

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Česká
zemědělská
univerzita
v Praze**

**Tloušťkový přírůst borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na
horní hranici lesa v pohořích severního Turecka**

Diplomová práce

Autor: Bc. Simona Lerchová

Vedoucí práce: Ing. Jan Vítámvás, Ph.D.

Konzultant: Mgr. Martin Dušátko

Praha 2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Simona Lerchová

Lesní inženýrství

Lesní inženýrství

Název práce

Tloušťkový přírůst borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na horní hranici lesa v pohoří severního Turecka

Název anglicky

Diameter increment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on the treeline in the mountains of northern Turkey

Cíle práce

- 1) Experimentální část má za cíl zhodnocení dynamiky přírůstu borovice lesní na horní hranici lesa v pohoří severního Turecka (Bolu Daglari, Ilgaz Daglari a Kackar Daglari)
- 2) Vyhodnotit vztah mezi šířkou letokruhů a klimatickými faktory (srážky, teploty, případně modelová data dostupnosti CO₂)

Metodika

1. Téma literární rešerše by se mělo týkat dendrochronologie a jejího využití a v současnosti používaných metod. Dále tloušťkového přírůstu, reakce borovice na klimatické změny, detailů reakcí dřeviny a dendrochronologických metod, potřebných k vyhodnocení změn přírůstu.
2. Praktická část práce bude postavená na změření šířek letokruhů sebraných vzorků (30-35 jedinců na lokalitu) ze tří lokalit (změření šířek letního a jarního dřeva) a jejich zpracování a detrendace v programu PAST, tak aby bylo možné vyhodnotit vliv klimatu, případně stanovištních podmínek.
3. Výsledky by měly být vyhodnoceny s použitím dostupných klimatických databází a vyhodnocení by mělo zahrnovat porovnání růstu borovice na třech lokalitách a popis trendů souvisejících s globální klimatickou změnou, vlivy počasí apod.

Harmonogram zpracování:

Duben 2021 — Zadání DP

Duben–prosinec 2021 — Studium literatury

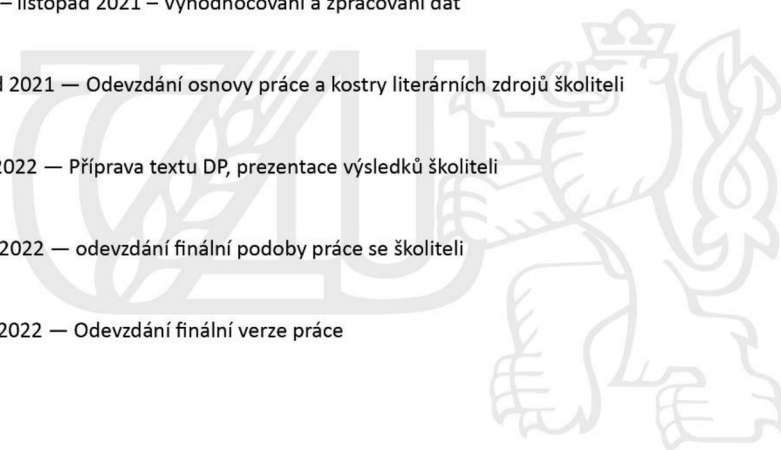
Červen – listopad 2021 – Vyhodnocování a zpracování dat

listopad 2021 — Odevzdání osnovy práce a kostry literárních zdrojů školiteli

Leden 2022 — Příprava textu DP, prezentace výsledků školiteli

Březen 2022 — odevzdání finální podoby práce se školiteli

Duben 2022 — Odevzdání finální verze práce



Doporučený rozsah práce

min. 50 stran bez příloh

Klíčová slova

Pinus sylvestris, Turecko, horní hranice lesa, tloušťkový přírůst, dendrochronologie

Doporučené zdroje informací

- Bogino S., Fernández Nieto M.J. & Bravo F. (2009). Climate effect on radial growth of *Pinus sylvestris* at its southern and western distribution limits. *Silva Fennica* 43(4): 609–623.
- Herrero A., Rigling A., Zamora R. (2013). Varying climate sensitivity at the dry distribution edge of *Pinus sylvestris* and *P. nigra*. *Forest Ecology and Management* 308: 50-61.
- Hökkä H., Salminen H., Ahti E. (2012). Effect of temperature and precipitation on the annual diameter growth of Scots pine on drained peatlands and adjacent mineral soil sites in Finland. *Dendrochronologia* 30: 157–165.
- Koprowski M., Przybylak R., Zielski A. et al. (2012). Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland. *International Journal of Biometeorology* 56: 1–10.
- Lévesque M., Rigling A., Bugmann H., Weber P., Brang P. (2014). Growth response of five co-occurring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 197: 1–12.
- Marqués L., Camarero J., Gazol A., Zavala M. (2016). Drought impacts on tree growth of two pine species along an altitudinal gradient and their use as early-warning signals of potential shifts in tree species distributions. *Forest Ecology and Management*. 381. 157-167.
- Martin-Benito D., Beeckman H., Cañellas I. (2013). Influence of drought on tree rings and tracheid features of *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in a mesic Mediterranean forest. *European Journal of Forest Research* 132: 33–45.
- Matías L., Jump AS. (2012). Interactions between growth, demography and biotic interactions in determining species range limits in a warming world: The case of *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management* 282: 10-22.
-

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Jan Vítámvás, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Konzultant

Mgr. Martin Dušátko

Elektronicky schváleno dne 1. 6. 2021

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2021

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 12. 2021

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma "Tloušťkový přírůst borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na horní hranici lesa v pohořích severního Turecka" vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jana Vítámváse, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze, duben 2022

Bc. Simona Lerchová

Mé vřelé díky patří všem, kteří mi přispěli cennými radami či pomocí při zpracování dat a napomohli ke zdárnému dokončení mé práce. Ráda bych poděkovala svému vedoucímu, panu Ing. Janu Vítámvásovi, Ph.D., se kterým jsem absolvovala obě vysokoškolské práce. Velké děkuji se zapálenou svící patří mému konzultantovi Mgr. Martinovi Dušátku, který mi předkládal velmi cenné rady a korekturu. Též skládám poklonu a dík za všechnu pomoc a trpělivost panu Ing. Ondřeji Vostarkovi a nesmím opomenout můj vděk za cenné rady Miloše Rydvala, Ph.D. Na závěr bych ráda poděkovala celému kolektivu dendrolaboratoře a mé rodině, která mě vždy a ve všem podpořila.

Abstrakt

Všeobecně je známo, že teplota je limitním faktorem pro růst stromů na horní hranici lesa. Cílem bylo zhodnotit vliv klimatu na přírůst borovice lesní (*Pinus sylvestris*) rostoucí v Severoanatolském pohoří na území Turecka. Celkem bylo odebráno 170 vývrtů ze tří lokalit Bolu Daglari, Ilgaz Daglari a Kackar Daglari. Dle chronologií letokruhů neměly lokality mezi sebou signifikantní rozdíly. Znamená to, že navzdory významné vzdálenosti mezi lokalitami byl index přírůstu borovice lesní podobný. Z výsledků vyplývá, že na lokalitě Bolu Daglari na horní hranici lesa dle průměrného přírůstu na kruhové základně (BAI) byl největší plošný přírůst oproti ostatním lokalitám. Dále se nezjistil zásadní rozdíl BAI mezi jižní a severní expozicí na lokalitě Ilgaz Daglari. Předpokládalo se, že přírůst borovice lesní na horní hranici lesa budou ovlivňovat teploty, a méně srážky což se potvrdilo. Největší podíl na přírůst měly teploty předchozího a daného roku, u srážek se to odlišovalo na každé lokalitě. Vliv teploty a srážek na přírůst jarního a letního dřeva nebyl dle korelace jednoznačný. Při zhodnocení celého letokruhu v druhé části práce vyšly jednoznačné trendy. Na horní hranici lesa teploty pozitivně ovlivnily přírůst celého letokruhu v předchozím roce od října do listopadu (prosince), v daném roce od února do dubna a v letních měsících od července – srpna (září). V nižších nadmořských výškách na lokalitě Bolu Daglari měl pozitivní vliv na přírůst letokruhu především úhrn srážek od května do srpna a teplota od února do dubna. Podle výsledků na lokalitě Ilgaz Daglari nebyl zaznamenán zásadní vliv expozice terénu na růst ani na klimatické korelace. Z výsledků vyplývá, že klimatická změna bude do budoucna ovlivňovat růst borovice lesní a potvrdila vztah mezi klimatem a přírůstem v různých nadmořských výškách.

Klíčová slova: dendrochronologie, horní hranice lesa, *Pinus sylvestris*, tloušťkový přírůst, Turecko

Abstract

It is generally known that the temperature is the limiting factor for growth of the trees on the upper tree line. The goal was to assess the impact of the climate on growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in the North Anatolian mountains in Turkey region. There were 170 cores in total taken from three locations Bolu Daglari, Ilgaz Daglari a Kackar Daglari. According to the chronology of the tree ring there was no significant difference in between these locations. It means that despite the great distance between the locations the growth index of Scots pine was similar. From the results taken on the tree line in Bolu Daglari location, it is apparent that average growth in the basal area increment (BAI), was the largest growth as opposed to the other locations. There was no other significant difference found between BAI on the south and north Ilgaz Daglari location. There was a assumption that growth of Scots pine on the tree line would be affected more by temperature then precipitation, which was confirmed. The biggest contribution to the growth had the temperatures from previous and current year, the precipitation had different contribution based on the location. According to the correlation the influence of the temperature and precipitation was not clear on the spring and summer growth. When assessing the whole tree ring in the second part of thesis, we could find conclusive trend. On the tree line, the temperatures had positive influence on the growth of the whole tree ring, previous year from October until November (December), and in the given year from February until April and in the summer months from July until August (September). In lower altitudes in Bolu Daglari location had positive influence on the growth of the tree ring primarily precipitation from May until August and temperature from February until April. According to the results in Ilgaz Daglari location, there was not measured any significant influence of the terrain exposition nor any climatic correlation. From the result it is apparent that climate change will have influence in the future on growth of the Scots pine and results have confirmed relation between climate and growth of the Scots pine in different altitudes.

Keywords: dendrochronology, tree line, *Pinus sylvestris*, diameter increment, Turkey

Obsah

1	ÚVOD A CÍLE.....	14
2	LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	15
2.1	Charakteristika borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>).....	15
2.2	Radiální růst letokruhů.....	17
2.3	Reakce přírůstu borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>) na sezonní průběh srážek a teplot.....	18
2.4	Zkoumané lokality.....	20
2.5	Dendrochronologie.....	21
2.6	Přístupy k odběru vzorků.....	21
2.7	Dendrochronologické metody měření.....	22
2.8	Kontrola letokruhových sérií.....	23
2.9	Standardizace letokruhových sérií.....	24
3	Metodika.....	26
3.1	Odběr a uložení vzorků.....	26
3.2	Měření letokruhových sérií.....	27
3.3	Křížové datování.....	27
3.4	Klimatická data.....	29
3.5	Statistické zpracování dat.....	31
4	Výsledky.....	33
4.1	Vliv klimatu na tvorbu jarního a letního dřeva.....	33
4.1.1	Lokalita Bolu K.....	33
4.1.2	Kastamonu.....	34
4.1.3	Kačkar.....	36
4.2	Vliv klimatu na tvorbu letokruhu.....	37
4.2.1	Bolu.....	38
4.2.2	Kastamonu.....	39
4.2.3	Kačkar.....	40

4.3	Změřené přírůsty	41
4.3.1	Vliv nadmořské výšky na přírůst, lokalita Bolu.....	42
4.3.2	Vliv svahu na přírůst – Kastamonu	43
4.3.3	Srovnání přírůstu na lokalitách.....	44
5	Diskuse	49
5.1	Vliv klimatu na přírůst	49
5.2	Zhodnocení přírůstu	52
6	Závěr.....	54
7	Seznam použité literatury	56
8	Přílohy	67

Seznam tabulek

Tabulka 1 Obecné informace o lokalitách.....	26
Tabulka 2 Počty odebraných vývrtů podle lokalit.....	28
Tabulka 3 Přehled průměrných teplot a úhrnu srážek	31
Tabulka 4 Přehled časového rozpětí změřených letokruhů, mezní hodnoty EPS, minimální a maximální hodnoty BAI, minimální a maximální hodnoty průměrů borovic	42
Tabulka 5 Scheffeho test	46
Tabulka 6 Tabulka korelací indexů letokruhové šířky mezi lokalitami na hladině významnosti $p < 0,05$	47
Tabulka 7 Scheffeho test indexů letokruhových šířek	48
Tabulka 8 Minimální a maximální hodnoty indexů letokruhových šířek a směrodatná odchylka	69
Tabulka 9 Studentův LSD test indexů letokruhové šířky.....	69
Tabulka 10 Studentův LSD test průměrné kruhové základny.....	69

Seznam obrázků

Obrázek 1 Areál rozšíření <i>Pinus sylvestris</i> v Evropě, (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).....	16
Obrázek 2 Mapový výřez studovaných lokalit, zdroj Mapy.cz	20
Obrázek 3 Graf úhrnu srážek a teplot, lokalita Kastamonu	29
Obrázek 4 Graf úhrnu srážek a teplot, lokalita Bolu	30
Obrázek 5 Graf úhrnu srážek a teplot, lokalita Kačkar	30
Obrázek 6 Korelace šířky jarního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Bolu K vrchol	33
Obrázek 7 Korelace šířky letního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Bolu K vrchol	34
Obrázek 8 Korelace šířky letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Bolu K vrchol	34
Obrázek 9 Korelace šířky jarního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Kastamonu	35
Obrázek 10 Korelace šířky letního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Kastamonu	35
Obrázek 11 Korelace šířky letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Kastamonu	36
Obrázek 12 Korelace šířek jarního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Kačkar.....	36
Obrázek 13 Korelace šířek letního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Kačkar.....	37
Obrázek 14 Korelace šířky letokruhů, lokalita Kačkar	37
Obrázek 15 Korelace šířky letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Bolu K vrchol.....	38
Obrázek 16 Korelace šířky letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Bolu P vrchol.....	39
Obrázek 17 Korelace šířek letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Kastamonu jižní svah.....	39
Obrázek 18 Korelace šířek letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Kastamonu severní svah.....	40
Obrázek 19 Korelace šířek letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Kačkar	41
Obrázek 20 Srovnání indexů letokruhových šířek mezi Bolu K a Bolu P mezi lety 1955-2018	43

Obrázek 21 Průměrný přírůst kruhové základny (BAI) mezi lety 1955-2018	43
Obrázek 22 Srovnání jižního a severního svahu dle průměrného BAI na lokalitě Kastamonu mezi lety 1933-2018	44
Obrázek 23 Vynesené indexy letokruhových šířek	44
Obrázek 24 Srovnání průměrného BAI všech lokalit mezi lety 1917-2018	45
Obrázek 25 Krabicové grafy průměrných přírůstů kruhové základny BAI	45
Obrázek 26 Srovnání indexů letokruhových šířek	46
Obrázek 27 Vynesené indexy letokruhových šířek do krabicových grafů.....	47
Obrázek 28 Změna kumulativního přírůstu dle průměrného BAI mezi lety 1917-2017	48
Obrázek 29 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1787-2018, lokalita Bolu K	67
Obrázek 30 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1827-2017, lokalita Bolu P	67
Obrázek 31 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1868-2017, lokalita Kastamonu severní svah.....	68
Obrázek 32 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1650-2017, lokalita Kastamonu jižní svah	68
Obrázek 33 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1621-2018, lokalita Kačkar	68

1 ÚVOD A CÍLE

Probíhající globální změna klimatu nás nutí zabývat se otázkou, jakými vlivy působí klimatické parametry na přírůst dřevin. Této problematice se věnuje obor dendroklimatologie (Speer 2010), který se snaží rekonstruovat průběh teplot a srážek v minulosti z dochovaných letokruhových sérií.

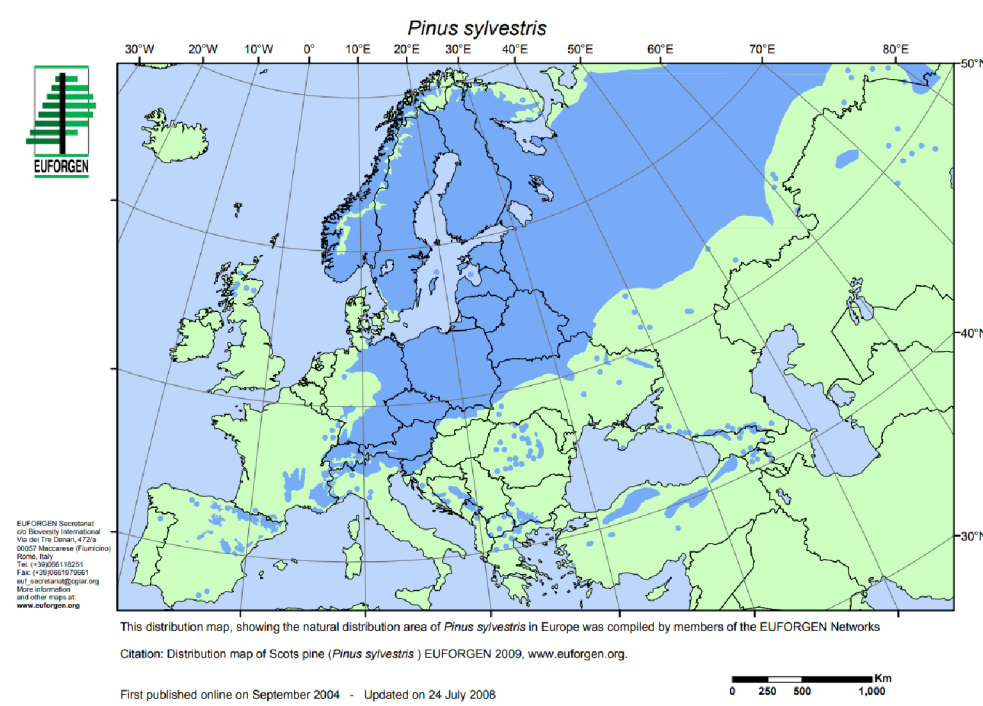
Výzkumné lokality se nachází v Severoanatolském pohoří na území Turecka na horní hranici lesa. Za cílový druh byla zvolena borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Studium dřevin rostoucí na horní hranici lesa je zejména vhodné s ohledem na větší citlivost změny růstu dřeviny se změnou klimatu, a díky tomu lze lépe pozorovat jejich reakci na změnu ať už klimatu nebo jiného faktoru (Shrestha et al. 2015). Garzón et al. (2008) predikují, že se v důsledku klimatické změny areál borovice lesní posune až do nejvyšších poloh a původní vysokohorské druhy vymizí. Většina studií o vlivu klimatických proměnných na růst borovic se zaměřuje na Evropu (Läänelaid a Eckstein 2003, Henttonen et al. 2004) nebo jednotlivé země – Švýcarsko (Eilmann et al. 2006) a Polsko (Wilczyński & Skrzyszewski 2002). Další studie pochází z Mongolska (De Grandpré et al. 2011) a jižní Sibiře (Arzac et al. 2021), ale jen málo studií se věnovalo borovicím na jižní hranici výskytu, která zasahuje také do Turecka (Köse et al. 2013; Martin-Benito et al. 2018). V první části diplomové práce je z odborné literatury sepsán vztah mezi šířkou letokruhů a klimatickými faktory, zvláště srážkami a teplotou, a přispívá k poznání reakce borovice lesní na tyto změny. Druhá část práce se věnuje zhodnocení dynamiky přírůstu borovice lesní na horní hranici lesa v pohořích severního Turecka (Bolu Daglari, Ilgaz Daglari a Kackar Daglari) na základě přírůstu na kruhové základně (BAI) a indexů přírůstu. Byly porovnávány rozdíly v závislosti odlišné nadmořské výšky v rámci lokality Bolu Daglari, vliv expozice terénu (jih, sever) na lokalitě Kastamonu (Ilgaz Daglari) a rozdíly dynamiky přírůstu mezi všemi lokalitami.

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Charakteristika borovice lesní (*Pinus sylvestris*)

Borovice lesní (*Pinus sylvestris*) patří do rodu *Pinus* čeledi borovicovité (*Pinaceae*) (Úradníček & Chmelař 1995) a má nejrozšířenější geografický areál ze všech borovic (Ottův naučný slovník 1997). Je to dřevina s převážně přímým válcovitým kmenem, průběžně se čistícím od větví. Tvar kmene se může lišit, například na kamenitých půdách mívá kmen různá zakřivení (Pleva 1962). Horské druhy borovic bývají rázu až křovitého, kmen mají poměrně slabý a poléhavý. Jehlice vyrůstají po dvou na brachyblastu. (Ottův naučný slovník 1997; Kremer 1995). Borovice lesní se dožívá věku 300 a vzácně i 500 let (Úradníček et al. 2009). Potenciál regenerace borovice je dle Musila & Hamerníka (2007) nejvyšší na plochách zasažených požáry, kde má semeno vhodné podmínky k vyklíčení a zakořenění díky minerální půdě na spáleništi.

Borovice je velmi plastická dřevina snášející různé extrémní podmínky růstu. O historickém rozšíření borovice nás informuje analýza pilových zrn. S její pomocí jsme schopni rekonstruovat areál rozšíření až do pozdního glaciálu. Například v období Boreálu pokrývaly horské polohy Evropy březoborové lesy s lískou, později i se smrkem (Neuhäuslová 1998). V dnešní době se borovice vyznačuje velkým areálem rozšíření (obrázek 1). Severní hranice se pohybuje okolo 60–70° s. š. a na jižní hranici přechází souvislý výskyt do četných izolovaných ostrůvků, kde borovice nevytváří jednodruhové porosty (Ottův naučný slovník 1997). Na severo-j jižním gradientu se mění také typická nadmořská výška výskytu. V jižním areálu rozšíření je borovice spíše horským druhem v nadmořských výškách 1500–2000 m n. m. (Úradníček 2003), ale vyskytuje se i ve výšce 2600 m n. m. (Euforgen 2021). Matía & Jump (2012) však do budoucna očekávají změnu jejího rozšíření na jižní i severní hranici kvůli změnám podnebí. V jižní části predikují větší stres působením sucha a ústup nebo vymizení borovice z mnoha enkláv. Například na Pyrenejském poloostrově se výskyt podle Garzóna et al. (2008) stáhne do vyšších nadmořských výšek. Navzdory těmto predikcím ale Matía & Jump (2012) připouští, že by občasné velmi deštivé roky mohly tento vývoj zpomalit. Zásadním faktorem zrychlujícího se ústupu borovice z jižní hranice stále zůstává extrémní sucho.



Obrázek 1 Areál rozšíření *Pinus sylvestris* v Evropě, (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org)

Z hlediska stanoviště preferuje borovice lesní středně suché hlinité až hlinitopísčité hluboké půdy (Ottův naučný slovník 1997; Kremer 1995). V extrémním případě snese podmáčená, ale i velmi suchá stanoviště (Úradníček et al. 2009). Její odolnost je do jisté míry zapříčiněna silnější borkou a křovným kořenem, který je schopen dosáhnout velké hloubky (Musil & Hamerník, 2007). V jižní části rozšíření roste na suchých a skalnatých stanovištích, sutích, drovinách nebo mělkých půdách z velké části na dolomitu či vápenci. Její dobrou přizpůsobivost potvrzuje i Poleno et al. (2009) a uvádějí velmi vysokou toleranci k suchu, mrazům a vysokým teplotám. Tuto vlastnost potvrzuje Leugnerová (2007) a zmiňuje, že borovice dokáže přežít ve Verchojanském pohoří, kde je vegetační doba kratší než 90 dní, teploty dosahují až k -64 °C. Hökkä et. al (2012) porovnali ve Finsku jehličnaté dřeviny z pohledu jejich růstu na různých minerálních půdách a zjistili, že na rašeliništích je růst limitován nadměrným zamokřením. Výsledky potvrdily, že klimatické podmínky ovlivňují růst borovice lesní odlišným způsobem na vysušených rašeliništích a na minerálně bohatých půdách. Ze studie vyplývá, že borovice na vysušených rašeliništích je ovlivňována variabilitou vody a prospívá jí spíše suchý červenec, kdy není příliš ovlivňována nadměrnou půdní vlhkostí. V Turecku Altay (2019) potvrdil, že *P. sylvestris* v okolí Istanbulu roste i na písčítých a hlinitých půdách se středně kyselým, nevápenatým a nezasoleným substrátem s bohatým obsahem organické hmoty.

Borovice lesní se řadí mezi pionýrské dřeviny, světelné nároky má vysoké a jako první dokáže obsazovat volné plochy. Nejhuře přežívá v silném zástínu, kde může dojít až k uhynutí (Úradníček et al. 2001). Slavíková (1986) ovšem borovici považuje za S – stratéga, který je dobře adaptován na extrémní podmínky. Úradníček et al. (2001) jako typického s – stratéga uvádí borovici osinatou (*Pinus aristata Engelm.*) a borovici lesní (*Pinus sylvestris*) řadí právě mezi pionýrské dřeviny.

V Turecku se borovice vyskytují v nesmíšených i smíšených porostech například s *Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl., *Abies nordmanniana* (Steven) Spach, *Picea orientalis* (L.) Peterm., *Fagus orientalis* Lipsky, *Pinus nigra* J. F. Arnold (Bozkurt et al. 2021). Taktéž dokáže vytvářet výčetážové porosty (Brichta et al. 2020) s velmi početnou přirozenou obnovou především v mírném zástínu mateřského porostu (Barbeito et al. 2011).

2.2 Radiální růst letokruhů

Dřevní hmota přirůstá na vnějším obvodu kmene a její růst je v mírném pásu přerušen v zimních obdobích. Každý rok vznikne pruh dřeva zvaný letokruh, který je odlišitelný od předcházejícího i následného roku. Na příčném řezu kmenem se proto ukazuje série letokruhů, které dokládají individuální historii daného stromu. Vědní obor, který tyto letokruhové série zkoumá, se nazývá dendrochronologie. Velikost přírůstu v daném roce závisí na podmínkách prostředí a na biochemických a dalších procesech. Schweingruber (1996) uvádí řadu faktorů, které mají vliv na tvorbu buněk. První skupinou jsou „proměnlivé“ faktory. Sem autor řadí počasí, vlhkost v půdě, konkurenci a minerální výživu. Mezi „stálé“ faktory řadí klima, reliéf a typ půdy. Následují „náhodné“ faktory jako jsou živelné pohromy, napadení infekcemi a škůdci. Tyto okolnosti ovlivňují rychlost růstu během celého života dřevin (Fritts 1976). Růst v radiálním směru je tvořen dělením buněk kambia, jeho růstem a maturací. Tímto procesem vznikají nová pletiva, směrem ven od kmene to je floém, který zajišťuje transport látek tvořených fotosyntézou. Při vnitřní straně letokruhu přirůstá xylém, který především slouží k transportní a stabilizační (opěrné) funkci. Tento růst je ovlivněný komplexem hormonů. Především auxinem, který podněcuje radiální přírůst (Pallardy 2008). V oblastech s výraznou sezonalitou podnebí se během roku zpravidla vytváří jeden letokruh.

U jehličnanů vznikají během jedné sezóny dva typy dřeva – jarní a letní. Tyto dva typy jsou od sebe snadno vizuálně odlišitelné, což usnadňuje správnou identifikaci hranic letokruhů. Jako první vznikají tenkostěnné široké tracheidy, které označujeme jako jarní dřevo. Letní dřevo je tvořené zploštělými a tlustostěnnými tracheidy (Schweingruber 2007). Těžší je identifikace letokruhů u kruhovitě pórovitých listnatých dřevin, a ještě obtížnější je u listnatých roztroušeně pórovitých dřevin, jako je buk, bříza, javor a lípa (Drápela & Zach 1995; Požgaj et al. 1993). Tvorba letokruhu nemusí být po celé délce kmene stejná, může se stát, že se v určité části nevytvoří. Tento jev se označuje jako „chybějící letokruh“ a je typický pro stromy omezené v růstu nebo velmi staré jedince (Schweingruber 1996). Oproti tomu mohou vzniknout i formace podobající se letokruhům, ty jsou označovány jako „falešné letokruhy“. Tento jev může být zapříčiněn environmentálním stresem, jako je sucho nebo napadení škůdcem v době kambiálního růstu (Pallardy 2008). Radiální růst je také ovlivněn věkem a tloušťkou stromu. Mladší a menší jedinci mívají větší přírůst než starší. To je zapříčiněno geometrickým omezením ukládání objemu biomasy v radiálním směru stromu díky nabývajícimu průměru kmene (Cook & Kairiukstis 1990). Tento jev je nazýván heteroskedascita, prakticky se jedná o změnu průměrné velikosti letokruhů za určitý čas (Helama et al. 2004). Schweingruber (1996) uvádí, že při stárnutí dřeviny dále dochází ke zpomalování dělení a diferenciaci buněk, tedy přírůstu. Dále lze rozdělit dřevo na juvenilní, které je typické progresivním přírůstem. Vyskytuje se u dřevin v mládí a lépe reaguje na změny. Dřevo dospělé se vyznačuje přibližně stejnou velikostí buněk. Dřevo borovice lesní (*Pinus sylvestris*) je tvořeno z velké části tracheidy, které tvoří poměrně pravidelné radiální řady. V radiálním přírůstu převažuje jarní podíl dřeva a to je od letního odděleno poměrně zřetelným přechodem. Ve dřevě jsou také obsaženy horizontálně i vertikálně směřované pryskyřičné kanálky (Vinter 2009).

2.3 Reakce přírůstu borovice lesní (*Pinus sylvestris*) na sezonní průběh srážek a teplot

Borovice lesní je velmi důležitou složkou mnoha ekosystémů, ovlivňující hydrologické či požární režimy. Kombinací slunečního záření a nedostatku srážek v letním období se zvyšuje pravděpodobnost požárů (Sabate' et al. 2003), které favorizují zmlazování borovic (Richardson & Rundel 1998). Klimatická změna způsobuje významný pokles srážek ve Středomoří, například v Řecku (Xoplaki et al. 2000) nebo

v jihozápadní části Turecka (Türkes 2003). Vliv na přírůst letokruhů má spousta faktorů. Borovice rostoucí na horní hranici lesa jsou limitovány nízkými teplotami (Holtmeier 2009) a dále atmosférickým tlakem, vlhkostí, slunečním svitem, povětrnostními podmínkami, délkou vegetační sezóny, geologickým podložím a vlivem člověka na dané ploše (Koerner 2007). V našich podmínkách začíná radiální přírůst v květnu a končí v září, ve vyšších nadmořských výškách začíná i končí později (Šebík & Polák 1990). V Polsku přírůst ovlivňuje především teplota v únoru a březnu (Koprowski et al. 2012). Vliv věku na variabilitu přírůstu prokázali ve studii Bogino et al. (2009), mladé stromy vykazovaly variabilitu vyšší. Přírůst byl ovlivňován suchem dle vztahu mezi indexem sucha (DRI) a radiálním přírůstem. Obecně lze říci, že růst v chladnějších oblastech je podmíněn především teplotou a v suchých oblastech srážkami (Cook & Kairiukstis 1990). U borovice lesní rostoucí na horní hranici lesa je radiální růst prioritně ovlivňován teplotou aktuálního roku a výškový růst je závislý na teplotách předchozího roku (Junttila & Heide 1981; Lanner 1964). Lindholm et al. (2000) studovali klimatické signály z letokruhových chronologií borovice lesní (*Pinus sylvestris*) nacházející se v přirozených porostech jižní, střední a severní části boreálních lesů ve Finsku. Analýza prokázala, že v severní části měla teplota zásadní vliv na růst borovice ve vyšších nadmořských výškách, zatímco směrem na jih rostl vliv srážek. Herrero et al. (2013) zaznamenali, že borovice lesní je ve vysokých nadmořských výškách více stresována na jižních svazích a vykazovala tam pomalejší růst než borovice na severních svazích. Tím potvrdili, že i v horských suchých oblastech je teplotní limit zásadnější pro růst než variabilita srážek. De Grandpré et al. (2011) spojili šířku jarního dřeva na studovaném území v Mongolsku se srážkami předchozího roku před vytvořením letokruhu a podmínkami ranného vegetačního období. Teplota pak působila na růst dřeviny ve zkoumaném roce a ovlivnila především tvorbu letního dřeva. Borovice na horní hranici lesa ve Skotsku ovlivňuje podle Grace & Nortona (1990) především teplota na konci zimy, ale i v létě, kdy teplota korelovala s přírůstem a zimní korelace přisuzovali mrazovému suchu.

Další rekonstrukce srážek byla také provedena u borovice černé (*Pinus nigra*) nacházející se v západním Turecku. Ukázalo se, že je velmi citlivá na proměnlivost klimatu. Výsledky vykazovaly pozitivní reakci na srážky od května do srpna. Pozitivně reagovala na teplotu během jara v březnu a dubnu a negativně během pozdního jara a léta od května do června (Köse et al. 2013). Lévesque et al. (2014) uvádějí, že růst borovice

lesní v centrálních Alpách je ovlivňován především množstvím srážek v předchozím létě a aktuálním deficitem vody. Navrhují, že *Pseudotsuga menziesii* (var. *menziesii*) a *Pinus nigra* by mohly být vhodnou alternativou místních druhů dřevin na suchých lokalitách ve střední Evropě.

2.4 Zkoumané lokality

Oblast výzkumu se nazývá Kuzey Anadolu Dağları neboli Severoanatolské hory. Na obrázku 2 jsou vyznačeny šipkami lokality. Žlutá šipka ukazuje na lokalitu Bolu Dagları (Bolu), modrá šipka na Ilgaz Dagları (Kastamonu) a fialová šipka na Kaçkar Dagları (Kačkar) Pohoří představuje severní anatolskou větev alpského pásu rozprostírající se podél Černého moře, která vznikla v důsledku alpického vrásnění (www.1).

Pohoří Černého moře se dělí se na tři části, a to na východní, centrální a západní. Nejvýše položená část těchto hor je východní, zejména v pohoří Kaçkar (turecky Kaçkar Dağları) ve kterém se nachází jedna ze studovaných oblastí Kaçkar Dagları. Pro tuto oblast je nejvyšší horou Kaçkar (turecky Kaçkar Dağı) s výškou 3937 m n. m. (www.2; www.3)



Obrázek 2 Mapový výřez studovaných lokalit, zdroj Mapy.cz

Vrcholy východní části pohoří se pohybují téměř všude ve 2000 m n. m. a jsou poměrně strmé. Střední část hor mírně klesá a ve vyšších polohách se rozkládají velké pláně, které pozvolně sestupují v centrální části do hlubokých údolí směrem k Černému moři (www.2). V západní části Severoanatolského pohoří se terén opět zvyšuje, ale není

vyšší, než ve východní části. Uprostřed západní části se nachází studované území Bolu Daglari, Ilgaz Daglari (www.3)

Pás hor podél moře s výškou mezi 600–800 m n. m. skýtá nejvhodnější podmínky pro růst dubů, habrů, buků z důsledků příznivého působení moře na teplotu a srážky. Nad 800 m n. m. se stává oblast s deficitními srážkami méně příznivá. Nad 1 200 m n. m. převažuje smrk a jedle. Směrem do vnitrozemí se podmínky mění a převládají především jehličnaté dřeviny jako je borovice (www.2; www.3). Klima je na studovaných plochách mírné oceánické. Směrem na jih do vnitrozemí ubývá srážek i vlhkého vzduchu a začínají se projevovat vlivy kontinentálního klimatu (www.3).

2.5 Dendrochronologie

Dendrochronologie je vědní obor, který se zaměřuje na analýzu přírůstu letokruhů pro datování minulých událostí a díky ní jsme schopni rekonstruovat přírodní procesy. Rozvinula se v globální fenomén, který je relevantní pro využití v mnoha oborech (Dean 1997). Dendrochronologie se dělí na různé podobory, ve kterých lze její postupy využít, zejména na dendroarcheologii, dendroklimatologii, dendroekologii, dendrogeomorfologii a dendrohydrologii (Drápela & Zach 1995). Je to velmi široce použitelná a přesná metoda. Od roku 2000 došlo podle Čufara (2007) po celém světě k významnému pokroku ve využití dendrochronologie. Ačkoliv není datování nikdy lehké ani pro rozvinuté laboratoře, dendrochronologicky analyzovat lze i nábytek, umělecké předměty, hudební nástroje, budovy či lodní trámy.

2.6 Přístupy k odběru vzorků

Před samotným procesem měření musí být nejprve odebrány vzorky. Přístupů k odběru je více a obecně se dělí na destruktivní nebo nedestruktivní. Zvolený postup je vždy závislý na tom, jaké jsou požadavky a cíle výzkumu. Mezi nedestruktivní metody můžeme zařadit měření dendrometrem, který pomocí milimetrové průměrky systematicky zaznamenává data o přírůstu po celou dobu instalace (Kuželka et al. 2014). Data z přístrojů lze snadno stáhnout a dále pomocí příslušných programů zpracovávat. Denzitometry jsou ideální k získání informace o průběhu přírůstu v rámci jedné nebo několika sezón. Zjistíme, v kterých měsících přirostl jaký podíl dřevní hmoty. Nevýhodou je, že neposkytuje informace o minulosti. Za další nedestruktivní metodu odběru vzorků

se považuje odběr vývrtů Presslerovým přírůstovým nebozezem. Jedná se o dutý vrták, který umožní získat několik mm tlustý váleček obsahující příčný řez skrze letokruhy. Na kmeni vznikne drobné poškození o ploše zhruba 1 cm², které je vhodné zatřít štěpařským voskem. Nepochybně destruktivní metodou je naopak pokácení stromu a odebrání celého kotouče. Výhodou kotouče je komplexnější informace o růstu než v případě vývrtu, protože lze měřit přírůsty z různých stran. Lze také odebrat plátky dřeva, která se mohou využít například pro denzitometrická měření. Využití dendrochronologie, jak již bylo zmíněno, je široké a způsob získání dat musí být zvolen v závislosti na výzkumném záměru. Například při průzkumu svahových deformací Mostecké pánve aplikovali Burda & Tumajer (2016) obě metody odběru vzorků. Analyzovali jak vývrty, tak odebrané kotouče ze smýcených stromů. Zkoumali variabilitu přírůstu v oblasti, kde je častý výskyt sesuvů a eroze půdy, aby zhodnotili jednotlivé geomorfologické procesy. Dendrochronologická analýza je pak vhodná pro posouzení stavu lokalit a vyhodnocení přírodního ohrožení, aby šlo případně navrhnout, zda je vhodné využít tyto lokality k rekreačním účelům.

2.7 Dendrochronologické metody měření

Pokud se získají jednotlivé vzorky, je potřeba zvolit, jak je změřit, aby se mohla získaná data dále analyzovat. Nepochybně nejvíce se pracuje s vývrty. Jsou všeobecně snadné na odběr, skladné a nepoškozují příliš samotné stromy. Vzorky se ponechají volně k vyschnutí a poté se lepí na dřevěné desky, na kterých se vzorek vybrousí (Schurman et al. 2019). Takto zpracované vzorky lze měřit různými metodami. Nejvíce používaný je měřicí stůl LINTABTM spolu se softwarovým balíčkem TSAP-Win od firmy RINNTECH[®] (Heidelberg, Německo <http://www.rinntech.com>). Součástí sestavy je také binolupa a počítač. Toto měření je uživatelsky komfortní a velmi přesné. Alternativně lze detekovat letokruhy i ze skenů a fotografií. Důležitý je formát a vysoké rozlišení. V programu Letokruhy verze 2.3 (autorská práva Dan Zahradník, Katedra hospodářské úpravy lesů, FLD, ČZU 2020) lze ze skenu manuálně detekovat hranici letokruhů a program vypočítá tloušťku, počet a kruhovou plochu letokruhů.

Snaha o zrychlení měření posunula vývoj k automatizovaným programům, které detekují hranice. Tato detekce je poměrně účinná na příčných řezech (Wang et al. 2010), pokud nejsou přírůsty příliš malé. Hodí se hlavně pro hospodářské jehličnaté dřeviny. Tradičně se dendrochronologové setkávají s klasickým měřením letokruhů pro křížové

datování nebo paleoklimatické analýzy (Polge 1970). Snaha o zrychlení postupů měření a zkvalitnění výsledků v této oblasti je poněkud náročná. Ve studiu změn klimatu v průběhu historie Země se také rozšířilo využití denzitometrie. Základ rentgenové denzitometrie spočívá na absorpci beta částic (Cameron et al. 1959). Další přístup k měření denzity stojí na základě rentgenového záření a fotografického filmu, mezi které byly umístěny vývrty konstantní tloušťky (Polge 1970). Tomazello et al. (2008) získávali rentgenové snímky na vzorcích získaných destruktivní (potřeba strom vytěžit a získat příčný řez) a nedestruktivní metodou (odebrané vývrty vrtákem). Podle typu nástavce v denzitometru skenuje jak plátky, které lze odebrat například dvoukotoučovou okružní pilou DENDROCUT 2003 (Walesh Electronics, Illnau-Effretikon, Švýcarsko), tak i vývrty. Systém měření QTRS, Itrax a SilviScan byly v roce 2014 a 2015 nejvíce využívané radiometrické metody (Jacquin et al. 2017). Vybavení k měření denzity je ovšem velice drahé a postup je nákladný. Proto Rydval et al. (2004) vyvinuli alternativní způsob zjišťování hustoty dřeva využívající odrazivost modrého světla světelného spektra. Metoda se nazývá Blue intensity (BI), přináší srovnatelné výsledky jako měření denzity a je řádově levnější. Hustota dřeva v sobě nese klimatický signál, takže se využívá k rekonstrukci vývoje klimatu v posledních staletích.

2.8 Kontrola letokruhových sérií

Při kontrole letokruhových sérií se data synchronizují a tomuto postupu se říká „cross-dating“ neboli křížové datování. Při tomto procesu se srovnávají série a hledají se nezměřené nebo naopak navíc změřené letokruhy tak, aby každá šířka letokruhu skutečně odpovídala roku, kdy letokruh vyrostl. Díky tomu lze potom zjistit přesnou dataci události, ke kterým v porostu v minulosti došlo (Drápela & Zach 1995).

Nejjednodušší metodou datování je vizuální synchronizace, kdy se pohledově srovnávají oscilace na přírůstových křivkách a hledají se korelující úseky (Drápela & Zach 1995). Jedním z často používaných počítačových programů je COFECHA (Grissino-Mayer 2001), dalšími jsou PAST4 a CDendro (Waszak et al. 2021). Základem křížového datování je vytvoření průměrné křivky z několika vzorků, jejichž meziroční růstové oscilace spolu velmi dobře korelují, což napovídá, že v sériích pravděpodobně nejsou chyby. Další vzorky se pak porovnávají s touto průměrnou křivkou a hledají se průkazně korelující úseky meziročních oscilací. Ty pak umožní opravit sporné a problematické úseky. Pro kontrolu dat v této práci byl použit program CDendro.

