. One of the most frequently used methods of obtaining information on the impact of climatic factors on the species is through the variability of tree ring widths and differences in the anatomical structure of the tree rings. Recently, such dendroecological studies use dwarf shrub species, as they also grow in areas where trees are not. In researches also dwarf birch is often used, which is a rare and protected species in Latvia.

The aim of the study was to determine the climatic factors connection with extreme or pointer years of dwarf birch growing in the raised bog and the bog woodland in Teiču nature reserve.

Dwarf birch individuals were collected in the raised swamp and the bog woodland of the territory of the Teiču nature reserve. Five individuals were collected in each area, from which thin cross-sections were subsequently obtained. From the cuts tree rings were measured, after graphically crossdated. Pointer years were calculated using a modified method of relative growth change. The relationship between the significant years and the climatic factors was clarified by correlation analyses. The climatic which used in the research was average, minimum, maximum air temperature, average precipitation and snow cover, over different periods of time. The work results show that the most significant correlations are with air temperature. The amount of precipitation has mostly negative effect on the radial growth of the dwarf birch. The study found that there was no significant difference between the tree rings variation and the pointer years variation between the two habitats, but the climatic factors affecting the growth of the dwarf birch in the different habitats generally differed.

**Keywords:** *Betula nana*, dendroecology, pointer years, Teiču nature reserve, raised bog, the bog woodland.

## IEVADS

Pēdējos gados arvien pieaugot gaisa temperatūrai pasaulē, aktuālāka kļūst klimata izmaiņu ietekme uz dažādiem dzīvajiem organismiem – bioloģisko daudzveidību kopumā. Viena no metodēm, kas ļauj noteikt klimata izmaiņas un pēc tā paredzēt iespējamās sekas nākotnē, ir kokaugu gadskārtu platumu izpēte (Speer 2010). Liels potenciāls ir sīkkrūmiem, jo tie veido gadskārtas tāpat kā koki un aug vietās, kur koku augšana nav iespējama (Bär et al. 2008; Myers-Smith et al. 2015b). Dendroekoloģisko pētījumu veikšanai, it īpaši, ja tie ir saistīti ar klimata ietekmes izpēti, paraugus ieteicams ievākt vietās, kur augi piedzīvo savu ekoloģisko traucējumu limitu, piemēram, aug uz sava areāla robežas (Kairiukstiss, Cook 1989; Fritts 2001). Latvijā viena no piemērotākām sugām ir pundurbērzs *Betula nana*, kas Latvijā sasniedz savu izplatības dienvidu robežu. Tā ir sīkkrūmu suga, ko kopš 2000. gada sākuma īpaši plaši pēta ziemeļu platuma grādos attiecībā uz klimata mainību – izmantojot auga bioķīmisko sastāvu (Graglia et al. 2001), ektomikorizu (Deslippe et al. 2011), anatomiju, kā piemēram, lapu kutikulas un atvārsnīšu parametru mainību (Rossem 2011), bet visplašāk pēta auga stumbra anatomiskos un morfoloģiskos parametrus (Bret-Harte et al. 2002; Blok et al. 2011; Büngten et al. 2014, Hollesen et al. 2015; Li et al. 2016; Young et al. 2016; Nielsen et al. 2017). Tā kā Latvijā *Betula nana* ir reta un aizsargājama suga (MK noteikumi Nr. 396), tad jo īpaši svarīgi ir izprast šīs sugas reakcijas uz klimatu un tā mainību un tādējādi nākotnē varētu paredzēt turpmāku šīs sugas sastopamību Latvijā. Sugas sastopamības scenāriji varētu būt dažādi, jo līdzšinējos eksperimentālos pētījumos konstatēts, ka *Betula nana* ir visai plastiska suga ātri pielāgojoties jaunajiem vides apstākļiem (Chapin III et al. 1995; Bret-Harte et al. 2001).

Bakalaura darba pētījuma **mērķis** bija noskaidrot Teiču purvā un purvainajā mežā augošā *Betula nana* gadskārtu platumu ekstrēmu jeb zīmīgo gadu saistību ar klimatiskajiem faktoriem.

Mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši **uzdevumi**:

1. ievākt *Betula nana* paraugus un veikt sērijveida griezumus;
2. izmērīt gadskārtu platumus un veikt vizuālo šķērsdatēšanu;
3. aprēķināt zīmīgos gadus un salīdzināt to sastopamības biežumu un sakritību starp biotopiem;
4. noskaidrot klimatiskos faktoros, kas uzrāda statistiski būtisku saistību ar zīmīgajiem gadiem;

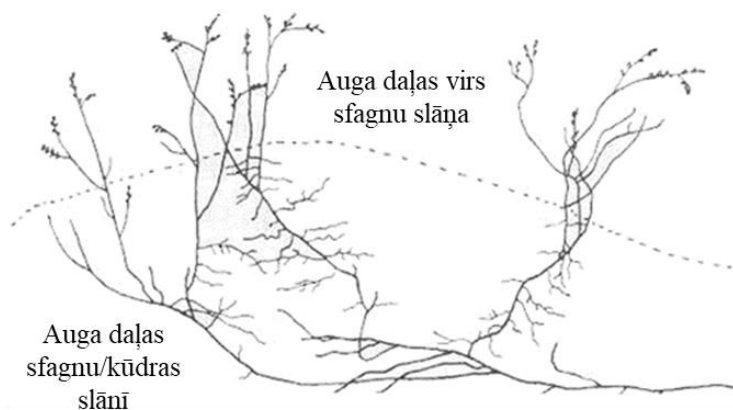
Iesākot pētniecisko darbu, bija izvirzīta sekojoša **hipotēze**: atšķirīgos augšanas apstākļos *Betula nana* augšanu ietekmē dažādi klimatiskie faktori un tāpēc šīs sugas zīmīgie gadi atšķiras starp biotopiem.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. *Betula nana* sistemātika un morfolģija

Pundurbērzs *Betula nana* ir bērzu dzimtas Betulaceae kokaugs – viena no 145 šīs dzimtas sugām (Stevens 2017). Tā ir viena no biežāk sastopamajām kokaugu sugām, kas aug arktiskās tundras un boreālajos mežos – bieži vien tā var būt galvenā suga, kas veido biomasu tundras veģetācijā (Blok et al. 2011). Latvijā savvaļā bez *Betula nana* ir sastopamas vēl trīs bērzu sugas: zemais bērzs *Betula humilis*, āra bērzs *Betula pendula* un purva bērzs *Betula pubescens* (Mauriņš, Zvirgzds 2006).

*Betula nana* ir vasarzaļš sīkkrūms, kura augstums var būt 0,2–0,8 m, bet lielākie indivīdi var sasniegt 1,2 m augstumu, un šī ir mazākā no visām *Betula sp.* sugām (Cinovskis 1997; Mauriņš, Zvirgzds 2006). *Betula nana* virszemes dzinumu mizas krāsa ir sarkanbrūna. Pumpuru forma olveida, un arī lapas ir vismazākās (0,5–1,5 cm) starp citām *Betula sp.* sugām. Lapu forma ir apaļa ar strupām, zobainām maliņām, un tās ir vairāk platas nekā garas. Lapu virspuse ir tumši zaļa, spīdīga, bet apakšpuse ir gaišāka un ar atsevišķiem matiņiem dzīslu stūros. *Betula nana* zari ir pacili. Šis sīkkrūms zied aprīlī un maijā. *Betula nana* auglis ir aptuveni 0,2 mg viegls riekstiņš ar spārnu, ko sauc par spārnuli. Tas nogatavojas jūnijā un to izplata vējš (Mauriņš, Zvirgzds 2006). Šīs sugas ģeneratīvā vairošanās no sēklas ir lēna un pirmajā gadā jaunā indivīda maksimālais garums var sasniegt 3 cm, un tam veidojas 4–6 lapas (Cinovskis 1997; Featherstone 2001; Tollefson 2007). Šī suga vairojas galvenokārt veģetatīvi (de Groot et al. 1997; Smith, Smith 2001) ar atvasēm un zariem, kas pāraug ar sūnām, veidojot adventīvās saknes (Tollefson 2007). Tas ir raksturīgi sīkkrūmu sugām (1.1. attēls). Vidēji tikai 20% no auga kopējās biomasas atrodas virs augsnes – plaša labi attīstītu sakneņu un sakņu, kā arī dzinumu sistēma, kas ir ~80% no kopējās auga biomasas, atrodas sfagnu slānī vai kūdrā (Chapin III 1980; Chapin III et al. 1980; Featherstone 2001; Tollefson 2007).



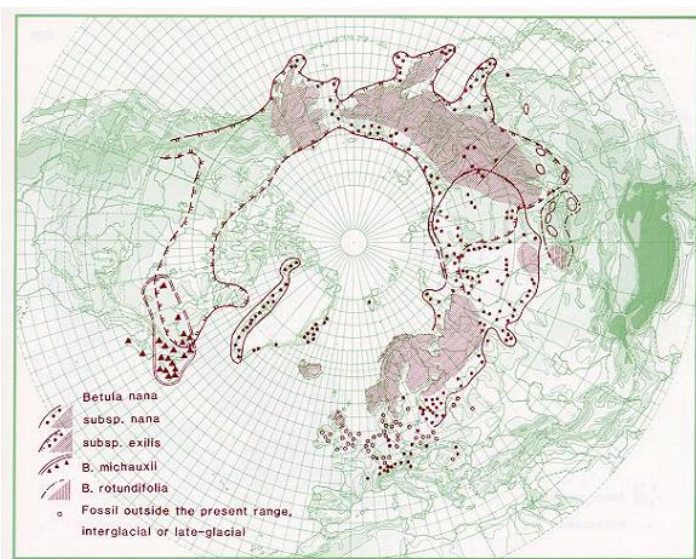
1.1. attēls. Sīkkrūmu augšana augstajos purvos (pārveidots pēc Rydin, Jeglum 2006).

Figure 1.1. Growth of dwarf shrubs in raised bogs (modified from Rydin, Jeglum 2006).

*Betula nana* veido hibrīdus ar *Betula pubescens*, jo to ziedēšanas laiki mēdz sakrist (Dąbrowska et al. 2006). Hibrīds ir atšķirams pēc lapu formas, bet to morfoloģiskās pazīmes Latvijā šobrīd pēta Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes doktorante Linda Strode.

## 1.2. *Betula nana* izplatība un ekoloģija

*Betula nana* ir arktiskās tundras suga un pēcledušlaikmeta relikts (Anderberg 1999). Tā bija viena no pirmajām sugām, kas pēc ledus atkāpšanās sāka augt Ziemeļeiropā. Šī suga dominēja agrīnajā holocēnā viscaur Britu salu un ziemeļcentrālās Eiropas tundras zonās (Gałka et al. 2018). *Betula nana* ir cirkumpolāra suga (Jeffers et al. 2012), un mūsdienās tā ir izplatīta Ziemeļeiropas, Rietumsibīrijas, Aļaskas un Grenlandes tundras zonā un sūnu purvos. Šai sīkkrūmu sugai, kā pēcledušlaikmeta reliktam, izplatība Centrālajā Eiropā aprobežojas ar augstienēm, piemēram, Alpu kalnos, un tā ir ļoti reti sastopama līdzenumos (Ejankowski 2008). Tās sastopamība Eiropas robežās mūsdienās palielinās uz ziemeļaustrumiem (Puhe, Ulrich 2001; Hallanaro et al. 2002) un Latvijā tai ir areāla D robeža (Mauriņš, Zvirgzds 2006) (1.2. attēls).

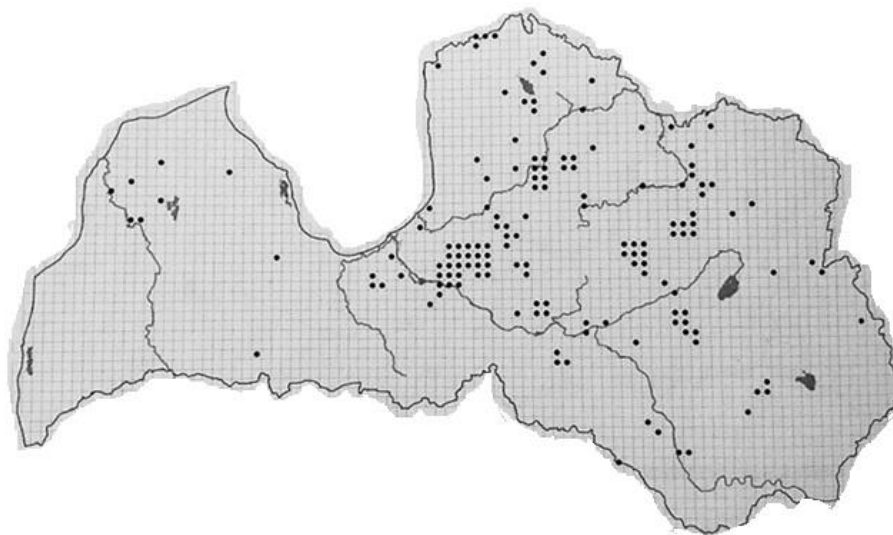


1.2. attēls. *Betula nana* izplatība (Anderberg 1999).

Figure 1.2. Distribution area of *Betula nana* (Anderberg 1999).

Latvijā *Betula nana* kopā ar citiem tundrai raksturīgajiem augiem kolonizēja ledus atbrīvoto teritoriju Vidzemes, Latgales un Augšzemes augstienēs pirms aptuveni 13700–13100 gadiem (Zunde 1999; Mauriņš, Zvirgzds 2006). *Betula nana* kā viens no dominantajiem kokaugiem Latvijas teritorijas biomasā bija sastopams pirms 11000 –10000 gadiem, kad klimats bija kļuvis siltāks (vidējā gaisa temperatūra jūlijā bija no +6° līdz +9°C). Par to liecina arī putekšņu analīzes dati no Teiču purva, kur no visu analizēto putekšņu sastāva *Betula nana* bija 40% apmērā (Zunde 1999). Pirmo reizi Latvijas literatūrā, nenorādot atradnes, *Betula nana*

bija minēts 1778. gadā (Cinovskis 1997). Mūsdienās šai sugai ir zināmas apmēram 70 atradnes, kas lokalizētas pārsvarā Viduslatvijā un Austrumlatvijā (Mauriņš 2003) (1.3. attēls). Šī suga aug visu tipu purvos un purvainās pļāvās, purvainos priežu mežos (Mauriņš, Zvirgzds 2006; Drzymulska 2014). Aug nelielās grupās vai audzēs, un krūmu stāvā parasti ir kā pavadītājsuga, dažviet kodominē (Priedītis 2014).



1.3. attēls. *Betula nana* izplatība Latvijā (Laiviņš u.c. 2009).

Figure 1.3. *Betula nana* distribution in Latvia (Laiviņš u.c. 2009).

*Betula nana* ir reta suga un aizsargāta ar Ministru Kabineta noteikumiem Nr.396 "Noteikumi par īpaši aizsargājamo sugu un ierobežoti izmantojamo īpaši aizsargājamo sugu sarakstu" (17.11.2000.). Šī suga ir iekļauta arī Baltijas reģiona Sarkanajā grāmatā, kur tā atrodas 2. kategorijā – jutīgās sugas (Priedītis 2014). Pastāv uzskats, ka sugas atradņu skaita samazināšanās var būt saistīta ar ilgjiem, globāliem procesiem, piemēram, klimata un arī gaismas apstākļu maiņu. Zinātniskajās publikācijās ir minēts, ka šī suga ir viena no jutīgākajām purvā augošajām sugām attiecībā uz apgaismojuma maiņu – noēnojums negatīvi ietekmē augšanu. *Betula nana* ir gaismas prasīga suga, kas labprātāk aug gaišās un atvērtās vietās bez konkurentiem (Bret-Harte et al. 2001). Koku un krūmu blīvuma pieaugšana var samazināt sugas izplatību un izraisīt vietējo populāciju izzušanu (Laine et al. 1995; Ejankowski 2010; Drzymulska 2014). Vēsturiski globālā mērogā, klimatam kļūstot siltākam, Latvijas teritorijā mainījās veģetācija un novēroja tundras augu migrāciju uz ziemeļiem (Abbott, Brochmann 2003; Melecis 2011). Tundras augus izkonkurēja mežatundras joslas augi, jo, tiem ienākot Latvijā, tie radīja papildus apēnojumu, kas ir traucējošs faktors tundras augiem (Zunde 1999), un tas bija vēl viens papildus faktors, kas veicināja arī *Betula nana* pārvietošanos uz ziemeļiem, samazinot atradņu skaitu. Atradņu skaits Latvijā ir samazinājies arī purvu un citu purvaino

teritoriju susināšanas dēļ. Purvus Latvijā nosusina jau kopš 19. gadsimta sākuma (Mauriņš, Zvirgzds 2006). Kopējais nosusināto platību lielums Latvijā ir 500000 ha (Paavilainen, Päivänen 1995). Susināšana maina hidroloģisko režīmu, kas kaitē tādām sugām kā *Betula nana*, kuras ir pielāgojušās lielam mitrumam (Ellenberg u.a. 1992). Hidroloģiskā režīma maiņa veicina koku un krūmu, piemēram, parastās priedes *Pinus sylvestris* un purva vaivariņa *Ledum palustre* ieviešanos, radot biežāku vainaga klāju un apēnojumu (Laine et al. 1995). Starp zinātniekiem nepastāv vienots uzskats, kurš no iepriekš minētajiem abiotiskajiem faktoriem (apgaismojums vai mitrums) ir svarīgāks *Betula nana* attīstībai un izplatībai. Latvijā veiktajā pētījumā B. Bambe (2001) secinājusi, ka mitruma apstākļi *Betula nana* augšanu ietekmē mazāk, jo tā var augt arī mēreni mitrās vietās, uzsverot, ka Latvijā svarīgākie faktori varētu būt apgaismojums un augsnes skābums, kas ietekmē auga izmērus un audzes lielumu. Savukārt Polijā veiktajā pētījumā secināja, ka susinātos purvos ir viszemākie *Betula nana* morfoloģisko parametru rādītāji (lēnāka jauno dzinumu augšana, mazāks ziedu skaits u.c.), kā arī augsnes mitrums ir viens no būtiskākajiem faktoriem, kas nosaka šīs sugas audzes biežību, izplatību un populācijas dinamiku (Ejankowski 2008).

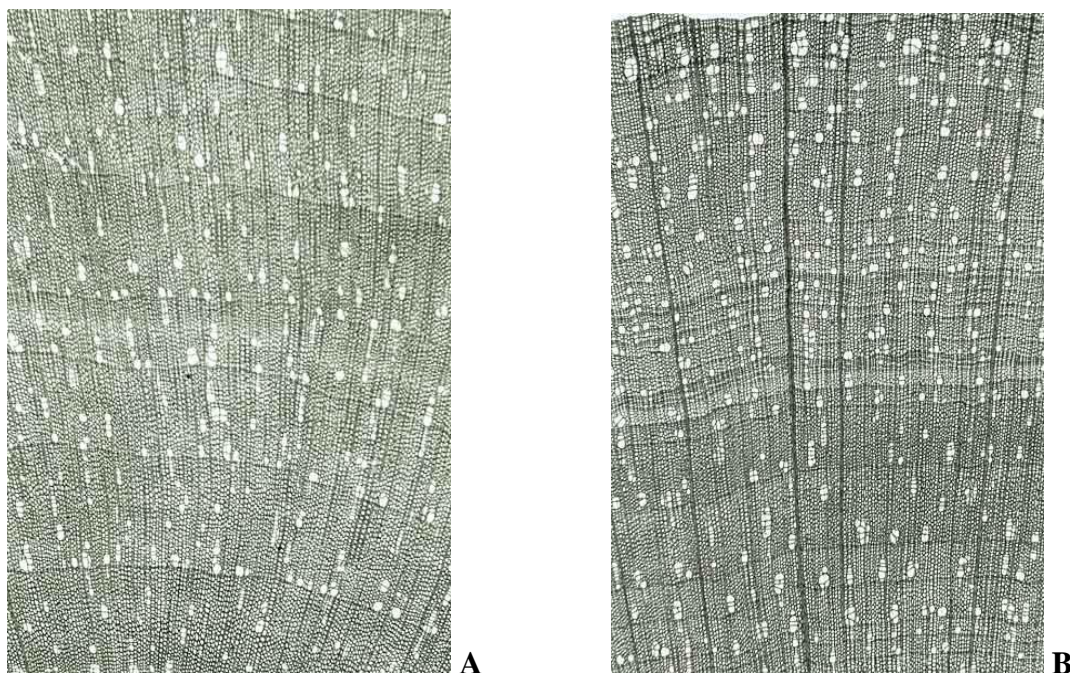
*Betula nana* ir pielāgojies zemām temperatūrām un aug ļoti skābās augsnēs ar mazu slāpekļa saturu (Ellenberg u.a. 1992), kaut gan ziemeļu platuma grādos tas ir viens no lielākajiem konkurentiem pēc slāpekļa (Bret-Harte et al. 2008). Tas ir gan fanerofīts, gan hamefīts, jo sīkkrūma pumpuri atrodas gan virs augsnes, gan augsnes līmenī (Tollefson 2007). *Betula nana* spēj izdzīvot pēc maziem un vidēji lieliem ugunsgrēkiem, intensīvi atjaunojoties ar jaunajiem dzinumiem no apakšzemes stumbriem (de Groot et al. 1997; Tollefson 2007). Šim sīkkrūmam ir raksturīga ektomikoriza (Deslippe et al. 2011).

### **1.3. *Betula nana* gadskārtu raksturojums**

Dendrohronoloģija ir zinātne par koku gadskārtu datēšanu un to struktūru pētīšanu, lai iegūtu no tām informāciju par klimatiskajiem, vēsturiskajiem notikumiem un procesiem, un viena no plašākām tās apakšnozarēm ir dendroekoloģija (Kaennel, Schweingruber 1995). Viens no pirmajiem sīkkrūmu gadskārtu pētījumiem bija publicēts 1971. gadā par mellenes *Vaccinium myrtillus* audzes vecumstruktūru un atjaunošanās dinamiku (Schweingruber, Poschland 2005). Sīkkrūmiem gadskārtu veidošanās notiek tāpat kā kokiem – katru gadu viena gadskārta. Mērenās un arktiskās joslas kokaugiem sekundārā augšana ziemas laikā nenotiek, bet pavasarī, aktivizējoties un daloties kambija šūnām, veidojas gadskārta. To veido agrīnā koksne, kas veidojas pavasarī un agrā vasarā, un vēlinā koksne, kas veidojas vasaras vidū (Kaennel, Schweingruber 1995; Speer 2010). Kopš 20. gadsimta beigām zinātnieki ir apbējuši un ieviesuši sīkkrūmu gadskārtu datēšanas metodes un to izmantošanas iespējas klimata un citu

ekoloģisko procesu izpētē. Īpaši tas bija svarīgi klimata izmaiņu pētījumos (Myers-Smith et al. 2015a). Pasaulē ir apzinātas aptuveni 1200 sīkkrūmu sugas, kuru gadskārtas ir iespējams izmantot dendroekoloģijā (Büntgen et al. 2015). Līdz šim pētītās sīkkrūmu sugas ir daudzgadīgas, lēni augošas un daudzas no tām veido klājeniskas formas audzes augstkalnu un tundras reģionos (Kolishchuk 1990). Šajos reģionos augšanu limitē skarbie vides apstākļi, un izmaiņas vides apstākļos atspoguļojas sīkkrūmu koksnes struktūrā, piemēram, gadskārtu platumu variēšanā (Bär et al. 2006; Schweingruber et al. 2006; Büntgen et al. 2015).

*Betula nana* koksnes jeb ksilēmas anatomija ir pētīta jau visai sen. Tiek uzskatīts, ka 1975. gadā publicētais H.J. Milera (Miller 1975) apraksts ir viens no pirmajiem šīs sugas ksilēmas anatomijas aprakstiem. Tajā ir minēts, ka *Betula nana* gadskārtas agrīnajā jeb pavasara koksnē vadaudi jeb trahejas ir lielākas kā vēlīnajā jeb rudens koksnē. Tomēr *Betula nana* kā citiem Betulaceae augiem ksilēma ir izklīdēta jeb difūzi poraina – gadskārtās trahejas ir apmēram vienāda diametra gan agrīnajā, gan vēlīnajā koksnē, un tās ir vienmērīgi izklīdētas katrā gadskārtā (Kaennel, Schweingruber 1995; Beck 2010). *Betula nana* pāreja no vienas gadskārtas uz nākamo ir viegli atšķirama, bet ļoti nelabvēlīgos augšanas apstākļos vai gados tā var būt neizteikta (Schweingruber 1990) (1.4. attēls).



1.4. attēls. *Betula nana* stumbra šķērs griezumus. A – platas gadskārtas ar skaidri saskatāmu robežu, B – šauras gadskārtas ar neskaidri saskatāmu robežu (Schweingruber 1990).

Figure 1.4. Cross-section of *Betula nana* stem. A – the growth rings are wide and distinct, B – the growth rings are narrow and indistinct (Schweingruber 1990).

Gadskārtu robežu veido mazas, saplacinātas koksnes šķiedras šūnas ar bieziem šūnapvalkiem (Schweingruber et al. 2011). Sīkkrūmiem ir mazs ikgadējais gadskārtas

pieauguma temps (Woodcock, Bradley 1994). Optimālos augšanas apstākļos maksimālais gadskārtas platums ir aptuveni 0,83 mm (Schweingruber 2007), taču lielākai daļai sīkrūmu sugu vidējais gadskārtu platums ir no 0,0100 līdz 0,075 mm (Büntgen et al. 2015; Liang et al. 2015) un *Betula nana* vidējais gadskārtu platums ir aptuveni 0,12 mm (Büntgen et al. 2015).

Pacilo un klājenisko formu sīkrūmiem vērojamas dažāda veida anatomiskās izmaiņas-ietekmēta kambija darbība vai tā darbības traucējumi, kas stumbrā rada dažādas gadskārtu anomālijas. Sīkrūmi kompensē stresu, kas radies nesabalansēta svara ietekmē, palielinot šūnu skaitu noslogotajā pusē – veidojas tā saucamā reakcijas koksne. Lapu kokaugiem reakcijas koksnes veids ir stiepes koksne. Šīs koksnes šūnapvalkos ir raksturīgs ļoti augsts celulozes un zems lignīna saturs. Šāda veida koksne bieži sastopama arī koku saknēs (Schweingruber et al. 2006). Vienpusēja noslogojuma rezultātā, kad stumbrs ir pacils vai guļošs, stumbrā veidojas arī radiāli ekscentriskā augšana – serdes nobīde no centra jeb ekscentritāte. Saistībā ar ekscentritāti gadskārtu raksts kļūst neregulārs, veidojas ķīļveida un arī iztrūkstošās gadskārtas (Bär et al. 2007; Schweingruber 2007). Ķīļveida gadskārtas rodas nepilnīgas kambija darbības rezultātā – nenotiek pilnīga gadskārtas veidošanās. Savukārt, ja kambijs nav aktīvs, tad attiecīgajā gadā gadskārta neveidojas, un pētījuma laikā var saskarties ar iztrūkstošām gadskārtām (Kaennel, Schweingruber 1995; Wilmking et al. 2012). Iepriekš veiktajos *Betula nana* gadskārtu pētījumos novērotas iepriekš minētās anatomiskās gadskārtu anomālijas (Blok et al. 2011; Meinardus et al. 2011; Hollesen et al. 2015). Tāpat arī Latvijā, Ziemeļu purvos veiktajā pētījumā, novērots tas pats – radiāli ekscentriskā augšana, iztrūkstošās un ķīļveida gadskārtas, īpaši mizas tuvumā (Cinevica 2011). Visas iepriekš minētās gadskārtu pazīmes sīkrūmos var būt arī ģenētiski noteiktas (Schweingruber 2007). Skaidrs ir tas, ka šīs gadskārtu anomālijas, būtiski ietekmē gadskārtu mērīšanas procesu, padarot to sarežģītāku un ietekmējot mērījumu kvalitāti (Kolishchuk 1990; Bär et al. 2005).

#### **1.4. Klimata ietekme uz *Betula nana* augšanu**

Abiotiskie faktori – temperatūra, mitrums, gaismas intensitāte, barības vielu pieejamība u.c., ir parametri, kas definē augu augšanu. Katra abiotiskā faktora ietekme ir atkarīga no tā iedarbības intensitātes uz augu. Ar optimālu faktora daudzumu augs teorētiski aug optimāli un līdz ar to varētu sasniegt savu fizioloģiski normālo tipu, taču praktiski, augi, gandrīz nekad, nerasniedz šādu stāvokli, kad visi abiotiskie faktori ir tiem nepieciešamajā jeb optimālajā daudzumā. Novirzes no fizioloģiski normālā tipa ir reakcija uz nepietiekamu vai iznīcinoši lielu šo faktoru ietekmi. Nepietiekams vai pārāk liels apkārtējās vides faktoru intensitātes līmenis rada augiem stresu, un tad šie faktori kļūst par stresa faktoriem (Schulze et al. 2002). Bieži vien viena faktora daudzums var mainīt auga reakciju uz citu faktoru (Melecis 2011). Kokaugiem ir

atbildes reakcija uz apkārtējo vidi un tāpat kā citi dzīvie organismi, tie ir pakļauti klimata radītajam stresam, kas rodas no temperatūras svārstībām, lietusgāzēm, augsnes mitruma mainības, mākoņainu dienu daudzuma un vēja stipruma (Speer 2010). Kokaugu atbilde uz klimatu un tā mainību izpaužas individuālā augšanas ātrumā un tas, savukārt, populācijas vecuma struktūras mainībā (Smith, Smith 2001).

Dendroekoloģijā, izmantojot atšķirības gadskārtu anatomiskajā uzbūvē un gadskārtu platumu variēšanā, iegūst informāciju par klimatisko faktoru ietekmi uz attiecīgo kokaugu sugu, kā arī pagātnes klimatiskajām izmaiņām (Hughes et al. 1982; Kaennel, Schweingruber 1995). Ļoti šauras gadskārtas veidojas, kad gada laikā uz indivīdu iedarbojas vairāki tam nelabvēlīgi klimatiskie faktori kopā, piemēram, ja sīkkrūmiem ziemā nav bijusi pastāvīga sniega sega, kas pasargātu augu lielos ziemas salos, tad arī pavasarī augs var ciest no ūdens trūkuma (Owcarek, Opała 2016).

Klimats ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas ietekmē ekosistēmu ekoloģiju un funkcionēšanu (Charman 2002). Mainoties klimatam, mainās arī sugu sastāvs (Adams 2007). Pastāv uzskats, ka palielinoties temperatūrai tundras zonā, tiks ierosinātas pārmaiņas augu populāciju dinamikā un ekosistēmas funkcijās, jo palielināsies barības vielu daudzums, mainoties vielu aprītei. Tas ietekmēs augu migrācijas – mainīsies augu izplatības robežas – augiem augot sev piemērotākās klimatiskajās zonās (Hillstorm, Hillstrom 2003). Pētījumi ir apstiprinājuši, ka tundras flora ir migrējusi temperatūras samazināšanās ietekmē jau agrāk un migrācija ir bijusi masveidīga. Mainoties sugu izplatības robežām ir izvairīšanās process no nelabvēlīgiem apkārtējās vides apstākļiem. Migrācijas ir izveidojušās ilgā sugu evolūcijas procesā. Tas, visticamāk, notika miocēna (laika posms no 23,03 milj. līdz 5,332 milj.g.p.m.ē.) vidū, kad centrālās Āzijas un Amerikas ziemeļu augsto kalnu veģetācija migrēja uz Arktiku, kad pasaulē temperatūra drastiski samazinājās (Abbott, Brochmann 2003; Meleci 2011).

Kaut arī pastāv uzskats, ka sugas ne tik strauji spēj pielāgoties jaunajiem apstākļiem un migrēt un tas prasa vairākus tūkstošus gadus (Adams 2007), tomēr klimata sasilšanas rezultāta, jau šobrīd ir vērojamas krūmu un sīkkrūmu sugu seguma un sastopamības izmaiņas ziemeļu platuma biomas un tā ir viena no aktuālākajām tēmām ekoloģijā (Myers-Smith et al. 2011; Büntgen et al 2014; Naito, Cairns 2015; Vowles, Björk 2019). Eksperimentālie pētījumi siltumnīcās uzrāda, ka globālā klimata sasilšana izmainīs barības vielu apriti tundrā. Pētījumos, kas skaidro tundras sugu reakciju uz augsnes bagātināšanu ar barības vielām, no sīkkrūmiem vislabāk apstākļiem pielāgojās *Betula nana* indivīdi – tiem neradās stress, kā citiem augiem, tādēļ pastāv iespēja, ka *Betula nana* sastopamība un segums šajā biomas varētu palielināties (Deslippe, Simard 2011; Deslippe et al. 2011). Palielinoties barības vielu daudzumam, *Betula nana* var veidot daudz vairāk dzinumus kā citas tundras krūmu un sīkkrūmu sugas, turklāt tie

veidojās no apikālajiem pumpuriem ir nevis īsi, bet gan gari un to augšana garumā ir daudz ātrāka. Tas nozīmē, ka šī suga reaģēja ar pastiprinātu zarošanos un biomasas palielināšanu – dominēja pār citiem sīkkrūmiem kā *Ledum palustre* un kārkliem *Salix sp.*. Līdz ar primāro augšanu, šai sugai varētu būt aktīvāka sekundārā augšana – pieaug dzinumu garums un masa (Bret-Harte et al. 2002; Prager et al. 2020).

Arktiskajos apgabalos augu augšanu būtiski ietekmē gaisa un augsnes temperatūra. Noskaidrots, ka *Betula nana* pumpuru plaukšana ir cieši saistīta ar pavasara gaisa temperatūru un līdz ar to arī sniega kušanas brīdi ziemeļu platumu grādos (Pop et al. 2000). Šīs sugas pirmajā augšanas sezonā, radiālās augšanas ātruma galvenais noteicošais faktors ir vidējā gaisa temperatūra veģetācijas periodā – gadskārtu platumi palielinās līdz ar temperatūru šajā periodā, taču pēc jūlija sākuma augšanas ātrums samazinās, lai arī kopumā diennakts temperatūra palielinās (Charman 2002; Li et al. 2016). Grenlandē veiktie pētījumi norāda, ka neatkarīgi no vecuma *Betula nana* augšanu būtiski ietekmē vasaras un ziemas gaisa temperatūras pagājušajā gadsimtā. Īpaši labi augšanu ietekmēja ziemas temperatūras laika periodā no 1910. līdz 1930. gadam un no 1990. līdz 2011. gadam un šie periodi ir saistīti ar siltām ziemām. Kā būtiskākie ziemas perioda faktori ir atkušņu dienu skaits un ziemas un pavasara augsnes temperatūra. Papildus šiem tiešajiem faktoriem noteica arī netiešos – *Betula nana* augšanu būtiski negatīvi ietekmēja (veidojās šauras gadskārtas) ledus daudzums jūrā, norādot uz to, ka pastāv sakarība starp ledus daudzumu jūrā un klimatu uz sauszemes. Šīs sīkkrūmu sugas augšanu pozitīvi ietekmē arī sniega segas biezums – jo biezāks sniegs Grenlandē, jo labāk aug. Tomēr *Betula nana* radiālās augšanas pamatā ir vērojams, ka darbojas vairāku faktoru kopums – siltākas ziemas un pavasara temperatūras izraisa ātrāku sniega nokušanu, kā arī līdz ar to ātrāk susinās un sasildās augsne (Hollesen et al. 2015).

Zinot to, ka traheju dobuma laukums un grupēšanās (vai ir pa vienai vai vairākas kopā) nosaka ūdens vadītspējas un hidraulisko savienojamību augos, 2017. gadā publicētajā pētījumā, kas veikts Grenlandē, noteikts, ka iepriekš minētos *Betula nana* ksilēmas elementus būtiski ietekmē pavasara, vasaras un ziemas temperatūra. Pavasara un vasaras temperatūra ietekmē traheju dobuma laukuma ikgadējo variēšanu gadskārtās, kamēr ziemas temperatūra nosaka traheju grupēšanos. *Betula nana* spēj pielāgot galvenās ksilēmas anatomiskās īpašības, reaģējot uz vides apstākļiem, kas galu galā arī ietekmēs auga augšanas ātrumu. Kopumā auga radiālo augšanu pozitīvi ietekmē ziemas temperatūra un nokrišņu daudzums vasarā (Nielsen et al. 2017). Līdzīgos augšanas apstākļos Norvēģijā veikto pētījumu rezultāti uzrāda augšanas sezonas temperatūras ietekmi – jo augstāka temperatūra jūlijā un augustā, jo platākas gadskārtas veidojas jeb labāka sīkkrūma augšana (Meinardus et al. 2011).

Savukārt Sibīrijas tundrā noskaidrots, ka *Betula nana* augšanu pozitīvi ietekmē gaisa temperatūra vasaras sākumā, savukārt ziemas nokrišņu daudzumam nebija būtiskas ietekmes. Šī sīkkrūma augšanu pozitīvi ietekmē nokrišņu daudzums iepriekšējā gada vasarā (Blok et al. 2011). Kaut gan cita pētījuma rezultāti Sibīrijā uzrāda, ka būtiska pozitīva ietekme ir nokrišņu daudzumam vasaras sākumā, jo īpaši svarīgi tas ir sausās vasarās, kad liels nokrišņu daudzums stimulē *Betula nana* sekundāro augšanu (Li et al. 2016). Taču vienā no jaunākajiem pētījumiem par vasaras klimata izmaiņu ietekmi uz sīkkrūmu augšanu alpīnajā un arktiskajā tundrā noteikts, ka *Betula nana* augšanu būtiski negatīvi ietekmē nokrišņu daudzums vasarā, ko pētījuma autori skaidro ar to, ka nokrišņu ietekme nav tieša – visticamāk, mākoņains laiks, kas saistīts ar vasaras nokrišņiem, samazina fotosintēzes aktivitāti un tādējādi arī produktivitāti un gaismas mīlošā *Betula nana* radiālo augšanu (Weijers et al. 2018).

Apkopojot visus zināmos rezultātus par klimata ietekmi uz *Betula nana* augšanu, ir skaidrs, ka viennozīmīgas atbildes par klimata ietekmi nav un tas saskan ar rezultātiem no citiem pētījumiem attiecībā uz citām arktiskajām sīkkrūmu sugām – viss ir atkarīgs no augšanas apstākļiem, mikroreljefa un tā mikroklimata (Bär et al. 2008; Hallinger et al. 2010; Weijers et al. 2018). Jaunākie pētījumi apliecina, ka ir vēl daudz nezināmā par dažādu ekoloģisko faktoru mijiedarbību un to ietekmi uz krūmu un sīkkrūmu augšanu un sastopamību Arktiskajā tundrā (Martin et al. 2017; Nielsen et al. 2017).

### **1.5. Zīmīgo gadi un to aprēķināšanas metodes**

Dendrochronoloģijā jeb kokaugu datēšanā pēc gadskārtām, veicot šķērsdatēšanu (Kaennel, Schweingruber 1995), liela vērtība tiek pievērsta gadskārtu platumu variēšanai un jo īpaši svārstībām, kas uzrāda ārkārtējus gadījumus – ļoti platas vai šauras gadskārtas (Pourtahmasi et al. 2007). Tie ir ekstrēmi gadi, ko dendroekoloģijā sauc par zīmīgajiem gadiem (Kaennel, Schweingruber 1995). Atšķirībā no tā saucamā notikuma gada (*event year*), kas parasti izpaužas dažiem kokaugiem vienas audzes ietvaros (Schweingruber 1996), zīmīgie gadi ir tie gadi, kuri atrodami daudzos kokaugos plašākā mērogā nekā audze, piemēram, vairākās audzēs reģionālā mērogā (Schweingruber 1990).

Zīmīgo gadu gadskārtas ir būtisks rādītājs dendroekoloģijā, sniedzot informāciju par klimata ietekmi un citiem ekoloģiskajiem procesiem. Tas nozīmē, ka izmantojot informāciju par zīmīgajiem gadiem, ir iespējams uzzināt daudz vairāk par kādas kokaugu sugas ekoloģiskajām prasībām (Desplanque et al. 1999). Parasti zīmīgo gadu gadskārtas nosaka, salīdzinot tās ar iepriekšējo gadu gadskārtu platumiem un attiecinot uz konkrētu gadu (Schweingruber 1988). Salīdzinājumā šīs gadskārtas ir ļoti platas vai šauras, vai pat iztrūkstošas, gadskārtā ir redzami

sala bojāti vadaudi, kā arī tās var būt kā reakcijas koksne – spiedes koksnes gadskārta kailsēkļos vai stiepes koksnes gadskārta segsēkļos (Schweingruber 1988; Schweingruber 1996).

Zīmīgo gadu veidošanās parasti ir saistīta ar īstermiņa notikumiem, kas var būt vienas sezonas garumā (Schweingruber, Börner 2018). Tie saucamie pozitīvie zīmīgie gadi (platas gadskārtas) veidojas ļoti labvēlīgā veģetācijas sezonā, kad kambija aktivitāte ir īpaši augsta. Negatīvie zīmīgie gadi (šauras gadskārtas) dendroekoloģijā tiek uztverti kā īpaši svarīgs parametrs, jo norāda uz nelabvēlīgiem vides apstākļiem, kas kavēja auga augšanu un attīstību (Owcarek, Opała, 2016). Bieži tie ir viena vai vairāku nelabvēlīgu klimatisko faktoru sekas, kā piemēram, īpaši aukstas dienas vai īpaši sauss veģetācijas periods. Īpaši šauras gadskārtas var veidoties arī defoliācijas rezultātā pēc fitofāgu uzbrukumiem (Owcarek, Opała 2016; Schweingruber, Börner 2018).

Dendroekoloģijā pēdējo 20 gadu laikā zīmīgo gadu aprēķināšanā visbiežāk ir izmantotas sekojošas metodes:

1. Intervālu trends (IT *interval trend*) – metode, kurā analizējamais gads tiek salīdzināts ar vienu iepriekšējo gadu (Schweingruber 1983 pēc Jetschke et al. 2019). Aprēķinu formulā  $R_{i,t}$  ir gadskārtas platums kokam  $i$  noteiktā gadā  $t = 1, \dots$  un katram blakus esošā gada  $t-1$  un analizējamā gada  $t$  pārim definē koku  $i$  (absolūto) individuālo intervālu tendenci kā:

$$g_{i,t} = \begin{cases} 1 & R_{i,t} - R_{i,t-1} > 0 \\ 0.5 & \text{if } R_{i,t} - R_{i,t-1} = 0 \\ 0 & R_{i,t} - R_{i,t-1} < 0 \end{cases}$$

Un tad kopējo koku intervāla tendenci  $N$  koku populācijā definē kā:

$$IT_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_{i,t}$$

Ja  $IT_t$  ir 1, tad tas nozīmē, ka visiem kokiem attiecīgajā gadā ir platāka gadskārta par iepriekšējā gada gadskārta, kamēr  $IT_t = 0$  nozīmē, ka šaurāka. Par zīmīgo gadu uzskata to gadskārta, kuras platums no iepriekšējā gada gadskārtas būtiski atšķiras par 75%, bet 2019. gada publikācijā, izmantojot šo metodi, iesaka ņemt vērā tikai tos gadus, kuros gadskārta platums būtiski atšķiras par 90% līdz 95% (Jetschke et al. 2019).

2. Augšanas relatīvās izmaiņas (RGC *relative growth change*) – metode, kurā analizējamais gada gadskārtas platums tiek salīdzināts ar iepriekšējo gadu vidējo gadskārta platumu (Schweingruber et al. 1990). Parasti izmanto divas metodes – vienā līdžīgi kā IT metodē salīdzina ar iepriekšējo gadu RGC(-1), bet otrā salīdzina ar iepriekšējiem četriem gadiem RGC(-4) –  $n$  formulā ir iepriekšējo gadu skaits:

$$RGC_t(-n) = \frac{R_t}{\bar{R}(-n)}, \text{ ar ko } \bar{R}(-n) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n R_{t-k}$$

RGC vērtības zem viens identificē šaurākas gadskārtas, kamēr vērtība virs viens identificē gadskārtu, kas ir platāka par vidējo. Par zīmīgo gadu uzskata to gadskārtu, kuras platums no iepriekšējā gada gadskārtas būtiski atšķiras par 75% (Jetschke et al. 2019).

3. Normalizācija jeb izlīdzināšana kustīgajā logā (*NW normalization in a moving window*) – metode, kurā gadskārtu sērijas tiek izlīdzinātas ar slīdošo logu jeb intervālu ( $\pm n$  gadi), kurā katrs gads ir centrālais. To mēdz saukt par Kropera metodi, kur tiek iegūti indeksi  $X_t$  aprēķina Kropera vērtības  $C_t$  (*Cropper values*), katram gadam  $t$  (Jetschke et al. 2019).

$$C_t = \frac{X_t - \bar{X}_t^{(n)}}{sd_t^{(n)}} \quad \text{with} \quad \bar{X}_t^{(n)} = \frac{1}{2n+1} \sum_{k=-n}^n X_{t+k} \quad \text{and} \quad sd_t^{(n)} = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{k=-n}^n (X_{t+k} - \bar{X}_t^{(n)})^2}.$$

Parasti izlīdzināšanai izmanto piecu (Cropper 1979 pēc Jetschke et al. 2019; Pourtahmasi et al., 2007) vai 13 gadu logu. Par zīmīgo gadu uzskata to gadskārtu, kuras platums no iepriekšējā gada gadskārtas būtiski atšķiras par 75% (Jetschke et al. 2019).

4. Ekstrēmās vērtības hronoloģijā (*zChron extreme values of chronology*) – viena no jaunākajām metodēm dendroekoloģijā, kurā izmanto gadskārtu hronoloģijas indeksus (Jetschke et al. 2019). Izmantojamā formula ir, kurā iekļauta visas hronoloģijas indeksu  $\bar{X}$  vidējās vērtības un to  $sd$  standartnovirze:

$$z_t = \frac{X_t - \bar{X}}{sd}, \quad t = 1, \dots, T$$

$$\bar{X} = \frac{1}{T} \cdot \sum_{t=1}^T X_t, \quad sd = \sqrt{\frac{1}{T-1} \cdot \sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X})^2} \quad (\text{Jetschke et al. 2019}).$$

IT un zChron metodēm netiek meklēti zīmīgie gadi atsevišķos kokos, bet iegūst raksturīgās vērtības no visas populācijas. Kaut arī IT balstās tikai uz kvalitatīvām īpašībām, zChron izmanto kvantitatīvus datus, lai aprakstītu, cik stipri atšķiras izmaiņas konkrētajā gadā. Savukārt RGC un NW metodēs zīmīgie gadi tiek meklēti katrā kokā. Nākamajā posmā, definējot noteiktu sliekšni (lielākoties tie ir 75%), nosaka koku proporciju, kuri uzrāda zīmīgos gadus (Jetschke et al. 2019).

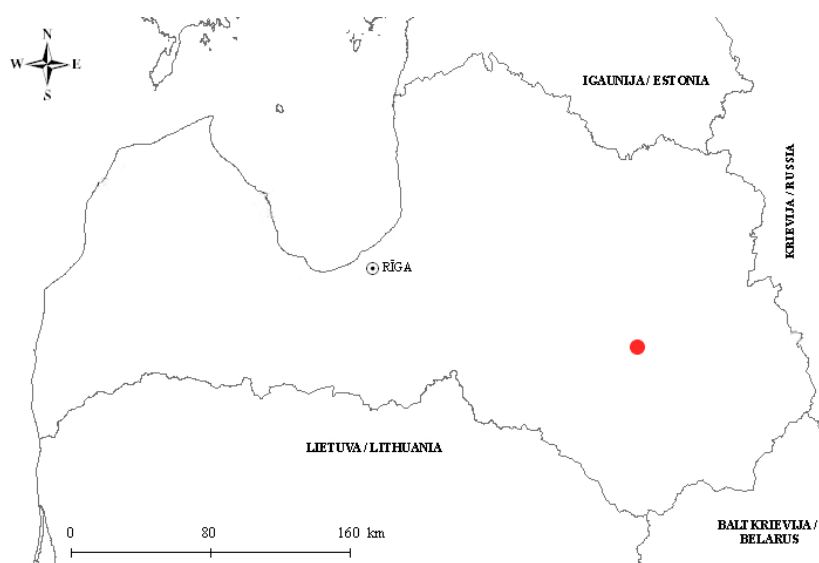
Aprēķinot negatīvos zīmīgos gadus, kurus visbiežāk atspoguļo īpaši šaurās gadskārtas, ir svarīgi novērst jebkuras kokauga novecošanās tendences jeb vecuma trenda ietekmes uz aprēķiniem (Jetschke et al. 2019). Dendroekoloģijā parasti veic detrendēšanu jeb ar matemātiskiem aprēķiniem noņem vecuma trendu, stabilizējot jeb izlīdzinot hronoloģiju (Cook, Kairiukstis 1990). Tāpēc, viens no pamatjautājumiem zīmīgo gadu analīzē ir, vai zīmīgo gadu aprēķināšanai ir jāizmanto statistiski neapstrādāti gadskārtu platumi vai hronoloģiju indeksi. Salīdzinot IT un RGC(-1) metodes, noskaidrots, ka vecuma trenda noņemšanai nav lielas

nozīmes, jo tiek salīdzinātas blakus esošās gadskārtas un tik īsā laika posmā vidējā gadskārtu platuma samazināšanās novecošanās dēļ ir mazāka par 1%. Arī izmantojot RGC(-4) metodi vecuma trenda ietekme ir niecīga (Jetschke et al. 2019).

## 2. MATERIĀLI UN METODES

### 2.1. Pētījumu vietas apraksts

*Betula nana* ievāca Teiču dabas rezervāta teritorijā Austrumlatvijas zemienē – Madonas un Jēkabpils tuvumā (2.1. attēls). Šī aizsargājamā teritorija ir dibināta 1982. gadā ar kopējo platību 19 779 ha, kurā ir raksturīga Austrumlatvijas purvu un mežu flora. Lielāko daļu no teritorijas jeb 69% aizņem augstā jeb sūnu purva masīvs, kura hidroloģisko tīklu veido distrofi-diseitrofi purvu ezeri, nelielu upju augšteces, akači un meliorācijas grāvji (LR Vides ministrija.. 2006).



2.1. attēls. Teiču dabas rezervāta atrašanās vieta.

Figure 2.1. Location of Teiču nature reserve.

Teiču purva masīvā un tā apkārtnē 20. gs. 30. gadu pirmajā pusē bija ierīkotas meliorācijas sistēmas, lai susinātu purvam piegulošajās lauksaimniecībā izmantojamās zemes un mežus. Apjomīgākos meliorācijas pasākumus īstenoja 20. gs. 60. līdz 80. gados, kā rezultātā pazeminājās ūdens līmenis vairākos teritorijā esošajos ezeros un purvā parādījās degradācijas pazīmes (Kalniņa, Namatēva 2020). Kopš 1994. gada Teiču purvu masīvs iekļauts putniem nozīmīgo vietu sarakstā un kopš 1995. gada tas ir starptautiskas nozīmes mitrājs (Ramsāres konvencija). Kā arī kopš 2004. gada šī teritorija ir iekļauta *Natura 2000* tīklā (Kalniņa, Namatēva 2020).

Klimatiskais rajons, kurā atrodas Teiču dabas rezervāts, ir viskontinentālākais un vissiltākais no visiem četriem Latvijas klimatiskajiem rajoniem. Vidējā minimālā temperatūra šajā teritorijā ir apmēram -26 līdz -27 °C un tā palielinās virzienā no ZR uz DA. Gada nokrišņu summa ir 580–620 mm. Zemā temperatūra ziemā nodrošina biezu, noturīgu sniega segu, kas ir līdz 35 cm bieza, bet bezsala periods šajā teritorijā ir aptuveni 135–145 dienas (LR Vides ministrija 2006).

Balstoties uz Dabas aizsardzības pārvaldes izsniegto atļauju, *Betula nana* indivīdus ievāca divos dažādos biotopos Teiču dabas rezervāta regulējamā režīma zonā (LR Vides ministrija 2006) – purvainajā mežā pie Tolkājas ezera (distrofais beznoteces ezers) (LKS92 E: 649151, N: 280613) un augstā jeb sūnu purvā blakus Murmastienes–Siksalas ceļam (LKS92 E: 650632, N: 280880) (2.2. attēls).



2.2. attēls. Paraugu ievākšanas vietas – atzīmētas ar sarkaniem kvadrātiem.

Figure 2.2. Location of sampling – marked with red squares.

*Betula nana* atradne purvainajā mežā pie ezera nav liela – tajā šīs sugas sīkkrūmi auga aptuveni 50 m garā joslā gar ezera krastu. Kokaudzē dominēja parastā priele *Pinus sylvestris* (2.3. attēls).



2.3. attēls. Purvainais mežs pie Tolkājas ezera (foto: M. Metāle).

Figure 2.3. The bog woodland near Tolkāja lake (photo: M. Metāle).

Šajā atradnē bija sastopama purvainajam mežam raksturīga veģetācija – sila virsis *Calluna vulgaris*, zilene *Vaccinium uliginosum*, purva vaivariņš *Ledum palustre*, ārkausa

kasandra *Chamaedaphne calyculata*, makstainā spilve *Eriophorum vaginatum*, grīšļi *Carex* sp. u.c. Aptuveni 10% no zemsedzes sedz sfagni *Sphagnum* sp., pārējā platībā ir sastopamas zaļsūnas, piemēram, Šrēbera rūšaine *Pleurozium schreberi* un spīdīgā stāvaine *Hylocomium splendens*.

*Betula nana* atradne augstajā purvā ir neliela. Atšķirībā no purvainā meža, visu zemsedzi klāja *Sphagnum* sp. un veģetāciju veidoja *Ledum palustre* L., lielā dzērvene *Oxycoocus palustris*, lācene *Rubus chamaemorus* un citas augstajam purvam raksturīgās sugas (2.4. attēls).



2.4. attēls. Teiču augstā purva ainava (foto: I. Dauškane).

Figure 2.4. Landscape of Teiču raised bog (photo: I. Dauškane).

## 2.2. *Betula nana* paraugu ievākšana

Kopumā Teiču dabas rezervātā ievāca desmit *Betula nana* individuus – purvainajā mežā pieci indivīdi un vēl pieci augstajā purvā. Paraugi ievākti 2018. gada septembra beigās. Sīkkrūma individuus izvēlējās subjektīvi. Visa auga izrakšana ir sīkkrūmu dendroekoloģijā pieņemta standartmetode (Büntgen et al. 2015), kas balstīta uz iespēju pēc iespējas precīzāk veikt auga datēšanu. Sīkkrūmiem ir grūti vizuāli noteikt pārejas zonu no saknēm uz stumbru un, jo īpaši klājenisko formu augiem, vecākā auga daļa bieži vien atrodas substrātā (Sweingruber, Poschland 2005), kā piemēram, *Betula nana* – sfagnos un kūdrā. Tāpēc izvēlētos augus atbrīvoja no sfagņu un kūdras kārtas un, sekojot sakņu augšanas virzienam, visā garumā, cik vien bija iespējams, izraka. Nevar apgalvot, ka bija izrakts pilnīgi viss augs, jo bieži vien augu izceļot no substrāta pārtrūka tievākās saknes un vecākie zari. Katram augam piesēja klāt lapiņu ar identifikācijas numuru.

### 2.3. *Betula nana* paraugu sagatavošana un stumbra šķērsriezumu iegūšana

Katru indivīdu samērāja 10 cm garos gabaliņos (šis attālumš bija izvēlēts bez zinātniska pamatojuma), atzīmējot vietas, kur veiks griezumš (2.5. attēls) un tad visu augu sagrieza ar dārza šķērēm. Katram iegūtajam 10 cm garajam paraugam piešķīra savu unikālo kodu – numerācija sākta no vecākās auga daļas un turpināta uz augšu līdz jaunākajiem zariem.



2.5. attēls. Griešanai sagatavots *Betula nana* (foto: I. Dauškane).

Figure 2.5. *Betula nana* prepared for cutting (photo: I. Dauškane).

Plāno griezumš iegūšanai (90% plāno griezumš paraugu sagatavoja LU Bioloģijas fakultātes maģistrantūras studiju programmas studente Madara Metāle), 10 cm garie gabaliņi izmērcēti karstā ūdenī apmēram piecas minūtes. Lai iegūtu piemērotus paraugus gaismas mikroskopijai, plānie stumbra šķērsriezumi veikti ar sliedes tipa mikrotomu „G.S.L.1” (2.6. attēls) (Gärtner, Schweingruber 2013). Katra auga pirmajiem un pēdējiem desmit centimetriem šķērsriezumi veikti 10 cm gabaliņam abos galos. Pārējiem 10 cm garajiem gabaliņiem grieza tikai augšējo galu – apakšējais gals, ko negrieza bija marķēts ar sarkanas krāsas marķieri.



2.6. attēls. Sliedes tipa mikrotomu „G.S.L.1” (www.wur.nl).

Figure 2.6. Sledge microtome „G.S.L.1” (www.wur.nl).

Parasti sīkkrūmu gadskārtas ir ļoti šauras un līdz ar to ir grūti ieraudzīt robežu starp tām un tas, savukārt, apgrūtina precīzu to mērīšanu. Tāpēc ir īpaši svarīgi paraugus krāsot ar astrazilā un safranīna šķīdumu – tas labi izceļ kontrastus starp gadskārtu robežām (Sweingruber, Poschland 2005; Wilmking et al. 2012; Young et al. 2016).

Katra 10 cm garā parauga griešanu un krāsošanu veica pēc sekojošas sistēmas, kas ir standartmetode (Gärtner, Schweingruber 2013; Myers-Smith et al. 2015a):

1. katram 10 cm garajam gabaliņam veica dažus koriģējošos griezumus ar sliedes tipa mikrotomu;
2. pēc koriģējošajiem griezumiem veica vairākus 20–30  $\mu\text{m}$  plānus sērijveida griezumus, no kuriem izvēlējās kvalitatīvākos;
3. kvalitatīvākos griezumus krāsoja (krāsošanas ilgums aptuveni 1 minūte) ar krāsvielu maisījumu – astra zilais 0,5% etiķskābē un safranīns ūdenī attiecībā 5:1;
4. atkrāsošanu jeb skalošanu veica ar 70% un tad ar 96 % spirtu;
5. griezumiem uzpilināja dažus pilienus glicerīna un tad apsedza ar segstikliņu – to veica, lai paraugus varētu uzglabāt ilgāku laiku – līdz tiem mērīja gadskārtas.

#### **2.4. *Betula nana* gadskārtu mērīšana un šķērsdatēšana**

Gadskārtu mērīšanai izmantots gadskārtu mērīšanas galds LINTAB5, kas ietver arī mikroskopu Leica MS5 un datorprogrammu TSAP-Win Scientific (Rinn 2003). Mērījumus veica ar 0,01 mm precizitāti virzienā no serdes uz mizu. Paraugus ar labi saskatāmām gadskārtām mērīja vienā rādiusā. Papildus gadskārtu mērījumus, lai izvairītos no kļūdām, veica tiem griezumiem, kuru gadskārtu robežas nebija skaidri saskatāmas.

*Betula nana* gadskārtu platumu mērījumu kvalitāti pārbaudīja, veicot šķērsdatēšanu. Šķērsdatēšana ir metode, kad savienojot gadskārtu platumu variēšanu starp vairāku koku gadskārtu sērijām vai līdzinot tās ar jau fiksētu hronoloģiju laikā, ir iespējams noskaidrot

precīzu katras gadskārtas veidošanās gadu (Speer 2010; Kaennel, Schweingruber 1995). Tas ir vairākkārt atkārtojams process, kas sastāv no zīmīgo gadu identificēšanas. Parasti to veic vizuāli, balstoties uz gadskārtu platumu mērījumu sēriju salīdzināšanu un pēc tam to var pārbaudīt, izmantojot statistiskās metodes. Tā kā gadskārtu rindas paraugiem bija samērā īsas, tad izmantoja grafisko šķērsdatēšanu – grafiski gadskārtu platumu variēšanu saskaņoja pēc izteiktākajiem zīmīgajiem gadiem (Myers-Smith et al. 2015a). Šķērsdatēšanas rezultātā identificētas iztrūkstošas gadskārtas. Paraugu šķērsdatēšanu sāka no *Betula nana* jaunākajām dzinumam daļām, kur paredzams, ka pēdējā gadskārta varēja būt datējama ar 2018. gadu. Purvainajam mežam un augstajam purvam veica savstarpēji nesaistītas šķērsdatēšanas.

## 2.5. Dendroekoloģisko datu analīze

### 2.5.1. Gadskārtu platumu salīdzināšana un zīmīgo gadu aprēķināšana

Lai salīdzinātu abu biotopu *Betula nana* gadskārtu platumu paraugkopas, tad izmantoja parametriskās metodes, jo vidējie gadskārtu platumi abos biotopos atbilda normālajam sadalījumam. Sākumā ar F-testu (*F-test*) salīdzināja dispersijas, pēc tam ar T-testu (*T-test*) salīdzināja vidējos aritmētiskos, pievienojot papildus argumentu `var.equal=TRUE`, jo dispersijas bija homogēnas. Lai savā starpā salīdzinātu abu biotopu gadskārtu minimālās, kā arī maksimālās vērtības, izmantoja Vilkoksona testu neatkarīgām paraugkopām (*Wilcoxon Rank-Sum test*), jo dati neatbilda normālajam sadalījumam.

Zīmīgo gadu aprēķināšanā izmantota modificēta augšanas relatīvās izmaiņas metode (RGC) jeb to mēdz saukt arī par *Skeleton plot* metodi (Neuwirth et al. 2004). Aprēķinus veica katram griezumam jeb katrai nestandartizētai gadskārtu rindai atsevišķi tiem zariem, kuriem bija šķērsdatēti vismaz trīs griezumi. Izmantojot šo metodi, noskaidroja par cik procentiem konkrētā gada gadskārta  $x_i$  ir platāka vai šaurāka salīdzinot ar vidējo gadskārtu platumu iepriekšējos četros gados  $\bar{x}_4$  – gala rezultātā ieguva relatīvās izmaiņas  $\Delta_i$ , kas izteiktas procentos:

$$\Delta_i = \frac{(x_i - \bar{x}_4) \cdot 100}{\bar{x}_4}$$

Turpmākā analīzē atlasīja tos gadus, kuros relatīvās izmaiņas bija  $\geq 50\%$  (pozitīvie zīmīgie gadi) un  $\leq -50\%$  (negatīvie zīmīgie gadi) un tad aprēķināja, cik procentiem zaru konstatēti konkrētie atlasītie zīmīgie gadi – zaru proporcija procentos aprēķināta katram atlasītajam zīmīgajam gadam. Šādus aprēķinus veica katram biotopam atsevišķi. Turpmākā datu analīzē izmantoja iegūtās zaru proporcija procentos katram zīmīgajam gadam, atdalot pozitīvos un negatīvos zīmīgos gadus.

Lai noskaidrotu vai pastāv būtiska atšķirība starp augstā purva un purvainā meža negatīvajiem un pozitīvajiem zīmīgajiem gadiem, izmantoja programmas R (R Core Team, 2020) Vilkoksona (*Wilcoxon*) testu neatkarīgām paraugkopām, jo zīmīgo gadu dati neatbilda normālajam sadalījumam.

### 2.5.2. Zīmīgo gadu un klimatisko faktoru saistības analīze

Zīmīgo gadu un klimata faktoru saistības noteikšanai rēķināja korelācijas starp zaru proporciju procentos katram zīmīgajam gadam un dažādiem klimatiskajiem faktoriem. Datu korelācijas veica programmā R, izmantojot RStudio (R Core Team 2020), ar neparametrisko metodi – Spīrmena (*Spearman*) korelācijas koeficientu, jo zīmīgo gadu datu rindas neatbilda normālajam sadalījumam.

Klimata datus ieguva no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra mājaslapas (LVĢMC 2020). Korelācijām izmantoja klimata datus, kas iegūti no četrām novērojumu stacijām – Lubānas, Daugavpils, Alūksnes un Griškānu. Gaisa temperatūras datus ieguva no Alūksnes un Daugavpils novērojumu stacijām, jo citu staciju datus, kas atradās tuvāk Teiču dabas rezervātam, bija datu iztrūkums vairākiem gadiem. Katrai novērojumu stacijai izveidoja atsevišķu kopējo datu tabulu – katras dienas vidējā temperatūra, ko aprēķināja izmantojot MS Excel programmu, laika posmā no 1957.gada līdz 2018.gadam. Abu novērojumu temperatūras datus salīdzināja ar T-testu (*T-test*), kas uzrādīja, ka starp šiem datiem nepastāv statistiski būtiska atšķirība. Pēc tam no šiem datiem izvilka vidējās temperatūras vērtības katrai dienai un apvienoja vienā datu tabulā. Lai varētu veikt korelācijas, no šiem datiem aprēķināja vidējo, minimālo un maksimālo gaisa temperatūru katrā gadā un mēnesī. Tālāk šos datus kārtoja datu tabulās, attiecīgi salīdzināmajam periodam. Nokrišņu daudzuma datus ieguva no Lubānas novērojumu stacijas, jo tā bija tuvākā novērojumu stacija Teiču dabas rezervātam. Visus nokrišņu datus apvienoja vienā tabulā ar katras dienas vidējo nokrišņu daudzumu no kuriem pēc tam aprēķināja vidējos nokrišņus gadam un mēnesim. Savukārt, tuvākā stacija no kuras bija iespējams iegūt sniega segas biezuma datus, bija Griškāni. No šiem datiem veica tādus pašus aprēķinus kā ar nokrišņu datiem.

Korelācijas analīzē izmantoja gaisa temperatūras (mēneša vidējā, maksimālā un minimālā), nokrišņu (mēneša vidējais) un sniega segas biezuma (mēneša vidējais, izņemot jūniju, jūliju, augustu) datus. Analizējamais laika periods bija no 1957.gada līdz 2018. gadam, izņemot sniega segas biezumu, kas bija periodā no 1957.–2015. gadam. Aprēķinus veica arī ar vidējās gaisa temperatūras, vidējās nokrišņu summas un vidējā sniega segas biezuma (izņemot vasaras un veģetācijas periodos) apkopotajiem periodiem:

- gads – no iepriekšējā gada oktobra līdz analizējamā gada septembrim;

- ziemas – no iepriekšējā gada decembra līdz analizējamā gada februārim;
- pavasaris – no marta līdz maijam;
- vasara – no jūnija līdz augustam;
- rudens – no septembra līdz novembrim;
- veģetācijas periods un tā ilgums (dienu skaits) – veģetācijas periods sākās, kad vidējā gaisa temperatūra ir augstāka par +5 °C vismaz sešas dienas pēc kārtas un veģetācijas periods beidzās, kad pēdējo reizi ir +5 °C sešas dienas pēc kārtas (Avotniece u.c. 2017);
- miera periods un tā ilgums (dienu skaits) – miera periods iestājas pēc veģetācijas perioda beigām un beidzās, kad sākas nākamais veģetācijas periods (Avotniece u.c. 2017).

