

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Letokruhová analýza růstu stromů pod vlivem vnějšího prostředí

Bakalářská práce

Autor: Martin Židek

Vedoucí práce: Ing. Pavel Janda, Ph.D.

2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Židek

Lesnictví

Ekonomika a řízení lesního hospodářství

Název práce

Letokruhová analýza růstu stromů pod vlivem vnějšího prostředí

Název anglicky

Tree ring analysis of tree growth driven by environmental conditions

Cíle práce

Cílem práce je vypracovat literární rešerši na téma růstu stromů pod vlivem vnějšího prostředí. Práce bude zaměřena na lesy Evropy a obohacena obecnými principy celosvětového významu. V práci budou rozebrány obecné aspekty týkající se ekologické komplexnosti letokruhových analýz. V praktické části práce bude cílem odběr a analýza letokruhů z hospodářských porostů. Analýza letokruhů bude vyhodnocovat vztah přírůstků s faktory prostředí (klimatu).

Metodika

Bakalářská práce bude vypracována formou literární rešerše a bude doplněna sběrem a analýzou vlastních dat. Autor nastuduje metodiku práce s literaturou a tvorbou rešerší. Následně získá přehled o dostupné literatuře na dané téma v knihovnách na ČZU v Praze. Tyto znalosti budou doplněny konkrétními studii z mezinárodní databáze "Web of Science". Student bude systematicky pracovat s následujícími tématy jako je růst stromů, vliv vnějších podmínek na růst dřevin a letokruhová analýza. Získané vědecké znalosti budou shrnuty do literární rešerše. V praktické části bude proveden odběr vývrtů, které budou zpracovány a změřeny v laboratoři. Letokruhové křivky budou vyhodnoceny ve vztahu k růstovému prostředí.

Práce bude vypracována v průběhu roku 2022 a 2023. Během roku 2022 bude probíhat studium metodiky práce s odbornou literaturou a následně samotná práce s ní, sběr a zpracování letokruhů. Prosinec 2022 – odevzdání první verze textu/osnovy BP, seznam nastudovaných zdrojů a analýza letokruhů. Březen 2023 – konzultace závěrečné fáze přípravy BP. Duben 2023 – odevzdání BP školiteli.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Radiální přírůst, klima, letokruhová analýza

Doporučené zdroje informací

- Babst, F., Poulter, B., Trouet, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanic, T., Panayotov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciais, P., Frank, D., 2013. Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 22, 706–717.
- Dobbertin, M., 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *Eur. J. For. Res.* 124, 319–333.
- Kolář, T., Čermák, P., Oulehle, F., Trnka, M., Štěpánek, P., Cudlín, P., Hruška, J., Büntgen, U., Rybníček, M., 2015. Pollution control enhanced spruce growth in the “Black Triangle” near the Czech-Polish border. *Sci. Total Environ.* 538, 703–711.
- Mellert, K.H., Prietzel, J., Straussberger, R., Rehfuess, K.E., Kahle, H.P., Perez, P., Spiecker, H., 2008. Relationships between long-term trends of air temperature, precipitation, nitrogen nutrition and growth of coniferous stands in Central Europe and Finland. *Eur. J. For. Res.* 127, 507–524.
- Pretzsch, H., Schütze, G., Uhl, E. 2013. Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by interspecific facilitation. *Plant Biol.*, 15, 483-495.
- Speer, J.H., 2010. *Fundamentals of Tree-ring Research*. University of Arizona Press, 333 p.
- Vacek Z, Prokúpková A, Vacek S, Bulušek D, Šimůnek V, Hájek V, Králíček I. 2021. Mixed vs. monospecific mountain forests in response to climate change: structural and growth perspectives of Norway spruce and European beech. *For Ecol Manage* 488:119019.
- Vejpustková, M. 2022. Klimatické faktory limitující růst smrku na území České republiky v období 1968-2013. *Zprávy lesnického výzkumu*, 67(1), 60-71.
- Zang, C., Hartl-Meier, C., Dittmar, C., Rothe, A., Menzel, A., 2014. Patterns of drought tolerance in major European temperate forest trees: climatic drivers and levels of variability. *Glob. Chang. Biol.* 20, 3767–3779.
-

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Pavel Janda, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 25. 4. 2022

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 8. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 04. 04. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Letokruhová analýza růstu stromů pod vlivem vnějšího prostředí" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 5.4. 2023

Podpis _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Pavlovi Jandovi, PhD. za odborné vedení při zpracovávání bakalářské práce a mnoho podnětných rad. Dále bych velmi rád poděkoval mé rodině a blízkým za obrovskou podporu.

Letokruhová analýza růstu stromů pod vlivem vnějšího prostředí

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá zkoumáním radiálního přírůstu u dřevin v hospodářském lese na katastrálním území obce Pustá Polom v Moravskoslezském kraji. Cílem práce bylo zjištění, jak mohou radiální přírůst ovlivnit vnější vlivy, jako jsou teploty, srážky a index sucha.

V teoretické části se jedná o napsání literární rešerše na dané téma. Na základě těchto informací byla následně vypracována praktická část obsahující odebrání vzorků v terénu, zpracování a vyhodnocování dat.

Klíčová slova: radiální přírůst, klima, letokruhová analýza

Tree ring analys of tree growth driven by environmental conditions

Summary

The bachelor's thesis examines the radial growth in woodland in the economic forest in the cadastral territory of pustá Polom municipality in the Moravian-Silesian Region. The aim of the work was to determine how external influences such as temperatures, precipitation and drought index escalation can affect radial growth.

In the theoretical part, it is the processing of a literary research on a given topic. On the basis of this information, a practical part containing field sampling, post-processing and data evaluation was subsequently processed.

Keywords: radial growth, climate, tree rings analys

Obsah

Obsah.....	5
Seznam obrázků.....	7
Úvod	11
1. Cíl práce.....	12
2. Literární rešerše	13
2.1. Biomy.....	13
2.1.1. Opadavé listnaté lesy.....	13
2.1.2. Klima	14
2.1.3. Vztah vnějších vlivů ke dřevinám.....	14
2.1.4. Palmerův index sucha (PDSI)	14
2.2. Smíšené lesy.....	15
2.2.1. Definice smíšených lesů.....	15
2.2.2. Druhové složení opadavých listnatých lesů.....	15
2.2.3. Borovice lesní.....	16
2.2.4. Modřín opadavý.....	17
2.2.5. Smrk ztepilý.....	18
2.2.6. Dub zimní	19
2.2.7. Jedle obrovská	19
2.3. Disturbance.....	20
2.4. Dendrochronologie.....	21
2.4.1. Radiální přírůst.....	21
2.4.2. Letokruhová analýza	23
3. Metodika	24
3.1. Popis a charakteristika zájmové oblasti.....	24
3.1.1. Zjišťování průměrné teploty a průměrných srážek v softwaru GIS	24
3.2. Postup sběru dat	27
3.3. Interpretace dat	30
3.4. Křížové datování.....	31
4. Výsledky	32
4.1. Průměrné roční přírůsty zkoumaných dřevin.....	32
4.2. Vztah teplot s přírůsty	35
4.3. Srážky	40
4.4. PDSI index.....	44
5. Diskuze	48

6. Závěr	50
7. Zdroje	51

Seznam obrázků

Obr. 1, Mapa pro zjištění průměrné roční teploty v lokalitě Jankovce v programu ArcGIS....	25
Obr. 2, Mapa pro zjištění průměrných ročních srážek v lokalitě Jankovce v programu ArcGIS	26
Obr. 3, Odběrová jehla se vzorkem (Židek, 2022)	27
Obr. 4, Odebírání vzorku pomocí Presslerova nebozezu (Židek, 2022).....	27
Obr. 5, Vzorky uložené v plastových brčcích (Židek, 2022).....	28
Obr. 6, Dlouhopásová bruska DZJA200 (Židek, 2023).....	29
Obr. 7, Širokopásová bruska SBP 630 PONY (Židek, 2023).....	29
Obr. 8, Přilepené vzorky (Židek, 2022)	29
Obr. 9, Detail vzorku přes binolupu (Židek, 2023)	30
Obr. 10, Binolupa (Židek, 2023).....	30
Obr. 11, Trend průměrného ročního přírůstu borovice Pinus	32
Obr. 12, Trend průměrného ročního přírůstu dubu Quercus.	32
Obr. 13, Trend průměrného ročního přírůstu jedle Abies.....	33
Obr. 14, Trend průměrného ročního přírůstu modřínu Larix.	33
Obr. 15, Trend průměrného ročního přírůstu smrku Picea.	34
Obr. 16, Trend průměrného ročního přírůstu smrku Picea v monokultuře.....	34
Obr. 17, Trend průměrné roční teploty.	35
Obr. 18, Trend průměrných měsíčních teplot.	35
Obr. 19, Trend teploty s přírůstem u dubu Quercus.	36
Obr. 20, Trend teploty s přírůstem u borovice Pinus.....	36
Obr. 21, Trend teploty s přírůstem u modřínu Larix.....	37
Obr. 22, Trend teploty s přírůstem jedle Abies.....	37
Obr. 23, Trend teploty s přírůstem smrku Picea ve smíšeném lese.	38
Obr. 24, Trend teploty s přírůstem u smrku v monokultuře.	39
Obr. 25, Trend průměrných ročních srážek.	40
Obr. 26, Trend průměrných měsíčních srážek.	40
Obr. 27, Trend srážek s přírůstem u borovice Pinus.....	41
Obr. 28, Trend srážek s přírůstem dubu Quercus.	41
Obr. 29, Trend srážek s přírůstem u modřínu Larix.	42
Obr. 30, Trend srážek s přírůstem u jedle Abies.	42
Obr. 31, Trend srážek s přírůstem u smrku Picea v monokultuře.	43
Obr. 32, Trend srážek s přírůstem u smrku Picea ve smíšeném lese.....	43
Obr. 33, Trend průměrného ročního PDSI indexu.....	44
Obr. 34, Trend PDSI indexu s přírůstem u dubu Quercus.	45
Obr. 35, Trend PDSI indexu s přírůstem u borovice Pinus.	45
Obr. 37, Trend PDSI indexu s přírůstem u jedle Abies.	46
Obr. 36, Trend PDSI indexu s přírůstem u modřínu Larix.	46
Obr. 38, Trend PDSI indexu s přírůstem u smrku Picea ve smíšeném lese.....	47
Obr. 39, Trend PDSI indexu s přírůstem u smrku Picea v monokultuře.	47

Úvod

Dendrochronologie neboli letokruhová analýza, je vědní disciplína, která se zabývá zkoumáním letokruhů ve dřevě. Jedná se o jeden z nejstarších způsobů výzkumu stáří a historie dřeva. V letokruzích jsou uloženy informace o růstu stromu a o vnějším prostředí, ve kterém daný strom rostl. Rozdíly v tloušťce letokruhů umožňují určovat stáří dřeva a také zpětně rekonstruovat klimatické podmínky v minulosti. Vliv vnějšího prostředí na růst stromů je velmi významný, jelikož stromy reagují na změny teplot, srážek a sucha.

Dendrochronologie má široké využití v archeologii, geologii a meteorologii a dalších oblastech vědy. V archeologii může být letokruhová analýza použita k datování historických staveb. V geologii zase umožňuje studovat historické klimatické změny a v meteorologii se používá pro vytváření dlouhodobých klimatických sérií.

Vliv vnějšího prostředí na letokruhovou analýzu je však komplexní téma a závisí na mnoha faktorech, jako jsou klimatické podmínky, nadmořská výška, půdní typ a mnoho dalších. Nicméně, díky této metodě jsme schopni získat cenné informace o historii a vývoji naší planety, jak se naše klima a životní prostředí dále vyvíjí.

Důvodem výběru tématu letokruhové analýzy je skutečnost, že letokruhy mohou poskytnout cenné informace, které mohou pomoci vysvětlit minulé události, jako jsou například disturbance, nebo mohou pomoci s předpovědí budoucích událostí, jako jsou sucha a další klimatické změny. Tento druh analýzy také může přinést mnoho podnětů pro další výzkumy v této oblasti ve formě hledání nových užitečných informací o tom, jak se stromy mění a reagují na různé klimatické podmínky, které mohou pomoci při tvoření návrhů na ochranná opatření pro pěstování a ochranu lesa.

1. Cíl práce

Cílem práce je vypracovat literární rešerši na téma růstu stromů pod vlivem vnějšího prostředí. Práce je zaměřena na lesy Evropy a obohacena obecnými principy celosvětového významu. V práci jsou rozebrány obecné aspekty týkající se ekologické komplexnosti letokruhových analýz. V praktické části práce je cílem zpracovat výsledky odběru a analýzu letokruhů z hospodářských porostů. Analýza letokruhů vyhodnocuje vztah přírůstků s faktory prostředí (klimatu).

2. Literární rešerše

Kapitola literární rešerše stanoví teoretický základ pro praktickou část této práce.

2.1. Biomy

Biomy jsou ekosystémy, které se vyskytují v rozsáhlých oblastech a mají charakteristickou vegetaci v závislosti na klimatických a edafických podmínkách. Protože se klimatické podmínky na planetě postupně, mění od rovníku k pólům, dochází k proměně charakteristické vegetace na daném území. Tyto změny jsou způsobeny rozdílným množstvím světla během dne a noci, teplotními změnami během roku a přesunem vzdušných mas na celé planetě. Navíc se mění také množství srážek, což ovlivňuje růst rostlin v daném biotopu. V důsledku těchto změn vznikají různé biomy, jako jsou deštné lesy v tropických oblastech, savany v suchých oblastech a tundry v polárních oblastech. Změny v klimatických podmínkách mohou mít významný vliv nejen na rostlinný život v daných biotopech, ale také na živočišné druhy, které v nich žijí (Ulbrichová 2010).

Mezi hlavní zonální biomy Země řadíme tropické deštné lesy, savany a tropické sezónní lesy, tropické polopouště a pouště, středozevní tvrdolisté lesy, stepi a kontinentální pouště, opadavé širokolisté lesy, jehličnaté lesy a tajgu, tundry a alpské hole (Štícha et al. 2015).

Pro tuto práci bude stěžejním biotopem opadavý listnatý les střední Evropy.

2.1.1. Opadavé listnaté lesy

Jedná se o biotop, kde jsou dominantní zonobiomy mírného temperátního pásma na severní polokouli. Bučiny a doubravy, vytváří klimaxové typy ekosystému v nížinách až nižších hornatinách i na českém území. Název biotopu je odvozen z typického rysu, například opad listů na začátku stádia vegetačního klidu, kterým jsou zimní měsíce (Ulbrichová 2010).

2.1.2. Klima

Nejvíce záleží na vzdálenosti od oceánů, méně už na zeměpisné šířce. Podnebí je většinou charakterizováno na 4-6 teplých měsících kde je průměrná teplota okolo 20 °C. Pevninské podnebí se závislostí na vzdálenosti od oceánu odlišuje množstvím srážek a zimními teplotami. Průměrná roční teploty se pohybují okolo 10 °C a roční úhrny srážek kolem 500 až 1500 mm. Větší množství srážek bývá v letních měsících. (Ulbrichová 2010). Mezi suchem a větším množstvím srážek ve střední Evropě existují negativní vzájemné vztahy (Babst et al., 2013). Chladné a vlhké letní měsíce přispívají výraznou mírou k proměnlivosti růstu stromů, právě díky klimatickým faktorům a dochází tak ke snižování běžného přírůstu (Zang et al., 2014).

2.1.3. Vztah vnějších vlivů ke dřevinám

Vlivem extrémně vysokých teplot a velice významným srážkovým deficitem, který v mnoha případech způsobuje pokles hladiny spodních vod, dochází tím pádem k velkému ochromení lesních dřevin a k činnosti biotických činitelů, například napadení houbových patogenů nebo hmyzích škůdců (TZ VÚLHM., 2018).

2.1.4. Palmerův index sucha (PDSI)

Tento index byl vyvinut v roce 1965 americkým meteorologem Wayne Palmerem a stále se používá jako standartní metoda pro hodnocení sucha v různých oblastech. Index se používá pro zemědělství, lesnictví a meteorologii, aby pomohl předpovídat možné problémy s vodou a minimalizovaly se jejich dopady.

PDSI (Palmer Drought Severiny Index; Palmer 1965) Palmerův index sucha je metoda pro odborné zkoumání úrovně sucha v konkrétní oblasti. Tento index vychází z poměrů srážek a odpařování a bere v úvahu také historické klimatické podmínky v dané oblasti. Výsledkem je číslo reprezentující úroveň sucha v dané oblasti (Brázdil et al., 2015).

Hodnoty Palmerova indexu sucha se pohybují v intervalu od -10 (extrémně suché podmínky) po +10 (extrémně mokré podmínky). Hranice 0 udává normální klimatické podmínky. Záporné hodnoty indexu ukazují na nadbytek vlhkosti a suché podmínky (Palmer, 1965).

2.2. Smíšené lesy

2.2.1. Definice smíšených lesů

Definice smíšeného lesa není vůbec snadná. Smíšený les lze definovat, jako lesní porost, ve kterém rostou nejméně dva druhy dřevin, jenž spolu sdílejí prostor, tak jako vodní zdroje a nebo také půdní živiny. Velice často dochází ke složitému prostorovému uspořádání, kdy jedinci dalších jiných druhů obsazují společně nadzemní část, ale také kořenový prostor. V průběhu delší časové osy a stárnutím se mění dále prostorové uspořádání smíšených lesů (Bravo-Oviedo., 2014). Jako další definici smíšeného lesa označujeme následující za smíšený les se považuje takový porost, na jehož druhové skladbě se podílí dva a více druhů dřevin, které jsou smíšené v určitém a správném poměru, kde žádná z dřevin nepřesahuje zastoupení větší než 90 % (Del Río., 2016).

2.2.2. Druhové složení opadavých listnatých lesů

Mezi hlavní dřeviny, které tvoří smíšené lesy střední Evropy, patří zejména buk lesní *Fagus sylvatica*, jedle bělokorá *Abies alba* a smrk ztepilý *Picea abies* (L.; Nagel et Svoboda., 2009). Dále se zde vyskytuje dub zimní *Quercus petraea*, dub letní *Quercus robur*, jilm horský *Ulmus glabra*, jasan ztepilý *Fraxinus excelsior*.

2.2.3. Borovice lesní

Jedná se o dřevinu, která se řadí mezi významné jehličnaté hospodářské dřeviny. Borovice *Pinus* je výrazný světlomilný pionýrský druh, který vytváří četné edafotypy a vyskytuje se na velkém množství různých stanovišť s různými druhy půd jako jsou například písčité nebo rašelinné půdy, dále se vyskytuje na místech s různým vodním režimem a klimatickými podmínkami (Úradníček et al., 2009).

Jelikož borové porosty přirozeně propouštějí dostatek světla do podúrovně, umožní odrůstání ostatních druhů. V přírodních společenstvech je z příhodných stanovišť postupně odstraňována nahrazována klimaxovými dřevinami, ve smíšených porostech může v úrovni porostu odrůstat s většinou dřevin (Kacálek et al., 2017). Kořenový systém borovice *Pinus* je silně ovlivněn půdními vlastnostmi (Polomski a Kuhn., 1998), ale dokáže se velmi dobře přizpůsobovat různým typům stanovišť a prosperovat na nich (Köstler et al., 1968).

Největší reakce vlivu klimatických podmínek pro růst borovic *Pinus* bylo ovlivněno reakcí na zvyšování průměrných teplot, kdy tyto dřeviny negativně reagují na stres způsobený suchem, který má špatný vliv na přírůstek dřeviny (Kozłowski et al., 1991; Owens., 2006). Zvýšené průměrné roční teploty mohou ovlivnit spotřebu zásob pro růst v následném vegetačním období (Dai et al., 1999). Dle výzkumu brzdí růst borovic *Pinus* nejvíce nízké teploty v zimním období a ty mají za důsledek pozdější začátek vegetačního období, a to negativně působí na růst stromů (Chhin et al., 2008).

2.2.4. Modřín opadavý

Tato dřevina, která se původně vyskytovala v okolí Nízkého Jeseníku a Opavska, v současnosti je však významnou hospodářskou dřevinou, která je pěstována na celém území České republiky. Modřín *Larix* je dřevina, která má velké nároky na světlo, nesnáší zástin a stagnaci vzduchu. Porosty jsou vždy velmi řídké a často tvoří nadúroveň v porostu s ostatními dřevinami (Úředníček et al., 2009). Modřín *Larix* je dřevina, jenž je vhodná především jako dřevina vtroušená, přípravná a dřevina zpevňující a nejvíce je vhodná na stanoviště, která jsou kyselá, exponovaná i živná od nižších až horských poloh. Na stanovištích, která jsou ovlivněna vodou, může docházet k vytváření malého kořenového systému, což může způsobit vznik nejmenšího kořenového systému s malou hloubkou, díky které může docházet k vývratům a, k menší zpevňující funkci této dřeviny. Na stanovištích neovlivněných vodou má tato dřevina velmi dobré předpoklady k zajištění dobré mechanické stability (Kacálek et al., 2017).

Nejvýznamnější vliv na přírůst u modřínu *Larix* byla pozitivní korelace vlivem teplot v únoru a březnu, dále množství srážek v předchozím období v listopadu a v aktuálním roce v únoru, červnu a červenci, které mají velký vliv na velikosti přírůstu. Negativní korelace, která byla zřejmě způsobena vysokou teplotou v aktuálním letním období (Szymański et al., 2021). U modřínu *Larix* se reakce na změnu klimatu mění stářím stromu, ty které mají nízký věk, hůře odolávají změnám klimatických podmínek, naopak starší stromy lépe tyto změny zvládají (Carrer et al., 2006).

2.2.5. Smrk ztepilý

Jedná se o polostinný druh, který má střední až vyšší toleranci k zástině, někteří považují druh za světlomilnou dřevinu, která v mládí zástin snáší. Výzkum ukázal přínosy smrku ztepilého *Picea abies* jako produkčně efektivní dřevinu, pokud se nachází ve smíšených porostech s bukem, a to jak z hlediska produkčního potenciálu, tak odolnosti a stability porostu (Vacek et al., 2021). Smrk *Picea* je jednou z důležitých hospodářských dřevin ve střední a severní Evropě, jelikož se jedná o základní materiál v dřevařském a stavebním průmyslu. Současné zastoupení v České republice je kolem 54 %. Smrk *Picea* je naše nejvíce rozšířená dřevina, která nejlépe odrůstá mezi pátým a osmým vegetačním stupněm, jež je jeho optimální stanoviště (Kacálek et al., 2017). Dobře odrůstá na stanovištích středních, vyšších a horských poloh, v nižších polohách u prvního a druhého vegetačního stupně není příliš vhodný z důvodu očekávaných klimatických změn (Kacálek et al., 2017). Smrk *Picea* je dřevina, která dobře odrůstá v monokultuře, ale také i ve směsi dřevin (Kern et al., 1961). Tato dřevina je polostinná, ale snáší také oslunění a částečný zástin. Ke svému vývoji potřebuje mykorrhizu. Smrk si svou půdu chrání díky svému opadu, který se pomalu rozkládá, a tím vzniká kyselé prostředí, které je vhodné zejména pro *Vaccinium myrtillus* a *Rubus*.

Vlivem klimatických změn bylo u smrku *Picea* zjištěno, že produktivita přírůstu stromů se snižuje v důsledku se zvyšování teplot, tento trend je pozorován i ve vyšších polohách (Hilmers et al., 2019). Dle dalších výzkumů bylo zjištěno, že u smrků je šířka letokruhů podpořena vyšší mírou ukládání uhlíku, díky dostatečnému průběhu fotosyntézy. Smrk je dřevina, která vyžaduje dostatek světla. Je možné, že kontinuální teplota prodlužuje delší vegetační období a zvyšuje alokaci uhlíku do dřevní biomasy (Kolář et al., 2015).

2.2.6. Dub zimní

Dub *Quercus* je velice náročný druh na světlo. Ve smíšeném lese tvoří hlavní úroveň, protože potřebuje dostatek světla. Patří mezi zásadní melioračně zpevňující dřeviny, které zlepšují půdu díky svému opadu. Dub zimní *Quercus petraea* špatně snáší zvýšenou hladinu spodní vody na povrchu a taky nemá rád povrchové záplavy. Nýbrž dobře zvládá stanoviště silně vysychavé v letním období, tudíž vydrží v lesostepních podmínkách (Úřádníček et al., 2009).

Česká republika je oblastí, která je náchylná k suchu a vlivem těchto extrémních podmínek, kterými jsou například letní sucho, snížení hladiny podzemní vody a napadení biotickými činiteli dochází ke snížení přírůstu a úmrtnosti jedinců. Růst stromů nejvíce ovlivňují studené zimy s minimem srážek, jenž mají dopad na úbytek vody v letním období. Chladné jarní měsíce způsobují zdlouhavé zahájení vytváření jarního dřeva a letní období ovlivňují vysoké teploty se zvýšeným výparem vláhy z lesa, které snižují tvoření letního dřeva (Doležal et al., 2016). Dle výzkumu bylo zjištěno, že nejvíce byly stromy ovlivněny v posledním desetiletí, a to zejména vlivem jarních teplot z předchozího roku, srážky neměly tak velký vliv pro velikost přírůstu (Dorado-Liñán et al., 2020).

2.2.7. Jedle obrovská

Tato dřevina vykazuje velké nároky na půdní živiny potřebuje tedy dostatek živin pro svůj rychlý růst. Jedli *Abies* pozitivně ovlivňuje množství živin v půdě díky dobré meliorační funkci. Nejen proto patří mezi významné jehličnaté dřeviny další výraznou funkcí je zpevňující neboli stabilizační funkce, která je vhodně využívána především na živných stanovištích v nižších polohách, dále v rozsahu kyselých, živných, exponovaných a oglejených stanovišť středních poloh a také na stanovištích exponovaných, kyselých, živných a oglejených vyšších poloh (Kacálek et al., 2017).

V několika studiích jsou zaznamenány vlivy přírůstu jako například délka slunečního svitu v lednu předchozího období, teplota v jarním období a nejdůležitější je množství srážek v červenci a srpnu aktuálního roku (Wilczyński et al., 2019).

2.3. Disturbance

Jedná se o hlavní sílu, která produkuje dynamiku ve většině lesních ekosystémů na světě (Frelich, 2002). Disturbance patří mezi celkově uznávané vědecké názory, jenž upozorňují na dynamiku a nerovnovážnost ekologických systémů, ve kterých nejsou přírodní disturbance ničím cizorodým (Svoboda., 2008).

Disturbance bývají velmi často mezi sebou vzájemně propojeny. Jako počátek disturbance můžeme označit vliv abiotických činitelů, jako jsou například vítr, sucho a vyšší teplota, které v pozdějším stadiu doprovází také biotičtí činitelé, ke kterým řadíme dřevokazné houby, hmyzí škůdce, ale také zde může mít negativní vliv i člověk (Čada et al. 2016).

Disturbance můžeme členit dle jejich vlastností:

Obr. 1, Tabulka vyjadřuje základní členění disturbancí

Frekvence	• Jak často se opakují
Velikost	• Na jak velkou rozlohu působí
Intenzita	• Jakou silou působí
Sezonost	• Ve kterých částech roku zasahují
Severita	• Závažnost disturbancí vlivem jejich působení

Zdroj: (Pickett and White 1985), *Vlastní zpracování*

Les, který zažil disturbance, je odolnější vůči vnějším vlivům a počasí (Dietz et., 2020). Jako abiotické poškození lesa označujeme také žloutnutí smrku, které může být způsobeno například nedostatkem důležitých živin. Rozsah žloutnutí se může vyskytovat ve větších v regionech, které byly imisně zasaženy, například Moravskoslezský kraj (Zpravodaj ochrany lesa, 1994).

2.4.Dendrochronologie

2.4.1. Radiální přírůst

Dle Drápely a Zacha (1995) je růst a konečná šířka letokruhu u dřevin ovlivněna mnoha faktory. Letokruhy datované dřeviny mohou být využity k celkové rekonstrukci dřevin, k celkové rekonstrukci klimatu v minulých i současných dobách, což představuje dlouhodobý a kvalitně zpracovaný úkol v oblasti dendrochronologie. V Cookově vzorci se klimatický signál řadí na druhé místo mezi obecně platnými náhodnými signály. Klima tedy hraje významnou roli v dendroklimatologii a v dalších studiích, které zkoumají vliv různých faktorů na radiální přírůst a přírůsty (Drápela, Zach., 2000). Dendrochronologická práce typicky zahrnuje snahu vyjmout signál z přírůstkové chronologie a odstranit šum.

Cookův vzorec:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D_{1t} + \delta D_{2t} + E_t$$

R_t – šířka daného letokruhu

A_t – trend růstu, který je ovlivněn věkem stromu

C_t – klimatický signál aktuálního roku, jenž je obsažen v letokruhu

δD_{1t} – působení místních disturbančních faktorů

δD_{2t} – vnější faktor shodný pro více letokruhových řad

E_t – nahodilá odchylka

δ – dvojjmenný ukazatel výskytu ($\delta=1$) nebo absence ($\delta=0$) daného ukazatele v datech daného letokruhu (Drápela, Zach., 2000)

Radiální přírůst dřevin může být ovlivněn nejen srážkami v konkrétním roce, ale také srážkami v předchozím roce, které se projeví ve vzniku letokruhů. Výzkumy ukázaly, že existuje pozitivní korelace mezi množstvím srážek a růstem dřevin, zejména v nižších polohách a středních polohách. Na druhou stranu vysoké srážky v letních měsících, zejména v červenci a srpnu, mohou mít negativní vliv a snižovat přírůst dřevin. Tyto negativní korelace však byly zjištěny pouze v oblastech s nadměrně vysokými srážkami, například na německé straně Krušných hor (Čermák., 2007). Z těchto výzkumů tedy vyplývá, že srážky hrají důležitou roli při růstu dřevin, zejména v nižších a středních polohách, a že na vývoj letokruhů mají vliv srážky z různých částí roku.

Dlouhodobé suché období může vést k redukci buněčného turgoru a membrán, což snižuje množství vody, kterou buňky mohou absorbovat a ovlivňuje také zvětšování buněk. Stres ze sucha zároveň snižuje syntézu auxinů a karbohydrátů a jejich ukládání v kambiu. Stromy reagují na tento stres obvykle tím, že ovlivňují méně důležité procesy, jako je například růst kmene (Čermák., 2007).

V průběhu čtyřletého sledování růstu, stromy zažily velmi odlišné podmínky růstu, a to v důsledku rozdílných klimatických podmínek, díky kterým vznikají velké rozdíly ve středních šířkách a hustotě letokruhů. V rozdílných klimatických podmínkách měla odhadovaná zásoba půdní vody výrazný vliv na radiální růst i v průběhu let s vysokými srážkami (Uusitalo et al., 2019). Některé stresující faktory jako jsou vzájemná soupeřivost, hniloba kořenů nebo výskyt jmelí, velmi ovlivňují stromy v delším časovém horizontu a většinou je lze odhalit v pětiletých intervalech měření. U těchto typů stresujících faktorů, mezi které patří například sucho, poškození hmyzem a které způsobují bezprostřední poškození stromů a nejsou zjistitelné v pětiletých intervalech, je nutné z dlouhodobého hlediska provádět měření v kratších intervalech. Můžeme použít například posouzení ročního nebo meziročního růstu stromů, případně hodnocení dle šířky letokruhu (Dobbertin et al., 2005)

2.4.2. Letokruhová analýza

Stromy mají dlouholetou funkci jako bioindikátory veškerých ekologických faktorů, které mohou přímo nebo nepřímo působit na reakci pro růst letokruhů (Speer., 2010). Letokruhová analýza se využívá zejména pro zkoumání škodlivých faktorů, které ovlivňují přírůst dřeva. Výsledky této analýzy se určují dle matematicko-statistických metod a jejich cílem je dosahování informačního signálu a snížení šumu (Drápela, Zach., 1995). Letokruhové analýzy se mohou také často používat pro pochopení historických událostí. Tyto analýzy se využívají zejména v moderních oborech, jako jsou například antropologie, historie, geografie a ekologie (Wheeler., 2019). Letokruhová analýza může být také využita k vyhodnocení vlivu počasí na společnost a kulturu či k průzkumu ročního cyklu a jeho vlivu na člověka (Katz et al., 2017).

3. Metodika

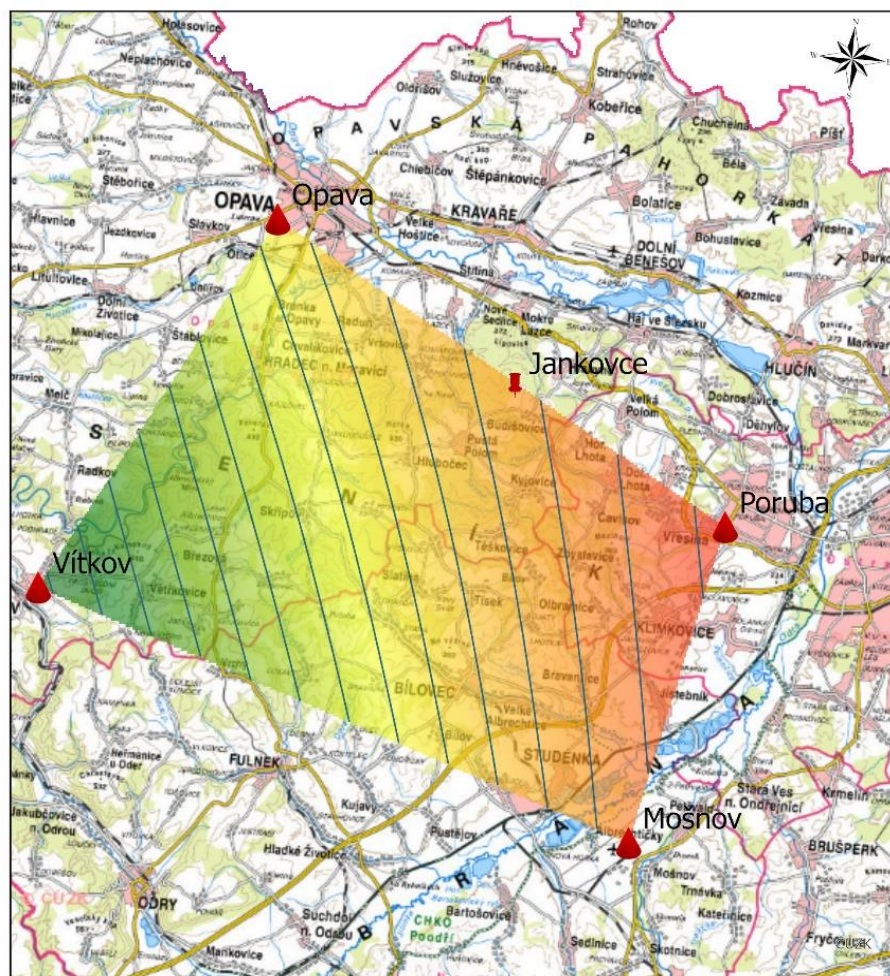
3.1. Popis a charakteristika zájmové oblasti

Revír Pustá Polom se rozprostírá v blízkosti města Opavy. Jedná se o Slezskou nížinu a Nízký Jeseník. Přírodní lesní oblast 29 – Nízký Jeseník. Oblast se nachází v nadmořské výšce od 300 m n. m. – do 464 m n. m., průměrná teplota je 9,3 stupňů Celsia a průměrné roční srážky činí 639 milimetrů.

3.1.1. Zjišťování průměrné teploty a průměrných srážek v softwaru GIS

V prostředí programu ArcGIS Pro byl nastaven souřadnicový systém S-JTSK. Následně byla připojena podkladová mapa (Základní mapa ČR 1:200 000). Poté byly pomocí příkazu přidáných souřadnicových dat x a y vyloženy body odpovídající umístění zmiňovaných stanic ČHMÚ společně s atributovými tabulkami. Dále byly pomocí nástroje Natural Neighbour interpolovány data reprezentující sledovaný jev. Výstupem tohoto kroku byly čtyři rastrové vrstvy. Ty byly pomocí nástroje Contour transformovány do vektorové podoby ve formě izolinií pro zpřehlednění výsledků, nakonec byla vložena poloha zkoumané lokace Jankovce a pomocí nástroje Sample byly zjištěny hodnoty sledovaných jevů právě pro toto místo. Výsledkem práce v prostředí ArcGIS Pro je mapový výstup zobrazující zkoumané jevy, kterými jsou průměrná teplota a průměrné srážky dané lokality. Pro jednotlivé analýzy přírůstu a klimatických charakteristik byla použita data z KNMI Climate Explorer.

Průměrné roční teploty na vybraném území



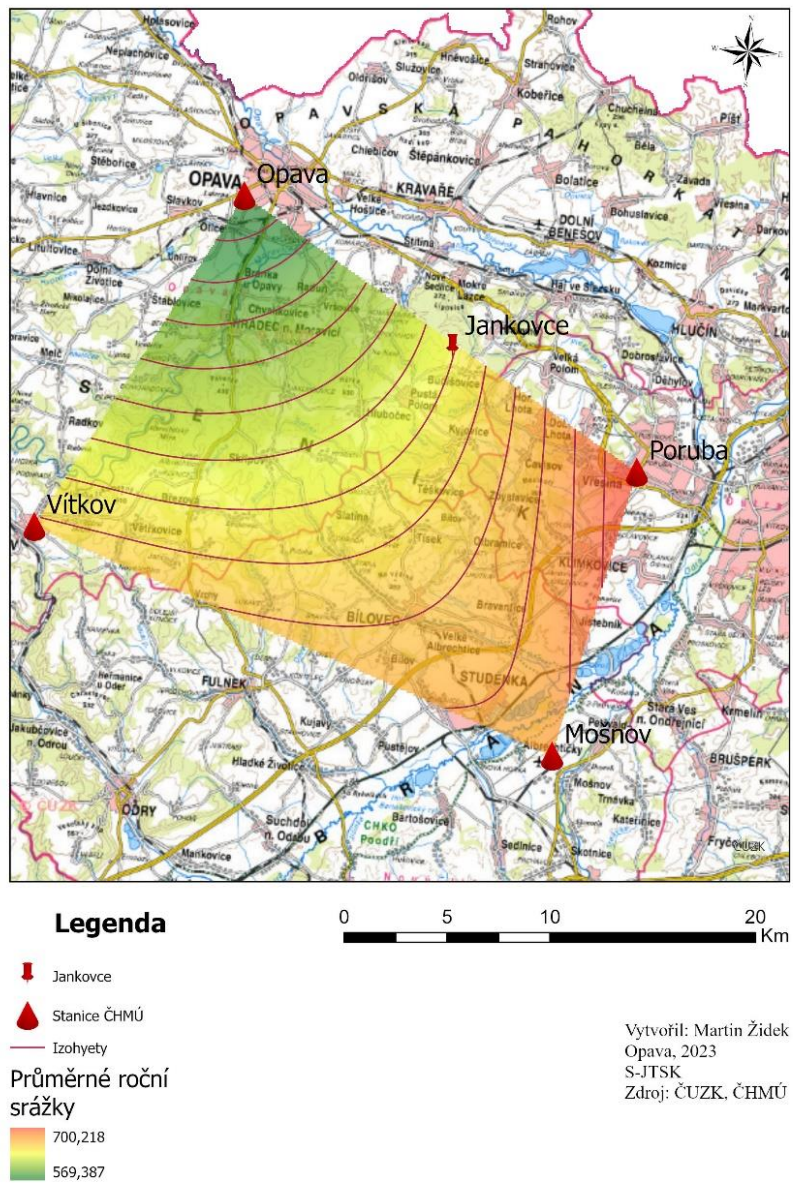
Legenda



Vytvořil: Martin Židek
Opava, 2023
S-JTSK
Zdroj: ČUZK, ČHMÚ

Obr. 1, Mapa pro zjištění průměrné roční teploty v lokalitě Jankovce v programu ArcGIS

Průměrné roční srážky na vybraném území



Obr. 2, Mapa pro zjištění průměrných ročních srážek v lokalitě Jankovce v programu ArcGIS

3.2. Postup sběru dat

Vzorky byly odebírány na revíru Pustá Polom pomocí Presslerova lesnického nebozezu.

Použití nebozezu: Bylo potřeba vybrat reprezentativní strom, do kterého bylo ve výčetní výšce ve 130 cm do středu stromu zavrtán závit nebozezu. Poté následovala kontrola z mírné vzdálenosti, zdali je vrták směřován do středu stromu. Poté se otáčením nebozezu doprava dostal vrták do středu stromu. Ověření správné hloubky bylo provedeno pomocí odběrové jehly, při přeměření ideální vzdálenosti ke středu stromu. Při správné vzdálenosti provedeme otočení nebozez o čtvrt otáčky doleva, kde došlo k odtržení vzorku od stromu, následně je zavedena jehla pro vytažení vzorku z nebozezu. Po vyjmutí je vzorek posouzen, jestli je dostatečně kvalitní (dle vzdálenosti od středu, hniloby a velikosti suku).



Obr. 4, Odebírání vzorku pomocí Presslerova nebozezu (Židek, 2022)



Obr. 3, Odběrová jehla se vzorkem (Židek, 2022)

Vzorky, které jsou ideální pro následné dendrochronologické zkoumání byly vloženy do plastového brčka pro převoz do laboratoře. Důležité bylo rozdělení druhů dřevin podle barev a správným označením brčka. Po vložení bylo nutné brčka propíchat a zamezit tak tvorbě plísní na vzorcích a docílit správného dosychání. Odběr probíhal v podzimních měsících v říjnu a listopadu roku 2022. Odebráno bylo přibližně 140 vzorků z různých druhů dřevin. Mezi hlavní dřeviny patřil smrk ztepilý *Picea abies*, dále byly odběry na modřínu opadavém *Larix decidua*, jedli obrovské *Abies grandis*, borovici lesní *Pinus sylvestris* a dubu zimním *Quercus petraea*.



Obr. 5, Vzorky uložené v plastových brčkách (Židek, 2022)

Vzorky byly vysušeny a přilepeny pomocí speciálního lepidla na dřevo na desky, do kterých byly předem vybroušené žlábkové. Na postupu při lepení bylo důležité správné nalepení kolmo na desku, aby bylo provedeno následně co nejpřesnější měření. I malé vychýlení přibližně o cca 30 % mohlo znamenat znehodnocení pro následné měření. Po nalepení vzorků na desky bylo potřeba vše upevnit do svorek, aby došlo k pevnému spojení vzorku s deskou a vzorky se nepoškodily následným broušením. Všechny vzorky bylo důležité popsat o jakou dřevinu se jedná a z jaké pochází lokality. Broušení probíhalo v dílnách Fakulty lesnické a dřevařské na pásové hoblovce SPB 630 PONY a pak následně na brusce DZJA200, kde byl vyrovnán povrch vzorku do ideálního stavu.



Obr. 8, Přilepené vzorky (Židek, 2022)



Obr. 7, Širokopásová bruska SBP 630 PONY (Židek, 2023)



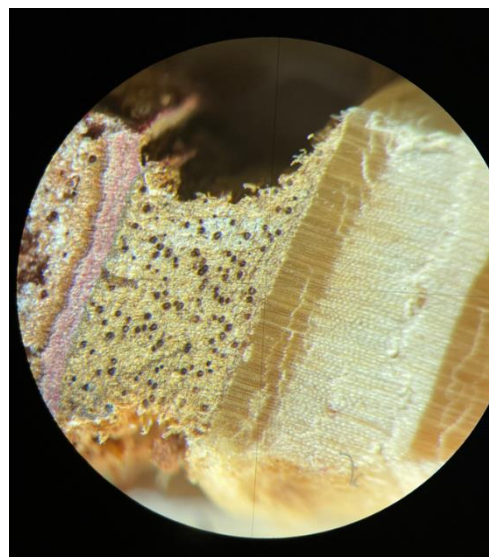
Obr. 6, Dlouhopásová bruska DZJA200 (Židek, 2023)

3.3. Interpretace dat

Pro měření byla použita sestava, která se skládá z posuvného stolu LINTABTM, binolupy a počítačového programu TsapWin. Součástí měřicího stolu je také pohyblivá platforma, na které se vzorky měří. Při správném doostření binokuláru u, kterého je potřeba nejdříve správně doostřit záměrný kříž a následně doostřit obraz pro správné měření, lze dobře vidět jednotlivé letokruhy. Letokruh lze dobře identifikovat jako část jarního dřeva, kde jsou zřetelně vidět užší stěny buněk pod binolupou, na které navazuje letní dřevo, u kterého mají buňky silnější stěny a tím pádem je tato část výrazně tmavší barvy a buňky jsou na sebe více nahuštěné. Pomocí posuvného stolu se deska se vzorkem posune na začátek rozhraní kůry a letního dřeva. U každé hranice letokruhu se klikne myší. Měřicí stůl zaznamenává posunutou vzdálenost s přesností na 0,01 milimetru a tato hodnota ohledně velikosti se zaznamená v programu TsapWin. Při pokračování v měření posunováním stolu se vzorkem a následným klikáním se v programu vytváří křivka, která obsahuje šířky letokruhů pro každý rok. Ke konci vzorku v blízkosti středu je potřeba vzorek správně natáčet, aby se měřila vždy nejkratší kolmá vzdálenost.



Obr. 10, Binolupa (Židek, 2023)



Obr. 9, Detail vzorku přes binolupu (Židek, 2023)

3.4. Křížové datování

Při zpracování daného vzorku musíme počítat s výskytem přirozených nesrovnalostí, které mohou ovlivnit celkový výsledek. Vzorky se stávají vlivem převozu, následného lepení a broušení náchylné k různým trhlinám, takže není vždy snadné zajistit při měření napojení a může tímto způsobem dojít k chybě. K obdobným odchylkám dochází také u zpomaleného růstu, kdy hranice jednotlivých letokruhů splývají, a tím jsou při pozorování velmi špatně rozeznatelné. Vada vzniká i v momentě, kdy je vzorek nesprávně nalepen. Již velmi malé pootočení vzorku způsobí nepřehlednost při měření. U jehličnatých dřevin nám hodnocení ztěžuje smolnatost vzorku v různých částech vývrtu. Všechny výše vyjmenované okolnosti vedou při vyhodnocování k výskytu značného množství odchylek. Jednoduchým řešením, jak odstranit tyto chyby při zajišťování výsledků, je metoda křížového datování.

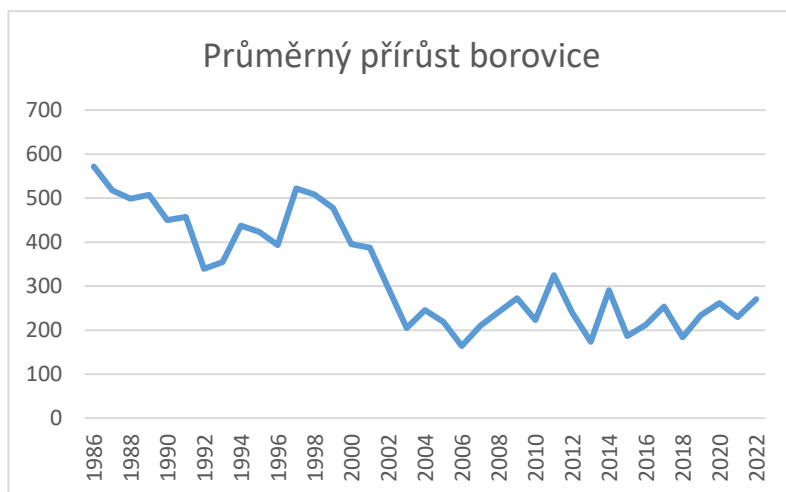
Data, která jsme získali měřením, obsahují meziroční kolísání v šířce letokruhů. To je způsobeno především meziročním kolísáním v četnosti srážek a vývojem teplot v průběhu roku. Pokud v daném roce naprší nižší množství srážek nebo je výrazně studený, tak většina stromů v tomto roce vytváří výrazně užší letokruh. Tento meziroční trend je ve větším množství případů u daných stromů stejného druhu totožný. Dle několika dobře změřených chronologií vzorku lze vytvořit takzvaná průměrná křivka, která dokáže potlačit význam ostatních zdrojů ve variabilitě šířky letokruhů a zvýraznit klimatické faktory. U křížového datování se porovnávají jednotlivé chronologické křivky s křivkou průměrnou. Zjišťuje se, zda meziroční kolísání má podobný trend jako kolísání průměrné křivky. Jestliže tyto křivky nemají společný trend, je potřeba posouvat data chronologie a najít korelující úseky. Takto lze identifikovat nadpočetné letokruhy nebo naopak chybějící letokruhy ve vzorku. Všechny vzorky bylo potřeba tímto způsobem zkontrolovat a opravit možné chyby.

Pokud se zabýváme výzkumem klimatu, jsou chyby obsažené v chronologii velmi významné, protože neopravená chronologie bývá posunuta a šířky letokruhů nesedí na rok svého vzniku.

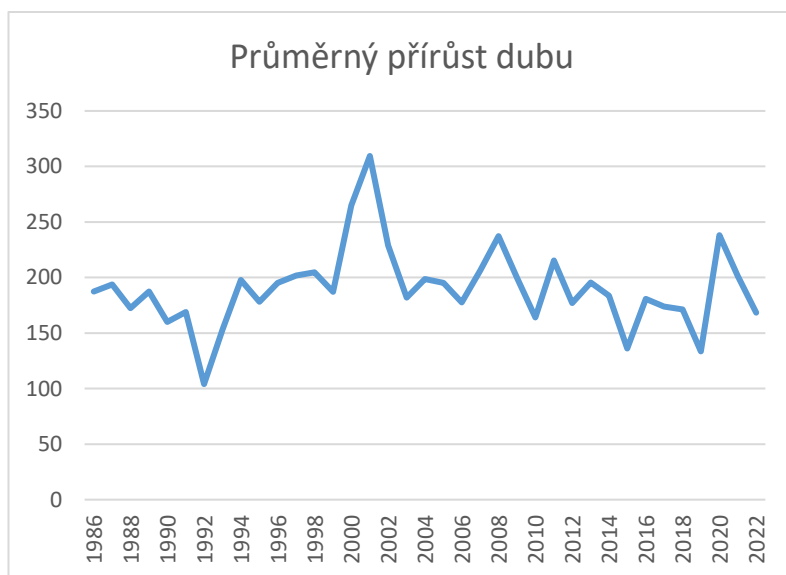
4. Výsledky

4.1. Průměrné roční přírůsty zkoumaných dřevin

Tyto grafy ukazují přírůsty dřevin v letech od roku 1986 do současnosti.

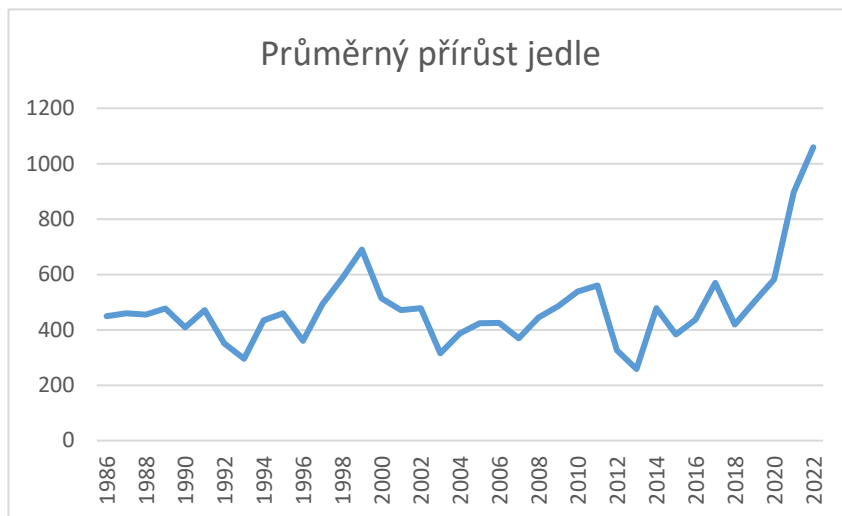


Obr. 11, Trend průměrného ročního přírůstu borovice *Pinus*.

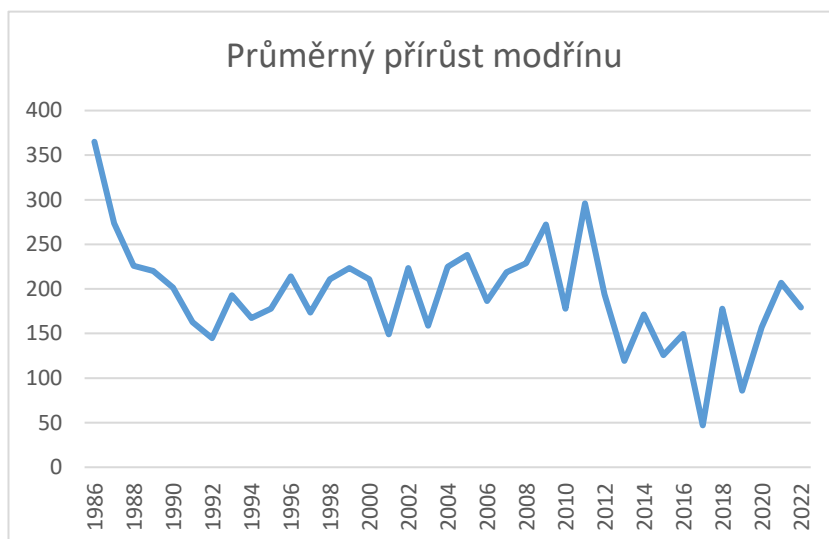


Obr. 12, Trend průměrného ročního přírůstu dubu *Quercus*.

Na grafu (Obr.11) lze vidět ovlivnění přírůstu u borovice *Pinus* důsledkem sucha a vysokých teplot v letech 2014 až 2018. Na grafu (Obr. 12) lze vidět, že přírůst u dubu *Quercus* byl výrazně ovlivněn v roce 1992, dále v suchých letech 2016 až 2020.

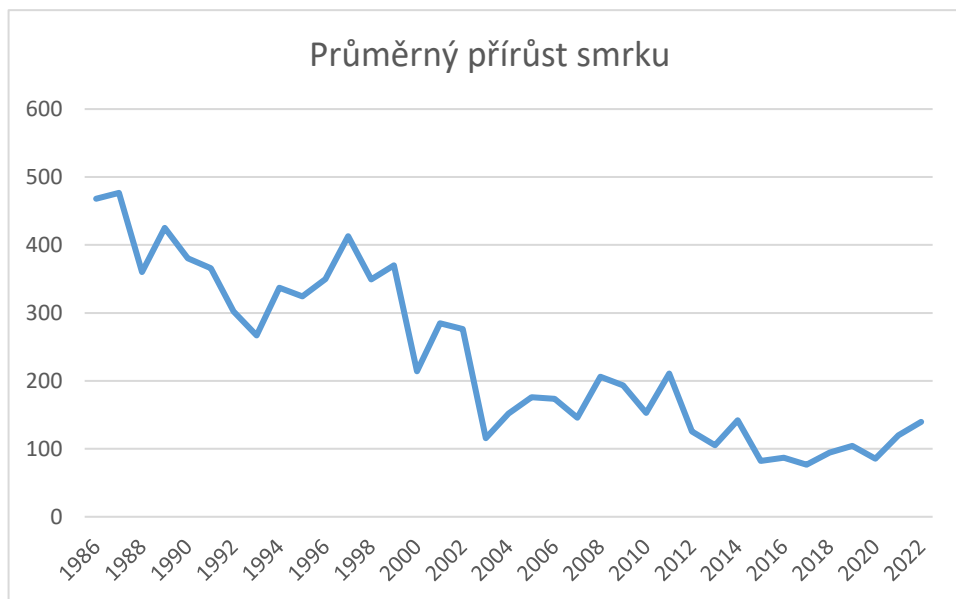


Obr. 13, Trend průměrného ročního přírůstu jedle *Abies*.

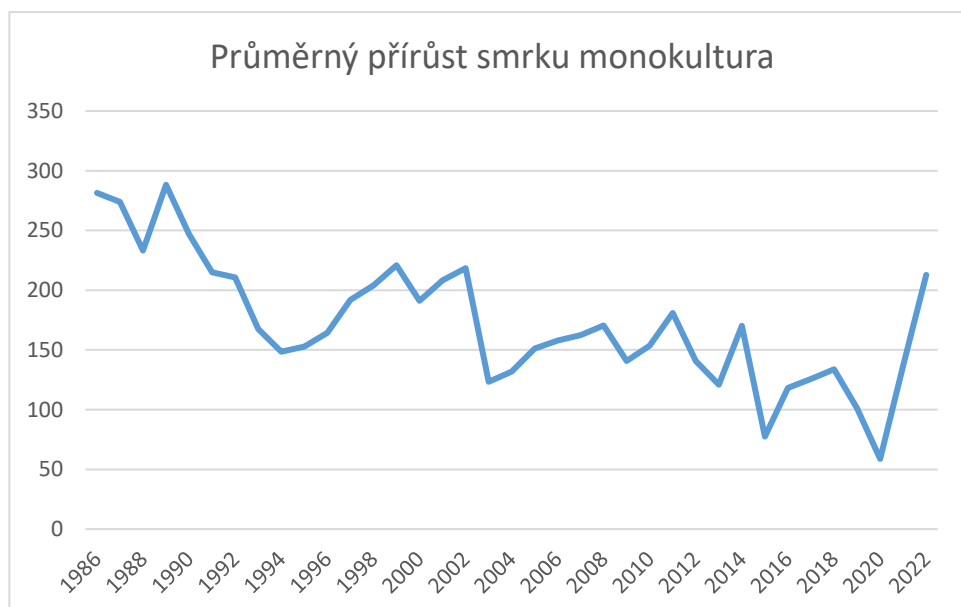


Obr. 14, Trend průměrného ročního přírůstu modřínu *Larix*.

Na grafu (Obr. 13) lze vidět ovlivnění přírůstu jedle *Abies* byl v letech 1992, dále kolem roku 2002 a 2014. Na grafu (Obr. 14) lze vidět výrazné ovlivnění přírůstu modřínu *Larix* mezi lety 2016 až 2018 a také v roce 2020.



Obr. 15, Trend průměrného ročního přírůstu smrku *Picea*.

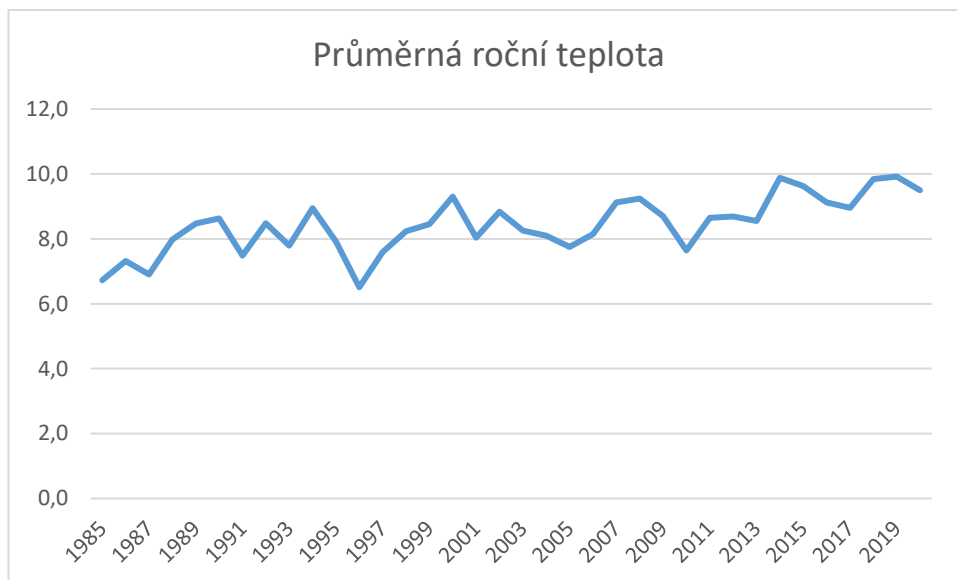


Obr. 16, Trend průměrného ročního přírůstu smrku *Picea* v monokultuře.

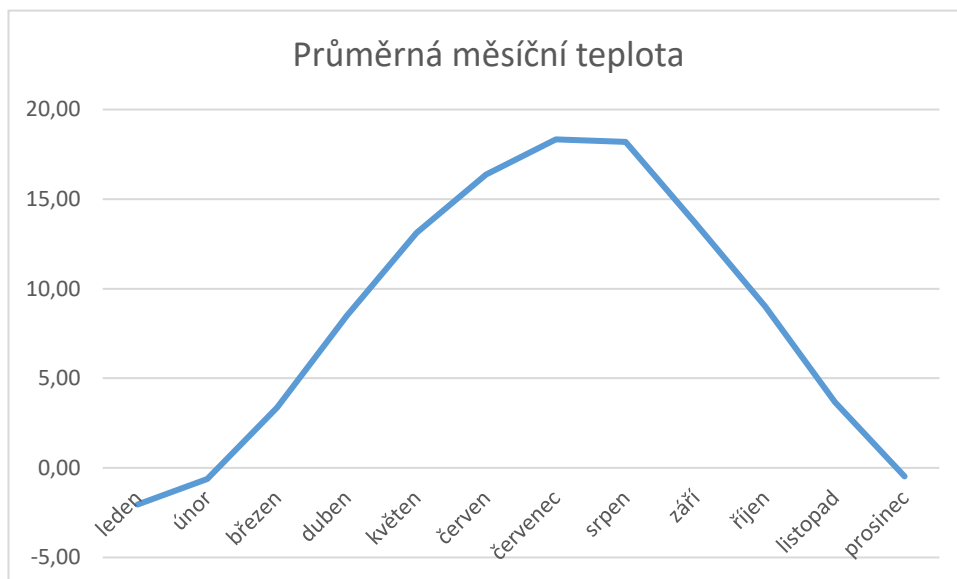
Na grafu (Obr. 15) lze vidět průměrný přírůst smrku *Picea* ve smíšeném lese, u kterého došlo k výraznému snížení přírůstu v roce 2003 a další výrazné snížení přírůstu bylo v letech 2014 až 2020. Zde v porovnání se smrkem *Picea* v monokultuře můžeme vidět, že nedocházelo k tak výrazným změnám velikosti přírůstu a smrk *Picea* zde lépe zvládal toto období. Na grafu (Obr. 16) grafu lze vidět, že tato dřevina byla výrazně ovlivněna v období 2014 až 2016 a dále v roce 2020 a velikost průměrného přírůstu byla ovlivněna zejména velkým suchem v tomto období.

4.2. Vztah teplot s přírůsty

Pro zkoumání vlivu teploty vzhledem k velikosti radiálního přírůstu jsou použity korelace s průměrnými měsíčními teplotami. Ve výsledcích bylo dosaženo jak kladných, ale také negativních korelací, které měly významný vliv na velikosti přírůstu.

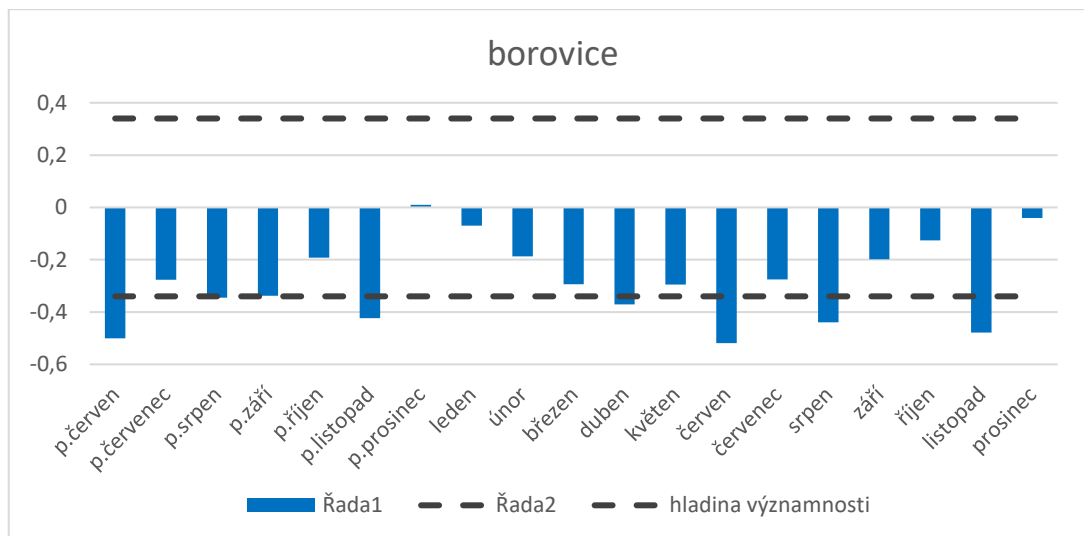


Obr. 17, Trend průměrné roční teploty.

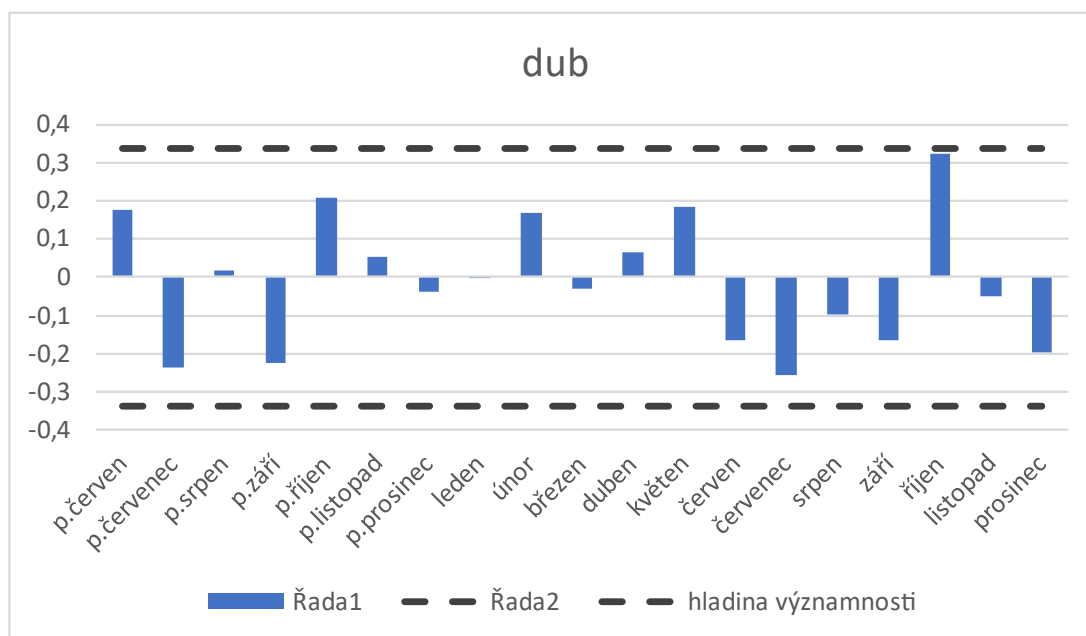


Obr. 18, Trend průměrných měsíčních teplot.

Na grafu (Obr. 17) lze vidět, že se průměrná roční teplota kontinuálně zvyšuje a v současnosti dosahuje průměrná teplota 10 stupňů Celsia.

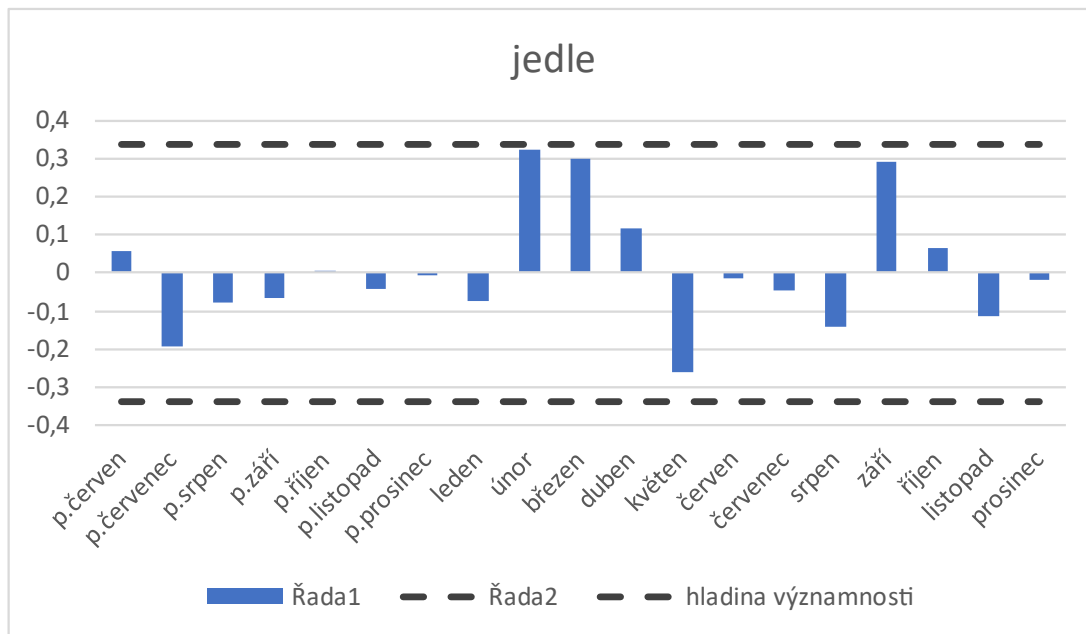


Obr. 20, Trend teploty s přírůstem u borovice Pinus.

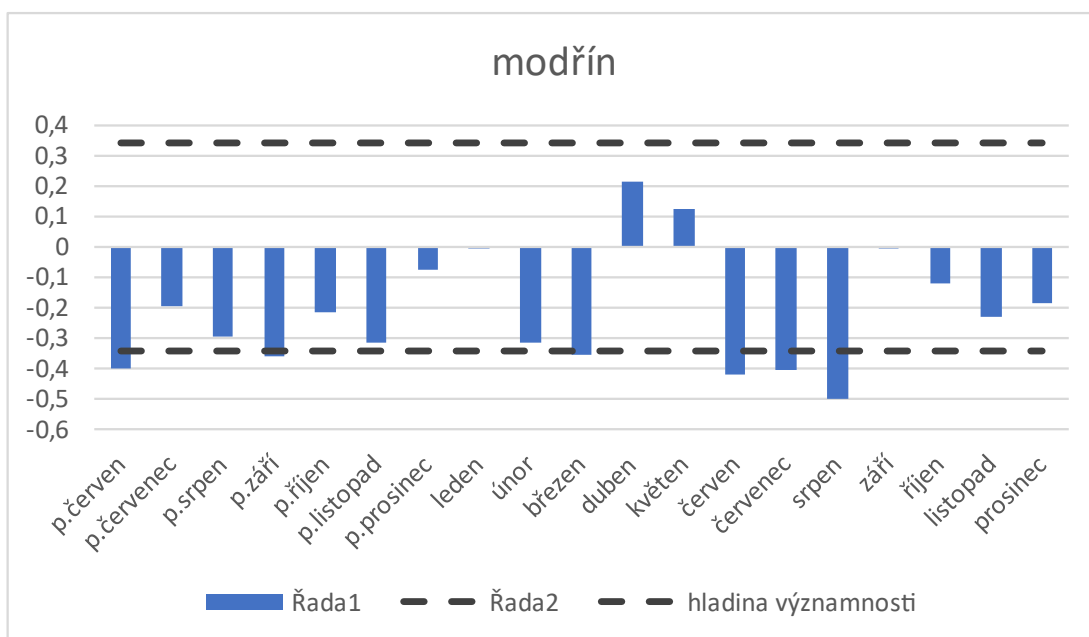


Obr. 19, Trend teploty s přírůstem u dubu Quercus.

Na grafu (Obr. 19) lze vidět že trend růstu byl výrazně ovlivněn negativní korelací. Teploty, které měly v letních měsících větší vliv na rychlejší výpar vody z lesa a tím i na celkovou vodní bilanci a přírůst. Na grafu (Obr. 20) lze vidět, že nebyl zaznamenán významný vliv na přírůst dřeviny vlivem teploty, také zde můžeme pozorovat přechody období, kdy strom v aktuálním roce byl pozitivně ovlivňován před začátkem období růstu v měsících dubnu a května. Graf se zdá spíše rozkolísaný.

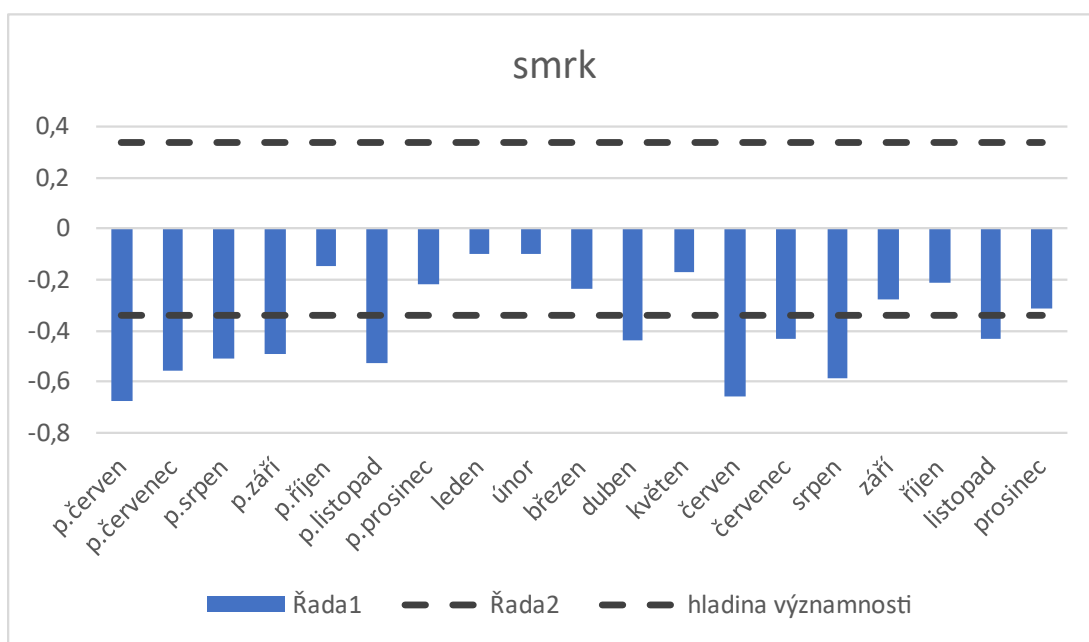


Obr. 22, Trend teploty s přírůstem jedle Abies.



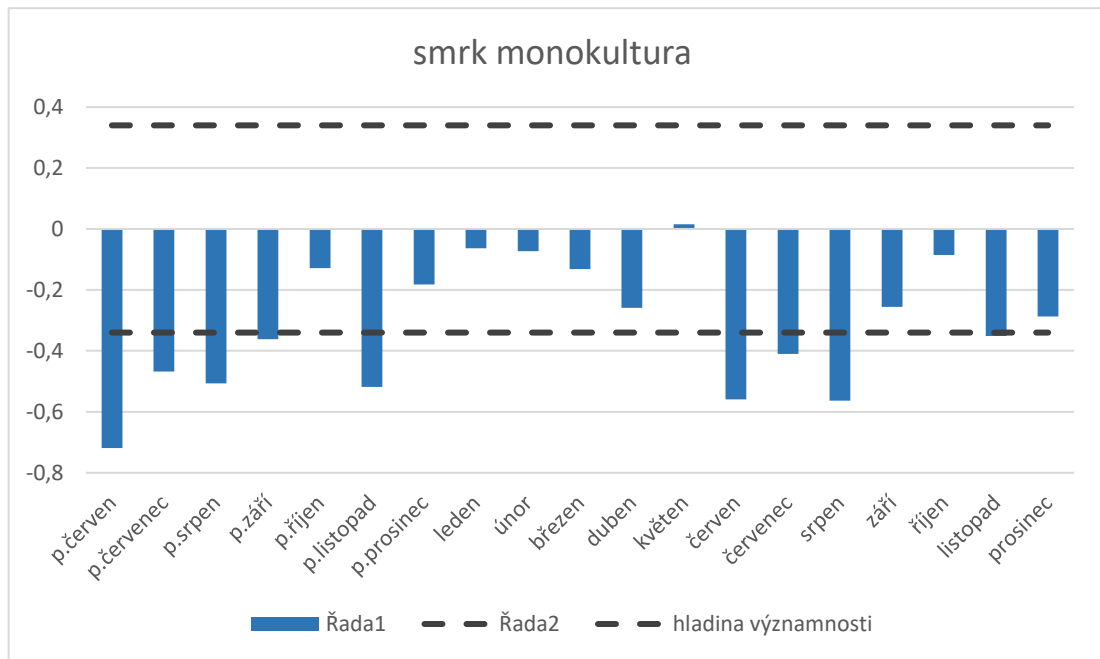
Obr. 21, Trend teploty s přírůstem u modřínu Larix.

Tento graf (Obr. 21) není jednoznačný, což výrazně omezuje jeho interpretaci. Graf (Obr. 22) ukazuje ve většině případech negativní korelaci, výjimka je u jarních měsíců. Modřín *Larix* zde trpí nedostatkem vody, kde vyšší teplota urychlí nástup růstové sezóny.



Obr. 23, Trend teploty s přírůstem smrku *Picea* ve smíšeném lese.

Na grafu (Obr. 23) lze vidět, že zde byla negativní korelace. Po celou sezónu jsou teploty příliš vysoké vzhledem k optimu, tím pádem je růst v negativním vztahu s teplotou. Významný vliv teploty na přírůst dřeviny u smrku *Picea* je zaznamenán v chladnějších měsících, kterými jsou červenec až září předchozího období, kdy negativní korelace dosahovaly hodnoty – 0,65.

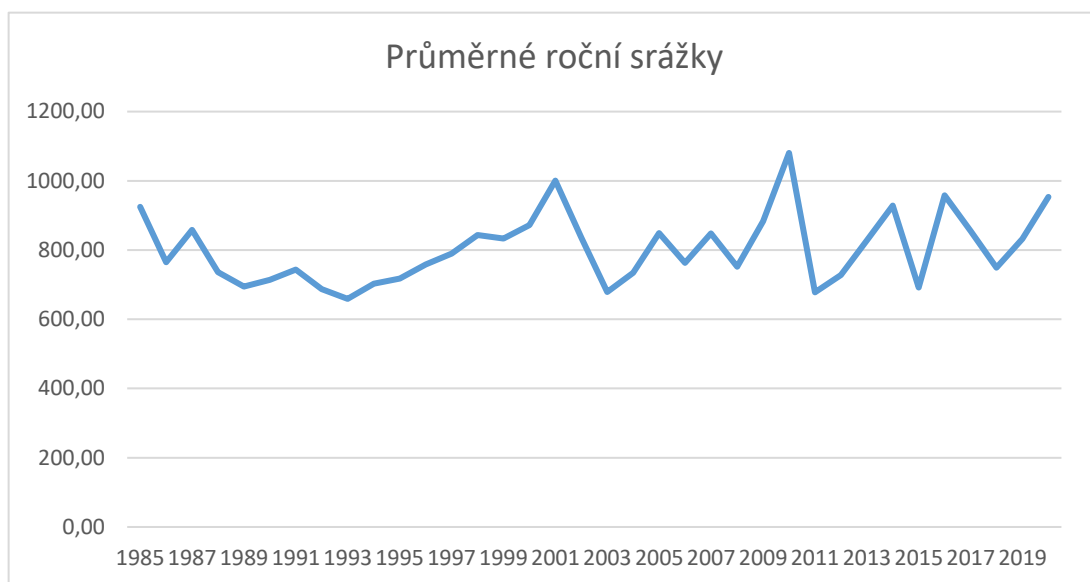


Obr. 24, Trend teploty s přírůstem u smrku v monokultuře.

Na grafu (Obr. 24) lze pozorovat vliv teplot, které jsou výrazně vysoké vzhledem k optimu pro růst této dřeviny. Největší vliv teploty na přírůst byl v měsících červenec až srpen, aktuálního roku, podobné hodnoty negativních korelací byly také v období červenec až srpen v předchozím období, tento trend byl zřejmě ovlivněn vysokou teplotou, která mohla způsobit vysoký výpar vody a snížit růst.

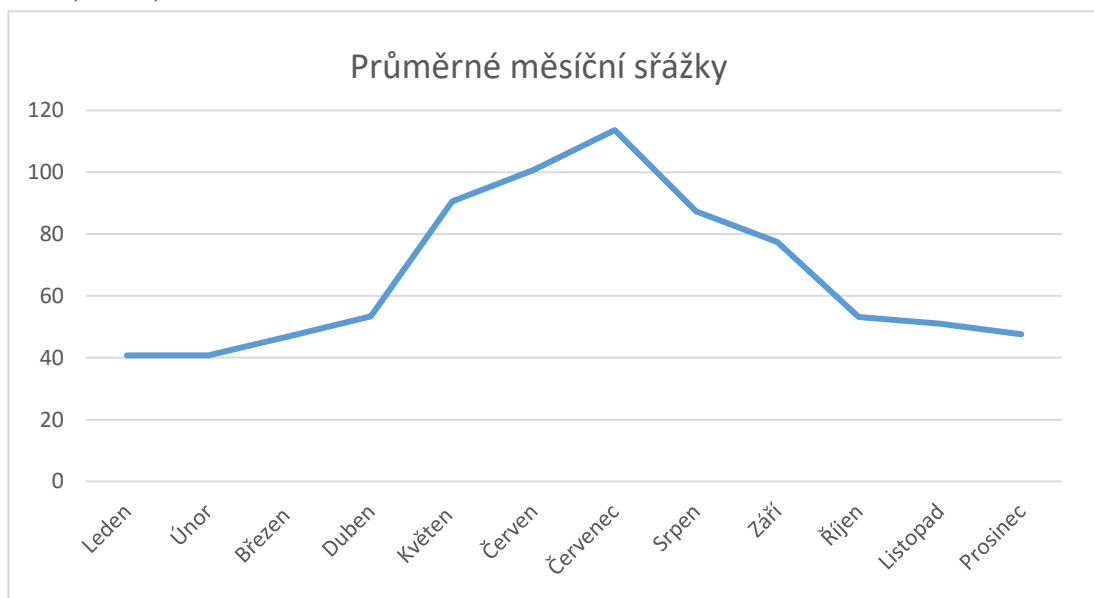
4.3. Srážky

Srážky mají také výrazný vliv na velikost přírůstu stromů, podle těchto grafů můžeme porovnat, které měsíce výrazně ovlivnily přírůst jak pozitivně, ale také negativně. Nejvíce se tyto změny projevují na grafech na začátku nebo konci vegetačního růstu.

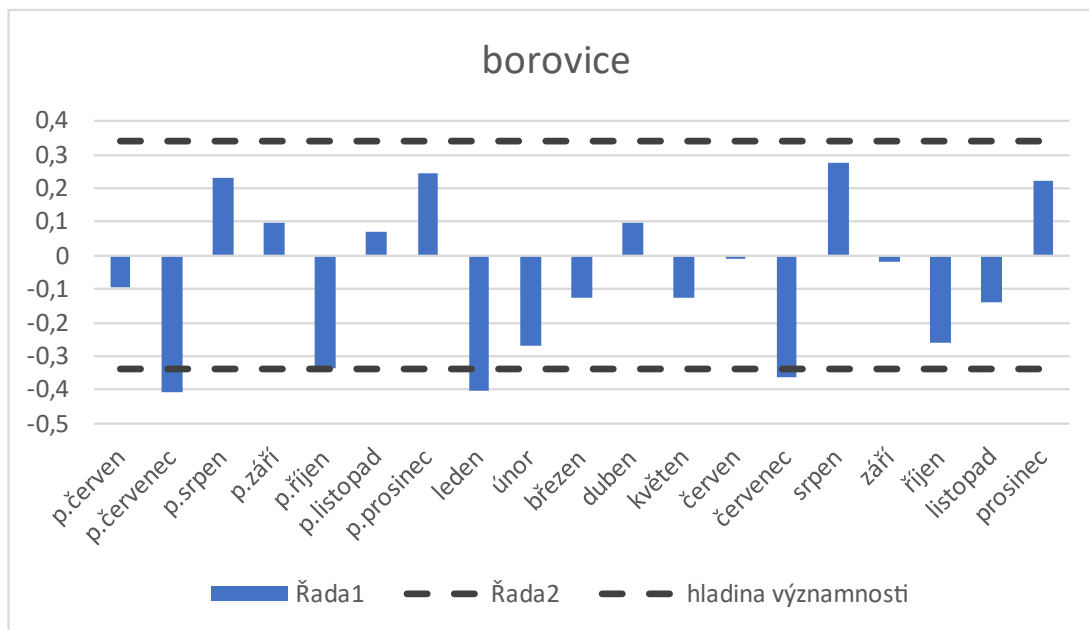


Obr. 25, Trend průměrných ročních srážek.

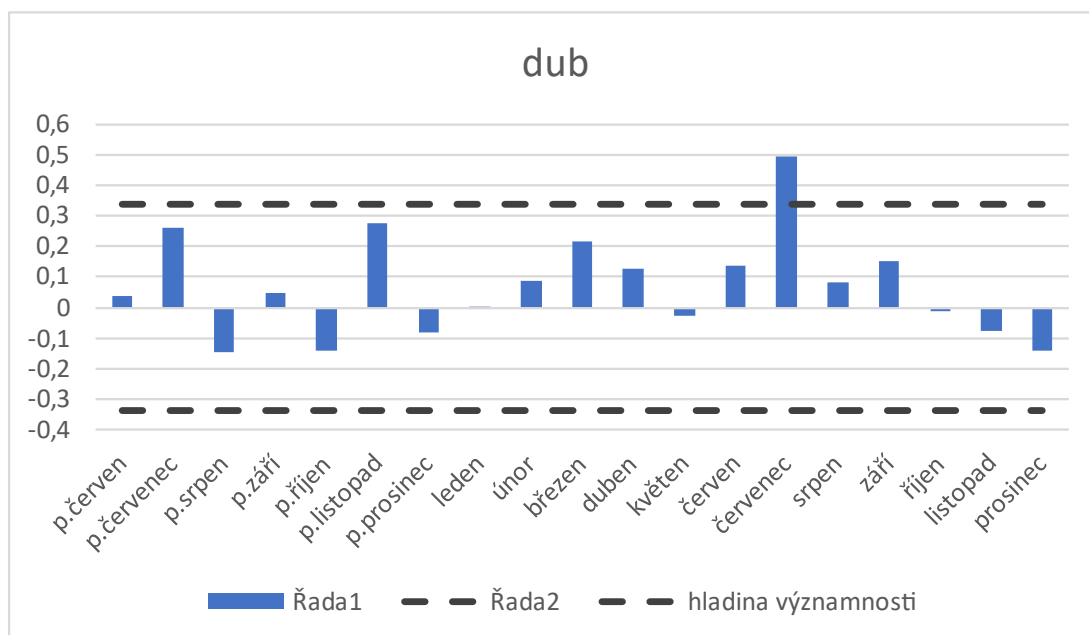
Na grafu (Obr. 25) lze pozorovat průměrné roční srážky. Nejnižší srážky byly v letech 1993, 2003, 2011 a 2015.



Obr. 26, Trend průměrných měsíčních srážek.

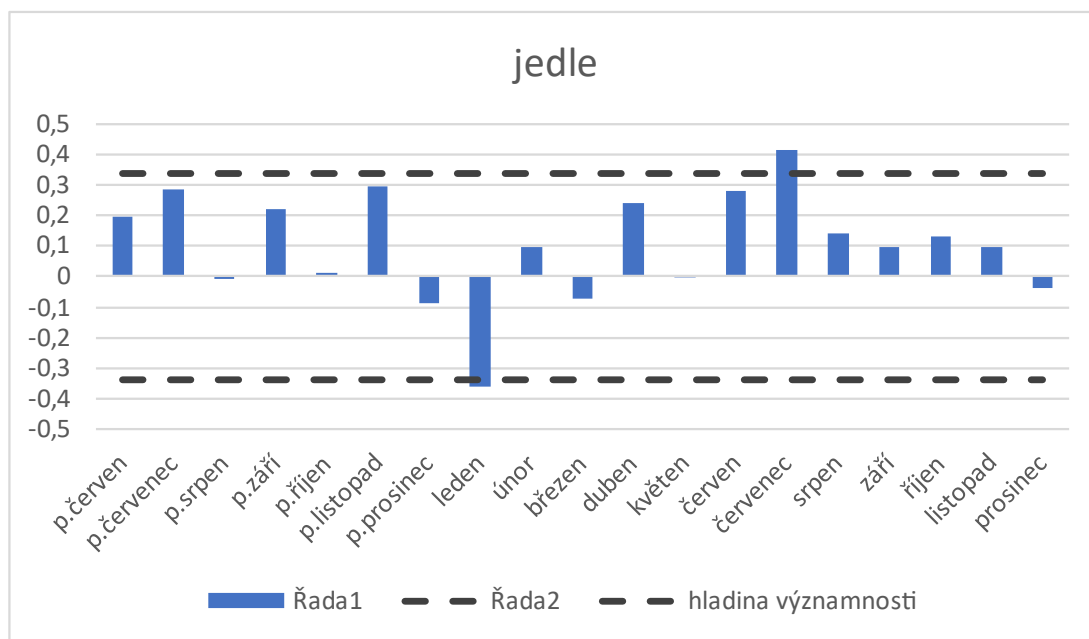


Obr. 27, Trend srážek s přírůstem u borovice Pinus.

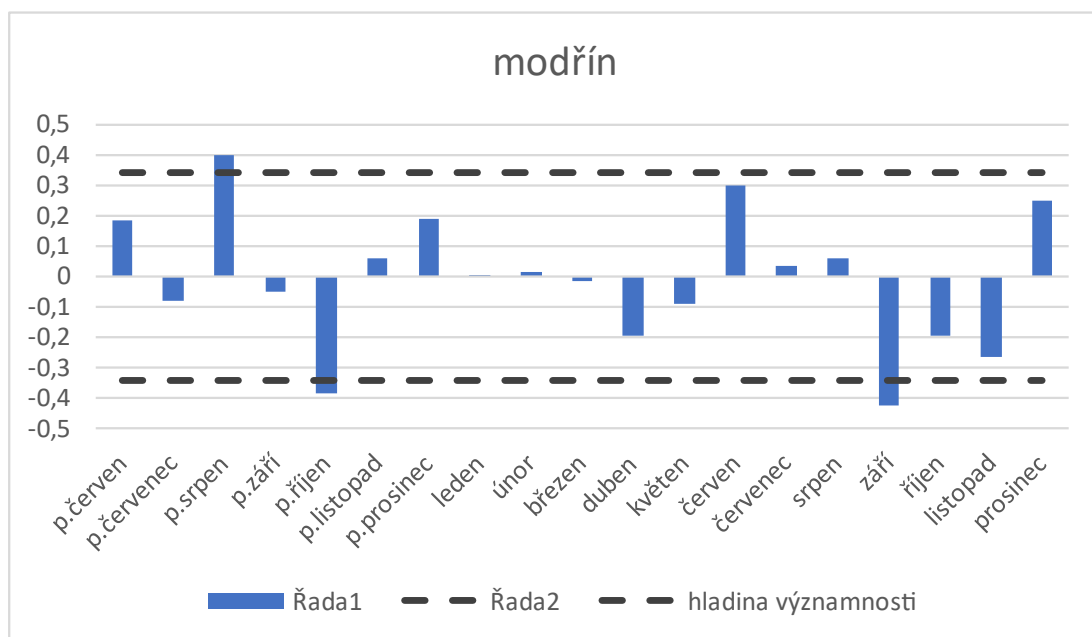


Obr. 28, Trend srážek s přírůstem dubu Quercus.

Na grafu (Obr. 27) lze vidět, že výsledky jsou rozkolísané a nachází se zde výrazné odchylky mezi jednotlivými sloupci, které brání k určení přesného trendu. Na grafu (Obr. 28) lze vidět spíše pozitivní korelace. Trend pro tuto dřevinu byl pozitivní a nejvíce ovlivněn množstvím srážek v červenci aktuálního období a to hodnotou 0,49. Během celé sezóny byly srážky limitující.

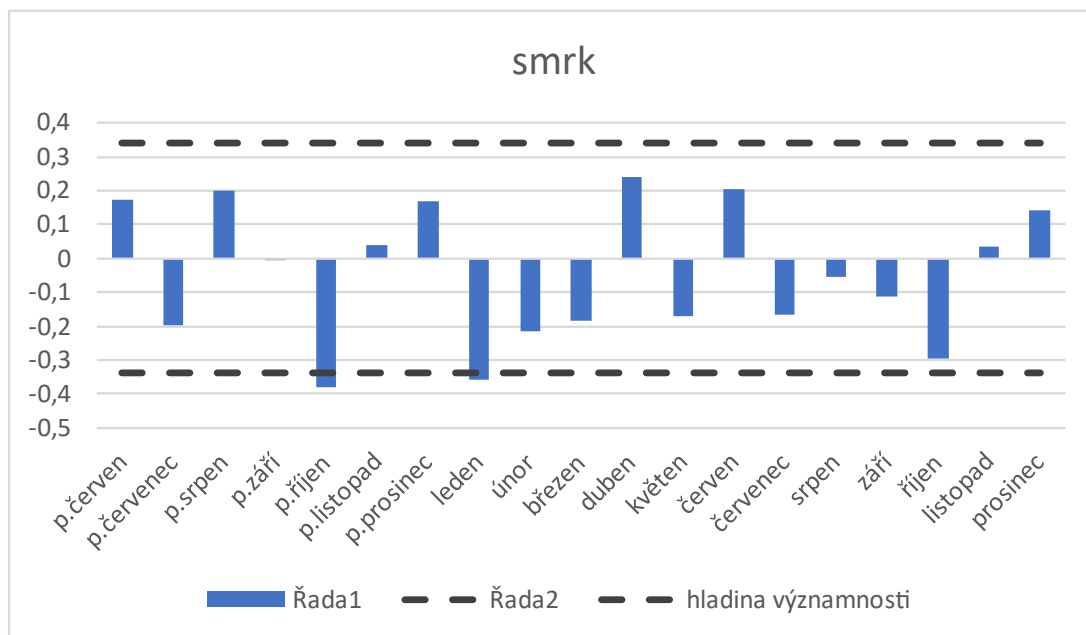


Obr. 30, Trend srážek s přírůstem u jedle Abies.

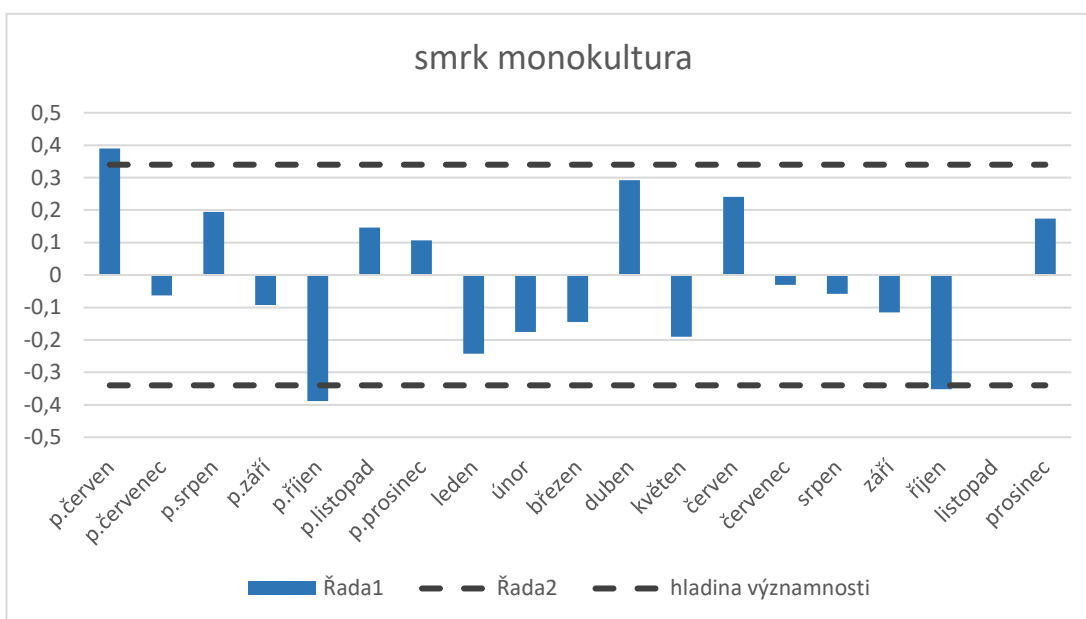


Obr. 29, Trend srážek s přírůstem u modřínu Larix.

Na grafu (Obr. 29) lze vidět, že trend byl spíše pozitivní. Nejvíce byl přírůst ovlivněn v lednu aktuálního roku. Na grafu (Obr. 30) lze vidět, že hodnoty jsou převážně rozkolísané a nachází se zde výrazné odchylky mezi jednotlivými sloupci, které brání k určení přesného trendu.



Obr. 32, Trend srážek s přírůstem u smrku Picea ve smíšeném lese.

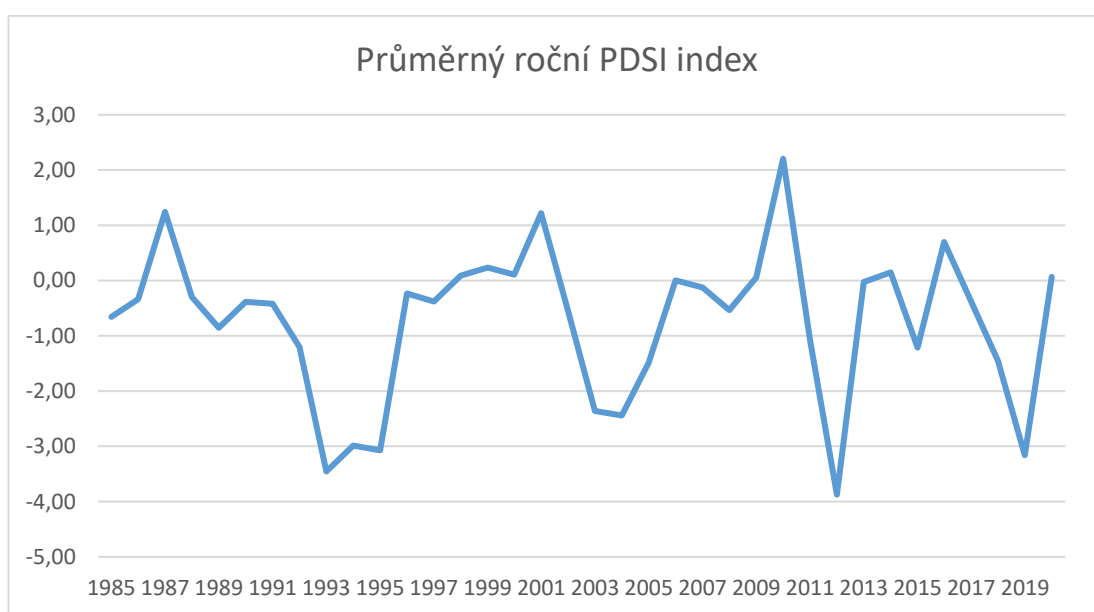


Obr. 31, Trend srážek s přírůstem u smrku Picea v monokultuře.

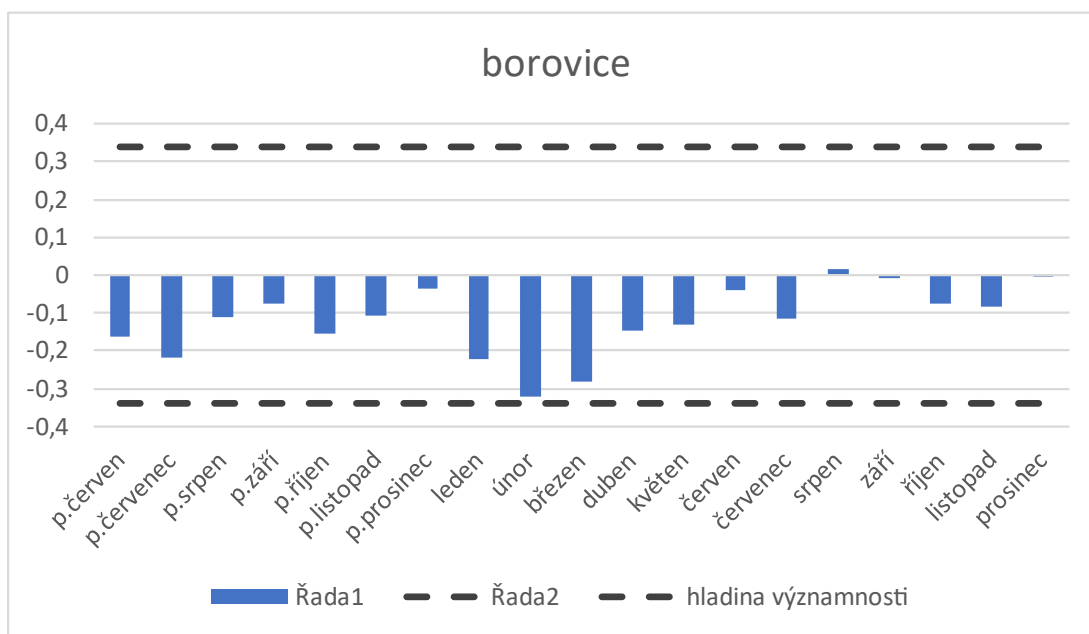
Na grafu (Obr. 30) lze vidět, že hodnoty jsou převážně rozkolísané a nachází se zde výrazné odchylky mezi jednotlivými sloupci, které brání k určení přesného trendu. Na grafu (Obr. 32) lze vidět, že hodnoty jsou převážně rozkolísané a nachází se zde výrazné odchylky mezi jednotlivými sloupci, které brání k určení přesného trendu.

4.4.PDSI index

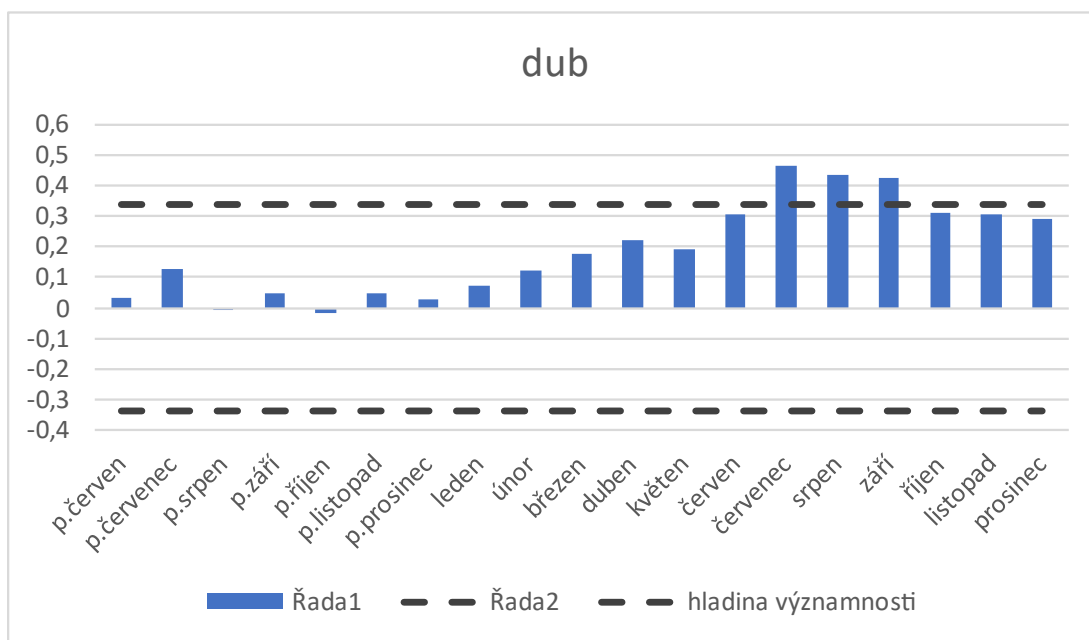
Jedná se o index, který je založen na vodní bilanci daného území a součástí je úhrn srážek a obsahem vody v půdě. Jedná se také o indikátor dlouhodobého sucha. Tento index ukazuje přímou úměru s dostatkem vláh a přírůstem.



Obr. 33, Trend průměrného ročního PDSI indexu

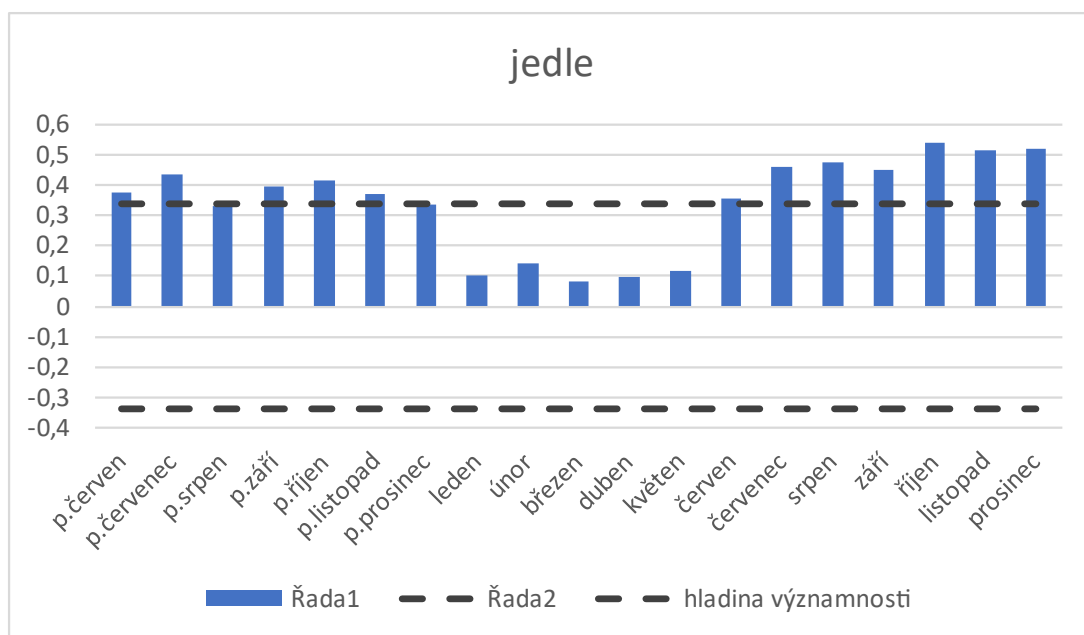


Obr. 35, Trend PDSI indexu s přírůstem u borovice Pinus.

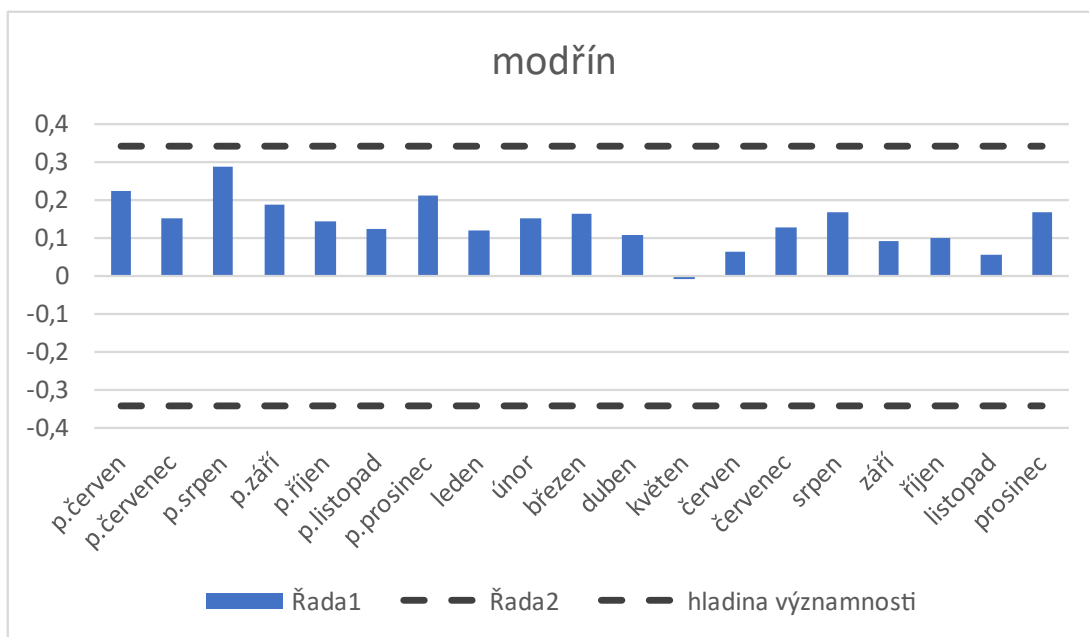


Obr. 34, Trend PDSI indexu s přírůstem u dubu Quercus.

Na grafu (Obr. 34) lze vidět, že trend korelací je negativní. Nejvíce byl přírůst ovlivněn v lednu, únoru a březnu aktuálního roku. Na grafu (Obr. 35) lze vidět výrazně pozitivní vliv korelace, nejvíce byl přírůst ovlivněn v letním období aktuálního roku.

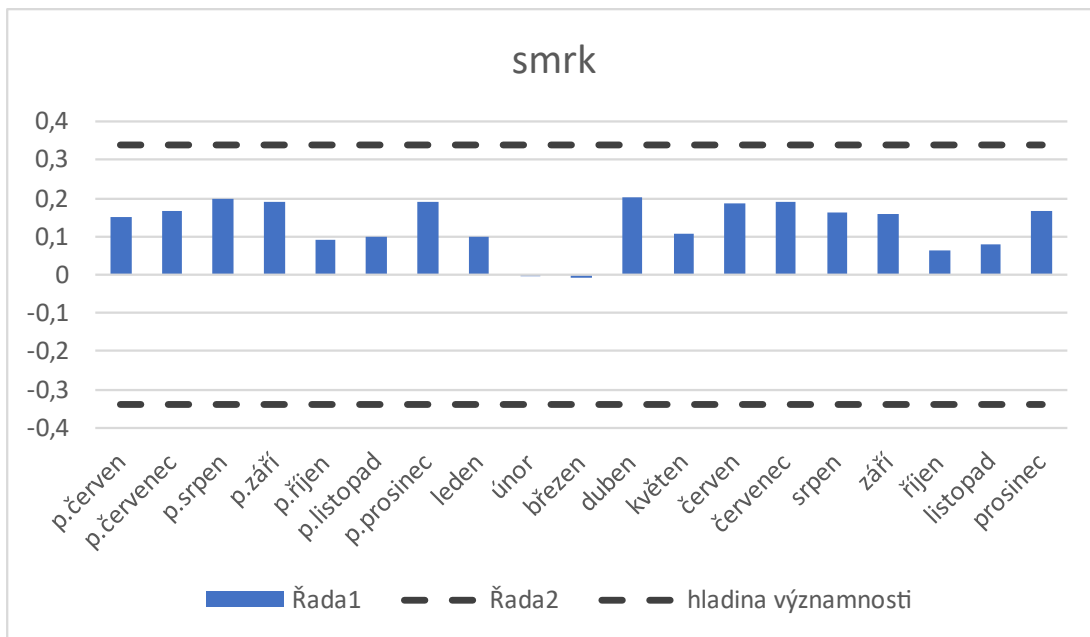


Obr. 37, Trend PDSI indexu s přírůstem u jedle Abies.

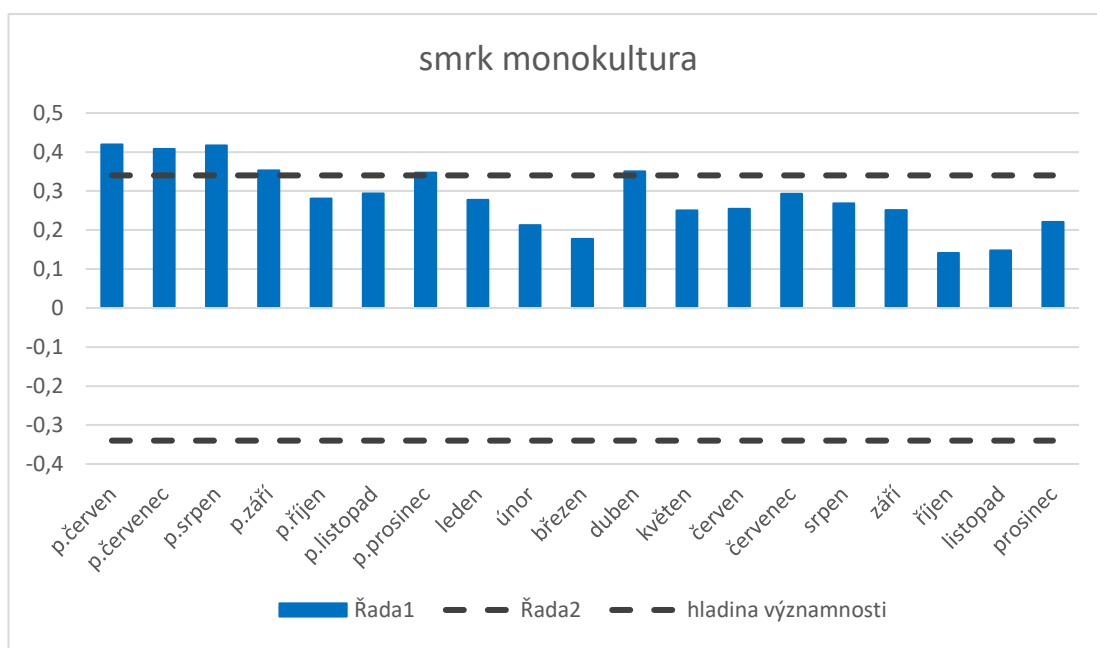


Obr. 36, Trend PDSI indexu s přírůstem u modřínu Larix.

Na grafu (Obr, 36) lze vidět, že přírůst byl pozitivně ovlivněn skoro v celém období roku předešlého. Nejvíce byl přírůst pozitivně ovlivněn v letním období aktuálního roku a také přelom podzimu a zimy. Na grafu (Obr. 37) lze vidět, že vlivem PDSI indexu je v celém období pozitivní korelace, žádná však nepřekročila hladinu významnosti.



Obr. 38, Trend PDSI indexu s přírůstem u smrku Pieca ve smíšeném lese.



Obr. 39, Trend PDSI indexu s přírůstem u smrku Picea v monokultuře.

Na grafu (Obr. 38) lze vidět trend pozitivní korelaci v celkovém období. Na grafu (Obr. 39) lze vidět významná pozitivní korelace v letním období předchozího roku. Trend pozitivní korelace je v celém grafu.

5. Diskuze

V této práci byl zkoumán vztah šířky přírůstů k průměrným měsíčním hodnotám teploty, srážek a indexu PDSI za období od června předchozího roku do prosince daného roku. Každý sloupec v jednotlivých grafech udává míru korelace mezi hodnotou zkoumané proměnné v daném měsíci a celkovou velikostí přírůstu. V několika případech vyšel statisticky významný i vztah dané proměnné k šířce letokruhu za měsíce listopad a prosinec daného roku. V té době je ale růst vždy už ukončen, takže podmínky v těchto měsících růst nemohou ovlivnit. V jiných případech, zejména u vztahu srážek, byly hodnoty korelací v grafech značně rozkolísané (i když většinou statisticky neprůkazné) a přecházely z negativních do pozitivních a zpět i několikrát za sebou. Například u smrku ve smíšeném porostu mezi březnem a červencem se hodnoty korelace blíží k 0,2, ale každý měsíc mění znaménko. Je velmi nepravděpodobné, že by takový výsledek dokládal nějaký reálný vztah.

Oba zmíněné problémy mě upozorňují, že je třeba být při interpretaci výsledků obezřetný a že data patrně trpí značnou nepřesností. Napadají mě dva hlavní zdroje limitů. Hodnoty teploty, srážek a indexu PDSI mám k dispozici v měsíčním rozlišení, ale velikost přírůstu znám jen celkovou hodnotu za rok. Možnosti zjistit, jak se který měsíc podílel na přírůstu, jsou tedy značně omezené. Ideální by bylo mít k dispozici data z přírůstových dendrometrů, které umožňují mnohem detailnější zjištění vztahů. Druhým zdrojem problémů je to, že hodnoty teploty, srážek ani indexu PDSI v jednom měsíci nejsou zcela nezávislé na hodnotách v okolních měsících, takže dochází k určitému překrytí nebo replikaci vlivů.

S vědomím těchto limitů se tedy podívejme na charakter výsledků. V případě teploty vyšel vztah výrazně negativní po většinu sledovaného období u borovice a u smrku ve smíšeném porostu i v monokultuře. Slabý nebo žádný vliv měla teplota v zimních měsících u druhů, které leží mimo vegetační sezónu. U modřínu byl vztah převážně negativní. Tedy čím nižší byly teploty, tím lépe tyto druhy přirůstaly. Což potvrzuje autor Szymański a kolektiv (2021), který ve své studii prokázal, že vlivem nízkých teplot v únoru a březnu a srážek z předchozího období dochází ke zvýšenému pozitivnímu vlivu na velikost přírůstu. To se může zdát zvláštní, vzhledem k tomu, že fyziologické optimum teploty pro přírůst má většina stromů poměrně vysoké – kolem 30 °C (Kumarathunge et al., 2020). U dubu a jedle jsou výsledky rozkolísané a celkově neprůkazné.

V případě srážek jsou výsledky rozporuplné, protože jednotlivé sloupce závislosti jsou také velmi rozkolísané a převážně neprůkazné. Například u borovice se vliv srážek v měsíci červnu daného roku na přírůst jeví jako nulový, hned v červenci je ale výrazně negativní, s hodnotou korelace blíží se - 0,4, ale v srpnu je naopak pozitivní s hodnotou téměř 0,3. Že by se vliv množství srážek takto významně měnil uvnitř vegetační sezóny, mi nepřipadá pravděpodobné. Spíše lze říct, že celkový úhrn srážek v jednotlivých měsících většinou nemá na přírůst tak výrazný vliv, aby se projevil ve výsledcích.

Pomoc s interpretací těchto překvapivých výsledků nám nabízí PDSI index. Čím je hodnota PDSI indexu vyšší, tím méně strom trpí suchem. U dubu, jedle, modřínu i smrku v obou typech porostu se ukazuje systematický pozitivní vztah mezi hodnotou PDSI a přírůstem. Tedy čím méně stromy trpí suchem, tím více přirůstají. Nejvýraznější je tento vliv u jedle a u smrku v monokultuře. To znamená, že stromy jsou skutečně v růstu výrazně limitovány dostupností vody. Na dostupnost vody může mít ale větší vliv průběh teplot než úhrn dešťových srážek. Teplota totiž určuje, jak rychle se napršené srážky vypaří.

Z tohoto vztahu vybočuje borovice. U té jsou hodnoty korelace mezi PDSI a přírůstem převážně negativní a celkově neprůkazné. Takže se zdá, jako by borovice přirůstaly tím rychleji, čím větší bylo sucho, zejména v zimních měsících lednu až březnu. Takové prohlášení by bylo asi příliš odvážné, ale můžeme říct, že borovice je suchem podstatně méně limitovaná než ostatní druhy. Druhým zajímavým zjištěním je, že smrky v monokultuře vykazují znatelně vyšší hodnoty korelačních koeficientů mezi indexem SPDI a přírůstem než smrky ve smíšeném porostu (0,13 u smrků ve smíšeném lese a 0,28 u smrku v monokultuře). To znamená, že smrky v monokultuře více trpí suchem než ve smíšeném porostu, což potvrzuje intuitivní předpoklad. Celkově se index SPDI ukázal jako spolehlivější faktor pro vysvětlení přírůstu než samotný průběh teplot nebo úhrn srážek.

6. Závěr

Na základě výsledků v praktické části mé bakalářské práce mohu říci, že vztah mezi šířkou letokruhů a různými meteorologickými faktory není vždy jednoznačný. Zvláštní vztah byl pozorován u borovice, kde se zdá, že stromy přirůstají více v období sucha. U ostatních zkoumaných dřevin se ukázal být podstatný vliv nedostatku vody, což potvrzuje, že sucho hraje důležitou roli v růstu stromů. Vliv teploty v zimních měsících se ukázal být zanedbatelně malý. Vztah mezi srážkami a šířkou přírůstu sice existuje, ale z našich výsledků plyne, že na přírůst stromů má větší vliv celkový roční úhrn srážek než konkrétní hodnoty jednotlivých měsíců.

Při interpretaci výsledků je třeba mít na paměti několik věcí. Například, že data použita v této práci jsem získal z měsíčních hodnot, což může být omezení pro detailnější zjištění vztahů. Dále byly hodnoty srážek, teploty a Palmerova indexu (Palmer, 1965) v jednom měsíci ovlivňovány hodnotami z okolních měsíců, což vyvolává otázky ohledně spolehlivosti výsledků.

Na závěr lze říct, že přestože vztah mezi meteorologickými faktory a růstem stromů není vždy zcela jasný, ukazuje se, že sucho hraje významnou roli v přírůstu stromů a celkový úhrn srážek má na přírůst stromů větší vliv než srážky v konkrétních měsících. Tyto poznatky jsou důležité pro lepší porozumění vztahu mezi stromy a prostředím, zejména v době, kdy se klimatické podmínky rychle mění.

Pro dosažení přesnějších výsledků v dalším výzkumu by bylo vhodné využít dendrometr, který by umožnil detailnější získání dat o přírůstu dřevin.

7. Zdroje

Babst, F., Poulter, B., Trouet, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanic, T., Panayotov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciais, P., Frank, D., 2013. Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 22, 706–717.

Bouriaud, O., Leban, J.-M., Bert, D., Deleuze, C., 2005. Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiol.* 25, 651–660.

BRÁZDIL, Rudolf a Miroslav TRNKA. Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. První vydání. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., 2015, 400 s.

Čada, Vojtěch, Robert C. Morrissey, Zuzana Michalová, Radek Bače, Pavel Janda, and Miroslav Svoboda. 2016. “Frequent Severe Natural Disturbances and Non-Equilibrium Landscape Dynamics Shaped the Mountain Spruce Forest in Central Europe.” *Forest Ecology and Management* 363 (March): 169–78.

Carrer, M. and Urbinati, C. (2006), Long-term change in the sensitivity of tree-ring growth to climate forcing in *Larix decidua*. *New Phytologist*, 170: 861-872.

Climate explorer: Climate explorer. <https://climexp.knmi.nl/> [online]. Švýcarsko: WMO, 2022, 2022 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://climexp.knmi.nl/>

ČERMÁK, Petr. Defoliace a radiální růst ukazatelé vitality smrku ztepilého. <https://lesprace.cz/> [online]. ČR: Lesnická práce, 2007 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-86-2007/lesnicka-prace-c-11-07/defoliace-a-radialni-rust-ukazatele-vitality-smrku-ztepileho>

CHHIN, Sophan, E.H. (Ted) HOGG, Victor J. LIEFFERS a Shongming HUANG. Potential effects of climate change on the growth of lodgepole pine across diameter size classes and ecological regions. *Forest Ecology and Management*. Canada, 2008, **2008**(256), 12.

Dai, A., Trenberth, K.E., Karl, T.R., 1999. Effects of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapor on diurnal temperature range. *Journal of Climate* 12, 2451–2473.

Defoliace a radiální růst ukazatelé vitality smrku ztepilého | Lesnická práce - nakladatelství a vydavatelství | Lesnická práce - nakladatelství a vydavatelství. LP | Lesnická práce - nakladatelství a vydavatelství | Lesnická práce - nakladatelství a vydavatelství [online]. Dostupné z: <https://lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-86-2007/lesnicka-prace-c-11-07/defoliace-a-radialni-rust-ukazatele-vitality-smrku-ztepileho>

Dietz, L, Collet, C, Dupouey, J-L, Lacombe, E, Laurent, L, Gégout, J-C. Windstorm-induced canopy openings accelerate temperate forest adaptation to global warming. *Global Ecol Biogeogr.* 2020; 29: 2067–2077.

Dobbertin, M., 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *Eur. J. For. Res.* 124, 319–333

Doležal J., Lehečková E., Sohar K. & Altman J. (2016): Oak decline induced by mistletoe, competition and climate change: a case study from central Europe. – *Preslia* 88: 323–346.

Dorado-Liñán I, Valbuena-Carabaña M, Cañellas I, Gil L and Gea-Izquierdo G (2020) Climate Change Synchronizes Growth and iWUE Across Species in a Temperate-Submediterranean Mixed Oak Forest. *Front. Plant Sci.* 11:706. doi: 10.3389/fpls.2020.00706

DRÁPELA, Karel a Jan ZACH. *Dendrometrie (Dendrochronologie)*. 1.vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1995, 149 s.

Fabiani, G., Penna, D., Barbeta, A., & Klaus, J. (2022). Sapwood and heartwood are not isolated compartments: Consequences for isotope ecohydrology. *Ecohydrology*, 15(8), e2478.

Gazol, A., Camarero, J.J., Gutiérrez, E., Popa, I., Andreu-Hayles, L., Motta, R., Nola, P., Ribas, M., Sangüesa-Barreda, G., Urbinati, C. and Carrer, M. (2015), Distinct

effects of climate warming on populations of silver fir (*Abies alba*) across Europe. *J. Biogeogr.*, 42: 1150-1162.

HOLUŠA, J. a J. LIŠKA. Hypotéza chřadnutí a odumírání smrkových porostů ve Slezsku. *ZPRÁVY LESNICKÉHO VÝZKUMU*. Jíloviště-Strnady, 2002, (1). ISSN 0322- 9688.

KACÁLEK, Dušan, Oldřich MAUER, Vilém PODRÁZSKÝ a Marian SLADIČÁK. Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin. 2017. ČR: Lesnická práce, 2017. ISBN 978-80-7458-102-1.

Katz, L., Zinser, E., & Scholz, H. (2017). Letokruhová analýza a její vliv na počasí a kulturu. *Ekologie a společnost*, 16(1), 45-51.

KERN K. G. MOLL, W. BRAUN H. J., 1961: Root studies in pure and mixed stands of the high Schwarzwald. (Experimental plots Todtmoos 2/1-4). *Allg. Forst- u Jagdztg.*, 132, 10: s. 241-259.

Kolář, T., Čermák, P., Oulehle, F., Trnka, M., Štěpánek, P., Cudlín, P., Hruška, J., Büntgen, U., Rybníček, M., 2015. Pollution control enhanced spruce growth in the “Black Triangle” near the Czech-Polish border. *Sci. Total Environ.* 538, 703–711

KÖSTLER J. N., BRÜCKNER E., BIEVELRIETHER H., 1968: Die Wurzeln den Waldbäume und Sträucher. Graz, Stocker: 604 s.

Kozłowski, T.T., Kramer, P.J., Pallardy, S.G., 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic Press, San Diego, CA

Kumarathunge, DP, Drake, JE, Tjoelker, MG, et al. The temperature optima for tree seedling photosynthesis and growth depend on water inputs. *Glob Change Biol.* 2020; 26: 2544– 2560. <https://doi.org/10.1111/gcb.14975>

Mellert, K.H., Prietzel, J., Straussberger, R., Rehfuess, K.E., Kahle, H.P., Perez, P., Spiecker, H., 2008. Relationships between long-term trends of air temperature, precipitation, nitrogen nutrition and growth of coniferous stands in Central Europe and Finland. *Eur. J. For. Res.* 127, 507–524.

Owens, J.N., 2006. Reproductive Biology of Lodgepole Pine. Forest Genetics Council (FGC) of British Columbia, Extension Note 07.

PALMER, W. C. (1965): Meteorological Drought. Office of Klimatology Research Paper 45. U.S. Weather Bureau, Washington, 58 s.

PEER, J. H. Fundamentals of tree-ring research. Tucson: University of Arizona Press, 2010. 333 s. ISBN 9780816526840

Pickett, S. T.A., and P. S. White. 1985. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Academic press.

POLOMSKI J., KUHN N., 1998: Wurzelsysteme. Bern, Stuttgart, Wien, Verlag Paul Haupt: 290 s.

Speer, J.H., 2010. Fundamentals of Tree-ring Research. University of Arizona Press, 333 p.

SVOBODA, Miroslav. Efekt disturbancí: na dynamiku horského lesa s převahou smrku ve střední Evropě. www.casopis.ochranaprirody.cz [online]. ČR: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2008, 2008 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://www.casopis.ochranaprirody.cz/vyzkum-a-dokumentace/efekt-disturbanci/>

Szymański N, Wilczyński S. Radial Growth Response of European Larch Provenances to Interannual Climate Variation in Poland. *Forests*. 2021; 12(3):334.

Tjoelker, M. G., Boratynski, A., & Bugala, W. 2007. Biology and ecology of Norway spruce (Vol. 78). Springer Science & Business Media. 473 p.

Torben Hilmers, Admir Avdagić, Leszek Bartkiewicz, Kamil Bielak, Franz Binder, Andrej Bončina, Laura Dobor, David I Forrester, Martina L Hobi, Aida Ibrahimspahić, Andrzej Jaworski, Matija Klopčič, Bratislav Matović, Thomas A Nagel, Rudolf Petráš, Miren del Rio, Branko Stajić, Enno Uhl, Tzvetan Zlatanov, Roberto Tognetti, Hans Pretzsch, The productivity of mixed mountain forests comprised of *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, and *Abies alba* across Europe, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 92, Issue 5, October 2019, Pages 512–522,

ÚRADNÍČEK L., MADĚRA P., TICHÁ S., KOBLÍŽEJ J., 2009: Dřeviny České republiky. Kostelec na Černými lesy, Lesnická práce: 366 s.

Uusitalo J, Arppe L, Hackman T, Helama S, Kovaltsov G, Mielikäinen K, Mäkinen H, Nöjd P, Palonen V, Usoskin I, Oinonen M. Solar superstorm of AD 774 recorded subannually by Arctic tree rings. *Nat Commun.* 2018 Aug 28;9(1):3495. doi: 10.1038/s41467-018-05883-1. Erratum in: *Nat Commun.* 2019 Mar 15;10(1):1292. PMID: 30154404; PMCID: PMC6113262.

Vacek Z, Prokúpková A, Vacek S, Bulušek D, Šimůnek V, Hájek V, Králíček I. 2021. Mixed vs. monospecific mountain forests in response to climate change: structural and growth perspectives of Norway spruce and European beech. *For Ecol Manage* 488:119019.

Zang, C., Hartl-Meier, C., Dittmar, C., Rothe, A., Menzel, A., 2014. Patterns of drought tolerance in major european temperate forest trees: climatic drivers and levels of variability. *Glob. Chang. Biol.* 20, 3767–3779.

Vegetační typy v rámci planety - úvod. [Http://r.fld.czu.cz/](http://r.fld.czu.cz/) [online]. ČR: ČZU, FLD, 2010, 2010 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: http://r.fld.czu.cz/vyzkum/nauka_o_lp/biomy/biomy.html#

Vegetation dynamics in central European forest ecosystems (near-natural as well as managed) after storm events. *Folia Geobotanica*, 37: 17-32. – Frelich, L. E. (2002).

Wheeler, B. (2019). Letokruhová analýza a její význam pro historii. *Historický výzkum*, 56(2), 167–177.

WILCZYŃSKI, Sławomir a Marian KULEJ. The growth of seven *Abies grandis* provenances in the climatic conditions of the Polish Carpathian Mountains. *DENDROBIOLOGY*. 2019, 2019(81), 13.”

Zpravodaj ochrany lesa: přehled výskytu lesních škodlivých činitelů v roce ... a jejich očekávaný stav v roce .. Praha-Zbraslav: Útvar ochrany lesa VÚLHM Jiloviště - Strnady, 1994-. ISBN 978-80-7417-063-8. ISSN 1211-9350.