

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE
BOTĀNIKAS UN EKOLOĢIJAS KATEDRA

Pundurbērza *Betula nana* veģetatīvā augšanas
dinamika

Maģistra darbs

Autors: Madara Margita Metāle

Stud. apl. Nr. mm16082

Darba vadītāja: Dr. biol., asoc.prof. Iluta Dauškane

Konsultants: Dr. biol. Roberts Matisons

RĪGA 2022

KOPSAVILKUMS

Pundurbērzs ir viena no modeļsugām, kas tiek izmantota plaši sīkrūmu augšanas dinamikas pētījumos. Aktuāli aplūkot pundurbērza augšanas dinamiku uz tā augšanas areāla robežas un klimata ietekmes saistību ar to.

Latvijā pundurbērzam novērota kambija aktivitātes neesamība auga vecākajās daļās, kas atrodas sūnu slānī. Augšanas dinamika ir nevienlīdzīga visā Latvijas teritorijā, kas saistāma ar mikroklimata, topogrāfijas, abiotisko un biotisko faktoru ietekmi. Gadskārtu platuma hronoloģijās novērojama vidējās gaisa temperatūras izmaiņu ietekme ziemeļu – dienvidu gradientā. Klimatisko rādītāju izmaiņas kopumā liecina par individuāla mikroklimata ietekmi uz katra biotopa gadskārtu platumu veidošanos.

Atslēgas vārdi: *Betula nana*, augšanas dinamika, klimata izmaiņas, sīkrūmi, gadskārtu platums

SUMMARY

Dwarf birch is one of the model species extensively used in studies about dwarf shrub growth dynamics. Because of the species range that crosses Latvia territory, it is important to look at dwarf birch growth dynamics and climate change impact on it.

In Latvia, no cambium activity was observed in the oldest parts of dwarf birch, as these parts were located in the moss layer. Growth dynamics are unequal throughout the territory of Latvia, which is related to the influence of microclimate, topography, abiotic and biotic factors. Annual growth ring chronologies show the effect of changes in average air temperature in North – South gradient. Changes in climate indicate the impact of individual microclimate on annual growth ring width of each habitat.

Keywords: *Betula nana*, growth dynamic, climate change, dwarf shrub, annual growth rings

SATURS

IEVADS	5
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	7
1. 1. Sīkkrūmu augšanas dinamika	7
1. 2. <i>Betula nana</i> pasaulē un Latvijā.....	9
1. 3. <i>Betula nana</i> morfometrisko parametru raksturojums	13
1. 4. Dendrohronoloģija un dendroklimatoloģija	14
2. MATERIĀLI UN METODES	18
2.1. <i>Betula nana</i> atradnes un augu iegūšana.	18
2.2. <i>Betula nana</i> morfometrisko parametru iegūšana.	19
2.3. <i>Betula nana</i> paraugu šķērs griezumi.	20
2.5. <i>Betula nana</i> griezumu gadskārtu mērīšana un šķērsdatēšana	21
2.4. <i>Betula nana</i> datu analīze.....	22
2.4.1. <i>Betula nana</i> sērijveida intervālu izveidošana.....	22
2.4.2. <i>Betula nana</i> augšanas dinamikas aprēķināšana.....	22
2.4.3. <i>Betula nana</i> gadskārtu hronoloģiju izveide.....	23
2.4.4. Biotopu hronoloģijas salīdzinājums ar klimata datiem.	23
3. REZULTĀTI.....	25
3.1. <i>Betula nana</i> gadskārtu un atlikumu hronoloģiju analīze	25
3.2. <i>Betula nana</i> galvenā zara augšanas norise.....	31
4. DISKUSIJA.....	54
4.1. <i>Betula nana</i> augšans apstākļu ietekme uz hronoloģiju	54
4.2. <i>Betula nana</i> galveno zaru augšana.....	55
4.3. <i>Betula nana</i> galveno zaru pieaugums.	Kļūda! Grāmatzīme nav definēta.
4.4. <i>Betula nana</i> hronoloģiju saistība ar klimata izmaiņām.....	58
SECINĀJUMI.....	60
PATEICĪBAS.....	60
LITERATŪRAS SARAKSTS	62
PIELIKUMI	70

IEVADS

Pasaulē daudzos reģionos tiek novērota sīkkrūmu dominēšana veģetācijā, kas saistīta ar klimata izmaiņām (Power et al. 2022; Francon et al. 2020; Mosalenko 2013; Jonasson 2016; Myers-Smith et al. 2011). Tiek prognozēts, ka lielākās izmaiņas, kas saistītas ar klimata mainību, iespaidos sugas, kas aug uz sava areāla robežas (Gosh et al. 2021). Prognozē, ka to ietekmēs tādi klimata rādītāji, kā temperatūra, nokrišņu daudzums, sniega segas biezums (Housset et al. 2021; Francon et al. 2020). Ziemeļu reģionos, konkrēti tundrā, sīkkrūmu augšanas pieaugums manāms visvairāk (Mosalenko 2013; Jonasson 2016; Myers-Smith et al. 2011; Higgins et al. 2020).

Pasaulē plaši tiek pētīta sīkkrūmu augšanas dinamika (Myers-Smith 2015; Palacio, Montserrat-Marti 2005; Francon et al. 2020). Klonālie augi iegulda savu enerģiju zaru skaita palielināšanā nevis jaunu indivīdu veidošanā (Brete-Harte 2001; Callaghan 1992). Tas nodrošina sugas izdzīvošanu, pat atmirstot auga vecākajām daļā, jo jaunākās turpina augt (Götmark et al. 2016). Sīkkrūmiem raksturīga zema kambiālā aktivitāte un sugu ilgmūžība (Kaennel, Schweingruber 1993; Wilmking et al. 2012; Ejankowski 2008). Gadskārtu analizēšana ļauj saprast sīkkrūmu augšanas dinamiku un klimata ietekmi uz gadskārtu veidošanos (Francon et al. 2020). Tieši gadskārtas spēj atspoguļot ilglaicīgu un īslaicīgu apkārtējās vides un klimata izmaiņas (Broks, Mauriņš 2003). Mūsdienās dendrohronoloģija un dendroklimatoloģija paver iespējas aplūkot pagātnes klimata un vides izmaiņu atspoguļojumu gadskārtās (Schweingruber 1993; Kaennel, Schweingruber 1995; Hughes 2002).

Latvijā pundurbērzs *Betula nana* sasniedz savu areāla robežu (Priedītis 2014). Latvijā šī suga uzskatāma par leduslaikmeta reliktu (Lodziņa 1992) un ir iekļauta Ministru kabineta noteikumos Nr. 396. "Noteikumi par īpaši aizsargājamo sugu un ierobežoti izmantojamo īpaši aizsargājamo sugu sarakstu" (MK noteikumi 14.11.2000). Boreālo mežu zonas purvos novērota negatīva augšanas tendence pēdējos 40 gados (Li et al. 2021). Sīkkrūmu datēšana to limitējošos augšanas apstākļos ir apgrūtināta, jo veidojas gadskārtu anomālijas (Gardiner et al. 2014; Sawada et al. 2018; Schweingruber 2007; Bär et al. 2008; Wilmking et al. 2012). Pētījumos *Betula nana* uzrāda negatīvu gadskārtu pieaugumu kopš 1990. gada (Gamm et al. 2017).

Pētījuma **mērķis** bija noskaidrot *Betula nana* veģetatīvās augšanas dinamiku un klimata ietekmi uz *Betula nana* gadskārtu platumu veidošanos Latvijā. Pētījumā izvirzītas šādas **hipotēzes**:

1. *Betula nana* augšanas dinamika atšķiras ziemeļu–dienvidu gradientā un novērojamas kopīgas augšanas tendences biotopos.

2. Klimata izmaiņu rezultātā novērojama negatīva korelācija starp vidējo gaisa temperatūtu un *Betula nana* hronoloģijām Latvijā.

Lai sasniegtu izvirzītos mērķus, tika izvirzīti šādi **darba uzdevumi**:

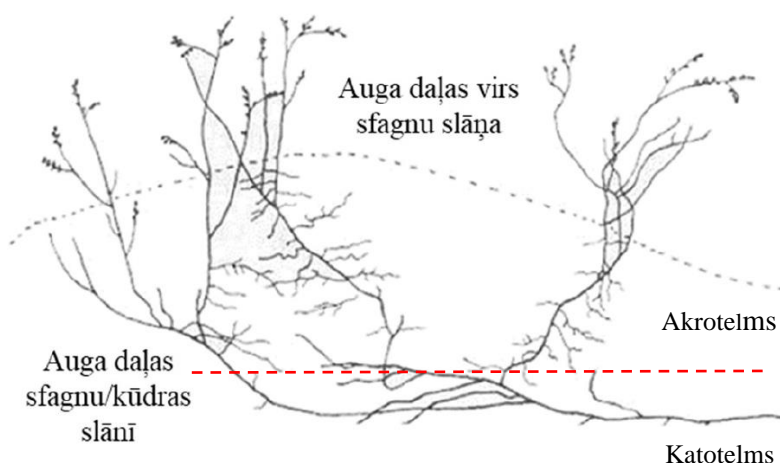
1. Noteikt *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamiku biotopos.
2. Noteikt *Betula nana* galveno zaru pieaugumu ik pa 50 cm.
3. Izveidot *Betula nana* ievākto indivīdu gadskārtu hronoloģijas biotopos.
4. Noskaidrot *Betula nana* gadskārtu hronoloģijunsaitību ar klimata izmaiņām.
5. Noskaidrot *Betula nana* hronoloģiju izmaiņas saistībā ar klimata izmaiņām pa gadu periodiem.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1. 1. Sīkkrūmu augšanas dinamika

Kokaugiem raksturīga primārā un sekundārā augšana (Schweingruber 1993; Schweingruber 2007). Primāro augšanu nodrošina apikālā meristēma, kas nodrošina auga stiepšanos garumā (Beck 2010). Sekundāro augšanu nodrošina laterālā meristēma, kurā atrodas vaskulārais kambijs, kas savukārt atrodas starp primāro ksilēmu un floēmu (Beck 2010). Daloties vaskulārajam kambijam tiek nodrošināta sekundārā augšana jeb augšana platumā (Beck 2010).

Sīkkrūmi ir īsi kokaugi, kuriem raksturīga vairāku zaru augšana vienlaicīgi (Götmark et al. 2016). Visgarākie dzinumi veidojas pavasarī no iepriekšējo gadu pumpuriem un arī vēlā vasarā, bet tie veidojas īsi (Palacio, Montserrat-Marti 2005). Zaru augšanu ietekmē arī tādi faktori kā orgānu diferenciācija no meristēmas un to, kādā laika posmā tie ir spējuši pilnībā izveidoties (Palacio, Montserrat-Marti 2005). Lielākā daļa no aksilārajiem pumpuriem pāraug īsos zaros nevis strukturētos zaros (Bret-Harte et al. 2001). Lai izprastu augšanas dinamiku pēc iespējas precīzāk vēlams pētāmo indivīdu iegūt pilnā garumā ar sakni (Schweingruber 2005).



1.1. attēls. Sīkkrūmu augšana purvā (attēls pārveidots no Rydin, Jeglum 2006).

Figure 1.1. Dwarf shrub growth in bogs (picture modified by Rydin, Jeglum 2006).

Sīkkrūmiem ir raksturīga pacila augšana un, to gadskārtu pieaugums ir mazs, bet tas var variēt starp sugām (Kaennel, Schweingruber 1995; Beck 2010). Sīkkrūmi, atšķirībā no citiem kokaugiem, spēj sevi klonēt un veidot dažādas vizuāli atšķirīgas formas, kuru sakņu sistēma lielākoties ir savstarpēji savienota (Myers-Smith et al. 2015). Tiem ir labi attīstīta veģetatīvā

augšana, kas liecina par zemu ģeneratīvo vairošanos. Veģetatīvā vairošanās galvenokārt notiek ar atvasēm un dzinumiem (Tollefson 2007; Götmark et al. 2016). Šie dzinumi vai atvases pāraug ar sūnām vai tos pārklāj nobiru slānis un tiem sāk veidoties adventīvās saknes (Tollefson 2007) (1.1. attēls).

Daudzgadīga klonālā augšana asociējas ar lēnu augšanu, kas parasti tiek novērota vietās, kur ir skarbi un barības vielām nabadzīgi apstākļi (Callaghan 1992; Schweingruber 2020). Radiālais pieaugums palielinās pie lielākas barības vielu pieejamības (Bret-Harte 2001). Sajūtot labvēlīgākus augšanas apstākļus, klonālie augi kļūst konkurētspējīgi un dominanti to augšanas biotopos (Callaghan 1992). Tie iegulda enerģiju palielinot zaru garumu, nevis veidojot jaunus indivīdus (Bret-Harte 2001). Augšana ar vairākiem zariem nodrošina, ka atmirstot kādiem no zariem, tie spēj turpināt augšanu ar atlikušajiem zariem (Götmark et al. 2016). Vairākos pētījumos atklāts, ka sīkkrumiem raksturīga zema kambiālā aktivitāte un augsta sugu ilgmūžība (Kaenel, Schweingruber 1993; Wilmking et al. 2012; Ejankowski 2008). Augiem raksturīgs, ja to vecākās daļas atmirst, tad jaunie dzinumi turpina augt un attīsta sev adventīvās saknes. No tā izriet, ka augs ir spējīgs augt ar dzīvajām daļām augšējos kūdras slāņos un virszemes daļā, pat ja apakšējās auga daļas jau ir atmirusas (Schweingruber et al. 2006).

Plaši tiek pētīta sīkkrūmu augšanas dinamika, izmantojot, sākot ar vizuālām pārmaiņām laika periodos, līdz pat klasiskām metodēm, kur salīdzina gadskārtu platumu pieaugumu un kā klimata izmaiņas to ir ietekmējušas (Palacio, Montserrat-Marti 2005; Francon et al. 2020). Precīzāka metode, kuru izmantot sīkkrūmu un krūmu augšanas noteikšanai ir ar dendrohronoloģijas palīdzību (Power et al. 2022). Analizējot gadskārtas iespējams noskaidrot krūmu un sīkkrūmu augšanu gan īsākā periodā, gad garākā periodā, kas savukārt atklāj klimata izmaiņu atspoguļojumu gadskārtās (Francon et al. 2020).

Strauju klimata izmaiņu rezultātā daudzos pasaules reģionos novērojama sīkkrūmu un krūmu dominance veģetācijā (Power et al. 2022; Francon et al. 2020; Mosalenko 2013; Jonasson 2016; Myers-Smith et al. 2011). Vieni no aktuālākajiem kokaugu augšanas izmaiņu reģioniem ir Ziemeļu un kalnu reģioni (Power et al. 2022; Francon et al. 2020). Augšanas aktivitāti tieši ietekmē klimata sezonālitate (Palacio, Montserrat-Marti 2005). Klonālie augi mazāk reaģē uz īsa perioda vai lokāliem traucējumiem, izmaiņām (Callaghan 1992). Ekstrēmais ilgdzīvojumus padara klonālos augus mazāk jutīgus uz īstermiņa izmaiņām vidē (Callaghan 1992). Prognozē, ka vislielāko iespaidu klimata izmaiņas atstās augu augšanai uz to areāla robežas (Gosh et al. 2021). Sugām, kas spēs pielāgoties un mainīt savu augšanas areālu, pastāv iespējas izdzīvot tālākā nākotnē (Gosh et al. 2021; Housset et al. 2021). Kokaugu sugas, kas

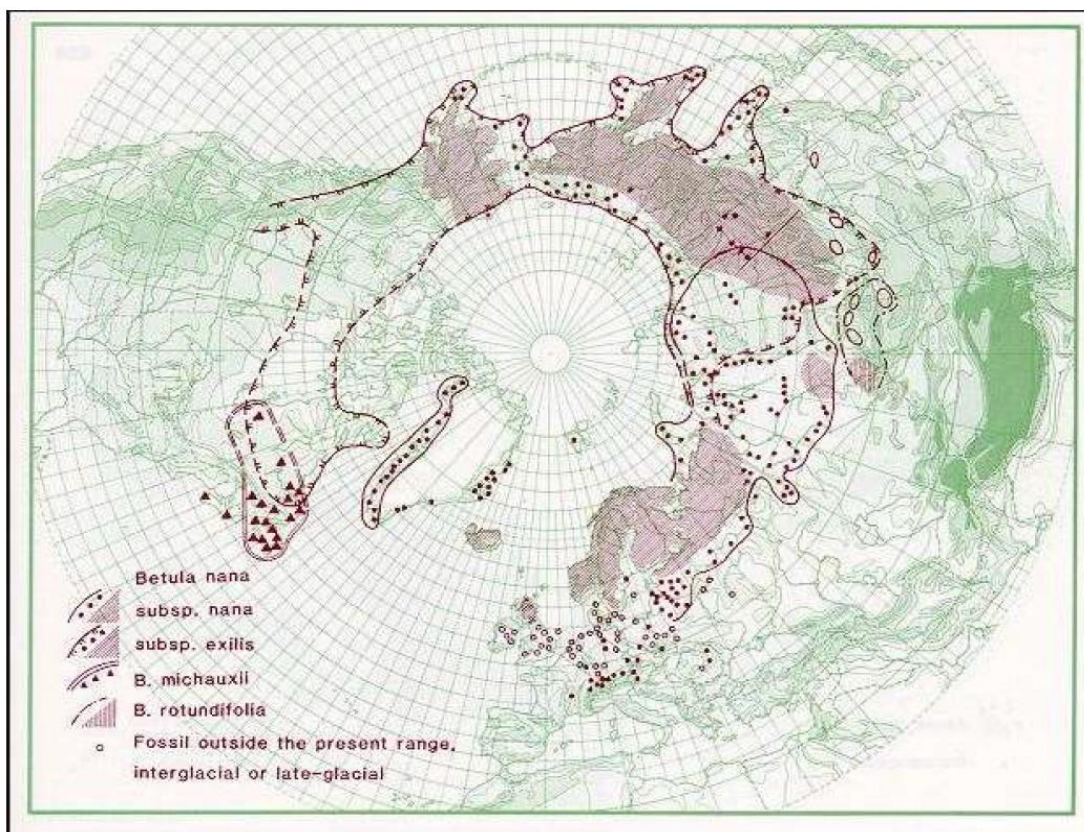
aug uz sava areāla robežas, prognozējams, ka ietekmēs tādi klimatiskie rādītāji kā temperatūra, gada vidējais nokrišņu daudzums, kalnu reģionos nogāzes novietojums un arī kokauga izmērs (Housset et al. 2021). Pētot sugu spēju mainīt areāla robežas noskaidrots, ka to ietekmē gada nokrišņu daudzums, kas liek sugām atkāpties areāla dienvidu daļās un pārvietoties tālāk uz ziemeļiem (Gosh et al. 2021). Modelējot nākotnes sugu areāla izmaiņu modeļus ar jaunām optimālām nišām, ko tās varētu aizņemt, kā arī modelējot pagātnes kokauga augšanas dinamiku, iespējams prognozēt iezīmes nākotnes augšanas izmaiņās un augšanas dinamikā (Gosh et al. 2021; Power et al. 2022).

Noskaidrots, ka Eiropas Alpos sīkkrūmu ikgadējo pieaugumu tieši ietekmē gaisa temperatūra un tās izmaiņas augšanas periodā (Francon et al. 2020). Negatīvu ietekmi uz augšanas dinamiku atstāj arī ziemas perioda nokrišņu daudzums (Francon et al. 2020). Kalnos novērots, ka augstāk augošajiem *Rhododendron ferrugineum* virs jūras līmeņa, raksturīgs pozitīvs radiālais pieaugums, ja augšanas periods ir palielināts (Francon et al. 2020). Tas savukārt ir saistīts ar sniega segas biezumu un tās ilguma periodu (Francon et al. 2020). Zemākajā punktā, kur aug šie krūmi, novērots, ka samazināts sniega kušanas ātrums, negatīvu iespaidu atstāj uz radiālo augšanu līdz ar to šī suga tiek uzskatīta par klimata izmaiņu vēstnesi alpīnajās ekosistēmās (Francon et al. 2020). Kokauga strauja izplatība novērojama arī alpīnajās pļavās un kalnainēs, kas saistāma ar klimata izmaiņām (Liu et al. 2022). Vietās, kur palielinās krūmu segums tiek ietekmēts minerālvielu transports, ūdens apmaiņa un oglekļa uzkrāšanās. Samazinās lakstaugu stāva virszemes biomasa, tiek veicināta samazināts augsnes virsmas blīvums un veicināta sakņu sadalīšanās (Francon et al. 2020; Liu et al. 2022). Tibetas kalnienē, kur ir šāda tipa alpīnās pļavas atrodas vairāku Āzijas lielāko upju plūsmas vietas. Palielināta krūmu augšanas dinamika varētu negatīvi ietekmēt upju straumes un virsmas noteci (Liu et al. 2022). Palielinot barības vielu daudzumu ar mēslošanu, noskaidroja, ka tas ietekmē primāro augšanu, konkrēti, aksilāro pumpuru augšanu (Bret-Harte 2002). Papildus barības vielas ietekmē arī sekundāro augšanu, kas palielina oglekļa uzkrāšanās iespējas (Bret-Harte 2002).

1. 2. *Betula nana* pasaulē un Latvijā

Pundurbērzs *Betula nana* ir vasarzaļš sīkkrūms jeb pundurkrūms, kas pieder pie *Betulaceae* bērzu dzimtas (Mauriņš, Zvirgzds 2006; Priedītis 2014). *Betula nana* nav spējīgs sasniegt koka augstumu (Mauriņš et al. 1958). Suga ir cirkumboreāla, kas plaši izplatīta arktiskajos un Eirāzijas subarktiskajos reģionos (1.2. attēls). *Betula nana* uzskatāms par tipisku tundras augu. Eiropā tas sastopams kalnu reģionos kontinenta vidusdaļā vai ziemeļu daļā (Anderberg 1999; Priedītis 2014). Pasaulē daudzām sugām tiek novērota areāla robežu mainība,

kas saistāma ar globālā klimata sasilšanu (Francon et al. 2020). Viena no šādām sugām ir arī *Betula nana*, kurai nepieciešams vēsāks klimats, kas izraisa sugas pastiprinātu augšanu un izplatību vairāk uz ziemeļiem (Priedītis 2014; Francon et al. 2020).



1.2. attēls. *Betula nana* izplatības karte (Anderberg 1999.)

Figure 1.2. *Betula nana* distribution map (Anderber 1999).

Ziemeļu reģionos novērota ekspansīva sīkrūmu augšana. Viena no pētījumu modeļsugām ir *Betula nana*, kuru virszemes daļas pēdējo desmitgadu laikā strauji palielinājušās (Moskalenko 2013; Jonasson 2016; Myers-Smith et al. 2011; Higgins et al. 2020). Palielinājušies ir tādi parametri kā garums, segums un biomasa, kas ļauj dažādām sīkrūmu sugām sākt ekspansīvi izplatīties un pārņemt plašas teritorijas (Myers-Smith et al. 2015; Martin et al. 2017; Weijers 2018). Ekspansīva izplatīšanās savukārt atstāj negatīvu iespaidu uz citām sugām, kuras vairs nespēj konkurēt un tās tiek nomāktas (Kudo, Suzuki 2003). Izmaiņas ietekmē arī augu reproduktīvo spēju, kas rezultējas ar savstarpēju cīņu par izdzīvošanu. (Kudo, Suzuki 2003). Pasiltinoties klimatam samazinās sniega segas biezums un tās noturības ilgums, kas atstāj pozitīvu ietekmi uz *Betula nana* augšanu tundrā (Jonasson 2016). Sniega segas biezums izolē veģetāciju no krasām temperatūras izmaiņām (Wharen et al. 2005). Tundrā tas ietekmē mūžzaļo krūmu augšanu un uzlabo vasarzaļo krūmu augšanu, jo to atbildes reakcija ir elastīgāka attiecībā uz izmaiņām (Wharen et al. 2005). Klimata sasilšanas rezultātā notiek

izmaiņas, kas maina veģetācijas sezonas ilgumu, padarot to ilgāku (Wipf et al. 2009). Sīkkrūmiem zūd sala izturība un notiek izmaiņas sīkkrūmu fenoloģijā (Wipf et al. 2009). Tundrā pēc ugunsgrēkiem novērots, ka dominē arvien vairāk tādas sīkkrūmu sugas kā *Betula nana* (Heim et al. 2021). Nepieciešami vismaz 40 gadi, lai veģetācija spētu atgriezties tādā stāvoklī, kāda tā bija pirms ugunsgrēka (Heim et al. 2021). Klimata izmaiņu izraisīti ugunsgrēki atstāj negatīvu iespaidu uz augsni, jo tās temperatūra pasilīnās (Heim et al. 2021).

Latvijā *Betula nana* sasniedz savu Dienvidrietumu areāla robežu (Priedītis 2014). *Betula nana* atradnes lielākoties atrodas Latvijas austrumu daļā (Priedītis 2014). Izkaisītas atradnes ar *Betula nana* sastopamas Latgalē un Ziemeļvidzemē (Mauriņš, Zvirgzds 2006). Pirmie dati par atradnēm, kur konstatēts *Betula nana* datējami 1778. gadā (Cinovskis 1997). *Betula nana* Latvijā uzskatāma par ledus laikmeta relikta sugu (Lodziņa 1992). Par to liecina kūdrā un nogulumos, kas veidojušies pēc ledāju kušanas ūdeņiem, atrasto putekšņu un augu daļas visā Latvijas teritorijā. Konkrēti Teiču purva kūdrā atrastie putekšņi saglabājušies 11000 līdz 10000 gadus (Zunde 1999; Baroniņa, Lodziņa 1992).

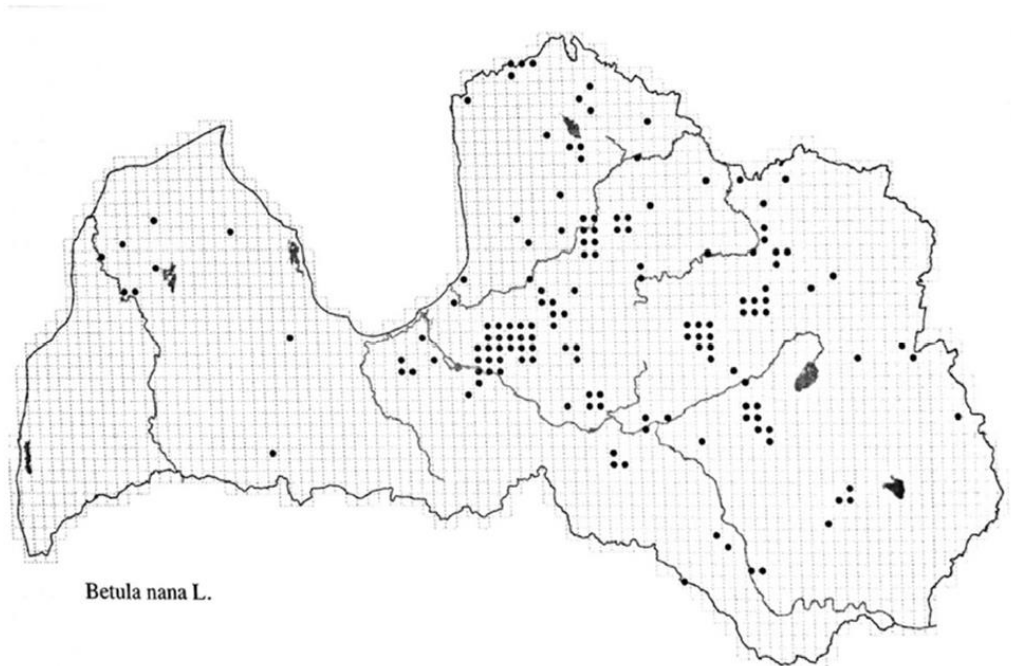
Apgaismojums ir ļoti būtisks faktors *Betula nana* spējai izdzīvot (Schweingruber 1993). *Betula nana* ir gaismmīlis, kas augot purvā reaģē visjutīgāk uz gaismas pieejamības izmaiņām (Schweingruber 1993; Laine et al. 1993; Ejankowski 2010). Senā pagātnē (~ 12000 – 11000 gadi) tika būtiski ierobežota gaismas pieejamība, ko radīja meža tundras augu ienākšana (Zunde 1999). Sauli mīlošām sugām sāka trūkt gaisma, kā rezultātā šīs izmaiņas minamas kā viens no iemesliem, kas lika un leik joprojām tundras sugām ar laiku atkāpties tālāk uz Ziemeļiem (Zunde 1999; Abbott, Brochmann 2003). Noskaidrots, ka samazinās morfoloģiskie parametri, tiek ietekmēta sugu spēja vairoties, kā arī tiek samazināts sugu virszemes segums (Ejankowski 2010). Tieši šie ir negatīvie iespaidi, kas ietekmē sīkkrūmu augšanu, kas rodas gaismas trūkuma dēļ (Schweingruber 1993; Ejankowski 2010). Gadskārtu platums un vainaga lielums pieaug, ja augs saņem vairāk gaismas. Šādi apstākļi var veidoties pēc degumiem, vētrām vai meža cirsmu tīrīšanām (Schweingruber 1993). Sugas, kas rada tiešu konkurenci ar *Betula nana* ir citas sīkkrūmu, krūmu vai kokaugu sugas kā zilene *Vaccinium uliginosum*, purva vaivariņš *Ledum palustre*, kā arī parastā priede *Pinus sylvestris* (Laine et al. 2005). Minēts, ka purvu vai purvāju susināšana varētu būt viens no iemesliem *Betula nana* atradņu vietu skaita samazinājumam Latvijas teritorijā (Cinovskis 1997). Citos literatūras avotos minēts, ka *Betula nana* spēj augt arī vietās, kas nav pārlietu mitras (Bambe 2001). Tas liecina par sugas spēju augt dažādos hidroloģiskos apstākļos (Bambe 2001; Kļaviņš et al. 2001). Gan augsnes skābums, gan apgaismojums, gan ūdens līmenis un barības vielu pieejamība būtiski ietekmē *Betula nana* morfoloģiskos parametrus un iespaido audzes lielumu (Bambe 2001; Dyderksi et al. 2016).