2.9 Standardizace letokruhových sérií

V závislosti na tom, jaké informace chceme z dat vytěžit, se používají různé způsoby standardizace, které upozadí ostatní příčiny variability ve velikosti přírůstů. V našem případě nás zajímají klimatické signály, takže je vhodné potlačit význam změn rychlosti růstu způsobených věkem a velikostí kmene. Po standardizaci získáme tzv. stacionární věkovou řadu (Fritts 1976), ve které je například potlačen význam rychlého růstu v mládí (Drápela & Zach 1995). Naopak klimatické signály jsou v datech plně zachovány (Helama et al. 2004).

Pro analytické zpracování změřených a opravených datových řad se aplikují různé statistické postupy prováděné v příslušných programech v závislosti na cílech výzkumu. Nástupem počítačových programů se modelování dendrochronologických výstupů značně vyvinulo. Široké využití pro zpracování dat má program ARSTAN a mimo jiné jej lze využít i k odstranění růstových trendů (detrendaci) (Heklau 2019). Dalším statistickým výpočetním prostředím je R (Bunn 2010; R Development Core Team) nebo často využívaný software STATISTIKA (Demidova et al. 2016).

Když si zvolíme, v jakém softwarovém prostředí se budou data zpracovávat, nastává otázka, jakou standardizační metodou postupovat dále. Přístupů ke zpracování získaných dat je vícero a stále se rozvíjí. Jedna z přesnějších metod vyjadřující přírůst a využívaná v moderní dendroklimatologii, přepočítává šířky letokruhů na plochu přirostlého dřeva – přírůst na kruhové základně (basal area increment, **BAI**). Využívá se například pro vypočítání celkové biomasy a slouží ke spolehlivému odhadu produkce lesů. Tento přístup odstraní fyziologický věkový trend, který se projevuje přirozeným zmenšováním šířky letokruhů s rostoucí velikostí kmene (Briffa & Qeadan 2008). Pokud by totiž šířka letokruhů měla být v čase konstantní, musela by plocha přirostlého dřeva růst kvadraticky, což vylučují fyziologické limity. Briffa & Qeadan (2008) podporují předpoklad, že biologický trend je zpravidla zapříčiněn velikostí a časově závislým omezením distribuce relativně konstantního přírůstu bazální plochy. Jejich postup potvrdil, že tato metoda se dá použít i u relativně mladých, menších a pomaleji rostoucích stromů jako je *Pinus ponderosa*. Výhodou této metody je, že není nutné znát přesný věk dřeviny či přesné umístění dřeně. Jestliže se počítá s průměrem, je třeba odhadnout tloušťku kůry (Briffa et al. 2001). Principem je pak vymodelovat růstovou křivku, která na základě předpokládaného přírůstu odstraní věkový trend (Biondi & Qeadan 2008).

Podobným novým přístupem je standardizace dat podle regionální růstové křivky (RCS). Principem této standardizace je ze změřených letokruhových sérií vypočítat aritmetický průměr šířky letokruhu pro každý kalendářní rok. Křivka z aritmetického průměru je pak pomocí vhodné vyhlazovací funkce vyhlazena pro každý věk stromu, k zformování plynule měnících se hodnot křivky RCS, aby byl odstraněn šum, který se vytváří délkou vzorku (Briffa & Melvin 2011). Briffa & Melvin (2011) diskutují o potenciálním zkreslení při jednoduché aplikaci RCS. V této jednoduché aplikaci se pracuje na principu dělení každého letokruhu hodnotou křivky RCS pro příslušný rok a vytvoří se stromový index. Váženým robustním průměrem těchto letokruhových indexů pro příslušný věk pak získáme výslednou chronologii (Melvin 2004), objasňující změny růstu spjaté s věkem, které jsou pro daný druh na daném místě společné (Esper et al. 2003). Standardizace pomocí regionální růstové křivky ukázala podle Helama et al. (2004) potenciál při zachování variability klimatu i v měřítkách staletí, ale je nutné mít vzorky s pravidelnou distribucí věků a velký časový rozsah. Tato metoda vyžaduje homogenní vzorek pro spolehlivé odhadnutí signálu.

3 Metodika

3.1 Odběr a uložení vzorků

Vzorky pro studii byly odebrány z borovice lesní (*Pinus sylvestris*) rostoucí v pohořích severního Turecka. Odběry byly provedeny ze severního svahu v říjnu 2018 na lokalitě nacházející se v oblasti Bolu Daglari (dále jen Bolu). Z důvodu zohlednění nadmořské výšky se rozdělila lokalita na dvě podlokality: pastvina a vrchol. Pastvina (Bolu P) se pohybovala v nadmořských výškách kolem 1400 m n. m. a vrcholek (Bolu K) leží ve výšce 2 068 m n. m. viz tabulka 1. Druhá zájmová oblast se jmenuje Ilgaz Daglari (dále je označována Kastamonu) a vývrty tam byly odebrány z jižního a severního svahu v červnu 2018. Třetí lokalita leží v oblasti Kackar Daglari (dále jen Kačkar) a sběr proběhl v červnu 2019 ze severního svahu v nadmořských výškách od 1385 do 2 568 m n. m. Odběr vývrtů byl proveden po vrstevnici Presslerovým nebozezem ve výšce 1 m. Po vytažení byly vývrty uloženy do popsanych perforovaných brček. Perforace brček je důležitá proto, aby vzorky mohly pozvolna vysychat a nezačaly v brčkách plesnivět. Celkem bylo odebráno 170 vzorků.

Tabulka 1 Obecné informace o lokalitách

Lokalita	Podlokalita	Zeměpisná šířka gridu N	Zeměpisná délka gridu E	Průměrná nadmořská výška
BOLU	K	40° 25 '	31° 75'	2068 m n. m.
BOLU	P	40° 25'	31° 75'	1394 m n. m.
KASTAMONU	N	40° 75'	33° 75'	2178 m n. m.
KASTAMONU	J	40° 75'	33° 75'	2205 m n. m.
KAČKAR		40° 75'	41° 25'	2426 m n. m.

V laboratoři se uschlé vzorky nalepily jednosložkovým lepidlem D-3 (značky RAKOLL) na dřevěná prkna, která mají vybroušené drážky pro vývrty. Důležité je nalepit vývrty ve směru růstu stromu, tedy tak, aby podélná osa tracheid byla uložena kolmo na horizontální rovinu. Při lepení je nutné dbát na správné poskládání rozlámaných částí.

Správné nalepení je nutným předpokladem pro získání kvalitních chronologií. Po nalepení se prkna se vzorky umístila do svěráků a nechaly vyschnout. Dalším krokem bylo zbroušení vzorků. Základní zbroušení probíhalo na pásové brusce v truhlárně v Dřevařském pavilonu FLD ČZU. Jemné dobroušení, které zajistí maximální čitelnost letokruhů, bylo potom nutno provést manuálně. K tomu se používaly brusné papíry v rozmezí hrubosti P400 až P1500.

3.2 Měření letokruhových sérií

K měření se použila sestava složená z posuvného stolu LINTABTM, binolupy a počítačového programu TsapWin. Součástí měřicího stolu je pohyblivá platforma, na kterou se pokládají vzorky. Při pohledu do okuláru lze identifikovat jednotlivé letokruhy a na každé hranici se klikne myší. Měřicí stůl zaznamená uraženou vzdálenost s přesností 0,01 mm a hodnota se propíše v programu TsapWin. Tím vznikla přírůstová křivka obsahující šířky letokruhů pro každý rok. Měření jarního a letního dřeva probíhalo obdobně, jen se navíc identifikovalo rozhraní mezi těmito dvěma částmi a v programu TsapWin se příslušně změnilo nastavení.

3.3 Křížové datování

Prvotně změřené chronologie mohou obsahovat různé chyby. Borovice lesní (*Pinus sylvestris*) vytváří občas ve dřevě struktury, které se podobají hranicím letokruhů. Pokud vzorek obsahuje prasklinu, není vždy jednoduché ji při měření správně napojit. Při silném zpomalení růstu se hranice jednotlivých letokruhů mohou stírat a být špatně rozlišitelné. S ještě horší čitelností se setkáme tehdy, když byl vzorek nalepen šikmo. Čitelnost letokruhů dále snižuje intenzivní smolnatost dřeva v některých částech vývrtů. Všechny tyto faktory vedou k tomu, že data obsahují určité množství chyb. K jejich odstranění se používá metoda křížového datování.

Změřené chronologie obsahují meziroční oscilace v šířce letokruhů. Ty jsou způsobeny zejména meziročními oscilacemi v množství srážek a průběhu teploty. Pokud je rok suchý nebo studený, vytvoří většina stromů na daném území užší letokruh. Tyto meziroční trendy jsou pro většinu stromů stejného druhu souhlasné. Díky tomu byla z několika správně změřených chronologií vytvořena tak zvaná průměrná křivka, která potlačila význam ostatních zdrojů variability v šířce letokruhů a zdůraznila klimatické

faktory. Křížové datování probíhalo tak, že se porovnávaly jednotlivé chronologie s průměrnou křivkou. Zkoumalo se, jestli jejich meziroční oscilace mají stejný trend jako oscilace průměrné křivky. Pokud ne, bylo třeba posouvat dataci chronologie a hledat korelující úseky. Tímto způsobem byly identifikovány chybějící nebo nadbytečné letokruhy ve vzorku. Každý vzorek je nutné takto zkontrolovat a opravit potenciální chyby.

Při výzkumu klimatu jsou chyby v chronologiích obzvláště závažné, protože celá chronologie je potom posunutá a šířky letokruhů nejsou správně přiřazeny ke klimatickým proměnným daných let. Celý dataset prošel křížovým datováním v programu CDendro (verze 8.1, Cybis Elektronik & Data AB) a vzorkům byly přiřazeny kódy vyjadřující míru korelace s průměrnou křivkou a celkovou správnost chronologie. Ze 170 vzorků bylo celkem 8 vyřazeno z další analýzy kvůli neopravitelným chybám nebo nejednoznačnosti potřebných úprav, viz tabulka 2.

Tabulka 2 Počty odebraných vývrtů podle lokalit

Lokalita	Podlokalita	Podlokalita	Celkový počet vzorků	Počet vzorků pro měření jarního a letního dřeva
	Vrchol K	Pastvina P		
BOLU	30	15	45	6
	Sever N	Jih J		
KASTAMONU	39	36	75	6
KAČKAR			42	6

Pro další zpracování dat bylo tedy využito 162 vzorků. Na lokalitě Bolu bylo na vrcholu (K) použito 30 vzorků, na pastvině 15 a celkem bylo pro další analýzu použito 45 vývrtů. Na severním svahu (N) na lokalitě Kastamonu bylo použito dále 39 vývrtů a z jižního svahu (J) 36 vývrtů, tj. celkem 75 vzorků na lokalitu. Pro oblast Kačkar bylo zpracováno 42 vývrtů a 3 byly z důvodu nedostatečné kvality vyřazeny. Pro jarní a letní dřevo se dále využilo z každé lokality 6 vhodných vzorků.

3.4 Klimatická data

K vyhodnocení závislosti přírůstu dřevin na změny klimatu byla použita data z jednotlivých lokalit a to průměrné teploty a úhrn srážek pro dané oblasti (tabulka 1) ze souboru mřížkových datových sad Climate Research Unit (CRU TS 4.05) s vysokým rozlišením 0,5° zeměpisné šířky i délky ([www:http://climexp.knmi.nl](http://climexp.knmi.nl)). Získané řady byly pro teplotní a srážkový diagram přepočítány zahrnutím korekce rozdílů nadmořské výšky. Použit byl vzorec pro korekci teploty dle Tolasz (2007): kde xm znamená nadmořskou výšku meteorologické stanice, xp je nadmořská výška pokusné plochy a zt jsou průměrné roční teploty.

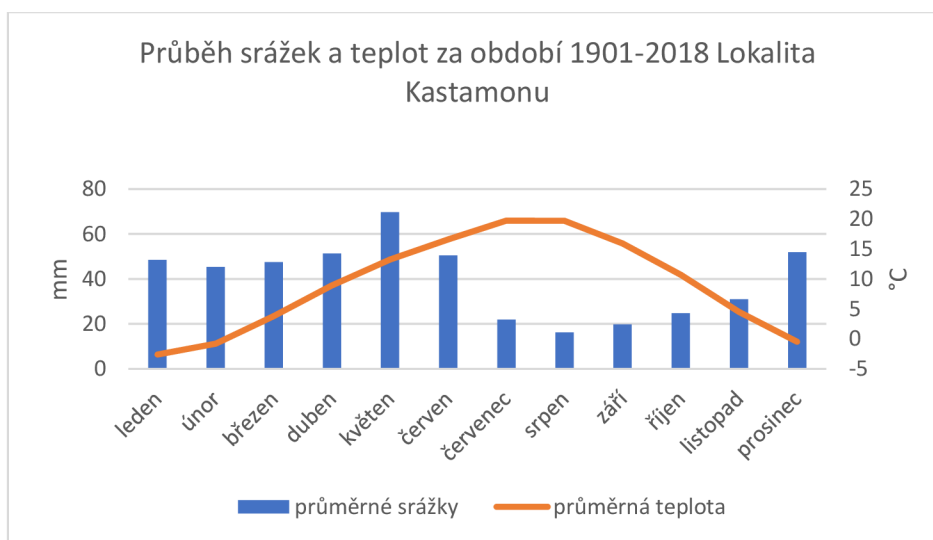
$$y = zt - 0.65[xp - xm]$$

Pro korekci rozdílů průměrných srážek byl použit vzorec dle Šercla (2008):

$$y = 0.6022[xp - xm] + zp$$

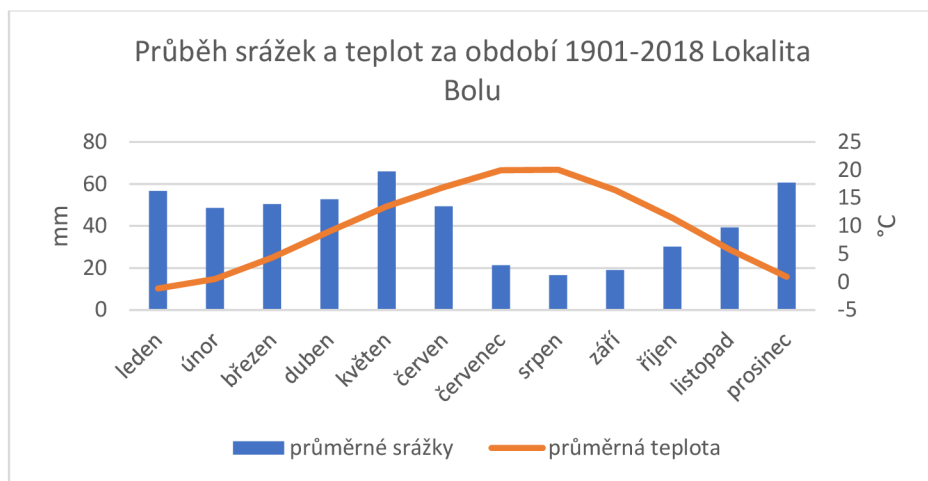
kde xm je nadmořská výška meteorologické stanice, xp nadmořská výška pokusné plochy a zp jsou měřené srážky na meteostanici.

Tyto získané údaje nebyly významné pro korelační analýzu, proto bylo rozhodnuto pracovat s původními daty z datových sad Climate Research Unit (CRU TS 4.05; [www:http://climexp.knmi.nl](http://climexp.knmi.nl)).



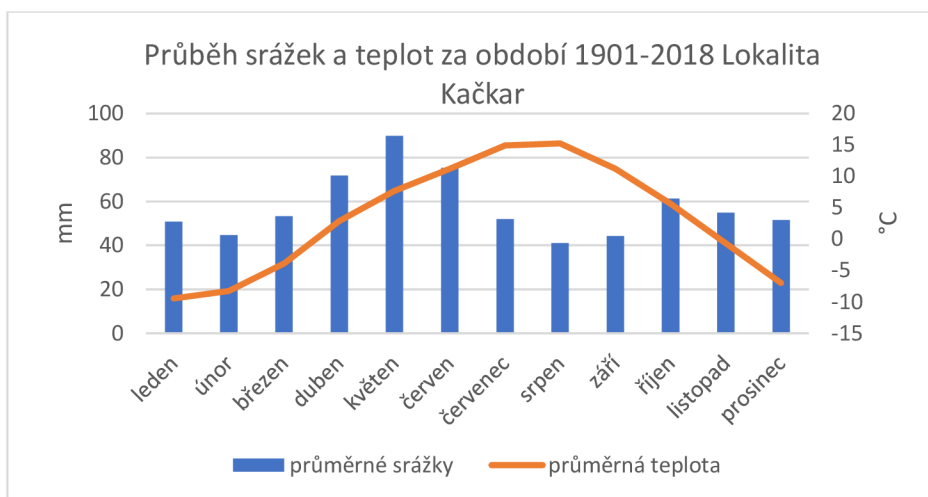
Obrázek 3 Graf úhrnu srážek a teplot, lokalita Kastamonu

Průměrná teplota v období 1901-2018 na lokalitě Kastamonu byla 9 °C, průměrné srážky byly 479 mm za rok (obrázek 3).



Obrázek 4 Graf úhrnu srážek a teplot, lokalita Bolu

Průměrná teplota Bolu se pohybovala okolo 10 °C a srážky kolem 510 mm za rok (obrázek 4).



Obrázek 5 Graf úhrnu srážek a teplot, lokalita Kačkar

Na lokalitě Kačkar byly průměrné srážky vyšší než na ostatních lokalitách (obrázek 5). Průměrně za období 1902-2018 to bylo 690 mm za rok a průměrná teplota činila 3 °C. Nejteplejší oblast s průměrnými srážkami je Bolu, nacházející se na západě. Kačkar, polohou ve východní části Turecka, je nejchladnější a je zde nejvíce srážek (tabulka 3).

Tabulka 3 Přehled průměrných teplot a úhrnu srážek

Lokalita	Průměrné teploty (°C) za rok v období 1901-2018	Průměrný úhrn srážek (mm/rok) v období 1901-2018
BOLU	10	510
KASTAMONU	9	479
KAČKAR	3	690

3.5 Statistické zpracování dat

Za účelem odstranění neklimatických signálů byla provedena detrendace jednotlivých opravených chronologií za pomoci softwarového rozšíření 'dplR' (verze 4. 1.2, Bunn 2008) v programu R (verze 4. 1.2) (R Development Core Team), s využitím 50letého a 100letého vyhlazovacího okna. Pro další analýzy bylo rozhodnuto použít verzi aplikující 100leté vyhlazovací okno, jelikož lépe zachovala dlouhodobé trendy. Ze souboru jednotlivých chronologií detrendovaných tímto způsobem byly vytvořeny průměrné chronologie pro každou zkoumanou lokalitu a typ (jarní dřevo, letní dřevo, suma jarního a letního dřeva). Klimatická data v podobě průměrné měsíční teploty a měsíčního srážkového úhrnu byla extrahována z interpolovaného datového souboru CRU TS4.05 (Climate Research Unit) pro roky 1901–2018 a jejich vztah s průměrnými chronologiemi byl zkoumán pomocí korelační analýzy v programu R (verze 4. 1.2) (R Development Core Team) s využitím softwarového rozšíření 'treeclim' (Zang & Biondi, 2014).

Abychom mohli analyzovat dynamiku přírůstu, bylo potřeba zjistit, pro které období jsou chronologie kvalitní. Z opravených surových chronologií byly v programu ARSTAN (verze 44xp) (Cook & Krusic 2005) vypočítány hodnoty EPS (Expressed Population Signal), abychom zjistili, které časové úseky jsou reprezentativní a mohou být využity pro další analýzy (viz kapitola 4.5 a 4.6). Hodnoty EPS nám kvantifikují, do jaké míry dané chronologie vzorků hypoteticky zobrazují dokonalou chronologii (Wigley et al. 1984).

Jako reprezentativní byly stanoveny úseky s EPS přesahujícím standardní prahovou hodnotu 0,85, s výjimkou lokality Bolu K, kde musela být mezní hodnota

snížena na 0,80, abychom měli dostatečně dlouhý úsek k ověřování. Pro takto určené reprezentativní úseky byly z původních datovaných sérií a změřeného průměru (DBH) každého stromu v programu R (verze 4. 1.2) (R Development Core Team) pomocí softwarového rozšíření 'dplr' (verze 4. 1.2, Bunn 2008) vypočteny hodnoty průměrného přírůstu na kruhové základně (BAI) pro zhodnocení dynamiky přírůstu na lokalitách, aniž by byly výsledky zkresleny věkovým trendem. Na základě výsledků BAI pak bylo možné srovnávat plošný přírůst mezi lokalitami a stanovit kumulativní přírůst, kapitola 4.3. Pro zhodnocení závislosti mezi přírůsty a BAI pak byl využit program STATISTICA (verze 14) pro zpracování statistického vyhodnocení průměrných indexů letokruhových šířek a průměrného BAI pomocí Scheffeho testu a Studentova LDS testu.

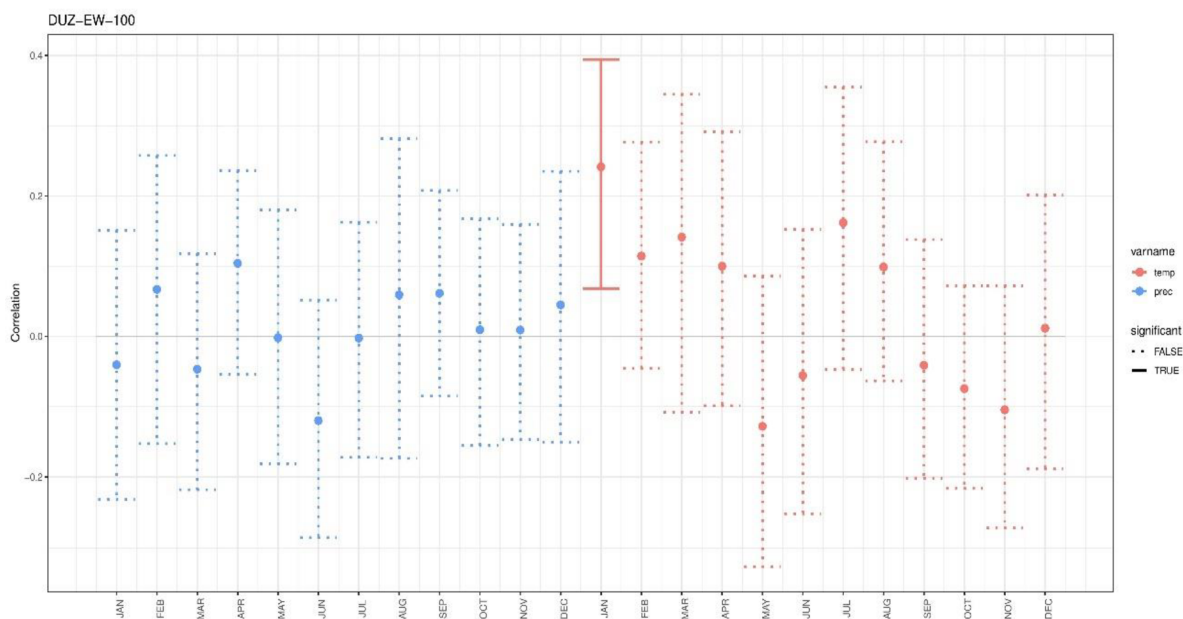
4 Výsledky

4.1 Vliv klimatu na tvorbu jarního a letního dřeva

Tato kapitola podává přehled vztahů mezi úhrnem srážek, teplotou a přírůstem jarního a letního dřeva i celkové šířky letokruhů pro každou lokalitu. Vychází z 6 vzorků na každé lokalitě, pro které byly změřeny i šířky jarního a letního dřeva. Studované období je dle dostupných meteorologických dat 1901-2018. Signifikantní korelace jsou znázorněny plnou čarou. Teploty jsou v pravé části označené červenou barvou a srážky v levé části modrou barvou. Na ose x jsou velkým písmem zkratkou vypsány měsíce. Osa y znázorňuje korelace klimatu s přírůsty.

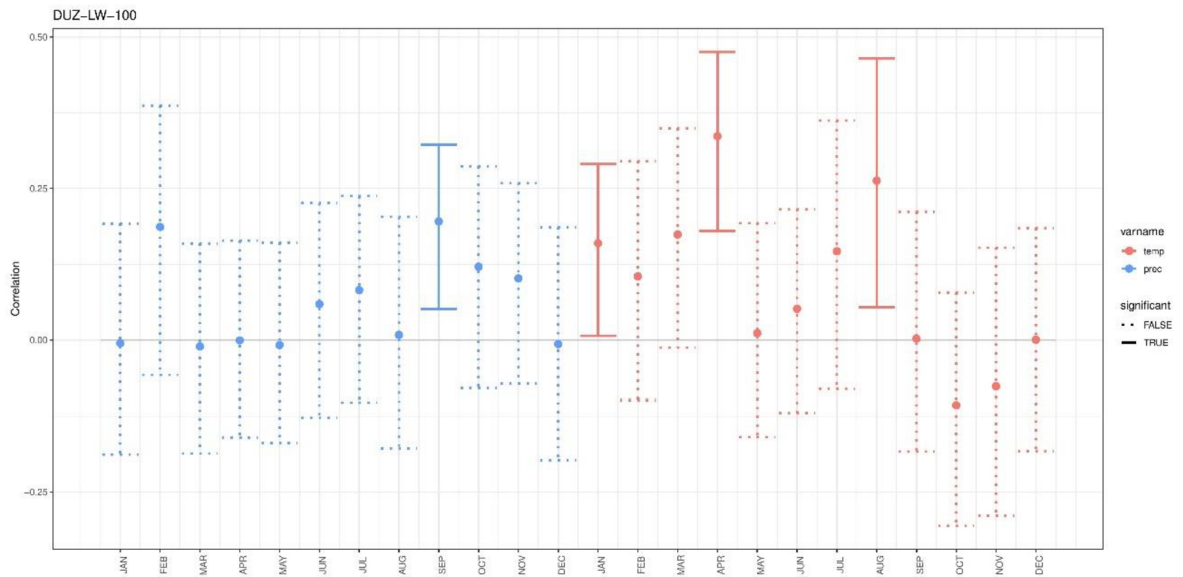
4.1.1 Lokalita Bolu K

Korelace jarního dřeva na lokalitě Bolu jsou na obrázku 6 znázorněny korelace růstu jarního dřeva na lokalitě Bolu K (vrchol). Teploty v lednu daného roku jsou pozitivně signifikantní pro tvorbu jarního dřeva.



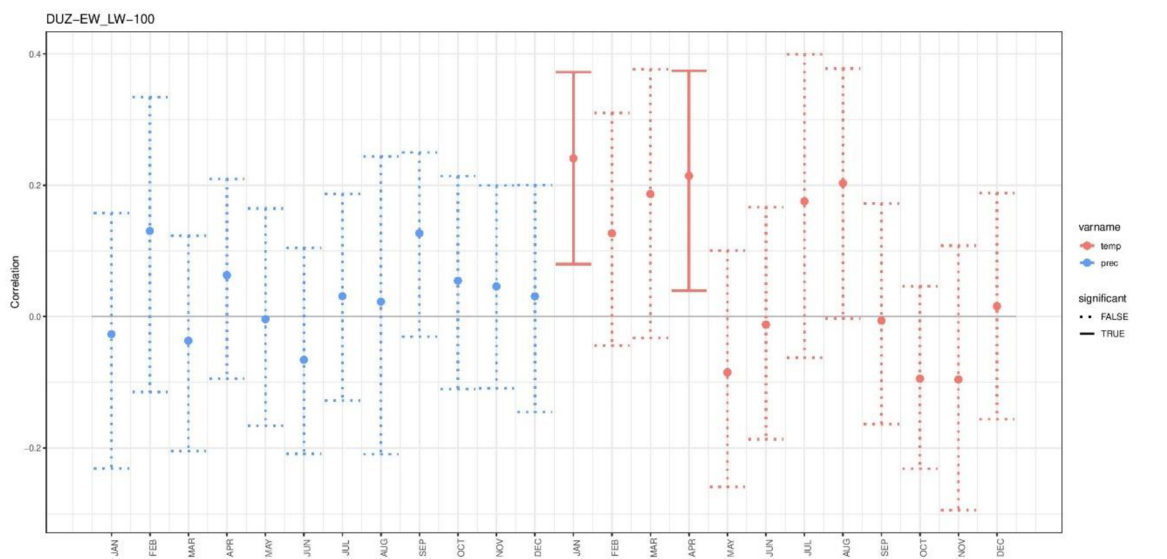
Obrázek 6 Korelace šířky jarního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Bolu K vrchol

Pro růst letního dřeva jsou pozitivně signifikantní srážky v září a pozitivně signifikantní teploty v lednu, březnu a srpnu daného roku (obrázek 7). Z toho vyplývá, že aktivitu růstu letního dřeva v lokalitě Bolu pozitivně ovlivňují především srážky v září a teplota v jarních měsících i srpnu v roce růstu letokruhu.



Obrázek 7 Korelace šířky letního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Bolu K vrchol

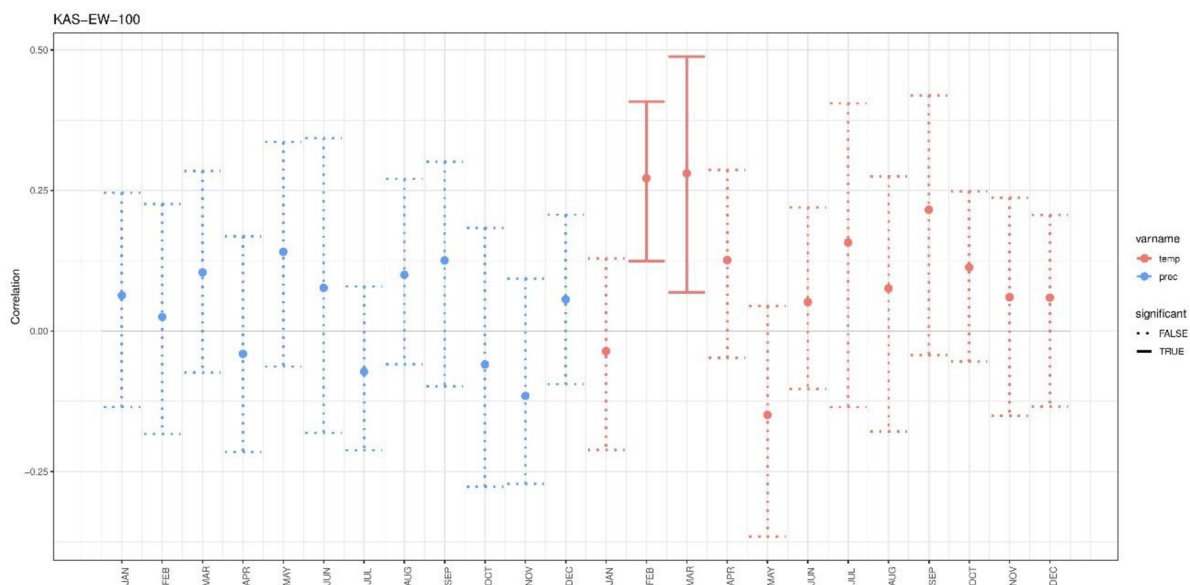
Vztah mezi celkovou šířkou letokruhů a teplotou i srážkami pro jednotlivé měsíce na lokalitě Bolu vychází pozitivní vliv teplot v lednu a v dubnu daného roku (obrázek 8).



Obrázek 8 Korelace šířky letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Bolu K vrchol

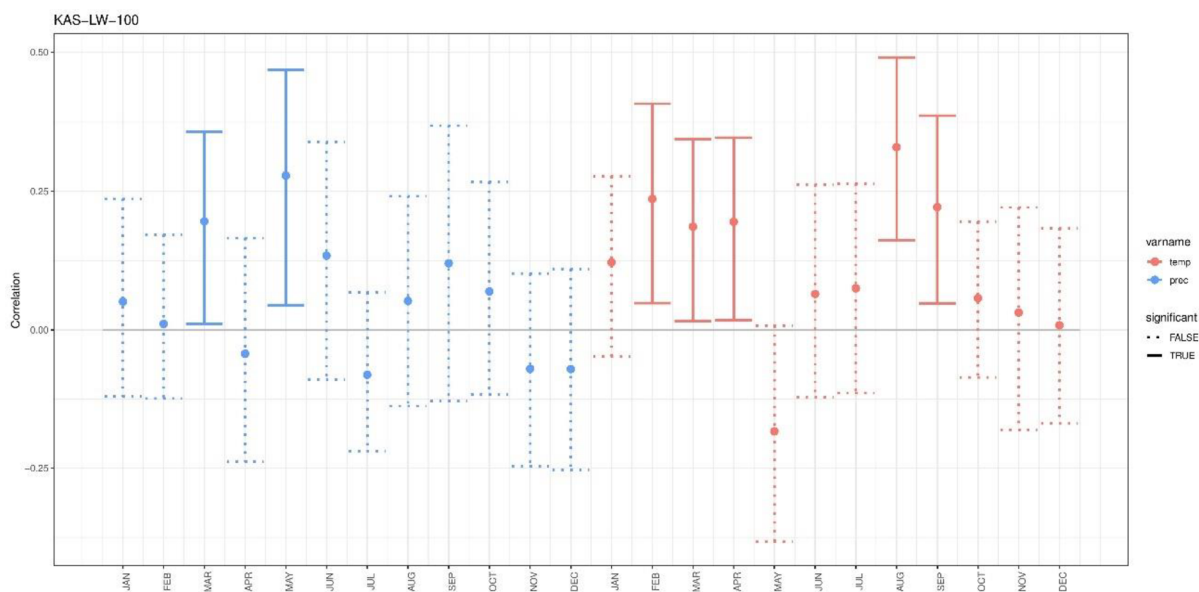
4.1.2 Kastamonu

Na této lokalitě byly pro jarní dřevo pozitivně signifikantní zejména únorové a březnové teploty daného roku (obrázek 9).



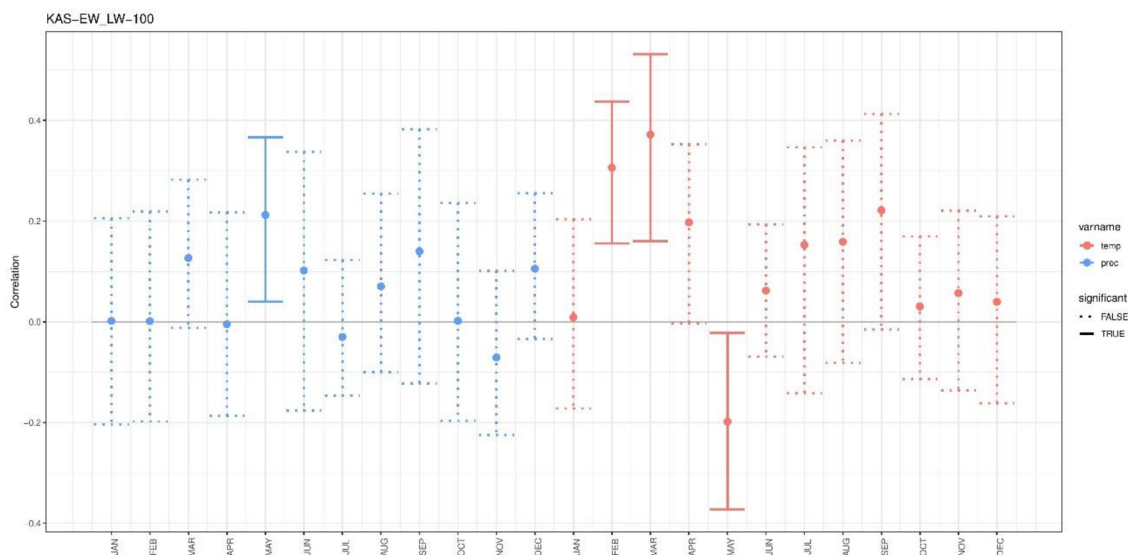
Obrázek 9 Korelace šířky jarního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Kastamonu

Přírůst letního dřeva byl na lokalitě Kastamonu pozitivně ovlivněn v březnu a květnu srážkami. Teplota měla na růstu letního dřeva pozitivní vliv na jaře od února do dubna a v létě od srpna do září (obrázek 10).



Obrázek 10 Korelace šířky letního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Kastamonu

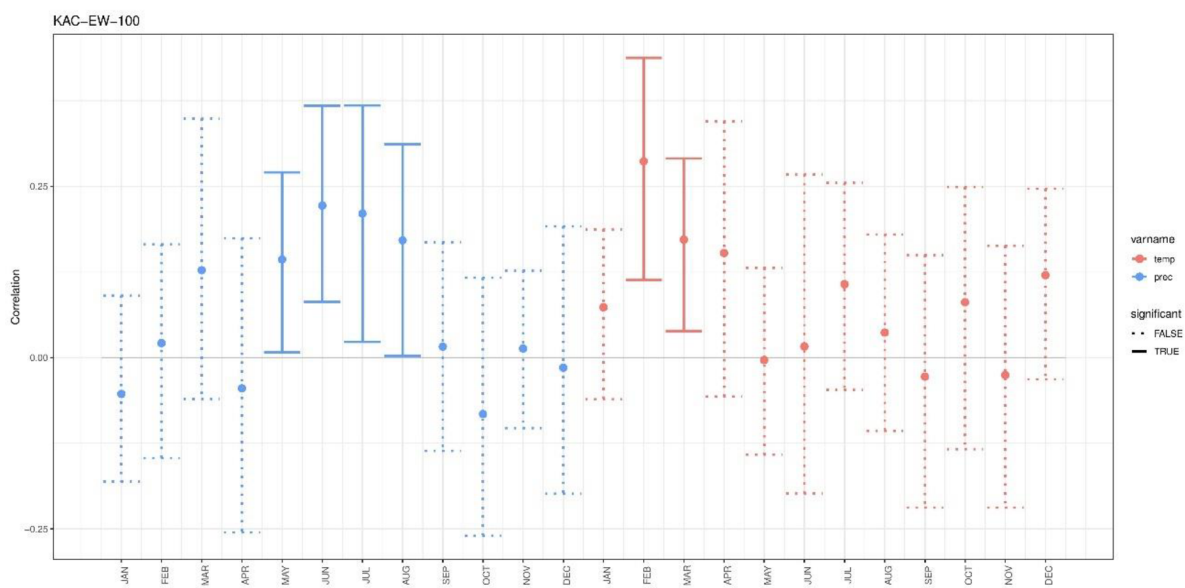
Pro tvorbu celého letokruhu byly pozitivně korelující spadlé srážky v květnu (obrázek 11). Teplota byla pozitivně korelující na růst letokruhu během února a března a negativně korelovala s růstem letokruhu v květnu jako v obou případech jarního a letního dřeva v daném roce.



Obrázek 11 Korelace šířky letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Kastamonu

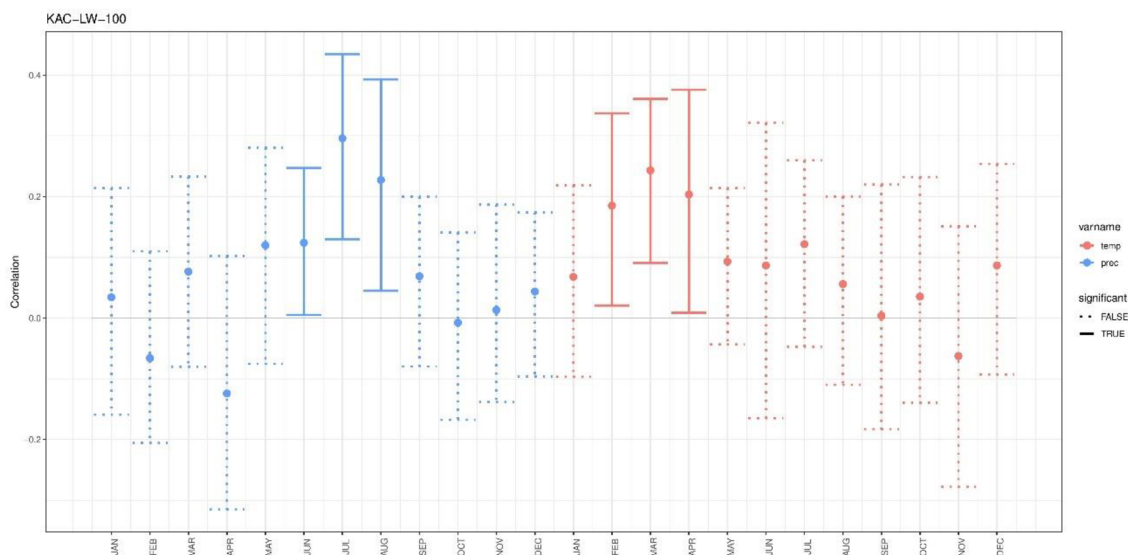
4.1.3 Kačkar

Na lokalitě Kačkar reaguje růst jarního dřeva pozitivně na srážky od května do srpna a na teplotu od února do března v daném roce (obrázek 12).



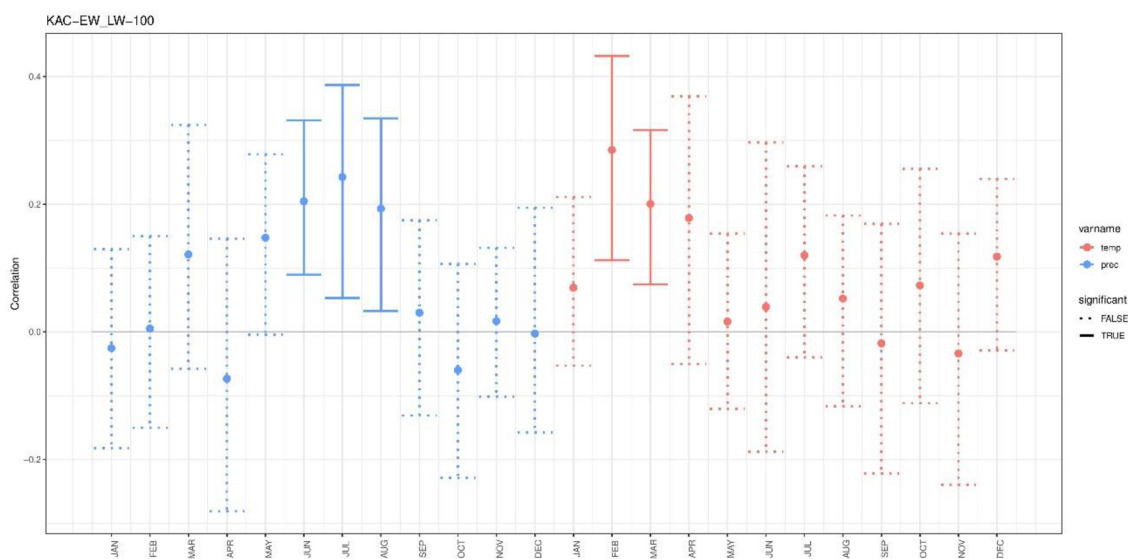
Obrázek 12 Korelace šířek jarního dřeva s teplotou a úhrnem srážek, lokalita Kačkar

Přírůst letního dřeva koreluje na srážky od června do srpna a také teploty od února do dubna panující v daném roce růstu (obrázek 13).



Obrázek 13 Korelace šířek letního dřeva s teplotou a úhmem srážek, lokalita Kačkar

Pro celkovou šířku letokruhu jsou důležité spadlé srážky v červnu až srpnu a pozitivní korelace vykazují též teploty v únoru a březnu v daném roce růstu letokruhu (obrázek 14).



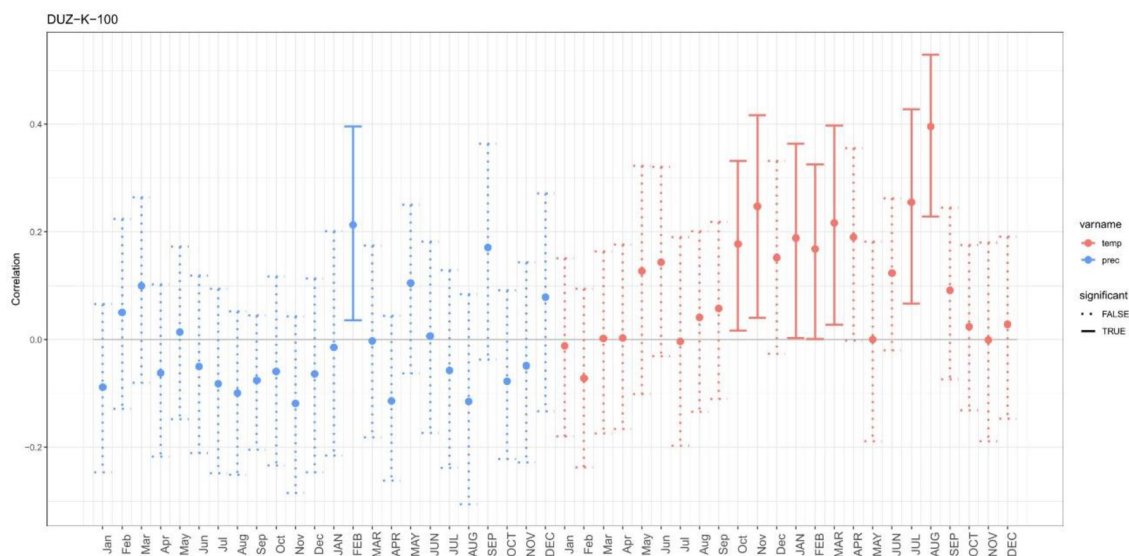
Obrázek 14 Korelace šířky letokruhů, lokalita Kačkar

4.2 Vliv klimatu na tvorbu letokruhu

Testování vlivu teploty a srážek na tvorbu celého letokruhu byl použit celý dataset. Do analýzy byl přidán také vliv teploty a srážek v roce předcházejícím cílovému roku. Zkoumané období bylo opět 1901–2018. Osa x na grafech odpovídá jednotlivým měsícům, malým písmem je označen předchozí rok, velkým písmem rok přítomný.

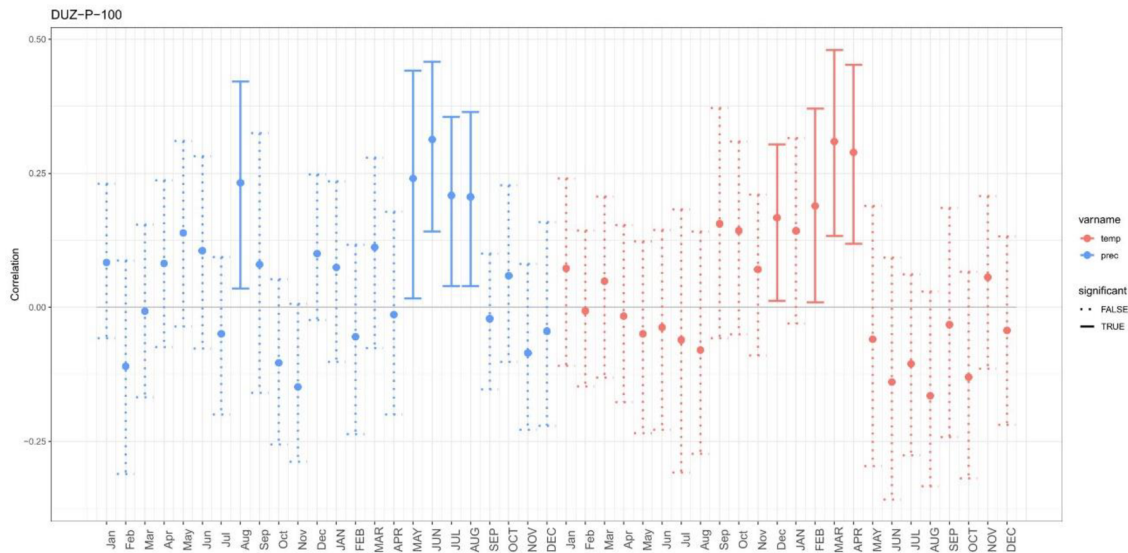
4.2.1 Bolu

Lokalita Bolu je rozdělena do dvou (K – vrcholek, P – pastvina) z důvodu výškového rozdílu 674 m, tabulka 1. Na vrcholu (Bolu K) (obrázek 15) je patrné, že přírůst kladně ovlivňují převážně vyšší teploty v loňském říjnu a listopadu a následně lednové až dubnové teploty daného roku a také letní teploty v červenci a nejvýznamněji v srpnu. Pozitivně také reaguje borovice na únorové úhrny srážek v přítomném roce, které mohou být v podobě sněhové pokrývky.



Obrázek 15 Korelace šířky letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Bolu K vrchol

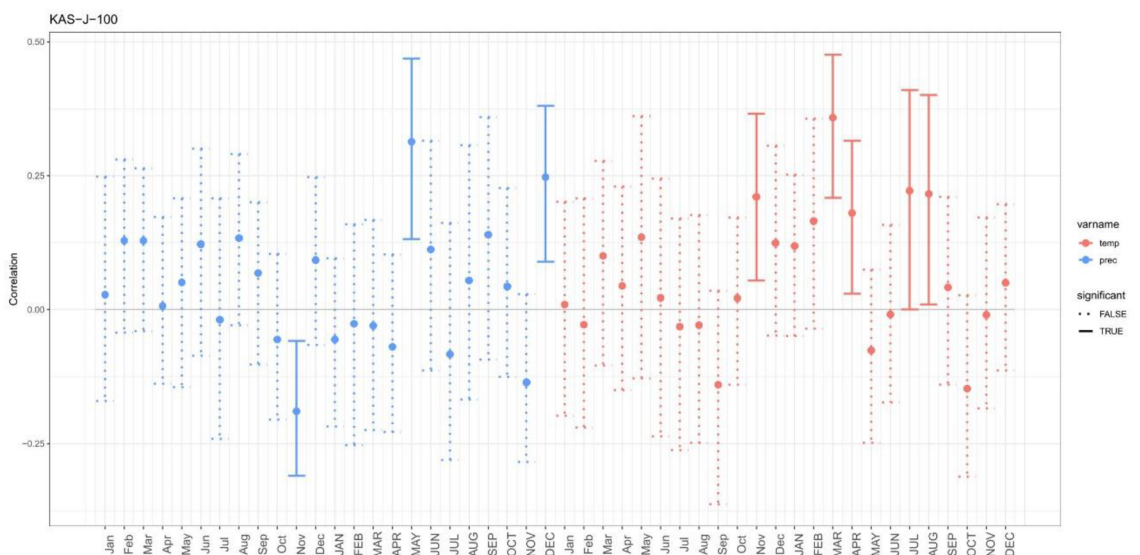
Borovici v nižších nadmořských výškách ovlivňují srážky předchozího roku v srpnu a od května do srpna daného roku. Na teploty pozitivně reaguje v prosinci předchozího roku a od ledna do dubna přítomného roku (obrázek 16). Nejvyšší korelace teploty a přírůstů jsou v březnu a dubnu a se srážkami nejvíce koreluje přírůst v červnu přítomného roku.



Obrázek 16 Korelace šířky letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Bolu P vrchol

4.2.2 Kastamonu

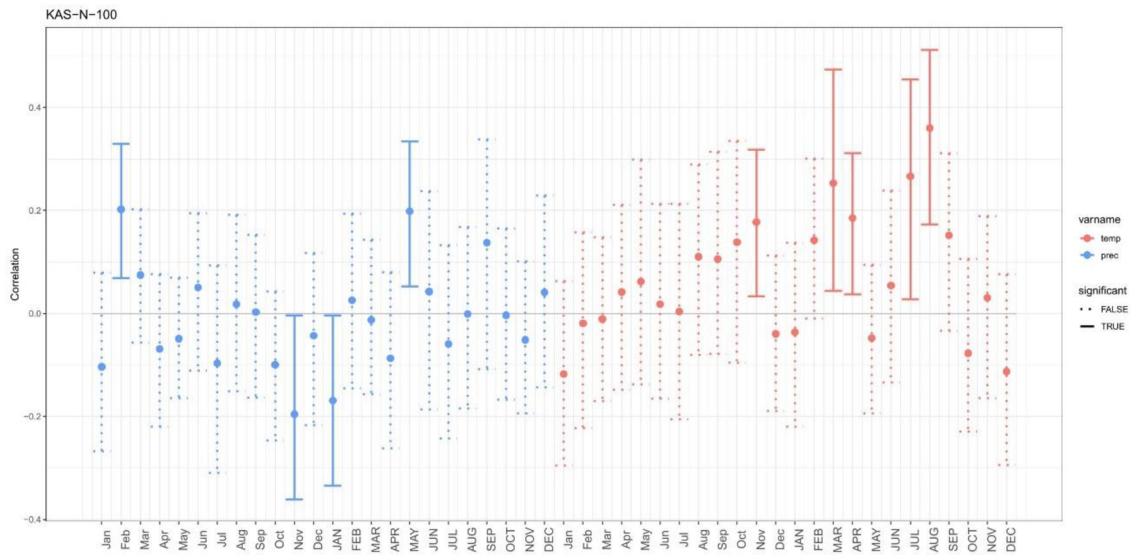
Kastamonu je lokalita nacházející se v blízkosti Černého moře. Porovnával se vliv teplot a úhrnu srážek na severní a jižní expozici. Jižní svah (obrázek 17) negativně ovlivňují listopadové srážky předchozího roku. Významně kladně reaguje na květnové o něco méně pak prosincové srážky přítomného roku. Teplota je na této lokalitě významná v listopadu předchozího roku. Z toho vyplývá, že na této lokalitě borovice reaguje pozitivně na listopadové teploty předchozího roku a negativně na srážky ve stejném období. Pozitivní vliv mají na přírůst dále březen a duben přítomného roku.



Obrázek 17 Korelace šířek letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Kastamonu jižní svah

Borovice na severním svahu (obrázek 18) v této oblasti pozitivně korelují s únorovými srážkami předchozího roku a negativně s lednovými přítomného roku.

Kladný vliv mají květnové srážky. Pozitivně zde korelují teploty předchozího roku v listopadu stejně jako na jižním svahu. Tež se shoduje vliv březnové a dubnové teploty přítomného roku a poměrně podobné je to u červnových a červencových teplot, které jsou na severním svahu významnější než na svahu jižním.



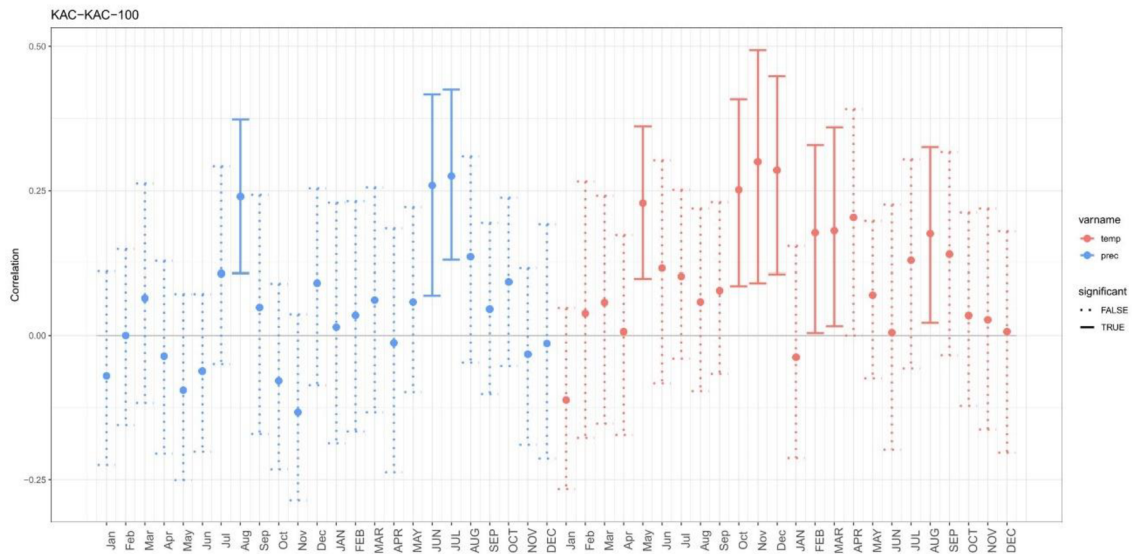
Obrázek 18 Korelace šířek letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Kastamonu severní svah

Rozdíl v reakci na srážky je, že na jižním svahu mají srážky větší korelace v prosinci přítomného roku a méně reaguje růst na letní teploty oproti severnímu svahu, který je letními teplotami velmi ovlivňován.

4.2.3 Kačkar

Nejvýše položená lokalita Kačkar je nejvíce ovlivňována teplotami (obrázek 19). Teploty předchozího května, října, listopadu a prosince jsou významné pro růst na této lokalitě.

Také teploty přítomného roku v únoru až dubnu a v srpnu pozitivně ovlivňují růst. Srážky byly významné pro srpen přechozího roku a červen–červenec přítomného roku.



Obrázek 19 Korelace šířek letokruhů s teplotou a úhrnem srážek, Kačkar

4.3 Změřené přírůsty

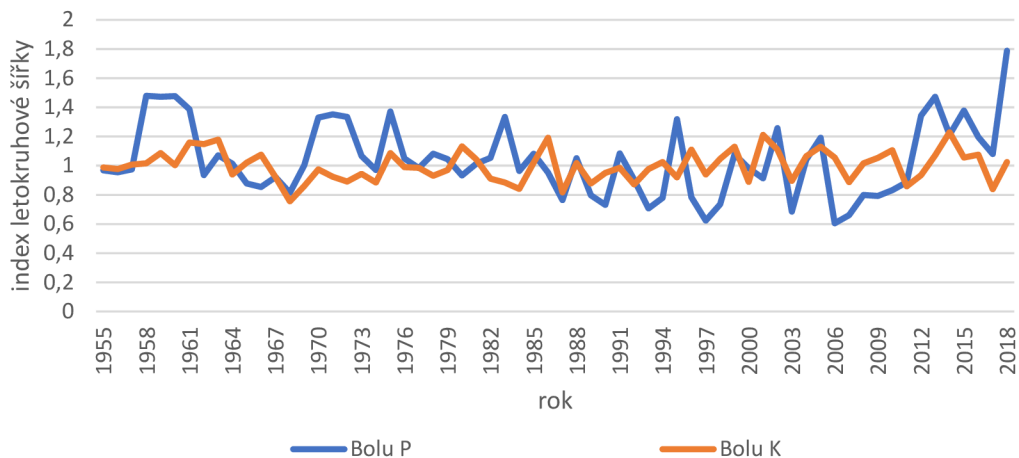
Souhrnné údaje k jednotlivým lokalitám a údajům z měření uvádí tabulka 4. Pro EPS byl použit parametr větší než 0,85. U lokality Bolu K bylo nutné snížit parametr na 0,80, aby bylo získáno dostatečně dlouhé období. Dále jsou v tabulce maximální a minimální hodnoty BAI (mm² za rok) pro každou lokalitu.

Tabulka 4 Přehled časového rozpětí změřených letokruhů, mezní hodnoty EPS, minimální a maximální hodnoty BAI, minimální a maximální hodnoty průměrů borovic

	BOLU K	BOLU P	KASTAMONU N	KASTAMONU J	KAČKAR
Časové rozpětí změřených chronologií	1787-2018	1827-2018	1868-2017	1650-2017	1621-2018
EPS	1955-2018	1855-2018	1935-2017	1935-2017	1935-2018
BAI (mm²) max	5031	3295	3738	3867	3708
BAI (mm²) min	1189	801	850	287	497
Průměr (cm) min	52	42	32	27	21
Průměr (cm) max	122	88	65	114	139

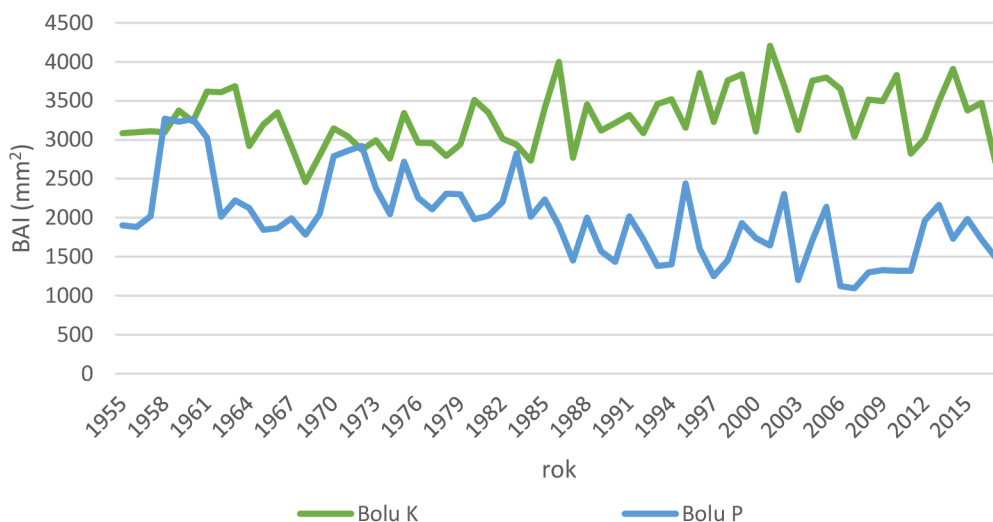
4.3.1 Vliv nadmořské výšky na přírůst, lokalita Bolu

Grafické vyjádření detrendovaných dat, kdy je v rámci jedné lokality (Bolu) porovnáván index letokruhové šířky v odlišných nadmořských výškách je znázorněné na obrázku 20. Jsou srovnávána data podle EPS Bolu K mezi roky 1955–2018. Jedinci na vrcholu s nadmořskou výškou okolo 2 068 m n. m. nevykazují dynamické změny přírůstků v průběhu let jako borovice na pastvině v průměrné nadmořské výšce 1394 m n. m.



Obrázek 20 Srovnání indexů letokruhových šířek mezi Bolu K a Bolu P mezi lety 1955-2018

Při převodu přírůstu letokruhů na kruhové základně (BAI) je trend růstu mezi lokalitami P a K odlišný (obrázek 21). Byly zvoleny opět chronologie s EPS větší než 0,8 za období 1955–2017 (tabulka 4). Je patrný růstový rozdíl, kdy přírůst od roku 1972 na pastvině (Bolu P) oproti vrcholu (Bolu K) klesá.

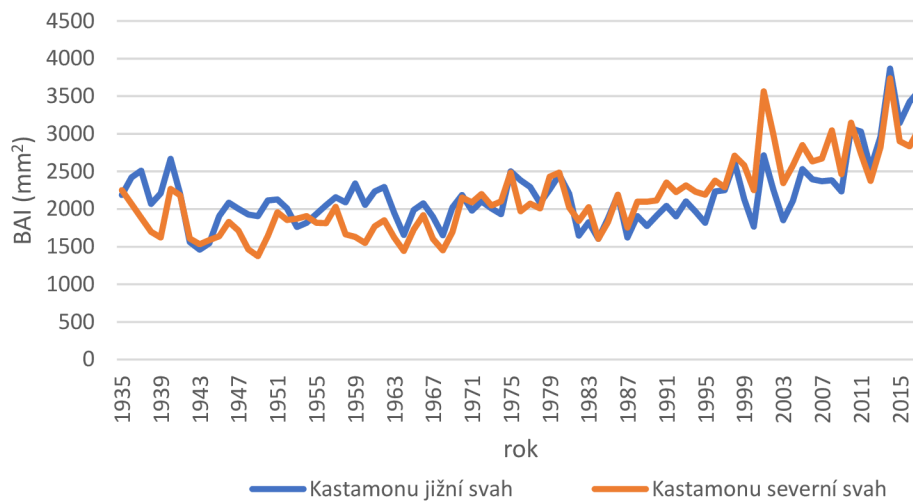


Obrázek 21 Průměrný přírůst kruhové základny (BAI) mezi lety 1955-2018

4.3.2 Vliv svahu na přírůst – Kastamonu

Byl srovnáván vliv růstu borovice lesní na expozici severního a jižního svahu na lokalitě Kastamonu. EPS zde bylo vyšší než 0,85 pro období 1935–2017. Podle celkového přírůstu BAI (obrázek 22) nebyl rozdíl svahů významný, což potvrdila i detrendovaná data. Snížený přírůst na severně orientovaném svahu oproti jižnímu lze sledovat mezi lety

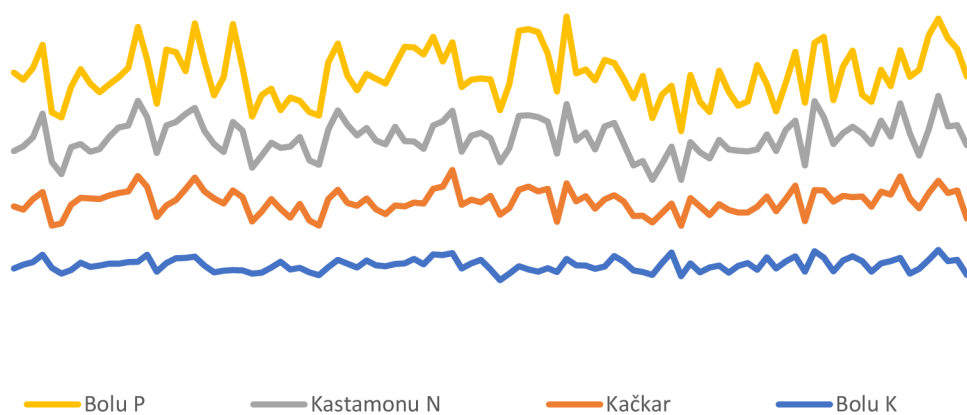
1937–1969. Na jižním svahu bylo BAI nižší oproti severnímu svahu v letech 1988 až 2009. Rozdíl je v zastoupení věkových kategorií, kdy na severním svahu se vyskytovali mladší a na jižním starší jedinci. Lze vysledovat jak na jižní, tak severní expozici zvyšování přírůstu od roku 1988 až po současnost, před rokem 1988 byl přírůst vyrovnaný.



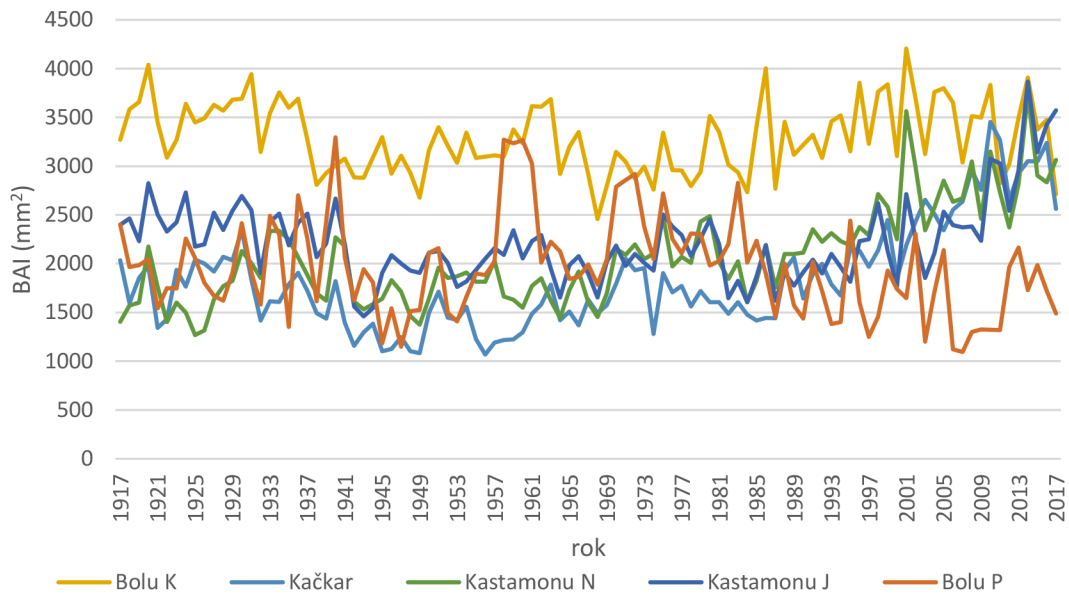
Obrázek 22 Srovnání jižního a severního svahu dle průměrného BAI na lokalitě Kastamonu mezi lety 1933-2018

4.3.3 Srovnání přírůstu na lokalitách

Navzdory významné vzdálenosti mezi lokalitami (až 900 km) ukazují indexy přírůstu dle obrázku 23 četné shody meziročních oscilací napříč lokalitami.



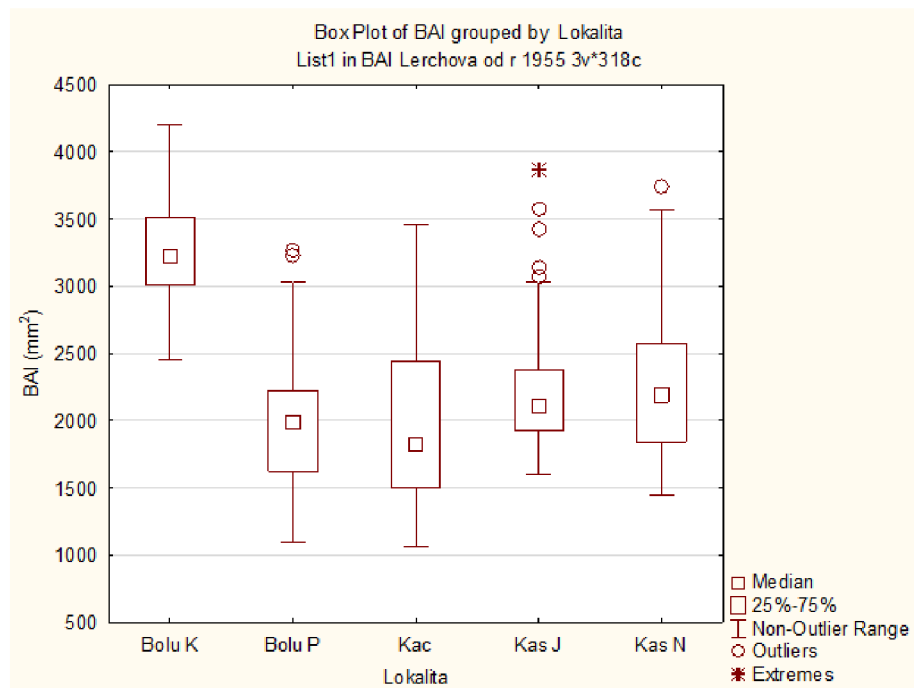
Obrázek 23 Vynesené indexy letokruhových šířek



Obrázek 24 Srovnání průměrného BAI všech lokalit mezi lety 1917-2018

Srovnání průměrného BAI pro každou lokalitu mezi roky 1917–2017 znázorňuje obrázek 24. Je patrné, že největší BAI mají dřeviny na lokalitě Bolu K.

Podle průměrného přírůstu na kruhové základně (BAI) vychází nejvyšší hodnota na lokalitě Bolu K a nejnižší na Kačkaru (obrázek 25). Druhé nejnižší BAI pak bylo na lokalitě Bolu P.



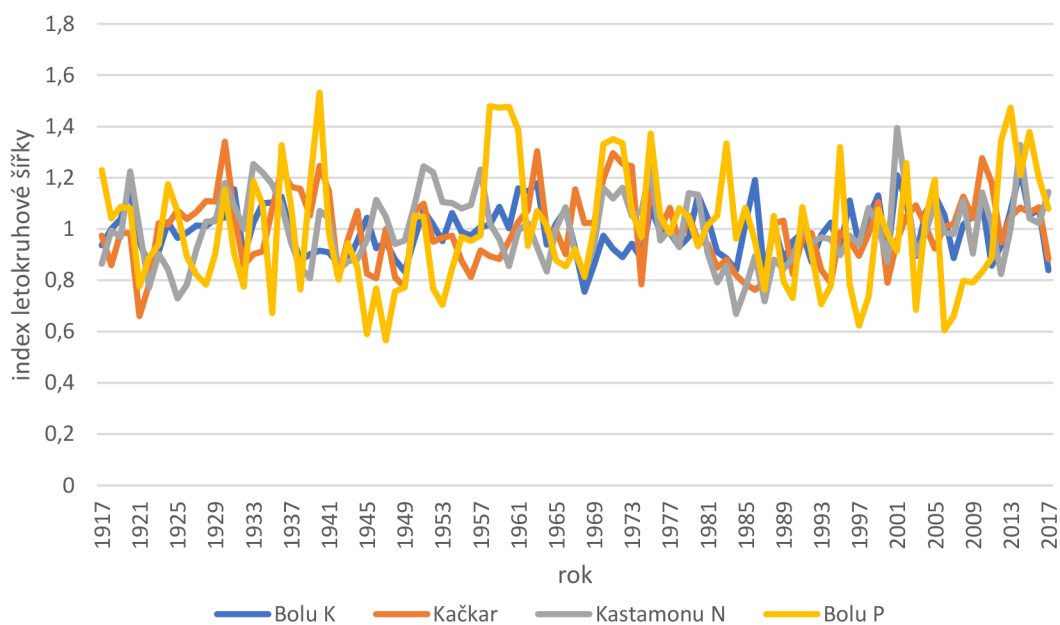
Obrázek 25 Krabicové grafy průměrných přírůstů kruhové základny BAI

Dle Scheffeho testu (tabulka 5) vyšel signifikantní rozdíl BAI na lokalitě Bolu K s ostatními lokalitami. Vliv expozice neměl na BAI vliv, ale nadmořská výška na lokalitě Bolu měla signifikantní rozdíl.

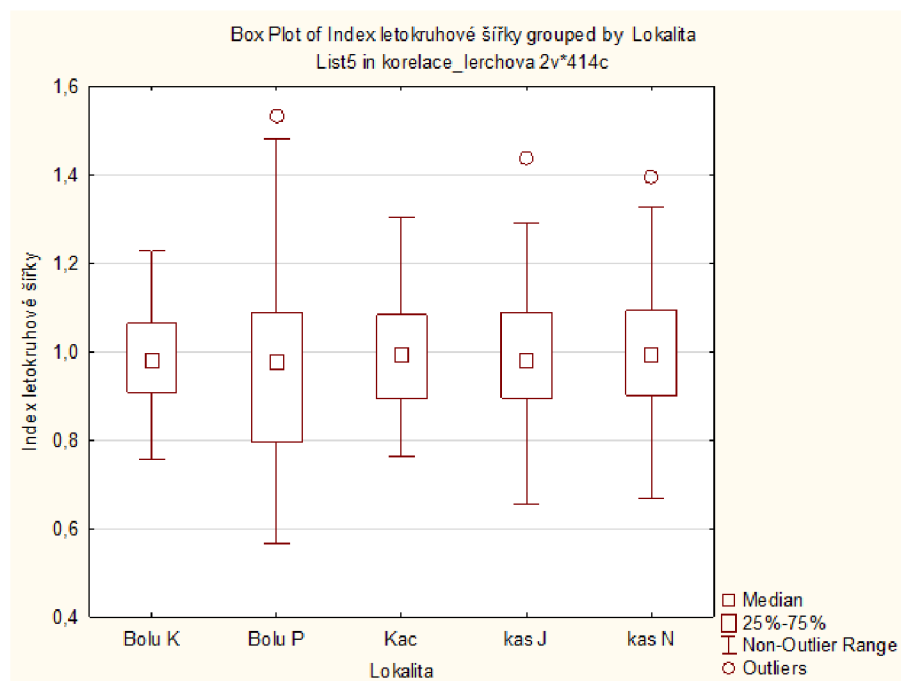
Tabulka 5 Scheffeho test

Scheffé test; variable BAI, Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 2496E2, df = 313,00					
Lokalita	Bolu K 3271,3	Bolu P 1992,7	Kackar 1982,0	Kastamonu J 2228,7	Kastamonu N 2245,8
Bolu K		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Bolu P	0,00		0,999973	0,134535	0,088998
Kackar	0,00	0,999973		0,104488	0,067442
Kastamonu J	0,00	0,134535	0,104488		0,999828
Kastamonu N	0,00	0,088998	0,067442	0,999828	

Detrendované přírůsty (obrázek 26), oproti BAI (obrázek 24), potvrzují podobný trend přírůstů na každé lokalitě. Nebyl shledán statisticky významný rozdíl letokruhových indexů mezi lokalitami, které se nachází stovky kilometrů od sebe v různých částech Severoanatolského pohoří v Turecku (obrázek 27, tabulka 7).



Obrázek 26 Srovnání indexů letokruhových šířek



Obrázek 27 Vynesené indexy letokruhových šířek do krabicových grafů

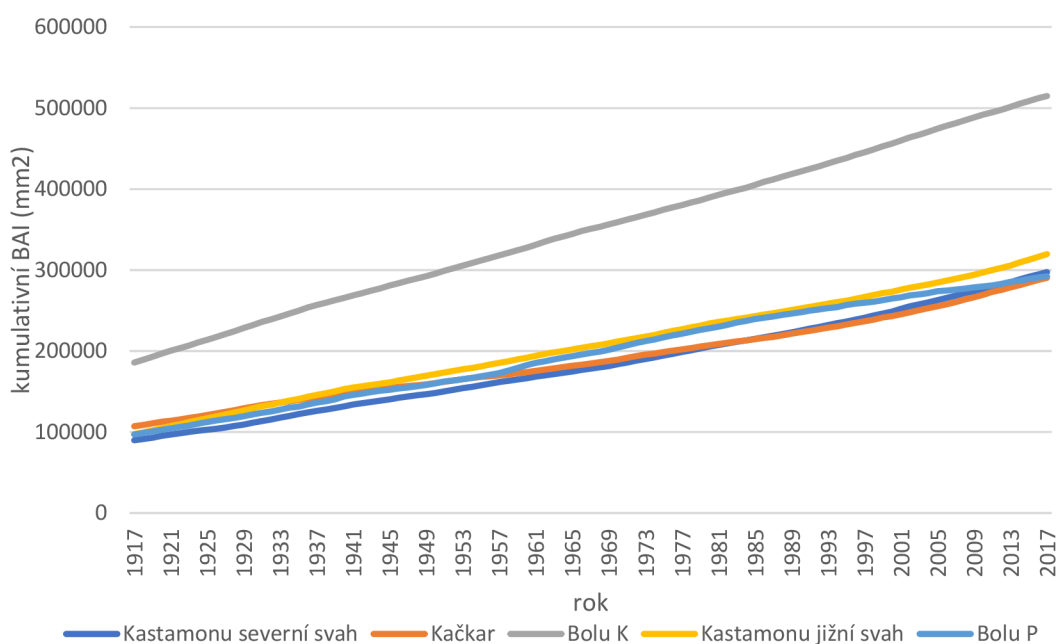
Tabulka 6 Tabulka korelací indexů letokruhové šířky mezi lokalitami na hladině významnosti $p < 0,05$

Variable	Correlations, Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=83						
	Means	Std.Dev.	Bolu K	Bolu P	Kackar	Kastamonu J	Kastamonu N
Bolu K	0,988918	0,101910	1,000000	0,187107	0,172142	0,504846	0,486941
Bolu P	0,997735	0,241204	0,187107	1,000000	0,298124	0,422440	0,101568
Kackar	0,997832	0,137425	0,172142	0,298124	1,000000	0,369480	0,321584
Kastamonu J	0,988298	0,143462	0,504846	0,422440	0,369480	1,000000	0,616771
Kastamonu N	1,000035	0,135228	0,486941	0,101568	0,321584	0,616771	1,000000

Tabulka 7 Scheffeho test indexů letokruhových šířek

Scheffe test; variable Index letokruhové šířky Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,02529, df = 409,00

Lokalita	Bolu K ,98752	Bolu P ,99773	Kackar ,99783	Kastamonu J ,98830	Kastamonu N 1,0000
Bolu K		0,996560	0,996431	1,000000	0,992468
Bolu P	0,996560		1,000000	0,997447	0,999991
Kackar	0,996431	1,000000		0,997343	0,999992
Kastamonu J	1,000000	0,997447	0,997343		0,994051
Kastamonu N	0,992468	0,999991	0,999992	0,994051	



Obrázek 28 Změna kumulativního přírůstu dle průměrného BAI mezi lety 1917-2017

Kumulativní přírůst jednotlivých lokalit za roky 1917–2017 znázorňuje obrázek 28. Ostatní plochy jsou ve svém růstu vyrovnány.

V tabulce 6 jsou korelace mezi lokalitami na hladině významnosti $p < 0,05$. Z výsledků se potvrdilo, že žádná z lokalit není signifikantní a všechny indexy přírůstu jsou si podobné. Tabulka 8 v příloze obsahuje informace minimálních a maximálních hodnot detrendovaných indexů a směrodatnou odchylku.

Podle Scheffeho testu (tabulka 7) a Studentova LSD testu (tabulka 9 v příloze) bylo potvrzeno, že mezi indexy přírůstu letokruhových šířek není signifikantní rozdíl na hladině významnosti $p < 0,05$.

5 Diskuse

5.1 Vliv klimatu na přírůst

Liebigův zákon minima říká, že růst organismu je limitován tím prvkem, kterého je největší nedostatek. V předchozím textu jsme vyložili, že v podmínkách Evropy a Středomoří představuje hlavní regionální limitující faktor pro nižší polohy nedostatek vody a pro vyšší polohy je jím nízká teplota ve vegetační sezóně. Směrem k jihu se předěl mezi těmito dvěma faktory posouvá do vyšších nadmořských výšek, takže i lokality, které je třeba považovat za horské, mohou být limitovány spíše nedostatkem srážek než teplotou. Všechny studijní lokality kromě pastviny na Bolu se nacházejí vysoko (na horní hranici lesa), takže se u nich očekává větší vliv teploty než srážek. Pastvina Bolu P leží téměř tisíc metrů níže, takže se u ní předpokládal větší význam nedostatku vody než na ostatních lokalitách.

V grafech vyjadřujících vliv teploty a srážek na přírůst jarního a letního dřeva (obrázky 6–14) se prokázaly některé signifikantní vztahy. Celkové vyznění grafů pro Bolu je ale nejednoznačné, například v prvním grafu (obrázek 6) je patrné, že jako jediný signifikantní vztah šířky jarního dřeva s teplotou a úhrnem srážek na lokalitě Bolu K (vrchol) se ukázala být lednová teplota. Na lokalitách Kastamonu a Kačkar lze z grafů vyčíst rysující se trendy. Tyto trendy se však lépe ukázaly u grafů počítajících jen s celkovou šířkou letokruhu, ale zato s celým datasetem (obrázky 15–19) a budou rozebrány až dále v diskusi. Limity pro analýzu trendů jarního a letního dřeva bychom měli hledat nejspíše v nízkém počtu vzorků, u kterých byly tyto šířky samostatně měřeny (6 na lokalitu).

Korelace mezi klimatickými podmínkami a přírůstem jarního dřeva vykazovala pozitivní korelace s teplotou v lednu daného roku na lokalitě Bolu, na lokalitě Kačkar a Kastamonu byla teplota pozitivně signifikantní v únoru a březnu. Tyto korelace byly potvrzeny také ve studii Lebourgeois et al. (2010) kdy jarní dřevo borovice lesní mělo silnou odezvu na únorové teploty. Též Martin-Benito et al. (2013) potvrdili pozitivní vliv únorových teplot na přírůst jarního dřeva ve středovýchodním Španělsku.

Z našich výsledků vyplývá, že na lokalitě Kačkar ovlivňovaly pozitivně srážky přírůst jarního dřeva již v květnu, což potvrzují výsledky Martin-Benito et al. (2013) a letního dřeva od května do srpna. Na lokalitě Bolu K nebyly srážky pro jarní dřevo významné, pouze u letního dřeva v září a na lokalitě Kastamonu v březnu a květnu.

Z výsledků lze vyčíst, že srážky ve vyšších nadmořských výškách na studovaných lokalitách mají vliv převážně na letní dřevo v letních měsících, což potvrzuje i Lebourgeois et al. (2010). Ve výsledcích nejsou konzistentní reakce jarního a letního dřeva pravděpodobně v důsledku malého počtu dat.

Výsledky z celého datasetu ukázaly několik vztahů, které nejsou samozřejmě na všech lokalitách vyjádřeny stejně. V růstové sezóně se opakovala statisticky významná pozitivní korelace mezi teplotou a šířkou letokruhu pro jarní měsíce březen a duben.

Reakce dřeva na teploty na lokalitě Bolu K začínají již v lednu, kdy teploty postupně stoupají nad 0 °C a pozitivně ovlivňují růst až téměř do dubna, poté se nám korelace snižují pravděpodobně díky stagnujícím teplotám. Zajímavá je i reakce na únorové teploty na lokalitách Bolu P a Kačkar. Pozitivní závislost únorových a/nebo březnových pozitivních teplot potvrdily výsledky Mácové (2008). Tyto reakce na únorové teploty vysvětlují Mácová & Tichý (2007) tak, že mohl nastat začátek vegetační sezony dříve nebo byly borovice vlivem menšího poškození mrazem méně stresovány. Příčinou těchto reakcí bude také patrně fakt, že vyšší jarní teploty umožňují dřívější začátek růstu, čímž prodlouží období tvorby buněk.

Druhým opakujícím se vztahem je statisticky významná pozitivní korelace mezi teplotou a šířkou letokruhu pro letní měsíce červenec a srpen. I zde bude příčinou prodloužení růstové sezóny, ale z opačné strany. V červenci a srpnu v těchto horských polohách teploty patrně nejsou vždy dostatečně vysoké a díky tomu mohou růst také omezovat. Fritts (1976) uvádí, že teploty v Evropě na horní hranici lesa mají vliv na přírůst v červnu a v červenci v přítomném roce. Odpovídá to i výsledkům této studie, kdy v přítomném roce na lokalitě Bolu K a Kastamonu severní (s nižšími korelacemi i jižní) expozice korelovaly teploty pozitivně v červenci a srpnu, na lokalitě Kačkar v srpnu. Nejvyšší korelace na všech lokalitách (kromě Kačkaru) byly v letních měsících přítomného roku, kdy teplota nejvíce ovlivňovala růst dřeviny.

Další pozitivní vztahy mezi šířkou letokruhu a teplotou se vyskytovaly v říjnu a listopadu předcházejícího roku. Na Kačkaru měla teplota pozitivní vliv v předchozím roce od října do prosince. Stejnému výsledku došli Martin-Benito et al. (2018). Zde můžeme příčinu hledat nejspíš v příznivých podmínkách pro tvorbu zásobních asimilátů na příští sezónu, ze kterých potom strom čerpá. Ty se v tomto období vytvářejí a ukládají v podobě zásobních cukrů (Oberhuber 2004).

Na některých lokalitách (Kačkar, Bolu P), se ukázala také pozitivní korelace mezi šířkou letokruhu a teplotou ve vyloženě zimních měsících. Také pro srážky vyšly na některých lokalitách průkazné vztahy pro jednotlivé měsíce. Na lokalitě Kastamonu (jižní expozice) vyšlo, že šířka letokruhu pozitivně korelovala s množstvím srážek daného roku v prosinci. Na základě těchto korelací by se dalo říci, že i zimní dostupnost vody je na některých lokalitách důležitá. Lévesque et al. (2014) zaznamenali pozitivní reakce přírůstu borovice na srážky v zimních měsících s průměrnými srážkami od prosince do února. Mnoho studií nezohledňuje zimní měsíce a zaměřuje se převážně na předchozí zimní období (Bozkurt et al. 2021; Lebourgeois et al. 2010; Martin-Benito et al. 2013). Negativní korelace se srážkami v předchozím roce v listopadu na lokalitě Kastamonu jižní svah a lednové srážky přítomného roku na Kastamonu severní svah souhlasí i s výsledky ze studie Bozkurt et al. (2021), která probíhala v blízkosti zkoumaných lokalit z této práce. Jižní a severní expozice (Kastamonu) nevykazovala téměř žádné rozdíly vlivu klimatu na růst. Negativní reakce na srážky se objevuje ve studii Mácové (2007), kdy na suchých oblastech reagovala borovice slabou negativní korelací s lednovými srážkami. Pozitivní korelace v prosinci na jižním svahu a v únoru předchozího roku jsou pravděpodobně z nepřesnosti dat nebo jde o náhodný jev, který byl již zmiňován. Obě lokality se shodují pozitivním vlivem květnových srážek na růst v přítomném roce.

Všechny lokality kromě Bolu pastvina byly tedy ovlivňovány především teplotou. Na Bolu (P) pastvina je situace jiná. Kromě jarních teplot se ukázaly jako vysvětlující proměnnou i srážky v loňském srpnu (skrže vliv na tvorbu asimilátů na podzim) a srážky během růstové sezóny daného roku (květen až srpen). Výsledky se shodují s očekáváním a ukazují, že níže položená lokalita Bolu pastvina se potýká s nižší dostupností vody, zvláště v teplejších měsících roku. Bozkurt et al. (2021) potvrzují výsledky z práce, kdy srážky měly také pozitivní vliv na přírůst od května do srpna.

Bogino et al. (2009) naznačují, že růst borovice na různých stanovištích podporují teploty na přechodu pozdní zimy a brzkého jara, což odpovídá zjištěným výsledkům, zejména na lokalitě Kačkar. Především význam teplot předchozího roku podporují signifikantní korelace v období od září do prosince, a to na všech hodnocených lokalitách. Lévesque et al. (2014) potvrzují tyto reakce v Alpských podmínkách, kdy *Pinus sylvestris* vykazovala vyšší citlivost růstu na předchozí podzimní teploty na vlhkých stanovištích více než na stanovištích suchých.

5.2 Zhodnocení přírůstu

Byl hodnocen průměrný přírůst kruhové základny (BAI) z několika pohledů. Bylo porovnáno, zda má nadmořská výška na lokalitě Bolu K a Bolu P vliv na BAI (obrázek 21). Na těchto lokalitách by mohly být jako limitujícími faktory například zápoj, expozice a vliv klimatu. Dle výsledků níže rostoucí stromy (Bolu P) měly vyšší bazální přírůst ale nižší index letokruhové šířky (obrázek 20), což se dalo vysvětlit větším zápojem. Výše rostoucí stromy (Bolu K) mají vysoké BAI nejspíše proto, že byly více solitérní a stromy mohly využít naplno svoji růstovou kapacitu. Ve vyšších nadmořských výškách by mohla hrát roli i vlhkost z horizontálních srážek a v posledních 20-30 letech změna teploty, kdy průměrná teplota roste a výše položené polohy mohou poskytovat lepší podmínky pro růst dřevin. Kdežto v nižších polohách již dřeviny v optimálnějších podmínkách rostly a nyní jsou spíše stresovány suchem (nižší srážky a vyšší teplota). Též bychom mohli přirovnat tento rozdíl měnícím se klimatickým podmínkám a přesunu areálu rozšíření (Matías & Jump 2012).

Podle Marqués et al. (2016) růst borovice lesní ve východním Španělsku v nižších polohách poklesl, ve vyšších polohách takovou reakci nezpozorovali, což potvrzují i naše výsledky, kdy kumulativní přírůst (obrázek 28) klesá na lokalitě Bolu P, která se nachází, oproti ostatním lokalitám, v nižších nadmořských výškách.

V lokalitě Kastamonu byl na základě dat z průměrného přírůstu na kruhové základně (BAI) porovnáván vliv expozice terénu. Vliv na růst borovice lesní severního a jižního svahu nebyl významný. Předpokládalo se, že přírůst na jižním svahu bude nižší, jelikož jižní svahy bývají ovlivněné více teplotou a jsou vysychavé. Pravděpodobně jsou zde pro borovici vhodnější podmínky, poněvadž dochází k časnému odtávání sněhu a dřívější započítí vegetační sezony a tím se umožní delší produkce a diferenciacie buněk (tvorba dřeva), jako to pozorovali ve studii Rossi et al. (2007). Význam v podobném přírůstu na severním a jižním svahu na lokalitě Kastamonu mohl být v rozdílné věkové struktuře. Na jižním svahu se nacházejí převážně stromy ve věku kolem 140 let. Severní svah byl osídlen mladšími jedinci okolo věku 70 let, díky čemuž mají stromy možnost většího potenciálního přírůstu. Oproti tomu na jižním svahu, na kterém se nacházeli starší jedinci ve věku okolo 140 let, kteří mají díky věku nižší přírůst, ale vhodné klimatické podmínky. Tímto předpokladem se navzájem pravděpodobně srovnávají rozdíly přírůstu a jsou si ve výsledku podobné. Z dílčích závěrů lze odvodit, že vliv expozičních poměrů na této lokalitě nemá zásadní vliv na růstový trend. Tomuto závěru došla i Ponocná (2009)

při pozorování stanovištních chronologií severní a jižní expozice v Krkonoších na smrku ztepilém (*Picea abies*), kdy se projevovaly podobné růstové trendy vyjma let imisní kalamity, projevující se na severním svahu dřívější změnou růstu.

Celkovým srovnáním BAI lokalit vyplývá, že do osmdesátých let minulého století začal přírůst růst, zvláště na horní hranici lesa. V nižší poloze Bolu P je trend opačný, kdy v posledních letech na lokalitě spíše přírůst stagnuje. Změnu růstu bychom mohli přisuzovat klimatickým změnám a globálnímu oteplování, které se v těchto oblastech velmi projevuje změnou růstu, s čímž se shodují Matías & Jump (2012) předpovídající velký stres pro tuto dřevinu v jejím jižním areálu rozšíření. S naší myšlenkou se shoduje i názor Herrero et al. (2013), kteří tvrdí, že s měnícími se klimatickými podmínkami se také změnily i mikroklimatické podmínky, které pro stromy ve vysokých polohách mohou mít vliv na snížení citlivosti růstu borovice. Také potvrdili, že variabilita přírůstků stromů byla nejvíce stresována v nízké nadmořské výšce, což bychom mohli srovnávat s podobným výsledkem u Bolu P.

6 Závěr

Výzkum byl prováděn na vzorcích borovice lesní (*Pinus sylvestris*) odebraných na třech lokalitách, nacházejících se v severním pohoří Turecka (Bolu Daglari, Ilgaz Daglari a Kackar Daglari). Tyto lokality se byly na horní hranici lesa s většinou severní expozicí z důvodu příkrých jižních svahů či úplné absence dřevin na těchto svazích. Celkem bylo změřeno a křížovým datováním opraveno 162 vzorků. Byly provedeny korelační analýzy vlivu průměrných měsíčních teplot a průměrného úhrnu srážek z mřížkových datových sad Climate Research Unit (CRU TS 4.05) a detrendovaných přírůstků. Tímto bylo zjištěno, že jarní dřevo bylo pozitivně ovlivňováno teplotami již v lednu na lokalitě Bolu, na lokalitách Kastamonu a Kačkar pak v únoru a březnu. Srážky ve vyšších nadmořských výškách měly převážně vliv na letní dřevo v letních měsících.

Z výsledků je patrné, že letní dřevo bylo oproti jarnímu ovlivňováno srážkami pouze na lokalitách Bolu K a Kastamonu. Na lokalitě Kačkar měly srážky vliv na jarní i letní dřevo téměř po celé vegetační období, a to od května (června) do srpna.

Dále se potvrdilo, že dřeviny, nacházející se v nižších nadmořských výškách jsou ovlivňovány především srážkami a jedinci ve vyšších nadmořských výškách jsou ovlivňováni zásadně teplotou, která je na horní hranici lesa limitním faktorem.

Největší průměrný přírůstek na kruhové základně (dále jen BAI) ze všech studovaných lokalit byl na lokalitě Bolu K (vrchol), nacházející se na horní hranici lesa. Na lokalitách Kačkar a Bolu P (pastvina) byl BAI nejnižší. Také nebyl zjištěn zásadní rozdíl BAI na severní a jižní expozici, který mohl být ovlivněn různými faktory. Podle statistických analýz bylo BAI nepatrně vyšší na severním svahu. Indexy letokruhových šířek ukázaly četné shody meziročních oscilací i přesto, že se lokality nacházely velmi daleko od sebe podél Severoanatolského pohoří.

Ačkoli se potvrdilo, že významným faktorem pro růst borovice lesní na horní hranici lesa je jarní i letní teplota, jistě by bylo do budoucna přínosné vyhotovit podrobnější analýzu dalších faktorů, které ovlivňují růst v měsících, které byly nahodilé. Pro hodnocení reakce dřevin na klima, které se v budoucích letech bude jistě měnit, bude důležité provádět analýzy regionálně specifických vztahů růstu a klimatu ve vegetačním období i mimo něj (Mathisen & Hofgaard 2011). Též by mohla být rozdělena analýza klimatických změn do roku 1949 a od roku 1950 do přítomnosti, kdy byl zaznamenán vliv lidstva na atmosféru a zjistit, zda jsou nějaké statisticky významné změny korelací

mezi těmito obdobími. Práce by mohla přispět k dalšímu zkoumání oblasti nejjihnějšího rozšíření této dřeviny a výsledky by mohly přispět ke klimatickým pracím, které se zabývají borovicí a měnícího se klimatu.

7 Seznam použité literatury

ALTAY, V. Ecology of *Pinus sylvestris* L. forests—a case study from Istanbul (Turkey). *Pak J Bot.* 2019, 51(5), 1711-1718. Dostupné z: doi: [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2019-5\(9\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2019-5(9))

ARZAC, A., TABAKOVA, M. A., KHOTCINSKAIA, K., KOTENEVA, KIRDYANOV, OLANO, J. M. Linking tree growth and intra-annual density fluctuations to climate in suppressed and dominant *Pinus sylvestris* L. trees in the forest-steppe of Southern Siberia. *Dendrochronologia.* 2021, 67(125842). ISSN 1125-7865. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125842>.

BARBEITO, I., CALAMA, R., LeMAY, V., CAÑELLAS, I. Regeneration of Mediterranean *Pinus sylvestris* under two alternative shelterwood systems within a multiscale framework. *Canadian Journal of Forest Research.* 2011, 41(2), 341-351. ISSN: 0045-5067.

BIONDI, F. & F. QEADAN. A theory-driven approach to tree-ring standardization: Defining the Biological Trend from Expected Basal Area Increment. *Tree-Ring Research.* 64(2), 81-96. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.3959/2008-6.1>

BOGINO, S., FERNÁNDEZ NIETO, M.J., BRAVO, F. Climate effect on radial growth of *Pinus sylvestris* at its southern and western distribution limits. *Silva Fennica.* 2009, 43 (4): 609–623.

BOZKURT, A. E., ŞAHAN, E. A., KÖSE, N. Growth responses of *Pinus sylvestris* L. to climate from the southeastern limit of its natural distribution area, Turkey. *Dendrochronologia.* 2021, 70(125897). ISSN 1125-7865. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125897>.

BRIFFA, K. R. & MELVIN, T. M. A Closer Look at Regional Curve Standardization. In Hughes M. K., Swetnam T. W., Diaz H. F. (eds.) *Dendroclimatology: Progress and Prospects.* Springer Verlag, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2011. s. 113–145. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5725-0_5

BRIFFA, K. R., OSBORN, T. J., SCHWEINGRUBER, F. H., HARRIS, I. C., JONES, P. D., SHIYATOV, S. G., VAGANOV, E. A. Low-frequency temperature variations from a northern tree ring density network. *Journal of Geophysical Research:*

Atmospheres [online]. 2001, 106(D3), 2929-2941 [cit. 2022-03-01]. ISSN 2169-8996. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1029/2000JD900617>

BRICHTA, J., BÍLEK, L., LINDA, R., VÍTÁMVÁS, J. Does shelterwood regeneration on natural Scots pine sites under changing environmental conditions represent a viable alternative to traditional clear-cut management? *Central European Forestry Journal*. 2020, 66(1), 104–115. ISSN: 0323-1046. Dostupné z: doi: 10.2478/forj-2020-0014

BUNN, A. G. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*. 2008, 26(2), 115-124. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>

BUNN, A. G. Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*. 2010, 28(4), 251-258. ISSN 1125-7865. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.12.001>.

BURDA, J. & TUMAJER, J. Využití dendrochronologie při inženýrsko-geologickém průzkumu svahových deformací Mostecké pánve. *Zpravodaj HNĚDÉ UHLÍ*. 2016, vol. 3, s. 3-14

CAMERON, J. F., BERRY, P. F., PHILLIPS, E. W. J. The determination of wood density using beta rays. *Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*. 1959, 13(3), 78–84.

COOK, E. R. & KAIRIUKSTIS, L. A. ed. *Methods of Dendrochronology: applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 1990, 394 s. ISBN 0-7923-0586-8.

COOK, E. R. & HOLMES, R. L. *Users Manual for Program ARSTAN*. [online]. University of Arizona, Tucson, USA: Laboratory of Tree-Ring Research, 1999 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.ltrr.arizona.edu/~sheppard/DISC2019/arstan.txt>

COOK, E. R., & KRUSIC, P. J., Program ARSTAN: A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics. Palisades, NY: Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University, 2005.

ČUFAR, K. Dendrochronology And Past Human Activity- A Review Of Advances Since 2000. *Tree-Ring Society*. 2007, 63 (1), 47-60. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3959/1536-1098-63.1.47>

DE GRANDPRÉ, L., TARDIF, J. C., HESSL, A., PEDERSON, N., CONCIATORI, F., GREEN, T. R., OYUNSANAA, B., BAATARBILEG, N. Easonal shift in the climate responses of *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris*, and *Larix sibirica* trees from semi-arid, north-central Mongolia. *Canadian Journal of Forest Research*. 2011, 41(6), 1242-1255. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1139/x11-051>

DEAN, J.S. Dendrochronology. In: TAYLOR, R.E., AITKEN, M.J. (eds) *Chronometric Dating in Archaeology. Advances in Archaeological and Museum Science*, Springer, Boston, MA. 1997, 2. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9694-0_2

DEMIDOVA, L., IVKINA, M., ZHDANKINA, E., KRYLOVA, O., SOFYIN, E., RESHETOVA, V., STEPANOV, N., TYART N. Software package statistica and educational process. *SHS Web of Conferences* [online]. EDP Sciences, 2016, 29(02011) [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1051/shsconf/20162902011>

DRÁPELA, K. & ZACH, J. *Dendrometrie: (Dendrochronologie)*. 1. vyd. Ediční středisko MZLU v Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1995. ISBN 80-7157-178-4.

EILMANN, B., WEBER, P., RIGLING, A., ECKSTEIN D. Growth reactions of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. to drought years at a xeric site in Valais, Switzerland. *Dendrochronologia*,. 2006, 23(3), 121-132. ISSN 1125-7865. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.10.002>.

ESPER, J., COOK, E. R., KRUSIC, P. J., PETERS, K., SCHWEINGRUBER, F. H. Tests of the RCS Method for Preserving Low-Frequency Variability in Long Tree-Ring Chronologies. *Tree-Ring Research*. 2003, 59(2), 81-98. ISSN 2162-4585.

FARJON, A. *A Handbook of the World's Conifers*. 1–2. Leiden-Boston: Brill Academic Publishers, 2010. ISBN 9789004177185.

FRITTS, H. *Tree Rings and Climate*. London, New York, San Francisco: Academic Press, 1976. 582 s. ISBN 0-12-268450-8.

GARZÓN, M. B., SÁNCHEZ DE DIOS, R., SAINZ OLLERO, H. The evolution of the *Pinus sylvestris* L. area in the Iberian Peninsula from the last glacial maximum to 2100 under climate change. *The Holocene*. 2008, 18(5), 705-714. Dostupné z: doi:<https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1177/0959683608091781>

GRACE, J. & NORTON, D. A. Climate and Growth of *Pinus Sylvestris* at Its Upper Altitudinal Limit in Scotland: Evidence from Tree Growth-Rings. *Journal of Ecology*. 1990, 78(3), 601-610. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.2307/2260887>

GRISSINO-MAYER, H. D. Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program COFECHA. *TreeRing Research*. 2001, 57(2), 205-221. ISSN 2162-4585.

HANG-JUN WANG, HENG-NIAN QI, GUANG-QUN ZHANG, WEN-ZHU LI AND BI-HUI WANG, "An automatic method of tree-rings boundary detection on wood micro-images," *2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*, 2010, V2-477-V2-480, doi: 10.1109/ICCASM.2010.5620573.

HEKLAU, H., JETSCHKE, G., BRUELHEIDE, H., SEIDLER, G., HAIDER, S. Species-specific responses of wood growth to flooding and climate in floodplain forests in Central Germany. *IForest*. 2019, 12(3), 226-236. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3832/ifor2845-012>

HELAMA, S., LINDHOLM, M., TIMONEN, M., ERONEN, M. Detection of climate signal in dendrochronological data analysis: a comparison of tree-ring standardization methods. *Theoretical and Applied Climatology*. 2004, 79(3-4), 239-254. Dostupné z: doi:10.1007/s00704-004-0077-0

HENTTONEN, H. M., MÄKINEN, H., HEISKANEN, J., PELTONIEMI, M., LAURÉN, A., HORDO, M. Reakce radiálních změn přírůstku borovice lesní na teplotu, srážky a obsah vody v půdě podél šířkového gradientu napříč Finskem a Estonskem. *Zemědělská a lesnická meteorologie*. 2014, 198-199, 294-308. ISSN 0168-1923. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.004>.

HERRERO, A., RIGLING, A., ZAMORA, R. Varying climate sensitivity at the dry distribution edge of *Pinus sylvestris* and *P. nigra*. *Forest Ecology and Management*. 2013, 308, 50-61. ISSN 0378-1127. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.034>

HÖKKÄ, H., SALMINEN, H., AHTI, E. Effect of temperature and precipitation on the annual diameter growth of Scots pine on drained peatlands and adjacent mineral soil sites in Finland. *Dendrochronologia* 2012, 30: 157–165.

HOLTMEIER, F. K. Timberline Fluctuations. In HOLTMEIER F. K. (eds) *Mountain Timberlines. Advances in Global Change Research*, vol 36. Springer, Dordrecht, 2009. s. 293-333. ISBN 978-1-4020-9704-1.

JACQUIN, P., LONGUETAUD, F., LEBAN, J. M., MOTHE, F. *X-ray microdensitometry of wood: A review of existing principles and devices*. 2017, vol. 42, s. 42-50. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.01.004>.

JUNTILA, O. & HEIDE, O. M. Shoot and needle growth in *Pinus sylvestris* as related to temperature in northern Fennoscandia. *Forest Science*. 1981, 27(3), 423-430. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1093/forestscience/27.3.423>

KOERNER C. The use of 'altitude' in ecological research. *Trends In Ecology & Evolution*. 2007, 22 (11): 569-574. ISSN 0169-5347. Dostupné z doi:10.1016/j.tree.2007.09.006

KOPROWSKI M., PRZYBYLAK R., ZIELSKI A., Pospieszyńska A. Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland. *International Journal of Biometeorology*. 2012, vol. 56, no. 1–10. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-010-0390-5

KÖSE, N., AKKEMIK, Ü., GÜNER, H. T., DALFES, H. N., GRISSINO-MAYER, H. D., ÖZEREN, M. S., KINDAP, T. An improved reconstruction of May–June precipitation using tree-ring data from western Turkey and its links to volcanic eruptions. *Int J Biometeorol*. 2013, 57, 691–701. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-012-0595-x

KREMER, B. P. *Stromy: v Evropě zdomácnělé a zavedené druhy*. Ilustroval Hans HELD. Praha: Knižní klub, Průvodce přírodou. 1995. 287 s. ISBN 80–7176–184–2.

KUŽELKA, K. *Měření lesa: Moderní metody sběru a zpracování dat*. 1.vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, 2014. 164 pp. ISBN 978-80-213-2498-5.

LÄÄNELAID, A. & ECKSTEIN, D. Development of a Tree-ring Chronology of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) for Estonia as a Dating Tool and Climatic Proxy. *BALTIC FORESTRY*. 2003, 9(2), 76-82. ISSN ISSN 1392-1355.

LANNER, R. M. Temperature and the diurnal rhythm of height growth in pines. *Journal of Forestry*. 1964, 62(7), 493-495. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1093/jof/62.7.493>

LEBOURGEOIS, F., C. B. K. RATHGEBER, ULRICH, E. Sensitivity of French temperate coniferous forests to climate variability and extreme events (*Abies alba*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*). *Journal of Vegetation Science*. 2010, 21(2), 364–376. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01148.x>

LEUGNEROVÁ, G. *PINUS SYLVESTRIS* L. – borovice lesní (sosna) / borovica lesná [online]. 2007 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/pinus-sylvestris/>.

LÉVESQUE, M., RIGLING, A., BUGMANN, H., WEBER, P., BRANG, P. Growth response of five co-occurring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2014, 197, 1-12. ISSN 0168-1923. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.06.001>.

LINDHOLM, M., H. LEHTONEN, T. KOLSTRÖM, J., MERILÄINEN, M., ERONEN, TIMONEN, M. Climatic signals extracted from ring-width chronologies of Scots pines from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland. *Silva Fennica*. 2000, 34 , 317–330.

MÁCOVÁ, M. & TICHÝ, T. Dendroclimatological comparison of invasive *Pinus strobus* and native *Pinus sylvestris* growing in the Czech Republic on ecological and geographical gradients. In: HÄRTEL, H., CÍLEK, V., HERBEN, T., JACKSON, A., WILLIAMS, R. (eds.): *Sandstone landscapes*. Academia, Praha. 2007, 225–229.

MÁCOVÁ, M. Dendroklimatologické srovnání původního *Pinus sylvestris* a invazního *Pinus strobus* in different habitats in the Czech Republic: Dendroklimatologické srovnání původního *Pinus sylvestris* a invazní *Pinus strobus* v různých habitatech v České republice. *Preslia*. 2008, 277–289.

MARQUÉS, L., J. CAMARERO, A. GAZOL, ZAVALA, M. A. Drought impacts on tree growth of two pine species along an altitudinal gradient and their use as early-warning signals of potential shifts in tree species distributions. *Forest Ecology and*

Management. 2016, 381, 157-167. ISSN 0378-1127. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.021>.

MARTIN-BENITO, D., H. BEECKMAN, CAÑELLAS, I. Influence of drought on tree rings and tracheid features of *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in a mesic Mediterranean forest. *European Journal of Forest Research*. 2013, (132), 33–45. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s10342-012-0652-3>

MARTIN-BENITO, D., N. PEDERSON, N. KÖSE, M. DOĞAN, H. BUGMANN, M. MOSULISHVILI, BIGLER, C. Pervasive effects of drought on tree growth across a wide climatic gradient in the temperate forests of the Caucasus. *Global Ecology and Biogeography*. 2018, 27(11), 1314-1325. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/geb.12799>

MATHISEN, I. E. & HOFGAARD, A. Recent height and diameter growth variation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) along the Arctic margin: the importance of growing season versus non-growing season climate factors. *Plant Ecology & Diversity*. 2011, 4(1), 1-11. ISSN 1755-0874. Dostupné z: doi:[10.1080/17550874.2011.570797](https://doi.org/10.1080/17550874.2011.570797)

MELVIN, T.: *Historical growth rates and changing climatic sensitivity of boreal conifers*. Norwich 2004. 271 p. PhD Thesis. University of East Anglia.

MUSIL, I. & HAMERNÍK, J. Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin: lesnická dendrologie 1. 1.vyd. Praha: Academia, 2007. 352 s. ISBN 978-80-200-1567-9.

NEUHÄUSLOVÁ, Z. et al.: *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky*. Praha, Academia 1998. 341 s., mapa.

OBERHUBER, W. Influence of climate on radial growth of *Pinus cembra* within the alpine timberline ecotone. *Tree Physiology*. 2004, 24(3), 291–301. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1093/treephys/24.3.291>

Ottův slovník naučný: Ilustrovaná encyklopedie obecných vědomostí. Díl čtvrtý, Bianchi-Giovini-Bžunda. Praha: Paseka, 1997. ISBN 80-7185-089-6.

PALLARDY, S. G. *Physiology of Woody Plants: Third Edition*. Burlington, San Diego, London: Academic Press, 2008. 454 s. ISBN 978-0-12-088765-1.

POLENO, Z., VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., ŠTEFANČÍK, I., MIKESKA, M., KOBLIHA, J., KUPKA, I., MALÍK, V., TURČÁNI, M., DVOŘÁK, J.,

ZATLOUKAL, V., BÍLEK, L., BALÁŠ, M., SIMON, J. Pěstování lesů III. – Praktické postupy pěstování lesů. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2009, 948 s. ISBN 978-80-87154-34-2.

POLGE, H. The Use of X-Ray Densitometric Methods in Dendrochronology. *Tree-Ring Bulletin*. 1970, 30(1-4), s. 1-10. ISSN 0041-2198.

PONOCNÁ, T. *Ověření expozičního efektu na horní hranici lesa v Krkonoších*. Praha, 2009. Diplomová práce. PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY. Vedoucí práce Mgr. Václav Tremel, PhD

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATK, S., BABIAK, M. *Struktúra a vlastnosti dreva*. 1. Bratislava: Príroda, 1993. ISBN 80-07-00600-1.

R Core Team: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing [online]. Vienna, Austria [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.r-project.org/>

RICHARDSON, D.M. & RUNDEL, P.W.: Ecology and biogeography of Pinus: An introduction. In: RICHARDSON D.M. (ed.): *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge, Cambridge University Press. 1998, 3–46

ROSSI, S., DESLAURIES, A., ANFODILLO, T., CARRARO, V. Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia*. 2007, 152(1), 1-12. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00442-006-0625-7>

RYDVAL, M., LARSSON, L-Å., MCGLYNN, L., GUNNARSON, B. E., LOADER, N. J., LOADER, G. H. F., WILSON, R. Blue intensity for dendroclimatology: Should we have the blues? Experiments from Scotland. *Dendrochronologia*. 2004, 32(3), 191-204. ISSN 1125-7865. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2014.04.003>

SABATÉ, S., GRACIA, C. A., SÁNCHEZ, A. Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecology and Management*. 2002, 162(1), 23-37. ISSN 0378-1127. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00048-8)

SHRESTHA, K. B., HOFGAARD, A., VANDVIK, V. Tree-growth response to climatic variability in two climatically contrasting treeline ecotone areas, central

Himalaya, Nepal. *Canadian Journal of Forest Research*. 2015, 45(11), 1643-1653.
Dostupné z: doi:10.1139/cjfr-2015-0089

SCHURMAN, J. S., BABST, F., BJÖRKLUND, J., et al. The climatic drivers of primary *Picea* forest growth along the Carpathian arc are changing under rising temperatures. *Glob Change Biol*. 2019, 25: 3136 – 3150. Dostupné z: doi:https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1111/gcb.14721

SCHWEINGRUBER, F. H.: *Tree Rings and Environment Dendroecology*. 1st edition. Stuttgart: Haupt, 1996. 609 s. ISBN 3-258-05458-4

SLAVÍKOVÁ, J. Ekologie rostlin. 1. vyd. Praha: SPN, 1986. 368 s.

ŠEBÍK, L. & POLÁK, L. *Nauka o produkci dřeva: [celostátní vysokoškolská učebnice pro lesnické fakulty vysokých škol]*. Bratislava: Příroda, 1990. ISBN 80-07-00268-5.

ŠERCL, P.: Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické Zprávy*, 2008. vol. 61, č. 2, 33-43 pp.

TOLASZ, R., MÍKOVÁ, T., VALERIANOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V. *Atlas podnebí Česka*. Univerzita Palackého v Olomouci – ČHMU, 2007, 255 s. ISBN 978-80-244-1626-7.

TOMAZELLO, M., BRAZOLIN, S., CHAGAS, M. P., OLIVEIRA, J. T. S., BALLARIN, A. W., BENJAMIN, C. A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*. 2008, vol. 10, no. 2, s. 139-149. ISSN 0717-3644.

TÜRKEŞ, M. Spatial and temporal variations in precipitation and aridity index series of Turkey. In BOLLE, H. J. (eds) *Mediterranean Climate Variability and Trends*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. s. 181–213 . ISBN 978-3-642-62862-7

ÚRADNÍČEK, L. & CHMELARĚ J. *Dendrologie lesnická: (Gymnospermae)*. 1. část, Jehličnany: Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1995. 97 s. ISBN 80– 7157–162–8.

ÚRADNÍČEK, L., MADĚRA, P., KOBLÍŽEK, J., ŠEFL, J., VELIČKA, M., YAMAZAKI, Y. *Dřeviny české republiky*. 1.vyd. Brno: Matice lesnická, spol. s.r.o., 2001. 333 s. ISBN 80-86271-09-9.

ÚRADNÍČEK, L., MADĚRA, P., TICHÁ S., KOBLÍŽEK, J. Dřeviny České republiky. 2., přeprac. vyd. [Kostelec nad Černými lesy]: Lesnická práce, 2009. ISBN 978-80-87154-62-5.

VINTER, V. *Rostliny pod mikroskopem: základy anatomie cévnatých rostlin*. 2., dopl. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2223-7.

WASZAK N., ROBERTSON I., PUCHAŁKA R., PRZYBYLAK R., POSPIESZYŃSKA A., KOPROWSKI M. Investigating the Climate-Growth Response of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Northern Poland. *Atmosphere*. 2021, 12(12):1690. Dostupné z: doi <https://doi.org/10.3390/atmos12121690>

WIGLEY, T. M. L., BRIFFA K. R., JONES P. D. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 1984, 201–213. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2)

WILCZYŃSK, S. & SKRZYSZEWSKI, J. The climatic signal in tree-rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from foot-hills of the Sudetic Mountains (southern Poland): Das klimatische Signal in den Jahrringen von Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) im Sudeten-Vorland (Süd-Polen). *Forstwissenschaftliches Centralblatt*. 2002, 121(1), 15-24. Dostupné z: doi:doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1046/j.1439-0337.2002.01042.x

www.1 A. Kuzey Anadolu Dağları. *Dag.gen.tr* [online]. 2021 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://dag.gen.tr/kuzey-anadolu-daglari.html>

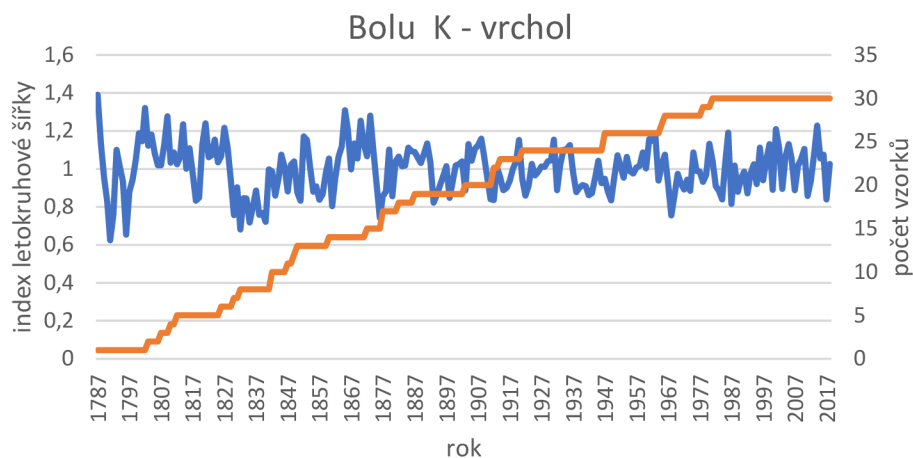
www.2 Kuzey Anadolu Dağları Özellikleri Nelerdir?. *Kolaybilgim* [online]. 2020 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <http://kolaybilgim.com/kuzey-anadolu-daglari/>

www.3 Kuzey Anadolu Dağları. *Nina.az* [online]. 2021 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://www.wiki.tr-tr.nina.az/Kuzey_Anadolu_Da%C4%9Flar%C4%B1.html

XOPLAKI, E., LUTERBACHER, J., BURKARD, R., PATRIKAS, I., MAHERAS, P. Connection between the large-scale 500 hPa geopotential height fields and precipitation over Greece during wintertime. *Climate Research*.. 2000, 14(2), 129-146. ISSN 1616-1572. Dostupné z: doi:10.3354/cr014129

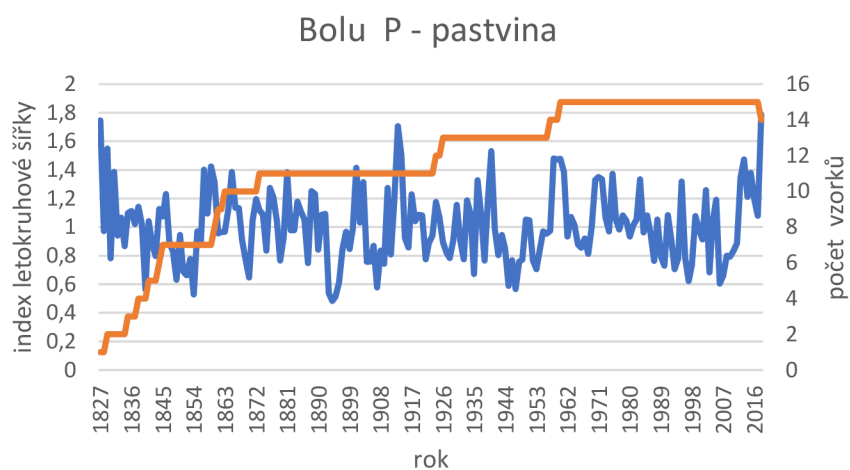
ZANG, C. & BIONDI, F. Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*. 2014, 38, 431–436. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1111/ecog.01335](https://doi.org/10.1111/ecog.01335)

8 Přílohy



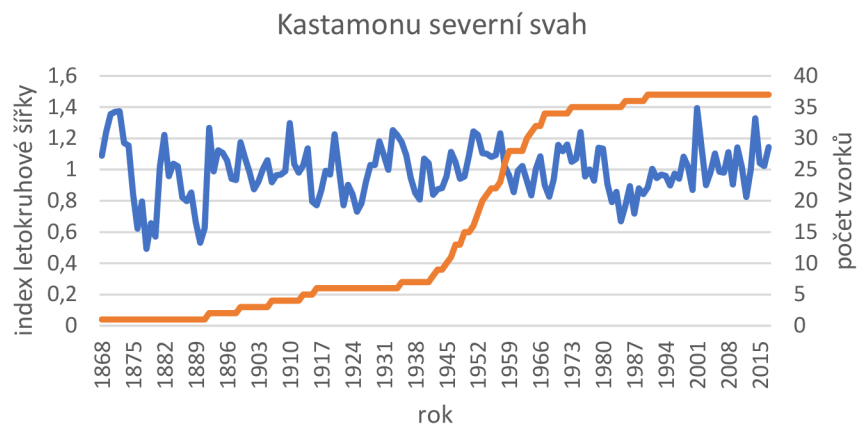
Obrázek 29 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1787-2018, lokalita Bolu

K

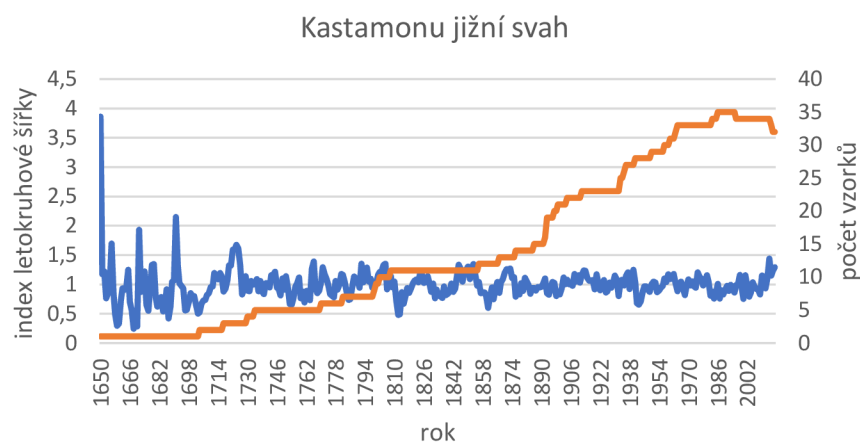


Obrázek 30 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1827-2017, lokalita Bolu

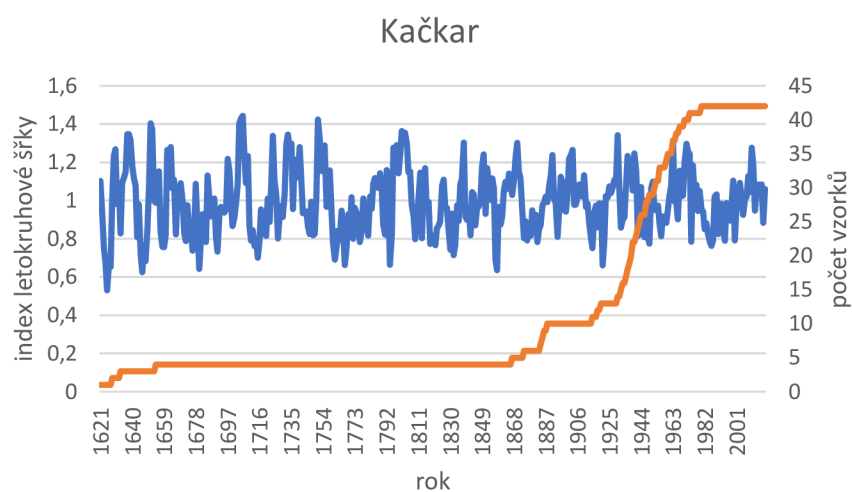
P



Obrázek 31 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1868-2017, lokalita Kastamonu severní svah



Obrázek 32 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1650-2017, lokalita Kastamonu jižní svah



Obrázek 33 Počty změřených vzorků vynesené s indexem letokruhové šířky pro období 1621-2018, lokalita Kačkar

Tabulka 8 Minimální a maximální hodnoty indexů letokruhových šířek a směrodatná odchylka

Variable	Descriptive Statistics				
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Bolu K	83	0,988918	0,755604	1,228904	0,101910
Bolu P	83	0,997735	0,565851	1,532344	0,241204
Kackar	83	0,997832	0,762785	1,303096	0,137425
Kastamonu J	83	0,988298	0,654795	1,437081	0,143462
Kastamonu N	83	1,000035	0,668902	1,394300	0,135228

Tabulka 9 Studentův LSD test indexů letokruhové šířky

LSD test; variable Index letokruhové šířky Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,02529, df = 409,00					
Lokalita	Bolu K ,98752	Bolu P ,99773	Kackar ,99783	Kastamonu J ,98830	Kastamonu N 1,0000
Bolu K		0,680083	0,677206	0,974829	0,613447
Bolu P	0,680083		0,996855	0,702487	0,925803
Kackar	0,677206	0,996855		0,699566	0,928935
Kastamonu J	0,974829	0,702487	0,699566		0,634743
Kastamonu N	0,613447	0,925803	0,928935	0,634743	

Tabulka 10 Studentův LSD test průměrné kruhové základny

LSD test; variable BAI, Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 2496E2, df= 313,00					
Lokalita	Bolu K 3271,3	Bolu P 1992,7	Kackar 1982,0	Kastamonu J ,228,7	Kastamonu N 2245,8
Bolu K		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Bolu P	0,00		0,903724	0,008186	0,004593
Kackar	0,00	0,903724		0,005733	0,003154
Kastamonu J	0,00	0,008186	0,005733		0,847237
Kastamonu N	0,00	0,004593	0,003154	0,847237	