### 3. REZULTĀTI

#### 3.1. *Betula nana* gadskārtu raksturojums

Kopumā no 10 *Betula nana* indivīdiem bija sagatavoti 605 plānie šķērs griezumumi un tiem izmērīja gadskārtu platumus. Veiksmīgi šķērsdatēt izdevās 527 šķērs griezumus, no kuriem 263 bija no augstā purva un 264 bija no purvainā meža. Ķīļveida gadskārtas, kas veidojušās ekscentriskas augšanas rezultātā (3.1. attēls), spiedes koksne un iztrūkstošās gadskārtas bija galvenie iemesli, kas apgrūtināja šķērsdatēšanu. Daudzos *Betula nana* stumbra šķērs griezumumos gadskārtas ap serdi bija salīdzinoši platas, savukārt tuvāk pie mizas ļoti sašaurinājās – tās bija izkārtotas ļoti blīvi viena pie otras. Aprakstītās gadskārtu anomālijas bija īpaši bieži novērojamas auga vecākajās daļās, kas atradās sfagnu vai kūdras slānī.



3.1.attēls. *Betula nana* plānais stumbra šķērs griezumums (foto: M.Metāle).

Figure 3.1. Sample of *Betula nana* with wedging ring (photo: M. Metāle).

Veicot šķērsdatēšanu, noskaidroja, ka *Betula nana* viens indivīds ir salīdzināms ar dažāda vecuma kokaudzi. Tas skaidrojams ar to, ka viena indivīda ietvaros novērota dažāda kambija aktivitāte un pat aktivitātes beigas auga vecākajās daļās. Augiem vecākās daļas bija atmirušas (kādā noteiktā laikā kambija aktivitāte bija beigusies), bet augs turpināja dzīvības procesus, veidojot gadskārtas jaunākajos dzinumos jeb zaros, kas pāraugot ar purva sūnām *Sphagnum sp.* un uzkrājoties kūdrai, veidoja jaunu sakņu sistēmu.

Statistiski salīdzinot *Betula nana* gadskārtu platumus starp biotopiem, nebija konstatēta statistiski būtiska atšķirība. Salīdzinot vidējo gadskārtu platumus F-tests (*F-test*) uzrādīja, ka abu paraugkopu dispersijas ir homogēnas  $F = 0,848$  un  $p$ -vērtība bija lielāka par  $\alpha = 0,05$  ( $p = 0,604$ ), kā arī F- testa vērtības ticamības intervāls satur skaitli viens (0,452 līdz 1,590). T-testa rezultātā  $p = 0,0609$ , kas ir lielāka par būtiskuma līmeni  $\alpha = 0,05$ , kas nozīmē, ka nepastāv statistiski būtiska atšķirība starp paraugkopu vidējiem aritmētiskajiem. Lai savā starpā salīdzinātu abu biotopu gadskārtu minimālās, kā arī maksimālās vērtības, izmantoja Vilksona (*Wilcoxon*) testu neatkarīgām paraugkopām. Rezultāti, salīdzinot augstā purva un purvainā meža minimālos gadskārtu platumus, uzrādīja  $p = 0,6209$ , kas ir lielāks par būtiskuma līmeni  $\alpha = 0,05$ . Salīdzot maksimālos gadskārtu platumus starp biotopiem  $p = 0,1909$ , kas ir lielāks par būtiskuma līmeni  $\alpha = 0,05$ . Tātad gadskārtu platumu variēšana starp biotopiem būtiski neatšķirās. Abos biotopos *Betula nana* vidējais gadskārtu platums bija 0,21 mm un šaurākās gadskārtas platums bija 0,01mm. Maksimālās gadskārtas platums purvainajā mežā bija 1,83 mm, bet augstajā purvā 2,16 mm.

### 3.2. *Betula nana* zīmīgie gadi

Ņemot vērā iegūtos rezultātus par iepriekš aprakstītajā *Betula nana* augšanas un kambija aktivitātes īpatnībām dažādās auga daļās, zīmīgo gadu noteikšanai nolēma analizēt nevis visa auga vidējās gadskārtu platumu izmaiņas, bet veikt analīzi tiem zariem, kuriem ir šķērsdatēti vismaz trīs plānie šķērs griezumi, tāpēc statistikā izmantoto zaru skaits atšķirās no reālā zaru skaita (3.1. tabula).

3.1. tabula

Augstā purva un purvainā meža *Betula nana* griezumu, zaru un datu analīzē iekļauto zaru skaits.

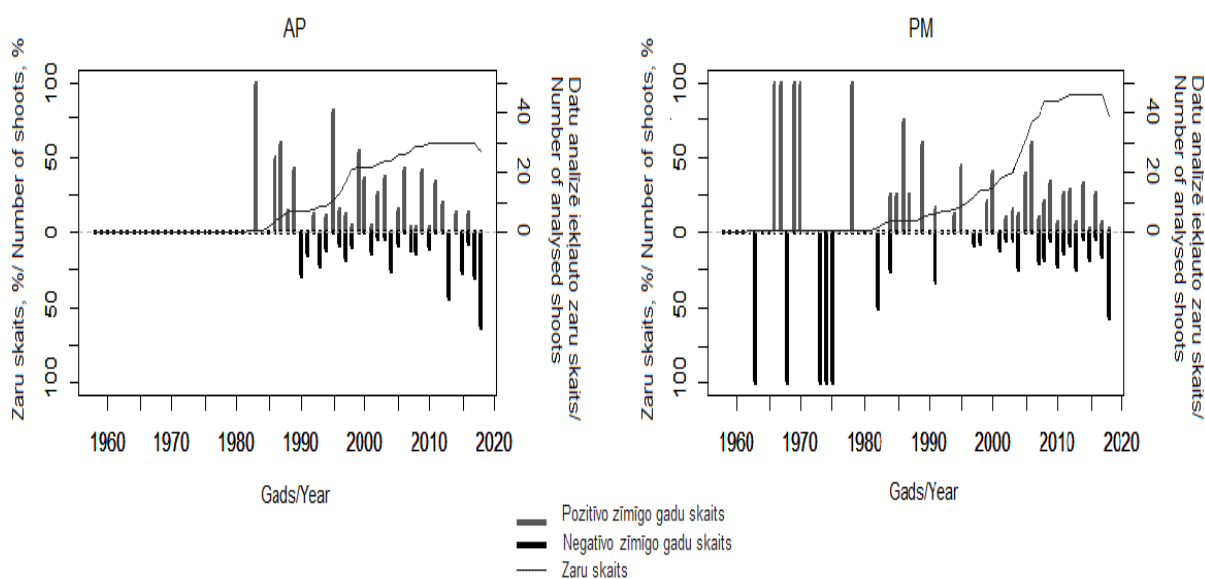
Table 3.1.

Count of *Betula nana* cuts, shoots and shoots used in statistical analysis from raised bog and the bog woodland.

Augstais purvs/raised bog				Purvainais mežs/bog woodland			
Indivīds/ Individual	Plāno šķērs griezumu skaits/ Count of thin cross-sections	Zaru skaits/ Count of shoots	Statistikajās analīzēs izmantoto zaru skaits/ Count shoots used in	Indivīds/ Individual	Plāno šķērs griezumu skaits/ Count of thin cross-sections	Zaru skaits/ Count of shoots	Statistikajās analīzēs izmantoto zaru skaits/ Count shoots used in

			statistical analysis				statistical analysis
1	30	7	3	1	65	14	8
2	69	12	9	2	48	10	9
3	33	6	6	3	32	8	6
4	19	3	1	4	40	9	8
5	113	13	11	5	78	17	15
<b>Kopā/Su m</b>	<b>264</b>	<b>41</b>	<b>30</b>	<b>Kopā/Su m</b>	<b>263</b>	<b>58</b>	<b>46</b>

*Betula nana* pirmā gadskārta augstajā purvā bija datēta ar 1978. gadu un pirmais zīmīgais gads ir 1983. gadā un tas ir pozitīvs. Savukārt, 1990. gads ir pirmais negatīvais gads augstajā purvā. Pirms 1985. gada zaru kopējais skaits bija viens, tāpēc 1983. gadu nevar uzskatīt par pārliecinoši pozitīvu gadu. Par pārliecinoši pozitīvu var uzskatīt 1995. gadu, kad no 11 datu analizē iekļautajiem zariem, deviņos zaros (81,8%) tajā gadā veidojās plata gadskārta. Arī 1999. gadā lielākajā daļā jeb 12 no 22 zariem (54,5%) veidojās plata gadskārta jeb novērojams pozitīvais zīmīgais gads. Pārliecinoši slikta augšana bija novērojama 2018. gadā (3.2. attēls). Šajā gadā aptuveni 30% no šķērsdatētajiem paraugiem šī gadskārtas bija konstatēta kā iztrūkstoša.



3.2. attēls. *Betula nana* pozitīvie un negatīvie zīmīgie gadi augstajā purvā (AP) un purvainajā mežā (PM).

Figure 3.2. Positive and negative pointer years of *Betula nana* from raised bog (AP) and the bog woodland (PM).

*Betula nana* pirmā gadskārta purvainajā mežā bija datēta ar 1978.gadu. Aprēķini kā pirmo zīmīgo negatīvo gadu uzrādīja 1963. gadu, bet pirmo zīmīgo pozitīvo 1966.gadu. Gadskārtas, kas veidojušās pirms 1980. gada uzrāda zīmīgos gadus 100% no paraugiem, taču šajos gados kopumā no purvainā meža bija tikai viens zars, tāpēc nevar šos gadus viennozīmīgi uzskatīt par zīmīgajiem gadiem. Vispārliecinošākais pozitīvais zīmīgais gads purvainajā mežā bija 2006.

gads, kad 22 zaros no analizētajiem 37 (59,5%) bija novērojama īpaši plata gadskārta. Vispārliciecināmais negatīvais, tāpat kā augstajā purvā, bija 2018. gads, kad negatīvus zīmīgos gadus uzrādīja 22 no 39 zariem, kas ir 54,4% no visiem zariem tajā gadā (3.2. attēls).

Kaut arī zīmīgie gadi mēdza atšķirties starp biotopiem, taču Vilkoksona (*Wilcoxon*) tests neatkarīgām paraugkopām uzrādīja, ka zaru proporcijai procentos gan pozitīvajos, gan negatīvajos zīmīgajos gados starp biotopiem nav statistiski būtiskas atšķirības, jo iegūtās p-vērtības bija lielākas par būtiskuma līmeni  $\alpha=0,05$  (negatīvajos zīmīgajos gados p-vērtība = 0,907, bet pozitīvajos zīmīgajos gados p-vērtība = 0,720). No visiem zīmīgajiem gadiem abos biotopos pārliecinoši sakrita 16 gadi. Attēlā 3.2. ir redzams, ka kopīgie pozitīvie zīmīgie gadi abās teritorijās ir 1986., 1987., 1989., 1995., 1999., 2000., 2002. un 2003., 2006., 2009., 2011., gads no kuriem īpaši izceļami ir 1995., 1999. un 2000., 2006. un 2009. gads. Savukārt kopīgie negatīvie zīmīgie gadi abās teritorijās ir 1991., 2004., 2013., 2018. gads, no kuriem īpaši izceļami ir 2013. un 2018. gads (3.2. attēls).

### **3.3. *Betula nana* zīmīgo gadu saistība ar klimatiskajiem faktoriem**

Veicot zīmīgo gadu korelācijas ar klimata datiem būtiska saistība starp zīmīgajiem gadiem bija temperatūrai, nokrišņu daudzumam un brīžiem arī sniega segas biezumam. Starp veģetācijas un miera periodu ilgumu un zīmīgajiem gadiem nepastāv būtiska korelācija nevienā no biotopiem. Daži no faktoriem, kas uzrādīja statistiski būtisku (kaut arī korelācijas koeficienti nav augsti) ietekmi uz zīmīgo gadskārtu veidošanos *Betula nana* sakrita abos biotopos (3.2. tabula). Sakrita arī korelācijas koeficienti, kas visiem kopīgajiem faktoriem bija pozitīvi, kas nozīmē, ka palielinoties faktoram, kas korelēja ar zīmīgajiem gadiem, palielinās iespēja, ka gads būs zīmīgs, attiecīgi, negatīvs vai pozitīvs. Kopīgās korelācijas abiem gadiem bija vairāk tieši ar negatīvajiem zīmīgajiem gadiem (3.2. tabula).

Īpaši šauras vai iztrūkstošas gadskārtas (negatīvie zīmīgie gadi) *Betula nana* abos biotopos Teiču rezervātā veidojas gados, kad ir augsta vidējā gaisa temperatūra augustā, kā arī gados, kad ir īpaši augsta maksimālā gaisa temperatūra augustā – augusta gaisa temperatūras ekstrēmi. Būtiska saistība ar zemu kambija aktivitāti veidojot šauras gadskārtas pastāv arī ar palielinātu nokrišņu daudzumu oktobrī un miera periodā. Savukārt īpašu platu gadskārtu veidošanās ir pozitīvi saistīta ar aprīļa un miera perioda gaisa temperatūras maksimumiem (3.2. tabula).

3.2. tabula

Statistiski būtiskas korelācijas (Spīrmēna korelācijas koeficients pie  $\alpha=0,05$ ) starp zīmīgo gadu zaru proporcijām procentos un klimatiskajiem faktoriem abos biotopos.

Table 3.2.

Case of statistically significant correlations (Spearman correlation coefficient at  $\alpha=0,05$ ) between percentage of shoot proportions and climatic factors in both habitats.

Klimatiskais faktors/ Climatic factor		Augstais purvs/ Raised bog	Purvainais mežs/ Bog woodland
<i>Negatīvie zīmīgie gadi/ Negative pointer years</i>			
Gaisa temperatūra (°C)/ Air temperature (°C)	Augusta vidējā/ August mean	0,435	0,446
	Augusta maksimālā/ August maximal	0,304	0,379
	Veģetācijas perioda vidējā/ Vegetation period mean	0,498	0,346
Nokrišņi (mm)/ Precipitation (mm)	Oktobra vidējais/ October mean	0,371	0,292
	Miera perioda vidējais/ Dormant period mean	0,346	0,269
<i>Pozitīvie zīmīgie gadi/ Positive pointer years</i>			
Gaisa temperatūra (°C)/ Air temperature (°C)	Aprīļa maksimālā/ April maximal	0,418	0,263
	Miera perioda maksimālā/ Dormant period maximal	0,432	0,281

Pārējie klimata faktori, kas uzrādīja statistiski būtisku saistību ar zīmīgajiem gadiem atšķīrās starp abiem biotopiem. Augstajā purvā īpaši šauru vai iztrūkstošu gadskārtu veidošanās iespēja palielinās, ja ir augsta gaisa temperatūra ziemas mēnešos (iepriekšējā gada decembris–februāris), kā arī ja ir īpaši augsta maksimālā gaisa temperatūra februārī. Rezultāti uzrāda, ka *Betula nana* augšanai ir svarīgi, lai ir miera periodā ir bieza sniega sega. Īpaši labi *Betula nana* radiālo augšanu ietekmē vidējā gaisa temperatūra jūlijā un vasaras mēnešos (jūnijs–augusts) kopumā, kā arī, ja oktobra mēnesī vēl nav uzsnidzis sniegs – mazs sniega segas biežums, kas saistīts ar siltāku rudeni (3.3. tabula).

3.3. tabula

Statistiski būtiskas korelācijas (Spīrmēna korelācijas koeficients pie  $\alpha=0,05$ ) starp zīmīgo gadu zaru proporcijām procentos un klimatiskajiem faktoriem augstajā purvā.

Table 3.3.

Case of statistically significant correlations (Spearman correlation coefficient at  $\alpha=0,05$ ) between percentage of shoot proportions and climatic factors in the raised bog.

<b>Klimatiskais faktors/ Climatic factor</b>		<b>Augstais purvs/ Raised bog</b>
<b><i>Negatīvie zīmīgie gadi/ Negative pointer years</i></b>		
Gaisa temperatūra (°C)/ Air temperature (°C)	Februāra maksimālā/ February maximal	0,303
	Ziemas vidējā/ Winter mean	0,305
Sniega segas biezums (cm)/ Snow cover (cm)	Miera perioda vidējais/ Dormant period men	-0,383
<b><i>Pozitīvie zīmīgie gadi/ Positive pointer years</i></b>		
Gaisa temperatūra (°C)/ Air temperature (°C)	Jūlija vidējā/ July mean	0,326
	Vasaras vidējā/ Summer mean	0,310
Sniega segas biezums (cm)/ Snow cover (cm)	Oktobra vidējais/ October mean	-0,324

Purvainajā mežā *Betula nana* īpaši šauro, iztrūkstošo vai īpaši platu gadskārtu veidošanos būtiski ietekmē vairāk klimatisko faktoru nekā tas ir augstajā purvā. Paaugstinātām vidējām gaisa temperatūrām septembrī, novembrī, gadā kopumā, rudens (septembris–novembris) un miera periodā, kā arī īpaši augstiem minimālās gaisa temperatūras ekstrēmiem novembrī un jūlijā un arī īpaši augstiem maksimālās gaisa temperatūras ekstrēmiem martā ir būtiska negatīva ietekme uz kambija aktivitāti – veidosies īpaši šaurās vai iztrūkstošās gadskārtas (negatīvais zīmīgais gads). Tāda pati ietekme ir arī nokrišņu daudzumam novembrī, taču pretēja – nokrišņu daudzumu martā (3.4. tabula).