Polijā veiktajā pētījumā tika noskaidrots, ka tur dažās *Betula nana* punktveida atradnēs ir negatīva saistība starp hidroloģisko režīmu un populācijas augšanas dinamiku (Ejankowski 2008). Kalnu reģionos mitrums ietekmē radiālo augšanu (Francon et al. 2020). Mainoties klimatam, mainīsies arī augu augšanas zonas kalnos. Tās pārvietosies augstāk, kur tām būs piemēroti augšanas apstākļi (Wang, Yang 2021). Augam kļūstot vecākam, vecāko rametu mirstība palielinās, jo zem biezā sfagnu slāņa tiem pietrūkst skābeklis un ir pārlietu mitri apstākļi (Ejankowski 2008). Līdzīgi novērots tika arī pētījumā par Latvijā augošo *Betula nana* Oļļu purvā, kur tika novērots, ka auga vecākās daļas atmirst (Cinevica 2011). Uzskatāms, ka Latvijā *Betula nana* sasniedz savu ekoloģisko maksimumu tieši augsto purvu ezeru krastos (Kļaviņš et al. 2001). Klimata pasiltināšanās rezultātā samazinās augsnes mitrums purvos (Zhang et al. 2020). Mainoties purva hidroloģiskajam režīmam, tiks mazāk uzkrāts ogleklis. Oglekļa mazāka uzkrāšana novedīs pie vēl lielākas klimata pasiltināšanās globāli un purvi kā biotopa veids tiek apdraudēti. Vasaras temperatūra spēlē kritisku lomu purvu augu sabiedrību izmaiņās (Zhang et al. 2020). Noskaidrots, ka boreālo mežu zonas purvos ir novērojama negatīva augšanas tendence pēdējo 40 gadu laikā. Kokaugu augšanu ietekmē klimats, bet arī topogrāfija (Li et al. 2021). Samazināts augsnes mitrums limitē *Betula nana* augšanas iespējas. Līdz ar to *Betula nana* var mainīt savu augšanas stratēģiju ieguldot enerģiju lapu palielināšanā, jo tās arī uzkrāj oglekli. *Betula nana* mazāk enerģijas tērē koksnes veidošanai un stabilitātei, kas paredz, ka *Betula nana* virszemes daļas palielinās, bet to blīvums ir samazinājies (Higgins et al. 2020).

Betula nana raksturīga augšana skābās augsnēs un pārmitrās vietās (Schweingruber 2020). Literatūrā aprakstīts, ka Latvijā *Betula nana* aug purvainos priežu mežos un dažādos purvu tipos (Priedītis 2014). Sugas raksturīgā īpašība ir augšana grupās vai nelielās audzēs (Priedītis 2014). Latvijā *Betula nana* aug kopā ar tādām sugām kā šaurlapu sfagns *Sphagnum angustifolium*, apaļlapu rasene *Drosera rotundifolia*, kadiķu dzegužlins *Polytrichum juniperinum*, purva dzērvene *Oxycoccus palustris*, daudzlapu andromēda *Andromeda polifolia*, makstainā spilve *Eriophorum vaginatum* (Kļaviņš et al. 2001). *Betula nana* ir ektomikorizāls augs, kā dēļ, tas spēj augt skarbos apstākļos, un mikorizas klātbūtne palielina konkurences spējas ar citām sugām, kā tas ir tundrā augošajiem *Betula nana* (Gardes, Dahlberg 1996; Deslippe, Simard 2011).

Betula nana atradņu vietu skaits variē dažādos literatūras avotos (1.3. attēls). Vienā no avotiem minētas 149 atradnes (Laiviņš et al. 2009), savukārt citā minētas tikai aptuveni 70 atradnes (Broks, Mauriņš 2003). Kā vienu no rādītājiem, kāpēc *Betula nana* sastopamība ir samazinājusies Latvijā tiek minētas klimata izmaiņas. Klimatam pasiltinoties kādreiz Latvijā

sastopamos tundras augus aizstāja meža tundras augi (Zunde 1999). Purvu un purvāju susināšana arī ir ietekmējusi *Betula nana* sastopamību (Mauriņš, Zvirgzds 2006). Kā rezultātā šobrīd Latvijā *Betula nana* ir iekļauts Ministru kabineta noteikumos Nr. 396. "Noteikumi par īpaši aizsargājamo sugu un ierobežoti izmantojamo īpaši aizsargājamo sugu rakastu" (14.11.2000.). *Betula nana* Latvijā ir piešķirta 2. kategorija Latvijas augu Sarkanajā grāmatā, kas nozīmē, ka tā pieskaitāma pie jutīgām sugām (Cinovskis 2003). *Betula nana* ir iekļauta arī Baltijas jūras reģiona Sarkanajā grāmatā (Priedītis 2014).



1.3. attēls. Latvijā vēsturiski datētās *Betula nana* Atradņu vietas (Laiviņš et al. 2009).

Figure 1.3. Historically dated founding places of *Betula nana* in Latvia (Laiviņš et al. 2009).

1. 3. *Betula nana* morfometrisko parametru raksturojums

Betula nana aug pacili un to virszemes dzinumu daļas mizas krāsa ir brūna (Priedītis 2014). Jaunās dzinumu daļas ir brūnas un samtainas, kas rudenī kļūst kailas (Mauriņš et al. 1958; Mauriņš, Zvirgzds 2006). *Betula nana* lapas plātne ir lielāka platumā kā garumā, no 0,5 līdz 1,5 centimetriem. Literatūrā *Betula nana* lapas mala tiek dažādi raksturota. (Priedītis 2014) minējis, ka lapas mala ir sīkzobaina, savukārt (Brokas, Mauriņš 2003) to nosaucis par rentainu, bet (Mauriņš, Zvirgzds 2006.) nosaucis to par strupi zobainu. *Betula nana* raksturīgs, ka lapas dzīslējums variē no 2 līdz 4 dzīslām (Mauriņš, Zvirgzds 2006). Lapas ir izkārtājušās pamīši uz stumbra (Baroniņa, Lodziņa 1992) un to apakšpuse ir gaišāka par lapas augšējo daļu (Mauriņš, Zvirgzds 2006). Lapas augšdaļa ir tumši zaļā krāsā un spīdīga (Mauriņš, Zvirgzds 2006).

Betula nana ir vienmājas augs, kura ziedi ir viendzimuma un parasti tas zied aprīļa beigās un maijā (Baroniņa, Lodziņa 1992; Priedītis 2014). Augļu spurdžu garums variē no 0,5 līdz 0,8 centimetriem un to spurdžu zvīņas ar matiņiem ir vērstas uz spurdzes galu (Priedītis 2014; Mauriņš, Zvirgzds 2006). *Betula nana* vīrišķās spurdzes ir stāvas, sēdošas un tievākas par sievišķajām spurdzēm, un tām raksturīgs attīstīties īsu sānu dzinumumu galiem (Baroniņa, Lodziņa 1992; Broks, Mauriņš 2006). *Betula nana* nenotiek pašappute, jo sievišķo spurdžu drīksnas izkaras tikai pēc tam, kad vīrišķo spurdžu putekšņi ir ar vēja palīdzību jau izplatījušies vējainā un siltā laikā (Baroniņa, Lodziņa 1992). (Mauriņš, Zvirgzds 2006.) *Betula nana* augli dēvē par riekstiņu, bet Priedītis 2014, to sauc par spārnuli. Spārnuļa mala ir plēvainā un šaura un tā augļu seglapa ir dziļi šķelta (Priedītis 2014). Nogatavinātās sēklas ienākas no jūnija (Mauriņš, Zvirgzds 2006) līdz pat septembrim (Broks 2003). *Betula nana* raksturīga augšana ar vienu vai pāris zariem garumā reizē (Bret-Harte 2001).

Betula nana spēj veidot hibrīdus, jo ziemeļos augošo bērzu ģints *Betula sp.* sugu ziedēšanas laiki sakrīt. Kā viena no sugām ar ko *Betula nana* krustojas ir Purva bērzs *Betula pubescens*, bet hibrīdaugam lapu forma un lapu plātnes lielums atšķiras. (Elkington 1968; Thórsson et al. 2007). *Betula nana* spēj krustoties arī ar zemo bērzu *Betula humilis*, bet to atšķirība ir tā, ka *Betula humilis* zari neaug stāvi un tā lapas ir garākas (Priedītis 2014). Jaunākās veiktās Bērzu ģints *Betula sp.* ģenētiskās analīzes atklājušas, ka šīs ģints sugas būtu dalāmas divos klados. *Betula nana* tiek iedalīta otrajā kladā, kur sugām ir novērota plaša izplatība un to sēklām ir labi saskatāmi līdzspārnī. Interesanti, ka katrā no kladiem ir attīstījušies paralēli sīkkrūmi, kur *Betula nana* un *Betula humilis* ir vienā kladā, bet Ņūfaundlendā bērzs *Betula michauxii* otrā kladā (Wang et al. 2021). Latvijā *Betula nana* sēklu dīgtpēja nav pietiekama, kas pastiprina informāciju par veģetatīvo vairošanos, kā galveno izdzīvošanas veidu (L. Strodes personīgās ziņas).

1. 4. Dendrohronoloģija un dendroklimatoloģija

Mūsdienās Dendrohronoloģija paver iespējas datēt koku gadskārtas līdz pat kalendārajiem gadiem (Schweingruber 1993; Kaennel, Schweingruber 1995; Hughes 2002). To iespējams izdarīt ar lielu pārliecību par koku gadskārtu datējumu patiesību (Hughes 2002). Datētās gadskārtas iespējams salīdzināt ar klimata datiem. Dendrohronoloģijas apakšvirzienu, kas pēta datētās kokaugu gadskārtas un klimatu sauc par dendroklimatoloģiju (Kaennel, Schweingruber 1995; Hughes 2002). Salīdzinot kokaugu hronoloģijas ar klimata datiem, iespējams ielūkoties pagātnē un novērot kokaugu reakciju uz klimata izmaiņām. Iespējams prognozēt arī nākotnes iespējamās izmaiņas (Kaennel, Schweingruber 1995; Hughes 2002).

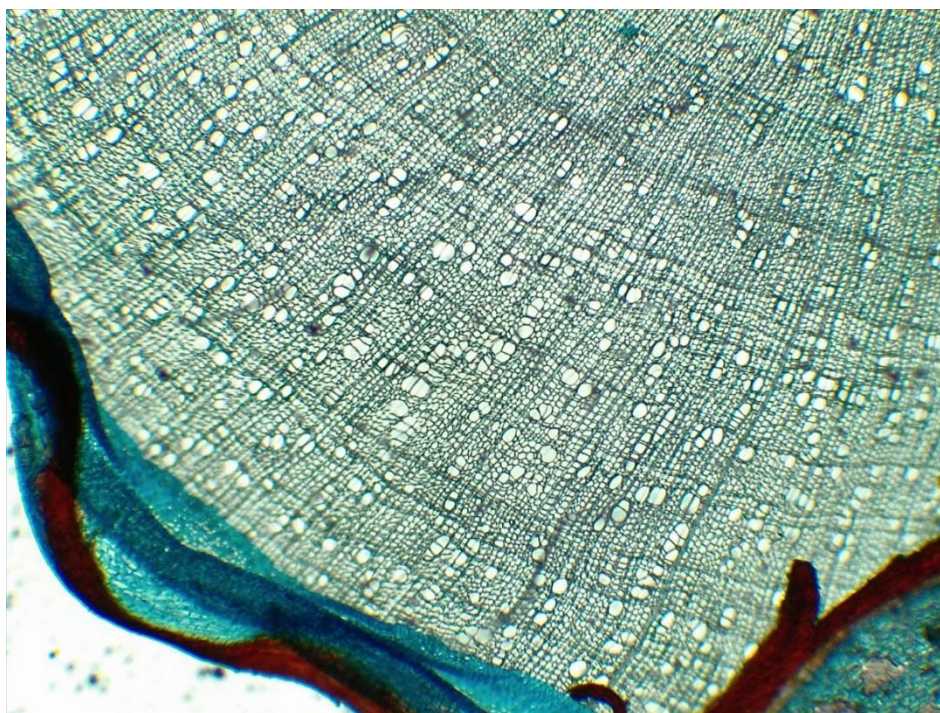
Gadskārtas ir tās, kas vislabāk spēj atspoguļot ilglaicīgu apkārtējās vides ietekmi kā, piemēram, hidroloģiskā režīma izmaiņas, dažādus kukaiņu uzbrukumus un visbeidzot ar klimata izmaiņām, kas sevī iekļauj temperatūras izmaiņas, nokrišņu daudzumu un daudz citus parametrus (Broks, Mauriņš 2003). Sīkkrūmiem tā pat kā kokiem, tas atspoguļojas gadskārtās (Broks, Mauriņš 2003). Samazinoties ūdens līmenim purvā novērojama paaugstināta radiālā augšana, savukārt ūdens līmenim paaugstinoties tā samazinās (Taminskas et al. 2019). Bez gadskārtām vēl klimata izmaiņu ietekme atspoguļojas uz mizu. Ziemeļos augošām sīkkrūmu sugām novērots, ka samazinās mizas biezums, kas tieši saistīts ar temperatūras paaugstināšanos. Paaugstinoties augsnes temperatūrai kļūst pieejamas arvien vairāk barības vielas, kas veicina sīkkrūmu augšanu (Iturrate-Garcia et al. 2017).

Par gadskārtu veidošanos atbilst kambiālās šūnas, kas atrodas starp koksni un mizu. Gadskārtas veidojās no divām daļām – veģetācijas perioda sākumā izveidojot agrīno jeb pavasara koksnes daļu, bet veģetācijas perioda vidū izveidojas gadskārtas vēlinā daļa, jeb rudens koksne. Katrai sugai jau ģenētiski tiek noteikts agrīno un vēlīno daļu platums. (Schweingruber et al. 2006). Agrīnās un vēlinās koksnes platumu ietekmē arī klimats auga veģetācijas periodā, biotopa veids un augšanas apstākļi tajā, kā arī indivīda vecums (Wilmking et al. 2012). Koksnes blīvums un tā variācijas ir atkarīgas no klimata ietekmes (Schweingruber 1993). Gadskārtu platuma izmaiņas var ietekmēt arī citas pārmaiņas - abiotisku vai biotisku faktoru ietekme un stresa apstākļi. Šādi gadskārtu platumi, kas ļoti izceļās tiek saukti par zīmīgajiem gadiem, kas tiek izmantoti šķērsdatējot gadskārtu platumus (Schweingruber 1993). *Betula nana* ir sīkkrūmu suga, kas aug pacili sfagnos, veidojot klājeniskas formas zem sfagnu virskārtas. Šāda augšana veicina gadskārtu anomāliju veidošanos. Par gadskārtu anomālijām uzskatāmas ķīļveida gadskārtas, viltus gadskārtas, iztrūkstošas gadskārtas, reakcijas koksnes veidošanās un radiāli ekscentriskā augšana (Kaennel, Schweingruber 1995; Schweingruber 1996; Schweingruber 2007).

Veidojoties radiāli ekscentriskām gadskārtām pacili augošām sīkkrūmu sugām, tiek veidots nevienmērīgs gadskārtu platums. Sīkkrūmiem raksturīga kambija aktivitātes nevienlīdzība visā stumbra perimetrā (Gardiner et al. 2014). Augot sūnās pacili sīkkrūmi atrodas pastiprinātā mehāniskajā stresā, kas veido reakcijas koksni. Lapkokiem veidojas stiepes koksne, kas nozīmē, ka tā veidojas tajā pusē no kuras tiek veikts spiediens. Stiepes koksnē ir raksturīgs zems lignīna saturs, bet augsts celulozes saturs. Stiepes koksne atbild par koksnes reakciju liecot vai paliecot pareizā augšanas virzienā (Gardiner et al. 2014; Sawada et al. 2018). *Betula nana* bieži novērojamas ķīļveida gadskārtas saistībā ar ekscentrisku augšanu (Schweingruber 2006; Schweingruber et al. 2007; Bär et al. 2008). Sīkkrūmiem novērojamas

arī iztrūkstošas gadskārtas, kas ir atbildes mehānisms nelabvēlīgiem vides faktoriem un to ietekmei. Iztrūkstošas gadskārtas ir aizsardzības mehānisms kokaugiem, ja ārējie vides apstākļi ir pārlietu ekstremāli (Schweingruber 2007; Wilmking et al. 2012). Sugām, kas aug uz sava areāla robežas ir raksturīgas iztrūkstošas gadskārtas, jo tie pastāvīgi atrodas un aug limitējošos apstākļos (Schweingruber 2006; Wilmking et al. 2012). Purvā augošiem *Betula nana* novērojams lielāks iztrūkstošo gadskārtu skaits. Tas skaidrojams, ka *Betula nana* lielākā auga daļa purvos aug kūdras un sfagnu slāni (Wilmking et al. 2012). *Betula nana* aug sevi klonējot, savukārt daļas, kas atrodas kūdras slānī lēnām atmirst. Gadskārtu neveidošanās auga zemākajās daļās liecina par kambija neaktivitāti, ko ietekmē barības vielu trūkums, vielu plūsmas intensitāte un temperatūras izmaiņas. (Wilmking et al. 2012).

Betula nana gadskārtām raksturīga ļoti šaura vēlīnā koksne, kas veidojas rudens periodā (Schweingruber 2020). *Betula nana* raksturīgi nevienmērīgi izkārtoti aptuveni vienāda lieluma vadaudi sekundārajā ksilēmā. Šādu izkārtojumu sauc par difūzi porainu koksnes vadaudu izvietojumu (1.4. attēls) (Kaennel, Schweingruber 1995). Vadaudu diametrs lielākoties variē no 30 – 40 μm, bet to garums sasniedz no 150 līdz pat 200 μm (Schweingruber 2020).



1.4. attēls. *Betula nana* griezumam, kurā redzams difūzi porains vadaudu izkārtojums (M. Metāle 2021).

Figure 1.4. *Betula nana* cross section with diffuse porous vessels (M. Metale 2021).

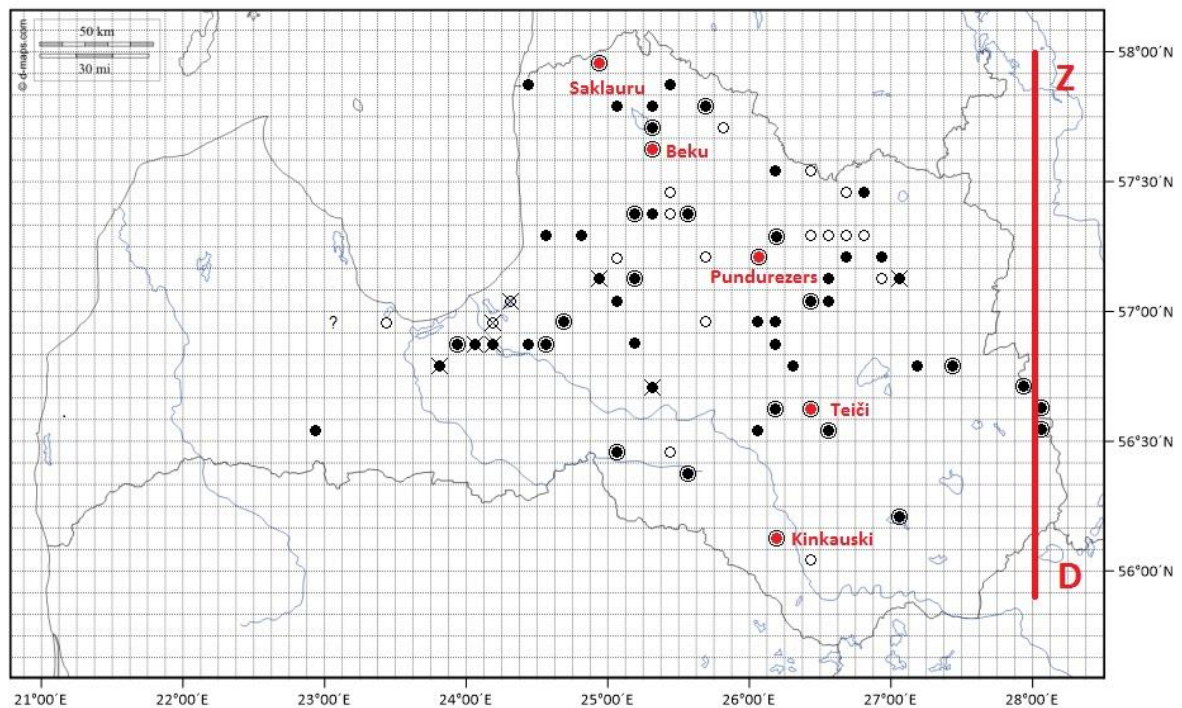
Betula nana sekundārajā augšanā tika novērots pozitīvs pieauguma trends no 1941. gada līdz pat 1990. gadam. Savukārt pēc 1990. gada novērojams tieši pretēji, samazināts pieauguma

trends līdz pat 2013. gadam (Gamm et al. 2017). Nav nozīmes vai tiek izmantoti jauni vai veici indivīdi, jo abos gadījumos tika novērotas vienlīdzīgas augšanas hronoloģijas. Tas liek spriest, ka augšanas samazinājumu neietekmē auga vecums vai tā izmērs (Carlquist 1988; Gamm et al. 2017). Sākot ar 1990. gadu novērojams, ka *Betula nana* augšanu negatīvi ietekmē ikmēneša gaisa temperatūra. Negatīva korelācija novērota februāra, marta un augusta temperatūrām. Iepriekšējā gada ikmēneša temperatūru izmaiņas no janvāra līdz augustam uzrādīja negatīvu ietekmi uz nākamā gada gadskārtu veidošanu (Gamm et al. 2017).

2. MATERIĀLI UN METODES

2.1. *Betula nana* atradnes un augu iegūšana.

Betula nana indivīdu paraugi tika ievākti piecās Latvijas vietās – Saklauru purvs, Beku purvs, Pundurezers, Teiču purvs un Kinkausku mežos (2.1. attēls). Teiču atradnes indivīdi tika ievākti 2018. gadā, bet Beku, Saklauru un Pundurezera atradņu indivīdi tika ievākti 2020. gadā. 2021. gadā tika ievākti Kinkausku atradnes indivīdi. Saklauru purvs atrodas dabas liegumā “Ziemeļu purvi”, kas savukārt ietilpst Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā. Vēl Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā atrodas Beku purva atradne, taču tā ietilpst neitrālajā zonā. Paraugi, kas tika ievākti Teiču dabas rezervātā, atradās regulējamā režīma zonā. Savukārt Kinkausku meži ir dabas liegums. Pundurezera atradne vienīgā nav iekļauta kādā no aizsargājamajām teritorijām Latvijā (Dabas aizsardzības pārvalde). Lielākā daļa no paraugu ievākšanas vietām atrodas kādā no aizsargājamajām teritorijām, kā rezultātā tika iegūta Dabas aizsardzības pārvaldes atļauja ievākt noteiktu skaitu indivīdu paraugu katrā no teritorijām.



2.1. attēls. Paraugu ievākšanas vietu atradnes Latvijā (pārveidota L. Strodes karte).

Figure 2.1. Sampling site locations in Latvia (pārveidota L. Strodes karte).

Katrā no atradņu vietām tika ievākti 10 augi, pieci augi no katra biotopa. Vienas teritorijas ietvaros pārsvarā tika ievākti divu atšķirīgu biotopu *Betula nana* paraugi. Saklauru atradnē tika ievākti paraugi no augstā purva un purvāja, jeb purvainā meža. Purvājs ir viens no purvaino mežu tipiem (Broks, Mauriņš 2003). Turpmāk lietotais termins purvainie meži tiek

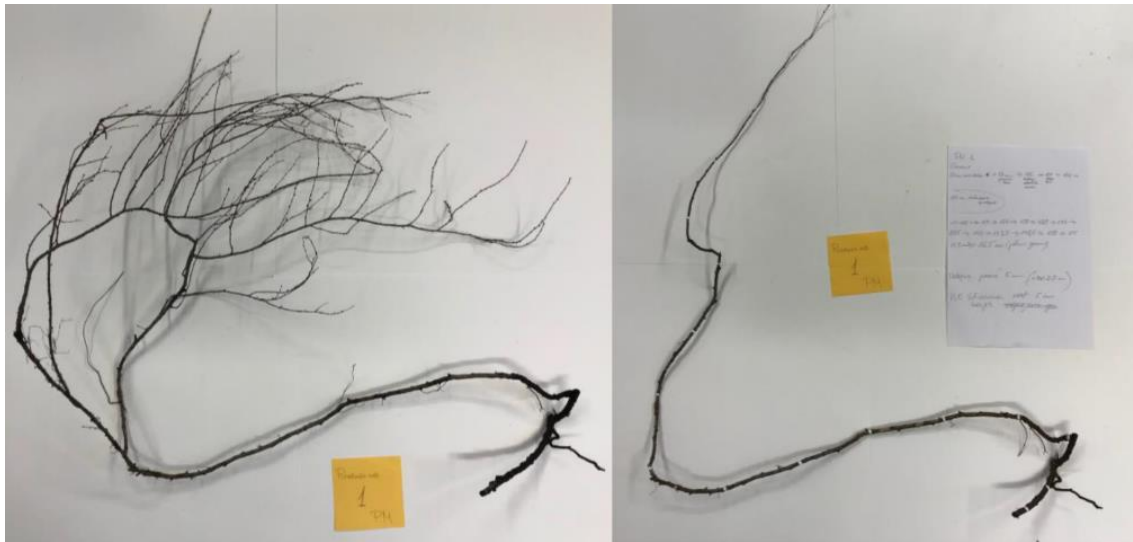
attiecināts uz purvāju. Beku purvā tika ievākti paraugi no augstā purva un blakus esošā augstā purva daļas, kurā bija sastopama parastā niedre *Phragmites australis*. Beku augstais purvs ar niedri *Phragmites australis* pēc L. Strodes personīgajām ziņām klasificējams tieši šādi. Tālākā datu analīze atradnes nosaukums paliek nemainīgs, bet tiek pielīdzināts pārejas purvam. Pundrezera atradnē paraugi tika ievākti augstajā purvā un pārejas purvā ar makstaino spilvi *Eriophorum vaginatum*. Teiču dabas rezervāta atradnēs tika pārstāvēti augstā purva un purvainā meža biotopi. Savukārt Kinkausku mežos bija sastopams tikai viens biotopa vieds, kurā bija sastopams *Betula nana* - purvainais mežs. Kinkausku atradnē vienīgajā tika ievākti tikai pieci paraugi.

Paraugi tika atrakti ar rokām, noceļot nost sfagnu un kūdras slāņus. Paraugu pilnīgu izrakšanu apgrūtināja auga daļas katotelmā, kas bija jau sākušas sadalīties un atdalījās no auga. Pēc paraugu izrakšanas sfagnu kārtas tika novietotas atpakaļ rakšanas vietā, lai būtu mazāks ietekmējums pēc paraugu iegūšanas. Tālāk paraugi tika nogādāti uz laboratoriju, lai veiktu paraugu mērījumus un tālāku paraugu pagatavošanu.

2.2. *Betula nana* morfometrisko parametru iegūšana.

Katram no *Betula nana* indivīdiem tika nomērīts izraktā auga garums. Auga virszemes daļa tika fiksēta attiecīgi beidzoties adventīvajām saknēm, bet akrotelma daļa tika mērīta zonā, kur atradās aktīvās adventīvās saknes. Katotelma daļa tika fiksēta pirms adventīvajām saknēm, auga daļās, kuras atradās visdziļāk purva nedzīvajā daļā, jeb katotelmā (2.2. attēls). Papildus tika fiksēts zaru augšanas vietas attiecībā pret rametas garumu. Maģistra darba ietvaros netika izmantoti šie parametri.

Betula nana indivīdiem katram tika vizuāli izvēlēts galvenais augšanas zars, jeb rameta, kas turpmāk tika izmantots paraugu gatavošanā. Pirms paraugu tālākas apstrādes tie tika mērcēti tvertnē ar ūdeni diennakti, lai neradītu liekus plīsumus tālākā paraugu apstrādē. Paraugi tika sagriezti gabalos ik pēc 10 cm. Katram 10 cm paraugam tika iedots unikāls atšķiršanas kods, kurā tika norādīti atradnes vietas iniciāļi, biotopa iniciāļi, izraktā indivīda kārtas numurs un griezumam kārtas numurs.

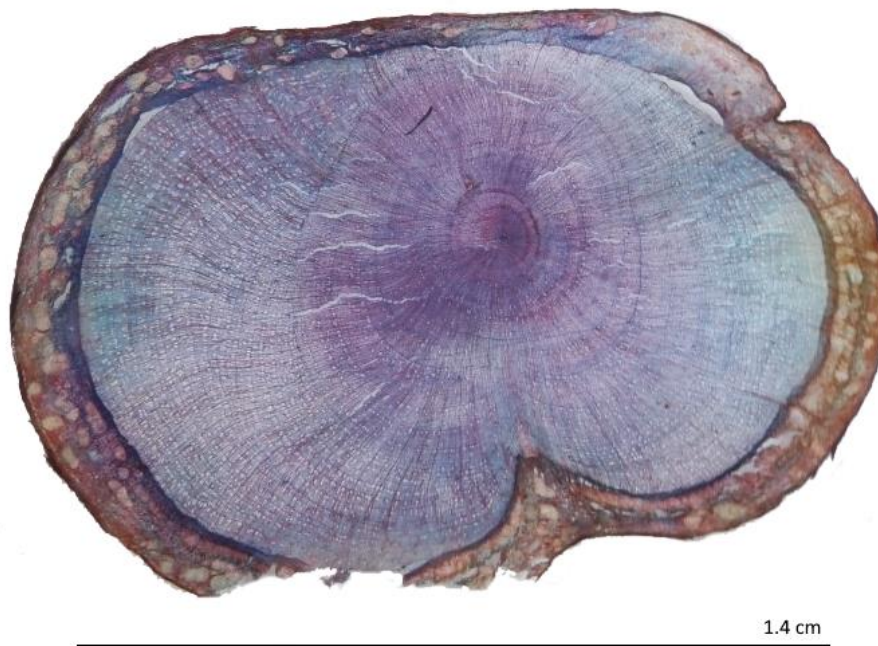


2.2. attēls. *Betula nana* Saklauru purvainā meža indivīds un vizuāli izvēlētais galvenais zars (M. Metāle 2021).

Figure 2.2. *Betula nana* individual from Saklauri bog woodland and the main branch that was visually detected (M. Metāle 2021).

2.3. *Betula nana* paraugu šķērsriezumi.

Sērijveida šķērsriezumi veikti ar slīdes tipa mikratomu "G.S.L.1". No parauga tika nogriezti vienu centimetru lieli gabali, kas pirms griešanas tika mērcēti karstā ūdenī vismaz 10 minūtes, tādējādi uzlabojot griezumu kvalitāti. Paraugs tika nofiksēts mikratomā un tika veikti vismaz 10 kontroles griezumi, lai tālākos griezumus varētu iegūt precīzus un tiem netrūktu griezuma daļas. Sērijveida griezumu biezums variēja no 20 līdz 30 μm . Izvēlās sešus labākos griezumus un novieto tos uz priekšmetstikla. Griezumi tika krāsoti ar astra zilā, safranīna, etiķskābes un ūdens šķīdumu. Krāsojot sīkrūmu griezumus, tiem labāk saskatāmas gadskārtas. Griezumi tika krāsoti aptuveni 30 sekundes ar krāsvielu, kam sekoja to skalošana ar spirtu līdz no paraugiem vairs neskalojās ārā krāsa. Šķērsriezumiem virsū uzpilda pāris pilienus glicerīnu un liek virsū segstiklu (2.3. attēls). Šāda paraugu krāsošana un pagatavošana ir viena no standart metodēm, kas tiek izmantota sīkrūmu pētījumos (Gärtner, Schweingruber 2013; Myers-Smith et al. 2015).



2.3. attēls. *Betula nana* šķērs griezumus ar lielāko diametru un 71 gadskārtu no Saklauru augstā purva (foto M. Metāle).

Figure 2.3. *Betula nana* crosssection with the largest diameter and with 71 tree rings from Saklauri raised bog (photo M. Metāle).

2.5. *Betula nana* griezumumu gadskārtu mērīšana un šķērsdatēšana

Maģistra darba ietvaros tika sagriezti 504 šķērs griezumumi. No bakalaura tika izmantoti dati par 137 griezumumiem no Teiču atradnes, kuriem jau bija veikta gadskārtu mērīšana. Kopumā gan maģistra darbā, gan bakalaura darbā tika izmērītas gadskārtas 641 šķērs griezumumiem. Mērīšanai izmantots tika gadskārtu mērīšanas galds LINTAB5. Tajā iekļauts ir arī mikroskops Leica MS5, kā arī datorprogramma TSAP-Win Scientific (Rinn 2003). No sešiem fiksētajiem paraugiem ar binokulāru noteica labāko, kuram tālāk tika veikta gadskārtu mērīšana no mizas uz serdi ar 0,01 mm precizitāti. Griezumā tika atrasta vieta, kurā bija visvairāk precīzi saskatāmas gadskārtas un, lai diametrs būtu pietiekami liels attiecībā uz visu griezumumu. *Betula nana* ir raksturīga ekscentriskā augšana, iztrūkstošas gadskārtas un ķīļveida gadskārtas, kā dēļ ir nepieciešams veikt iepriekšēju vizuālu izvērtēšanu, kur tiks veikta mērīšana gadskārtu platumiem (2.3. attēls) (Wilmking et al. 2012).

Iegūtajiem gadskārtu platumu mērījumiem veica vizuālo šķērsdatēšanu jeb mērījumu kvalitātes kontrole, kas katram biotopam tika veikta atsevišķi. Šķērsdatēšana tiek uzskatīta par dendrohronoloģijas standart metodi, jo tiek salīdzināti gadskārtu platumi un to variēšana. Tos

iespējams salīdzināt starp dažādām sīkkrūmu gadskārtu sērijām, kas palīdz atrast viltus vai iztrūkstošas gadskārtas. Šādi iespējams nodatēt augšanu kokaugiem, balstoties uz iepriekš esošu vai izveidotu references hronoloģiju (Kaennel, Schweingruber 1995). *Betula nana* gadskārtu šķērsdatēšana ir sarežģīta, tāpēc nevar izmantot speciālas dendrohronoloģijai paredzētas šķērsdatēšanas programmas, kas automātiski veiktu šķērsdatēšanu. *Betula nana* raksturīgas īsas šķērsriezumu hronoloģijas, kas tika šķērsdatētas, izmantojot grafisko šķērsdatēšanu ar izteiktajiem zīmīgajiem gadiem (Myers-Smith et al. 2015 b). Mērīšana un šķērsdatēšana tika sākta ar indivīdu jaunākajām dzinumu daļām, jo bija zināmi ievākšanas gadi, kad paraugi tika ievākti. Teiču atradnē paraugi tika ievākti 2018. gadā, savukārt Saklauru, Beku, Pundurezera, Kinkauskus atradnēs paraugi tika ievākti 2020. gadā. Šie gadi tika pieņemti kā pēdējās gadskārta jaunākajās dzinum daļās. Katram biotopa šķērsdatētajiem datiem tika izveidotas atsevišķas gadskārtu hronoloģijas.

2.4. *Betula nana* datu analīze

2.4.1. *Betula nana* sērijveida intervālu izveidošana.

Datu analīzē izmantoti divi excel ielases datu faili. Vienā failā - vizuāli šķērsdatētās gadskārtas no katra biotopa, bet otrā failā norādīti šķērsriezumu unikālie kodi, indivīda biotopa numurs, griezuma posms (AU – augša vai AP – apakša; zemākajam griezumam tika veikts šķērsriezums pašā apakšā un pēc 10 centimetriem), augstums šķērsriezumam attiecīgi pret galveno dzinum. Datu analīze veikta programmā R (R Core Team 2021). Izveidota atsevišķa datu tabula ar bibliotēkas “plyr” funkcijas “*ddply*” palīdzību, lai atlasītu un apvienotu datus no abām ielases datu tabulām.

Lai noskaidrotu *Betula nana* kambija aktivitātes iezīmes, tika izveidoti attēli ar griezumu sēriju intervāliem. Griezumi tika secīgi izkārtoti atkarībā no griezumu secības attiecīgajam indivīdam. Griezuma sēriju intervāliem tika norādīti sākuma un beigu gadi. Lai attēlotu griezumu sērijveida intervālus tika izmantota bibliotēka “devtools” (Wickham et al. 2021).

2.4.2. *Betula nana* augšanas dinamikas aprēķināšana.

Betula nana augšanas dinamikas noskaidrošanai tika izmantota bibliotēka “IncrementR” (Kašpar et al. 2019). Augšanas dinamiku grafikiem tika izmantoti katra sērijveida griezumu vecumi, kas tika izkārtoti atbilstoši griezuma augstumam pret galveno zaru. Šādi attēli tika iegūti katram biotopam. Attēlos tika izveidota loģistiskā pieauguma līkne, izmantojot bibliotēku “growthmodels” (Perez 2013). Līknes precīzu parametru iegūšanai tika

izmantots nelineārais modelis ar “*nls*” funkciju, kas izmanto relatīvās nobīdes konverģences kritērijus. Tas salīdzina skaitliskās neprecizitātes esošajos parametros (Bates, Chambers 1992).

2.4.3. *Betula nana* gadskārtu hronoloģiju izveide.

Betula nana gadskārtu hronoloģiju izveidei izmantoja vizuāli šķērsdatēti gadskārtu platumi. Sākotnēji gadskārtu hronoloģija izveidoja katram indivīdam atsevišķi pa biotopiem. Lai izveidotu indivīdu hronoloģijas veica dubulto detrendēšanu. Detrendēšana ir gadskārtu sēriju trendu noņemšana, lai vecuma efekts un cikliska izmaiņu ietekme netiktu ņemta vērā (Kaennel, Schweingruber 1995). Dubultajai detrendēšanai sākotnēji izmantoja modificētu negatīvi eksponenciālo līkni “*ModExNeg*”. Nākamā sekoja detrendēšana, izmantojot izlīdzinošo teorētisko vērtību līkni “*Spline*”. Lai detrendētu gadskārtu platumus izmantoja bibliotēku “*dplR*” (Bunn 2008; Bunn 2010). Tika iegūti izveidoto indivīdu gadskārtu hronoloģiju statistiskie dati ar funkciju “*rwi.stats*” No šiem datiem aplūkots “*eps*” rādītājs, kas šajā gadījumā atspoguļo populācijas signāla stiprumu. To aprēķināja vidējam indivīdu skaitam (Buras 2017). Ar funkciju “*rwl.stats*” noskaidroja aprakstošo statistiku, kas atspoguļoja detrendēto gadskārtu platumus. No šiem datiem ieguva standartnovirzi un autokorelācijas koeficientus (Bunn et al. 2013). Turpmākajām datu analīzēm imnatoja atlikumu hronoloģijas, kas ir hronoloģijas, kurām noņemta autokorelācijas ietekme.

No izveidotajām indivīdu gadskārtu hronoloģijām tika iegūta katra biotopa kopēja indivīdu hronoloģija ar attēlotām indivīdu replikācijā. Biotopu hronoloģijām arī tika iegūti statistiskie rezultāti ar funkcijām “*rwi.stas*” un “*rwl.stats*” (Buras 2017; Bunn et al. 2013). Veikta biotopu hronoloģiju savstarpējā Spiermena korelācijas analīze, izmantojot “*rcore.test*” funkciju no bibliotēkas “*lrm*” (Rizopoulos 2006).

2.4.4. *Biotopu hronoloģijas salīdzinājums ar klimata datiem.*

Biotopu hronoloģijas korelācijas noteikšanai ar klimata datiem tika izmantota bibliotēka “*treeclim*” (Zhang, Bondi 2015). Klimata dati tika ņemti no Climate Research Unit TS 4.06 datiem (Harris et al. 2020). Aprēķiniem izmantoja klimata datus no 0,5 * 0,5 grādu režģa kvadrāta, kurā iekļāvās katrs konkrētais biotops. Klimata datiem tika atlasīti šādi parametri – vidējā gaisa temperatūra, gaisa temperatūras starpība, nokrišņu daudzums, iztvaikošanas indekss PET, sausuma indekss SPEI. Katrai no paraugu ievākšanas teritorijām tika izmantoti to individuālie klimatiskie dati.

Izmantota bibliotēka “*treeclim*” un tās funkcija “*dcc*”, lai pārbaudītu kuri no klimata rādītājiem uzrāda statistiski būtisku korelāciju ar biotopu hronoloģijām (Zhang, Bondi 2015).

Funkcija “*dcc*” aprēķina atbildes reakciju un korelāciju būtiskumu starp gadskārtu hronoloģijām un ikmēneša klimata datiem. Korelācijas koeficientu būtiskumu novērtēja ar būsrapa metodes palīdzību. Papildus veikta slīdošo laika periodu korelācijas analīze ar gadskārtu hronoloģijām un klimata datiem, izmantojot 40 gadu periodus. Pundurezera atradnei izmantoja 20 gadu periodu intervālus, bet Kinkauskiem izmantots 30 gadu periodu lieli intervāli, jo šo biotopu ievāktajiem *Betula nana* bija vismazākais vecums. Iegūtie dati atspoguļoti attēlu grafikos (pielikumi 1. – 24.).

3. REZULTĀTI

3.1. *Betula nana* gadskārtu un atlikumu hronoloģiju analīze

Lai noskaidrotu *Betula nana* augšanas norisi, maģistra darba ietvaros kopumā sagriezti 45 *Betula nana* indivīdi no piecām atradnēm, iegūstot 504 sērijveida stumbra šķērs griezumus. Veiktajam pētījumam izmantoja arī stumbra šķērs griezumu datus no Teiču atradnes, kas iegūti bakalaura darba izstrādes laikā – no 10 indivīdiem iegūtie 137 sērijveida stumbra šķērs griezumi. Kopumā maģistra darbā rezultāti iegūti no 641 stumbra šķērs griezuma.

Pēc gadskārtu skaitīšanas, mērīšanas un šķērsdatēšanas, noskaidrots, ka vecākais *Betula nana* ievākts Teiču augstajā purvā (datējams ar 1918. gadu), bet otrs vecākais – Saklauru augstajā purvā (datējams ar 1921. gadu). Jaunākais *Betula nana* indivīds bija ievākts Pundurezera pārejas purvā ar *Eriophorum vaginatum* (datējams ar 1988. gadu) (3.1. tabula).

Betula nana vidējais gadskārtu platumš ir tikai 0,14 mm. Vismazākais vidējais gadskārtu platumš bija raksturīgs Beku augstajā purvā ar *Phragmites australis* (0,09 mm), bet visplatākās gadskārtas – Teiču augstajā purvā (0,24 mm) (3.1. tabula). Šaurās gadskārtas, ķīļveida gadskārtas, spiedes koksne, viltus un iztrūkstošās gadskārtas bija viens no lielākajiem izaicinājumiem gadskārtu platumš mērīšanā. Šie uzskaitītie iemesli ietekmēja arī ieguldīto laiku gadskārtu mērījumu kvalitātes kontrolē jeb šķērsdatēšanā.

Veiktajā pētījumā visām teritorijām un biotopiem, pēc šķērsdatēšanas un veicot dubulto detrendēšanu, bija izveidotas atlikuma hronoloģijas (3.1.-3.9. attēls). Visās teritorijās hronoloģijas veidotas no visiem *Betula nana* indivīdiem, bet ar dažādu sērijveida griezumu skaitu, kas bija atkarīgs no katra indivīda galvenā zara garuma. Visgarākā *Betula nana* hronoloģija izveidota Teiču augstajam purvam (3.1. tabula, 3.7. attēls), bet visīsākā - Pundurezera pārejas purvs ar *Eriophorum vaginatum* (3.1. tabula, 3.6. attēls).

Viens no svarīgākajiem hronoloģijas rādītājiem ir EPS (*expressed population signal*), kas gandrīz visām hronoloģijām, izņemot Kinkauskus purvainajam mežam, pārsniedz literatūrā noteikto $\geq 0,85$. Saklauru augstā purva, Pundurezera abu biotopu un Teiču augstā purva hronoloģiju EPS vērtības nerasniedz $\geq 0,85$, bet ir tuvu šai vērtībai (3.1. tabula).

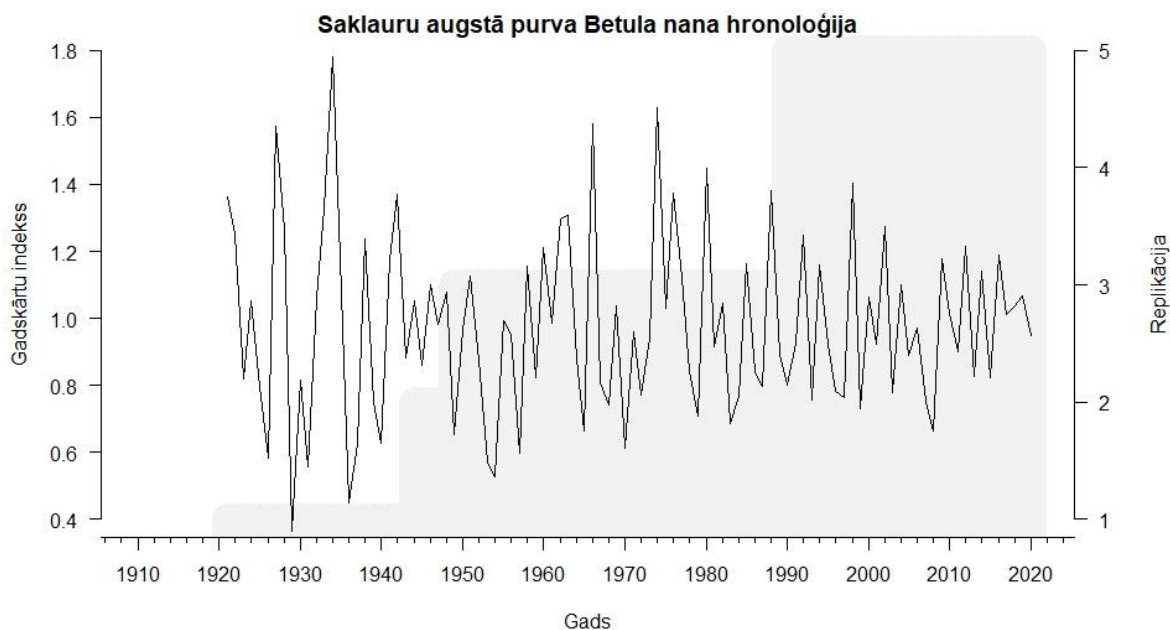
Lai salīdzinātu visu atlikumu hronoloģiju savstarpējo līdzību bija veikta Spiermena korelācija un noteikts, ka starp hronoloģijām nepastāv statistiski būtiska saistība, izņemot Beku augsto purvu un Pundurezera augsto purvu. Lai arī starp atlikumu hronoloģijām nepastāv statistiski būtiska korelācija, tomēr novērojami gadi, kuros *Betula nana* augšana ir bijusi līdzīga

arī starp dažādu teritoriju biotopiem. Tā, piemēram, izteikti šauras gadskārtas ir veidojušās 2007. gadā *Betula nana* Saklauru purvainajā mežā un Pundurezera abos pētītajos bitotopos (3.2., 3.5. un 3.6. attēls). Savukārt izteikti plata gadskārta ir veidojusies 2015. gadā *Betula nana* Saklauru purvainajā mežā, Beku augstajā purvā ar *Phragmites australis*, Pundurezera pārejas purvā ar *Eriophorum vaginatum* un Kinkausku purvainajā mežā (3.2., 3.4., 3.6. un 3.9 attēls).

3.1. tabula
Betula nana gadskārtu un atlikuma hronoloģiju raksturojums.
 Table 3.1.

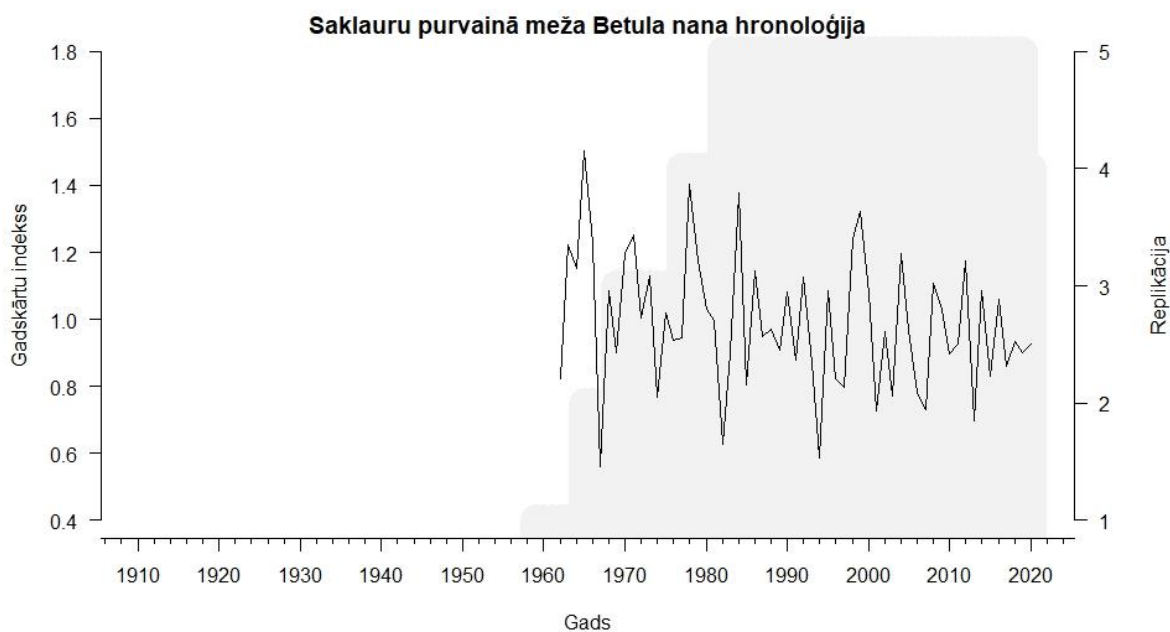
Characteristics of *Betula nana* annual rings and residual chronologies.

Pētāmā teritorija Study site	Hronoloģija Chronology					
	Vidējais gadskārtas platums (mm/gadā) Mean ring width (mm/year)	Griezumu skaits Number of series section	Laika periods Time span	Vidējā vērtība Mean value	Standart- novirze Standard deviation	EPS
Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	0,14	73	1921-2020	0,98	0,27	0,80
Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	0,13	91	1959-2020	0,99	0,20	0,85
Beku augstais purvs Beku raised bog	0,12	84	1973-2020	0,98	0,19	0,97
Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>	0,09	61	1965-2020	0,98	0,22	0,88
Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	0,08	70	1958-2020	1,0	0,16	0,81
Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum vaginatum</i>	0,17	71	1988-2020	0,97	0,20	0,80
Teiču augstais purvs Teiči raised bog	0,24	74	1918-2018	0,98	0,22	0,83
Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland	0,20	63	1955-2018	0,97	0,21	0,90
Kinkausku purvainais mežs Kinkauski bog woodland	0,10	54	1980-2021	0,98	0,26	0,56



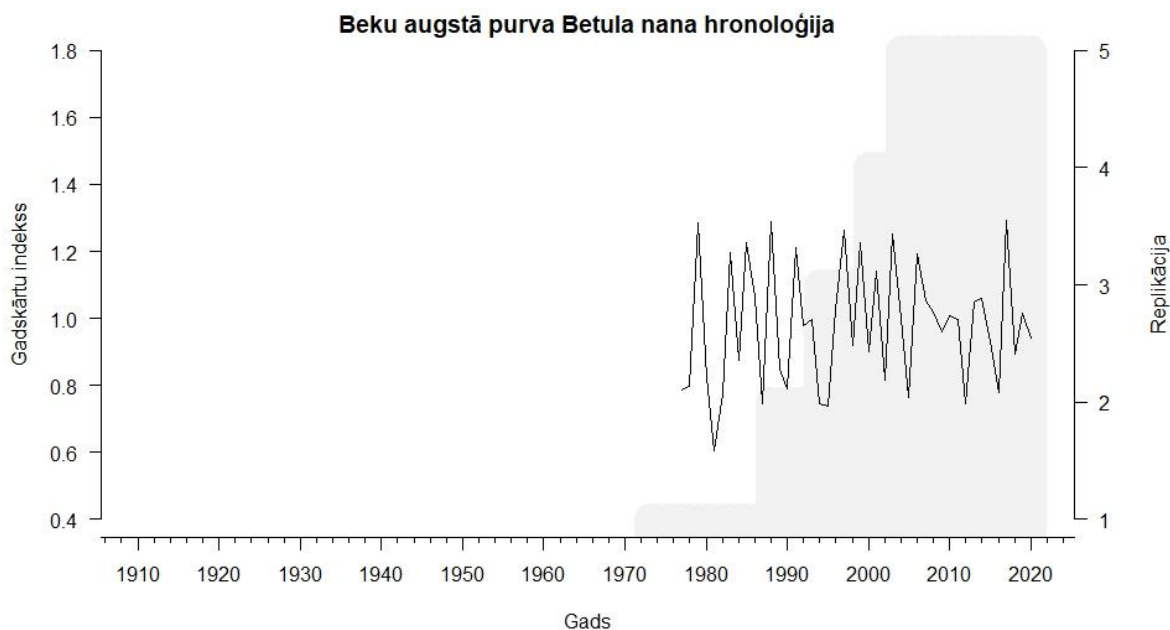
3.1. attēls. Saklauru augstā purva *Betula nana* ievākto indivīdu kopējā gadskārtu hronoloģija ar indivīdu replikāciju skaitu.

Figure 3.1. *Betula nana* hronology from Saklauru raised bog with replications of collected individuals.



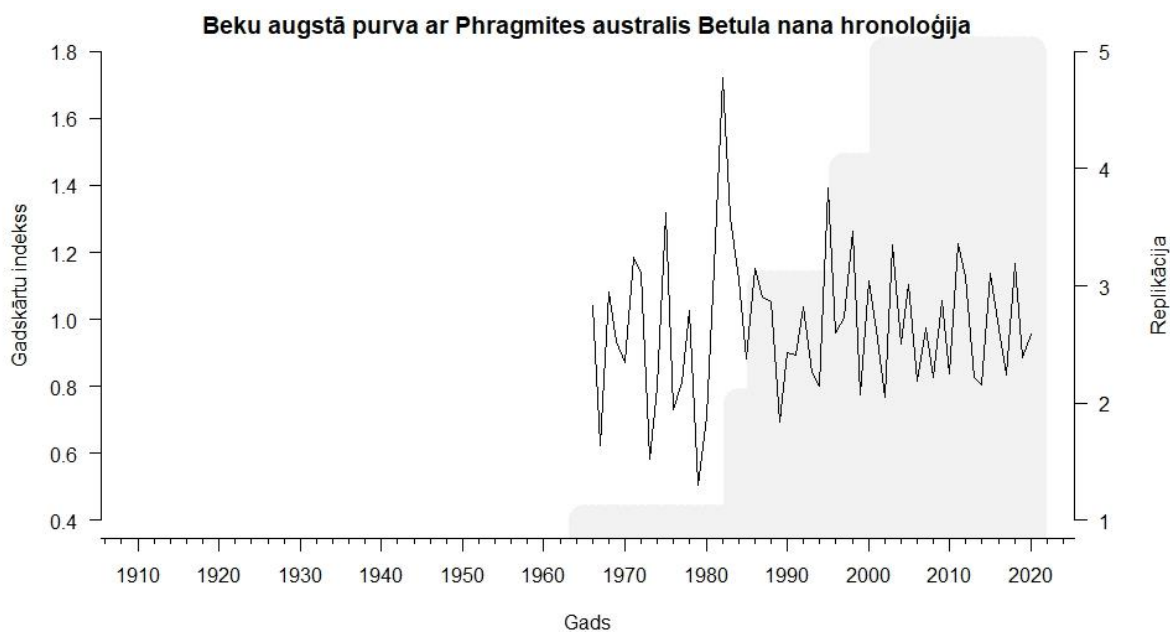
3.2. attēls. Saklauru purvainā meža *Betula nana* ievākto indivīdu kopējā gadskārtu hronoloģija ar indivīdu replikāciju skaitu.

Figure 3.2. *Betula nana* hronology from Saklauru bog woodland with replications of collected individuals.



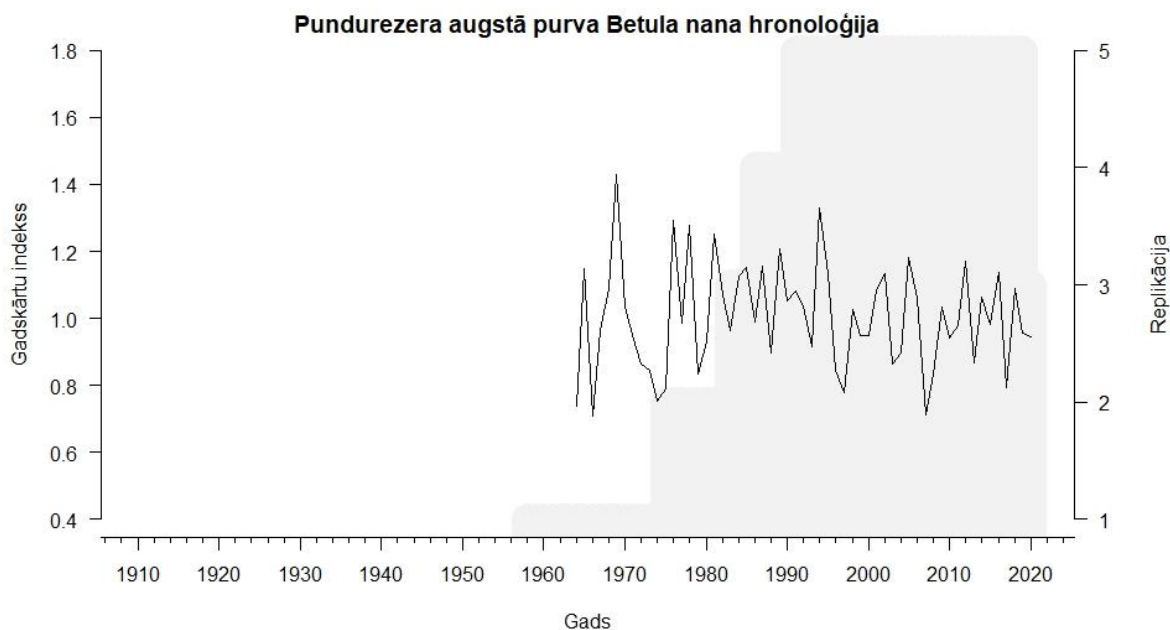
3.3 attēls. Beku augstā purva *Betula nana* ievākto indivīdu kopējā gadskārtu hronoloģija ar griezumu replikāciju skaitu.

Figure 3.3. *Betula nana* hronology from Beku raised bog with replications of collected individuals.



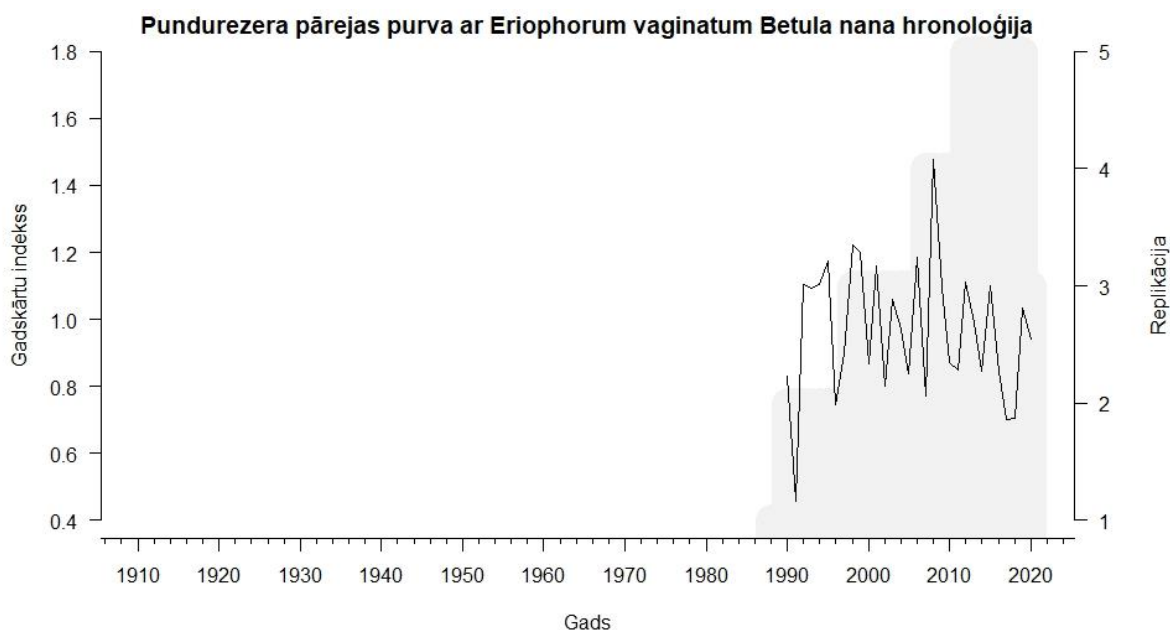
3.4. attēls. Beku augstā purva ar *Phragmites australis* *Betula nana* ievākto indivīdu kopējā gadskārtu hronoloģija ar griezumu replikāciju skaitu.

Figure 3.4. *Betula nana* hronology from Beku raised bog with *Phragmites australis* with replications of collected individuals.



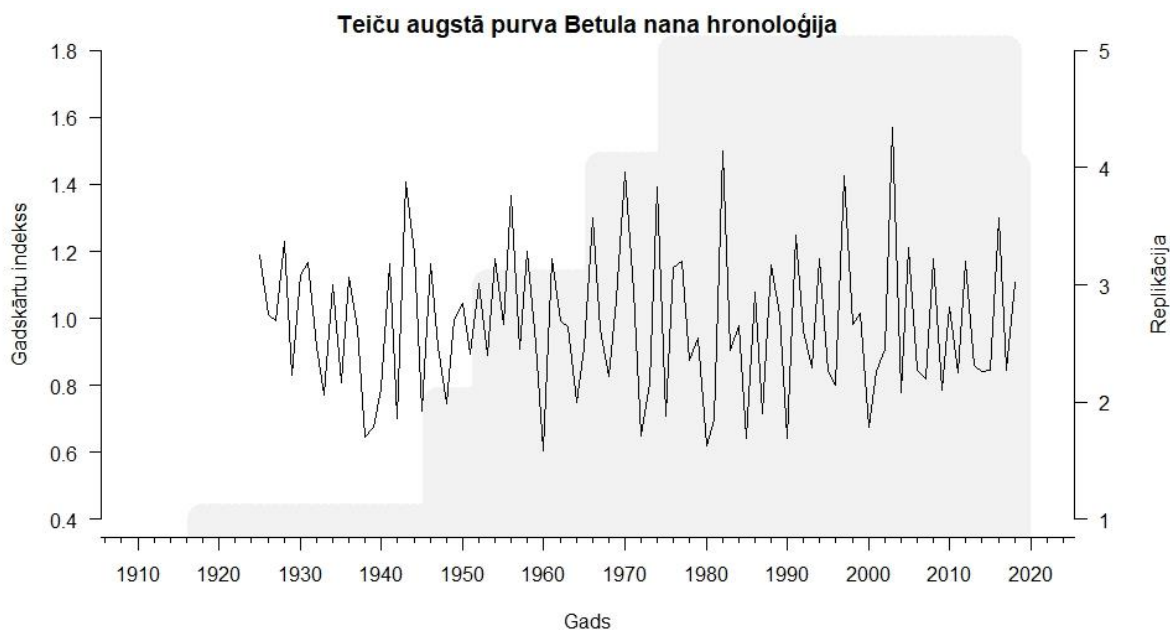
3.5. attēls. Pundrezera augstā purva *Betula nana* ievāktu indivīdu kopējā gadskārtu hronoloģija un griezumumu replikāciju skaits.

Figure 3.5. *Betula nana* hronology from Pundrezera raised bog with replications of collected individuals.



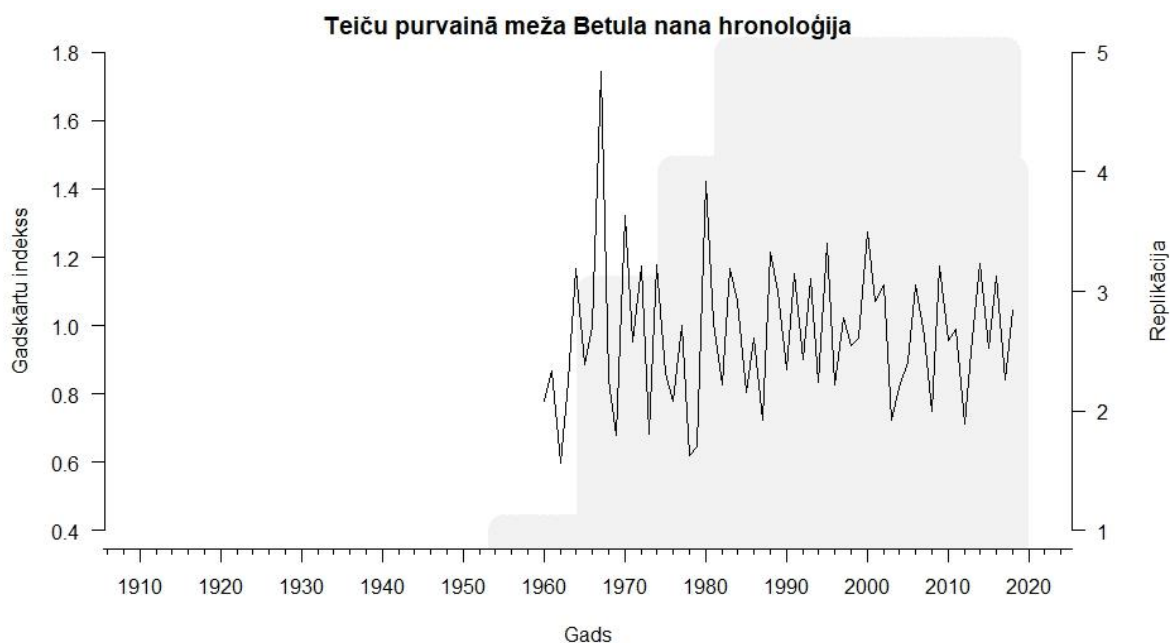
3.6 attēls. Pundrezera pārejas purva ar *Eriophorum vaginatum* *Betula nana* ievāktu indivīdu kopējā gadskārtu hronoloģija un griezumumu replikāciju skaits.

Figure 3.6. *Betula nana* hronology from Pundrezera transitional mire with *Eriophorum vaginatum* with replications of collected individuals.



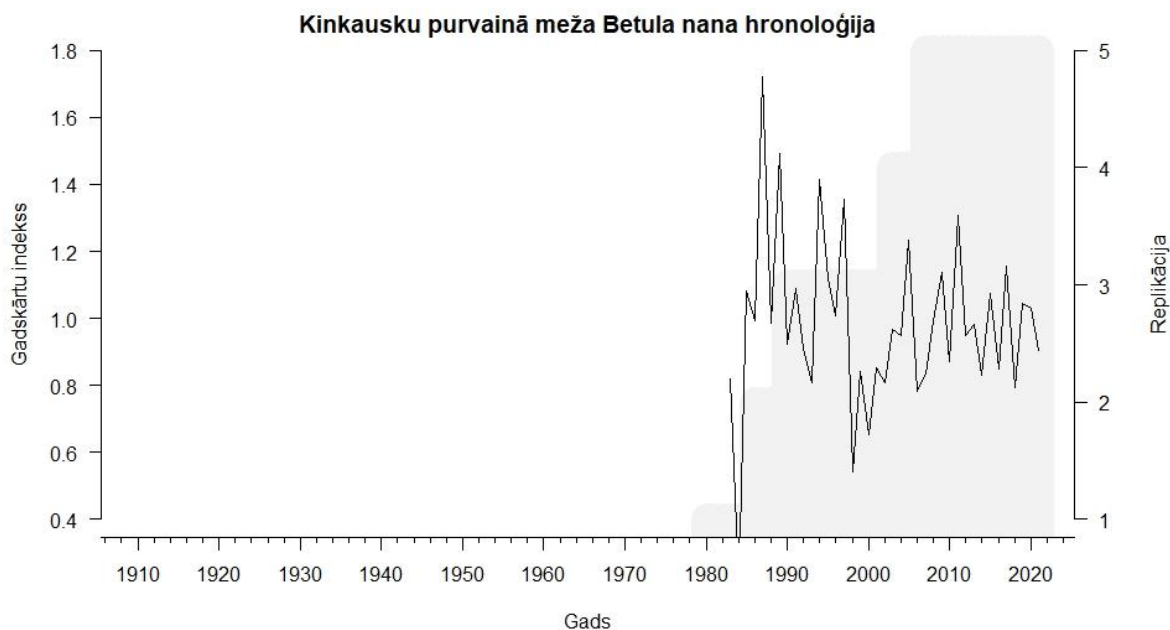
3.8. attēls. Teiču augstā purva *Betula nana* ievākto indivīdu vidējā gadskārtu hronoloģija ar griezumu replikāciju skaitu.

Figure 3.8. *Betula nana* hronology from Teiču raised bog with replications of collected individuals.



3.8. attēls. Teiču purvainā meža *Betula nana* ievākto indivīdu vidējā gadskārtu hronoloģija ar griezumu replikāciju skaitu.

Figure 3.8. *Betula nana* hronology from Teiču bog woodland with replications of collected individuals.

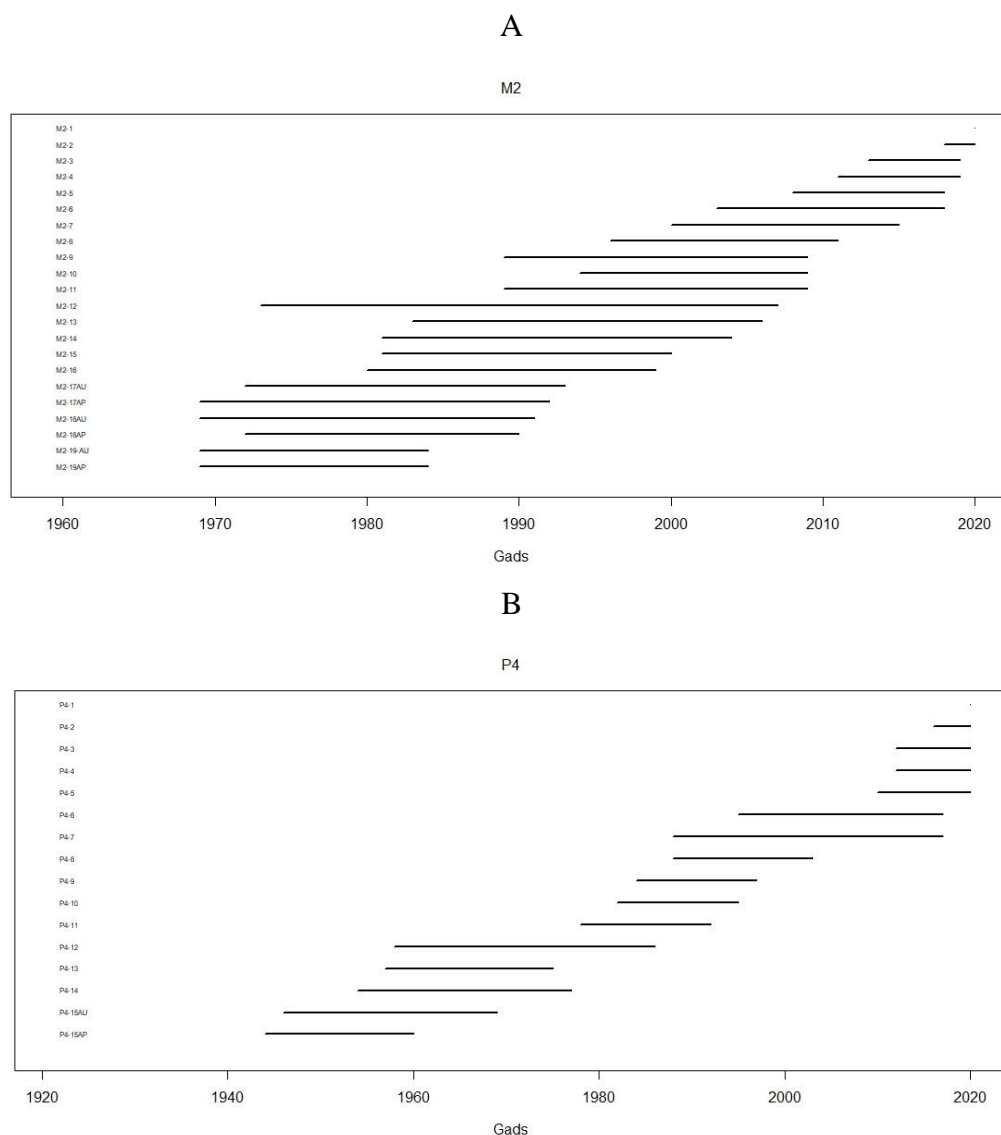


3.9. attēls. Kinkaasku purvainā meža *Betula nana* ievāktu indivīdu vidējā gadskārtu hronoloģija ar griezumu replikāciju skaitu.

Figure 3.9. *Betula nana* hronology from Kinkaasku bog woodland with replications of collected individuals.

3.2. *Betula nana* galvenā zara augšanas norise

Sķērsdatētajiem augiem katram izveidots attēls, kurā redzama to sērijveida griezumu augšana, kas izkārtota attiecīgajā griezuma augstumā pret galveno zaru un norādot griezuma sākumu un beigu augšanas gadu. Grafiskajos attēlos redzams, ka šķērsriezumiem ir atšķirīgi beigu augšanas gadi, kas izskatās pēc “trepītes” (3.10. attēls). Rezultāti uzrāda, ka kambija aktivitāte visā zara garumā nav vienāda. Bija novērojams, ka dažiem indivīdu galvenajiem zariem bija lieli pārtraukumi starp datētajiem šķērsriezumiem. Attēlā 3.10. ir piemērs no Saklauru abiem biotopiem, kurā ir redzams katra sērijveida griezuma gadskārtu skaits un šķērsdatētais periods jeb “trepīte”. Attēla A daļā ir Saklaura purvainā meža “trepīte”, kurā novērojams neloģisks datējums – sērijveida šķērsriezums uzrāda, ka gadskārtas veidojās agrāk par iepriekšējā griezuma gadskārtām. Šādas situācijas bija vērojamas ne bieži, bet arī citos *Betula nana* galvenajos zaros pētītajās teritorijās.

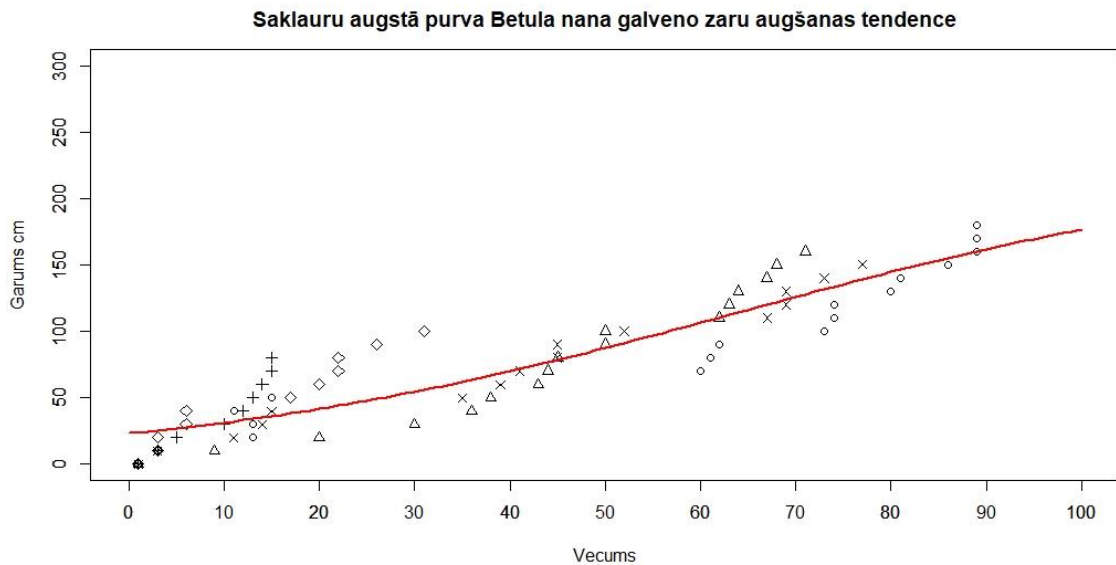


3.10. attēls. Saklauru atradnes ievākto galveno zaru griezumu datētie augšanas periodu piemēri: A – purvainais mežs, B – augstais purvs.

Figure 3.10. Main branch serial cuts with dated growth periods from Saklauri site: A – bog woodland, B – raised bog.

Balstoties uz šķērsdatēšanas rezultātiem un iegūto informāciju par kambija aktivitāti visā zara garumā, izveidoti *Betula nana* ievākto indivīdu galveno zaru augšanas dinamiku grafiki, norādot sērijveida šķērsriezumu garumu attiecībā pret galvenā zara garumu centimetros un augu vecumu gados (3.11.–3.19. attēls). Attēlos un tabulā (3.2. tabula) ir redzams, ka augšanas dinamika ir atšķirīga starp teritorijām un biotopiem.

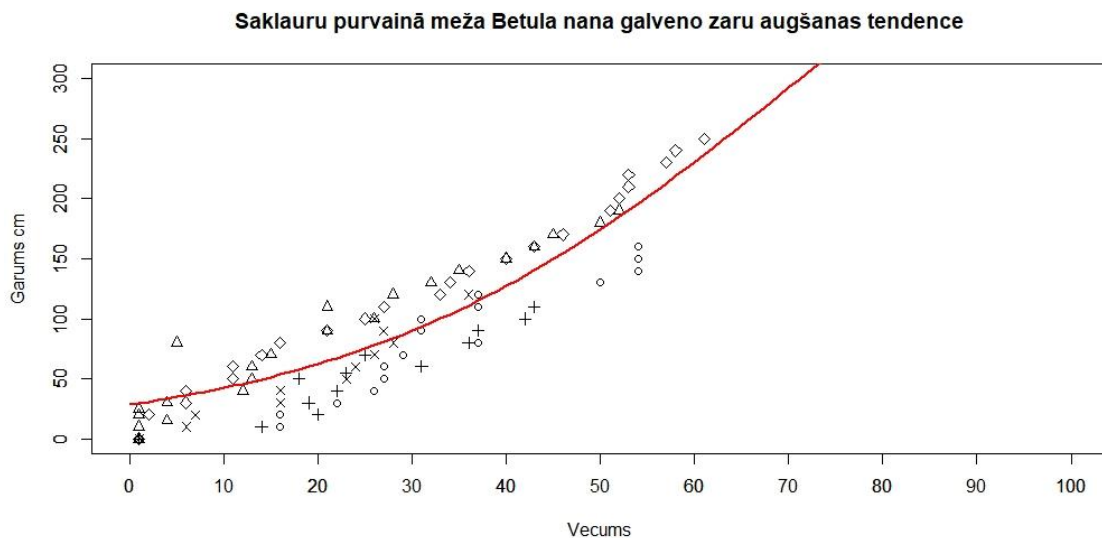
Saklauru augstā purva *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamiku grafikā redzams, ka 50 cm garumu indivīdi sasniedz vidēji 20 gadus, 100 cm garumu sasniedz 50 gadus, savukārt 150 cm garumu 80 gadu laikā (3.11. attēls).



3.11. attēls. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika Saklauru augstajā purvā.

Figure 3.11. *Betula nana* main branch growth dynamics in Saklauri raised bog.

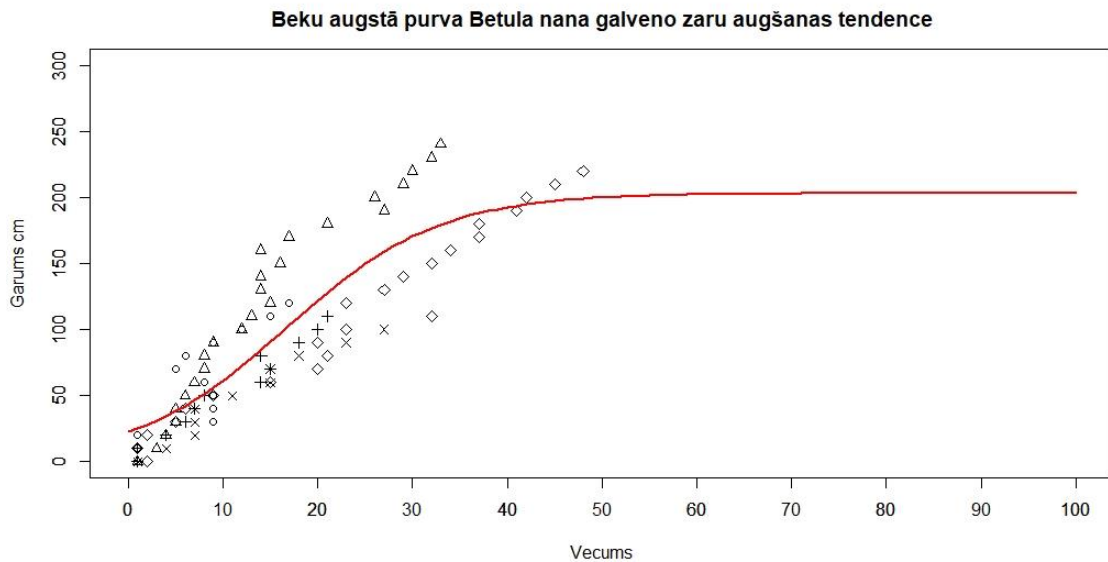
Saklauru purvainā meža *Betula nana* ievākto indivīdu galvenie zari bija garāki, salīdzinot ar augsto purvu un līdz ar to augšanas dinamikas grafiks uzrāda garāku datu rindu. Augu galvenie zari 50 cm garumu sasniedz vidēji 10–12 gadu laikā, 100 cm garumu sasniedz 30 gadu laikā, 150 cm garumu 40–43 gadu laikā, 200 cm garumu *Betula nana* sasniedz 55 gadu laikā, bet 250 cm augstumu 60 gadu laikā (3.12. attēls).



3.12. attēls. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika Saklauru purvainajā mežā.

Figure 3.12. *Betula nana* main branch growth dynamics in Saklauri bog woodland.

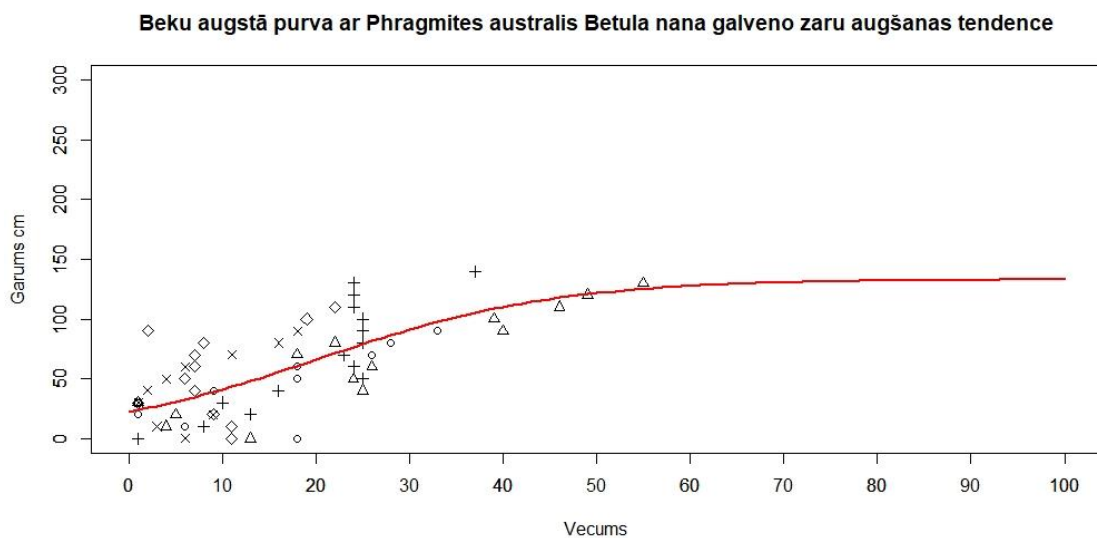
Beku augstā purva *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamikas grafikā 50 cm garumu *Betula nana* indivīdi sasniedz aptuveni 10 gadu laikā, 100 cm garumu 15 gadu laikā, 150 cm garumu *Betula nana* sasniedz 25 gadu laikā, bet 200 cm sasniedz 40 gadu laikā (3.13. attēls).



3.13. attēls. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika Beku augstajā purvā.

Figure 3.13. *Betula nana* main branch growth dynamics in Beku raised bog.

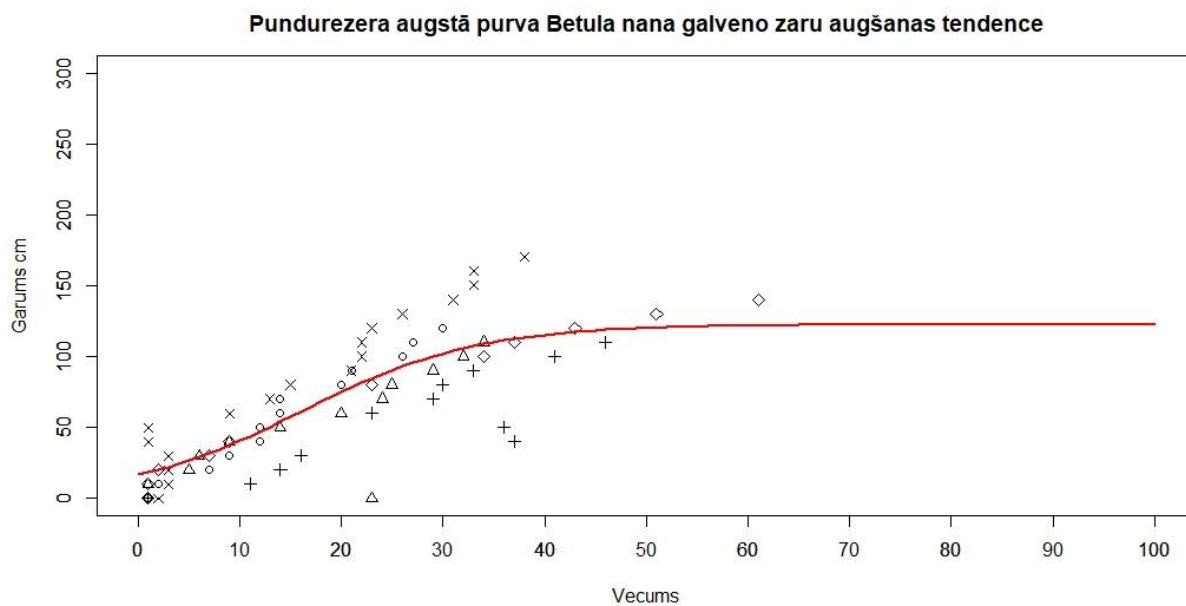
Beku augstā purva ar *Phragmites australis* *Betula nana* ievāktu indivīdu galvenie zari vidēji bija īsāki kā augstajā purvā. Augšanas dinamikas grafikā redzams, ka 50 cm garumu *Betula nana* sasniedz 10 gadu laikā, 100 cm garumu 30 gados (3.14. attēls).



3.14. attēls. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika Beku augstajā purvā ar *Phragmites australis*.

Figure 3.14. *Betula nana* main branch growth dynamics in Beku raised bog with *Phragmites australis*.

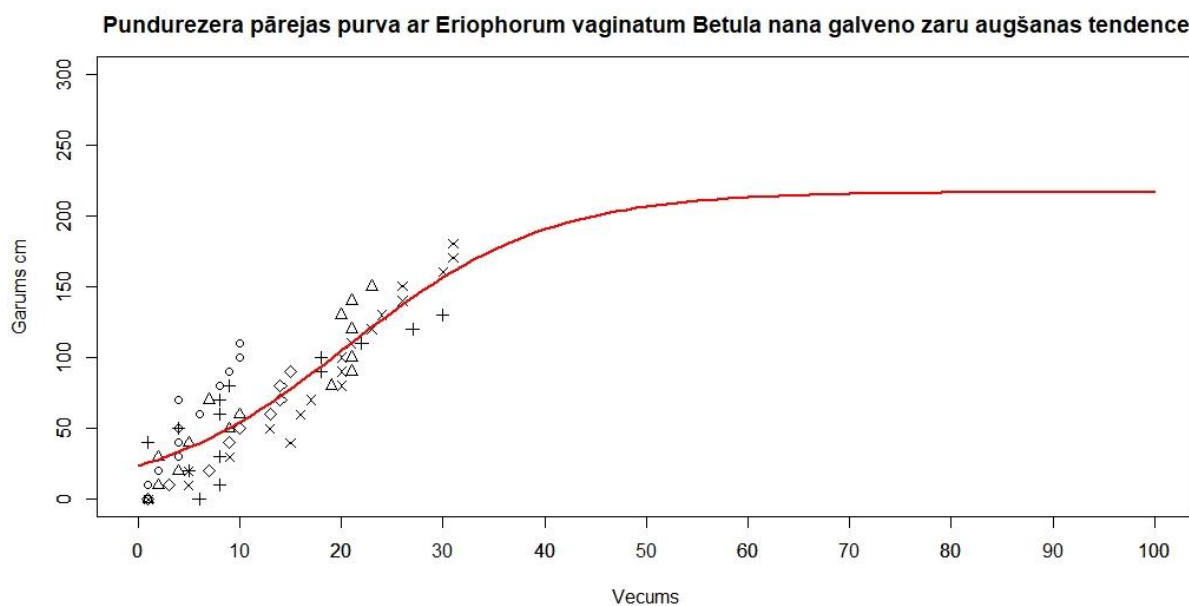
Pundrezera augstā purva *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamikas grafikā redzams, ka 50 cm garumu *Betula nana* sasniedz 12 gadu laikā, bet 100 cm sasniedz 25 gadu laikā (3.15. attēls).



3.15. attēls. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika Pundrezera augstajā purvā.

Figure 3.15. *Betula nana* main branch growth dynamics in Pundrezera raised bog.

Pundrezera pārejas purvā ar *Eriophorum vaginatum* galveno zaru augšanas dinamikas grafikā novērojams, ka *Betula nana* 50 cm garumu sasniedz vidēji 10 gadus, 100 cm garumu sasniedz 18 gadus, bet 150 cm sasniedz 28 gadus (3.16 attēls).

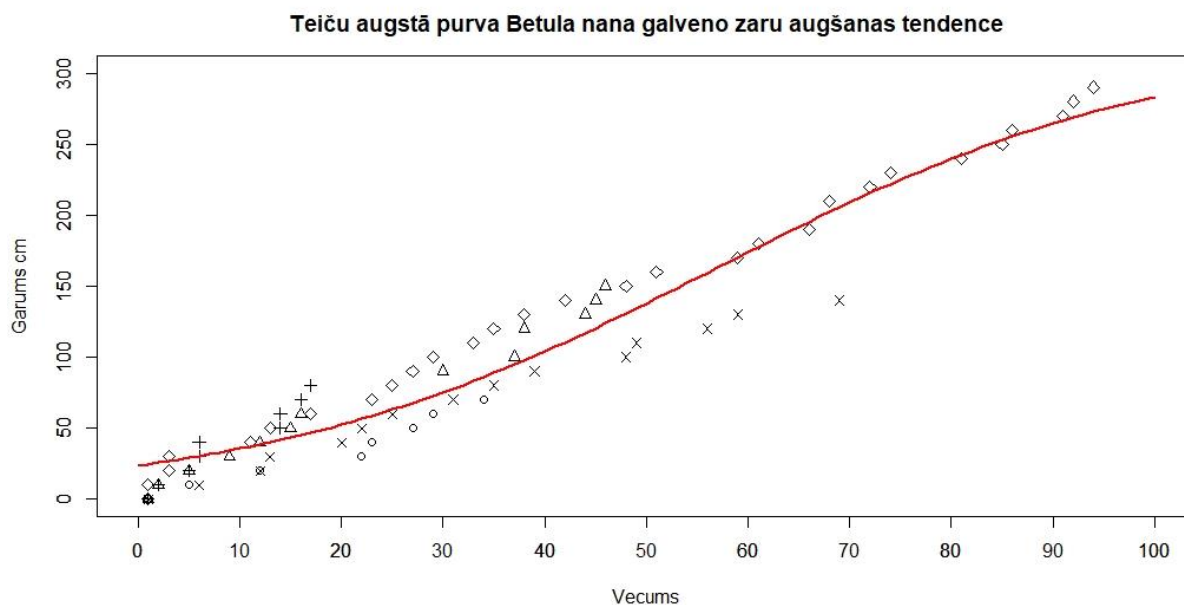


3.16. attēls. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika Pundrezera pārejas purvā ar *Eriophorum vaginatum*.

Figure 3.16. *Betula nana* main branch growth dynamics in Pundrezera transitional mire with *Eriophorum vaginatum*.

Teiču augstā purva atradnē *Betula nana* ievāktie augi bija ļoti gari un galveno zaru augšanas dinamikas grafikā novērojams, ka 50 cm garumu augi vidēji sasniedz 20 gadus, 100

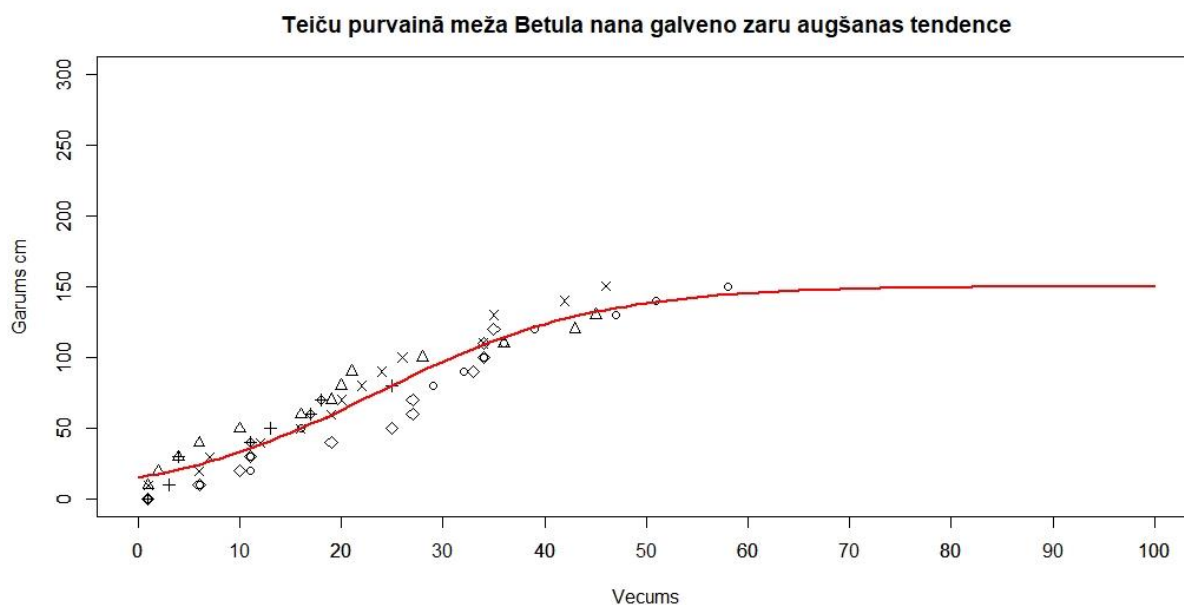
cm garumu izaug 40 gados, 150 cm garumu sasniedz 55 gadu laikā, 200 cm augstumu sasniedz 65 gadu laikā, bet 250 cm garumu sasniedz vairāk kā 80 gadu laikā (3.17. attēls).



3.17. attēls. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika Teiču augstajā purvā.

Figure 3.17. *Betula nana* main branch growth dynamics in Teiču raised bog.

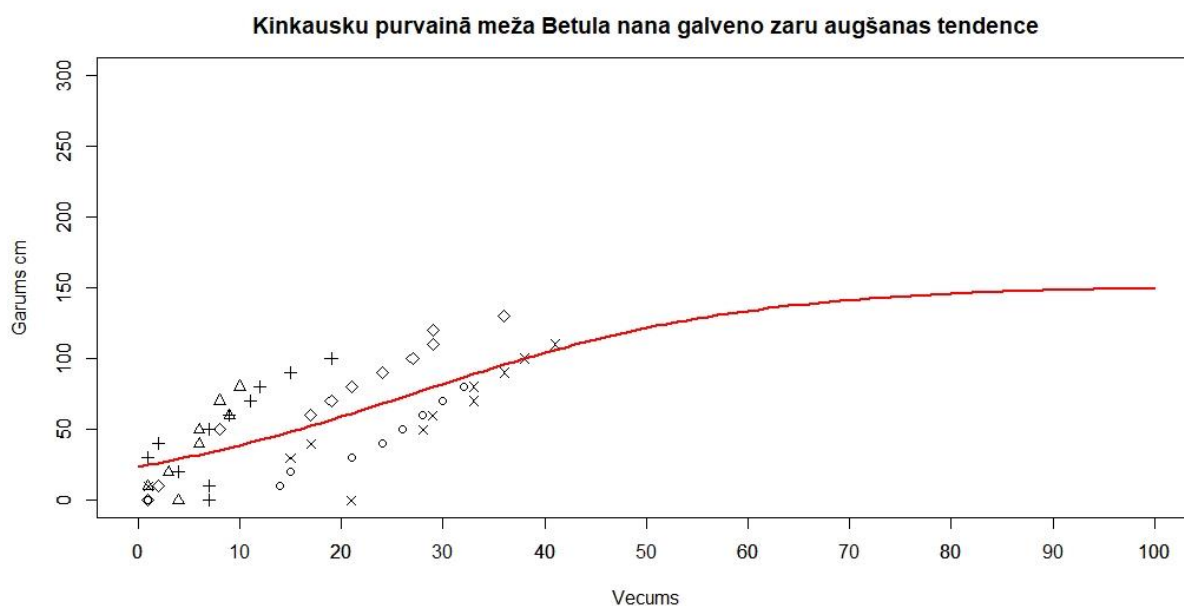
Teiču purvainā mežā ievākto indivīdu galvenie zari bija īsāki kā purvainajā mežā. To augšanas dinamikas grafikā redzams, ka 50 cm garumu *Betula nana* sasniedz 15 gadu laikā, bet 100 cm augstumu sasniedz vidēji 30 gados, 150 cm garumu *Betula nana* sasniedz 55 gadu laikā (3.18. attēls).



3.18. attēls. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika Teiču purvainajā mežā.

Figure 3.18. *Betula nana* main branch growth dynamics in Teiču bog woodland.

Kinkausku purvainā meža ievāktu indivīdu galveno zaru augšanas dinamikas grafikā redzams, ka pirmos 50 cm *Betula nana* aug 15 gadus, savukārt 100 cm sasniedz 38 gadus (3.19. attēls).



3.19. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika Kinkausku purvainajā mežā.

Figure 3.19. *Betula nana* main branch growth dynamics in Kinkausi bog woodland.

Apkopojot grafiku rezultātus tabulā, redzams, ka *Betula nana* indivīdu galvenā zara augšanas dinamika nav konstanta, tā ir mainīga pa periodiem (3.2. tabula). Nevar viennozīmīgi apgalvot, ka augam kļūstot garākam, tas aug ātrāk vai lēnāk. Novērojams, ka Saklauru purvainajā mežā un Teiču purvainajā mežā galvenie zari aug straujāk (vismaz pirmos 100 cm) salīdzinājumā ar indivīdiem no augstā purva. Vislēnāk pirmos 50 cm *Betula nana* zari aug Saklauru un Teiču augstajā purvā. Salīdzinoši vienmērīga augšana no 50 līdz 100 cm ir vērojama *Betula nana* indivīdiem Pundurezera augstajā purvā. Beku augstajā purvā ar *Phragmites australis* novērojama lēnāka augšanas tendence kā augstajā purvā. Pundurezera pārejas purvā ar *Eriophorum vaginatum* *Betula nana* uzrāda nedaudz ātrāku augšanas pieaugumu, salīdzinot ar augiem no Pundurezera augstā purva. *Betula nana* indivīdiem no Kinkausku purvainajā mežā ir novērojams ļoti lēns augšanas pieaugums galvenajiem zariem augot no 50 līdz 100 cm (3.2. tabula).

3.2. tabula

Betula nana ievākto indivīdu vidējā augšanas dinamika pa 50 centimetriem.

Table 3.2.

Betula nana collected individual average growth dynamics by 50 centimeters.

Pētāmā teritorija/Study site									
Auga garums Length of plant	Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>	Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum vaginatum</i>	Teiču augstais purvs Teiči raised bog	Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland	Kinkausku purvainais mežs Kinkauski bog woodland
Gadi									
0-50 cm	20	10	10	10	12	10	20	15	15
50-100 cm	30	20	5	20	13	8	20	15	38
100-150 cm	30	10	10			10	15	25	
150-200 cm		15	15				10		
200-250 cm		5					15		

3.3. Saistība starp klimatiskajiem faktoriem un *Betula nana* gadskārtu hronoloģijām

3.3.1. Hronoloģiju un vidējās gaisa temperatūras korelācijas

Analizējot korelācijas starp *Betula nana* atlikumu hronoloģijām un atbilstošās meteoroloģiskās stacijas vidējo gaisa temperatūru, noskaidrots, ka tikai Skalauru purvainā meža, Beku augstā purva, Pundrezera abu biotopu, Teiču purva un Kinkausku purvainā meža hronoloģijas uzrāda statistiski būtisku korelāciju ar vidējo gaisa temperatūru (3.3. tabula). Lielākoties tās ir korelācijas ar tikai vienu vidējās gaisa temperatūras mēnesi. Savstarpēji sakrīt, ka augusta mēneša vidējā gaisa temperatūra statistiski būtiski negatīvi ietekmē *Betula nana* gadskārtu veidošanos Saklauru purvainajā mežā un Pundrezera pārejas purvā ar *Eriophorum vaginatum* – jo augstāka vidējā gaisa temperatūra, jo šaurākas gadskārtas veidojas. Jūnija vidējās gaisa temperatūras ietekme ir pretēja uz *Betula nana* Pundrezera augstajā purvā un Teiču purvainajā mežā. Gaisa temperatūra negatīvu ietekmi atsāja uz Pundrezera augstā purva indivīdu gadskārtu veidošanos, bet pozitīvu ietekmi uz Teiču purvainā meža gadskārtu veidošanos. Kinkausku purvainā meža *Betula nana* hronoloģijai ir negatīva statistiski būtiska korelācija ar vairāku mēnešu vidējo gaisa temperatūru – aprīlī, maijā un iepriekšējā gada septembrī (3.3. tabula). Atšķirībā no citām teritorijām, Kinkausku purvainā meža hronoloģijai ir arī augstāki korelācijas koeficienti, norādot uz lielāku savstarpējo saistību ar vidējo gaisa temperatūru attiecīgajos mēnešos.

Analizējot hronoloģiju un vidējās gaisa temperatūras saistības, un to izmaiņas 40 gadu slīdošajos periodos, ir redzams, ka vidējās gaisa temperatūras ietekme uz gadskārtu platumu variēšanu ir periodiski mainīga (3.4. tabula, 1.–4. pielikums). Redzams, ka katrā teritorijā un biotopā, izņemot Saklauru un Beku atradnes, *Betula nana* gadskārtu veidošanos ietekmē vairāku mēnešu vidējās gaisa temperatūras. Novērojamas pat konkrētu mēnešu ietekmju periodu sakrītības (3.4. tabula). Iepriekšējā gada septembra vidējā gaisa temperatūra būtiski negatīvi ietekmē gadskārtu platumu *Betula nana* Pundrezera pārejas purvā ar *Eriophorum vaginatum*, Teiču augstajā purvā un Kinkausku purvainajā mežā. Taču laiks līdz kuram vērojama ietekme ir atšķirīgs. Iepriekšējā gada decembra vidējās gaisa temperatūras ietekme nav vienāda starp Teiču atradnes biotopiem. Kamēr iepriekšējā gada decembris nosak, ka Teiču augstajā purvā nākamajā sezonā varētu veidoties platas gadskārtas, tikmēr Teiču purvainajā mežā ietekme ir pretēja. Tāpat arī jūnijs negatīvi ietekmē gadskārtu platumu *Betula nana* Pundrezera augstajā purvā. Savukārt *Betula nana* Teiču purvainajā mežā vidējā gaisa temperatūra jūnijā veicina *Betula nana* kambija aktivitāti – veidojas platas gadskārtas (3.4. tabula).

Statistiski būtiskas korelācijas (Pīrsona korelācijas koeficients pie $\alpha=0,05$) starp *Betula nana* hronoloģijām un vidējo gaisa temperatūru.

Table 3.3.

Cases of statistically significant correlations (Pearson correlation coefficient at $\alpha=0,05$) between chronologies of *Betula nana* and mean air temperature.

Pētāmā teritorija/Study site										
Klimatiskie faktori Climatic factors		Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>	Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum vaginatum</i>	Teiču augstais purvs Teiči raised bog	Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland	Kinkausku purvainais mežs Kinkauski bog woodland
Vidējā gaisa temperatūra (°C) Mean air temperature (°C)	IG Septembris PY September									-0,47
	Aprīlis April									-0,40
	Maijs May									-0,46
	Jūnijs June					-0,33			0,23	
	Jūlijs July									
	Augusts August		-0,30	0,31			-0,39			

IG – iepriekšējais gads

PY – previous year

Periodi, kad novērojamas statistiski būtiskas korelācijas starp *Betula nana* atlikumu hronoloģiju un vidējo gaisa temperatūru.

Table 3.4.

Periods when statistically significant correlations are observed between the *Betula nana* residual chronologies and mean air temperature.

Pētāmā teritorija/Study site										
Klimatiskie faktori Climatic factors		Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites</i> <i>australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites</i> <i>australis</i>	Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum</i> <i>vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum</i> <i>vaginatum</i>	Teiču augstais purvs Teiči raised bog	Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland	Kinkausku purvainais mežs Kinkauski bog woodland
Vidējā gaisa temperatūra (°C) Mean air temperature (°C)	IG Augusts PY August					1970-2020		1934-1973 1957-1996		
	IG Septembris PY September						1997-2017	1968-2007		1983-2012
	IG Decembris PY December							1964-2012	+ 1977-2020	
	Maijs May						1994-2020			1983-2020
	Jūnijs June					1964-2016			+ 1968-2020	

IG – iepriekšējais gads, + pozitīva korelācija

PY – previous year, + positive correlation

3.3.2. Hronoloģiju un vidējās gaisa temperatūras starpību korelācijas

Statistiski būtiskas korelācijas starp *Betula nana* hronoloģijām un vidējās gaisa temperatūras starpību ir vairāk, uzrādot arī visai augstu korelācijas koeficientu. Visai pārlicinoša ietekme ir iepriekšējā gada oktobrim, kad gandrīz pusei no hronoloģijām ir novērojama korelācija. Saklauru augstā purva, Pundrezera augstā purva un Teiču purvainā meža hronoloģijām ir pozitīva korelācija, savukārt tikai Beku augstā purva ar *Phragmites australis* hronoloģijai ir spēcīga negatīva korelācija. Iepriekšējā gada septembra gaisa temperatūras starpības korelācijās novērojama pretēja ietekme Pundrezera augstajā purvā ar *Phragmites australis* un Kinkausku purvainajā mežā. Pundrezera augstajā purvā ar *Phragmites australis* novērojama pozitīva ietekme, bet Kinkausku purvainajā mežā negatīva ietekme. Pārējās statistiski būtiskās korelācijas parāda dažādu mēnešu gaisa temperatūras starpību ietekmi uz dažādiem biotopiem (3.5. tabula).

Tāpat kā ar vidējo gaisa temperatūru, arī ar gaisa temperatūras starpības ietekmi vērojamas izmaiņas 40 gadu slīdošajos periodos un atkal ir vērojams, ka daudz vairākiem mēnešiem ir būtiska ietekme un ietekmes periodi sakrīt starp teritorijām (3.6. tabula, 5.–9. pielikums). Negatīva korelācija ir starp iepriekšējā gada jūniju un hronoloģijām no Saklauru augstā purva, Beku augstā purva ar *Phragmites australis* un Teiču augstā purva. Negatīva korelācija ir arī iepriekšējā gada septembrim ar hronoloģijām no Saklauru augstā purva, Pundrezera augstā purva un Kinkausku purvainā meža. Bet iepriekšējā gada septembra temperatūras starpība pozitīvi ietekmēja vieģi Pundrezera pārejas purvu ar *Eriophorum vaginatum*, kas ir pretrunā ar pārējo biotopu negatīvo ietekmi. Negatīva korelācija ir arī starp marta un aprīļa gaisa temperatūru starpībām un hronoloģijām no vairākām teritorijām. Pozitīva ietekme ir iepriekšējā gada novembra gaisa temperatūras starpībai uz *Betula nana* gadskārtu veidošanos Pundrezera augstajā purvā un Teiču atradnē.

Statistiski būtiskas korelācijas (Pīrsona korelācijas koeficients pie $\alpha=0,05$) starp *Betula nana* hronoloģijām un vidējās gaisa temperatūras starpību.

Table 3.5.

Cases of statistically significant correlations (Pearson correlation coefficient at $\alpha=0,05$) between chronologies of *Betula nana* and diurnal temperature range.

Pētāmā teritorija/Study site										
Klimatiskie faktori Climatic factors		Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>	Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum vaginatum</i>	Teiču augstais purvs Teiči raised bog	Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland	Kinkausku purvainais mežs Kinkauski bog woodland
Temperatūras starpība (°C) Diurnal temperature range DTR (°C)	IG Jūnijs PY June				-0,26					
	IG Septembris PY September						0,40			-0,41
	IG Oktobris PY October	0,23			-0,50	0,25			0,23	
	IG November PY November								0,26	
	Janvāris January						-0,33			
	Aprīlis April									-0,33
	Jūnijs June						-0,27			
	Augusts August			-0,22						
	Septembris September								0,28	

IG – iepriekšējais gads, PY – previous year

Periodi, kas skarīt starp teritorijām, kad novērojamas statistiski būtiskas korelācijas starp *Betula nana* atlikumu hronoloģiju un vidējo gaisa temperatūras starpību.

Table 3.6.

Common periods between study sites when statistically significant correlations are observed between the *Betula nana* residual chronologies and diurnal temperature range.

		Pētāmā teritorija/Study site								
Klimatiskie faktori Climatic factors		Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>	Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum vaginatum</i>	Teiču augstais purvs Teiči raised bog	Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland	Kinkausku purvainais mežs Kinkauski bog woodland
Temperatūras starpība (°C) Diurnal temperature range DTR (°C)	IG Jūnijs PY June	1962-2004			1979-2019			1934-1994		
	IG Jūlijs PY July									1983-2014
	IG Septembris PY September	1978-2020				1977-2020	+ 1996-2020			1983-2019
	IG Oktobris PY October	+ 1967- 2016			1966-2015				+ 1963- 2020	
	IG Novembris PY November					+ 1975-2020		+ 1925- 1981	+ 1968- 2017	
	Marts March	1981-2020	1969-2013				1993-2012	1957-2001		1988-2018
	Aprīlis April				1981-2020		1992-2015	1976-2016		1983-2015
	Jūnijs June				1977-2016	1964-2020				

IG – iepriekšējais gads, PY – previous year

3.3.3. Hronoloģiju un nokrišņu summas korelācijas

Analizējot nokrišņu summas ietemi uz *Betula nana* gadskārtu veidošanos, redzams, ka tikai daži mēneši ir statistiski būtiski. Tāpat kā ar gaisa temperatūru faktoriem, arī šajā gadījumā nav izdalāmi kādi kopīgi mēneši. Visvairāk statistiski būtiskas korelācijas ir starp nokrišņu summu un Teiču augstā purva hronoloģiju. Rezultāti uzrāda, ka liels nokrišņu daudzums iepriekšējā gada augustā un tekošā gada septembrī ietekmē šauru gadskārtu veidošanos *Betula nana* Teiču augstajā purvā (3.7. tabula).

Analizējot nokrišņu ietekmi un tās izmaiņas laikā, iegūtajos rezultātos redzams, ka daudz vairāki nokrišņu daudzums ir būtiski ietekmējis *Betula nana* gadskārtu veidošanos laika periodos (3.8. tabula, 10.–14. pielikums). Starp vairākām teritorijām nokrišņu summas ietekme uz *Betula nana* gadskārtu veidošanos ir vienāda aptuveni vienādos laika periodos, kā piemēram, liels nokrišņu daudzums iepriekšējā gada septembrī un iepriekšējā gada decembrī pozitīvi ietekmē platu gadskārtu veidošanos nākamajā veģetācijas sezonā. Izņēmumi ir Pundurezera pārejas purvā ar *Eriophorum vaginatum*, kur korelācija ar iepriekšējā gada septembra nokrišņu summu ir negatīva. Tas novērojams arī Beku augstajā purvā ar iepriekšējā gada negatīvu korelāciju decembrī. Starp teritorijām ir vērojams, ka viens un tas pats mēnesis, vienā un tajā pašā periodā var ietekmēt pretēji *Betula nana* augšanu.(3.8. tabula). Zīmīgi, ka tekošā gada janvāris un februāris pozitīvi ietekmē Saklauru purvainā meža biotopa gadskārtu platumu veidošanos.

Tāpat kā ar iepriekš apskatīto klimatisko faktoru rezultātiem (1.–9. pielikums), arī nokrišņu summai pa mēnešiem katrā teritorijā ir statistiski būtiski periodi, kas nesakrīt starp teritorijām un biotopiem, norādot uz lokālu ietekmi (10.–14. pielikums).

3.7. tabula

Statistiski būtiskas korelācijas (Pīrsona korelācijas koeficients pie $\alpha=0,05$) starp *Betula nana* hronoloģijām un nokrišņu summu.

Table 3.7.

Cases of statistically significant correlations (Pearson correlation coefficient at $\alpha=0,05$) between chronologies of *Betula nana* and precipitation sum.

		Pētāmā teritorija/Study site								
Klimatiskie faktori Climatic factors		Saklauri augstais purvs	Saklauri purvainais mežs	Beku augstais purvs	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i>	Pundurezera augstais purvs	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum vaginatum</i>	Teiču augstais purvs	Teiču purvainais mežs	Kinkausku purvainais mežs
		Saklauri raised bog	Saklauri bog woodland	Beku raised bog	Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>	Pundurezers raised bog	Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum vaginatum</i>	Teiči raised bog	Teiči bog woodland	Kinkauski bog woodland
Nokrišņu summa (mm) Precipitation sum (mm)	IG Augusts PY August							-0,25		
	IG Septembris PY September							0,17		
	IG Oktobris PY October	-0,21			0,39					
	IG Decembris PY December			-0,45	0,32					
	Maijs May		-0,26							
	Septembris September							-0,29		

IG – iepriekšējais gads, PY – previous year

3.8. tabula

Periodi, kas skarīt starp teritorijām, kad novērojamas statistiski būtiskas korelācijas starp *Betula nana* atlikumu hronoloģiju un nokrišņu summu.

Table 3.8.

Common periods between study sites when statistically significant correlations are observed between the *Betula nana* residual chronologies and precipitation sum.

Pētāmā teritorija/Study site									
Klimatiskie faktori Climatic factors	Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>	Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum vaginatum</i>	Teiču augstais purvs Teiči raised bog	Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland	Kinkausku purvainais mežs Kinkauski bog woodland
Nokrišņu summa (mm) Precipitation sum (mm)	IG Jūnijs PY June				+ 1966-2009			+ 1975- 2015	
	IG Jūlijs PY July					+ 1977-2016		+ 1940- 1979	
	IG Septembris PY September	+ 1981- 2020	+ 1971-2019			+ 1980-2020	1999-2020		
	IG Oktobris PY October				+ 1966-2015			1932-1981	1963-2018
	IG Decembris PY December			1977-2020	+ 1969-2020	+ 1964-2019			+ 1986-2016
	Janvāris January	1977- 2020	+ 1979-2020						
	Februāris February		+ 1979-2020		1981-2020			+ 1936- 1981	1985-2020
	Marts March								
	Aprīlis April						+ 1992-2015	+ 1975- 2020	
	Jūnijs June	+ 1977- 2017					+ 1970-2018		

IG – iepriekšējais gads, PY – previous year

3.3.4. Hronoloģiju un iztvaikošanas indeksa korelācijas

Iztvaikošanas indeksa un hronoloģiju korelācijas uzrāda lokālu ietekmi – rezultāti neuzrāda kopīgas tendences satrp teritorijām. Turklāt rezultātos ir redzams, ka korelācijas koeficienti ir zemi. Tikai Kinkausku purvainā meža hronoloģijai ir statistiski būtiska korelācija vairāk kā ar vienu no analīzē iekļautajiem mēnešiem. *Betula nana* gadskārtas Kinkausku purvainajā mežā veidojas šauras, ja ir bijis augsts iztvaikošanas indekss iepriekšējā gada septembrī, augšanas sezonas aprīlī un maijā (3.9. tabula).

Iztvaikošanas indeksa ietekme uz *Betula nana* gadskārtu platumu veidošanos ir vājāka 40 gadu slīdošajos periodos. Analīzē iekļautie iztvaikošanas indeksi pa mēnešiem uzrāda mazāk statistiski būtiski ietekmējošos periodus, kā arī šī faktora ieteme ir lokāla, jo vienā un tajā pašā ietekmes periodā vienam un tam pašam faktoram var būt pretēja ietekme uz *Betula nana* gadskārtu platumu veidošanos. Piemēram, ja iepriekšējā gada oktobrī ir bijis liels iztvaikošanas indekss laika periodā no 1968. gada līdz 2020. gadam, tad Pundurezera augstajā purvā un Teiču purvainajā mežā augošajiem *Betula nana* tas būtiski pozitīvi ir ietekmējis platu gadskārtu veidošanos, taču Teiču augstajā purvā šī atbildes reakcija uz augsto iztvaikošanas indeksu bija pretēja. Tāda pati pretēja reakcija ir redzama attiecībā uz iztvaikošanas indeksu jūnijā – jo lielāks ir bijis šis indekss, jo platākas gadskārtas veidojās *Betula nana* Saklauru purvainajā mežā laika periodā no 1962. gada līdz 2006. gadam. Līdzīgā laika periodā augsts iztvaikošanas indekss jūnijā ir negatīvi ietekmējis platu gadskārtu veidošanos *Betula nana* Beku augstajā purvā ar *Phragmites australis* un Pundurezera augstajā purvā (3.10. tabula, 15.–19. pielikums).

Statistiski būtiskas korelācijas (Pīrsona korelācijas koeficients pie $\alpha=0,05$) starp *Betula nana* hronoloģijām un iztvaikošanas indeksu.

Table 3.9.

Cases of statistically significant correlations (Pearson correlation coefficient at $\alpha=0,05$) between chronologies of *Betula nana* and potential evapotranspiration.

Pētāmā teritorija/Study site										
Klimatiskie faktori Climatic factors		Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites</i> <i>australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites</i> <i>australis</i>	Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum</i> <i>vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum</i> <i>vaginatum</i>	Teiču augstais purvs Teiči raised bog	Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland	Kinkausku purvainais mežs Kinkauski bog woodland
Iztvaikošanas indekss (mm/mēnesī) Potential evapotranspiration PET (mm/month)	IG Septembris PY September									-0,47
	IG Oktobris PY October					0,23				
	IG Novembris PY November						0,32			
	IG Decembris PY December		0,21							
	Februāris February			-0,28						
	Aprīlis April									-0,30
	Maijs May									-0,31
	Jūnijs June						-0,30			
	Augusts August		-0,24							
	Septembris September							0,27		

IG – iepriekšējais gads, PY – previous year

Periodi, kas skarīt starp teritorijām, kad novērojamas statistiski būtiskas korelācijas starp *Betula nana* atlikumu hronoloģiju un iztvaikošanas indeksu.

Table 3.10.

Common periods between study sites when statistically significant correlations are observed between the *Betula nana* residual chronologies and potential evapotranspiration.

		Pētāmā teritorija/Study site								
Klimatiskie faktori Climatic factors		Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>	Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum vaginatum</i>	Teiču augstais purvs Teiči raised bog	Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland	Kinkausku purvainais mežs Kinkauski bog woodland
Iztvaikošanas indekss (mm/mēnesī) Potential evapotranspiration PET (mm/month)	IG Jūnijs PY June					1970-2011			+ 1963- 2002	
	IG Septembris PY September					1977-2020				1983-2020
	IG Oktobris PY October					+ 1969-2020		1964-2020	+ 1968- 2020	
	Aprīlis April		+ 1979- 2020					1975-2016		1983-2014
	Jūnijs June		+ 1962- 2006		1967-2016	1964-2020				

IG – iepriekšējais gads, PY – previous year

3.3.5. Hronoloģiju un sausuma indeksa korelācijas

Korelācijas analīzes rezultāti uzrāda, ka atsevišķu mēnešu sausuma indeksam pārsvarā ir negatīva korelācija tikai ar četriem biotopiem (3.11. tabula). Negatīvu ietekmi uz gadskārtu platuma veidošanos atstāj iepriekšējā gada oktobra un novembra sausuma indekss Saklauru augstajā purvā. Iepriekšējā gada decembra sausuma indekss pozitīvi ietekmē Beku augstā purva ar *Phragmites australis* gadskārtu platuma veidošanos. Tekošā gada sausuma indeksa negatīva ietekme manāma gadskārtu platuma veidošanā Beku augstajā purvā janvārī, februārī un jūlijā.

Salīdzinot sausuma indeksa ietekmi uz gadskārtu platumu veidošanos pa gadu periodiem, redzams, ka visiem biotopu veidiem redzama būtiska korelācijas ietekme (3.12. tabula). Tabulā redzams, ka iepriekšējā gada sausuma indekss septembrī pozitīvi ietekmējis gadskārtu veidošanos Saklauru augstajā purvā, Pundurezera augstajā purvā un Kinkauskus purvainajā mežā, bet negatīvu iespaidu tas atstājis uz Pundurezera pārejas purvu ar *Eriophorum vaginatum*. Lielākoties katram biotopam ir novērota kādā no mēnešiem pozitīva sausuma indeksa ietekme uz gadskārtu platumu veidošanos. Vienīgie biotopi, kam uzrāda negatīvu ietekmi uz sausuma indeksu gadskārtu platumu veidošanā ir Beku augstais purvs un Teiču purvainais mežs. Beku augstajā purvā ar *Phragmites australis* novērojama tikai pozitīva saistība starp sausuma indeksu vērtībā iepriekšējā gada decembrī, tekošā gada janvārī, jūnijā un gadskārtu platuma veidošanos (3. 12. tabula, 20.–24. pielikums).

Statistiski būtiskas korelācijas (Pīrsona korelācijas koeficients pie $\alpha=0,05$) starp *Betula nana* hronoloģijām un sausuma indeksu.

Table 3.11.

Cases of statistically significant correlations (Pearson correlation coefficient at $\alpha=0,05$) between chronologies of *Betula nana* and standardised precipitation–evapotranspiration index.

Pētāmā teritorija/Study site					
Klimatiskie faktori Climatic factors		Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>
Sausuma indekss Standardised precipitation– evapotranspiration index SPEI	IG Oktobris PY October	-0,21			
	IG Novembris PY November	-0,21			
	IG Decembris PY December				0,40
	Janvāris January			-0,26	0,31
	Februāris February			-0,37	
	Jūnijs June		-0,29		
	Jūlijs July			-0,23	

IG – iepriekšējais gads, PY – previous year

Periodi, kas skarīt starp teritorijām, kad novērojamas statistiski būtiskas korelācijas starp *Betula nana* atlikumu hronoloģiju un iztvaikošanas indeksu.

Table 3.12.

Common periods between study sites when statistically significant correlations are observed between the *Betula nana* residual chronologies and potential evapotranspiration.

Klimatiskie faktori Climatic factors		Pētāmā teritorija/Study site							
		Saklauri augstais purvs Saklauri raised bog	Saklauri purvainais mežs Saklauri bog woodland	Beku augstais purvs Beku raised bog	Beku augstais purvs ar <i>Phragmites australis</i> Beku raised bog with <i>Phragmites australis</i>	Pundurezera augstais purvs Pundurezers raised bog	Pundurezera pārejas purvs ar <i>Eriophorum vaginatum</i> Pundurezers transition mire with <i>Eriophorum vaginatum</i>	Teiču augstais purvs Teiči raised bog	Teiču purvainais mežs Teiči bog woodland
Sausuma indekss Standardised precipitation- evapotranspiration index SPEI	IG Jūnijs PY June		+ 1967- 2012					+ 1946-1991	
	IG Jūlijs PY July							1926-2000	1961-2000
	IG Septembris PY September	+1980- 2020				+ 1980-2020	2001-2020		+ 1983-2013
	IG Decembris PY December				+ 1966-2018		1999-2020		
	Janvāris January			1978-2020	+ 1966-2020				
	Februāris February		+ 1974- 2020	1977-2020					
	Maijs May						+ 1993-2020	+1928-1967 + 1976-2017	
	Jūnijs June				+ 1966-2017			+ 1976-2017	

IG – iepriekšējais gads, PY – previous year

4.DISKUSIJA

4.1. *Betula nana* augšans apstākļu ietekme uz hronoloģiju

Vecākie *Betula nana* indivīdi datēti Tieču un Saklauru purvā. Abas indivīdu ievākšanas vietas iekļaujas aizsargājamajās dabas teritorijās, kas ir platību ziņā lielākās salīdzinājumā ar pārējām pētījumā iekļautajām teritorijām (Dabas aizsardzības pārvalde 2020; Pakalne, Kalniņa 2005). Iespējams, tā kā tās ir plāšas teritorijas, tad gan abiotisko, gan botisko, gan arī jo īpaši antropogēno faktoru ietekme uz šiem bitotopiem ir citādākā – mazāka – salīdzinājumā ar pārējām teritorijām, kas ir teritorijas platības ziņā mazākas un līdz ar to faktoru ietekme varētu būt lielāka.

Augstajā purvā augi ir piemērojušies dzīvei pārmitros un barības vielām nabadzīgos apstākļos (Mitsch et al. 2009). Vieni no limitējošajiem faktoriem purvu augu augšanā ir nātrijs un fosfors, savukārt kālija un kalcija trūkums purvos samazina to produktivitāti (Mitsch 2009), kā arī augstajos purvos akrotelma un jo īpaši katotelma slānī ir anaerobi apstākļi (Mitsch et al. 2009). Lai arī augiem purvos ir visai grūti augšanas apstākļi, tomēr literatūrā ir atrodama informācija, kā arī pētījuma rezultāti to arī uzrāda, ka purvos un to ezeru malās daudzas sīkkrūmu sugas ir ilgmūžīgas (Wilmking et al. 2012; Ejankowski 2008). Purvos augošiem sīkkrūmiem ir raksturīgs mazs gadskārtu ikgadējais pieaugums (Kaenel, Schweingruber 1995; Beck 2010). Par to liecina arī tur augošo *Betula nana* gadskārtu vidējais platums, kas Latvijā vidēji ir 0,14 mm.

Betula nana atradņu biotopu hronoloģijā lielākoties bija novērojams pietiekams vai gandrīz pietiekams EPS (*expressed population signal*) (Bunn 2008). Tas liecina, ka ievāktu indivīdu skaits pietiekami labi atspoguļo un reprezentē konkrētā biotopa *Betula nana* populāciju. Latvijā *Betula nana* ir aizsargājama suga, tāpēc ievāktu indivīdu skaits biotopos bija ierobežots un līdz ar to nebija pietiekami liels, lai dažu teritoriju *Betula nana* hronoloģiju EPS indeksa vērtība būtu $\geq 0,85$ (Wigley et al. 1984), jo tās bija mazākas, piemēram Kinkausu teritorijā.

Salīdzinot atlikumu hronoloģiju savstarpējo līdzību, noskaidrots, ka vienīgās biotopu hronoloģijas, kas korelēja savā starpā ir Beku augstā purva un Pundurezera augstā purva. Atradnes savstarpēji atrodas salīdzinoši tālu viena no otras, turklāt Beku atradnei ir tuvāka Saklauru atradne, bet ar to korelācija netika novērota (2.1. attēls). Iespējams, korelācija starp Beku augsto purvu un Pundurezera augsto purvu ir nejauša un *Betula nana* augšana katrā no pētītajām teritorijām notiek atbilstoši lokālajiem vides apstākļiem. Jau iepriekš veiktos

pētījumos ir noteikts, ka purvs un purvainie meži ir visai komplikētas ekosistēmas, kurās koku un sīkkrūmu augšanu ietekmē teritorijas ģeomorfoloģija, hidroloģiskais režīms, kūdras slāņa biezums u.c. lokālie faktori (Sarkkola et al. 2004; Sarkkola et al. 2005). Sīkkrūmiem, tāpat kā kokiem, ir raksturīgs, ka klimata un citu vides faktoru ietekme mēdz atspoguļoties arī nākamajos gados (Dauškane 2011). *Betula nana* hronoloģijās novērojams, ka, piemēram, viena biotopa hronoloģijas zīmīgie gadi ar gada vai divu gadu nobīdi parādās atradnes otrā biotopā, no kura arī tika ievākti *Betula nana* indivīdi. *Betula nana* gadskārtu platumu variēšanu atšķirības starp teritorijām un individuālās reakcijas uz lokālajiem faktoriem ietekmē arī tas, ka Latvijā tā aug uz sava areāla robežas (Priedītis 2014; Gosh et al. 2021). Suga aug tai limitējošos apstākļos, kā rezultātā, atbildes reakcija uz dažādām izmaiņām var būt ļoti atšķirīga (Gosh et al. 2021; Francon et al. 2020).

4.2. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika

Gadskārtu hronoloģijas garumu, kā arī galveno zaru augšanas dinamikas izpēti ietekmēja ievāktu paraugu galveno zaru garumi. Jo garāki tika ievākti indivīdi, jo to gadskārtu hronoloģija bija vecāka. Dažāda indivīdu garums ietekmēja arī hronoloģiju veidojošo indivīdu replikāciju skaitu. *Betula nana* indivīdu ievākšanu ietekmēja tādi faktori kā biotopa veids un tur esošie vides apstākļi, piemēram, ūdens līmenis purva akrotelmā vai katotelmā, *Betula nana* pavadošās sugas, kā arī diametrs, sazarošanās un augšanas dziļums. Mitrākās vietās, kur ūdens līmenis bija augstāks, paraugu iegūšana bija vieglāka, jo kūdras slāņi bija irdenāki, savukārt purvainajos mežos paraugu ievākšanu apgrūtināja koku vai krūmu saknes, piemēram, *Ledum palustre* purva vaivariņa saknes. Svarīgs bija arī *Betula nana* diametrs, jo ļoti mazi paraugi vieglāk pārtrūka pie nelielas pretestības. Anaerobajos apstākļos auga daļas, kas ir katotelmā lielākoties ir labi saglabājušās (Strazdiņa 1997; Mitsch et al. 2009), taču ar *Betula nana* novērojams, ka jo dziļāk katotelmā atrodas auga daļas, jo vairāk auga daļu bija sadalīšanās, kas sagādāja grūtības garāku paraugu ieguvē, jo auga vecākās daļas viegli notrūka. Viens no būtiskākajiem faktoriem, kas ietekmēja paraugu iegūvi bija blakus esošās sugas. *Betula nana*, kas auga blakus *Pinus sylvestris* vai *Eriophorum vaginatum* ciņos, bija grūti iegūstamas. *Eriophorum vaginatum* veido blīvus ciņus, kurus ir ļoti grūti atdalīt, lai iegūtu *Betula nana* indivīdus.

Betula nana, tāpat kā jebkurš pacili augošs sīkkrūms, veido ķīļveida gadskārtas, iztrūkstošas gadskārtas, novērojama reakcijas koksne un ekscentriskā augšana (Schweingruber 2007; Metāle 2019). Grafikos ar *Betula nana* sērijveida šķērsriezumu vecumiem, redzams, ka auga zara vecākajās daļās nav novērojama kambija aktivitāte. Visa zara augšana ir kā “trepīte”,

kas sakrīt ar literatūrā atrodamo informāciju, ka sīkkrūmiem zara vecākajās daļās kambija aktivitāte var beigties (Wilmking et al. 2012; Ejankowski 2008). Sīkkrūmiem ir raksturīga pacila augšana un, tas nozīmē, ka gan purvā, gan purvainajā mežā tos visu laiku apaug sfagni un citas pārmitru vietu sugas kā *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre* u.c. (Kaenel, Schweingruber 1995; Kļaviņš et al. 2001). *Betula nana* zaru lielākā daļa atrodas sfagnu slānī – aktotelmā jaunākās zaru daļās, bet katotelmā – vecākās. Akrotelma daļā *Betula nana* zari veido adventīvās saknes, bet tālāk esošās daļās, kas ir katotelmā, jeb purva nedzīvajā daļā ir beigušas savu dzīvi (1.1. attēls) (Metāle 2019). Zariem apaugot ar sfagniem, novērots kambija aktivitātes zudums šajās daļās. Sfagnu apaugums, ūdens līmenis, kūdras radītais spiediens darbojas kā mehānisks spiediens, kas nospiež stumbru vai zaru, negatīvi ietekmējot kambija darbību. Literatūrā ir atrodama informācija, ka tas arī var ietekmēt kambija darbības apstāšanos – konkrētajā stumbra vai zara daļā vairs neveidojas gadskārtas (Schweingruber et al. 2006). Šāda kambija aktivitātes apstāšanās var būt īslaicīga (iztrūkstošās gadskārtas), vai novērojama tikai vienā stumbra vai zaru pusē (ķīļveida gadskārtas), vai kā *Betula nana* gadījumā – kambijs vecākajā zara daļā savu aktivitāti vairs neatjauno (atmirst).

Šķērsriezumu izveidotās “trepītes” liecina par veģetatīvo augšanu un to, ka šādi augot, *Betula nana* viss indivīds ļoti zarojas – veģetatīvi izplešās teritorijā. Veģetatīvi izplatoties *Betula nana* spēj mainīt augšanas dinamiku un to, kura daļa kļūs par nākamo “galveno” augšanas zaru. Tā ir sīkkrūmiem raksturīga augšana (Tollefson 2007; Götmark et al. 2016). Galveno zaru augšanas tendences ir atšķirīgas katrā biotopā. Netika novērota saistība starp zaru augšanas dinamiku un atradņu izkārtojumu ziemeļu–dienvidu gradientā. Saklauru augstajā purvā novērojama lēnāka galveno zaru augšanas dinamika nekā Saklauru purvainajā mežā. Teiču atradnē sākotnēji arī novērojams, ka purvainajā mežā ir straujāka augšana, bet auga jaunākajās pēdējās daļās novērojams, ka augstajā purvā parādās ātrāka augšanas dinamika pēdējās desmitgadēs. Beku augstajā purvā novērojama straujāka galvenā zara augšanas dinamika kā augstajā purvā ar *Phragmites australis*. Jau iepriekš minēts materiālu un metožu sadaļā, ka šis biotops vairāk tiek salīdzināts ar pārejas purvu. *Phragmites australis* spēj veidot blīvas audzes un *Betula nana* ir gaismu mīlošs augs, kas vērš uzmanību uz to, ka *Phragmites australis* varētu ietekmēt tā augšanas dinamiku (Laine et al. 1993; Ejankowski 2010). Augšanas dinamika sākotnēji abos šajos biotopos ir vienāda, jo pirmos 50 centimetrus aug 10 gadus. 100 centimetrus *Betula nana* Beku augstajā purvā sasniedz piecos gados, bet augstajā purvā ar *Phragmites australis* – 20 gados. Būtu nepieciešama padziļināta teritorijas biotopu vēsture, lai varētu noskaidrot, vai šajā periodā nav sākusi augt *Phragmites australis*, kas negatīvi ietekmētu augšanas dinamiku. Pundurezera augstajā purvā novērojama lēnāka augšana augstajā purvā kā

pārejas purvā ar *Eriophorum vaginatum*. Jāmin, ka augšanas dinamika ir tikai nedaudz lēnāka augstajā purvā. Pārejas purviem ūdeņi un barības vielas pienāk netkai no nokrišņiem, bet arī no gruntsūdeņiem, kas varētu liecināt par *Betula nana* straujāku augšanu šajā biotopā papildus pieejamo barības vielu dēļ (Paklane, Kalniņa 2005; Mitsch et al. 2009). Ja salīdzina augšanas dinamiku starp Beku augsto purvu ar *Phragmites australis* un Pundrezera pārejas purvu ar *Eriophorum vaginatum*, tad pārejas purvā novērojama straujāka augšana. Arī *Phragmites australis* esamība biotopā liecina par papildus barības vielu esamību, bet kā iepriekš minēts, tad iespējams tās radītais noēnojums rada lēnāku *Betula nana* augšanu. Iespējams *Phragmites australis* sakņu sistēma traucē *Betula nana* augšanu, bet šāda teorija būtu jāpastiprina padziļināti pētīt. Kinkauskū atradnē ievākti tikai paraugi no purvainā meža, kam bija raksturīgs mazs rametu diametrs. Paraugi bija īsi un sērijveida šķērsriezumos tika novērots salīdzinoši mazs gadskārtu skaits. Ja salīdzina ar Saklauru purvainā meža galveno zaru augšanas dinamiku un Teiču purvainā meža, tad novērojama līdzīgāka augšana Teičiem. Šīs atradnes atrodas Latvijas dienvidu daļā un ir zemākās atradņu vietas kartē (2.1. attēls). Salīdzinot galveno zaru augšanas dinamiku novērots, ka Saklauru augstajā purvā tā ir lēnākā kā Beku un Teiču augstajos purvos. Galveno zaru augšanas dinamikas nav savstarpēji saistītas vai līdzīgas. Tas pastiprina salīdzināto hronoloģiju rezultātus, ka katrai atradnei un biotopam ir atšķirīgi augšanas apstākļi un reakcija uz klimata un videsfaktoru ietekmi (Callaghan 1992; Housset et al. 2021). Lietratūrā teikts, ka barības vielu pieejamība ietekmē radiālo pieaugumu (Bret-Harte 2001), bet šī pētījuma ietvaros, tas netika novērots.

Netika novērota saistība starp galveno zaru pieaugumu ik pēc 50 centimetriem. Vienas atradnes ietvaros katru 50 centimetru pieaugums atšķīrās savā starpā. Sākotnējs straujāks 50 centimetru pieaugums tika novērots Saklauru augstajā purvā, Pundrezera augstajā purvā un Teiču augstajā purvā, un Beku augstajā purvā ar *Phragmites australis*. Šiem biotopiem arī raksturīgs, ka to ievākto paraugu garums bija mazāks kā no citiem biotopiem, tāpēc nevar skaidri nodalīt, ka tā būtu raksturīga pieauguma tendence. Izmaiņas pieauguma dinamikā varētu būt tieši saistītas ar klimatu un tā periodiem. Pieaugums atkarīgs tieši no laika periodiem un klimata izmaiņām šajā periodā. Pēdējās desmitgadēs novērojama strauja klimata pasiltināšana, bet šāds rādītājs viens pats neietekmē sīkkrūmu augšanas dinamiku vai galveno zaru periodu pieaugumu (Myers-Smith 2001; Jonasson 2016; Mosalenko 2013). Jāņem vērā arī citas klimatisko faktoru izmaiņas, kā iztvaikošana, temperatūru starpība, sala dienas, sniega segas biezums, nokrišņu daudzums (Francon et al. 2020; Gosh et al. 2021; Housette et al. 2021). Arī veģetācijas sezonas ilgums būtu jāņem vērā pētīt galveno zaru pieaugumu (Wipf et al. 2009).

Pētījumā nebija novērojama sakritība, ka pēdējo 40 gadu laikā būtu novērojama negatīva augšanas tendence purvos (Li et al. 2021).

4.3. *Betula nana* hronoloģiju saistība ar klimata izmaiņām

Novērtējot korelāciju starp *Betula nana* hronoloģijām un klimatiskajiem faktoriem, skaidri redzams, ka 40 gadu slīdošo periodu analīze uzrāda būtiskāku informāciju par klimata ietekmi uz *Betula nana* gadskārtu platumu variēšanu. To iespējams skaidrot ar faktu, ka klimats nav konstanti vienāds un ir vērojamas gaisa temperatūru vai nokrišņu summu fluktuācijas laikā un telpā. Rezultāti uzrāda, ka analizēto klimatisko faktoru ietekmes bieži vien ir lokālas un skaidrojot šīs ietekmes ir jāvērs uzmanība uz teritorijas topogrāfiju, ģeomorfoloģiju, hidroloģiju un citiem faktoriem, piemēram, arī antropogēnās ietekmes vēsturi. Piemēram, Pundurezera augstajā purvā novērojama pozitīva iztvaikošanas indeksa ietekme iepriekšējā gada okrobrī, savukārt Teiču augstajā purvā tā bija negatīva. To var izskaidrot ar to, ka Pundurezerā, salīdzinājumā ar Teiču augsto purvu, ir citādāki hidroloģiskie apstākļi, jo teritorijas vidū atrodas ezers. Korelācijas koeficienti starp klimatiskajiem faktoriem un *Betula nana* nav augsti, norādot, ka šī sīkkrūma gadskārtu platumu variēšanu ietekmē vairāku klimatisko faktoru kopums, kā arī ļoti svarīgs faktors purvos un purvainajos mežos ir hidroloģija (Dauškane 2011). Diemžēl ilglaicīgi hidroloģisko mērījumu dati Latvijas purvos nav pieejami, tāpēc arī apgrūtināta šī faktora tiešas ietekmes novērtēšana.

Novērtējot rezultātus par vidējās gaisa temperatūras korelāciju ar *Betula nana* hronoloģijām 40 gadu slīdošajos periodos, novērojams, ka šī klimatiskā faktora ietekme nav vērojama Latvijas ziemeļu daļas teritorijās – Saklauru un Beku atradnēs. Vidējās gaisa temperatūras būtiskā ietekme sākas ar Pundurezera biotopiem un turpinās uz Latvijas dienvidu daļu. Saklauru un Beku teritorijās *Betula nana* gadskārtu platumu veidošanās procesu būtiski ietekmē vidējo gaisa temperatūru starpība. Šajā pētījumā iegūtie rezultāti attiecībā uz gaisa temperatūrām, sakrīt ar Grenlandē (valsts kontinentālajā daļā) iegūtajiem rezultātiem par *Betula nana* augšanu (Gamm et al. 2017). Rezultāti uzrāda tendenci, ka sākot 1990. gadu *Betula nana* augšanu negatīvi ietekmē augstas vidējās gaisa temperatūras un vidējās gaisa temperatūras starpība. Ar Grenlandi sakrīt arī rezultāti par korelāciju starp nokrišņu summu un *Betula nana* hronoloģijām (Francon et al. 2020). Rezultātos ir redzams, ka liela nokrišņu summa iepriekšējo gadu veģetācijas sezonas otrajā pusē, kā arī tekošā gada sākumā galvenokārt būtiski pozitīvi ietekmē platu *Betula nana* gadskārtu veidošanos. Grenlandē šī tendence vērojama sākot ar 20. gs. 90-tajiem gadiem, kamēr Latvijas rezultāti uzrāda šo sakarību sākot jau ar 20. gs. 60-tajiem vai 70-tajiem gadiem. Kā liecina Grenlandes nokrišņu izmaiņas analīzes rezultāti, tad sākot ar 1990-tajiem gadiem vērojama nokrišņu samazināšanās šajos reģionos. Par Latvijas teritoriju

klimatisko faktoru fluktuāciju analīze šajā pētījumā nebija veikta, bet tā būtu bijusi ļoti nepieciešama, lai labāk izprastu klimata izmaiņas. Skaidrs ir viens, ka ilstošs sausums nelabvēlīgi ietekmē *Betula nana* gadskārtu veidošanos, tāpēc ir svarīgi nokrišņi gan iepriekšējos gados, gan tekošajos gados, jo īpaši, ja vidējā gaisa temperatūra vai temperatūras strapība ir augsta. Atširībā no kokiem, kuriem salīdzinoši ir dziļāka sakņu sistēma, *Betula nana* adventīvās saknes ir tuvāk purva virskārtai un vairāk pakļautas sausuma izraisītajam stresam, ko sauc par fizioloģisko sausumu. Fizioloģiskais sausums ne tikai kavē sekundāro augšanu, bet arī izraisa traucējumus vienā no augšanas fāzēm – stiepšanās fāzē (Mauriņa 1987).

Lai varētu izprast klimatisko faktoru korelācijas ar *Betula nana* hronoloģijām, tomēr visi faktori ir jāanalizē vienkopus, ņemot vērā šo faktoru ietekmi uz *Betula nana* augšanu nākamajos gados, kā arī jāveic klimatisko faktoru svārtību analīze. Nākotnes pētījumos būtu ieteicams veikt arī *Betula nana* zīmīgo gadu analīzi un korelāciju ar klimtu izvērtējums. Turpmākajiem pētījumiem ieteicams ņemt vērā topogrāfiju un antropoloģiskās ietekmes vēsturi biotopos. Nepieciešami šāda paša veida pētījumi *Betula nana* pamatareālā, lai salīdzinātu atšķirīgās un kopīgās augšanas tendences.

SECINĀJUMI

1. *Betula nana* galvenajos zaros novērojamas atšķirības kambija aktivitātē visa zara garumā un ir novērojama vecāko daļu atmiršana galvenajos zaros.
2. *Betula nana* galveno zaru augšanas dinamika atšķiras starp teritorijām un biotopiem Latvijā.
3. Klimatisko faktoru ietekme galvenokārt ir lokāla un klimata ietekme visskaidrāk ir novērtējama, vērtējot korelācijas starp klimatu un hronoloģijām pa gadu periodiem.
4. Vidējai gaisa temperatūrai pa gadu periodiem ir novērojama korelācija ar *Betula nana* hronoloģijām ziemeļu-dienvidu gradientā – statistiski būtiska korelācija ir virzienā no Latvijas teritorijas vidusdaļas virzienā uz dienvidiem.

PATEICĪBAS

Izsaku pateicību darba vadītājam Dr. biol. asoc. prof. Ilutai Dauškane. Izsaku pateicību Dr. biol. Robertam Matisonam. Izsaku pateicību Dr. biol. asoc. prof. Didzim Elferam. Izsaku pateicību Mag. biol. Agnesei Antai Liepiņai. Izsaku pateicību Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes Botānikas un Ekoloģijas katedrai.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. **Abbott R. J., Brochmann C. 2003.** History and evolution of the arctic flora: in the footsteps of Eric Hultén. *Molecular Ecology*, 12: 299 - 313.
2. **Anderberg A. 1999.** Dvärbjörk *Betula nana* L.
3. **Anonīms 2020.** Dabas aizsardzības pārvalde. Pēdējo reizi rediģēts 06. 10. 2022. <https://www.daba.gov.lv/lv/par-ipasi-aizsargajamam-dabas-teritorijam>
4. **Anonīms 2022.** Dabas aizsardzības pārvalde. <https://www.daba.gov.lv/lv/par-ipasi-aizsargajamam-dabas-teritorijam>
5. **Bambe B. 2001.** Purvu augu sabiedrības ar pundurbērzu *Betula nana* L. Latvijas centrālajā un austrumu daļā. Referātu tēzes. Rīga: Latvijas Universitātes 59. Zinātniskā conference, 13 – 19 lpp.
6. **Baroniņa V., Lodziņa I. 1992.** Populārzinātniskā Latvijas Sarkanā Grāmata. Augi, izplatība, ekoloģija, aizsardzība. Rīgā: Izdevniecība “Zinātne” Akciju sabiedrība “Lana”, 6. lpp, 32. lpp.
7. **Bates D.M., Chambers J.M. 1992.** Nonlinear models. *Statistical Models in S*, Chapter 10.
8. **Beck C.B. 2010.** An Introduction to Plant Structure and Development: Plant Anatomy for the Twnty-First Century, Second Edition. Cabridge University Press, 17. – 26. Pp.
9. **Bret-Harte M.S., Shaver G.R., Chapin F.S. 2002.** Primary and secondary stem growth in arctic shrubs: implications for community response to environmental change. *Journal of Ecology*, 90, 251 – 267 pp.
10. **Bret-Harte M.S., Shaver G.R., Zoerner J.P., Jonstone J., Wagner J.L., Chaves A.S., Gunkelman R.F., Lippert S.C., Laundre J.A. 2001.** Developmental plasticity allows *Betula nana* to dominate tundra subjected to an altered environment. *Ecology*, volume 82: 1, 18 – 32 pp.
11. **Broks J., Mauriņš A. 2003.** Meža enciklopēdija Pirmais sējums. Rīga: Apgāds “Zelta Grauds”, 265 lpp.
12. **Broks J., Mauriņš A. 2003.** Meža enciklopēdijas Pirmais sējums. Rīga. Apgāds “Zelta grauds”, 265 lpp.
13. **Bunn A.G. 2008.** “A dendrochronology program library in R (dplR).” *Dendrochronologia*, 26(2), 115-124. ISSN 1125-7865, doi: 10.1016/j.dendro.2008.01.002 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>).
14. **Bunn A.G. 2010.** “Statistical and visual crossdating in R using the dplR library.” *Dendrochronologia*, 28(4), 251-258. ISSN 1125-7865, doi: 10.1016/j.dendro.2009.12.001 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.12.001>).

15. **Bunn A.G., Jansma E., Korpela M., Westfall R.D., Baldwin J. 2013.** Using simulations and data to evaluate mean sensitivity as useful statistic in dendrochronology. *Dendrochronologia*. 31: 3.
16. **Bunn A.G., Korpela M., Biondi F., Campelo F., Mérian P., Qeadan F., Zang C. 2021.** dplR: Dendrochronology Program Library in R. R package version 1.7.2. <https://CRAN.R-project.org/package=dplR>
17. **Buras A. 2017.** A comment on the Expressed Population Signal. *Dendrochronologia* 44: 130 – 132 pp.
18. **Callaghan T.V., Carlson B.A., Jónsdóttir I.S., Svensson B.M., Jonasson S. 1992.** Clonal plants and environmental change: introduction to the proceeding and summary. *Oikos* 63:341 – 347.
19. **Carlquist S.J. 1988.** Comparative Wood Anatomy: Systematic, Ecological, and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood. Springer – Verlag, Berlin Heidelberg, 1. – 4. Pp
20. **Cinēvica G. 2011.** Pundurbērza *Betula nana* L. piemērotība dendrochronoloģiskajiem pētījumiem. Bakalaura darbs. Rīga. Latvijas Universitāte, 61. lpp.
21. **Cinovskis R. 1997.** Pundurbērzs. Grām: Kavacs G. (red.), Latvijas Daba. Enciklopēdija, 4. sēj., Rīga: „Preses nams”, 185.lpp.
22. **Cinovskis R. 2003.** Pundurbērzs *Betula nana* L. Grām.: Andrušaitis G. (red.) Latvijas Sarkanā grāmata. Retās un apdraudētās augu un dzīvnieku sugas., 3. sējums. Vaskulārie augi. Rīga: LU Bioloģijas institūts, 298 - 299. lpp.
23. **Deslippe J.R., Simard S.W. 2011.** Below-ground carbon transfer among *Betula nana* may increase with warming in Arctic tundra. *New Phytologist*, 192:689 - 698.
24. **Dyderski M.K., Czapiewska N., Zajdler M., Tyborski J., Jagodziński M. 2016.** Functional diversity, succession, and human-mediated disturbances in raised bog vegetation. *Science of the Total Environment*, 562: 648 – 657.
25. **Ejankowski W. 2008.** Effect of waterlogging on regeneration in the dwarf birch (*Betula nana*), Institute of Botany, Slovak Academy of Science. *Biologia*, 63/5: 670 – 676.
26. **Ejankowski W. 2010.** Demographic variations of dwarf birch (*Betula nana*) in communities dominated by *Ledum Palustre* and *Vaccinium uliginosum*, Institute of Botany, Slovak Academy of Sciences. *Biologia*, 65/2: 248 – 253.
27. **Elkington T-T. 1968.** Introgressive hybridization between *Betula nana* L. and *B. pubescens* Ehrh. In North-West Iceland. *New Phytol*, 67: 109 - 118.
28. **Francon L., Corona C., Till-Bottraud I., Choler P., Carlson B.Z., Charrier G., Améglio T., Morin S., Eckert N., Roussel E., Lopez-Saez J., Stoffel M. 2020.** Assessing the effects

- of earlier snow melt-out on alpine shrub growth: The sooner the better? Elsevier – Ecological Indicators, 115: 106455
29. **Gamm C.M., Sullivan P.F., Buchwal A., Dial R.J., Young A.B., Watts D.A., Cahoon S.M.P., Walker J.M., Post E. 2017.** Declining growth of deciduous shrubs in the warming climate of continental western Greenland. *Journal of Ecology* 106: 640 – 654.
 30. **Gardes M., Dahlberg A. 1996.** Mycorrhizal diversity in arctic and alpine tundra: an open question. *New Phytologist*, 133: 147 - 157.
 31. **Gardiner B., Barnett J., Saranpää P., Gril J. 2014.** *The Biology of Reaction Wood*. Springer - Verlag: Berlin Heidelberg, 2. lpp, 7.-8. lpp, 10. lpp, 14. lpp, 144. lpp, 163. lpp.
 32. **Gärtner H., Schweingruber F. H. 2013.** *Microscopic Preparation Techniques for Plant Stem Analysis*. Swiss Federal Research Institute WSL, Switzerland, 78 pp.
 33. **Ghosh B.G., Garai S., Rahaman S.M., Khatun M., Mohammad N., Mishra Y., Ranjan A., Tiwari S. 2021.** Assessing potential habitat distribution range of the endangered tree species *Pterocarpus marsupium* Roxb. Under the climate change scenario in India. Elsevier – *Trees, Forest and People*, 6: 100124
 34. **Götmark F., Götmark E., Jensen A.M. 2016.** Why Be a Shrub? A Basic Model and Hypotheses for the Adaptive Values of a Common Growth Form. *Front. Plant Sci*, 7: 1095.
 35. **Harris I., Osborne T.J., Jones P. 2020.** Version 4 of the CRU TS monthly high – resolution gridded multivariate climate dataset. *Sci Data*, 7:109.
 36. **Heim R.J., Bucharova A., Brodt L., Kamp J., Rieker D., Soromotin A.V., Yurtaev A., Hölzel N. 2021.** Post-fire vegetation succession in the Siberian subarctic tundra over 45 years. *Science of the Total Environment*, 760: 143425.
 37. **Higgins R.F., Pries C.H., Virginia R.A. 2020.** Trade-offs between wood and leaf production in Arctic shrubs along a temperature and moisture gradient in the west Greenland. *Springer – Ecosystems*, 24: 652 – 666.
 38. **Housset J., Tóth E.G., Girardin M.P., Tremblay F., Motta R., Bergeron Y., Carcaillet C. 2021.** Tree-rings, genetics and the environment: Complex interactions at the rear edge of species distribution range. Elsevier – *Dendrochronologia*, 69: 125863
 39. **Hughes M.K. 2002.** Dendrochronology in climatology – the state of the art. *Dendrochronologia*. 20: 1 - 2, 95 – 116 pp.
 40. **Iturrate-Garcia M., Heijmans M.M.P.D., Schweingruber F.H., Maximov T.C., Niklaus P.A., Schaepman-Strub G. 2017.** Shrub growth rate and bark responses to soil warming and nutrient addition – A dendroecological approach in field experiment. *Dendrochronologia*, 45:12 - 22.

41. **Jonasson S. 2016.** Plant Communities and Species Distribution of Low Alpine *Betula nana* Heaths in Northernmost Sweden. *Vegetatio*, 44: 51 – 64.
42. **Kaennel M., Schweingruber F.H. 1995.** Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms of Definition in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. Berne, Stuttgart, Vienna 467 lpp.
43. **Kašpar J., Tumajer J., Treml V. 2019.** IncrementR: Analysing height growth of trees and shrubs in R. *Dendrochronologia*, 53: 48–54.
44. **Kļaviņš M., Nikodemus O., Laiviņš M., Krauklis A., Melluma A., Krišjāne Z., Melecis V., Lukševičs E., Zelčs V., Segliņš V. 2001.** Latvijas Universitātes 59. Zinātniskā konforence. Ģeogrāfija Ģeoloģija Vides zinātne Referātu tēzes. Latvijas Universitāte, Rīga: 13–19 lpp.
45. **Kudo G., Suzuki S. 2003.** Warming effects on growth, production, and vegetation structure of alpine shrubs: a five-year experiment in northern Japan. *Oecologia*, 135: 280-287.
46. **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.
47. **Laiviņš M., Bice M., Krampis I., Knape D., Šmite D., Šulcs V. 2009.** Latvijas kokaugu atlants. Rīgā: Latvijas Universitātes Bioloģijas institūts. SIA Apgāds Mantojums, 134. lpp.
48. **Li Y., Liu H., Zhu X., Yue Y., Xue J., Shi L. 2021.** How permafrost degradation threatens boreal forest growth on its southern margin. *Science of the Total Environment* – 762:143154.
49. **Liu Y., Zhang Z., Liu Y., Cui Z., Leite P.A.M., Shi J., Wang Y, Wu G. 2022.** Shrub encroachment enhances the infiltration capacity of alpain meadows by changing the community composition and soil conditions. *Elsevier – Catena*, 213: 106222
50. **Martin A., Jeffers E., Petrokofsky G., Myers-Smith I.H., 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: 085007.
51. **Mauriņa H. 1987.** Augu fizioloģija. Rīga: Zvaigzne, 358 lpp.
52. **Mauriņš A., Morkons M., Zvirgzds A. 1958.** Latvijas PSR koki un krūmi (Īss pārskats par sugu noteikšanu). Rīgā: LPSR zinātņu akadēmijas izdevniecība 58. lpp.
53. **Mauriņš A., Morkons M., Zvirgzds A. 1958.** Latvijas PSR koki un krūmi (Īss pārskats ar sugu noteikšanas). Rīga: LPSR zinātņu akadēmijas izdevniecība, 58 lpp.
54. **Mauriņš A., Zvirgzds A. 2006.** Dendroloģija. Rīga: SIA “Jelgavas tipogrāfija”, 14. Lpp., 146-148 lpp.

55. **Metāle M.M. 2019.** *Betula nana* veģetatīvās augšanas dinamika purvos un purvainajos mežos Latvijā. Bakalaura darbs. Rīga. Latvijas Universitāte, 47 lpp.
56. **Ministru kabineta noteikumi Nr.396,** Noteikumi par īpaši aizsargājamo sugu un ierobežoti izmantojamo īpaši aizsargājamo sugu sarakstu, Īpaši aizsargājamo sugu saraksts (Pielikums grozīts ar MK 27.07.2004. noteikumiem Nr.627), Rīgā 2000.gada 14. novembrī (prot. Nr.54 9. §). <https://likumi.lv/doc.php?id=12821>
57. **Mitsch W.J., Gosselink J.G., Anderson C.J., Zhang L. 2009.** *Wetland Ecosystems.* United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 166. pp., 172. pp., 174. pp.
58. **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., Rixen C., Lévesque E., Schmidt N.M., Baittinger C., Trant A.J., Hermanutz L., Siegwart Collier L., Dawes M.A., Lantz T. 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. a.** Climate sensitivity of shrub growth across the tundra biome, *Nature Climate Change*, 5: 887 – 891.
59. **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 E., Boudreau S., Ropars P., Hermanutz L., Trant A., Siegwart Collier L., Weijers S., Rozema J., Rayback S.A., Schmidt N.M., Schaepman-Strub G., Wipf S., Rixen C., Ménard C.B., Venn S., Goetz S., Andreu-Hayles L., Elmendorf S., Ravolainen V., Welker J., Grogan P., Epstein H.E., Hik D.S. 2011.** Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environmental Research Letters*, 6.
60. **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., Levesque E., Boulanger-Lapointe N., Beil I., Ravolainen V., Wilmking M. 2015. b.** Methods for measuring arctic and alpine shrub growth. *Earth - Science Reviews*, 140: 1-13.
61. **Moskalenko N. 2013.** Impact of Climate Change on Vegetation and Permafrost in West Siberia Subarctic, 12: 299 – 326.
62. **Pakalne M., Kalnina L. 2005.** *Stapfia 85, zugleich Kataloge der OÖ. Landesmuseen Neue Serie*, 35: 147 - 174.
63. **Palacio S., Montserrat-Martí G. 2005.** Bud morphology and shoot growth dynamics in two species of Mediterranean sub-shrub co-existing in Gypsum outcrops. *Annals of Botany* 95: 949-958.

64. **Perez D.R. 2013.** growthmodels: Nonlinear Growth Models. R package version 1.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=growthmodels>
65. **Power C.C., Assmann J.J., Prendin A.L., Treier U.A., Kerby J.T., Normand S. 2022.** Improving ecological insights from dendroecological studies of Arctic shrub dynamics: Research gaps and protentional solutions. Elsevier – Science of the Total Environment, 851: 158008
66. **Priedītis N. 2014.** Latvijas augi Enciklopēdija. Rīgā: Gandrs poligrāfija, 15. lpp., 79. lpp.
67. **R Core Team. 2021.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for r statistical computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
68. **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.
69. **Rizopoulos D. 2006.** Lmt: An R package for Latent variable Modelling and Item Response Theory Analyses. Journal of statistical Sofware. 17: 5, 1 – 25 pp.
70. **Rydin H., Jeglum J. 2006.** The biology of peatlands. Oxford: Oxford University Press, 343 pp.
71. **Sarkkola S., Hökkä H., Penttilä T. 2004.** Natural development of stand structure in peatland Scots pine following drainage: results based on long-term monitoring of permanent sample plots. Silva Fennica, 38: 405-412.
72. **Sarkkola S., Hökkä H., Laiho R., Päivänen J., Penttilä T. 2005.** Stand structure dynamics on drained peatlands dominated by Scots pine. Forest Ecology and Management, 206: 135-152.
73. **Sawada D., Kalluri U.C., O'Neill H., Urban V., Langan P., Davidson B., Pingali S.V. 2018.** Tension wood structure and morphology conductive for better enzymatic digestion. Biotechnology for Biofuels, 11: 44.
74. **Schweingruber F.H. 1993.** Trees and Wood in Dendrochronology: Morphological, anatomical characteristics of trees frequently used in dendrochronology. Springer series in wood science, Springer-Verlag, 402 pp.
75. **Schweingruber F.H., Börner A. Schulze E.D. 2006.** Atlas of Woody Plant Stems Evolution, Structure, and Environmental Modifications. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 32. - 33. lpp, 40. lpp, 52. - 53. lpp, 55.-56. lpp, 113. lpp, 129. lpp, 136.lpp, 147.lpp, 174 - 188.lpp, 216.- 217. lpp.
76. **Schweingruber F.H. 2007.** Wood structure and environment. Berlin: Springer-Verlag, 279 pp.

77. **Schweingruber F.H., Kučerová A., Adamec L., Doležal J. 2020.** Anatomic Atlas of Aquatic and Wetland Plant Stems. Springer Nature, Switzerland AG, 94 pp.
78. **Strazdiņa E. 1997.** Dzīvība purvā. Rīga: Latvijas Dabas fonds, 31. pp., 8 - 9 lpp.
79. **Taminskas J., Edvardsson J., Linkevičienė R., Stoffel M., Corona C., Tamkevičiūtė M. 2019.** Combining multiple proxies to investigate water table fluctuations in wetlands: A case study from the Rėkyva wetland complex, Lithuania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 514: 453 – 463.
80. **Thórsson E.T., Pálsson S., Sigurgeirsson A., Anamthawat-Jónsson K. 2007.** Morphological variation among *Betula nana* (diploid), *B. pubescens* (tetraploid) and their triploid hybrids in Iceland. *Annals of Botany*, 99: 1183 - 1193.
81. **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: 26.08.2022., skat. 07.11.2022.
82. **Wang N., Kelly L.J., McAllister H., Zohren J., Buggs R.J.A. 2021.** Resolving phylogeny and polyploid parantage using genus-wide genome-wide sequence data from birch trees. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 160:107126.
83. **Wang X., Yang B. 2021.** Divergent tree radial growth at alpine coniferous forest ecotone and corresponding responses to climate change in northwestern China. *Ecological Indicators*, 121: 107052.
84. **Weijers S., Myers-Smith I.H., Löffler J. 2018.** A warmer and greener cold world: summer warming increases shrub growth in the alpine and high arctic tundra. *Erkunde*, 72: 63 - 85.
85. **Wharen H.A., Walker M.D., Bret-Hart M.S. 2005.** Vegetation responses in Alaskan arctic tundra after 8 years of a summer warming and winter snow manipulation experiment. – *Global Change Biology*, 11: 537–552.
86. **Wickham H. 2011.** The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 40(1): 1–29. URL <https://www.jstatsoft.org/v40/i01/>.
87. **Wickham H., Bryan J. 2022.** readxl: Read Excel Files. R package version 1.4.0. <https://CRAN.R-project.org/package=readxl>
88. **Wickham H., Hester J., Chang W., Bryan L. 2021.** devtools: Tools to Make Developing R Packages Easier. R package version 2.4.3. <https://CRAN.R-project.org/package=devtools>
89. **Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. 1984.** On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*: 201–213.

90. **Wilmkings 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. Elsevier – *Dendrochronologia*, 30: 213–222.
91. **Wipf S., Stoeckli V., Bebi P. 2009.** Winter climate change in alpine tundra: plant responses to changes in snow depth and snowmelt timing. *Climate Change*, 94: 105–121.
92. **Zang C., Biondi F. 2015.** “treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships.” *Ecography*: 38(4), 431–436. ISSN 1600–0587, doi: 10.1111/ecog.01335 (URL: <https://doi.org/10.1111/ecog.01335>).
93. **Zhang H., Väiliranta M., Piilo S., Amesbury M.J., Aquino-López M.A., Roland T.P., Salminen-Paatero S., Paatero J., Lohila A., Tuittila E.S. 2020.** Decreased carbon accumulation feedback driven by climate-induced drying of two southern boreal bogs over recent centuries. Wiley – *Global change biology*, 26: 2435–2448.
94. **Zunde M. 1999.** Mežainuma un koku sugu satāva pārmaiņu dinamika un to galvenie ietekmējošie faktori Latvijas teritorijā. Grām.: Latvijas mežu ēsture, Rīga, WWF-Pasaules Dabas Fonds: 118–121.

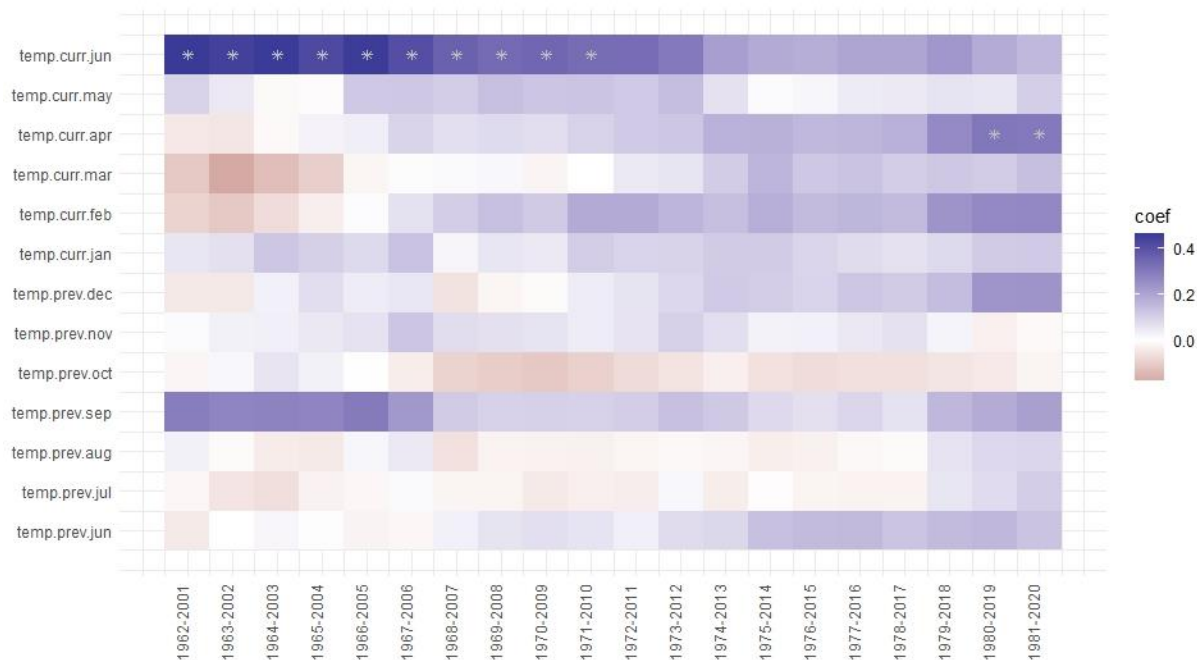
PIELIKUMI

1. pielikums. Statistiski būtiskās korelācijas starp vidējo gaisa temperatūru (temp) un *Betula nana* atlikumu hronoloģijām Saklauru purvainajā mežā 40 gadu slīdošajā periodā. + norāda uz statistiski būtisko periodu.

Annex 1. Statistically significant correlation between mean air temperature (temp) and *Betula nana* residual chronologies in Saklauri bog woodland over a 40-year sliding period. + indicates the statistically significant period.

Piezīmes/note: curr – tekošā gada/current year; prev – iepriekšējā gada/previous year.

Saklauru purvainais mežs/Saklauri bog woodland

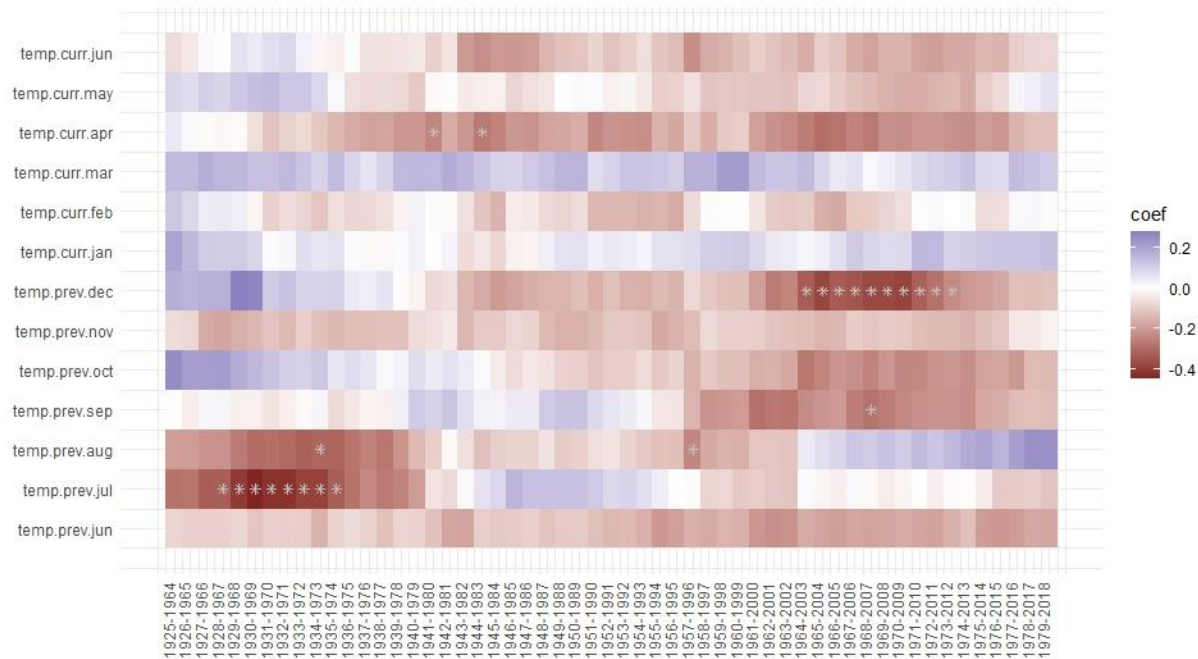


3. pielikums. Statistiski būtiskās korelācijas starp vidējo gaisa temperatūru (temp) un *Betula nana* atlikumu hronoloģijām Teiču teritorijā 40 gadu slīdošajā periodā. + norāda uz statistiski būtisko periodu.

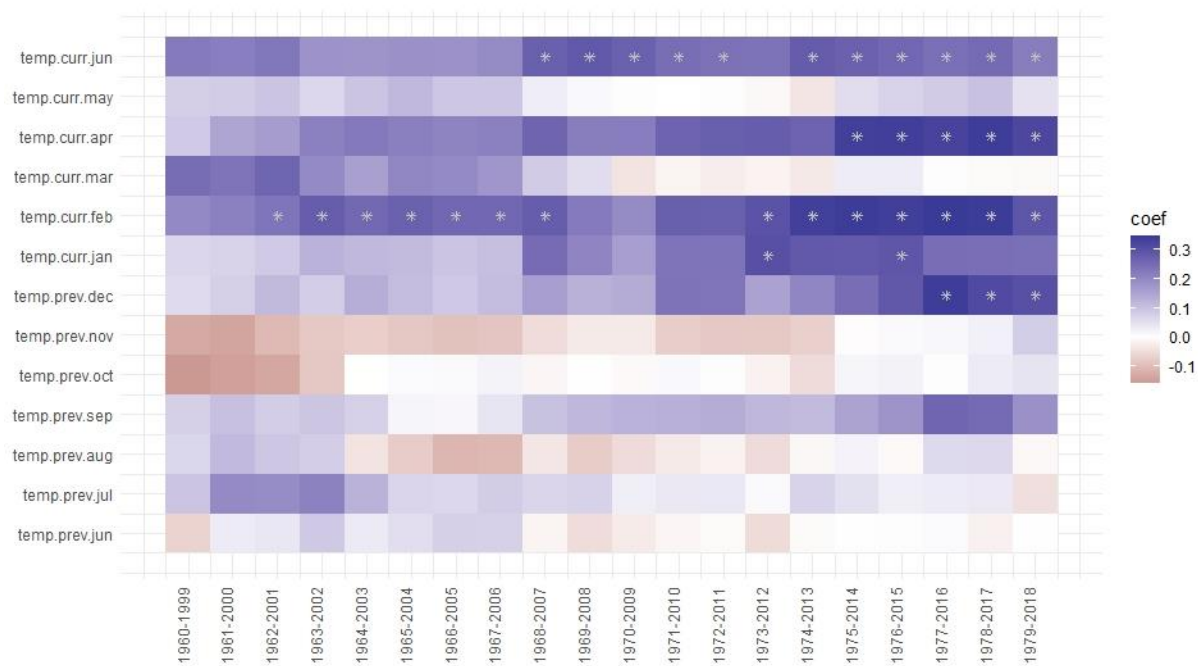
Annex 3. Statistically significant correlation between mean air temperature (temp) and *Betula nana* residual chronologies in Teiči site over a 40-year sliding period. + indicates the statistically significant period.

Piezīmes/note: curr – tekošā gada/current year; prev – iepriekšējā gada/previous year.

Teiču augstais purvs/Teiči raised bog



Teiču purvainais mežs/Teiči bog woodland

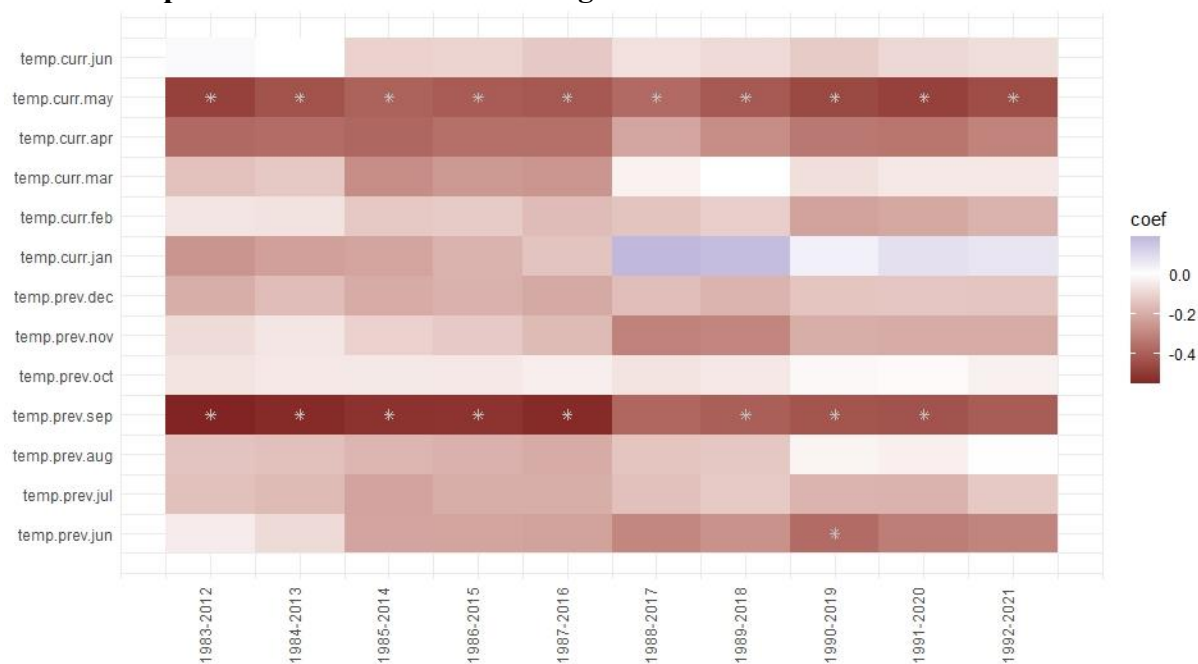


4. pielikums. Statistiski būtiskās korelācijas starp vidējo gaisa temperatūru (temp) un *Betula nana* atlikumu hronoloģijām Kinkauskū purvainajā mežā 40 gadu slīdošajā periodā. + norāda uz statistiski būtisko periodu.

Annex 4. Statistically significant correlation between mean air temperature (temp) and *Betula nana* residual chronologies in Kinkauski bog woodland over a 40-year sliding period. + indicates the statistically significant period.

Piezīmes/note: curr – tekošā gada/current year; prev – iepriekšējā gada/previous year.

Kinkausku purvainais mežs/Kinkauski bog woodland

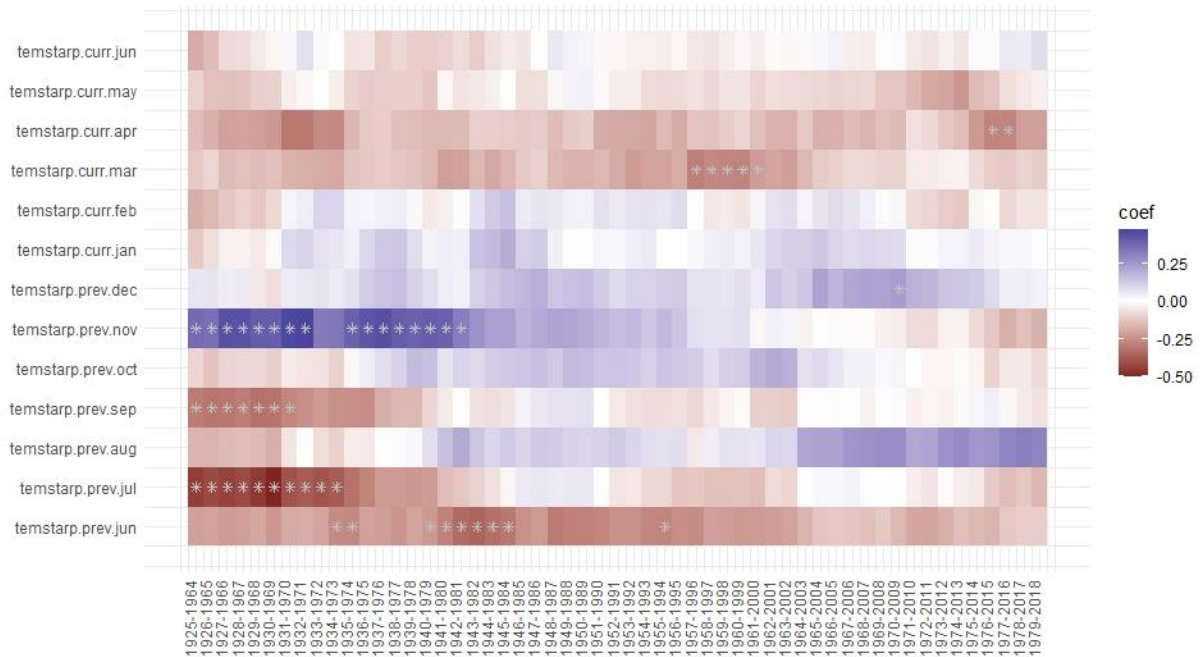


8. pielikums. Statistiski būtiskās korelācijas starp vidējo gaisa temperatūras starpību (temstarp) un *Betula nana* atlikumu hronoloģijām Teiču teritorijā 40 gadu slīdošajā periodā. + norāda uz statistiski būtisko periodu.

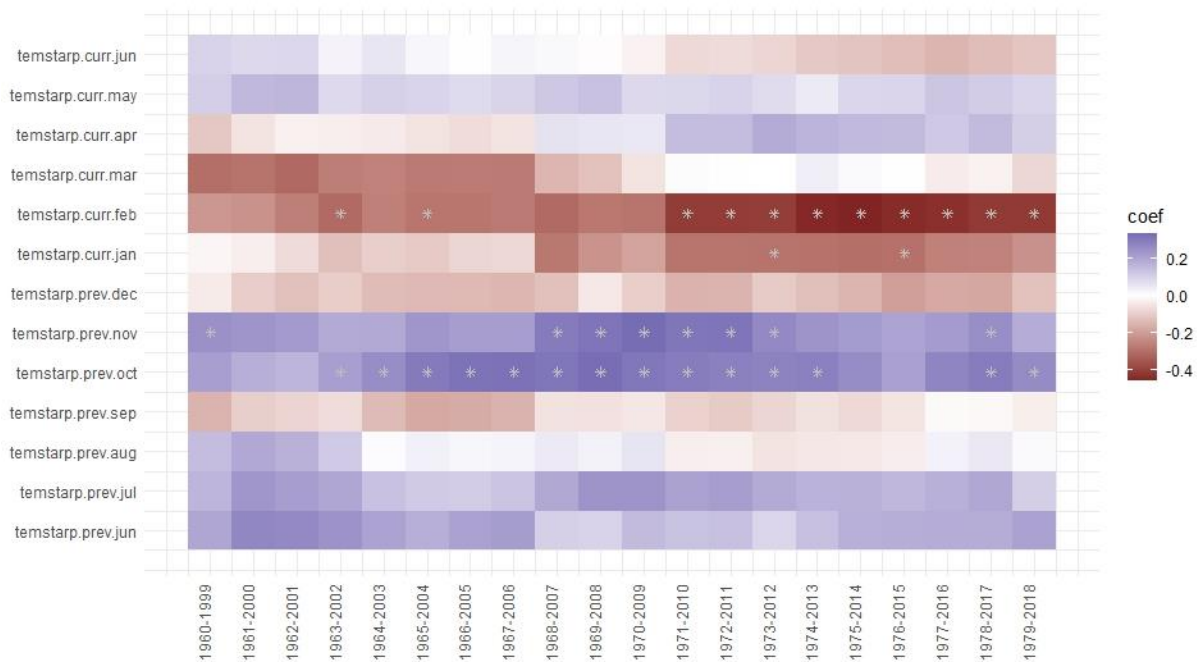
Annex 8. Statistically significant correlation between diurnal temperature range (temstarp) and *Betula nana* residual chronologies in Teiči site over a 40-year sliding period. + indicates the statistically significant period.

Piezīmes/note: curr – tekošā gada/current year; prev – iepriekšējā gada/previous year.

Teiču augstais purvs/ Teiči raised bog



Teiču purvainais mežs/Teiči bog woodland

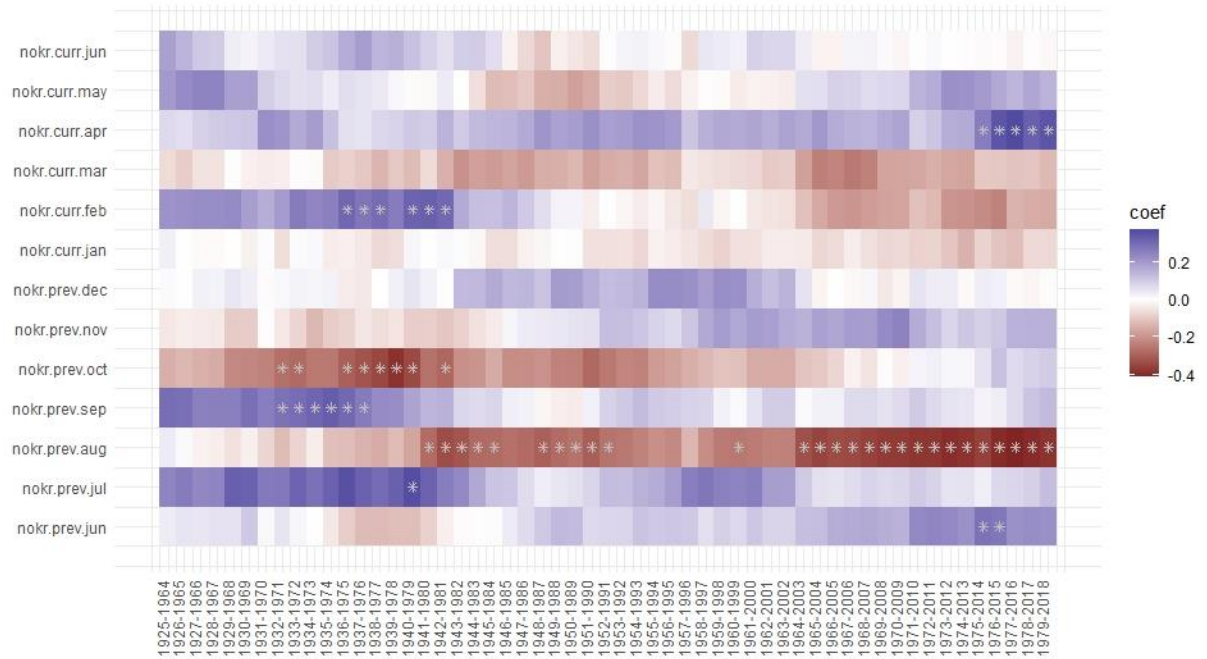


13. pielikums. Statistiski būtiskās korelācijas starp nokrišņu summu (nokr) un *Betula nana* atlikumu hronoloģijām Teiču teritorijā 40 gadu slīdošajā periodā. + norāda uz statistiski būtisko periodu.

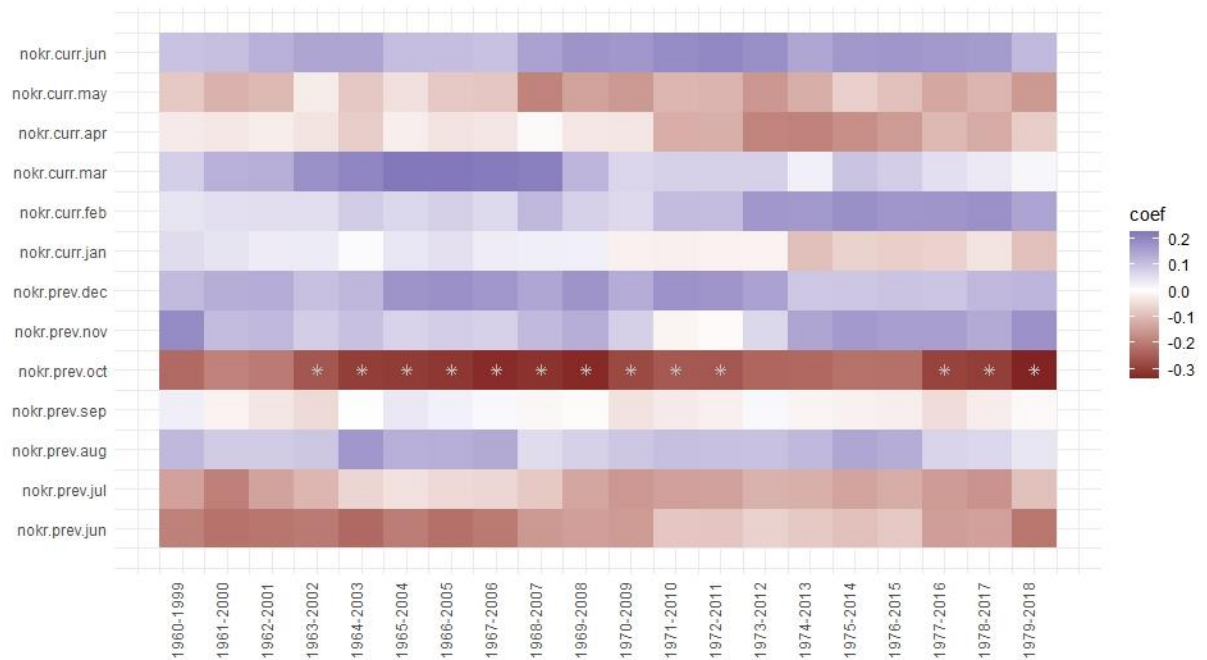
Annex 13. Statistically significant correlation between precipitation sum (nokr) and *Betula nana* residual chronologies in Teiči site over a 40-year sliding period. + indicates the statistically significant period.

Piezīmes/note: curr – tekošā gada/current year; prev – iepriekšējā gada/previous year.

Teiču augstais purvs/ Teiči raised bog



Teiču purvainais mežs/Teiči bog woodland

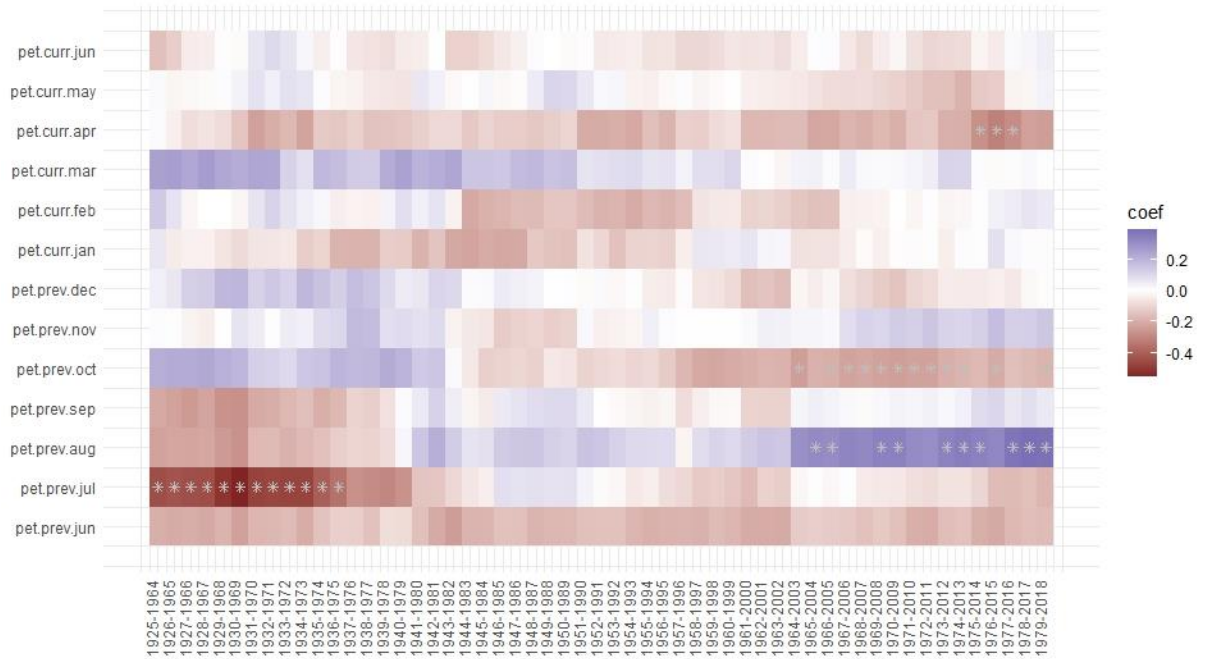


18. pielikums. Statistiski būtiskās korelācijas starp iztvaikošanas indeksu (pet) un *Betula nana* atlikumu hronoloģijām Teiču teritorijā 40 gadu slīdošajā periodā. + norāda uz statistiski būtisko periodu.

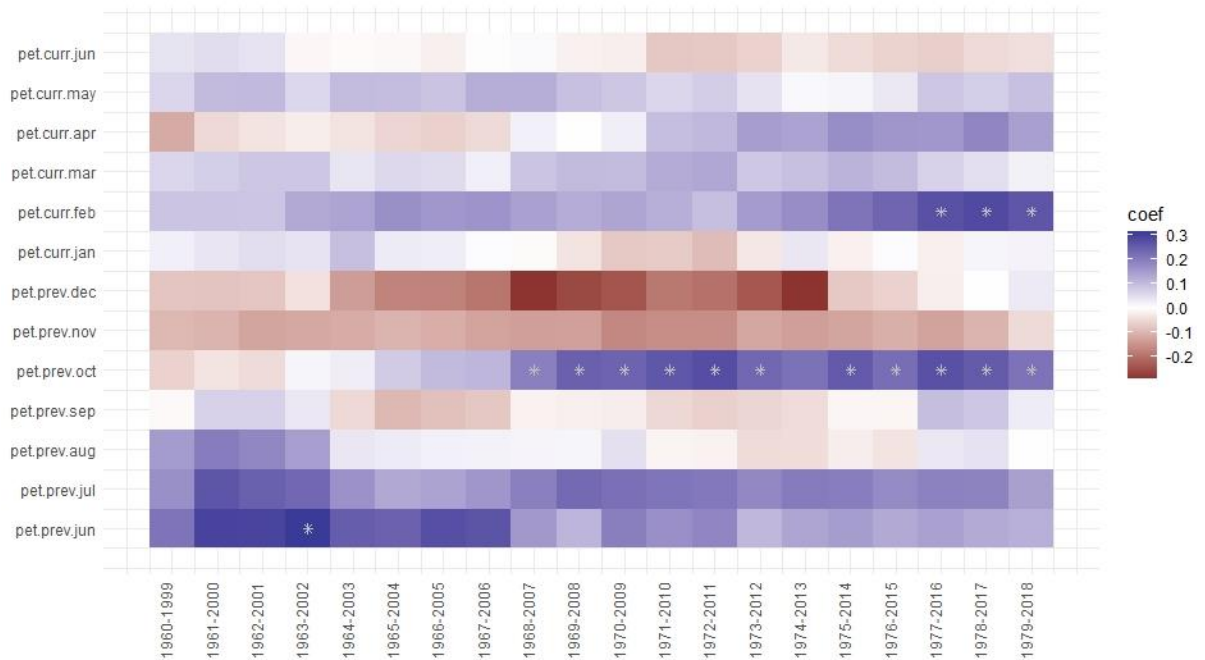
Annex 18. Statistically significant correlation between potential evaporation index (pet) and *Betula nana* residual chronologies in Teiči site over a 40-year sliding period. + indicates the statistically significant period.

Piezīmes/note: curr – tekošā gada/current year; prev – iepriekšējā gada/previous year.

Teiču augstais purvs/ Teiči raised bog



Teiču purvainais mežs/Teiči bog woodland

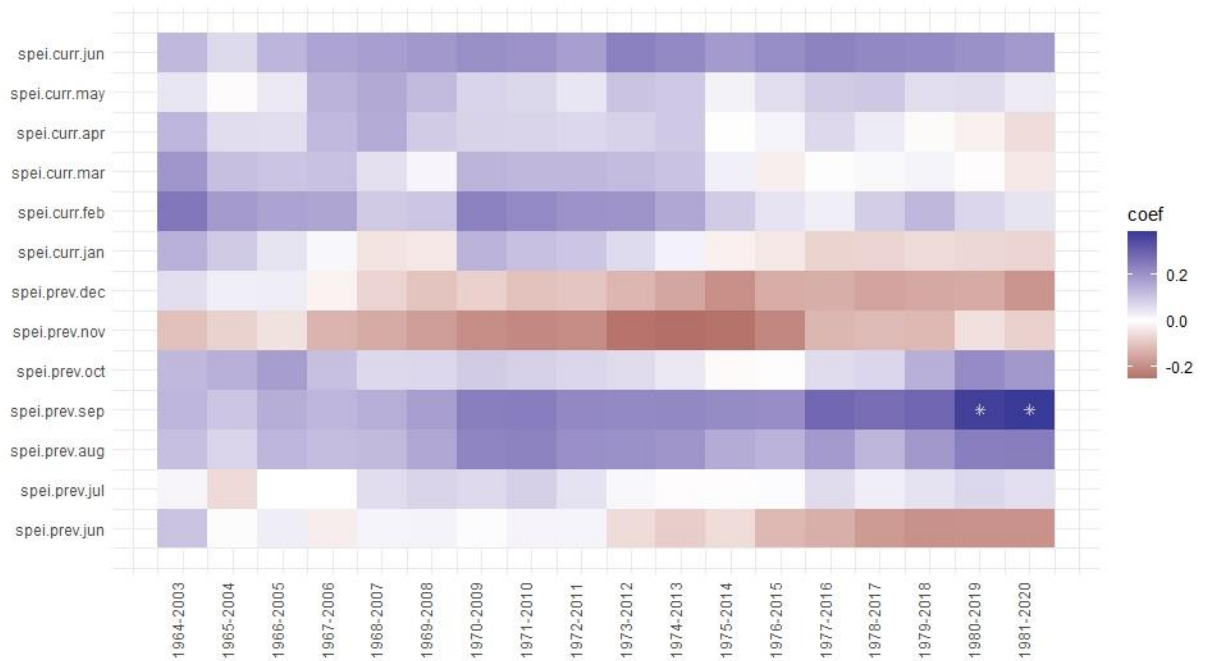


22. pielikums. Statistiski būtiskās korelācijas starp sausuma indeksu (spei) un *Betula nana* atlikumu hronoloģijām Pundurezera teritorijā 20 un 40 gadu slīdošajā periodā. + norāda uz statistiski būtisko periodu.

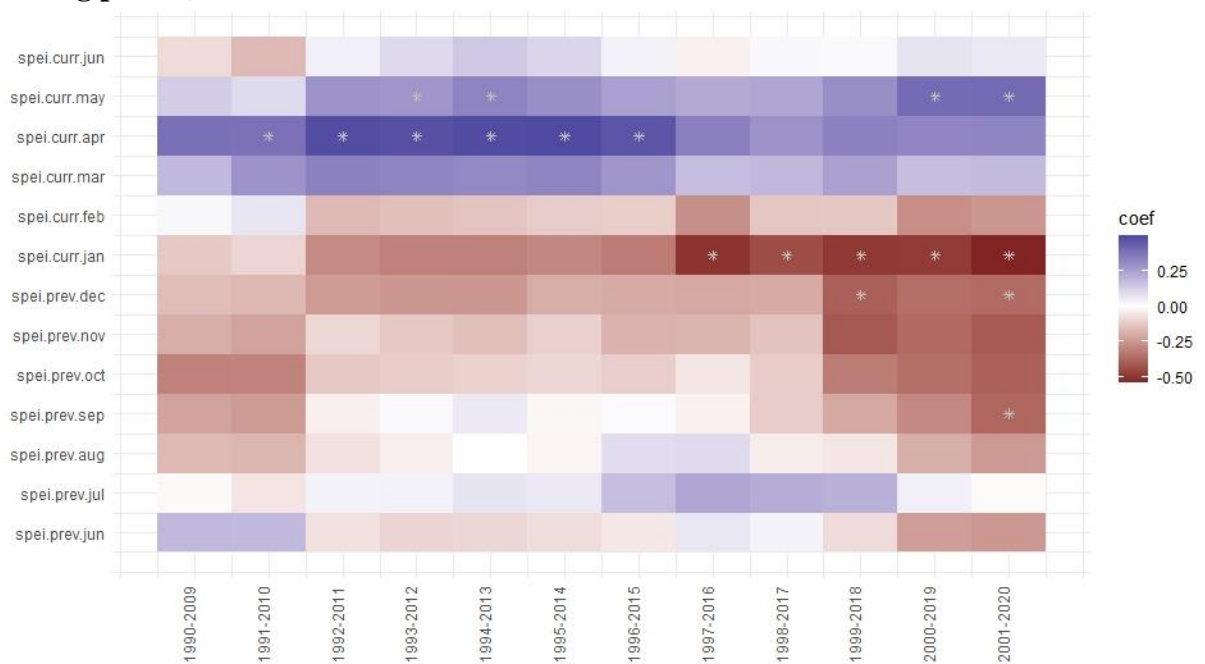
Annex 22. Statistically significant correlation between standardized precipitation evapotranspiration index (spei) and *Betula nana* residual chronologies in Pundurezers site over a 20 and 40-year sliding period. + indicates the statistically significant period.

Piezīmes/note: curr – tekošā gada/current year; prev – iepriekšējā gada/previous year.

Pundurezera augstais purvs/Pundurezers raised bog



Pundurezera pārejas purvs ar *Eriophorum vaginatum* (20 gadu slīdošajā periodā)/Pundurezers transition mire with *Eriophorum vaginatum* (over a 20-year sliding period)

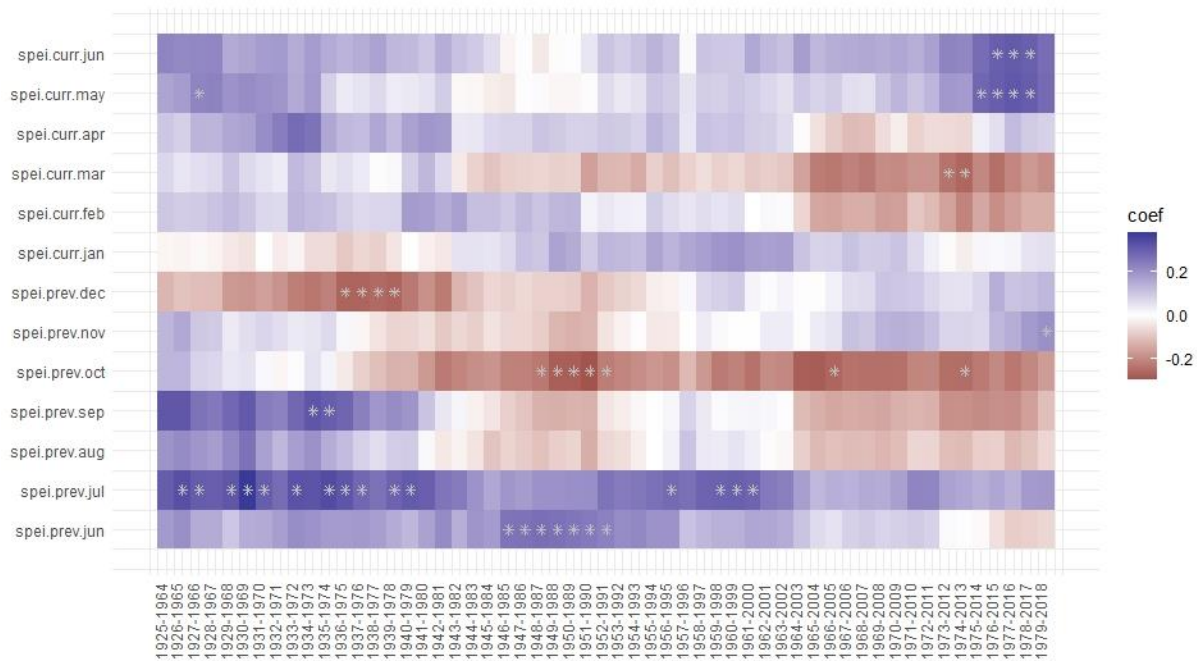


23. pielikums. Statistiski būtiskās korelācijas starp sausuma indeksu (spei) un *Betula nana* atlikumu hronoloģijām Teiču teritorijā 40 gadu slīdošajā periodā. + norāda uz statistiski būtisko periodu.

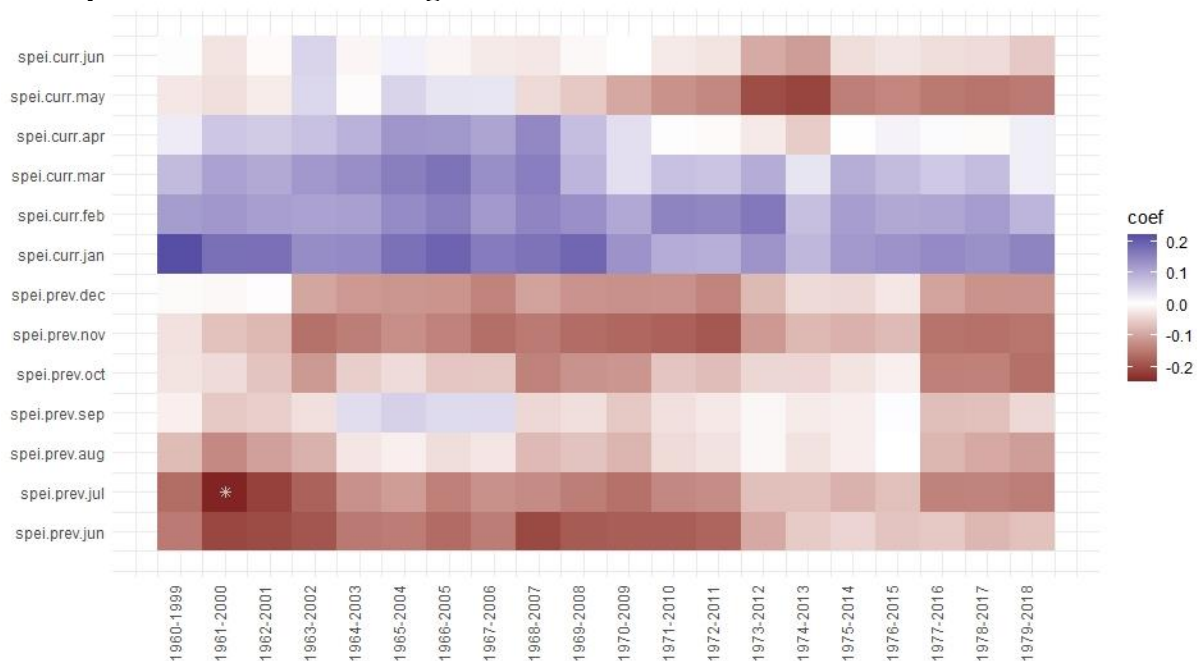
Annex 23. Statistically significant correlation between standardized precipitation evapotranspiration index (spei) and *Betula nana* residual chronologies in Teiči site over a 40-year sliding period. + indicates the statistically significant period.

Piezīmes/note: curr – tekošā gada/current year; prev – iepriekšējā gada/previous year.

Teiču augstais purvs/ Teiči raised bog



Teiču purvainais mežs/Teiči bog woodland

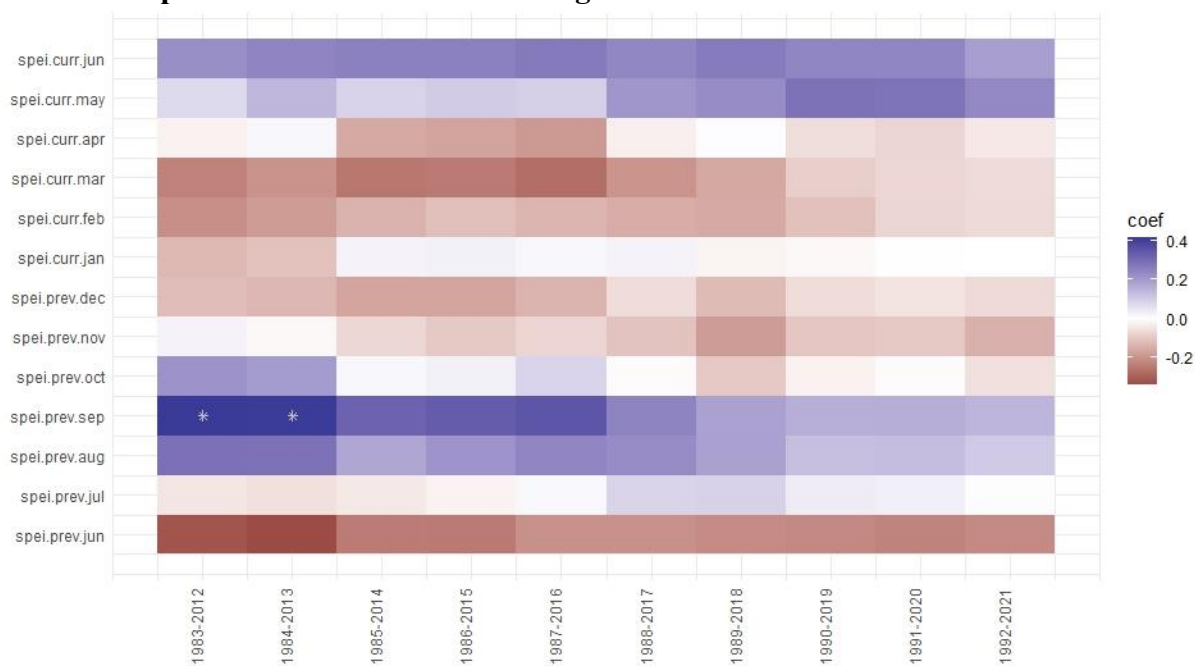


24. pielikums. Statistiski būtiskās korelācijas starp sausuma indeksu (spei) un *Betula nana* atlikumu hronoloģijām Kinkaasku purvainajā mežā teritorijā 40 gadu slīdošajā periodā. + norāda uz statistiski būtisko periodu.

Annex 24. Statistically significant correlation between standardized precipitation evapotranspiration index (spei) and *Betula nana* residual chronologies in Kinkaaski bog woodland site over a 40-year sliding period. + indicates the statistically significant period.

Piezīmes/note: curr – tekošā gada/current year; prev – iepriekšējā gada/previous year.

Kinkaasku purvainais mežs/Kinkaaski bog woodland



Maģistra darbs “Pundurbērza *Betula nana* veģetatīvā augšanas dinamika” izstrādāts LU Bioloģijas fakultātē.

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

Autore: Madara Margita Metāle

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: Dr. biol., asoc.prof. Iluta Dauškane 14.11.2022.

Recenzents: Dr. biol. Doc. Didzis Tjarve

Darbs iesniegts LU Bioloģijas fakultātē 14.11.2022.

Lietvede:

Darbs aizstāvēts Maģistra gala pārbaudījuma komisijas sēdē

prot. Nr. , vērtējums

Komisijas sekretārs/e: