

Disturbance a změna klimatu vepsaná do letokruhů - kvantitativní analýza buněčných parametrů dřevin

Veronika Škarpová

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav environmentální bezpečnosti

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Veronika Škarpová**
Osobní číslo: **L17241**
Studijní program: **B3953 Bezpečnost společnosti**
Studijní obor: **Řízení environmentálních rizik**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Disturbance a změny klimatu vepsané do letokruhů – kvantitativní analýza buněčných parametrů dřevin**

Zásady pro vypracování

1. Představte dendrochronologii, coby vědní disciplínu.
2. Popište dendrochronologické metody, se kterými budete pracovat.
3. Aplikujte tyto metody na vzorcích dřevin.
4. Interpretujte získanou dendrochronologii v kontextu lokálních environmentálních podmínek.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. BRADLEY, Raymond S. *Paleoclimatology: reconstructing climates of the quaternary*. 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press, 1999. ISBN 012124010X.
2. KYNCL, Josef. *Letokruhy jako kalendář i záznamník: zajímavosti z dendrochronologie*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0198-6.
3. SPEER, James H. *Fundamentals of tree-ring research*. Tucson: University of Arizona Press, c2010. ISBN 0816526842.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Ing. Jiří Lehejček, Ph.D.
Ústav environmentální bezpečnosti

Datum zadání bakalářské práce: 1. listopadu 2019
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. května 2020

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

doc. Ing. Pavel Valášek, CSc.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2019

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 15. 5. 2020

Jméno a příjmení studenta: Veronika Škarpová

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá především dendrochronologií a jejím širokým využitím na poli vědecké působnosti, kde je zejména předmětem zájmu struktura letokruhů dřevin. Letokruhy totiž mají schopnost poskytnout proxy data o klimatických a environmentálních podmínkách minulosti, které se získávají díky dendrochronologickým metodám a analýze vzorků dřevin na základě anatomických parametrů. Tyto parametry ovlivňují především disturbance způsobené klimatickými faktory. Nejzásadnějšími klimatickými faktory pro růst dřeva jsou teplota, srážky, sucho, oblačnost, vlhkost a síla větru. V rámci bakalářské práce bude také představena pyrenejská dřevina, na které budou aplikovány vybrané dendrochronologické metody, a která poslouží k lepšímu porozumění růstu pyrenejských dřevin v podmínkách měnícího se klimatu, které je nejvýraznější právě ve vysokých nadmořských výškách.

Klíčová slova: Dendrochronologie, letokruhy, disturbance, Pyreneje, klima

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals mainly with dendrochronology and its wide use in the field of scientific activity, where the structure of tree rings is of particular interest. The annual rings have the ability to provide proxy data on the climatic and environmental conditions of the past, which are obtained through dendrochronological methods and analysis of tree samples based on anatomical parameters. These parameters mainly affect disturbances caused by climatic factors. The most fundamental climatic factors for wood growth are temperature, precipitation, drought, cloud cover, humidity and wind strength. The bachelor's thesis will also introduce the Pyrenean tree species, to which selected dendrochronological methods will be applied, and which will serve to better understand the growth of Pyrenean tree species in a changing climate, which is most pronounced at high altitudes.

Keywords: Dendrochronology, annual rings, disturbance, Pyrenees, climate

Tímto bych velice ráda poděkovala vedoucímu práce Mgr. Ing. Jiřímu Lehečkovi, Ph.D za možnost poznání velice zajímavého studia a za zprostředkování návštěv různorodých dendrochronologických laboratoří. Zároveň za veškerý věnovaný čas v laboratořích, trpělivost a pomoc při psaní bakalářské práce.

Také bych ráda poděkovala všem pracovníkům dendrochronologické laboratoři v Třeboni, Greifswaldu a na České zemědělské univerzitě v Praze, a to za trpělivé vysvětlování, pomoc a za poskytnutí laboratorních prostor.

Dále mé velké díky patří rodině a rodině bývalého přítele, která mi byla velkou podporou během celého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 DENDROCHRONOLOGIE	11
1.1 HISTORIE DENDROCHRONOLOGIE	11
1.2 TVORBA LETOKRUHU	12
1.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ RŮST LETOKRUHŮ	13
1.4 DISTURBANCE LETOKRUHŮ	14
1.4.1 Chybějící a falešný letokruh	14
1.4.2 Mrazivý letokruh	15
1.4.3 Jizva po požárech	16
1.4.4 Reakční dřevo	16
1.4.5 Traumatické pryskyřičné kanálky	17
1.5 VYUŽITÍ DENDROCHRONOLOGIE	18
1.5.1 Dendroklimatologie	19
1.5.2 Dendroarcheologie	20
1.5.3 Dendroekologie	20
1.5.4 Dendrogeomorfologie	21
1.5.5 Dendrochemie	22
2 METODY V DENDROCHROLOGII	23
2.1 ODBĚR VZORKU	23
2.2 LABORATORNÍ ZPRACOVÁNÍ	24
2.3 FOCENÍ	24
2.4 KŘÍŽOVÉ DATOVÁNÍ	25
2.5 STANDARDIZACE	27
2.6 STANDARDNÍ CHRONOLOGIE	27
3 JALOVEC OBECNÝ	29
3.1 POPIS	29
3.2 ROZŠÍŘENÍ	30
3.3 EKOLOGIE	30
3.4 VYUŽITÍ	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	32
4 CÍLE PRÁCE	33
5 MATERIÁLY	34
5.1 POPIS OBLASTI	34
5.2 KATEGORIZACE VZORKŮ	35
6 POUŽITÉ METODY	36

6.1	LABORATORNÍ ZPRACOVÁNÍ.....	36
6.1.1	Příprava na mikrotomování.....	36
6.1.2	Mikrotomování.....	37
6.1.3	Barvení vzorků.....	40
6.1.4	Tvorba trvalého preparátu.....	42
6.2	FOCENÍ.....	43
7	VÝSLEDKY.....	45
8	DISKUZE.....	50
	ZÁVĚR.....	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	58
	SEZNAM TABULEK.....	59
	SEZNAM PŘÍLOH.....	60

ÚVOD

Přítomnost letokruhů ve struktuře stromů je známá věc. Už během dětství si je většina lidí vědoma, že počet letokruhů udává počet roků daného stromu, avšak v následující bakalářské práci se zaměřím na možnosti a znalosti, které nám tyto letokruhy nabízí v rámci jejich zkoumání, z kterého vznikla samostatná studie zvaná dendrochronologie. Dendrochronologie je věda, která lidem pomáhá pochopit ekologické a environmentální děje, procesy a zároveň objevovat historii. Hlavním cílem tohoto oboru je studium již zmiňovaných letokruhů, které svým růstem reagují různými způsoby na okolní prostředí.

Teoretická část bakalářské práce se nejprve zaměřuje na přiblížení dendrochronologie, jakožto vědeckého oboru. Je zde uvedena historie a významné osobnosti, které se podílely na vzniku této studie. Dále se teoretická část zabývá tvorbou letokruhů, poté faktory, které ovlivňují jejich růst a následně budou představeny příklady disturbancí, které vznikají v buněčné struktuře právě v důsledku různých faktorů. V rámci teoretické části bude dále vysvětleno využití dendrochronologie v mnoha dalších odvětvích, které tím rozšiřují její pole působnosti. Následně budou představeny a popsány metody, které jsou v rámci dendrochronologie hojně využívány. A poslední část bude věnována jalovci obecnému, který je v dendrochronologii žádaný hlavně z důvodu výskytu ve vysokohorských oblastech, a který bude také předmětem zkoumání této bakalářské práce.

V praktické části bude přiblížena oblast Pyrenejí, ze které byly vzorky jalovec obecného odebrány, a také bude znázorněno rozdělení vzorků do jednotlivých skupin. Následně budou podrobně popsány vybrané dendrochronologické metody v laboratorním prostředí, které byly aplikovány na poskytnuté vzorky. Pomocí těchto metod bude možné pozorovat buněčnou strukturu jednotlivých vzorků a díky tomu budou odhaleny různé anomálie, které vznikají v důsledku reakce na měnící se klima vysokohorského prostředí. Tyto anomálie budou následně odhaleny a interpretovány v kontextu podmínek prostředí růstu jalovce obecného v Pyrenejích.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DENDROCHRONOLOGIE

Dendrochronologie je jednou z nejdůležitějších technik záznamu životního prostředí pro řadu přírodních environmentálních procesů a pro monitorování změn v životním prostředí způsobené nejen člověkem, jako je například znečištění a kontaminace. Slovo dendrochronologie má své kořeny v řečtině: „dendro“ znamená strom a „chronologie“ znamená studium času. (Speer, 2009). Dle Tenzina (2017) je dendrochronologie nástroj ve vědě o životním prostředí a může být použita všude tam, kde se vyskytují stromy s viditelnými letokruhy.

Lesy pokrývající asi 30% světového povrchu na šesti kontinentech Země, kde je domovem více než tři bilionů stromů, které jsou hostitelem velké části globální biodiverzity a suchozemských uhlíkových rezerv. Ve většině případů se hospodářský rozvoj zemí spoléhal přímo či nepřímo právě na lesy, které neustále zaznamenávají informace o životním prostředí ve své buněčné struktuře, šířce letokruhu, hustotě a izotopickém složení dřeva. Díky jejich dlouhé životnosti, po celá desetiletí až tisíciletí, se stromy staly celosvětově důležitým archivem informací o životním prostředí (Amoroso, 2017; Wilmking, 2020).

1.1 Historie dendrochronologie

Již dávno starověcí Řekové vyzorovali, že se letokruhy stromů vytvářejí ročně, a že jejich šířka a další charakteristiky se z roku na rok mění (Sheppard, 2010). V 15. století Leonardo da Vinci (1452 – 1519) objevil vztah mezi každoročním kolísáním u letokruhů a srážkami během vegetačního období a byl první, kdo zpracoval písemné odkazy na toto téma. Dalšími vědci, kteří se podíleli na vývoji dendrochronologie, byl Ital Marcello Malpighi (1628 – 1694) a Američan Nehemiah Grew (1628 – 1711), kteří společně položili anatomické základy výzkumu letokruhů pomocí nově vynalezeného mikroskopu (Schweingruber, 1988).

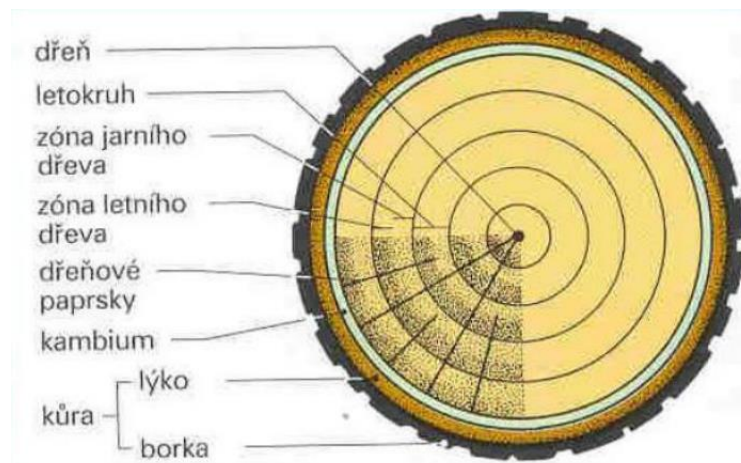
Avšak začátek vědeckého studia letokruhů stromů je obecně připisován počátkům 20. let 20. století a to astronomovi jménem Andrew Ellicott Douglass (1867 – 1962), který si během života a práce v Arizoně všiml nejen kolísání šířky letokruhů, ale také že tato variabilita byla podobná mezi více stromy stejného klimatu. Douglassova raná práce byla klíčová pro vývoj dendrochronologie a dendroklimatologie (Brandley, 1999; Sheppard, 2010).

Speer (2009) uvádí, že jedním z hlavních výzkumných pracovníků v Evropě byl Bruno Huber (1930 – 1999), který převzal velmi mnoho poznatku od A. E. Douglassa a strávil značný čas a energii datováním vzorků stromů a vydáváním více než 39 článků o dendrochronologii.

1.2 Tvorba letokruhu

Kmen stromu má funkci ne jen jako opora, ale zároveň slouží jako systém potrubí. V průřezu je dřevo tvořeno kůrou, na kterou navazuje tenká vrstva kambia, ze které se postupně vytvářejí ostatní vrstvy. Buňky kambia se dělí a tvoří tzv. floém a xylém. Floém neboli lýko je vnitřní kůra, která vede organické živiny, především cukr, a stářím se mění v kůru. Xylém neboli dřevo zastává funkci vodního potrubí a produkuje podpůrnou tkáň, která vytváří roční přírůstek. Mladé buňky xylému tvoří bělové dřevo a starší buňky poté tvoří dřevo jádrové. Středová část kmene se nazývá dřev (AlenScheffel, 1996; Shroder, 2016).

V mírném podnebí rostou nejrychleji stromy na začátku vegetačního období a to na jaře, kdy se buňky xylému rychle zvětšují. Tyto buňky jsou na průřezu kmene světle zbarvené a jsou známé jako jarní dřevo. Jarní dřevo se vyznačuje tracheidami s širokým lumenem, tenkými buněčnými stěnami a v živém stromu plní vodivou funkci. V pozdním létě, na konci vegetačního období, se růst dřeva zpomaluje a je vytvářeno tzv. letní dřevo, které je tvořeno naopak tracheidami s úzkými lumeny a silnými buněčnými stěnami. Letní dřevo má funkci mechanickou a projevuje se tmavou barvou, vyšší tvrdostí a vyšší hustotou dřeva. Světlé jarní dřevo i tmavé letní dřevo tak zobrazují polovinu růstové sezony a společně tvoří jeden letokruh, který představuje jeden rok (AlenScheffel, 1996; Gryc, 2004). Dle Shrodera (2016) je tento roční přírůstek zpravidla kontinuální v celém stromu, a tak poskytuje datování pro začátek růstu celého stromu nebo jakékoliv jeho části.



Obrázek 1: Prvky kmene na příčném řezu (Pecina, 2006)

Letokruh je tedy odrazem pravidelného střídání období vegetace a vegetačního klidu. V podnebí mírného pásu je období vegetačního klidu zima. V případě vždy zelených tropických lesů, což jsou oblasti bez vegetačního klidu, kde nejsou vytvářeny žádné přírůstkové zóny a dřevo díky tomu vzniká nepřetržitě, není letokruh v řezu patrný (Gryc, 2004; Kyncl, 2017).

Dle Fritse (1976) je schopnost tvořit letokruhy mimořádně cenným zdrojem paleoklimatických informací a to díky skutečnosti, že šířka letokruhů je snadno měřitelná po nepřetržitou řadu let a tato měření mohou být kalibrována podle klimatických údajů. Dále mohou být letokruhy datovány do konkrétních let, ve kterých byly vytvořeny, díky čemuž dochází ke snadné rekonstrukci klimatu dané doby. Kyncl (2017) zastává názor, že dokud dřevo neshnije nebo neshoří, jeho letokruhy zůstávají nezměněné a představují tím nesmazatelný záznam minulosti.

1.3 Faktory ovlivňující růst letokruhů

Šířka letokruhů se v daném roce řídí řadou biotických a abiotických vlivů. Tito činitelé ovlivňují pravidelnost a šířku ročního přírůstku a lze je klasifikovat jako vnější a vnitřní faktory. Pokud je strom vystaven příznivými faktory, tvoří se širší letokruhy. V opačném případě bývá šířka letokruhů menší. Mezi vnitřní faktory patří množství dostupných živin, minerálů, růstových regulátorů, enzymů, vody a celkově vitalita stromu, respektive činnost kambia. Vnitřní faktory bývají často výsledkem vnějších faktorů. Mezi vnější faktory patří typ stanoviště, postavení stromu v porostu neboli množství světla, lesnická opatření a vlivy počasí. U stanoviště je důležitá kvalita půdy, množství živin v půdě,

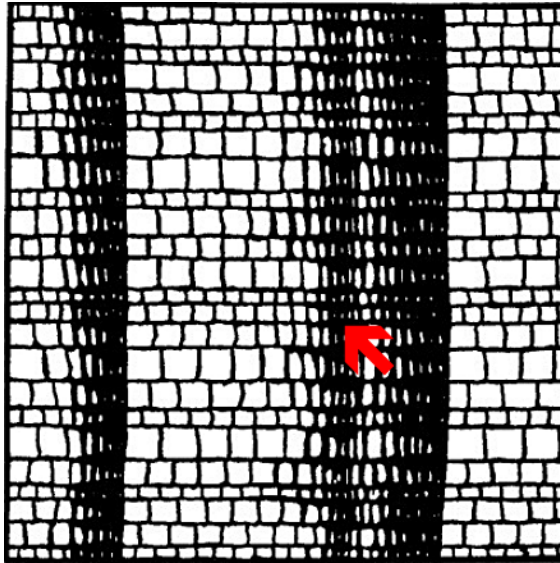
vzdušnost půdy, dále její vlhkost a pH. Vliv počasí je hlavně daný teplotou vzduchu, množstvím vodních srážek a intenzitou větru. V poslední době ovlivňuje růst letokruhů také zvýšené množství imisí, které se vyznačují snížením šířky letokruhů. Mezi vnějšími faktory, vnitřními podmínkami, fyziologickými procesy a růstem se mohou vyskytnout komplexní interakce a velikost letokruhu stromu je tedy souhrnnou reakcí na podmínky, které strom v daném roce zažil (AlenScheffel, 1996; Fritts, 1976; Gryc, 2004; Rubino, 2014).

1.4 Disturbance letokruhů

Disturbance je pojem, který v ekologii znamená narušení či změnu obvyklých podmínek nějakou událostí, která je pro daný ekosystém stresující, což dle mnoha ekologů je normální v průběhu dynamiky ekosystému, avšak v některých případech může být disturbance destruktivní (Rykiel, 1985).

1.4.1 Chybějící a falešný letokruh

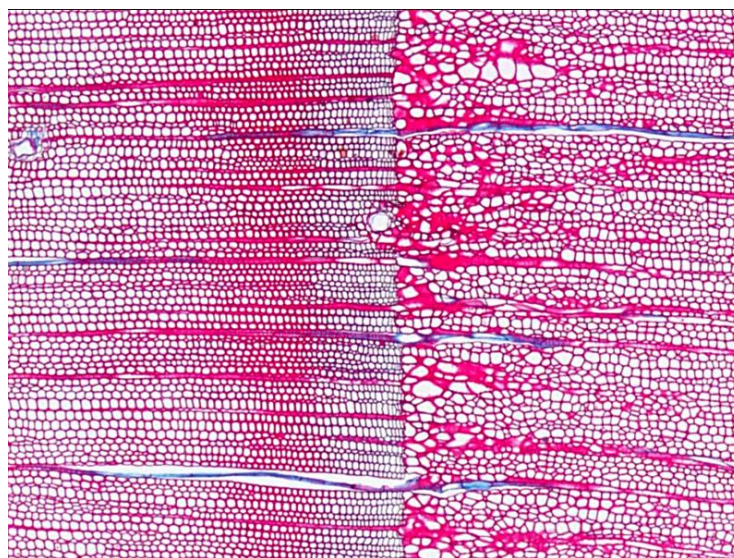
Za disturbanci můžeme považovat nadměrné sucho na začátku vegetačního období, které může způsobit, že strom ztratí veškeré listí a není schopen běžného růstu, což je nedostatečné pro vytvoření letokruhu a dochází k tzv. chybějícímu letokruhu (AlenScheffel, 1996; Amoroso, 2017). Chybějící letokruh je běžnou vlastností stromů rostoucích ve stresových podmínkách. Disturbance nadměrných suchem na začátku vegetačního období dále může způsobit, že se růst jarního dřeva zastaví a místo tenkostěnných buněk, se začnou tvořit tlustostěnné buňky, které jsou typické pro letní dřevo. Po odeznění této disturbance však opět dochází k ideálním podmínkám pro růst dřeva a místo letního dřeva se začne tvořit dřevo jarní a tento přerušovaný růst vytváří tzv. falešný letokruh (obrázek 2), který se podobá letokruhu skutečnému a může způsobit komplikace během datování dřeva (Amoroso, 2017; Cook, 1989; Fritts, 1976).



Obrázek 2: Ukázka falešného letokruhu (Nash, 2002)

1.4.2 Mrazivý letokruh

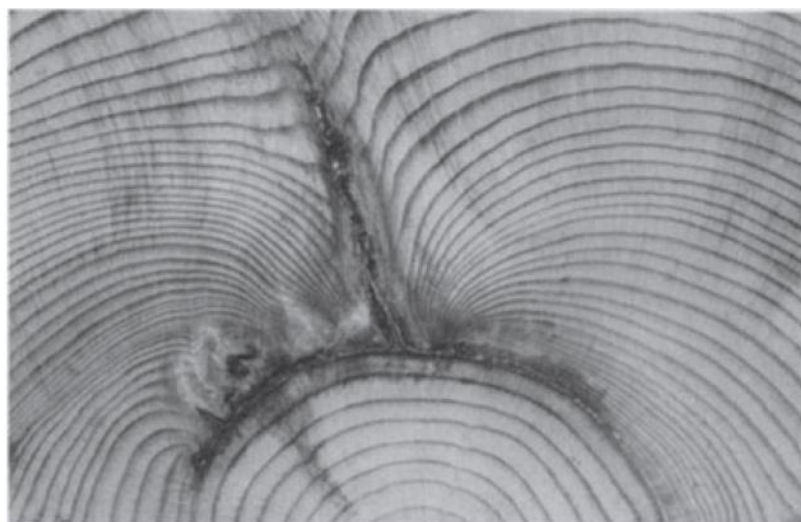
Dle Kyncla (2017) je další výsledkem disturbance tzv. mrazivý letokruh (obrázek 3), ke kterému dochází v případě, že v době vegetace teplota klesne pod určitý bod, u kterého se v mezibuněčných prostorách vytváří led a ten způsobí roztržení tkáně a tím zanechá v letokruhu nesmazatelnou stopu. Tyto zřetelné mrazivé letokruhy lze pozorovat u stromů s vysokou nadmořskou výškou a v dendrochronologii mohou být důležitými identifikačními znaky neboli markery (Speer, 2009).



Obrázek 3: Ukázka mrazivého letokruhu (Montwé, 2018)

1.4.3 Jizva po požárech

Velice významnou disturbancí letokruhů je také oheň, který svou vysokou teplotou způsobuje úhyn kambia a vznik jizev po požáru. Kůra se po požáru často odloupne a zůstane exponované dřevě (Smith, 1999; Speer, 2007). Jizvy po požáru lze sledovat tam, kde je v průřezu patrná zvýšená aktivita zbylého nepoškozeného kambia, které rychle obklopí poškozené části obvodu kmene, aby se minimalizovalo napadení hnilobou a hmyzem, díky čemuž vznikají jasné linie dokazující výskyt požáru. Lze také pozorovat, že během několika následujících let, budou tyto malé rány zcela zarostlé, avšak záznam minulosti v letokruhu zůstává (Kyncl, 2017; Schweingruber, 1993). Analýza jizev po požáru je důležitým nástrojem k pochopení dynamiky lesů, protože jizvy zaznamenávají načasování, frekvenci a prostorový rozsah ohně v lesním porostu (Smith, 1999).



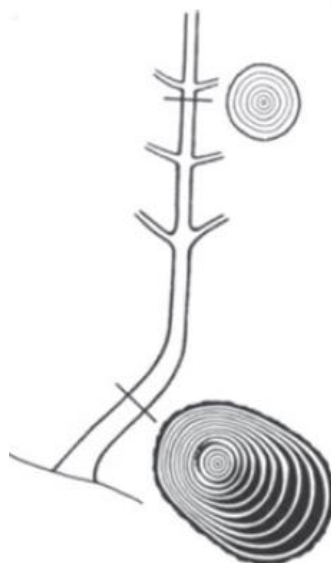
Obrázek 4: Ukázka jizvy po požáru (Schweingruber, 1993)

1.4.4 Reakční dřevo

Nepříznivé vnější faktory, jako například vítr, zatížení sněhem, nesouměrná stavba koruny nebo růst na nestabilních šikmých svazích, způsobuje vznik reakčního dřeva. Principem se jedná o reakci kambia na naklonění kmene, kdy v důsledku této disturbance kambium začne vytvářet neobvyklou strukturu letokruhů, která se vyznačuje zvýšenou hustotou, tvrdostí a pevností dřeva. V průřezu lze pozorovat výrazně tmavší letokruhy. U jehličnanů se jedná o tlakové dřevo, které se vytváří na dolní části nakloněného kmene. Reakce u listnatých dřevin je mírně odlišná, zde dochází ke tvorbě tzv. dřeva tahového, které

se utváří v horní části nakloněného kmene (Gryc, 2004; Stoffel, 2010). Bradley (1999) uvádí, že funkce reakčního dřeva je podpora přirozeného postoje stromu.

Pomocí dendrochronologické analýzy jizev můžeme vypočítat a datovat události, kdy se na daném území vyskytly laviny, hurikány, eroze, sesuvy půdy a taky pohyby půdy na permafrostu. Zpětná projekce pohybů půdního horizontu má do budoucna využití např. pro pochopení pohybu svahu trpícího na sesuvy a tím lépe navrhnout jeho ošetření (Bradley, 1999; Kyncl, 2017).



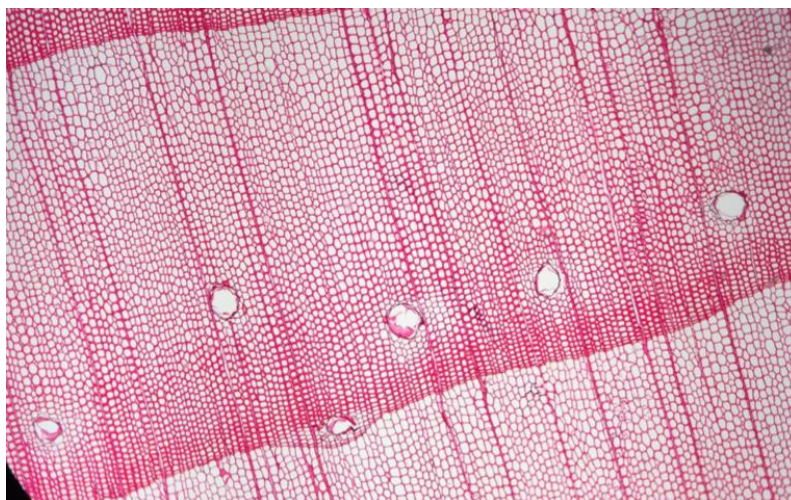
Obrázek 5: Ukázka reakčního dřeva (Schweingruber, 1993)

1.4.5 Traumatické pryskyřičné kanálky

V našich zeměpisných šířkách mají jehličnaté stromy (krom jedle, tise nebo jalovce), schopnost tvořit pryskyřičné kanálky, jejichž produktem je pryskyřice, která plní přirozenou ochrannou funkci. Ve dřevě je možné rozlišit dva typy pryskyřičných kanálků – vertikální a horizontální, které jsou navzájem propojeny a vytvářejí souvislou síť pryskyřičných kanálků v jehličnatých stromech (Böhm, 2018; Gryc, 2004).

Pozoruhodná schopnost těchto jehličnanů, je však tvorba tzv. traumatických pryskyřičných kanálků (obrázek 6), které se začnou tvořit následně po různých biotických a abiotických disturbancích. Příkladem může být mechanické poškození nebo napadení hmyzem (Böhm, 2018; Krokene, 2008). Po poranění vznikají tangenciální řady traumatických pryskyřičných kanálků ve vyvíjejícím se sekundárním xylému. Pokud dojde

k poranění během vegetačního období stromu, produkce pryskyřice začne několik dní po události a kanálek se objeví do třech týdnů po rušivé události (Stoffel, 2010). Strom používá tuto pryskyřici k utěsnění ran a kromě toho je pryskyřice pro hmyz a houby chemicky toxická a vylučuje podtlak, který zabraňuje napadajícím organismům proniknout kůrou (Krokene, 2008; Speer, 2009). Stoffel (2010) uvádí, že lze tyto kanálky použít k rekonstrukci předchozích událostí s měsíční přesností, za předpokladu, že k výskytu došlo během vegetačního období.



Obrázek 6: Ukázka traumatických kanálků (Wikimedia Commons, 2017)

1.5 Využití dendrochronologie

Ze šířky či absenci letokruhů, jizev a z dalších charakteristických rysů mohou odborníci pomocí dendrochronologických metod rekonstruovat mnohé události v životě stromů (AlenScheffel, 1996). Dendrochronologie může být aplikována na velmi staré stromy, čímž poskytne dlouhodobé záznamy o minulé teplotě, srážkách, ohni, výskytu hmyzích kalamit, svahovém pohybu a také záznam o hurikánech a ledových bouřích (Speer, 2009). Znalost principů a metod analýzy letokruhů proto umožňuje zkoumat témata od historie klimatu po dynamiku lesa, od datování starodávných ruin až po načasování tvorby dřeva (Biondi, 2020).

Díky tomu se dendrochronologie rozdělila do několika podoblastí a tyto podoblasti byly pojmenovány udržováním základu „dendro“ a přidáním sekundární předpony k popisu

konkrétního studovaného oboru. Například dendroklimatologie používá změnu struktury a šířky letokruhu k odvození informací o minulém klimatu. Volba odsazení termínu je libovolná a mnoho dendrochronologických studií může legitimně spadat do více než jednoho z těchto podoborů (Fritts, 1976; Speer, 2009).

1.5.1 Dendroklimatologie

Jednou z prvních a nejvíce veřejně diskutovaných aplikací v dendrochronologii byla schopnost rekonstruovat klima z letokruhů stromů. Domnění, že variabilita letokruhů je odrazem rozdílnosti klimatu jednotlivých let, stála na samotném začátku dendrochronologie. Stromy totiž reagují na své okolí a jsou vystaveny klimatickým faktorům, jako je kolísání teploty, srážky, sucha, vlhkost půdy, síla větru a počet oblačných dní, které snižují fotosyntézu (Kyncl, 2017; Speer, 2009). Velké množství těchto faktorů z prostředí se mění po celou dobu životnosti rostliny a občas mohou omezit jejich růst a ovlivnit podobu mnoha rostlinných struktur (Fritts, 1976). Dle Kyncla (2017) jedním z nejvýraznějších znaků, které dokazovaly souvislost mezi klimatem a reakcí stromů jsou klimatické extrémity. Speer (2009) je toho názoru, že ve skutečnosti se klima jeví jako jeden z hlavních kontrolních faktorů růstu stromů a to ve všech prostorových a časových měřítkách.

Růst stromů je jedním z příkladů proxy dat (alternativní zdroje informací z přírodních zdrojů), které zaznamenávají klima a to právě díky jednotlivým letokruhům. Letokruhy jsou tvořeny jarním a letním dřevem, které se výrazně liší v průměrné hustotě, což umožňuje měření šířky těchto letokruhů. Varianty hustoty jarního a letního dřeva, které mají jednoduchou růstovou funkci a to lineární růst, jsou v dendroklimatologii velice cenným nástrojem. Obecně se v každém letokruhu měří dvě hodnoty a to minimální a maximální hustota dřeva (Bradley, 1999; Speer, 2009). Dle Brandleyho (1999) je ovšem mnohem výraznějším klimatickým ukazatelem maximální hustota, než hustota minimální.

Údaje o letokruzích lze použít k rekonstrukci ročních změn klimatu, ke kterým došlo v minulosti ještě před klimatickým měřením pomocí technologií. Tímto mohou rekonstrukce dostatečně prodloužit klimatický záznam minulosti a vylepšit tak stávající statistiky o klimatické variabilitě (Fritts, 1976; Speer, 2009). Dle Frittsa (1976) by doplnění klimatických statistik mohlo člověku pomoci lépe porozumět změnám v minulosti a tím předvídat možné budoucí klimatické změny. Dále se tím naskytne možnost lépe rozlišovat mezi přirozenou klimatickou variabilitou a nepřirozenou změnou způsobenou člověkem

a díky tomu odhadnout pravděpodobné budoucí výskyty ničivých podnebí, jako je například dlouhodobé sucho.

1.5.2 Dendroarcheologie

Dendroarcheologie je věda zabývající se datováním historicky postavených budov či jiných dřevěných předmětů. Tato rychle vyvíjející se podoblast dendrochronologie, která využívá anatomii dřeva a korelaci s chronologickými záznamy k určení původu a staří dřevin, si získala v archeologii důležitou roli a uznání jako přesný nástroj pro chronologickou kontrolu (Rubino, 2014; Speer, 2009).

Dendroarcheologická analýza nabízí objektivní způsob, jak datovat historicky postavené struktury, když jiné linie důkazů (např. listiny, daňové záznamy nebo orální historie) neexistují nebo jsou nespolehlivé (Rubino, 2014). Speer (2009) uvádí příklad využití dendroarcheologie a to na trámech historických budov, díky čemuž se odhalí datum výstavby dané budovy, ale také její případné rozšiřování. Zvláště pozoruhodné využití dendroarcheologie bylo na houslích zvaných Mesiáš, které jsou považované za jedno z nejcennějších hudebních nástrojů a nejlepší dílo Antonia Stradivariho. Nedávno byly položeny otázky týkající se jejich pravosti ze stylistických a historických důvodů a díky dendrochronologii došlo k potvrzení stáří dřeva, ze kterého byly tyto housle vyrobené (Grissino-Mayer, 2004).

Dendroarcheologie je proto užitečná ne jen v poskytnutí přesných chronologických dat z letokruhů, ale také v porozumění lidského chování dané kultury a podmínkách prostředí, díky čemuž má potenciál rozšířit studium kdysi neznámé minulosti (Rubino, 2014; Towner, 2013).

1.5.3 Dendroekologie

Dendroekologie je relativně nový studijní obor vyvinutý Theodorem Hartigem a Robertem Hartigem na konci 18. století v Německu. Jedná obor, kde dochází k aplikaci dendrochronologie na ekologické otázky (Amoroso, 2017; Speer, 2009).

Ekologie je studie zabývající se interakcí mezi organismy a jejich abiotickým prostředím. Jádrem ekologie je otázka, jak se tyto interakce v průběhu času mění a jak ovlivňují strukturu a složení populace či společenstva. Díky letokruhům poskytující proxy data, které mají schopnost zaznamenat klimatické změny v minulosti, po staletí či dokonce po tisíciletí, se začala dendrochronologie používat v ekologii s cílem vylepšit naše chápání

funkce lesů napříč širokým spektrem prostorových a časových měřítek (Amoroso, 2017; Stoffel, 2010).

Dendroekologickému výzkumu velice napomáhá skutečnost, že sekundární nebo radiální růstové procesy, které řídí tvorbu dřeva, jsou v zásadě stejné pro všechny stromy. Tato jednotnost procesu znamená, že stromy a lesy by měly reagovat relativně předvídatelným způsobem na podmínky prostředí, narušení či na extrémní události, které náhle změní metabolismus stromu a dochází ke zmenšení asimilační oblasti, zranění či naklonění stonku anebo k roztržení kořenů (Amoroso, 2017; Speer, 2009).

Cook (1989) je toho názoru, že cílem dendroekologie je stanovení každoročních interakčních vztahů mezi podnebím, místními podmínkami a růstem stromů za účelem posouzení exogenních a endogenních faktorů, které ovlivňují růst rostlinného společenství. Mimo jiné, dendroekologie také utváří chápání vývoje i dynamiky lesa a umožňuje pohled na reakci lesů vůči extrémním přírodním podmínkám, narušení prostředí a v některých případech i na dlouhodobé interakce mezi člověkem a jeho prostředím (Amoroso, 2017).

1.5.4 Dendrogeomorfologie

Geomorfologie je věda zabývající se formováním zemského povrchu a souvisejícím procesům, které odhalují vzájemné vztahy mezi původem zemského povrchu a dynamikou jeho alterace způsobenými procesy jako eroze, masové pohyby nebo tektonika (Gärtner, 2013). Dle Shrodera (2016) datování letokruhů stromů a keřů, které tyto geomorfologické procesy ovlivňovali, poskytuje cenné chronologické a environmentální údaje, které nelze získat žádným jiným způsobem. Analýza těchto procesů prostřednictvím studia růstových anomálií v letokruzích se nazývá dendrogeomorfologie (Stoffel, 2010).

Většina dendrogeomorfologických studií byla založena na údajích ze stromů rostoucích v mírných klimatických pásmech nebo stromů a keřů rostoucích blízko horní hranici lesa v různých horských oblastech. V arktických a alpských ekosystémech, kde jsou stromy vzácné nebo chybí, je dendrochronologický výzkum omezený. Nejčastěji používané stromy v dendrogeomorfologii jsou jehličnany, které jsou dominantními druhy stromů ve vysokohorských oblastech, kde je vysoký potenciál přírodních rizik. Dalším důvodem je relativně jednoduchá struktura jehličnatého dřeva, která umožňuje přímou analýzu (Gärtner, 2013; Owczarek, 2010).

1.5.5 Dendrochemie

Dendrochemie je subdisciplína, která analyzuje a interpretuje chemii dřeva přesně datovaných letokruhů (Balouet, 2009). Základem je použití letokruhů jako indikátorů minulých chemických výkyvů v životním prostředí (Speer, 2009). Dle Stoffela (2010) byla diagnóza chemického podpisu minulých erupcí v letokruzích cenná pro paleorekonstrukce. Smith a Shortle (1996) také zdůrazňují, že pro použití dendrochemického záznamu je nezbytná dobrá znalost biologie stromů a pochopení jejich biologických procesů. Stromy totiž nejsou pasivními zapisovači vnějšího prostředí, ale právě díky biologickým procesům zprostředkovávají tvorbu chemického záznamu.

Stromy absorbují chemikálie společně s vodou, kterou přijímají kořenovým systémem z půdy a také společně s atmosférickými plyny skrze listy a kůru. Tyto chemikálie se ukládají do dřeva ve stoncích, kořenech a větvích stromů a lze je použít jako záznam kontaminace a dostupnosti živin. V poslední době byla dendrochemie používána k posouzení časových polí vzniku a existence znečištění životního prostředí (Balouet, 2009). Stabilní izotopy lze také měřit ve struktuře dřeva, aby rekonstruovaly minulou teplotu, vlhkost a zdroj vody nebo podmínky růstu stromů. Většina tohoto výzkumu spočívá v objevování tzv. časových markerů, které poukazují na změny prostředí nebo nalezení přímého důkazu o fytotoxicitě (Smith a Shortle, 1996; Speer, 2009). Dle Kyncla (2017) může být příkladem takového markeru nárůst jaderných explozí při nadzemním testování nukleárních zbraní jadernými mocnostmi a to na konci padesátých let minulého století. Tyto chemické testy jsou nesmazatelně uloženy v letokruzích stromů, zcela shodně na celém světě a tento záznam se může jednou v budoucnu stát důležitým odkazem pro naše praprotomky.

2 METODY V DENDROCHROLOGII

Dendrochronologie může produkovat velké množství dat a výsledků a právě z toho důvodu existují v dendrochronologii metody, které nám pomáhají tyto data interpretovat. Dendrochronologické metody se používají více než 100 let a poskytují záznam o klimatu, lidských činnostech, povodních, ohni, sesuvech půdy a dalších geologických a biologických událostech (Balouet, 2009; Shroder, 2016).

2.1 Odběr vzorku

Rozhodujícím prvním krokem při dendrochronologii je výběr místa, ze kterého budou vzorky dřevin odebrány (Sheppard, 2010). Dle Speera (2009) mohou být vybrána jednotlivá místa pomocí techniky náhodného výběru, které reprezentují širší krajinu. Dalším způsobem jsou cílené odběry vzorků, které slouží k prozkoumání specifických signálů. Zároveň je třeba učinit některá základní rozhodnutí o tom, jak vzorkovat stromy v krajině. Toto rozhodnutí se liší v závislosti na cíli výzkumu.

Následně je důležité získat veškeré terénní poznámky a informace o vzorcích stromů a o lokalitě. Tyto informace neposkytují jen záznam, ale mohou být také důležité při následné analýze. Vzorky by měly být pečlivě a jasně označeny a obsahovat datum, druh, místo, výšku, expozici, sklon a všechny další patrné vlastnosti (Fritts, 1976). Raymond (1999) zdůrazňuje, že pro spolehlivou studii, je nutné odebrat dostatečné množství vzorků v závislosti na určeném cíli výzkumu. Důvodem dostatečného množství materiálu je mimo jiné také možnost ztrát v případě, že některé vzorky budou neobvyklé nebo nevhodné pro datování či analýzu (Fritts, 1976).

V rámci dendroklimatických studií, se nejčastěji vybírají lokality, kde jsou stromy vystaveny stresu a rostou v blízkosti horní hranici lesa. V takových situacích budou klimatické výkyvy výrazně ovlivňovat roční růst letokruhů a tyto stromy jsou díky tomu považovány za citlivé a poskytující nejsilnější klimatický signál (Raymond, 1999). Oproti tomu regiony s optimálními podmínkami pro růst stromů jsou vhodné pro rekonstrukci neklimatických faktorů, jako je například mezidruhovná konkurence, lesní požáry a napadení škůdci (Cook, 1989).

2.2 Laboratorní zpracování

Laboratorní zpracování slouží k úpravě vzorků pro následné datování či analýzu. Všechny vzorky vyžadují určitou povrchovou úpravu pro správnou čitelnost letokruhů (Cook, 1989). U suchých dřev se pro úpravu často používají kotoučové či pásové brusky. Mokrá dřeva bývají opracovávána žiletkou nebo skalpelem, na pevnější vzorky se může použít kobercový nůž (Rybníček, 2007). Pokud jsou materiály broušeny, použije se nejprve hrubý smirkový papír a poté se postupně snižuje k jemnějším brusným papírům. Příkladem postupu použití zrnitosti brusného papíru může být 180 nebo 220, 320, 380 a 400 nebo 600, v závislosti na míře brusné plochy a tvrdosti dřeva (Fritts, 1976).

V případě řezání vzorku na mikrotomu, je nutné před řezáním dřevo změkčit ve vodě. Mikrotom poskytuje tenké řezy o velikosti 10 až 20 mikrometrů vynikající kvality za předpokladu, že ostří mikrotomu je optimálně ostré a je použita špičková čepel. Dále je důležité umístění vzorku do přidržovacího zařízení, odborná manipulace s nožem a značné množství zkušeností (Schweingruber, 1988). Po následném mikrořezu je nezbytné vzorek zkontrolovat pod mikroskopem a zjistit, zda nevykazuje praskliny v části, která by mohla pocházet z trhlin v řezné hraně mikrotomové čepele (Schweingruber, 2007).

Po mikrotomování se pro lepší odlišení celulózy a lignifikovaných buněčných stěn využívá barvení vzorků. Obvykle se používá kombinace barvicích látek astra blue ve spojení se safraninem (Kraus, 2009). Po obarvení následuje konzervace. Dle Schweingruber (2007) je nejlepší a nejtrvalejší kanadský balzám, kterým se vzorek na sklíčku zalije, přikryje krycím sklíčkem a zatíží, což způsobí stabilizaci vzorku a redukci vzduchových bublin během sušení. Po zaschnutí lze ztvrdlou pryskyřici, která je mimo žádanou plochu zeškrábat žiletkami.

Základem úspěchu v dendrochronologii je vynaložení dostatečného úsilí a času při přípravě laboratorních vzorků (Cook, 1989).

2.3 Focení

V dendrochronologii se využívají mikroskopy se zvětšením objektivu $\times 2$, $\times 4$, $\times 10$, $\times 20$, $\times 40$ a $\times 90$. Všechny tyto možnosti zvětšení jsou vhodné pro pozorování (Schweingruber, 2007). Pro získání elektronických dat prostřednictvím focení nebo pro přehlednější zobrazení mikroskopického snímku trvalého preparátu na větší ploše, se využívají mikroskopy, které mají nainstalované digitální kamery a snímají obraz objektivu

mikroskopu. Tento obraz kamera dále zobrazuje na monitoru počítače, který je na tuto kameru napojen. Focení trvalých preparátů se v dendrochronologii využívá hlavně pro získání dat nezbytných pro následnou práci v softwaru počítače (Fajstavr, 2013).

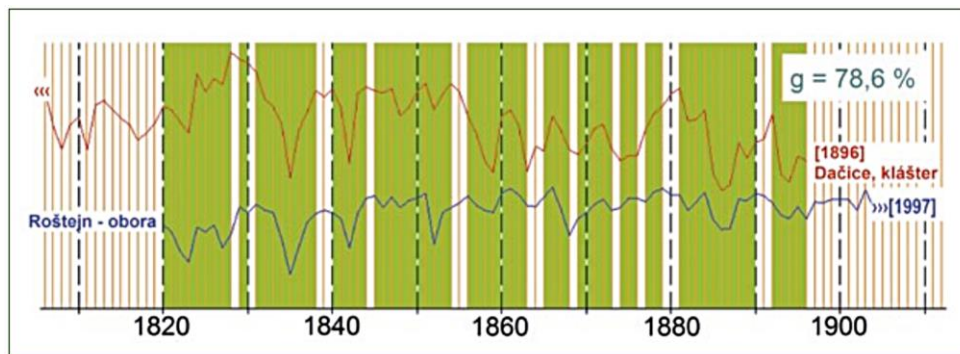
Kromě trvalých preparátů lze v dendrochronologii fotografovat také neupravená čela trámů s nápadnými a dobře rozlišitelnými letokruhy. Zpravidla je však pro fotografování nutné a nezbytným předpokladem, aby povrch vzorku byl dokonale hladký (Humlová, 2006; Kyncl, 2017).

2.4 Křížové datování

Křížové datování je možná nejdůležitějším postupem v analýze letokruhů a je jedním ze základních metod dendrochronologie, která srovnává více vzorků mezi sebou pomocí šířky letokruhů. Díky této metodě dochází ke zjišťování let jednotlivých letokruhů neboli datování, které je významné v mnoha dendrochronologických oborech. Tato technika je v dendrochronologii úspěšná, protože podmínky prostředí vyvolávají podobně rostoucí vzory na všech stromech ve vybrané oblasti (Fritts, 1976; Palakit et al., 2012).

Ke křížovému datování je potřeba alespoň dvou letokruhových řad. První řada je známá, čili datovaná, a druhá řada je neznámá, která získá data svých letokruhů překrytím s datovanou řadou (Kyncl, 2017). Příkladem může být datování živých stromů, kdy je znám rok odběru vzorku. Díky této znalosti lze přiřadit aktuální rok k nejnovějšímu letokruhu (pokud se již v daném roce odběru letokruh vytvořil) a následně postupovat s každým letokruhem až k jádru vzorku (Rubino, 2014). Tuto chronologii poté synchronizujeme se standardní chronologií a dle Rybníčka (2007) se jedná o metodu absolutního křížového datování. Rubino (2014) proto uvádí, že křížové datování je velice spolehlivá metoda zjišťování neznámého věku v oblasti dendroarcheologie a její techniky se ukázaly být účinnými výzkumnými nástroji.

Následující ukázka křížového datování (obrázek 9) ukazuje využití křížového datování při získávání chronologie dačického kláštera, jehož stáří bylo neznámé. Za pomoci přesného datování živých stromů z Roštýnské obory, kdy byl znám rok posledního letokruhu a to v roce 1997 při jeho odběru. Chronologická řada těchto dřevin byla porovnána s chronologií Kláštera bosých karmelitek v Dačicích a vykazala synchronní polohu a vysoké procento souběžných úseků (78,6%), které jsou na obrázku vyznačeny zelenými pruhy (Kyncl, 2017).



Obrázek 7: Ukázka křížového datování (Kyncl, 2017)

V dendrochronologii se však můžeme setkat i s okolnostmi, kdy z nějakého důvodu není možné vzorky absolutně datovat. Příkladem může být neexistující chronologie pro dané období. Vzorky tak můžeme mezi sebou porovnávat se zájmem o zjištění časové souvislosti. Tento způsob datování se nazývá relativní a výsledkem mohou být i rozsáhlé chronologie, které se označují termínem plovoucí chronologie (Kyncl, 2017; Rybníček, 2007).

Metoda křížového datování je v dendrochronologii velice užitečná především z důvodu výskytu anomálií v letokruzích, které byly způsobené disturbancí. Anomálie bývají obvykle přítomny u několika stromů ze stejné oblasti a jsou jedním z nejčastějších zdrojů chyb při výzkumu letokruhů a právě díky křížovému datování se výskyt těchto anomálií daří identifikovat (Palakit et al., 2012). Schweingruber (1988) uvádí, že kromě těchto biologických anomálií mohou nespolehlivé výsledky také způsobit technické chyby. Příkladem může být trhlina ve vzorku, nedokonale provedený řez či broušení, překrytí vzorků, které byly šikmo rozseknuty, špatně nastavené parametry již během práce v dendrochronologickém softwaru, špatná orientace vzorku a mnoho dalších.

Měřená data jsou prezentována ve formě křivek, které jsou potom opticky vyrovnány, čemuž nasvědčuje, že pro správné křížové datování je nejen důležité dodržet přesnou metodiku odběru vzorků, laboratorního zpracování a focení, ale také zkušeného dendrochronologa, který je schopen rozpoznat jednotlivé anomálie (Cook, 1989; Schweingruber, 1988). Každopádně Fritts (1976) uvádí, že i přes znalosti odborníka je v rámci výzkumu nezbytná kontrola provedená druhou osobou a v případě, že dojde k nalezení závažné nesrovnalosti, celá chronologie musí projít kontrolou dalším zkušeným výzkumníkem.

2.5 Standardizace

Po křížovém datování je klíčovým krokem při budování chronologií metoda známá jako standardizace, která slouží buď ke snížení rozdílů mezi jednotlivými dřevinami anebo k odstranění věkového trendu z časové řady (Shroder, 2016; Helama, 2004).

Věkový trend je do jisté míry individuální téměř pro každý strom, což způsobí zeslabení společného signálu (Rybníček, 2007). Radiální růst mladých stromů má tendenci být rychlejší a s věkem se růst zpomaluje. Důkazem věkového trendu může být pohled na zachovalejší strom, kdy je možné pozorovat širší letokruhy v blízkosti středu oproti letokruhům v blízkosti kmene. Tento vzorec růstu platí v podstatě pro všechny jehličnaté i listnaté stromy (Helama, 2004; Kyncl, 2017).

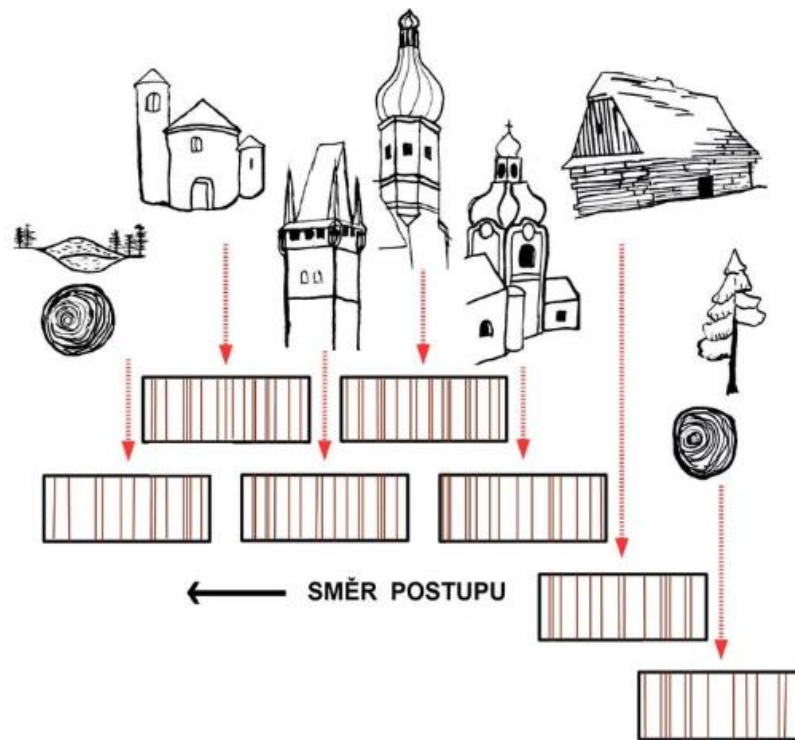
V dendroklimatologických studiích je signálem pouze klima. Proto je v případě dendroklimatologie velmi důležité identifikovat a odstranit všechny neklimatické šумы ze série šířky letokruhů, aby zbývající signál co nejlépe rekonstruoval vliv klimatických faktorů na růst dřevin. Tím vznikne společný klimatický signál pro všechny stromy ze stejné oblasti. Standardizace je tedy proces modelování a odstranění věkového trendu z časové řady, jehož cílem je vytvoření nehybné chronologické řady (Helama, 2004; Rybníček, 2007).

2.6 Standardní chronologie

Termínem standardní chronologie je označována velmi dlouhá letokruhová řada obsahující chronologii archeologických nálezů a historických stavebních konstrukcí, které jsou obvykle spojeny s chronologiemi lesních porostů, díky čemuž je tato standardní chronologie zakončená až do současnosti. Zároveň se letokruhová řada postupně doplňuje a rozšiřuje z důvodu včlenění stále nových dat z probíhajících chronologií. Vzhledem k tomu, že je standardní chronologie obvykle proložena alespoň 40 individuálními letokruhovými řadami, je pochopitelné, že je požadován obzvláště nejčistší signál každé vstupující chronologie s minimální přítomností šumu (Kyncl, 2017; Rybníček, 2007). Kyncl (2017) označuje standardní chronologii jako výsledek sumarizace velkého množství letokruhových řad, které se vztahují ke konkrétní dřevině, k určitému území a také k určitému časovému rozsahu.

Na schématu tvorby standardní chronologie (obrázek 10) lze pozorovat, že chronologie začíná se živými stromy, jejichž letokruhy jsou datovány rokem odběru vzorků. Díky jejich letokruhové řadě dále datujeme trámy z nejmladších objektů, které jsou následně

navázány na chronologii starších předmětů, a celý proces navázání letokruhových řad dále pokračuje. Obecně platí, že čím hlouběji do minulosti se standardní chronologie vytváří, tím je proces náročnější (Kyncl, 2017).



Obrázek 8: Schéma tvorby standardní chronologie (Kyncl, 2017)

3 JALOVEC OBECNÝ

3.1 Popis

Jalovec obecný (*Juniperus communis*) patří do čeledi cyprišovitě (*Cupressaceae*) a jedná se o vždy zelený keř nebo strom (Úředníček a Maděra, 2001; Musil, 2002). Dle Hieke (2008) tvoří jalovec obecný stromy až 15m vysoké, častěji se však vyskytuje jako vícekmenný keř s výškou 3-5m. Dožívá se až několika set let věku, ale jeho netolerance k zástině vyššími dřevinami způsobuje, že uhynie častokrát mnohem dříve. Výškový přírůst je nejvyšší mezi 5. až 20. rokem, pak růst ochabuje. Kořen bývá zprvu kulový, později vytváří těsně pod povrchem uzlovitou, pryskyřicí bohatou ztlustěninu, z které vybíhají daleko sahající povrchové kořeny. Kořenový systém je hluboký, větve lehce zakořeňují, avšak na přesazování je jalovec citlivý (Úředníček a Maděra, 2001; Musil, 2002).

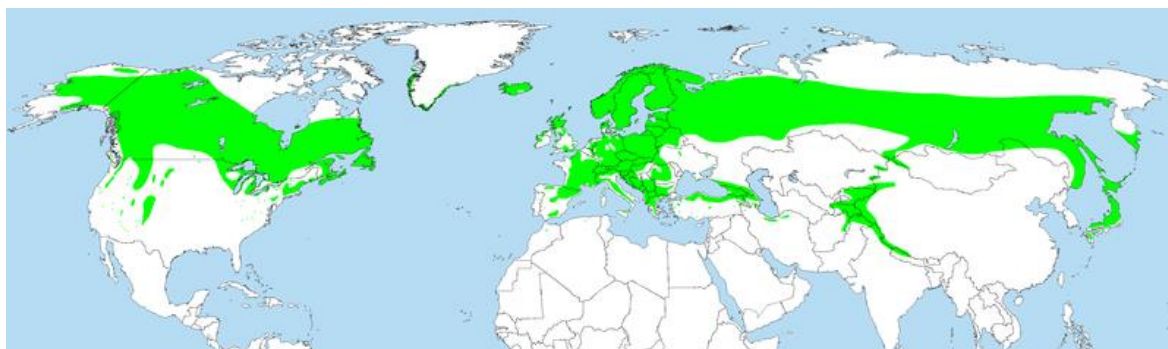
Šedohnědá kůra je zpočátku hladká, později odlupující. Listy jsou výhradně jehlicovité, rovné a po třech v přeslenu uspořádané. Barevně jsou jehlice šedo zelené, na líci mělce rýhované s širokým bílým pruhem, lem jehlic je zelený. Délka jehlic je 15mm a šířka 1-2mm. Květy jalovce jsou zpravidla dvoudomé. Plody jalovce, tzv. „jalovčinky“ jsou dužnaté, dozrávají v 2. nebo v 3. roce a jsou kulaté nebo vejčité. V 1. roce jsou plody zelené, později bělavě modře ojněné, v plné zralosti černé, 6-9mm velké, krátce stopkaté. Velikost šišek se pohybuje od 6 do 10 mm (Heike, 2008; Pejchal, 1983).



Obrázek 9: Jalovec obecný (Wikimedia Commons, 2015)

3.2 Rozšíření

Jalovec je rozšířen skoro v celém mírném a subpolárním pásmu severní polokoule. Přírozená stanoviště jsou jen tam, kde konkurence ostatních dřevin je oslabena. Jedná se o skály, slunné svahy s mělkou půdou, chudé písky a rašeliny, nebo konečné polohy v dosahu hranice lesa. Mnohem nápadnější jsou druhotné lokality na pastvinách, kde došlo k rozšíření jalovce na velkých plochách a druh tak dává ráz celým krajinám. Přírozené rozšíření jalovce obecného je dalekosáhle pozměněno lidskou činností. V lesních oblastech nikdy netvořil porosty a kromě výše uvedených míst se vyskytoval v řídkých březinách a borech (Pejchal, 1983; Úředníček a Maděra, 2001).



Obrázek 10: Mapa rozšíření jalovce obecného (Wikimedia Commons, 2012)

3.3 Ekologie

Jalovec obecný je velmi světlomilný a mrazuvzdorný. Daří se mu na každé sušší i vlhčí půdě. Dále snáší velmi dobře chudé, kyselé až alkalické půdy, avšak je citlivý vůči znečištěnému ovzduší. Po lesnické stránce představují jalovcové porosty první stádium sukcese směřující od pastviny k lesu (Musil, 2002; Heike, 2008). Dle Musila (2002) je přítomnost jalovce v hospodářských lesích důkaz její devastace, např. nevhodnou pastvou dobytka.

3.4 Využití

Dřevo jalovce je vonné, velmi odolné. Dříve se využívalo v řezbářství, k výrobě holí a dýmek. Dnes slouží k nakuřování masa při uzení. Plody jalovce se využívají jako koření v pikantních směsích, zejména upravují chuť masa z divočiny. V různých krajích se používají k výrobě vína, sirupu či octa nebo se také využívají k přípravě likérů (Musil,

2002; Úředníček a Maděra, 2001). Dle Musila (2002) jsou jalovčinky také součástí léčivých čajů.

Sloupovité kultivary se dobře uplatňují v trávnicích pravidelných zahradách, na rohy cest nebo stříhaných živých plotů, jejichž přímočaré a vodorovné uspořádání vhodně doplňují. Dobře se také vyjímá v blízkosti budov či větších skalek. Je nezbytným doplňkem vřesovišť. Poléhavé kultivary tvoří ideální, husté půdní kryty ve skalkách, vřesovištích, na hrobech, svazích apod. Keřovité tvary se hodí pro tvorbu větších skupin a zákoutí. Ve větších krajinářských úpravách se může používat ve všech polohách (Heike, 2008).

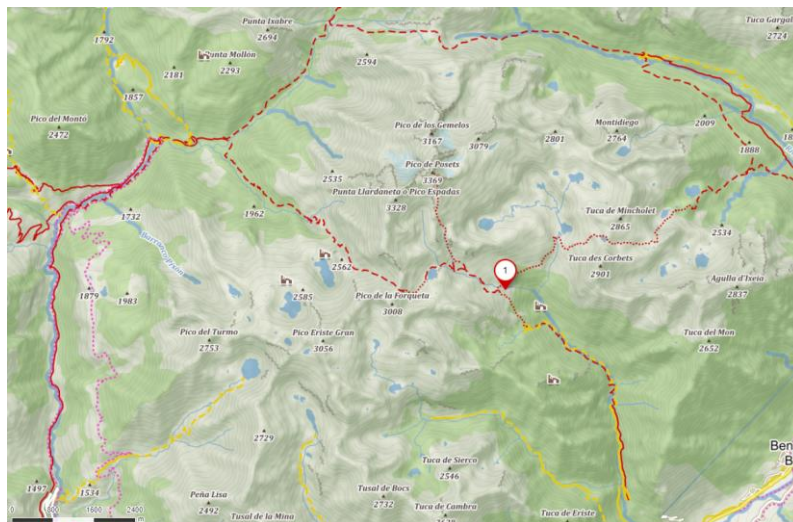
II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je aplikovat vybrané dendrochronologické metody na poskytnutých vzorkách dřevin z Pyrenejí. Zároveň v rámci pozorování buněčných parametrů odhalit jedince, kteří byli během růstu vystaveni disturbanci.

5 MATERIÁLY

K odebrání poskytnutých vzorků jalovce obecného (*juniperus communis*), které byly využity v bakalářské práci, došlo během srpna v roce 2019 na španělské straně Pyrenejí. Místo odběru třinácti vzorků bylo přibližně na souřadnicích 42°38'02,2" s. š., 0°27'10,1" v. d., ve výšce 2300 m n. m., vzdálené necelé 3 km od 2. nejvyššího vrcholu Pyrenejí Pico Posets.



Obrázek 11: Místo odběru, Zdroj: Mapy.cz

5.1 Popis oblasti

Pyreneje je horské pásmo dlouhé 500 km vytvářející přirozenou hranici mezi Španělskem a Francií, a které se táhne od Středozemního moře na východě až po Biskajský záliv v Atlantském oceánu na západě. Ve východní části Pyrenejí se také nachází malý nezávislý stát Andorra (Palmer, 1998; Peč, 2008).

Toto pohoří bylo vytvořeno konvergencí Euroasijské a Iberské desky a v současné době se nachází v jihozápadní části Euroasijské desky. Pohoří dále modelovaly ledovce, z kterých zůstalo pouze 34 km² stálých ledovců a to v nadmořské výšce nad 3000 m n. m. Nejvyšší horou Pyrenejí je Pico de Aneto s výškou 3 404 m n. m. (Amaro-Mellado, 2020; Palmer, 1998).

Pyreneje mají typické vysokohorské klima s nízkou průměrnou roční teplotou 7°C a s průměrnými ročními srážky 1000 mm. Zároveň také dochází k výrazné proměnlivosti těchto klimatických faktorů, což způsobuje disturbance růstu dřevin (De Andrés, 2015; Zákravská, 2011).

5.2 Kategorizace vzorků

Vzorky jalovce byly vybrány na čtyřech různých sub-lokalitách, a proto byly rozděleny do čtyř tříd a každý svah tak představuje jednu skupinu pojmenovaných vzorků. Jedná se o skupinu PS, PM, PV a PB. Třída PS má šest vzorků a je tak nejpočetnější skupinou. Za ní následuje skupina PV, která má tři vzorky a poté třída PM a PB, které mají vzorky dva. Přestože celkový počet vzorků pro jednotlivé sub-lokality je pro robustnější statistické zpracování malý, i tak se snažím zachovat maximum metadat pro případné budoucí zpracování.

Tabulka 1: Ukázka odebraných vzorků, Zdroj: autor

Skupina	Vzorek
PS	PS1
	PS2
	PS3
	PS4
	PS5
	PS6
PM	PM1
	PM2
PV	PV1
	PV2
	PV3
PB	PB1
	PB2

6 POUŽITÉ METODY

Pro získání buněčných parametrů letokruhů bylo zapotřebí použití vícero metod laboratorního zpracování a následné focení v dendrochronologické laboratoři. Dendrochronologická laboratoř, ve které zkoumání probíhalo, se nachází v Dřevařském pavilonu Fakulty lesnické a dřevařské v areálu České zemědělské univerzity v Praze.

6.1 Laboratorní zpracování

Správné dendrochronologické postupy vyžadují značení všech vzorků během laboratorního procesu pro zamezení záměny či ztrátě dat. Aby byly vzorky jalovce obecného (*juniperus communis*) možné laboratorně zpracovat, bylo také potřeba značné množství pomůcek, různých roztoků a laboratorního vybavení.

6.1.1 Příprava na mikrotomování

Jako první bylo nutné vzorky jalovce připravit na mikrotomování. Jedná se o řezání vzorku pomocí ruční pilky, kdy je vhodné dodržet zásadu řezu kolmo na tracheidy, aby se usnadnilo následné zařezávání povrchu do hladka na mikrotomu. Aby nebyly vzorky příliš velké a vešly se do držáku mikrotomu, byla zvolena velikost odřezku pohybující se kolem 1 cm.



Obrázek 12: Ukázka odřezku, Foto: autor

Po vytvoření odřezků následuje tvorba výsečí (obrázek 12). Výseče byly provedeny tak, aby v rámci celé délky byl na vzorku přítomný střed jádra a co nejdelší část letokruhové řady. Tyto výseče byly vytvořeny rozseknutím vzorku pomocí nože, který usměrňoval

nárazy kladiva. Bohužel v rámci tohoto postupu došlo několikrát k rozpadnutí výsečí na více dílů a to z důvodu přítomnosti suků ve dřevě či pravděpodobně kvůli příliš velkému tlaku.

V případě, že byly výseky příliš dlouhé a nevešly se na podložní sklíčko, bylo nutné výsek rozdělit na více částí, tak aby byl přechod mezi vzorky šikmý, díky čemuž je snadnější navázání letokruhů mezi dvěma vzorky. Jakmile byly vytvořeny výseky, vzorky se umístily do kádinky s vodou, aby přes noc co nejvíce změkly pro následné mikrotomování.



Obrázek 13: Ukázka výseče, Foto: autor

6.1.2 Mikrotomování

Pro práci s mikrotomem GLS1 (obrázek 13) bylo zapotřebí nejprve řádné zaškolení práce z důvodu bezpečnosti a správné manipulace s mikrotomem. V první řadě bylo extrémně důležité při jakékoliv manipulaci s vyměnitelnými žiletkami dodržet zvýšené opatrnosti. Převážně při výměně těchto žiletek, bylo zapotřebí uchytit a nasazovat žiletky tak, aby nedošlo k poranění. Dále při řezání opět postupovat dle bezpečnostních pravidel a po každém dořezání vzorku, žiletky opět zajistit bezpečnostním krytem, aby nedošlo k poranění z důvodu pohybu kolem odkrytých žiletek. Zároveň bylo nezbytné dodržovat zásady správné manipulace převážně v oblasti nastavitelného kolečka, které slouží pro určování šířky řezu. Toto kolečko bylo velmi citlivé a při nesprávném zacházení, například při příliš vyvinuté síle během dotahování, mohlo dojít k jeho zadrhnutí. Po dodržení veškerých zásad bylo možné bezpečně pracovat s mikrotomem.



Obrázek 14: Mikrotom GLS1 (Gärtner a Schweingruber, 2013)

Pokud byly vzorky jalovce dostatečně měkké, následovalo jejich upevnění do mikrotomu. Zde bylo důležité, aby byl vzorek umístěn tak, aby řez byl kolmo na buňky a také, aby byl dostatečně stabilní a mohlo dojít k čistému řezu. V případě, že vzorek stabilní nebyl (např. kvůli přítomnosti soku, který způsobil rozpadnutí výseče při sekání a jeho mírné zaoblení), musel být vzorek v přidržovací části podložen. Ovšem bylo také nezbytné vyvarovat se příliš silnému tlaku při upevnění, protože by mohlo dojít k rozpadnutí výseče.

Jakmile byl vzorek správně upevněný a stabilní, bylo nutné provést postupné seřezání plochy vzorku, tak aby byl povrch vzorku dokonale hladký a řez byl orientovaný kolmo na buňky neboli tracheidy. Poté byl na povrch vzorku nanesený roztok kukuřičného škrobu a vody pro zamezení roztržení buněk během řezu. Roztok kukuřičného škrobu a vody se nechal krátce působit a následně byl z povrchu vzorku odstraněný mikrotomovým řezem.

Když byla plocha dokonale připravena na řez, následovala výměna mikrotomové žiletky z důvodu co nejostřejší čepelky a co nejčistšího řezu. Zde občas docházelo k problému, že po výměně žiletek se jejich poloha mírně posunula a tak bylo zapotřebí, pomocí nastavitelného kolečka pro určení šířky, opět seřadit minimální vzdálenost mezi plochou vzorečku a čepelí žiletky. Jakmile však došlo k vyrovnání vzdálenosti, tak se pomocí téhož kolečka seřídila šířka řezu na 20 mikrometrů.

Pro čistý řez se na celou plochu žiletky a na plochu vzorečku aplikovalo malé množství vody, které způsobilo mnohem hladší skluz řezu. Také bylo zapotřebí si nachystat podložní sklíčko, na které se řez vzorku položil a malý, jemný štětec, pomocí kterého

se mohlo manipulovat s tenkým řezem tak, aby nedošlo k přetržení struktur či celého vzorku během přemísťování na podložní sklíčko.

Jakmile byl řez proveden a umístěn na podložní sklíčko, bylo nutné na něj aplikovat glycerin, který zamezil zvlnění a vysychání preparátu. Dále bylo nezbytné zkontrolovat, jestli při přemísťování tenkého řezu na podložní sklíčko, nedošlo k překrytí letokruhů kůrou či přeložení například okrajové části vzorku. Pokud ano, bylo nezbytné tyto části opatrně vyrovnat, protože by způsobily překrytí buněk a tím i špatné pozorování v následujícím procesu.

Poslední fází byla kontrola vzorku pod mikroskopem. Tato fáze byla nesmírně důležitá převážně pro nováčka v provádění mikrořezů. Díky pozorování buněk pod mikroskopem bylo možné sledovat, jestli byl řez správně provedený kolmo na buňky a jestli je šířka preparátu optimální. Pokud ano, buňky byly jasně viditelné a bez přítomnosti stínu v mezibuněčných prostorech. Zároveň bylo důležité sledovat, jestli nedošlo k silnému přetržení buněk během řezání. V případě, že preparát nebyl reprezentativní, bylo nutné provádět řezy na mikrotomu tak dlouho, dokud nebyl řez optimální.



Obrázek 15: Ukázka kontroly preparátů na mikroskopu, Foto: autor

6.1.3 Barvení vzorků

Pro barvení preparátu bylo v první řadě nutné preparát zbavit glycerinu, který měl funkci krátkodobého konzervantu. Dále byla pro barvení v preparátu nežádoucí voda, která by rozředila barvivo a tím snížila jeho účinek. Tento krok dehydratace se prováděl pomocí ethanolu o různé koncentraci a xylenu.

Jako první byl použitý 70 % ethanol, který se aplikoval pomocí pipety na vzorek, čímž docházelo k promývání preparátu. Vzorek byl stále přítomný na podložním sklíčku, které bylo v mírném náklonu a tak zbytková odpadní tekutina po aplikaci ztékala do předem nachystané odpadní nádoby ze skla. Gärtner a Schweingruber (2013) uvádí, že je potřeba, aby nádoba byla skleněná, protože xylen rozpouští některé druhy plastů.

V rámci promývání preparátu bylo vhodné, aby se tekutina dostala i ve spod a nepůsobila jen na horní část vzorku. Proto bylo žádoucí, aby byl vzorek různě podmýván a nazdvihován. Avšak zároveň bylo zapotřebí preparát neustále přidržovat pipetou a tím zabránit sklouznutí vzorku po podložním sklíčku do odpadní nádoby.

Po určité době se postupilo na promývání preparátu ethanolom o vyšší koncentraci. Nejprve byl použit 96 % ethanol a poté 100% ethanol, přičemž postup dehydratace preparátu zůstává stále stejný. Pro kontrolu odvodnění byl na závěr aplikován xylen, který zároveň sloužil jako finální směs pro dehydrataci. Pokud ve vzorku byla zbytková voda, xylen se zbarvil do bíla a bylo nutné vzorek opět proplachovat 100 % ethanolom a následně zase xylenom.

Jakmile byl vzorek dostatečně dehydratovaný, byl položen na rovnoměrnou plochu a byly na něm aplikovány barvy safranin a astra blue v poměru 1:1, po dobu 3 – 5 minut. Dle Gärtnera a Schweingruber (2013), je to nejlepší kombinace barev pro vytváření kontrastu mezi různými typy buněčných stěn. Safranin obarví dřevnaté buněčné struktury červeně a astra blue obarví nedřevnaté části modře. Tento kontrast je velmi dobrý pro analýzu buněčných struktur.



Obrázek 16: Ukázka posloupnosti využití směsí, Foto: autor

Po uplynutí 3 – 5 minut byl preparát již obarven a bylo nutné zbytkovou barvu z preparátu znovu vymýt. K vymývání barvy byla opět použita alkoholová řada a xylen. Důležité bylo vzorek vymývat tak dlouho, dokud nebyla výsledná odpadní směs čirá.



Obrázek 17: Barvení preparátů. Pravý preparát je v procesu barvení, levý preparát je již obarvený, Foto: autor

6.1.4 Tvorba trvalého preparátu

Aby byl preparát trvalý a dobře pozorovatelný pod mikroskopem, byla na něj po obarvení aplikována syntetická pryskyřice zvaná Eukitt. Gorycki (1975) uvádí, že Eukitt má oproti kanadskému balzámu výhodu, že jeho zasychání trvá poměrně krátkou dobu a především jej není potřeba sušit v troubě.

Poté byl preparát uložen na pečící plech vystlaný pečícím papírem, který zde měl funkci jako nespojitelná bariéra v případě vytečení pryskyřice. Dále bylo na vzorek přiloženo krycí sklíčko tak, aby byly Eukitemm vyplněny všechny části vzorku a zároveň se zde nevytvořily vzduchové bubliny.

Z důvodu rozpoznatelnosti preparátů byl na okrajovou část sklíčka nalepen papír, který udával patřičné značení vzorku. Poté následovalo přikrytí vzorku pečícím papírem, na který byly následně položeny magnety. Tyto magnety zde způsobovaly zatížení a tím lepší fixaci a stabilizaci vzorku během sušení.



Obrázek 18: Sušení preparátu, Foto: autor

Sušení se provádělo většinou přes noc a v případě, že byla část syntetické pryskyřice tíhou vytlačena a způsobila zašpinění vnější části sklíčka, následovalo čištění sklíčka. Čištění se provádělo seškrábáním zaschlého Eukittu z povrchu sklíčka žiletkou tak, aby nedošlo

k naprasknutí sklíčka, především toho krycího. V případě, že sklíčko potřebovalo důkladnější očištění, byl Eukitt jednoduše odstraněn pomocí xylenu, který byl nejprve aplikován v malém množství na vatovou tyčinku.

Bohužel se v rámci tohoto kroku občas stalo, že tenčí krycí sklíčko naprasklo a tak muselo dojít k jeho výměně. V tomto případě se preparát vložil do skleněné nádoby s xylenem a byl ponechán v xylenu několik hodin. V zásadě byl tento krok prováděn přes noc při otevřeném okně z důvodu negativních účinků xylenu na zdraví.

Posledním krokem tvorby trvalého preparátu byla kontrola přítomnosti vzduchových bublin, které jsou během pozorování mikroskopem nežádoucí z důvodu špatné viditelnosti buněk. Když byl takový preparát objeven, opět následovalo namočení vzorku přes noc do xylenu a celý proces tvorby trvalého preparátu se opakoval.

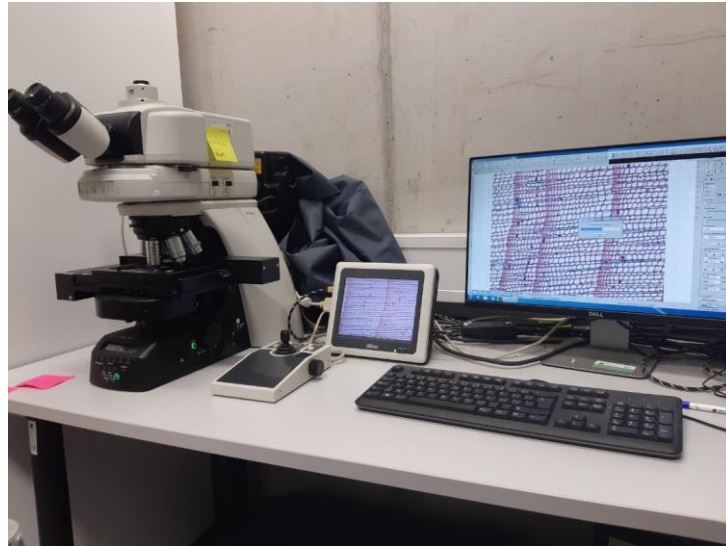


Obrázek 19: Ukázka trvalého preparátů, Foto: autor

6.2 Focení

Jakmile byly vytvořeny trvalé preparáty, následovalo focení vzorků na mikroskopu Nikon eclipse Ni, ve kterém byla zabudovaná kamera Nikon DS – Fi1c, která snímala obraz a přenášela data do kontrolního monitoru kamery Nikon DS-L3. Obraz byl zároveň viditelný na monitoru počítače pomocí softwaru NIS – Elements AR, ve kterém se nastavovaly parametry pro focení snímků. V rámci tohoto softwaru bylo také možné na dálku ovládat

mikroskop. Zároveň zde byl velkou pomůckou Joystick Nikon NI-SJ, který umožňoval snadné posouvání kamery v mikroskopu.



Obrázek 20: Použitá technika během focení, Foto: autor

Pro co nejlepší pozorování buněčných struktur byly pořízeny snímky o stonásobném zvětšení, avšak v důsledku časové náročnosti focení, byl vybrán reprezentativní pás, který se vždy orientoval tak, aby byly letokruhy na snímku viditelné co nejvíce ve svislé poloze.

Během focení bylo důležité každé sklíčko před tvorbou snímku zbavit od různých nečistot, které by mohly způsobit špatnou viditelnost buněčných struktur. Zároveň bylo nezbytné preparát pod mikroskop umístit tak, aby byl preparát dokonale vyvážený a to především z důvodu technologie focení snímků v několika vrstvách, které se pak zprůměrovaly, a výsledkem byl zaostřený obraz. Když nebyl vzorek vodorovný, snímek byl rozmazaný buď na určitých částech, nebo v rámci celé plochy.

V některých případech se však nevodorovnosti preparátu pod mikroskopem nedalo předejít a to především z důvodu otáčení vzorku tak, aby byly letokruhy ve svislé poloze. V tomto případě bylo nutné nastavit parametry v softwaru tak, aby byly snímky pořízené ve více vrstvách, což vyžadovalo výrazně více času na focení.

7 VÝSLEDKY

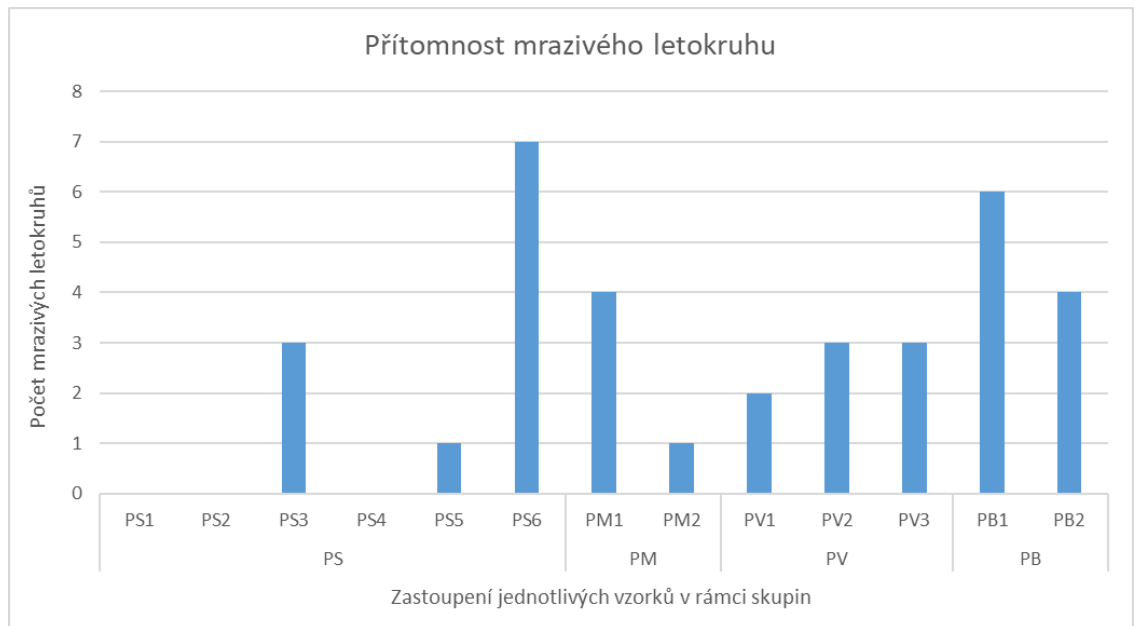
V rámci pozorování buněčných struktur poskytnutých vzorků jalovce obecného z oblasti Pyrenejí, bylo objeveno značné množství anomálií, které vznikly v důsledku disturbancí typických pro vysokohorské prostředí.

Jako první bude uvedena výrazná a snadno rozpoznatelná anomálie mrazivý letokruh (obrázek 21), která se v buněčné struktuře vyznačuje výrazně potrhanými buňkami v oblasti charakteristického přechodu mezi letním a jarním dřevem. Avšak během pozorování byl tento mrazivý letokruh objeven i ve struktuře jarních buněk, tzn. uprostřed letokruhu.



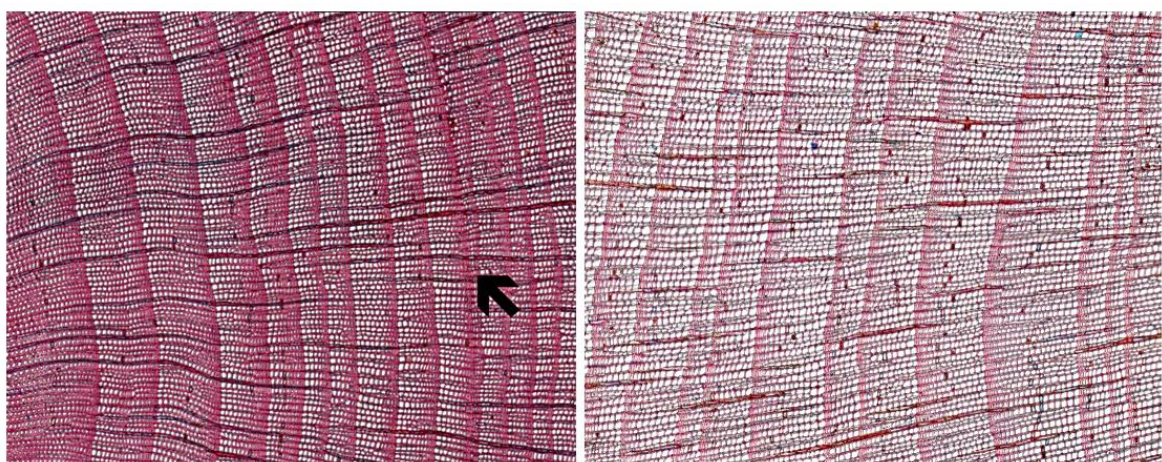
Obrázek 21: Ukázka mrazivého letokruhu. Nalevo vzorek PM1 s charakteristickým umístěním mrazivého letokruhu a napravo výskyt anomálie uprostřed letokruhu ve vzorku PS3, Foto: autor

Po vyhodnocení pozorování bylo zjištěno, že se tato anomálie vyskytla u deseti případů ze třinácti a nejvyšší počet mrazivých letokruhů byl vypořizovaný u vzorku PS6 a PB1. Absence této anomálie byla pouze ve skupině PS a to konkrétně u vzorku PS1, PS2 a PS4. Naopak nejvýraznější průměrné zastoupení měla skupina PB, po ní následovala skupina PV a PM. Série vzorků PS z důvodu úplné absence mrazivých letokruhů v buněčné struktuře některých vzorků tak má průměrně nejmenší výskyt této anomálie.



Obrázek 22: Graf znázorňující výskyt anomálie mrazivého letokruhu, Zdroj: autor

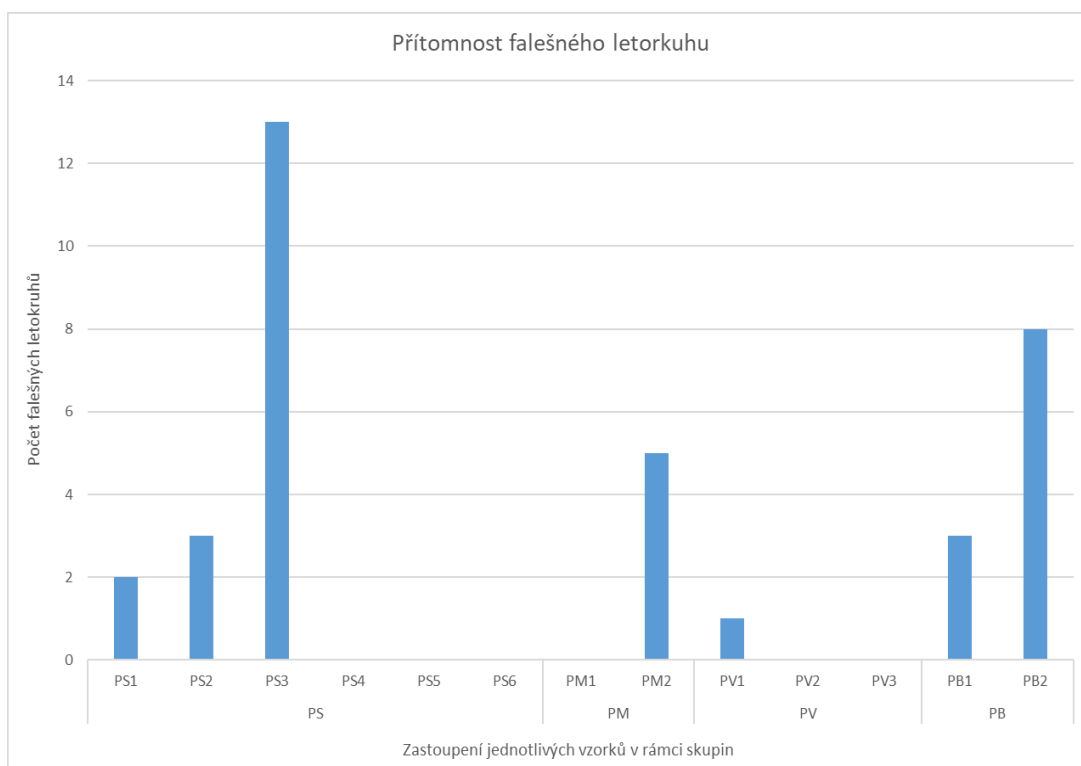
Dále bylo možné pozorovat anomálii falešného letokruhu, kterou však už není tak snadné rozpoznat. Pro maximální objevení této anomálie znázorněné v buněčné struktuře dřeva, by bylo za potřebí využití metody křížového datování, která porovnává letokruhy jednotlivých vzorků mezi sebou a tím odhalí různé nesrovnalosti. Příkladem špatné rozpoznatelnosti jsou nahuštěné letokruhy (obrázek 23), kde je velice obtížné rozpoznat přítomnost falešného letokruhu. Naopak snadné rozpoznání této anomálie je možné díky objevení tzv. rozdvojení letokruhu v určitém úseku, které je na obrázku znázorněno šipkou.



Obrázek 23: Ukázka nahuštěných letokruhů vzorku PV1 (vlevo) a PS4 (vpravo),
Foto: autor

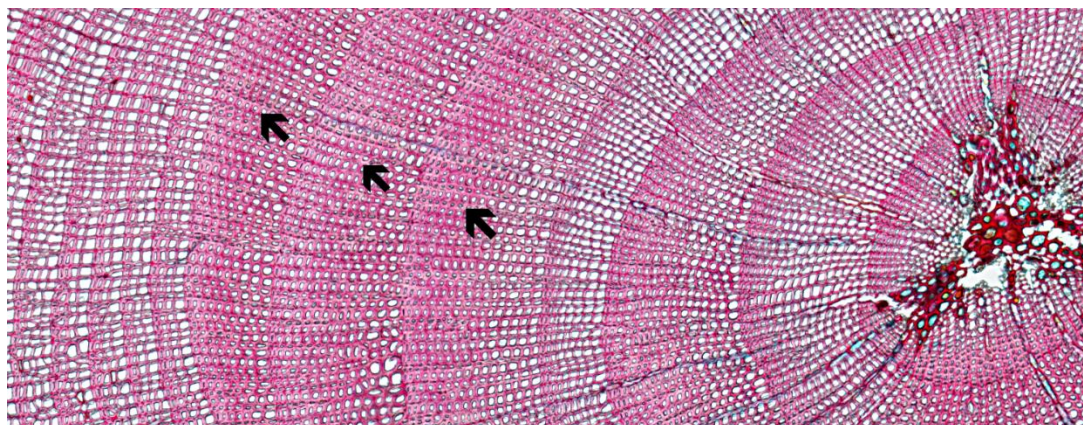
Výsledek pozorování falešných letokruhů v buněčné struktuře vzorků jalovce lze sledovat na grafu znázorňující anomálii falešného letokruhu (obrázek 24). Zde můžeme pozorovat, že k této anomálii došlo v sedmi z třinácti případů. Nejvyšší počet falešných letokruhů bylo vypořazováno ve vzorku PS3, poté ve vzorku PB2 a PM2. U vzorků PS4, PS5, PS6, PM1, PV2 a PV3 se nedala jednoznačně prokázat přítomnost této anomálie a to například právě z důvodu výše zmíněných nahuštěných letokruhů.

Průměrně se falešný letokruh nejvíce objevoval ve skupině PB, poté ve skupině PS, PM a nejméně byl falešný letokruh vypořazovaný ve skupině PV.



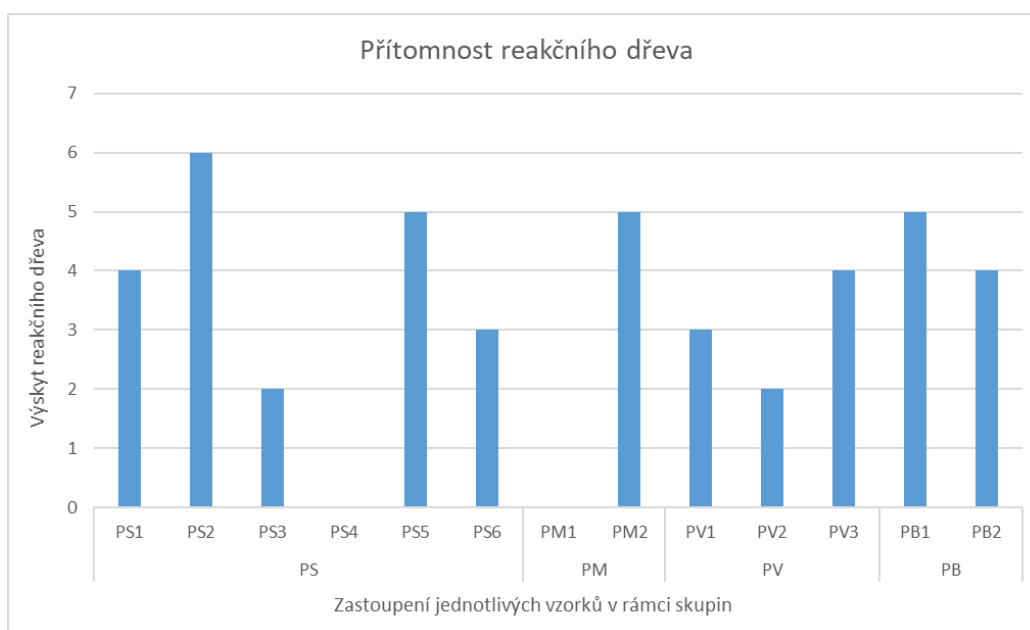
Obrázek 24: Graf znázorňující anomálii falešného letokruhu,
Zdroj: autor

Poslední vyzorovanou anomálií vzorků jalovce obecného, která se hojně vyskytovala především v blízkosti středu jádra, bylo reakční dřevo (obrázek 25). Reakční dřevo je v buněčné struktuře typické kulatým tvarem tracheid a silnou buněčnou stěnou (Du a Yamamoto, 2007).



Obrázek 25: Ukázka reakčního dřeva v buněčné struktuře vzorku PM2, Foto: autor

Výsledkem pozorování této anomálie je přítomnost reakčního dřeva téměř ve všech zkoumaných vzorcích s výjimkou vzorku PS4 a PM1. Nejvyšší průměrný počet v rámci skupin se vyskytoval u skupiny PB, následně PS, PV a nejmenší průměrný počet reakčního dřeva bylo vyzorováno u skupiny PM.

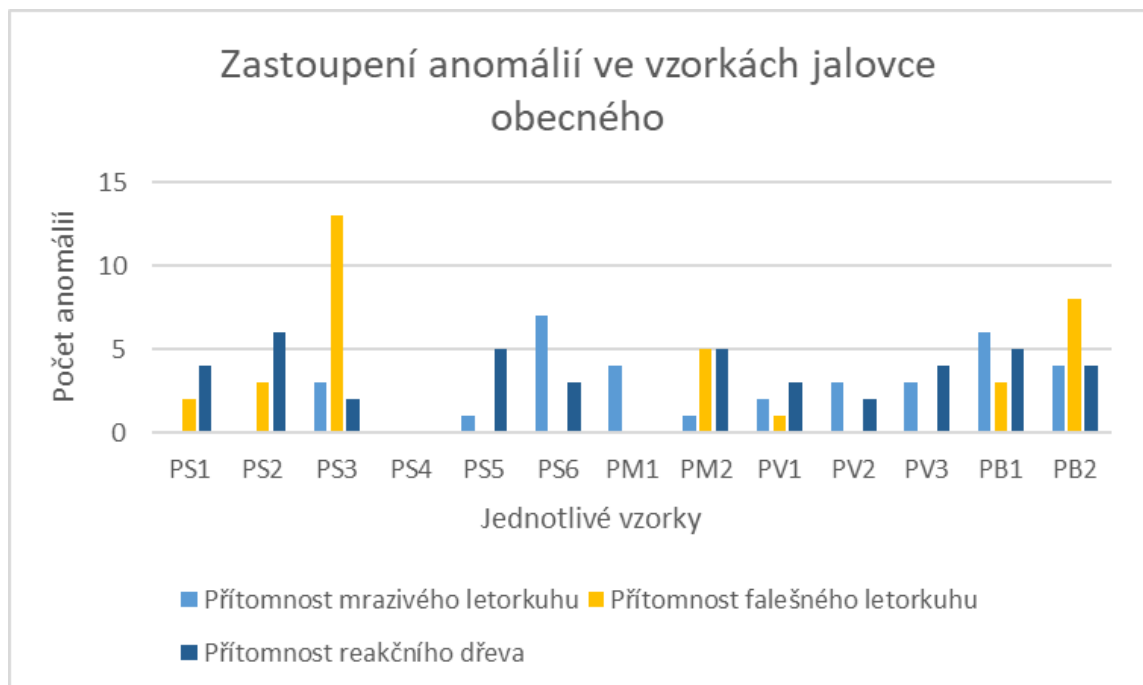


Obrázek 26: Graf znázorňující anomálii reakčního dřeva, Zdroj: autor

Z celého pozorování tedy vyplývá, že dvanáct jednotlivců jalovce obecného ze třinácti bylo během růstu vystaveno disturbanci, která zapříčinila změny v buněčné struktuře a tvorbu anomálií jako je mrazivý letokruh, falešný letokruh a výskyt reakčního dřeva. Výskyt všech třech anomálií byl přítomen u pěti vzorků, z čehož skupina PB má průměrně nejvyšší výskyt všech vypořizovaných anomálií.

Přítomnost dvou anomálií byla zjištěna u šesti vzorků, z čehož u čtyř jedinců byla objevena kombinace mrazivého letokruhu a reakčního dřeva a u dvou jedinců byla rozpoznána kombinace reakčního dřeva a falešného letokruhu. Kombinace dvou anomálií mrazivého a falešného letokruhu nebyla zjištěna ani u jednoho pozorovaného vzorku.

Pouze u jednoho jedince byla vypořizována jenom jedna anomálie a to konkrétně u vzorku PM1, kde byl zjištěný výskyt mrazivého letokruhu. A jako jediný vzorek s absencí anomálií, je vzorek PS4, který se ovšem, jak bylo výše zmíněno, vyznačuje úseky s velice hustými letokruhy, kde není bez metody křížového datování možné objevit falešné letokruhy a proto je velkým předpokladem, že i v této buněčné struktuře by po křížovém datování byly tyto falešné letokruhy objeveny.



Obrázek 27: Graf znázorňující výskyt všech anomálií v poskytnutých vzorcích jalovce obecného, Zdroj: autor

8 DISKUZE

Vzhledem ke klimatu vysokohorského prostředí Pyrenejí, kde zároveň dochází k výkyvům klimatických faktorů jako je teplota a množství srážek (De Andrés, 2015), se dá předpokládat, že během růstu dřevin dojde k disturbanci a vzniku anomálií v buněčné struktuře.

Výskyt anomálie mrazivého letokruhu se připisuje snížení teplot na začátku vegetačního období na takovou úroveň, kdy buňky ve struktuře letokruhů zamrzají, a dojde k poškození buněčných stěn (Kyncl, 2017). Když bude tato skutečnost zohledněna v kontextu klimatických podmínek vysokohorského prostředí Pyrenejí, stává se tímto výskyt mrazivého letokruhu ve struktuře vzorků odebrané z této oblasti poměrně běžnou záležitostí. Tuto skutečnost také potvrzují výsledky pozorování, kdy byla zjištěna přítomnost mrazivého letokruhu u deseti jedinců z třinácti. Zároveň také více než 70 % těchto vzorků mělo ve své buněčné struktuře minimálně tři tyto anomálie.

Jak bylo již zmíněno, tak pozorování falešných letokruhů není záležitost, která se pro kvalitní rekonstrukci obejde bez metody křížového datování. Falešné letokruhy se totiž vytváří např. v důsledku dlouhodobého sucha, kdy se mění struktura letokruhu z jarního dřeva na dřevo letní. Avšak jakmile disturbance odezní, dochází opět ke tvorbě jarního dřeva, což vytváří místo jednoho úseku tlustostěnných buněk, úseky dva (Amoroso, 2017). Ve spoustě případů je tedy náročné, obzvláště pro nezkušeného výzkumníka, tyto falešné letokruhy vůbec rozpoznat. V rámci pozorování byla objevena přítomnost této anomálie u sedmi vzorků z třinácti. Z důvodu velkého množství výkyvu srážek v Pyrenejích, je však pravděpodobnější, že reálný výskyt falešných letokruhů bude výrazně vyšší.

Poslední anomálií, která byla vyzorována u vzorků jalovce obecného, bylo reakční dřevo. Toto dřevo se vytváří v důsledcích disturbancí, které nějakým způsobem ohýbají dřevinu, která se této disturbanci musí přizpůsobit (Gryc, 2004). Vzhledem k tomu, že vzorky byly odebrány na svahovém terénu, je výskyt této anomálie více než pravděpodobný. Zároveň ve vysokohorském prostředí často dochází k silným větrům, které mohou dřeviny ohýbat natolik, aby se reakční dřevo vytvořilo. Není tedy pochyb, že se tato anomálie vyskytuje u jedenácti vzorků ze třinácti a to především v počátečních letech, kdy dřevina pravděpodobně nebyla příliš silná a musela vyrovnat svůj přirozený postoj.

ZÁVĚR

Bakalářská práce *Disturbance a změna klimatu vepsaná do letokruhů - kvantitativní analýza buněčných parametrů dřevin se zabývá dendrochronologií a přínosem, který přináší do studia životního prostředí. Díky stejnému vzorci růstu dřeva a zároveň díky standardní reakci na různé změny prostředí, ať už z důvodu biotických či abiotických faktorů, je možné po zpětném pozorování buněčné struktury objasnit mnohé události a změny prostředí. Tato skutečnost dala studiu letokruhu možnost vzniku mnoha nových oborů, které se zabývají klimatickými změnami, historií dřevěných předmětů, ekologií lesa, geomorfologickými procesy a chemickými rozbory životního prostředí minulosti.*

Ke studiu letokruhů se využívají různé dendrochronologické metody, které jsou aplikovány jak při odběru vzorků, tak při laboratorním zpracování, focení a následně při práci s různými dendrochronologickými softwary. Výsledkem této metodiky může být velké množství rozdílných dat, která se zpracovávají a vytváří tak zcela nový pohled na různé události a také zcela nové zdroje informací.

Pro aplikaci vybraných dendrochronologických metod, byly použity vzorky jalovce obecného z vysokohorského prostředí Pyrenejí. Na těchto vzorcích byla provedena metoda laboratorního zpracování, což je komplexní metodika postupů, jejímž výsledkem je zachovaný nebo také trvalý preparát vhodný pro následné focení. Prvním krokem tohoto laboratorního zpracování byla příprava vzorku na vytvoření velice tenkých řezů, které se následně barvily pro lepší pozorování buněčných struktur. Posledním krokem laboratorního zpracování byla tvorba již zmíněného trvalého preparátu. Další metodou bylo focení, které vyžadovalo především co nejlépe vytvořené preparáty a také správně nastavené parametry, které velice ovlivňovaly výsledné snímky.

Struktury, které tyto vzorky znázorňovaly v letokruhových řadách, bylo díky znalosti různých anomálií možné identifikovat jako mrazivý letokruh, falešný letokruh a reakční dřevo. Důvodem výskytu těchto anomálií byla disturbance jedinců jalovce obecného v podobě měnících se teplot a množství srážek. Dalším důvodem byl také svahový terén. Všechny tyto získané data tak pomáhají pochopit podmínky měnícího se klimatu ve vysokohorském prostředí a lépe porozumět růstu pyrenejských dřevin.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ALEN, Durward L., SCHEFFEL, Richard L., ed., 1996. ABC přírody: svět v otázkách a odpovědích. Praha: Reader's Digest Výběr. ISBN 8090206905.

AMARO-MELLADO, José Lázaro a Dieu TIEN BUI, 2020. GIS-Based Mapping of Seismic Parameters for the Pyrenees. ISPRS International Journal of Geo-Information [online]. 9(7) [cit. 2020-08-02]. DOI: 10.3390/ijgi9070452. ISSN 2220-9964. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2220-9964/9/7/452>

AMOROSO, Mariano M., Lori D. DANIELS, Patrick J. BAKER a J. Julio CAMARERO, ed., 2017. Dendroecology [online]. Cham: Springer International Publishing. Ecological Studies. DOI: 10.1007/978-3-319-61669-8. ISBN 978-3-319-61668-1.

BALOUET, Jean Christophe, Kevin T. SMITH, Don VROBLESKY a Gil OUDIJK, 2009. Use of Dendrochronology and Dendrochemistry in Environmental Forensics: Does It Meet the Daubert Criteria? Environmental Forensics [online]. 10(4), 268-276 [cit. 2020-07-02]. DOI: 10.080/15275920903347545. ISSN 1527-5922.

BIONDI, Franco, 2020. From Dendrochronology to Allometry. Forests [online]. 11(2) [cit. 2020-07-14]. DOI: 10.3390/f11020146. ISSN 1999-4907. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/2/146>

BÖHM, Martin, ZEIDLER, Aleš, (2018). Zajímavosti ze stavby dřeva – jak stavba dřeva ovlivňuje jeho vlastnosti. [online]. Kostelec nad Černými lesy. Lesnická práce, 2017, 96 (2–11). Dostupné na http://silvarium.cz/sklad/Zajimavosti_stavby_dreva_2018.pdf

BRADLEY, Raymond S., 1999. PALEOCLIMATOLOGY: Reconstructing Climates of the Quaternary. 2nd Edition. ISBN 9780121240103.

COOK, E. R. a L. A. KAIRIUKSTIS, ed., 1989. Methods of Dendrochronology: applications in the Environmental Sciences. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. ISBN 0-7923-0586-8.

DE ANDRÉS, Ester González, J. Julio CAMARERO a Ulf BÜNTGEN, 2015. Complex climate constraints of upper treeline formation in the Pyrenees. Trees [online]. 29(3), 941-952 [cit. 2020-08-02]. DOI: 10.1007/s00468-015-1176-5. ISSN 0931-1890. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00468-015-1176-5>

DU, Sheng; YAMAMOTO, Fukuju, 2007. An overview of the biology of reaction wood formation. Journal of Integrative Plant Biology, 49.2: 131-143.

FAJSTAVR, Marek, 2013. Analýza tvorby dřeva buku lesního (*fagus sylvatica* l.) na buněčné úrovni ve vztahu k fenologickým pozorováním [online]. Brno [cit. 2020-07-24].

Dostupné

z:

https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZbNq44Yo01gJ:https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl%3Fprehled%3Dvyhledavani%3Bpodrobnosti%3D56188%3Bzp%3D35976%3Bdownload_prace%3D1%3Blang%3Den+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz.

Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.

FRITTS, Harold C., 1976. *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press. ISBN 0-12-268450-8.

GÄRTNER, H., and SCHWEINGRUBER, F. H., 2013. *Microscopic Preparation Techniques for Plant Stem Analysis*. Birmensdorf: Verlag-WSL.

GÄRTNER, H. a I. HEINRICH, 2013. GLACIAL LANDFORMS, TREE RINGS | Dendrogeomorphology. *Encyclopedia of Quaternary Science* [online]. Elsevier, 2013, s. 91-103 [cit. 2020-07-02]. DOI: 10.1016/B978-0-444-53643-3.00356-3. ISBN 9780444536426.

Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444536433003563>

GORYCKI, Michael A., 1975. Improved adhesions for petrographic thin sections. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 60.7-8: 719-721.

GRISSINO-MAYER, Henri D., Paul R. SHEPPARD a Malcolm K. CLEAVELAND, 2004. A dendroarchaeological re-examination of the "Messiah" violin and other instruments attributed to Antonio Stradivari. *Journal of Archaeological Science* [online]. 31(2), 167-174 [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.1016/j.jas.2003.07.001. ISSN 03054403. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305440303001079>

GRYC, Vladimír a Jiří HOLAN, 2004. Influence of position within the tree stem according to growth-ring width of spruce (*Picea abies* /L./ KARST.) with compression wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* [online]. 52(4), 59-72 [cit. 2020-07-11]. DOI: 10.11118/actaun200452040059. ISSN 1211-8516. Dostupné z: <https://acta.mendelu.cz/52/4/0059/>

HELAMA, S., M. LINDHOLM, M. TIMONEN a M. ERONEN, 2004. Detection of climate signal in dendrochronological data analysis: a comparison of tree-ring standardization methods. *Theoretical and Applied Climatology* [online]. 79(3-4), 239-254 [cit. 2020-07-23]. DOI: 10.1007/s00704-004-0077-0. ISSN 0177-798X. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-004-0077-0>

HIEKE, Karel, 2008. Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-1901-3.

HUMLOVÁ, Barbora, 2006. Archeologický výzkum raně středověkých studní – metody, analýzy a výstupy [online]. Brno [cit. 2020-07-24]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/109666/ff_b/TEXT.pdf. Bakalářská diplomová práce. MASARYKOVA UNIVERZITA FILOZOFICKÁ FAKULTA - Ústav archeologie a muzeologie.

KRAUS, Jane Elizabeth, Hildeberto C. DE SOUSA, Maria Helena REZENDE, Neuza Maria CASTRO, Claudia VECCHI a Rebecca LUQUE, 2009. Astra Blue and Basic Fuchsin Double Staining of Plant Materials. *Biotechnic & Histochemistry* [online]. 73(5), 235-243 [cit. 2020-07-20]. DOI: 10.3109/10520299809141117. ISSN 1052-0295. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/10520299809141117>

KROKENE, Paal, Nina Elisabeth NAGY a Trygve KREKLING, 2008. Traumatic Resin Ducts and Polyphenolic Parenchyma Cells in Conifers. SCHALLER, Andreas, ed. *Induced Plant Resistance to Herbivory* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, s. 147-169 [cit. 2020-07-15]. DOI: 10.1007/978-1-4020-8182-8_7. ISBN 978-1-4020-8181-1. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4020-8182-8_7

KYNCL, Josef, 2017. Letokruhy jako kalendář i záznamník: zajímavosti z dendrochronologie. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0198-6.

MADĚRA, Petr a Luboš ÚRADNÍČEK, 2001. Dřeviny České republiky. Písek: Matice lesnická. ISBN 80-86271-09-9.

Mapy.cz [online]. 2020 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/turisticka?vlastnibody&x=0.4409565&y=42.6415240&z=13&ut=Jalovce&uc=9AOWawobbz&ud=42%C2%B038%272.210%22N%2C%200%C2%B027%2710.084%22E>

MONTWÉ, David, Miriam ISAAC-RENTON, Andreas HAMANN a Heinrich SPIECKER, 2018. Cold adaptation recorded in tree rings highlights risks associated with climate change and assisted migration. *Nature Communications* [online]. 9(1) [cit. 2020-07-23]. DOI: 10.1038/s41467-018-04039-5. ISSN 2041-1723. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/s41467-018-04039-5>

MUSIL, Ivan, Jan HAMERNÍK a Gabriela LEUGNEROVÁ, 2002. Lesnická dendrologie 1: jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných (i výtrusných) dřevin. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-0992-x.

NASH, Stephen E., 2002. Archaeological Tree-Ring Dating at the Millennium. *Journal of Archaeological Research* [online]. 10(3), 243-275 [cit. 2020-07-23]. DOI: 10.1023/A:1016024027669. ISSN 10590161. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1023/A:1016024027669>

OWCZAREK, P. Dendrochronological dating of geomorphic processes in the High Arctic [online]. In: . [cit. 2020-07-02].

PALAKIT K., SIRIPATTANADILOK S., DUANGSATHAPORN K., 2012. False ring occurrences and their identification in teak (*Tectona grandis*) in north-eastern Thailand. *Journal of Tropical Forest Science* 24(3): 87–398

PALMER, John, ed., 1998. Všechno o Zemi: místopisný průvodce světem. Praha: Reader's Digest Výběr. ISBN 80-86196-01-1.

PECINA, Pavel a Josef PECINA, 2006. Materiály a technologie - dřevo. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 80-210-4013-0.

PEČ, Matěj, 2008. Tektono-metamorfní vývoj metasedimentů pánve Aulus v okolí Col d'Agnes, Severní pyrenejská zóna [online]. Praha [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/5446>. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta.

PEJCHAL, Miloš, 1983. Sadovnická dendrologie: návody do cvičení - jehličnany. Ilustroval Miroslav PINC. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.

RUBINO, D. L., 2014. Tree-ring analysis in Indiana with special attention to dendroarchaeology. *Proceedings of the Indiana Academy of Science* 123(1):7–13

RYBNÍČEK, Michal, 2007. Dendrochronologické datování drevených částí historických staveb, archeologických vzorku a výrobku ze dřeva – sestavení národní dubové standardní chronologie [online]. Brno [cit. 2020-07-20]. Dostupné z: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aOuJobIMnXwJ:https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl%3Fzalozka%3D7%3Bid%3D9345%3Bstudium%3D16649%3Bzp%3D17232%3Bdownload_prace%3D1+%&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz. Disertační práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

RYKIEL, EDWARD J., 1985. Towards a definition of ecological disturbance. *Austral Ecology* [online]. 10(3), 361-365 [cit. 2020-07-12]. DOI: 10.1111/j.1442-9993.1985.tb00897.x. ISSN 1442-9985. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1442-9993.1985.tb00897.x>

SHEPPARD, Paul R. *Dendroclimatology: extracting climate from trees*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change [online]. 2010, 1(3), 343-352 [cit. 2020-06-06]. DOI: 10.1002/wcc.42. ISSN 17577780. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/wcc.42>

SHRODER, John F., 2016. *Dendrogeomorphology*. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* [online]. 4(2), 161-188 [cit. 2020-07-01]. DOI: 10.1177/030913338000400202. ISSN 0309-1333. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/030913338000400202>

SCHWEINGRUBER, Fritz Hans, 1988. *Tree Rings* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands. DOI: 10.1007/978-94-009-1273-1. ISBN 978-0-7923-0559-0.

SCHWEINGRUBER, Fritz Hans, 1993. *Trees and wood in dendrochronology: morphological, anatomical, and tree-ring analytical characteristics of trees frequently used in dendrochronology*. Berlin: Springer-Verlag. Springer series in wood science. ISBN 978-3-642-77159-0.

SCHWEINGRUBER, Fritz Hans, 2007. *Wood Structure and Environment*. Berlin: Springer - Verlag. Springer series in wood science. ISBN 978-3-642-08009-8.

SMITH K. T. a Shortle W. C., 1996. *Tree biology and dendrochemistry*. In: *Tree rings, Environment and Humanity; Proceedings of an International Conference, Tucson (Arizona)*, str. 629–635.

SPEER, James H. *Fundamentals of Tree-Ring Research*. 2009. Tucson: University of Arizona, 2010. ISBN 978-0-8165-2684-0.

STOFFEL, Markus, Michelle BOLLSCHWEILER, David R. BUTLER a Brian H. LUCKMAN, ed., 2010. *Tree Rings and Natural Hazards* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands. *Advances in Global Change Research*. DOI: 10.1007/978-90-481-8736-2. ISBN 978-90-481-8735-5.

TENZIN, Karma, 2017. *Dendrochronological Manual* [online]. Bhútán: UWICER [cit. 2020-07-19]. ISBN 978-99936-743-0-6. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325114690_Dendrochronological_Manual

Wikimedia Commons: Juniperus communis range map [online], 2012. San Francisco: MPF [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Juniperus_communis_range_map.png

Wikimedia Commons: Juniperus communis [online], 2015. San Francisco: Stefan Lefnaer [cit. 2020-07-11]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Juniperus_communis_sl1.jpg

Wikimedia Commons: Resin Canals [online], 2017. San Francisco: Bweil2 [cit. 2020-07-16]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Resin_Canals.png

WILMKING, Martin, Marieke MAATEN-THEUNISSEN, Ernst MAATEN, et al., 2020. Global assessment of relationships between climate and tree growth. *Global Change Biology* [online]. 26(6), 3212-3220 [cit. 2020-08-06]. DOI: 10.1111/gcb.15057. ISSN 1354-1013. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.15057>

ZÁKRAVSKÁ, Šárka, 2011. Prostorový pattern stromů v ekotonu horní hranice lesa [online]. Praha [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/38057/130032347.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Prvky kmene na příčném řezu.....	13
Obrázek 2: Ukázka falešného letokruhu.....	15
Obrázek 3: Ukázka mrazivého letokruhu	15
Obrázek 4: Ukázka jizvy po požáru	16
Obrázek 5: Ukázka reakčního dřeva	17
Obrázek 6: Ukázka traumatických kanálků.....	18
Obrázek 7: Ukázka křížového datování	26
Obrázek 8: Schéma tvorby standardní chronologie	28
Obrázek 9: Jalovec obecný	29
Obrázek 10: Mapa rozšíření jalovce obecného	30
Obrázek 11: Místo odběru	34
Obrázek 12: Ukázka odřezku.....	36
Obrázek 13: Ukázka výseče.....	37
Obrázek 14: Mikrotom GLS1	38
Obrázek 15: Ukázka kontroly preparátů na mikroskopu.....	39
Obrázek 16: Ukázka posloupnosti využití směsí	41
Obrázek 17: Barvení preparátů	41
Obrázek 18: Sušení preparátu	42
Obrázek 19: Ukázka trvalého preparátů	43
Obrázek 20: Použitá technika během focení.....	44
Obrázek 21: Ukázka mrazivého letokruhu	45
Obrázek 22: Graf znázorňující výskyt anomálie mrazivého letokruhu.....	46
Obrázek 23: Ukázka nahuštěných letokruhů	46
Obrázek 24: Graf znázorňující anomálii falešného letokruhu	47
Obrázek 25: Ukázka reakčního dřeva	48
Obrázek 26: Graf znázorňující anomálii reakčního dřeva.....	48
Obrázek 27: Graf znázorňující výskyt všech anomálií	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Ukázka odebraných vzorků.....	35
--	----

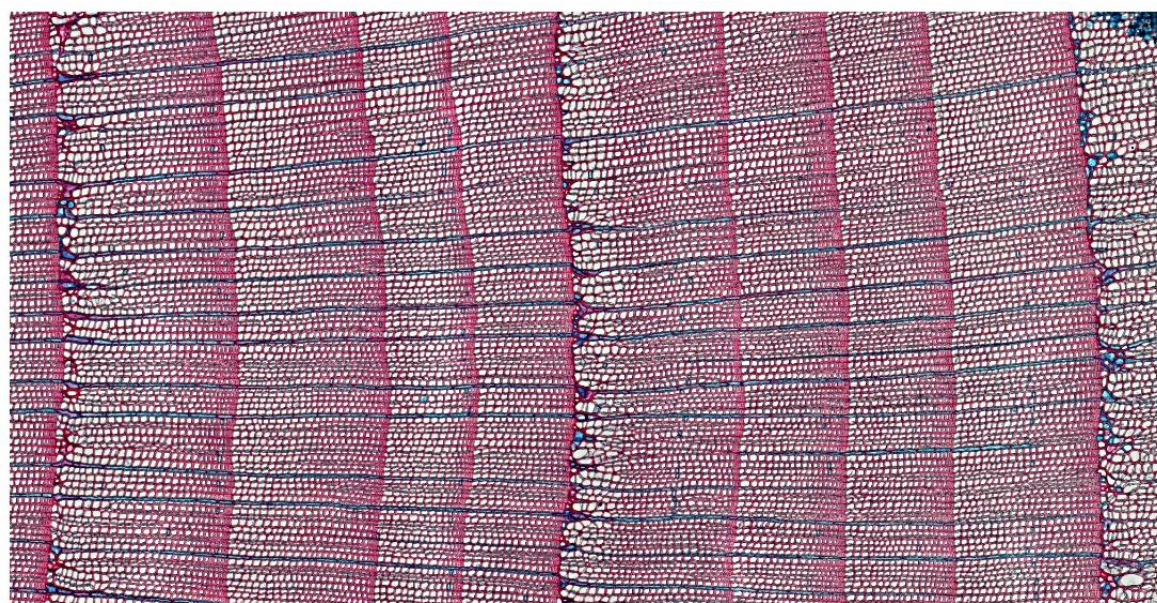
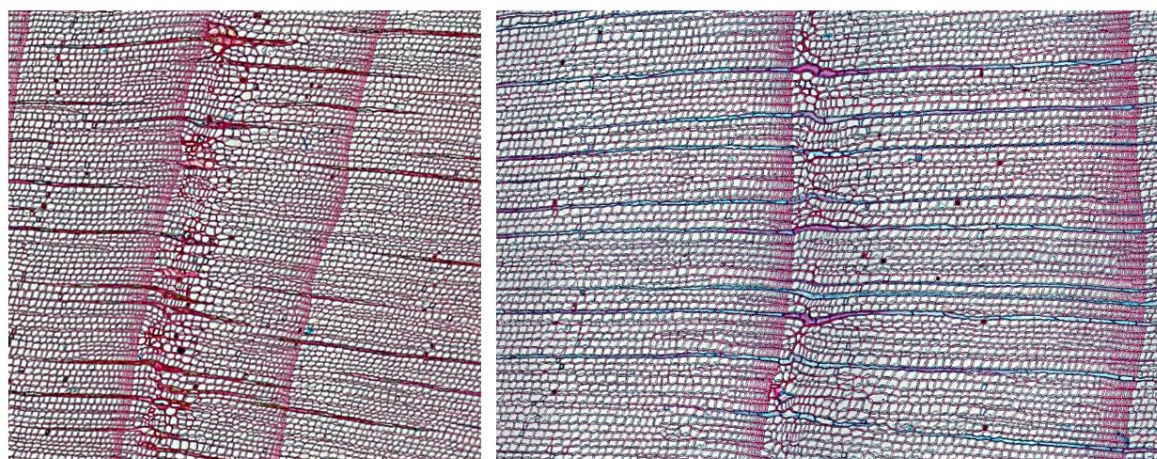
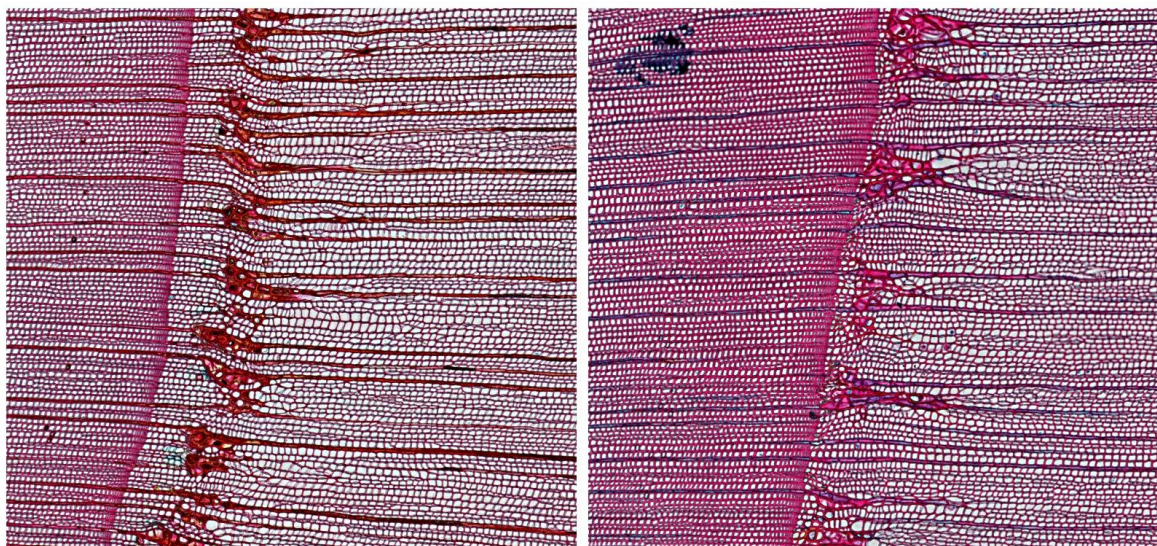
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Ukázka mrazivých letokruhů v buněčné struktuře vzorků

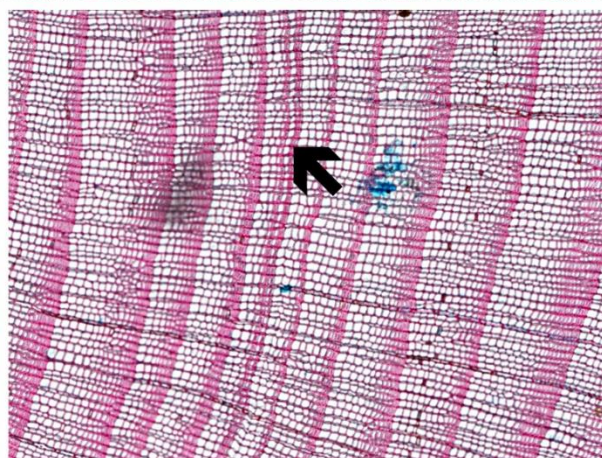
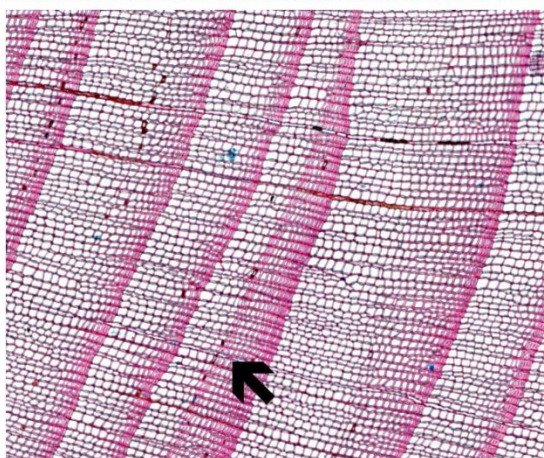
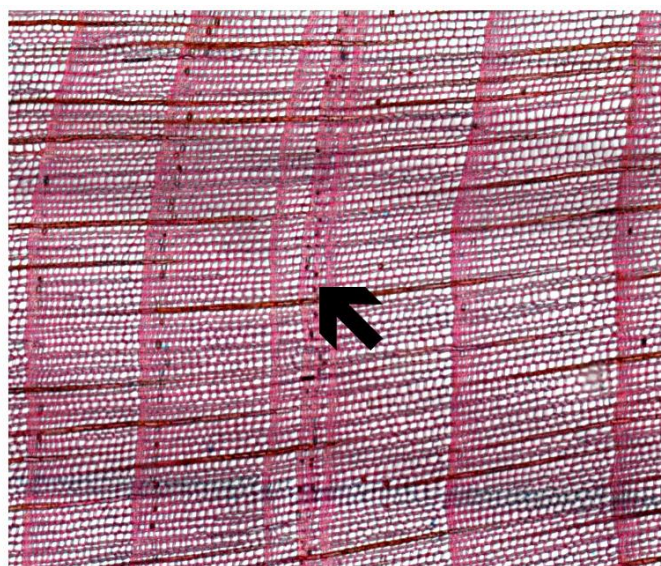
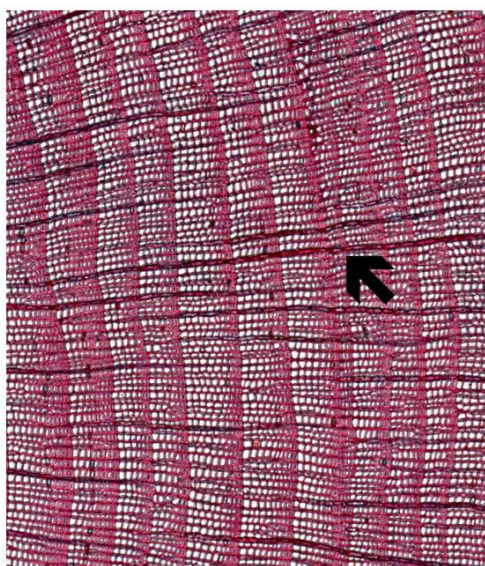
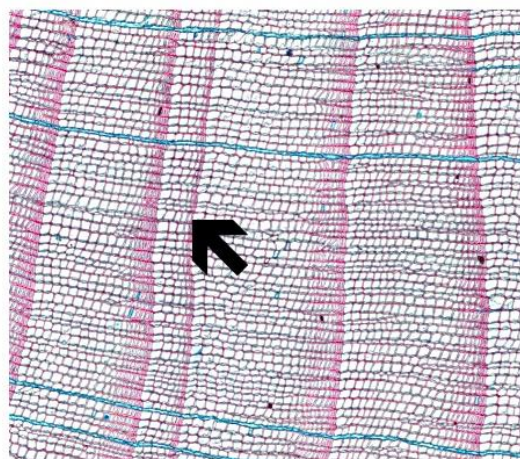
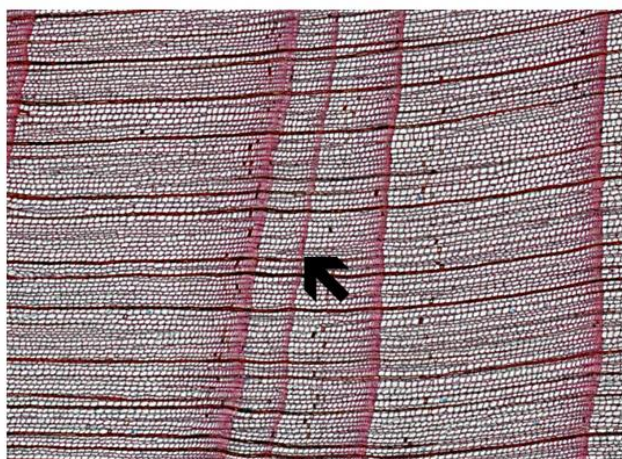
Příloha P II: Ukázka falešných letokruhů v buněčné struktuře vzorků

Příloha P III: Ukázka reakčního dřeva v buněčné struktuře vzorků

PŘÍLOHA P I: UKÁZKA MRAZIVÝCH LETOKRUHŮ V BUNĚČNÉ STRUKTUŘE VZORKŮ



PŘÍLOHA P II: UKÁZKA FALEŠNÝCH LETOKRUHŮ V BUNĚČNÉ STRUKTUŘE VZORKŮ



PŘÍLOHA P III: UKÁZKA REAKČNÍHO DŘEVA V BUNĚČNÉ STRUKTUŘE VZORKŮ