Purvainajā mežā augošajiem *Betula nana* īpaši platas gadskārtas (pozitīvs zīmīgais gads) veidojas gados, kad ir augsta vidējā gaisa temperatūra pavasarī (marts–maijs) un rudenī (septembris–novembris), kā arī pozitīva korelācija ir starp vidējo nokrišņu daudzumu rudenī un vidējo sniega segas biezumu janvārī (3.4. tabula).

3.4. tabula

Statistiski būtiskas korelācijas (Spīrmena korelācijas koeficients pie  $\alpha=0,05$ ) starp zīmīgo gadu zaru proporcijām procentos un klimatiskajiem faktoriem purvainajā mežā.

Table 3.4.

Case of statistically significant correlations (Spearman correlation coefficient at  $\alpha=0,05$ ) between percentage of shoot proportions and climatic factors in the bog woodland.

<b>Klimatiskais faktors/ Climatic factor</b>		<b>Purvainais mežs/ Bog woodland</b>
<b><i>Negatīvie zīmīgie gadi/ Negative pointer years</i></b>		
Gaisa temperatūra (°C)/ Air temperature (°C)	Septembra vidējā/ September mean	0,328
	Novembra vidējā/ November mean	0,379
	Gada vidējā/ Year mean	0,362
	Rudens vidējā/ Autumn mean	0,275
	Miera perioda vidējā/ Dormant period men	0,284
	Marta maksimālā/ March maximal	0,340
	Jūlija minimālā/ July minimal	0,284
	Novembra minimālā/ November minimal	0,386
	Veģetācijas perioda minimālā/ Vegetation period minimal	0,253
Nokrišņi (mm)/ Precipitation (mm)	Marta vidējais/ March mean	-0,324
	Novembra vidējais/ November mean	0,459
<b><i>Pozitīvie zīmīgie gadi/ Positive pointer years</i></b>		
Gaisa temperatūra (°C)/ Air temperature (°C)	Pavasara vidējā/ Spring mean	0,268
	Rudens vidējā/ Autumn mean	0,290
Nokrišņi (mm)/ Precipitation (mm)	Rudens vidējais/ Autumn mean	0,255
Sniega segas biezums (cm)/ Snow cover (cm)	Janvāra vidējais/ January mean	0,266

#### 4. DISKUSIJA

Purvainas vietas, kādās aug *Betula nana*, ir potenciāli naidīgas augu izdzīvošanai, jo tajās ir paaugstināts mitruma līmenis, zems augsnes pH, pārsvarā trūcīgs minerālvielu daudzums un arī pastāv liela iespēja, ka substrātā ir toksīni, kas veidojas reducējoties dzelzim, magnijam un sēram (Charman 2002). Šie ekstrēmie augšanas apstākļi, prasa no augiem dažādu veidu adaptācijas, lai tie spētu augt, vairoties un izdzīvot. Šo auga procesu nodrošināšanai ir svarīga sakņu spēja augt un elpot. To parasti ietekmē substrāta aerācija, temperatūra un citi faktori. Purvos pieejamais skābeklis augiem ir limitēts, jo tā vislielākā koncentrācija ir purva aktīvajā slānī jeb akrotelmā. Tundrā 60% aktīvo sakņu augiem atrodas substrāta augšējos piecos centimetros (Smith, Smith 2001). Tas nozīmē, ka purvā augošajiem augiem ir samērā sekla un horizontāla sakņu sistēma – lokalizēta akrotelmā (Kozłowski 1997; Rydin, Jeglum 2006). Skābekļa daudzumu akrotelmā nosaka nokrišņu daudzums, kas savukārt ietekmē ūdens līmeni purvā (Mannerkoski 1991). Skābekļa daudzums purva akrotelmā ietekmē ne tikai auga elpošanu caur saknēm, bet arī spēju uzsūkt ūdeni caur saknēm – ja maz skābekļa, tad arī ir kavēta ūdens uzsūkšana (Shoulders 1975). Purva sīkkrūmi ir pielāgojušies barības vielu trūcumam ar to, ka ir lēni augoši, kas samazina to nepieciešamību pēc barības vielām (Joosten, Clarke 2002) un ar to, ka to lapas ir mazas un biezas – piemērotas mazākas intensitātes transpirācijai.

Ņemot vērā aprakstītos skarbos ekoloģiskos apstākļus, tajos augošajiem kokaugiem anatomiskajās un morfoloģiskajās struktūrās var novērot dažādas atbildes reakcijas, piemēram, sīkkrūmiem – šauras vai iztrūkstošas gadskārtas (Dauškane 2011). Šajā pētījumā, tāpat kā citos, gadskārtu mērīšanas procesu īpaši sarežģīja šaurās *Betula nana* gadskārtas (Büntgen et al. 2015; Hollesen et al. 2015). Abos Teiču dabas rezervāta biotopos gadskārtu platums atšķīrās atkarībā no auga vecuma – salīdzinājumā ar augsto purvu, purvainajā mežā *Betula nana* gadskārtas bija platākas pie serdes. Iespējams, ka tā ir indivīda specifiska reakcija attīstības sākuma posmā. Jo visiem kokaugiem dzīves sākumā novērojamas platākas, centriskas gadskārtas, kas saistāms ar auga vitalitāti (Esper et al. 2008). Vidējais gadskārtu platums starp augsto purvu un purvaino mežu bija vienāds – 0,21mm. Teiču dabas rezervātā augošo *Betula nana* vidējais gadskārtu platums sakrīt ar Oļļu purva (dabas liegums “Ziemeļu purvi”) rezultātiem (Cinevica 2011). Tas nozīmē, ka Latvijas ziemeļos un dienvidos uz šo brīdi konstatētais vidējais gadskārtu platums ir 0,21 mm, kas ir līdzīgs salīdzinot ar ārpus Latvijas augošajiem *Betula nana* (vidējais gadskārtu platums ir 0,204 mm (Young et al. 2016).

Šī pētījuma gaitā radās citas līdzīgas problēmas, kas jau agrāk aprakstītas veiktos pētījumos ar *Betula nana* (Li et al. 2016; Young et al. 2016). Šķērsdatējot atklājās, ka daudziem paraugiem trūka viena vai divas gadskārtas, daudzos paraugos iztrūka 2018. gada gadskārta. Arī indivīdiem, kas bija ievākti Grenlandes rietumos, ārējās gadskārtas trūka diezgan bieži gan augu apakšējās jeb substrātā esošajās stumbra daļās, gan augšējās – virszemes daļās (Hollesen et al. 2015). Taču pētījumā, kurš bija vērsts tieši uz pēdējo gadskārtu veidošanos dažādiem sīkkrūmiem, no visiem *Betula nana* paraugiem tikai vienam indivīdam no Aļaskas konstatēja ārējās gadskārtas trūkumu. Šī pētījuma autori to pamatoja ar to, ka tas ir veids, kā augi tiek galā ar stresu, kas rodas ekstrēmos augšanas apstākļos (Wilmking et al. 2012). Citā pētījumā, ko veica pavisam citā teritorijā – Ziemeļsibirijā, vispār nekonstatēja iztrūkstošās gadskārtas nevienā no analizētajiem *Betula nana* (Blok et al. 2011).

Darba procesā nācās saskarties ne tikai ar iztrūkstošajām gadskārtām, bet arī ar ķīļveida gadskārtām. Arī citos pētījumos ar *Betula nana* ķīļveida gadskārtas ir minētas, kā bieža parādība (Wilmking et al. 2012; Hollesen et al. 2015). Tā ir parasta, anatomiska parādība lēni augošiem, novecot sākušiem sīkkrūmiem, īpaši klājeniskajām formām, kad ilgākā vai īsākā laikā vienpusēja noslogojuma rezultātā, kas rada mehānisko stresu stumbrā, sīkkrūma stumbrā veidojas radiāli ekscentriskā augšana (Schweingruber 2007).

Tā kā purvainajā mežā iegūtie *Betula nana* indivīdi bija vecāki par augstajā purvā, līdz ar to arī noteiktie zīmīgie gadi bija vairāk. Salīdzinot abu biotopu negatīvos zīmīgos un pozitīvos zīmīgos gadus savā starpā, sākot ar 1982. gadu, noskaidrots, ka nepastāv statistiski būtiska atšķirība. Daži no Teiču rezervātā noteiktajiem zīmīgajiem gadiem sakrita arī ar Oļļu purvā (dabas liegums “Ziemeļu purvi”) noteiktajiem gadiem. Sakrita pozitīvie zīmīgie gadi – 1986., 1987. un 2000. gads, kā arī negatīvie zīmīgie gadi – 1991. un 2004. gads (Cinevica 2011). Tas nozīmē, ka šajos gados *Betula nana* radiālo augšanu viennozīmīgi ietekmēja klimats un šī ietekme uz bijusi plašāka – nevis reģionāla.

Šī pētījuma abos biotopos pārliecinoši negatīvs bija 2018. gads. Par ekstrēmiem gadiem Latvijas klimatā var klasificēt 1987., 2000. un 2018. gadu. Latvijā 1987. gads bijis ekstremāli auksts, kurā gaisa parametru vērtības bija izteikti zemas – gada vidējā maksimālā gaisa temperatūra bija tikai +6,7 °C. Savukārt 2000. gads bijis viens no mitrākajiem gadiem novērojumu vēsturē, ar lielu nokrišņu daudzumu, it īpaši jūlijā, kā arī viens no siltākajiem (LVĢMC 2020). Šādi mitri un silti apstākļi ir vislabvēlīgākie *Betula nana* augšanai, jo īpaši, ja tie mijas viens ar otru. Paaugstinoties gaisa temperatūrai, palielinās evapotranspirācija, kuras rezultātā aktivizējas organisko vielu noārdīšanās un palielinās barības vielu daudzums, kas ir pieejams augiem (Špalte 1981; Карпавичюс 1984). Karstums nekaitē augiem, ja vien ūdens līmenis nekrītas zemāk par aktīvo sakņu līmeni, jo savukārt paaugstināts nokrišņu daudzums

kompensē iztvaikošanas ceļā zaudēto ūdeni (van der Kolk et al. 2016). Turpretim, 2018. gads siltuma ziņā bija ļoti līdzīgs 2000. gada augstajām temperatūrām, taču šis gads visā novērojumu vēsturē bija sausākais (LVGMC 2020). Šāda faktoru kombinācija ļoti nelabvēlīgi ietekmē auga radiālo augšanu, kas, visticamāk, bija iemesls ekstrēmi šaurām gadskārtām (Li et al. 2015). Purvos ir novērojama tā saucamā dabiskā meliorācija (Špalte 1981; Карпавичюс 1984) un augiem šādos apstākļos novēro osmotisko jeb fizioloģisko sausumu (Mauriņa 1987). Pārējiem zīmīgajiem gadiem nebija viens, konkrēts, ekstremāla klimata skaidrojums. Lai pilnīgi izskaidrotu zīmīgo gadu veidošanos jāņem vērā vairāki vides faktori, kas var ietekmēt sīkkrūmu augšanu, jo bieži īpaši šauras vai īpaši platas gadskārtas izraisa dažādu vides faktoru kombinācijas (Kirdeyanov et al. 2000; Hollesen et al. 2015).

Šī pētījumā rezultātā būtiskas korelācijas klimata datiem bija pārsvarā ar negatīvajiem zīmīgajiem gadiem. Tieši negatīvie zīmīgie gadi ir svarīgāki, jo tie parāda tiešu nelabvēlīgu apstākļu ietekmi, nevis atspoguļo reģenerēšanās procesu kā pozitīvie zīmīgie gadi (Owczarek, Opała 2016). Faktori, kas ietekmēja *Betula nana* zīmīgo gadu veidošanos augstajā purvā un purvainajā mežā bija gan kopīgi, gan tādi, kas atšķīrās starp biotopiem. Pētījumos ir minēts, ka sīkkrūmu augšanas saistība ar klimatu nav vienāda un var variēt atkarībā no augsnes mitruma un ģeogrāfiskā novietojuma (Myers-Smith 2015b) un liela ietekme ir augšanas apstākļiem, mikroreljefam un tā mikroklimatam (Bär et al. 2008; Hallinger et al. 2010; Weijers et al. 2018).

Būtiskas korelācijas ar negatīvajiem zīmīgajiem gadiem abos biotopos bija ar augusta vidējo un maksimālo gaisa temperatūru. Abas šīs korelācijas norāda, ka paaugstināta augusta temperatūra atstāj negatīvu iespaidu uz ikgadējo gadskārtu pieaugumu. Tāda pati ietekme ir arī veģetācijas perioda vidējai gaisa temperatūrai. Iespējams, tas ir skaidrojams ar purvu izzūšanu. Zemākais mitruma līmenis substrātā ir augstākās temperatūras periodos, jo augstākas vasaras temperatūras palielina iztvaikošanu, kas noved pie sausākas augsnes, ja nokrišņu daudzums paliek nemainīgs. Tā rezultātā augiem var rasties stress, kas noved pie šūnu sienīņu sašaurināšanās – jau iepriekš minētais osmotiskais jeb fizioloģiskais sausums (Oberbauer, Miller 1979; Kirdeyanov et al. 2000; Ejankowski 2008; van der Kolk et al. 2016). Iespējams, šī paša iemesla dēļ, purvainajā mežā *Betula nana* negatīvajiem zīmīgajiem gadiem bija būtiskas korelācijas ar septembra, novembra un rudens vidējo gaisa temperatūru. Rudens periodā purva augiem notiek aktīva barības vielu uzkrāšana un cietes šķelšana glikozē (Лебедева 1967; Карпавичюс 1984).

Savukārt augstajā purvā augošajiem *Betula nana* īpaši plato gadskārtu veidošanās ir pozitīvi saistīta ar vidējo gaisa temperatūru jūlijā un vasaras mēnešos. Tas atbilst citu pētījumu rezultātiem, kuros noskaidrots, ka tieši vasaras temperatūrām ir būtiskākā ietekme uz sīkkrūmu ikgadējo gadskārtu pieaugumu (Blok et al. 2011; Myers-Smith et al. 2018). Publikācijās minēts,

ka tieši uz vidējām agrās vasaras temperatūrām (jūnijs, jūlijs) sīkkrūmi reaģē visvairāk (Blok et al., 2011; Hollesen et al. 2015; Li et al, 2016). Tā kā *Betula nana* un citiem sīkkrūmiem ir dziļa sakņu sistēma, barības vielu pieejamība tiem ir īpaši limitējoša. Siltākās vasarās palielinās aktīvā slāņa dziļums, kas pozitīvi ietekmē barības vielu pieejamību (van der Kolk et al. 2016). Lai gan palielināta temperatūra un trūdvielu daudzums palielina *Betula nana* bojā aizgājušo zaru skaitu, pie augstākām temperatūrām indivīdi izveido vairāk garos dzinumus un palielina zaru daudzumu vispārīgi, kas kompensē atmirušo zaru skaitu, un tādējādi izplešas straujāk nekā citas sīkkrūmus sugas (Bret-Harte et al., 2001). Tā kā mazs gadskārtu pieaugums izteikti notiek gados, kad agrās vasaras temperatūras ir zemas, purvainā meža negatīvo zīmīgo gadu korelācija ar minimālajām jūlija temperatūrām nav pārsteidzoša (Li et al, 2016). Ir zināms, ka sīkkrūmu sugu augšana bieži ir spēcīgi saistīta ar veģetācijas perioda temperatūrām (Myers-Smith et al. 2011). Jūlija mēnesī Latvijas teritorijā ir vislielākais nokrišņu daudzums, kas ietekmē purva hidroloģisko režīmu. Augstā gaisa temperatūra kompensē papildus mitrumu augiem, nodrošinot evapotranspirāciju. Iespējams, ka purvainajā mežā neuzrādās šie faktori kā būtiski, tāpēc, ka transpirācijas procesi ir citādi – tie ir ātrāki, jo ir daudz blīvāks lielo koku stāvs. Tāpēc arī purvainajā mežā augošajam *Betula nana* negatīvo zīmīgo gadu veidošanās būs ar mazāku iespēju, ja būs daudz nokrišņu marta mēnesī – augsts ūdens līmenis augstajā purvā nav vēlams *Betula nana* augšanas perioda uzsākšanai.

Miera perioda un oktobra vidējais nokrišņu daudzums abos biotopos, kā arī novembra nokrišņu daudzums purvainajā mežā, uzrādīja pozitīvu korelāciju ar negatīvajiem zīmīgajiem gadiem. Tas nozīmē, ka, jo lielāks nokrišņu daudzums, jo lielāka iespēja, ka veidosies ļoti šauras vai pat iztrūkstošas gadskārtas. Augstajos purvos ir ļoti svarīgi, lai augšējais kūdras slānis ziemas mēnešos sasaltu, jo tas rada ķīmiskus procesus, kas nodrošina purva ūdens mineralizāciju (Карпавичюс 1984). Pārāk liels nokrišņu daudzums, kas nav sniega veidā, kavē purva ūdens mineralizāciju, kā arī ietekmē ūdens līmeni purvā ziemas un pavasara mēnešos. Jo īpaši, ja pavasara mēnešos gaisa temperatūra ir zema, tad novērojams pārāk augsts ūdens līmenis, kas savukārt kavē sakņu elpošanu un ūdens uzsūkšanu, jo kūdrā ir zema skābekļa koncentrācija (Карпавичюс 1984; Kozłowski 1997).

Tāpat kā pētījumā Sibīrijas tundrā, kur arī salīdzināja *Betula nana* ikgadējā radiālā pieauguma saistību ar veģetācijas perioda ilgumu, šī darba rezultātā statistiski būtiskas korelācijas neuzrādīja. Tas varētu būt saistīts, ar to ka, iespējams, kambija aktivitāte *Betula nana* apstājas vēl pirms veģetācijas perioda beigām (Li et al., 2016). Tāpat arī miera perioda garumam nebija būtiska saistība ar *Betula nana* gadskārtu platumiem Teiču rezervāta biotopos. Taču miera perioda maksimālajai temperatūrai bija būtiska pozitīva ietekme uz *Betula nana* pozitīvi zīmīgajiem gadiem gan augstajā purvā, gan purvainajā mežā. Siltākas ziemas

uzrādījušas pozitīvu efektu uz *Betula nana* gadskārtu pieaugumu jau agrākos pētījumos. To skaidro ar to, ka pēc siltākām ziemām ar mazāku sniega segumu, ātrāk sasildās un nosusinās substrāts un līdz ar to tiek veicināta lielāka barības vielu pieejamību sīkkrūmu augšanai (Hollesen et al. 2015; Nielsen et al. 2017). Arī aprīļa maksimālā temperatūra uzrādīja būtisku korelāciju ar pozitīvajiem zīmīgajiem gadiem abos biotopos. Aprīlis, lielākajā daļā no pētījuma datos iekļautajiem gadiem, bija mēnesis, kad beidzās miera periods un sākās veģetācijas periods, kad atsākās *Betula nana* šūnu attīstība. Tieši tas, ka gadskārtu platums atkarīgs no temperatūras augšanas sezonas sākumā, kad sākas kambiālā aktivitāte, ir uzsvērts publikācijās (Kirdeyanov et al. 2002; Blok et al. 2011; Weijers et al. 2018). Arī purvainā meža *Betula nana* pozitīvie zīmīgie gadi ir pozitīvi saistīti ar pavasara vidējo gaisa temperatūru, lai gan ir pētījumi, kur *Betula nana* gadskārtu ikgadējais pieaugums negatīvi reaģē uz konkrētā gada pavasara temperatūru un nokrišņu daudzumu (Young et al. 2016). Purvainajā mežā arī marta nokrišņiem bija pozitīva ietekme uz gadskārtu platumiem, tāpēc var teikt, ka šajā darbā ieguva pretēju rezultātu nekā 2016. gadā Grenlandē veiktā pētījuma (Young et al. 2016). Tas skaidrojams ar to, ka Grenlandē šīs sugas sīkkrūms aug uz labi drenētas augsnes kalnu nogāzēs, nevis purvos uz kūdras augsnes – citādi augšanas apstākļi.

Augstajā purvā nebija tik daudz būtisku saistību ar klimata faktoriem kā purvainajā mežā. Visdrīzāk tas ir tādēļ, ka purvos klimatisko faktoru ietekme bieži vien nav tieša, bet pastarpināta caur purva hidroloģiju – purva ūdens līmeni ietekmē temperatūras un nokrišņu attiecība, bet tas savukārt ietekmē augu augšanu. Augstajā purvā negatīvajiem zīmīgajiem gadiem ir būtiski saistība ar ziemas vidējo un februāra maksimālo gaisa temperatūru. Šie rezultāti sakrīt ar jau publicētu pētījumu, kur *Betula nana* radiālajai augšanai bijusi negatīva saistība tieši ar ziemas un februāra gaisa temperatūrām, kā arī ar nokrišņu daudzumu vasarā (Weijers et al. 2018).

Sniega segas biezums neuzrādīja abiem biotopiem kopīgu būtisku ietekmi. Negatīva korelācija pastāv starp augstā purva *Betula nana* negatīvajiem zīmīgajiem gadiem un vidējo sniega segas biezumu miera periodā un pozitīvajiem zīmīgajiem gadiem negatīva korelācija ar vidējo sniega segas biezumu oktobrī. Biezāka sniega sega aukstākajā gada laikā pozitīvi ietekmē *Betula nana* radiālo augšanu, jo dziļāks sniegš saglabā augsnes temperatūru, samazinot ziemā siltuma zudumus, tai ir būtiska loma aizsargājot augu no sala un saglabā arī ūdens rezerves augšanas periodu uzsākot (Sturm et al. 2001; Owczarek, Opała 2016). Tajā pašā laikā uzskata, ka straujāka *Betula nana* augšana nav tieši atkarīga no sniega, bet drīzāk ir siltāku ziemu un pavasara gaisa temperatūras efekts, kas izraisa agrāku sniega kušanu, ļaujot augsnei izžūt un sasilt ātrāk, kas veicina augstāku barības vielu pieejamību sīkkrūmu augšanai (Hollesen et al. 2015). Tieši tāpat var izskaidrot janvāra sniega segas biezuma pozitīvo korelāciju ar *Betula nana* pozitīvajiem zīmīgajiem gadiem purvainajā mežā.

Dendroekoloģijā ir zināms, ka kokaugu radiālās augšanas limitējošais faktors ir temperatūrai, jo tā ietekmē iztvaikošanu, kokaugu ūdens potenciālu un ūdens stresu, kā rezultātā samazinot koksnes pieaugumu (Fritts, Swetnam 1989; Dulamsuren et al. 2010). Arī veiktajā pētījumā par *Betula nana* zīmīgajiem gadiem, darba rezultāti uzrāda, ka visvairāk būtiskas korelācijas ir tieši ar gaisa temperatūru. Nokrišņu daudzumam ir pārsvarā negatīva ietekme uz *Betula nana* radiālo augšanu. Zināms, ka gruntsūdens līmenis purvainās vietās ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas ietekmē augu attīstību, un veģetatīvā vairošanās ir ļoti atkarīga no gaisa temperatūras un nokrišņu daudzuma attiecības. Citos pētījumos ir fiksēts, ka augsts ūdens līmenis samazina *Betula nana* garo dzinumu stiepšanos, pēc kā secināts, ka šī suga ir ļoti jutīga uz hidroloģiskajiem apstākļiem un to maiņu (Ejankowski 2008).

Pētījuma sākumā izvirzītā hipotēze, ka atšķirīgos augšanas apstākļos *Betula nana* augšanu ietekmē dažādi klimatiskie faktori un tāpēc šīs sugas zīmīgie gadi atšķiras starp biotopiem ir apstiprinājusies daļēji, jo kaut arī starp biotopiem zīmīgie gadi statistiski būtiski neatšķīrās, tomēr pilnīga to sakritība nebija novērojama un tieši tāpat arī attiecībā uz klimatiskajiem faktoriem, kas būtiski ietekmē šīs sugas augšanu.

## 5. SECINĀJUMI

1. Latvijā augošās *Betula nana* vidējais gadskārtu platums teritorijas ziemeļu un dienvidu daļā ir vienāds ar 0,21mm.
2. Teiču dabas rezervāta *Betula nana* indivīdiem konstatētie zīmīgie gadi 1986., 1987., 2000., 1991. un 2004. gadā sakrīta ar Oļļu purva indivīdu zīmīgajiem gadiem.
3. Teiču dabas rezervātā 2018. gads bija izteiktākais negatīvais zīmīgais gads, kas saistīts ar silto un ekstrēmi sauso klimatu 2018. gada vasarā, kad *Betula nana* bija ļoti šauras gadskārtas vai tās iztrūka pavisam.
4. Lai gan starp Teiču dabas rezervāta purvainā meža un augstā purva *Betula nana* zīmīgajiem gadiem nav statistiski būtiska atšķirība, klimatiskie faktori, kas dažādos augšanas apstākļos ietekmē radiālo augšanu, pārsvarā atšķiras.
5. Visvairāk *Betula nana* augšanu augstajā purvā un purvainajā mežā ietekmēja gaisa temperatūra.
6. Sauss, karsts klimats ir visnelabvēlīgākais *Betula nana* augšanai, taču, ja klimatam paliekot siltākam, palielinās arī nokrišņu daudzums, kompensējot iztvaikošanu, tas šo sugu ietekmēs pozitīvi.

## **6. PATEICĪBAS**

Izsaku vislielāko pateicību darba vadītājam Ilutai Dauškanei par pacietību, palīdzību, idejām un atbalstu visa darba izstrādes laikā.

Liels paldies Didzim Elfertam un Guntim Brūmelim par padomiem un konsultēšanu datu apstrādes procesā.

Paldies par sadarbību Madarai Metālei paraugu ieguvē un apstrādē.

Liels paldies Inetai Stadgalei par valodas stila koriģēšanu.

## 7. LITERATŪRAS SARAKSTS

**Abbott R. J., Brochmann C. 2003.** History and evolution of the arctic flora: in the footsteps of Eric Hultén. *Molecular Ecology*, 12 (2): 299–313.

**Adams J. 2007.** Vegetation–climate interaction. How vegetation makes the global environment. Springer in association with Praxis Publishing, Germany, 232 pp.

**Anderberg A. 1999.** Dvärgbjörk *Betula nana* L., pēdējās izmaiņas 14.10.1999., skat. 06.05.2019., <http://linnaeus.nrm.se/flora/di/betula/betul/betunan.html>

**Avotniece Z., Aņiskeviča S., Maļinovskis E. 2017.** Klimata pārmaiņu scenāriji Latvijai. Ziņojums, VSIA “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs”, Rīga, 236 lpp.

**Bambe B. 2001.** Purvu augu sabiedrības ar pundurbērzu *Betula nana* L. Latvijas centrālajā un austrumu daļā – Grām.: Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: Referātu tēzes. Rīga: Latvijas Universitāte, 13–18.

**Bär A., Löffler J., Bräuning A. 2005.** Methodological approach for dendroecological analysis of dwarf shrubs – A contribution to ecosystem reconstructions in the Norwegian Scandes. materials from the 4th TRACE conference, Fribourg, Switzerland, April 21st-23rd, 114–120.

**Bär A., Bräuning A., Löffler J. 2006.** Dendroecology of dwarf shrubs in the high mountains of Norway. A methodological approach. *Dendrochronologia*, 24: 17–27.

**Bär A., Bräuning A., Löffler J. 2007.** Ring-width chronologies of the alpine dwarf shrub *Empetrum hermaphroditum* from the Norwegian mountains. *IAWA Journal*, 28 (3): 325–338.

**Bär A., Pape R., Bräuning A., Löffler J. 2008.** Growth-ring variations of dwarf shrubs reflect regional climate signals in alpine environments rather than topoclimatic differences. *Journal of Biogeography*, 35(4): 625–636.

**Beck C. B. 2010.** An introduction to plant structure and development: plant anatomy for the twenty-first century Second Edition, Cambridge University Press, UK, Cambridge, 441 pp.

**Blok D., Sass-Klassen U., Schaepman-Strub G., Heijmans M.M.P.D., Sauren P., Berendse F. 2011.** What are the main climate drivers for shrub growth in Northeast Siberian tundra. *Biogeosciences Discuss*, 8: 771–799.

**Bret-Harte M. S., Shaver G. R., Zoerner J. P., Johnstone J. F., Wagner J. L., Chavez A. S., Gunkelman IV R. F., Lippert S.C., Laundre J. A. 2001.** Developmental plasticity allows *Betula nana* to dominate tundra subjected to an altered environment. *Ecology*, 82(1): 18–32.

**Bret-Harte M. S., Shaver G. R., & Chapin III F. S. 2002.** Primary and secondary stem growth in arctic shrubs: implications for community response to environmental change. *Journal of Ecology*, 90(2): 251–267.

**Bret-Harte M.S., Mack M.C., Goldsmith G.R., Sloan D.B., DeMarco J., Shaver G.R., Ray P.M., Biesinger Z., F. Stuart Chapin F.S. 2008.** Plant functional types do not predict biomass responses to removal and fertilization in Alaskan tussock tundra. *Journal of Ecology*, 96: 713–726.

**Büntgen U., Wacker L., Nicolussi K., Sigl M., Gütler D., Tegel W., Krusic P.J., Esper J. 2014.** Extraterrestrial confirmation of tree-ring dating. *Nature Climate Change*, 4(6): 404–405.

**Büntgen U., Hellmann L., Tegel W., Normand S., Myers – Smith I., Kirilyanov A.V., Nievergelt D., Schweingruber F. H. 2015.** Temperature – induced recruitment pulses of Arctic dwarf shrub communities. *Journal of Ecology*, 103: 489–501.

**Chapin III F.S. 1980.** Nutrient allocation and responses to defoliation in tundra plants. *Arctic and Alpine Research*, 12(4): 553–563.

**Chapin III F.S., Jonson D.A., McKendrick J.D. 1980.** Seasonal movement of nutrients in plants of differing growth form in an Alaskan tundra ecosystem: implications for herbivory. *Journal of Ecology*, 68(1): 189–202.

**Chapin III F. S., Shaver G. R., Giblin A. E., Nadelhoffer K. J., Laundre J. A. 1995.** Responses of arctic tundra to experimental and observed changes in climate. *Ecology*, 76(3): 694–711.

**Charman D. 2002.** *Peatlands and Environmental Change*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 301 pp.

**Cinevica G. 2011.** Pundurbērza *Betula nana* L. piemērotība dendrohronoloģiskajiem pētījumiem. Bakalaura darbs, LU BF botānikas un ekoloģijas katedra, 61 lpp.

**Cinovskis R. 1997.** Pundurbērzs. Grām: Kavacs G. (red.), Latvijas Daba. Enciklopēdija, 4.sēj., Rīga: „Preses nams”, 185 lpp.

**Cook E.R., Kairiukstis L.A. 1990.** *Methods of Dendrochronology: applications in the environmental science*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publisher, 351 pp.

**Dąbrowska G., Działuk A., Burnicka O., Ejankowski W., Gugnacka-Fiedor W., Goc A. 2006.** Genetic diversity of postglacial relict shrub *Betula nana* revealed by RAPD analysis. *Dendrobiology*, 55: 19–23.

**Dauškane I. 2011.** Purvos augošās parastās priedes *Pinus sylvestris* L. radiālā pieauguma saistība ar klimatiskajiem faktoriem Latvijā. Promocijas darbs, LU BF botānikas un ekoloģijas katedra, 107 lpp.

**Deslippe J. R., Hartmann M., Mohn, W. W., Simard, S. W. 2011.** Long-term experimental manipulation of climate alters the ectomycorrhizal community of *Betula nana* in Arctic tundra. *Global change biology*, 17(4): 1625–1636.

**Deslippe J. R., Simard S. W. 2011.** Below-ground carbon transfer among *Betula nana* may increase with warming in Arctic tundra. *New Phytologist*, 192(3): 689–698.

**de Groot W.J., Thomas P.A., Wein R.W. 1997.** *Betula nana* L. and *Betula glandulosa* Michx. *Journal of Ecology*, 85: 241–264.

**Desplanque C., Rolland C., Schweingruber F.H. 1999.** Influence of species and abiotic factors on extreme tree ring modulation: *Picea abies* and *Abies alba* in Tarantaise and Maurienne (French Alps). *Trees*, 13: 218–227.

**Drzymulska D. 2014.** Postglacial occurrence and decline of *Betula nana* L. (dwarf birch) in northeastern Poland. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 63(2): 76 – 87.

**Dulamsuren C., Hauck M., Leuschner C. 2010.** Recent drought stress leads to growth reductions in *Larix sibirica* in the western Khentey, Mongolia, *Global Change Biology*, 16: 3024–3035.

**Ejankowski W. 2008.** Effect of waterlogging on regeneration in the dwarf birch (*Betula nana*). *Biologia*, 63: 670–676.

**Ejankowski W. 2010.** Demographic variation of dwarf birch (*Betula nana*) in communities dominated by *Ledum palustre* and *Vaccinium uliginosum*. *Biologia*, 65(2): 248–253.

**Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulissen D. 1992.** Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. - *Scripta Geobotanica* (18), Göttingen, 248 S.

**Esper J., Niederer R., Bebi P., Frank D. 2008.** Climate signal age effects—Evidence from young and old trees in the Swiss Engadin. *Forest Ecology and Management*, 255 (11): 3783–3789.

**Featherstone A.W. 2001.** Dwarf birch. *Trees for Life* magazine, skat. 01.05.2018., [www.treesforlife.org.uk/tfl.dwarf\\_birch.html](http://www.treesforlife.org.uk/tfl.dwarf_birch.html)

**Fritts H.C., Swetnam T. W. 1989.** *Dendroecology: A Tool for Evaluating Variations in Past and Present Forest Environments; Advances in ecological research Vol . 19; Academic Press Limited; 111– 175 lpp.*

**Fritts H.C. 2001.** *Tree rings and climate. Caldwell, New Jersey: Blackburn Press, 567 pp.*

**Galka M., Swindles G. T., Szal M., Fulweber R., Feurdean A., 2018.** Response of plant communities to climate change during the late Holocene: Palaeoecological insights from peatlands in the Alaskan Arctic. *Ecological Indicators*, 85: 525–536.

**Gärtner H., Schweingruber F. H. 2013.** *Microscopic Preparation Techniques for Plant Stem Analysis. Swiss Federal Research Institute WSL, Switzerland, 78 pp.*

**Graglia E., Julkunen-Tiitto R., Shaver G. R., Schmidt I. K., Jonasson S., Michelsen A. 2001.** Environmental control and intersite variations of phenolics in *Betula nana* in tundra ecosystems. *New Phytologist*, 151(1): 227–236.

**Hallanaro E.-L., Pylvänäinen M., Spuņģis V. 2002.** Ziemeļeiropas daba – dabas daudzveidība mainīgajā vidē. *Nord* 2001:16, Ziemeļu Ministru padome, Kopenhāgena, 350 lpp.

**Hallinger, M., Manthey, M., Wilmking, M. 2010.** Establishing a missing link: warm summers and winter snow cover promote shrub expansion into alpine tundra in Scandinavia. *New Phytologist*, 186(4): 890–899.

**Hillstorm K., Hillstrom L. C. 2003.** *Europe: a continental overview of environmental issues. ABC-CLIO Inc, California, 261 pp.*

**Hollesen J., Buchwal A., Rachlewicz G., Hansen B. U., Hansen M. O., Stecher O., Elberling B. 2015.** Winter warming as an important co-driver for *Betula nana* growth in western Greenland during the past century. *Global Change Biology*, 21 (6): 2410–2423.

**Hughes M.K., Kelly P.M., Pilcher J.R., LaMarche Jr V.C. 1982.** Climate from tree rings. Cambridge University press, America, NewYork, 223 pp.

**Young A. B., Watts D. A., Taylor A. H., Post E. 2016.** Species and site differences influence climate – shrub growth responses in West Greenland. *Dendrochronologia* 37: 69–78.

**Jeffers E. S., Bonsall M. B., Watson J. E., Willis K. J. 2012.** Climate change impacts on ecosystem functioning: evidence from an *Empetrum* heathland. *New Phytologist*, 193(1): 150–164.

**Jetschke G., van der Maaten E., van der Maaten-Theunissen M. 2019.** Towards the extremes: A critical analysis of pointer year detection methods. *Dendrochronologia*, (53): 55–62.

**Joosten H., Clarke D. 2002.** Wise use of mires and peatlands – backgrounds and principles including a framework for decision – making. International Mire Conservation Group and International Peat Society, Finland, 304 pp.

**Kaennel M., Schweingruber F.H. 1995.** Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. Berne, Stuttgart, Vienna, 467 pp.

**Kairiukstis L.A., Cook E.R. 1989.** Methods of Dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 351 pp.

**Kalniņa L., Namatēva A.** "Teiču purvu masīvs". Nacionālā enciklopēdija. Skat.: 24.05.2020. <https://enciklopedija.lv/skirklis/30734-Teiču-purvu-masīvs>

**Kirdyanov A., Hughes M., Vaganov E., Schweingruber F., Silkin P. 2002.** The importance of early summer temperature and date of snow melt for tree growth in Siberian Subartic. *Trees*, 17 : 61–69.

**Kolishchuk, V.G. 1990.** Dendroclimatological study of prostrate woody plants. In: Cook E.R., Kairiukstis L.A. (ed.), *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental Sciences*. Kluwer, Dordrecht, Boston, London, UK, 51–55.

**Kozłowski T.T. 1997.** Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monographs*, 1:1–29.

**Laine J., Vasander H., Laiho R. 1995.** Long-term effect of water level drawdown on the vegetation of drained pine mires in southern Finland. *Journal of Applied Ecology*, 32: 785–802.

**Laiviņš M., Krampis I., Šmite D.,** Bice M., Knape Dz., Šulcs V. **2009.** Latvijas kokaugu atlants. Apgāds "Mantojums", Rīga, 1606 lpp.

**Li B., Heijmans M. M. P. D., Berendse F.,** Blok D., Maximov T., Sass-Klaassen U. **2016.** The role of summer precipitation and summer temperature in establishment and growth of dwarf shrub *Betula nana* in northeast Siberian tundra. *Polar Biology*, 39(7): 1245–1255.

**Liang E., Liu W., Ren P.,** Dawadi B., Eckstein D. **2015.** The alpine dwarf shrub *Cassiope fastigiata* in the Himalayas: does it reflect site-specific climatic signals in its annual growth rings. *Trees*, 29: 79–86.

**LR Vides ministrija Teiču dabas rezervāta administrācija 2006.** Teiču rezervāta dabas aizsardzības plāns, Ļaudona, 14 lpp.

**LVĢMC 2020.** VSIA "Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs", pēdējās izmaiņas:25.05.2020., skat. 26.05.2020. <https://www.meteo.lv/>

**Mannerkoski H. 1991.** Relation between tree roots and soil aeration on drained peatlands. In: Jeglum J.K., Overend R.P. (ed.), *Peat and peatlands – diversification and innovation*. Canadian Society for Peat and Peatlands, 1: 109-114.

**Martin A. C., Jeffers E. S., Petrokofsky G., Myers-Smith I., Macias-Fauria M. 2017.** Shrub growth and expansion in the Arctic tundra: an assessment of controlling factors using an evidence-based approach. *Environmental Research Letters*, 12(8): 085007.

**Mauriņa H. 1987.** Augu fizioloģija. Rīga: Zvaigzne, 358 lpp.

**Mauriņš A. 2003.** Pundurbērzs, Grām:Broks J.(red), *Meža enciklopēdija*. Apgāds "Zelta grauds", Rīga, 265 lpp.

**Mauriņš A., Zvirgzds A. 2006.** Dendrohronoloģija. Jelgavas tipogrāfija, 448 lpp.

**Meinardus C., Weinert B., Loffler J., Lundberg A., Brauning A. 2011.** The potential of the dwarf shrub *Betula nana* L. as a climate indicator above the tree line in the southern Norwegian Scandes. *TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, 9: 181–186.

**Melecis V. 2011.** Ekoloģija. LU akadēmiskais apgāds, Rīga, 352 lpp.

**Miller H.J. 1975.** Anatomical characteristics of some woody plants of the Angmagssalik district of Southeast Greenland. *Mededelingen van het Botanisch Museum ne Herbarium van de Rijksuniversiteit te Utrecht*, 422 (1): 1–30.

**Ministru Kabinets 17.11.2000.** Noteikumi par īpaši aizsargājamo sugu un ierobežoti izmantojamo īpaši aizsargājamo sugu sarakstu: MK noteikumi Nr. 396, Latvijas Vēstnesis, 413/417

**Myers-Smith I. H., Forbes B. C., Wilmking M., Hallinger M., Lantz T., Blok D., Tape K. D., Macias-Fauria M., Sass-Klaassen U., Lévesque -Boudreau E. S. 2011.** Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environmental Research Letters*, 6(4): 045509.

**Myers-Smith I.H., Hallinger M., Blok D.,** Sass-Klaassen U., Rayback S.A., Weijers S., Trant A.J., Tape K.D., Naito A.T., Wipf S., Rixen C., Dawes M.A., Wheeler J.A., Buchwal A., Baittinger C., Macias-Fauria M., Forbes B.C., Lévesque E., Boulanger-Lapointe N., Beil I., Ravolainen V., Wilmking M. **2015.a** Methods for measuring arctic and alpine shrub growth: A review. *Earth-Science Reviews* 140: 1–13.

**Myers-Smith I.H., Elmendorf S. C., Beck P. S.,** Wilmking M., Hallinger M., Blok D., Tape K. D., Rayback S. A., Macias-Fauria M., Forbes B. C., Speed J. D. M., Boulanger-Lapointe N., ChristianRixenC., Lévesque E., Schmidt N. M., Baittinger C., Trant A. J., Hermanutz L., Siegwart Collier L., Dawes M. A., LantzT. C., Weijers S., Jørgensen R. H., Buchwal A., Buras A., Naito A. T., Ravolainen V., Schaepman-Strub G., Wheeler J. A., Wipf S., Guay K. C., Hik D. S., Vellend M. **2015.b** Climate sensitivity of shrub growth across the tundra biome. *Nature Climate Change*, 5: 887–891.

**Myers-Smith I. H., Hik D. S. 2018.** Climate warming as a driver of tundra shrubline advance. *Journal of Ecology*, 106(2): 547–560.

**Nielsen S. S., von Arx G., Damgaard C. F.,** Abermann J., Buchwal A., Büntgen U., Treier U. A., Barfod A. S., Normand, S. **2017.** Xylem anatomical trait variability provides insight on the climate-growth relationship of *Betula nana* in western Greenland. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 49(3): 359–371.

**Naito A. T., Cairns D. M. 2015.** Patterns of shrub expansion in Alaskan arctic river corridors suggest phase transition. *Ecology and Evolution*, 5(1): 87–101.

**Neuwirth B., Esper J., Schweingruber F.H.,** Winiger M. **2004.** Site ecological differences to the climatic forcing of spruce pointer years from the Löttschental, Switzerland. *Dendrochronologia*, 21: 69-78.

**Oberbauer S., Miller P. C. 1979.** Plant water relations in montane and tussock tundra vegetation types in Alaska. *Arctic and Alpine Research*, 11(1): 69–81.

**Owczarek P., Opala M. 2016.** Dendrochronology and extreme pointer years in the tree-ring record (AD 1951–2011) of polar willow from southwestern Spitsbergen (Svalbard, Norway). *Geochronometria*, 43(1): 84–95.

**Päivänen J., Paavilainen E. 1995.** Peatland Forestry: Ecology and Principles. Springer, Germany, 250 pp.

**Pop E.W., Oberbauer S.F., Starr G. 2000.** Predicting vegetative bud break in two Arctic deciduous shrub species *Salix pulchra* and *Betula nana*. *Oecologia*, 124: 176–184.

**Pourtahmasi, K., Parsapjough, D., Bräuning, A.,** Esper, J., Schweingruber, F. H. **2007.** Climatic analysis of pointer years in tree-ring chronologies from northern Iran and neighboring high mountain areas. *Geoöko*, 28: 27–42.

**Prager C. M., Boelman N. T., Eitel J. U., Gersony J. T., Greaves H. E., Heskell M. A., Magney T.S., Menge D. N. L., Naeem S., Shen C., Vierling L. A., Griffin K. L. 2020.** A mechanism of expansion: Arctic deciduous shrubs capitalize on warming-induced nutrient availability. *Oecologia*, 192(3): 671–685.

**Priedītis N. 2014.** Latvijas augi. Gandrs SIA, 888 lpp.

**Puhe J., Ulrich B. 2001.** Global Climate Change and Human Impacts on Forest Ecosystems: Postglacial Development, Present Situation, and Future Trends in Central Europe. Springer, Germany, 592 pp.

**R Core Team 2020.** R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <http://www.R-project.org/>

**Rinn F. 2003.** TSAP-Win – time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications: version 0.53 for Microsoft Windows; user reference. Heidelberg: Rinn Tech, 100 pp.

**Rydin H., Jeglum J. 2006.** The biology of peatlands. Oxford: Oxford University Press, 343 pp.

**Rossem L. V. 2011.** Co2 adaptation and consequences for transpiration rates in *Betula nana*. Master's thesis, Utrecht University, The Netherlands, 26 pp.

**Saeima 04.07.2008.** Teiču dabas rezervāta likums. Latvijas Vēstnesis, 86 (3870)

**Schulze E.D., Beck E., Müller-Hohenstein K. 2002.** Plant Ecology. Springer, Germany, 701 pp.

**Schweingruber F. H. 1988.** Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland, 275 pp.

**Schweingruber F.H. 1990.** Microscopic wood anatomy. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 226 pp.

**Schweingruber F.H. 1990.** Microscopic wood anatomy. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 226 pp.

**Schweingruber F.H. 1996.** Tree rings and environmental dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609 pp.

**Schweingruber F.H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O.U. 1990.** Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8: 9–38.

**Schweingruber F.H., Poschland P. 2005.** Growth Rings in Herbs and Shrubs: life span, age determination and stem anatomy. *Forest Snow and Landscape Research*, 79: 195–415.

**Schweingruber F. H., Börner A., Schulze E. D. 2006.** Atlas of Woody Plant Stems. Evolution, Structure, and Environmental Modifications. Springer, Germany, 229 pp.

**Schweingruber F. H., Börner A., Schulze E. D. 2006.** Atlas of Woody Plant Stems. Evolution, Structure, and Environmental Modifications. Springer, Germany, 229 pp.

**Schweingruber F.H., Börner A., Schulze, E.D. 2011.** Atlas of stem anatomy in herbs, shrubs and trees. Vol. 2. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 415 pp.

**Schweingruber F.H., Börner A. 2018.** The Plant Stem: A Microscopic Aspect. Springer, Switzerland, 207 pp.

**Shoulders E. 1975.** Temperature, root aeration, and light influence slash pine nutrient uptake rates. *Forest Science*, 21: 401-410

**Smith R. L., Smith T. M. 2001.** Ecology and field biology - 6th ed. Benjamin Cummings, USA, 771 pp.

**Špalte E. 1981.** Kāds dirģents nosaka šīs gadskārtas? Dabas un vēstures kalendārs. Rīga, 101-104.

**Speer J. H. 2010.** Fundamentals of tree- ring research. The University of Arizona Press, Tucson, 333 pp.

**Stevens P. F. 2017.** Angiosperm Phylogeny Website. pēdējās izmaiņas: 14.09.2017., skat.20.02.2018., <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>

**Sturm M., Racine, C., & Tape, K. (2001).** Increasing shrub abundance in the Arctic. Nature, 411(6837): 546–547.

**Tollefson J. E. 2007.** Betula nana. In: Fire Effects Information System, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory, pēdējās izmaiņas: 04.12.2018., skat. 04.05.2019. <https://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/betnan/all.html>

**van der Kolk H. J., Heijmans M. M. P., van Huissteden J., Pullens J. W. M., Berendse F. 2016.** Potential Arctic Tundra vegetation shifts in response to changing temperature, precipitation and permafrost thaw, Biogeosciences, 13: 6229–6245.

**Vowles T., Björk R. G. 2019.** Implications of evergreen shrub expansion in the Arctic. Journal of Ecology, 107(2): 650–655.

**Weijers S., Myers-Smith, Löffler J. 2018.** A warmer and greener cold world: summer warming increases shrub growth in the alpine and high Arctic tundra. Erdkunde, 72 (1): 63–85.

**Wilmking M., Hallinger M., Van Bogaert R., Kyncl T., Babst F., Hahne W., Juday G.P., de Luis M., Novak K., Völlm C. 2012.** Continuously missing outer rings in woody plants at their distributional margins. Dendrochronologia 30: 213–222.

**Woodcock H., Bradley R.S. 1994.** *Salix arctica* (Pall): its potential for dendroclimatological studies in the High Arctic. Dendrochronologia 12: 11–22.

**Zunde M. 1999.** Mežainuma un koku sugu sastāva pārmaiņu dinamika un to galvenie ietekmējošie faktori Latvijas teritorijā. Grām.: Strods H., Zunde M., Mugurēvičs Ē., Mugurēvičs A., Liepiņa Dz., Dumpe L. (red.) Latvijas mežu vēsture līdz 1940. gadam. WWF – Pasaules dabas fonds, Rīga, 111–140.

**Карпавичюс И. 1984.** Групповая изменчивость радиального прироста сосны в болотных условиях местопроизрастания. Временные и пространственные изменения климата и годовичные кольца деревьев. Каунас, Институт ботаники Литовской ССР, 1: 74–80.

**Лебедева Н. В. 1967.** Динамика накопления запасного крахмала в побегах сосны на сушенном и неосушенном болоте. Природа болот и методы их исследований. Ленинград: Наука, 74-78.

Bakalaura darbs „Klimatisko faktoru ietekme uz pundurbērza *Betula nana* augšanu Teiču purvā un purvainajā mežā” izstrādāts LU Bioloģijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Katrīna Madara Stadgale *paraksts* 28.05.2020.

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Dr.biol. Iluta Dauškane *paraksts* 28.05.2020.

Recenzents: *paraksts* Dr.biol. Didzis Tjarve

Darbs iesniegts LU Bioloģijas fakultātē 28.05.2020.

Lietvede: ..... *paraksts*

Darbs aizstāvēts Bioloģijas bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

prot. Nr.           , vērtējums

Komisijas sekretārs/e: