

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Česká
zemědělská
univerzita
v Praze**

Letokruhová analýza u douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) rostoucí v Arboretu FLD u Kostelce nad Č. l. - možnosti měření letokruhů

Bakalářská práce

Autor: Simona Lerchová

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

Praha 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Simona Lerchová

Lesnictví
Lesnictví

Název práce

Letokruhová analýza u douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) rostoucí v Arboretu FLD u Kostelce nad Č.I. – možnosti měření letokruhů

Název anglicky

Tree ring analysis of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) growing in Arboretum FLD near Kostelec nad Č.I. – possibilities to measure tree rings

Cíle práce

- 1) Popis nejrozšířenějších metod, kterými se provádí letokruhová analýza dřevin
- 2) Odebrat vzorky douglasky tisolisté rostoucí v Arboretu FLD u Kostelce nad Č.I. a provést letokruhovou analýzu. Pro měření a analýzu použít zejména měřicího stolu s lupou, skenování, denzitometru a vhodného počítačového programu.
- 3) Získat data z nainstalovaných dendrometrů a vyhodnotit přírůsty za posledních 4-5 let
- 4) Zhodnotit náročnosti (přípravy vzorku, měření, vyhodnocení) jednotlivých metod

Metodika

1. Nastudovat metodiku práce s literaturou a tvorbou rešerší (SIC ČZU)
2. Získat přehled o dostupných zdrojích literatury – knihovna, Web of Science, Scopus
3. Získání literárních zdrojů k následujícím tématům:
 - Popis dřeviny – douglasky tisolisté
 - Popis metod letokruhových analýz
 - Vyhodnocování dat z letokruhových analýz
4. Získání a příprava vzorků pro analýzu letokruhů
5. Měření a vyhodnocení připravených vzorků
6. Stažení dat z nainstalovaných dendrometrů a zpracování dat
7. Zhodnocení použitých metod letokruhové analýzy
8. Zpracování BP

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Dendrochronologie, letokruh, měření letokruhů, dendrometr, densitometr

Doporučené zdroje informací

- Bräker, O.U. (2002). Measuring and data processing in tree-ring research — a methodological introduction. *Dendrochronologia* 20: 203-216.
- Campelo, F., Mayer, K., Grabner, M. (2019). xRing—An R package to identify and measure tree-ring features using X-ray microdensity profiles. *Dendrochronologia* 53: 17-21.
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.11.002>.
- Drew, D.M., Downes, G. M. (2009). The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variation: A review. *Dendrochronologia* 27(2): 159-172.
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.06.008>.
- Haines, H. A., Gadd, P. S., Palmer, J., Olley, J. M., Hua, Q., Heijnis, H. (2018). A new method for dating tree-rings in trees with faint, indeterminate ring boundaries using the Itrax core scanner. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 497:234-243.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.02.025>.
- Pagotto, M. A., Roig, F. A., Ribeiro, A. S., Lisi, C. S. (2015). Influence of regional rainfall and Atlantic sea surface temperature on tree-ring growth of *Poincianella pyramidalis*, semiarid forest from Brazil. *Dendrochronologia* 35: 14– 23.
- Polge, H. (1970). The use of X-ray densitometric methods in dendrochronology. *Tree-Ring Bull.* 30: 1-10.
- Rozenberg, P., Schüte, G., Ivkovich, M., Bastien, C., Bastien, J. (2004). Clonal variation of indirect cambium reaction to within-growing season temperature changes in Douglas-fir. *Forestry* 77: 258-268.
- Silva, M. d., Funch, L. S., da Silva, L. B. (2019). The growth ring concept: seeking a broader and unambiguous approach covering tropical species. *Biol Rev* 94: 1161-1178. doi:10.1111/brv.12495
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Jan Vítámvás, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 10. 6. 2019

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 10. 06. 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma "Letokruhová analýza u douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) rostoucí v Arboretu FLD u Kostelce nad Č.l. - možnosti měření letokruhů" vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jana Vítámváse, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Plzni, červen 2020

Simona Lerchová

Poděkování

Ráda bych především poděkovala mému vedoucímu práce Ing. Janu Vítámvásovi, Ph.D, který měl se mnou trpělivost a dovedl mě až na samotný konec této práce. Vyjádření svého díky bych chtěla věnovat také rodině, že při mně stála a podporovala v dokončení práce. Nemohu opomenout i pana doc. Ing. Daniela Zahradníka, Ph.D., který mi poskytl program Letokruhy 2.3. a své díky bych chtěla věnovat i Mgr. Martinu Dušátkovi a zbytku kolektivu z dendrolaboratoře ČZU za trpělivost a za předání cenných zkušeností.

Abstrakt

Předmětem této předkládané bakalářské práce bylo změřit letokruhy douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) rostoucí v Arboretu FLD u Kostelce nad Černými lesy vybranými metodami a následně získaná data vhodně vyhodnotit a porovnat. Při práci s měřicími přístroji bylo nutné si každou metodu osvojit a naučit se s každým přístrojem a programem zacházet. Oskenované vzorky byly měřeny programem Letokruhy 2.3., vývrty a kotouče byly měřeny pomocí měřicího stolu LINTAB. Jako další metoda byla měření kotouče posuvným měřítkem a plátku vloženého do denzitometru. Dendrometrická data byla odebrána ze středního kmene. Dle nastavených kritérií byla nejméně atraktivní analýza denzitometrem a posuvným měřítkem, mezi nejatraktivnější metody patřila analýza skenu programem Letokruhy 2.3, měřicí stůl LINTAB a dendrometr. Aby byla zvolena nejvhodnější metoda měření, je důležité vědět, k jakému účelu bude výzkum probíhat a jaký rozpočet je k dispozici.

Klíčová slova: dendrochronologie, dendrometr, denzitometr, letokruh, měření letokruhů

Abstract

Subject of this translated Bachelor thesis was to measure tree-rings of Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) growing in Arboretum FLD near Kostelec nad Černými lesy by chosen methods and as follows gathered data properly evaluate and to compare. While working with measuring instrument it was necessary to adapt and learn how to use each of these instruments and programs. Scanned tree-rings samples were measured by program Letokruhy 2. 3., the bores and trunk cross sections were measured by the Tree ring measurement station LINTAB. Next method was measurement of discs by caliper and slices inserted into the densitometer. Dendrometric data were taken from medium-sized trunk. By given criteria the least attractive method was analysis by caliper and densitometer and among the most attractive was analysis of scan by program Letokruhy 2.3, Tree-ring measurement station LINTAB and by dendrometer. For chosen method to be most suitable, it is important to know for what purpose the research will be carried out and what budget is available.

Key words: dendrochronology, dendrometer, densitometer, annual ring, measurement of annual rings.

Obsah

1	ÚVOD.....	10
1.1	Cíle práce	10
2	LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
2.1	Dendrochronologie.....	11
2.2	Možnosti odběru vzorků a jejich analýzy	11
2.2.1	Nedestruktivní metody	11
2.2.2	Destruktivní metody	14
2.3	Struktura dřeva	15
2.3.1	Dřeň	15
2.3.2	Stavba letokruhu	15
2.3.3	Běl a jádro.....	16
2.3.4	Dřeňové paprsky.....	16
2.3.5	Pryskyřičné kanálky	17
2.4	Anomálie letokruhů.....	17
2.5	Douglaska tisolistá (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	19
2.5.1	Taxonomické zařazení.....	19
2.5.2	Areál rozšíření	19
2.5.3	Stavba dřeva douglasky	19
2.5.4	Růst douglasky	20
2.5.5	Variety douglasek	20
2.6	Arboretum	20
3	Metodika.....	22
3.1	Odběr vzorků.....	22
3.1.1	Vývrty.....	22
3.1.2	Kotouče.....	22
3.1.3	Plátky dřeva	23

3.1.4	Dendrometr.....	24
3.2	Analýza dat a hodnocení	24
4	Výsledky.....	27
4.1	Data získaná z každého typu měření.....	27
4.1.1	Měřicí stůl LINTAB	27
4.1.2	Program letokruhy	28
4.1.3	Ruční měření	29
4.1.4	Denzitometr	29
4.1.5	Data z dendrometru	31
4.2	Náklady	33
4.3	Výsledná hodnocení analýz.....	35
4.4	Hodnocení	37
5	Diskuse	42
5.1	Měřicí stůl s lupou.....	42
5.2	Skenování.....	42
5.3	Denzitometr.....	42
5.4	Ruční měření	43
5.5	Dendrometr	43
6	Závěr.....	44
7	Seznam použité literatury	46
7.1	Internetové odkazy	49

1 ÚVOD

Během dlouhého a složitého vyvíjení metod, kterými se prováděla letokruhová analýza dřevin, se muselo projít určitým vývojem měřicí techniky. Avšak některé metody jsou stále stejné, převážně se práce ulehčuje pomocí různých počítačových programů, díky kterým je měření přesnější, přehlednější, pohodlnější a také rychlejší. Ruční měření kotouče pomocí pravítka nebo posuvného měřítka patří k nejlehčím metodám měření přírůstu letokruhů. Od těch nejlehčích můžeme přejít ke složitějším, kde odebíráme vývrty pomocí nebozezu. Už v počátcích dendrochronologie je kladen důraz na důležitost správně připraveného vzorku. Pokud bychom tak neučinili, ztížíme si práci při měření a výsledná data by mohla být nepřesná a pro vědecké účely nepoužitelná. V dnešní době je mnoho způsobů a přístrojů, jak měřit letokruhy, avšak, umíme si vybrat správnou metodu, kterou potřebujeme k danému měření? V závislosti na nárocích je nutno posoudit, jaké metody jsou vhodné, zda máme vysoké či nízké nároky na kvalitu nebo není možné si pořídit nákladný přístroj, když není k dispozici dostatek finančních prostředků. Mezi hlavní nároky je v dnešní době rychlost zpracování zakázek.

1.1 Cíle práce

- 1) Popis nejrozšířenějších metod, kterými se provádí letokruhová analýza dřevin
- 2) Odebrat vzorky douglasky tisolisté rostoucí v Arboretu FLD u Kostelce nad Č. 1. a provést letokruhovou analýzu. Pro měření a analýzu použít zejména měřicího stolu s lupou, skenování, denzitometru a vhodného počítačového programu.
- 3) Získat data z nainstalovaných dendrometrů a vyhodnotit přírůsty za posledních 4-5 let
- 4) Zhodnotit náročnosti (přípravy vzorku, měření, vyhodnocení) jednotlivých metod

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Dendrochronologie

Věda zabývající se studiem jak letokruhů, tak i jejich datováním, se nazývá dendrochronologie.

Disciplíny, které využívají základů dendrochronologie, jsou například klimatologie, glaciologie, ekologie lesa, geomorfologie, hydrologie, enviromentální vědy a samozřejmě fyziologie a anatomie dřeva (Bräker, 2002).

Dendrochronologie má mnoho vědních podoborů, která se dělí například na dendroklimatologii, což je dosti rozšířený podobor, při kterém se využívá změřený přírůst letokruhů pro zrekonstruování klimatu v minulosti i současnosti. Dalším podoborem je dendroekologie, při které se datují ekologické katastrofy. Důležitý obor, pro datování historických cenností, nábytku, obrazů a dalších, je dendroarcheologie (Drápela & Zach, 1995). Znalosti dendroarcheologie jsou využité v diplomové práci Zrůstkové (2017). Její práce se věnovala dendrochronologickému datování a stavebně-technickému průzkumu vodního mlýna ve Křtinách. Díky datování pak bylo možno určit například nejstarší stropní trámy tohoto objektu. Tato datová rekonstrukce je pak upotřebitelná, pokud k dané oblasti a bodu zájmu nejsou žádné historické prameny.

2.2 Možnosti odběru vzorků a jejich analýzy

Odběr vzorků můžeme provést buď cestou nedestruktivní, nebo destruktivní. Nedestruktivním odběrem dat je myšleno, že není potřeba daný strom pokácet, jelikož pak můžeme použít jeho přírůst jen do roku pokácení, jako je to nutné u destruktivního odběru. Při nedestruktivním odběru dochází k lehkému poškození stromu odebráním vývrtnu nebo instalací dendrometru.

2.2.1 Nedestruktivní metody

Data, pro měření přírůstu letokruhů se získávají různými způsoby. Každá metoda sběru dat má své výhody i nevýhody. Metodu sběru dat vybíráme vždy podle náročnosti odběru, kvality dat a také cenové dostupnosti.

Přístroj pro tloušťkový přírůst, zaznamenávající systematicky data po celý rok, se nazývá **dendrometr**. Přírůst je zaznamenáván pomocí milimetrové průměrky nebo pravidelným měřením tloušťky kmene, což je časově náročné, a proto není tato metoda

často využívána (Kuželka et al., 2014). Avšak se můžou vyskytovat i dendrometry s ručním odečítáním přírůstu a v posledních letech i s elektronickým odečítáním, kdy náročnost na návštěvu a odečítání hodnot je nižší.

Mechanické přírůstoměry jsou kovové pásy, které jsou ovinuty kolem obvodu kmene, zobrazující, při konstantním napětí na mikrometrovou stupnici, změřené hodnoty. Za pomoci přitlačné síly je zaznamenán přírůst (Kuželka et al., 2014). Díky změně obvodu stromu se změní i délka pásma a změní se hodnota na mikrometrové stupnici.

Elektronický přírůstoměr (dendrometr) je vybaven dataloggerem s vnitřní pamětí, umožňující zapisování až desítky tisíc údajů. Kde za pomoci digitálního čtení jsou schopny zaznamenávat velmi nepatrné změny rozměru kmene na úrovni 1 μm



Obrázek 1 Elektronický přírůstoměr

(Kuželka et al., 2014). Mezi výhody tohoto měření patří multifunkčnost. Komunikace je založena na infračerveném bezdrátovém transportu dat do počítače. Přístroj také zaznamenává teplotu prostředí, která se může využít ke korelaci dat a zlepšení kvality výstupu (Kuželka et al., 2014). Jak vypadá páskový dendrometr DRL 26A (EMS Brno) je znázorněno na obrázku 1 a 2.



Obrázek 2 Dendrometr nainstalovaný na střeše budovy High-tech technologicko-výukového pavilonu FLD

Senzor dendrometru je vyroben z plastu, odolného vůči UV záření. Kovové pásy jsou vyrobeny z nerezové oceli nebo anodizovaného hliníku a vnitřní prostory pro elektroniku jsou vodě odolné. Lithium-iontová baterie vydrží napájet senzor při nepřetržitém měření až pět let. Paměť ukládá až 50 000 naměřených hodnot, což odpovídá třem rokům měření jak přírůstových, tak teplotních, při

frekvenci zapisování dat po 10 minutách. Vyexpedovaná data lze zpracovávat v programech MS Excel a text. Pro vyhodnocování a zpracování dlouhých datových řad obsahuje software Mini32. Dendrometer Increment Sensor DRL 26A, B, C jsou typy

dendrometrů, které vydrží měřit při teplotách od -30°C do 60°C . Samozřejmě výdrž baterie záleží také na intervalu měření (www.1) (Kučera, 2015).

Jak postoupil vývoj technologií, lze je využít nejen k měření přírůstků, ale i k měření dalších veličin a stavů, jak stromy využívají vodu nebo lze zhodnotit výši stresu ze sucha a měřit růstové reakce stromu. To vše přispívá k vývoji empirických nebo procesních růstových modelů a poskytuje tzv. šablonu, která se bude týkat časového měření růstu a klimatu k prostorovému měření vlastností dřeva (Drew & Downes, 2009).

Za nedestruktivní metodu se obecně považuje i odběr **vývrtů** pomocí **Presslerova lesnického nebozezu**. Po zavrtání nebozezu do kůry a dřeva do požadované tloušťky, se vývrt vytáhne pomocí vytahovací jehly a vzorky jsou uloženy do vhodného obalu nebo pořadače. Většinou jsou využívána plastová brčka, vlnitý karton a podobně.

Součástí odběru je i ošetření rány po vrtání, z důvodu eliminování budoucí možnosti napadení stromu škůdci. Drápela a Zach (1995) doporučuje opatřit si válečky dané dřeviny o průměru přibližně 2-3 cm. Měly by být bez kůry, aby se mohly vtlačit do vyvrtaných otvorů a poté by se díry měly zamáznout štěpařským voskem.

Pro měření vývrtů, které se po odebrání nechaly aklimatizovat a jednostranně zbrousit, se často využívá měřicích stolů jako je **měřicí stůl** LINTABTM a program TSAP-Win od firmy RINNTECH[®] (Heidelberg, Německo <http://www.rinntech.com>). Souprava je opatřena lineárně posuvným stolem (délky 560 mm), kam se pokládá vzorek, který se pak pozoruje binolupou. V této soupravě může binolupa poskytovat až 60 ti násobné zvětšení. Měřicí signály se potvrzují PC myší nebo nožním pedálem. Data na závěr zpracovává program TSAP-Win. Firma nabízí program buď zdarma v základní verzi nebo v placené verzi, nabízející více funkcí (www.2).

Letokruhy však nemusí být pokaždé vidět na první pohled. Mnohdy ve vývrtech nelze určit přesnou hranici letokruhu, protože daný jedinec byl mnoho let potlačen a nevytvářel letokruhy z jarního a letního dřeva. Haines et al. (2018) představili novou metodu, jak určit letokruhy se slabou a neurčitou hranicí. Práci prezentovali na australských druhích z čeledě *Araucariaceae*. Do té doby nikdo nemohl pořádně provést dataci a případnou rekonstrukci srážek v australském Queenslandu. Tato metoda pracuje s vývrty, ze kterých odebrali řezem, kolmým na letokruhy, 2 mm vzorek a vložili ho do **skeneru Itrax** (Cox Analytical System, Sweden). Hranice letokruhů jsou vyobrazeny na rentgenovém snímku s grafem se změnou hustoty mezi letokruhy.

Samotné rentgenové skenování vzorku však nestačilo a pomocí uhlíkového datování zkontrolovali na pěti vzorcích roční trend přírůstu a opravili chyby v chronologii, které způsobily falešné letokruhy, jelikož jsou u *Araucaria cunninghamii* časté. Výhoda skeneru Itrax je, že lze pomocí nedestruktivního odběru vývrtů identifikovat letokruhy a ověřit věk i u druhů, které nevytváří znatelné letokruhy.

2.2.2 Destruktivní metody

Pro měření **kmenového kotouče** se využívá destruktivní metody. Nevýhodou této metody je nutnost pokácení stromu, což může být problém v chráněných územích, špatně přístupných lokalitách nebo pokud je nutné mít vzorků více. Dalším negativem je neskladnost vzorků a potřeba uchovávat vzorky tak, aby vlivem vysychání kotouče nepopraskaly (Drápela & Zach, 1995). U kmenových kotoučů je výhodou celkový pohled na přírůst i na dřev a díky tomu se může udělat rekonstrukce tloušťkového i výškového přírůstu. Pro zjišťování dat se používá například **program Letokruhy** verze **2.3**, (autorská práva Dan Zahradník, Katedra hospodářské úpravy lesů, FLD, ČZU). Pomocí naskenovaného snímku se vyhodnotí v programu data manuálně. Program následně vypočítá počet letokruhů, jejich tloušťku a kruhovou plochu. Pro zpracování výsledků do grafů a tabulek se výsledná data vyexportují do poznámkového bloku nebo do MS Excel.

2.2.2.1 Denzitometr

Pro denzitometrické snímky se často odebírají velmi tenké od 0,4 do 2 mm, rovnoměrně tlusté plátky dřeva (Tomazello et al. 2008, Jacquin et al. 2017, Gaitan-Alvarez et al. 2019). K tomuto odběru vzorku je nejlépe mít k dispozici dvoukotoučovou pilu, například DENDROCUT 2003 (Walesh Eletronics, Illnau-Effretikon, Švýcarsko), která vyřeže plátky o požadované tloušťce. Polge (1970) nepracuje s plátky, nýbrž vývrty, u nichž musí být také striktně dodržován jednotný průměr a vrták musí být čistý a naostřený, aby se vývrty nedeformovaly nebo nepoškodily.

Denzitometrické měření funguje na základě automatické identifikace a měření letokruhů rentgenovým zářením. Nabízí funkce vizualizovat a kalibrovat rentgenové snímky, detekuje hranice letokruhů a identifikuje jarní a letní dřevo na principu změn hustoty jarního a letního dřeva letokruhu (Jacquin et al. 2017, Campelo et al., 2019).

Rozenberg et al. (2004) porovnávají denzitometrické profily a sezonní variabilitu růstu douglasky, který je ovlivněn klimatickými podmínkami. Díky této synchronizaci je

vidět, že růst kambia je celkem silně geneticky řízen. Je zde demonstrováno, že dřevo, které se považuje pouze jako kambiální aktivita, neslouží jen k chronologii klimatických podmínek, ale slouží také k popisu genetické adaptace stromu a k popisu krátkodobé změny klimatu.

2.3 Struktura dřeva

Abychom lepší pochopení struktury dřeva je důležité zmínit základní charakteristiky jako jsou: dřeň, jarní a letní dřevo, dřevné paprsky, pryskyřičné kanálky. Na základních řezech vytváří tyto znaky charakteristickou strukturu dřeva, avšak i tyto znaky nemusí být vidět u všech dřevin a na všech řezech (Grandelová et al. 2009).

2.3.1 Dřeň

„Dřeň je světlé řídké pletivo, u starších stromů odumřelé, nacházející se víceméně ve středu kmene. Dřeň se v prvním roce života stromu podílí na vedení vody, později tuto funkci přebírá dřevo v nově tvořících letokruzích“ (Grandelová et al. 2009).

Průběh dřeně je u jehličnatých dřevin přímý a oddělený od letokruhu jasně. Naopak u listnatých je časté zakřivení, osy jsou vlnité. Dřeň se zřídka vyskytuje přesně ve středu kmene (Požgaj, 1993).

2.3.2 Stavba letokruhu

Během vegetačního období se v klimatických podmínkách mírného pásma vytváří letokruh, který je výsledkem periodické činnosti kambia (Grandelová et al., 2009).

Podle klimatu se vytváří buď světlé nebo tmavé dřevo. Světlé dřevo, které se také označuje jako jarní, má nižší hustotu. Tmavé neboli letní dřevo má hustotu vyšší. Tyto na oko viditelné rozdíly jsou dány rozdílnou anatomickou strukturou (Šlezingerová & Grandelová, 2005; Grandelová et al., 2009).

Nejzřetelněji je vidět přechod jarního a letního dřeva u jehličnatých dřevin. U listnatých dřevin je to složitější, a proto se začaly dělit na dvě skupiny. Na dřeviny kruhovitě pórovité, které lze určit podle příčného řezu, kdy lze v jarním dřevě vidět velké póry a roztroušeně pórovité, u kterých jdou roční přírůsty hůře rozeznat (Požgaj et al., 1993).

Na šířce letokruhů se projevuje spousta růstových faktorů, které ho ovlivňují a těmi jsou: nadmořská výška v jaké daný jedinec rostl, jaké výchovy se v porostu

prováděly, na jak živném stanovišti se nachází, jaký je věk a hlavně druh dřeviny. Přírůst a excentricitu ovlivňuje také orientace (S, J, V, Z) a expozice terénu.

2.3.3 Běl a jádro

Běl je vnější světlejší část dřeva, ohraničující jádro a přiléhá ke kambiu. Je zde přítomnost živých parenchymatických buněk. Běl vede vodu a rozpuštěné minerální látky z kořenů k listům a ukládá zásobní látky (Grandelová et al., 2009). Je zpravidla více propustná pro vodu, má větší vlhkost, a proto je méně odolná hnilobě a hmyzím škůdcům.

Mezi bělové dřeviny se řadí javor, lípa, olše, hruška a bříza. (Dubovský et al., 2001)

Jádro je tmavé a neobsahuje živé parenchymatické buňky, proto jsou vodivé elementy jako jsou tracheje a tracheidy většinou neprůchodné pro vodu. Díky tomu, že jádro ztratí vodivou funkci, zvyšuje se stabilita kmene (Grandelová et al., 2009). Hranice jádra nemusí kopírovat letokruh. Hustotu má jádro vyšší než běl, vlhkost má stejnou nebo menší než běl.

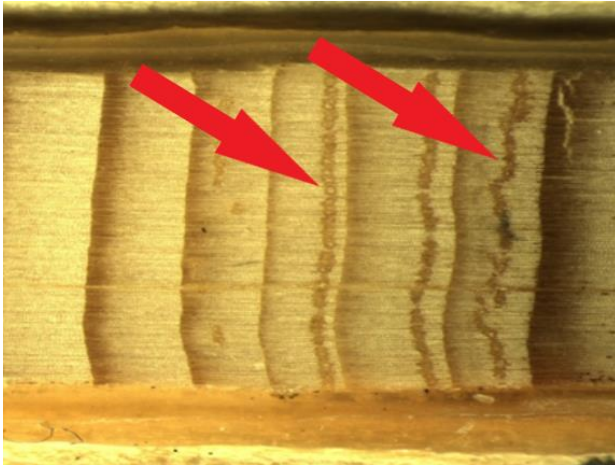
Mezi jádrové dřeviny patří borovice, tis, dub, jasan, třešeň, vrba, modřín, akát, jilm, ořech, topol. U některých bělových dřevin se ve starším věku vytváří nepravé jádro, které se projevuje nepravidelným tvarem (Dubovský et al., 2001), barevností a větší vlhkostí.

2.3.4 Dřeňové paprsky

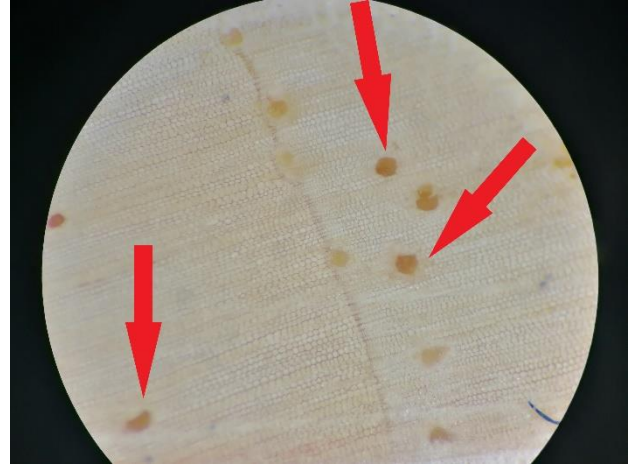
Dřeňové paprsky zabezpečují v živém stromě horizontální pohyb organických látek a vody v kmeni. Jsou orientované kolmo na podélnou osu kmene a tvoří je seskupení parenchymatických buněk. Paprsky můžeme dále dělit na primární dřeňové paprsky, které navazují na základní pletivo, které vzniklo při primárním růstu a probíhají od dřeně až do lýka. a na sekundární, které vznikají v průběhu růstu stromu a nenavazují na dřeň (Grandelová et al., 2009).

2.3.5 Pryskyřičné kanálky

Jehličnaté dřeviny mají narozdíl od listnatých pryskyřičné kanálky. V našich lesích je má smrk, borovice, modřín a douglaska. Pro názornost pryskyřičných kanálků byly pořízeny snímky pryskyřičných kanálků jedle (obrázek 3) a douglasky (obrázek 4).



Obrázek 3 Pryskyřičné kanálky jedle



Obrázek 4 Pryskyřičné kanálky douglasky

(Dendrologická laboratoř KEL, 2020)

Horizontální kanálky prochází skrz střed paprsků dřevě a jsou pod hranicí viditelnosti. Vertikální kanálky jsou uloženy svisle a vyskytují se převážně v letním dřevě. Lze je pozorovat pouhým okem, jelikož šířka kanálků je od 0,08 mm – 0,14 mm a délka kanálku se pohybuje v rozpětí od 10 cm do 80 cm. Samozřejmě délka a šířka se mění v závislosti na typu dřeviny. Podíl vertikálních kanálků je až 6- krát větší než horizontálních (Požgaj, 1993; Grandelová et al., 2009).

2.4 Anomálie letokruhů

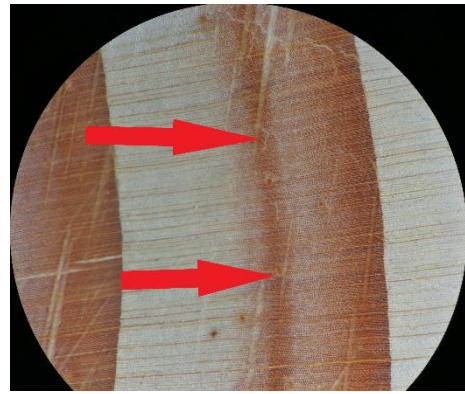
Při analýze vzorků musí měřič znát anomálie, které se ve dřevě objevují vlivem klimatu nebo daného stanoviště. Různí autoři zmiňují různé anomálie, většinou se uvádí tyto nejčastější vady či abnormality při měření:

První jsou mikro-letokruhy (micro rings). Mikro letokruhy mohou být pouze dvě buňky široké. Jedna buňka je jarní dřevo a jedna letní dřevo. Na řezu jdou velmi těžko najít, ale po správném a kvalitním vybroušení povrchu je zkušenější dendrochronolog

dokáže najít (Speer, 2009). Pozor si však musíme při datování dát na to, abychom nezačali považovat vše za mikro-letokruhy a pak rozhodit celou datovou hranici.

Další anomálií jsou falešné letokruhy. Když limitující faktory omezí růst stromu, přírůst dřeva se zastaví (Speer, 2009). Koncem jara se se vlivem sucha občas začne vytvářet letní dřevo, které si můžeme splést s letokruhem.

S příchodem dešťů se podmínky pro růst zlepší a začne znovu dorůstat jarní dřevo (Požgaj et al., 1993). Obrázek 5 byl pořízen při měření vývrtů, kde je jasně vidět falešný letokruh douglasky.



Obrázek 5 Falešný letokruh douglasky tisolisté, označený červenými šipkami

Ve studii o vlivu růstu letokruhů *Poincianella pyramidalis* při regionálních dešťových srážkách a teplotách Atlantského moře semiaridního lesa z Brazílie uvádí, že falešné letokruhy mohou být důsledkem fenologické reakce stromů na změny úrovně srážek. V Brazílii jsou během let přerušeny suché sezony sporadickými lijáky. Po lijácích se následně náhle objevují listy, což vede k reaktivaci kambia a tvorbě falešných růstových letokruhů (Pagotto et al., 2015).

Při datování se s falešnými letokruhy setkáváme často. Ve většině případech se tyto letokruhy dají identifikovat, protože buněčné stěny postupně tloustnou v tzv. pseudo letní dřevo (pseudo latewood), ale pak se postupně ztenčují. Pokud se u jehličnanů nachází na radiálním řezu jeden nedokončený letokruh, jedná se pravděpodobně o hranici falešného letokruhu (Speer, 2009).

Při dendrochronologickém datování se můžeme setkat s takzvaným reakčním dřevem. Je to reakce dřeva na nějaký podnět. Dochází k tomu jak ve větvích stromů, tak v kmenech, jako reakce na silné větry, které je ohýbají, laviny a sníh. Podle Požgaje et al. (1993) se vyskytuje ve všech dřevinách, ale pouze u jehličnatých dřevin je vidět makroskopicky, kde jarní dřevo má velmi podobnou barvu jako letní. Zpravidla se reakční dřevo projevuje excentricitou dřevě.

2.5 Douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*)

Pro práci s vývrty a dalšími metodami pro určování šířky letokruhů je nutné nastudovat danou dřevinu, jak vypadá, jaké má anomálie a jaká je její reakce na změnu přírůstu dřeva.

2.5.1 Taxonomické zařazení

Tabulka 1 Taxonomické zařazení douglasky tisolisté

Říše	<i>Plantae</i> (rostliny)
Oddělení	<i>Pinophyta</i> (jehličnany)
Třída	<i>Pinopsida</i> (jehličnaté)
Řád:	<i>Pinales</i> (borovicotvaré)
Čeleď	<i>Pinaceae</i> (borovicovité)
Rod	<i>Pseudotsuga</i> (douglaska)

(Novák & Skalický, 2017)

2.5.2 Areál rozšíření

První zmínky o douglasce sahají do roku 1792, kdy byla objevena lékařem Archibaldem Menziesem v Kanadě u průlivu Nootka. Jelikož měla do té doby spoustu různých rodových jmen, otvírá botanik Carrière v roce 1867 nový rod *Pseudotsuga*, a tímto dal do taxonomie douglasky prvotní řád (Hofman, 1964).

Douglaska tisolistá se vyznačuje rozsáhlým areálem přirozeného rozšíření. Roste od pobřeží Tichého oceánu až po vysokohorské polohy Kaskád (Cascade Range) na západní i východní straně hlavního hřebenu a ve vnitrozemí zaujímá převážnou část svahů Skalnatých hor (Rocky Mountains). Nejsevernější výskyty jsou při pobřeží v okolí 55 s. z. š. a ve vnitrozemí u řeky Fraser. Nejjižnější výskyty u pobřeží jsou v oblasti Sacramento a Kalifornii a ve vnitrozemí pak v pohoří Sierra Madre v Mexiku. Zde jsou výskyty ojedinělé (Hofman, 1967; Slodičák et al., 2014).

2.5.3 Stavba dřeva douglasky

Jelikož se jedná o jehličnatou dřevinu, můžeme u douglasky rozlišit tmavé jádro a světlou nebo různě zbarvenou běl. Dřeňové paprsky nejsou vidět pouhým okem a jako modřín i douglaska má pryskyřičné kanálky (Zeidler & Bomba, 2014). Podle stanoviště douglaska vytváří jak úzké letokruhy, tak široké letokruhy. Šířka záleží

na stanovišti, srážkách, zápoji a dalších faktorech, které ji mohou omezovat v růstu. V mládí má borku hladkou a olivově zelenou, starší jedinci mají borku hrubou a podélně rozpraskanou (Dubovský et al., 2001).

2.5.4 Růst douglasky

Douglaska má vyšší nároky na světlo než smrk ztepilý a nejvíce se jí daří ve vlhčích a hlubokých půdách.

V České republice je pěstování poměrně regulováno. Zastoupení douglasky v českých lesích je pouze 0,20 % lesních ploch, což je přibližně 5 150 ha (Svoboda & Dohnanský, 2014).

Svoboda a Dohnanský (2014) také uvádějí taxační rozdíly několika dřevin z LS Vodňany, kde douglaska měla, v porostu starém 110 let, oproti smrku, který měl 26 m, střední výšku 36 m. Střední tloušťka douglasky byla 68 cm a smrku 29 cm. Vlivem snižování produkce jehličnatého dříví bychom mohli zvolit, ve vhodných podmínkách, douglasku jako náhradní dřevinu, jelikož je to dřevina s výrazným produkčním potenciálem. V diplomové práci Timko (2015) bylo také potvrzeno, že kvalita dříví závisí, na jakém stanovišti douglaska roste. Na základě studie, jaký má produkční potenciál douglaska v kyselých lokalitách lesního okresu Hůrky a sekundárně v Lesnické škole v Písku, se uvádí, že v současné době, na základě ročního měření přírůstu letokruhů se objemový přírůst douglasky pohybuje od 0,06 až do 0,1 m³ za rok (Kantor & Mareš, 2009)

2.5.5 Variety douglasek

Vliv na růst douglasek má zejména areál výskytu, tudíž ji v literatuře dělí na formu pobřežní (Coast Form) nebo též zelenou *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii* a horskou (modrou) (Rocky Mountains Form) neboli *Pseudotsuga menziesii* (Beissn.) Franco var. *glauca*. Douglaska šedá (*Pseudotsuga taxifolia* var. *caesia*), je morfologicky přechodnou odrůdou douglasky modré a zelené (Hofman, 1964).

2.6 Arboretum

Arboretum FLD Kostelec nad Černými lesy se nachází přibližně 4,4 km od zámku v Kostelci nad Černými lesy v nadmořské výšce přibližně od 300 m. n. m. do 345 m. n. m.

V roce 1954 se zahájily práce na založení arboreta v areálu školního statku nacházejícího se v Kostelci nad Černými lesy. Za zakladatele se považuje prof. Dr. Ing. Pravdomil Svoboda, DrSc. Arboretum se stalo důležitým místem například pro pedagogické účely lesního, krajinného a i dřevařského inženýrství a pro rozvoj vědeckých aktivit (Roček et al., 1998).

Arboretum má nyní několik poslání, pro širokou veřejnost se pořádají například dny otevřených dveří s odborným výkladem. Studenti si zde můžou udělat sbírku širokého množství vzorků. Arboretum slouží také pro vědecké a množitelské pokusy, také se hodnotí růst dřevin a další (www.3).

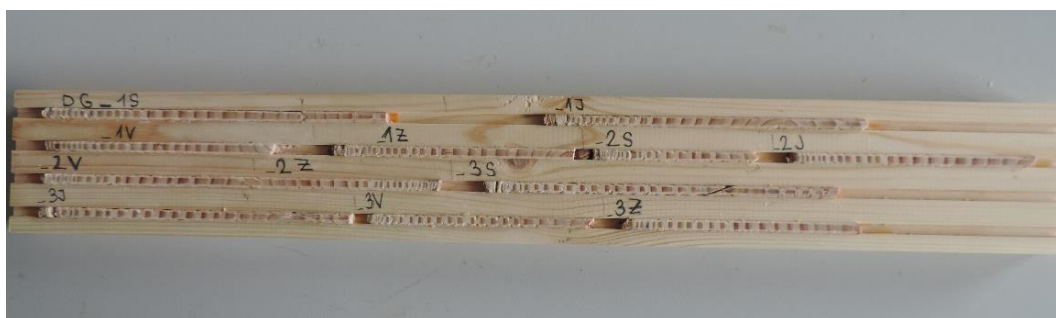
3 Metodika

3.1 Odběr vzorků

Odběr vzorků pro měření byl proveden v Arboretu v Kostelci nad Černými lesy. Douglasky byly vysázeny v roce 1992 jako 3leté sazenice. Počet kusů byl 98 na 500 m².

3.1.1 Vývrty

V průběhu listopadu 2019 byly provedeny odběry vzorků ze tří jedinců douglasky tisolisté (DG1, DG2, DG3). Pro první metodu měření bylo postupováno následně. Pomocí nebozezu byly vyvrtány ručně vývrty ve směru sever, jih, východ a západ, ve výšce 110- 120 cm. Nebozezem se po přiložení ke kůře začalo otáčet/vrtat ve směru hodinových ručiček. Na konci vrtání se provedly dvě otáčky proti směru otáčení a vývrt se pomocí vytahovací jehly vytáhl. Odebrané vzorky byly vloženy do brček a kancelářskou sešíváčkou na konci sešity. Brčka se v laboratoři perforovaly, aby vzorky lépe vyschly. Po týdnu se vývrty nalepily na speciálně upravená dřevěné destičky se zářezy pro vývrty, jak je zobrazeno na obrázku 6. Při lepení je zcela důležité dbát na to, aby se vývrty nalepily tak, aby nebyly natočeny, jelikož při následném měření by mohlo dojít ke zkresleným výsledkům a měření by bylo nepřesné. Po nalepení se vzorky uložily na tři dny ke schnutí. Je nutno vývrty následně přebrousit, aby se vizuálně zvýraznily hranice jednotlivých letokruhů. Při každém jednotlivém úkonu se měřila doba trvání a měření probíhalo i u následovných činností.



Obrázek 6 Nalepené a označené vývrty

3.1.2 Kotouče

Po odběru vývrtů se stromy pokácely a ve výšce 125 cm byl uříznut jeden kotouč z každého stromu o tloušťce koláče 3-5 cm. Ihned po odběru byl označen fixou sever písmenem (S). Schnutí trvalo 30 dnů při pokojové teplotě na úměrnou vlhkost 12 %. Na skeneru P3600 A3 PRO (Mustek) v Trubech se vytvořily skeny, které jsou na obrázku 7, v datovém rozlišení 450 DPI a pro uchování nejvyšší kvality byly snímky

uloženy jako TIF. Z důvodu, že program Letokruhy podporuje jen dva soubory typu JPG a BMP, byly soubory převedeny na požadovaný typ JPG.



Obrázek 7 Odebrané kotouče tří studovaných douglasek

3.1.3 Plátky dřeva

Pro denzitometrické měření na přístroji QTRS-01X Tree Ring Scanner (QMS, Knoxville, Tennessee USA) byly odebrány vzorky z dřevěných kotoučů, podobně jako u kapitoly 3.1.2 (viz. obrázek 8) pomocí dvoukotoučové okružní pily DENDROCUT 2003 (Walesh Eletronics, Illnau-Effretikon, Švýcarsko). Na rozdíl od ostatních metod, zde byly odebrány vzorky pouze pro sever a jih. Šířka plátků byla mezi 0,06 – 0,07 cm. Odebrané vzorky se ponechaly v laboratoři k vyschnutí a aklimatizaci. Pro další postup se musely vzorky zvážit a změřit, aby se zjistila přibližná hustota dřevěného vzorku. Následně bylo nutno vypočítat hustotu podle vzorce $\rho = \frac{m}{V}$ pro každý vzorek zvlášť. Hmotnost m byla zvážena v gramech a objem $V = \text{šířka} * \text{délka} * \text{tloušťka}$ vzorku [cm^3]. Výsledná hustota ρ se uváděla v kg/m^3 . Zjištěné hustoty a délky se zapisují do programu před samotným měřením.



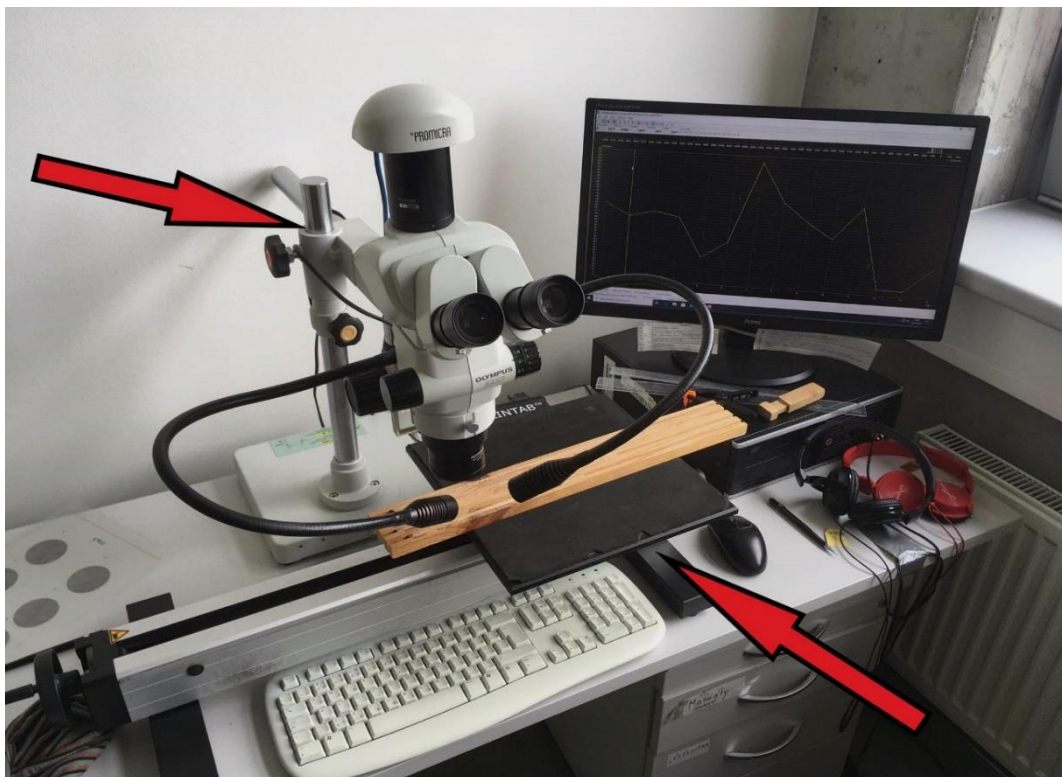
Obrázek 8 Odebrané plátky

3.1.4 Dendrometr

Dendrometr se nachází v arboretu na douglasce, která reprezentuje střední kmen. Přístroj je umístěn v prsní výšce 1,3 m a je orientován na severní stranu stromu, aby se omezil přístup slunečního záření na přístroj. V roce 2019 byla nově naměřená data stažena a konvertována pomocí programu Mini 32 (EMS Brno) do MS Excel. Přístroj zaznamenává změny obvodu stromu v čase, proto je nutné, aby se zjistila šířka přírůstu letokruhu v daném roce a obvod přepočítat na poloměr pomocí vzorce $r = \frac{o}{2 \cdot \pi}$. Obvod označený o , je změřené rozpětí obvodu kmene přístrojem [v MS Excel označené jako Increment (mm)] a r je poloměr který potřebujeme zjistit (mm).

3.2 Analýza dat a hodnocení

Pro hodnocení analýz byl zvolen bodovací systém, podle počtu hodnocených možností. Buď 1-4, 1-5 nebo 1-6 bodů. V tabulkách je popsáno, jakou váhu body mají. Podle výsledků z měření jednotlivých úkonů byla hodnocena časová náročnost, jak bylo technicky obtížné vzorky odebírat, jaké nároky na vědomosti a zkušenosti daná metoda má, jak bylo pohodlné měření pro uživatele a závěrem bylo bodové hodnocení sečteno a vyhodnoceno podle počtu bodů.

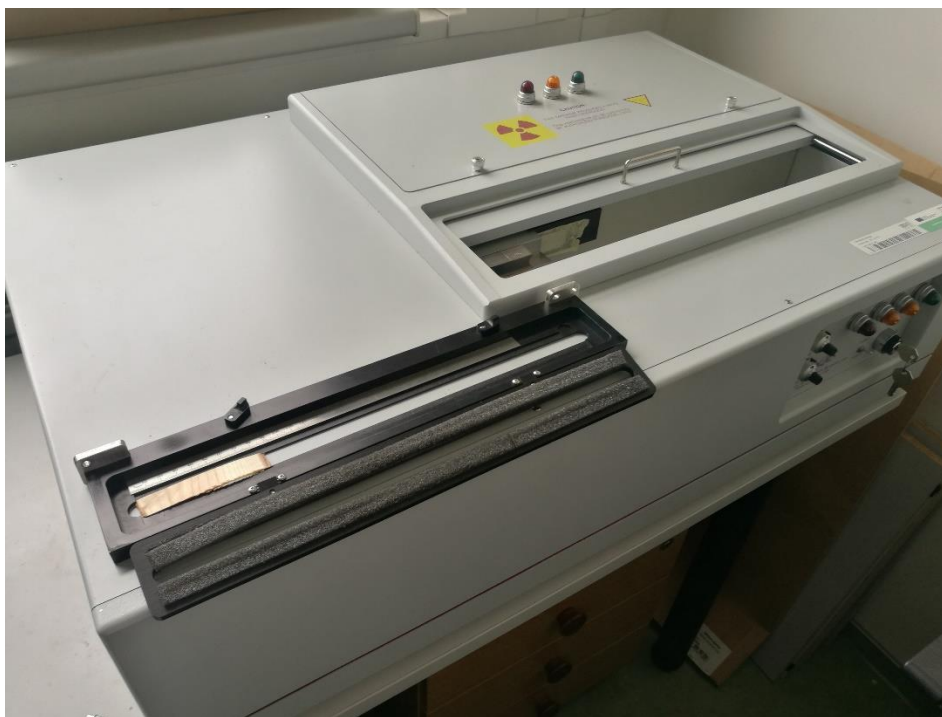


Obrázek 9 Měřicí stůl LINTAB v dendrochronologické laboratoři Fakulty lesnické a dřevařské, České zemědělské univerzity v Praze. Levá šipka označuje binokulární lupy, pravá posuvný měřicí stůl

Metoda s nejvyšším počtem byla nejlepší, metoda s nejnižším nebyla zcela vyhovující, to však neznamená, že by neměla jisté výhody, oproti více bodovaným metodám.

Šířka letokruhů byla měřena několika různými způsoby. První možností bylo měření vývrtů pomocí **posuvného měřicího stolu** LINTAB™ (viz. obrázek 9), který měří s přesností na 0,01 mm a program TSAP-Win. Vždy po kliknutí počítačové myši na hranici letního a jarního dřeva program TSAP-Win zaznamenává křivku přírůstu na obrazovce počítače. Lze i program nastavit tak, abychom viděli předchozí měření a průměrný průběh přírůstové křivky můžeme vizuálně poměřovat. Tuto metodu měření lze použít i pro měření kmenových kotoučů.

Kmenové kotouče byly změřeny několika způsoby: **kotouč** položený na měřícím stole, jako **sken** a ručně pomocí **posuvného měřítka**. Sken vložený do programu Letokruhy lze vizuálně změřit. Na displeji počítače se označí hranice. Uživatel si může vložit do skenu i kompasovou růžici, pro pohodlnější měření. Výhodou je, že se uživatel drží v jednom směru měření, tudíž je to uživatele velmi příjemná metoda. Ruční měření kotoučů probíhalo pomocí digitálního posuvného měřítka. Měření bylo směřováno vždy od kůry k dřevu z každé světové strany.



Obrázek 10 Denzitometr QTRS-01X Tree Ring Scanner (QMS, Knoxville, Tennessee USA), nacházející se v dendrochronologické laboratoři Fakulty lesnické a dřevařské, České zemědělské univerzity v Praze

Při **denzitometrickém měření** byly odebrané plátky vloženy do QTRS-01X Tree Ring Scanner (QMS, Knoxville, Tennessee USA), který je na obrázku 10 a příslušný program automaticky vyhodnotí, kde by se měl nacházet letokruh při změně hustoty. Výsledky je nutno zkontrolovat a popřípadě opravit hranice letokruhů. Měření probíhalo od dřeně ke kůře.

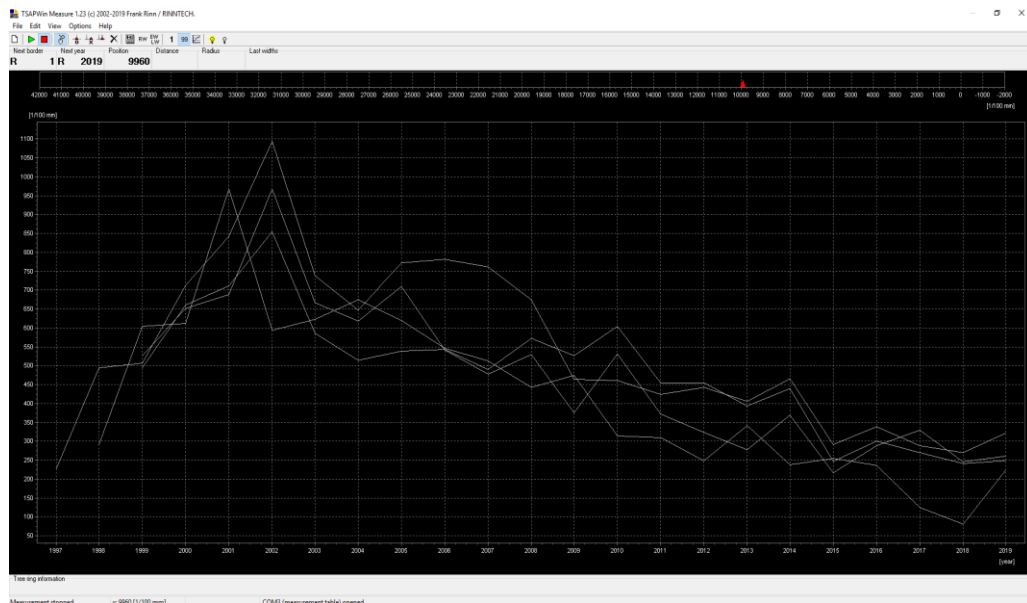
4 Výsledky

Následující kapitola je zaměřena na výstupy měření a na porovnání časové náročnosti samotného měření a měření včetně přípravy a odběru vzorků. Pro přehled byly zhotoveny tabulky, jak bylo již popisováno v úvodu metodiky a posledními výsledky jsou cenové rozdíly daných metod a poměrování pořizovacích nákladů.

4.1 Data získaná z každého typu měření

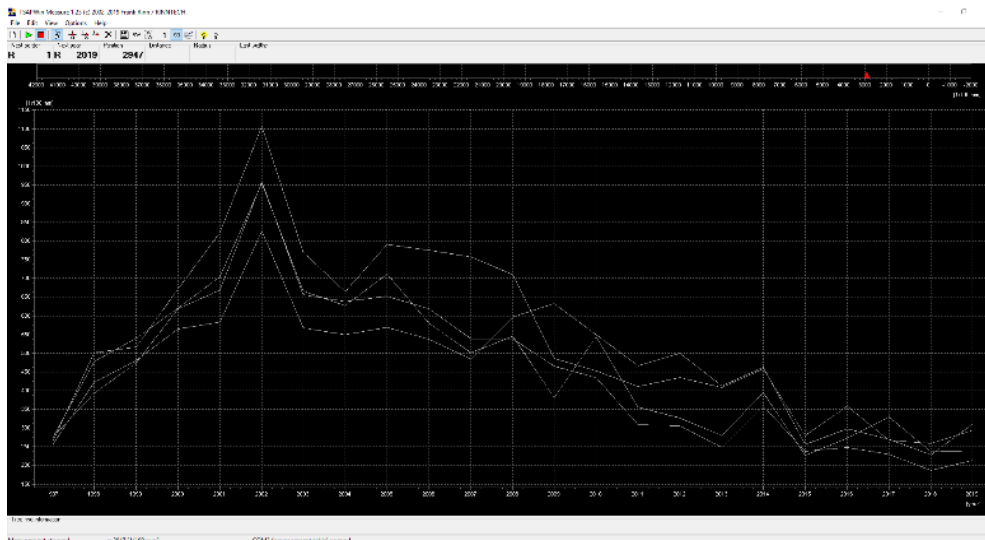
4.1.1 Měřicí stůl LINTAB

Při měření měřícím stolem LINTAB byl použit program TSAP-Win, který umožňuje zobrazit libovolné naměřené křivky, viz obrázek 11. Bylo provedeno měření vývrtů z každé světové strany. Pokud měřič potřebuje nebo chce, program vyobrazí naměřené křivky automaticky na displeji počítače. Pro kontrolu byly křivky zobrazovány najednou, jelikož jsme neměli kontrolní křivku, která se většinou při měření používá.



Obrázek 11 Naměřená data z douglasky programem TSAP-Win označené DG_1. Měřené křivky zobrazují severní, jižní, východní a západní přírůst na vývrtu.

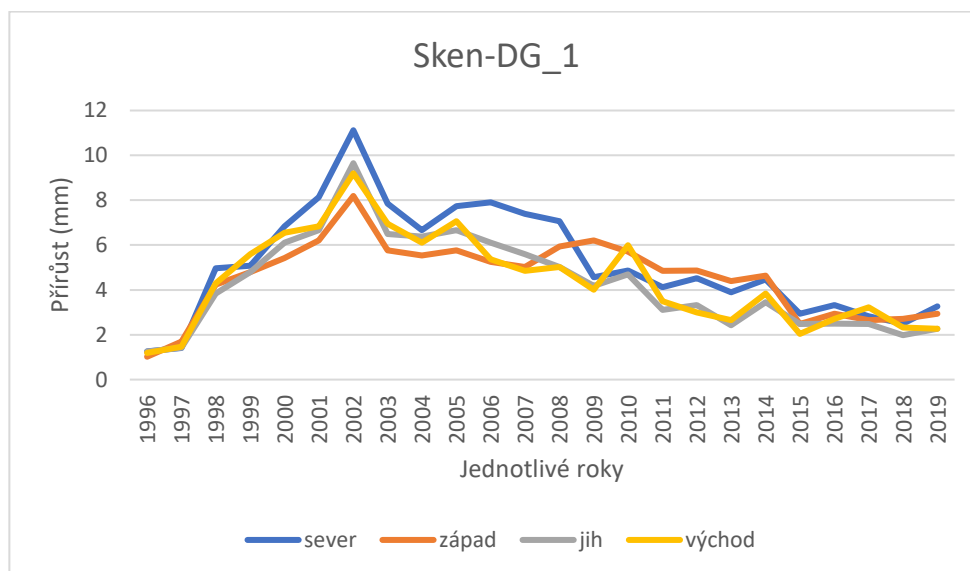
Na obrázku 12 je výstup měřeného kotouče ze všech světových stran s označením DG_1. Na první pohled vypadají trendy křivek přírůstů podobně jako na obrázku 11.



Obrázek 12 Měření kotočů programem TSAP-Win vzorku DG_1.

4.1.2 Program letokruhy

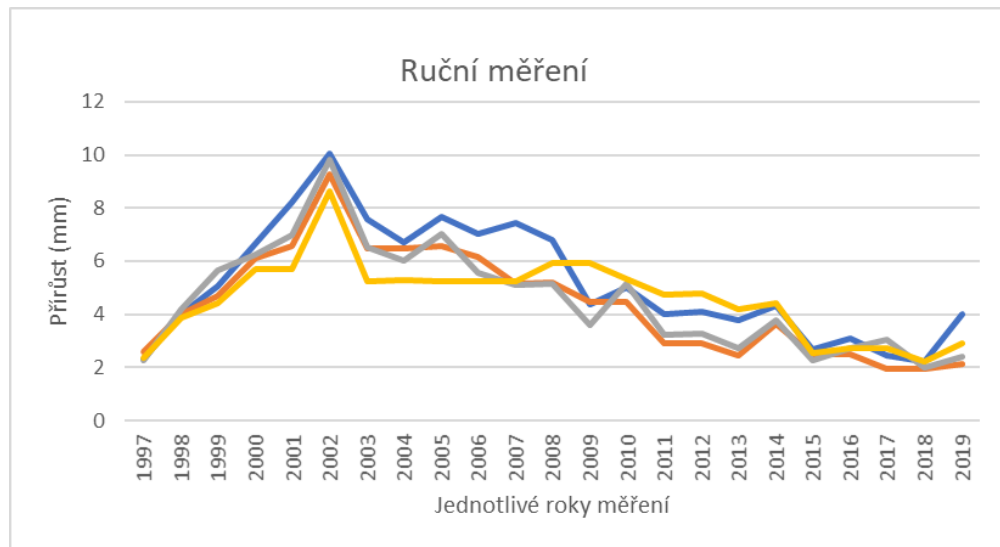
Graf č. 1 vykresluje výsledné křivky z měření skenu programem Letokruhy. Naměřená data byla vyexportována do poznámkového bloku a následně převedena do grafů v MS Excel. Je zde zobrazen první naměřený sken s označením DG_1, který byl analyzován opět ze všech světových stran a nutno podotknout, že všechny jednotlivé úkony měření a přípravy byly časově zaznamenávány.



Graf č. 1 Výsledek měření letokruhů programem Letokruhy

4.1.3 Ruční měření

Výsledek ručního měření vypadá na první pohled podobně ostatním měřením. Změřená data posuvným měřítkem byla zapsána do MS Excel, která jsou zobrazena v grafu č. 2.



Graf č. 2 Výsledek ručního měření pomocí posuvného měřítka

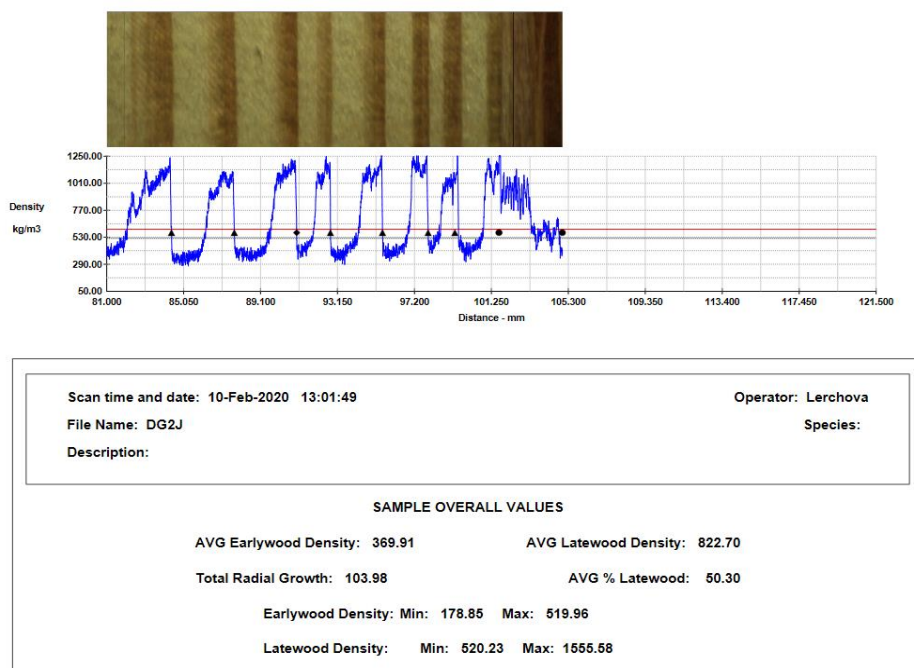
4.1.4 Denzitometr

Program QTRSUSB401 se používá při denzitometrickém měření. Výsledky byly po analýze uloženy jako tři typy souborů, tj. QTR, SUM a dokument XPS. Pokud potřebuje měřič své výsledky opravit, lze díky souboru QTR zpětně výsledky upravovat v programu QTRSUSB401, což je velmi cenná funkce. K sumarizaci dat je potřeba souboru SUM, následně lze exportovat data do sešitu MS Excel. Grafický výstup z měření (z dokumentu XPS), kde lze vidět plátek a další informace o něm (viz. obrázek 13 a 14). Je zde znázorněn snímek plátku a výše denzity. Vrcholy křivek ukazují průběh změny hustoty dřeva jarní (nižší hodnoty) a letní (vyšší hodnoty) části letokruhu. Jedna z výhod pro uživatele je vizuální kontrola přechodu jarního a letního dřeva. Tato vizuální kontrola pomáhá detekovat falešné letokruhy.



Obrázek 13 Výstup z programu QMS při denzitometrickém měření, šipkami je označen falešný letokruh

Falešný letokruh se nachází na obrázku 13 mezi délkami 56,700 mm a 60,750 mm. Obrázek 14 obsahuje podobná data jako obrázek 13. Je zde vidět konec vzorku s kůrou.

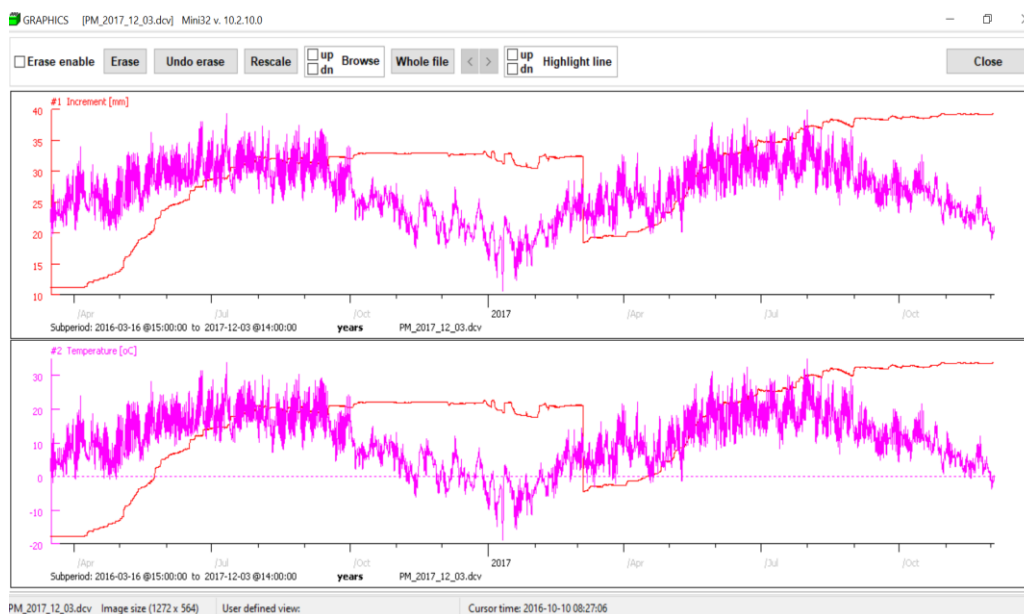


Obrázek 14 Výstup z programu QMS, vpravo je vidět konec měření ke kůře

V souboru QTR jsou vypsány všechny informace, které jsou zadány na začátku, tj. délka, šířka, hmotnost a rok odběru plátku, minimální a maximální denzita jarního i letního dřeva apod. Vzorků bylo celkem šest, jelikož z kotouče byl odebrán plátek dřeva pouze severní a jižní strany.

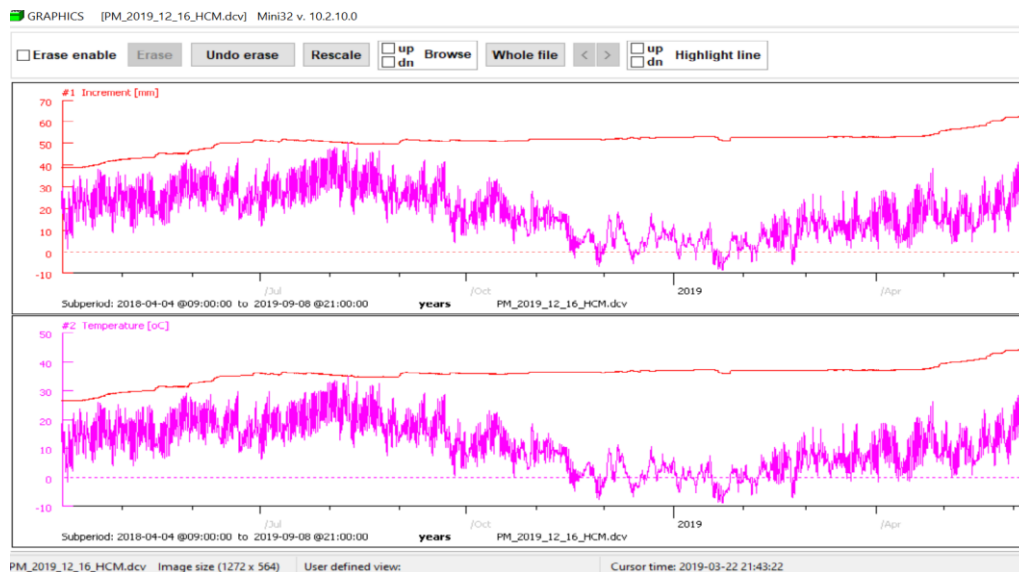
4.1.5 Data z dendrometru

Program Mini 32 má mnoho funkcí. Používá se k údržbě dataloggeru a stahování dat z něj. Výsledné grafy lze vytisknout, nebo se data mohou exportovat do různých formátů, např. do MS Excel a textu. Program pracuje se statistickými operacemi, vytváří histogramy frekvenčního rozložení a další. Na obrázku 15 a 16 jsou vidět zpracovaná data. Výhoda tohoto programu je, že i když pracuje s tisíci daty, dokáže pracovat velmi rychle. Program Mini 32 vyhodnocuje všechna naměřená data a vloží je, společně s naměřenou teplotou do přehledných grafů. Na horizontální ose je časové rozmezí měřených dat.



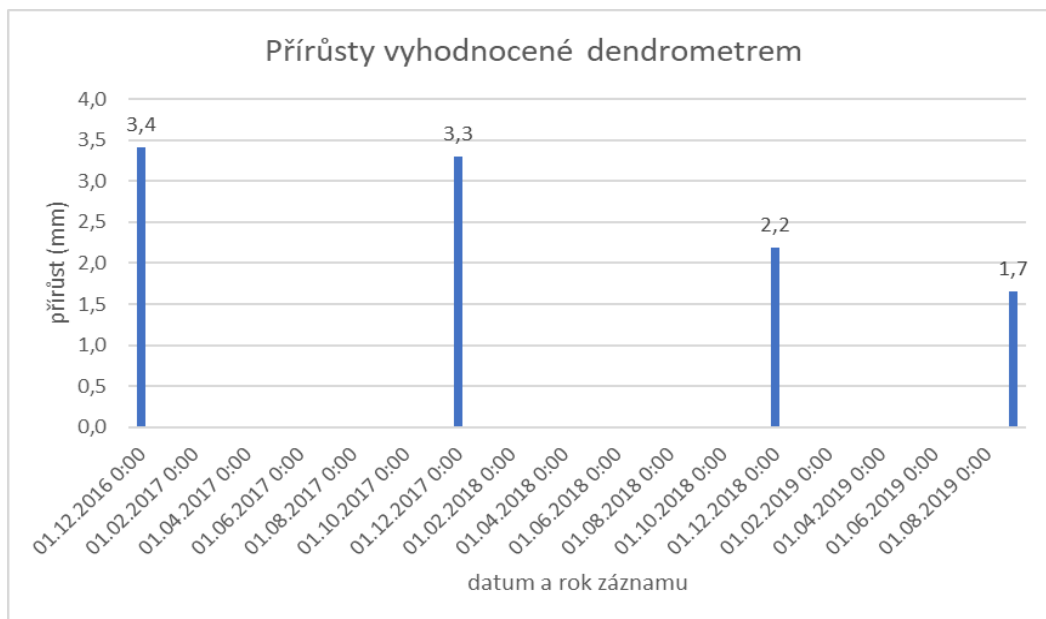
Obrázek 15 Výsledné křivky z programu Mini 32.

Osa vertikální v horní polovině, označená Increment (mm) zobrazuje rozpětí přírůstu obvodu kmene měřeného stromu a osa ve spodní polovině označená Temperature (C°) znázorňuje teplotu.



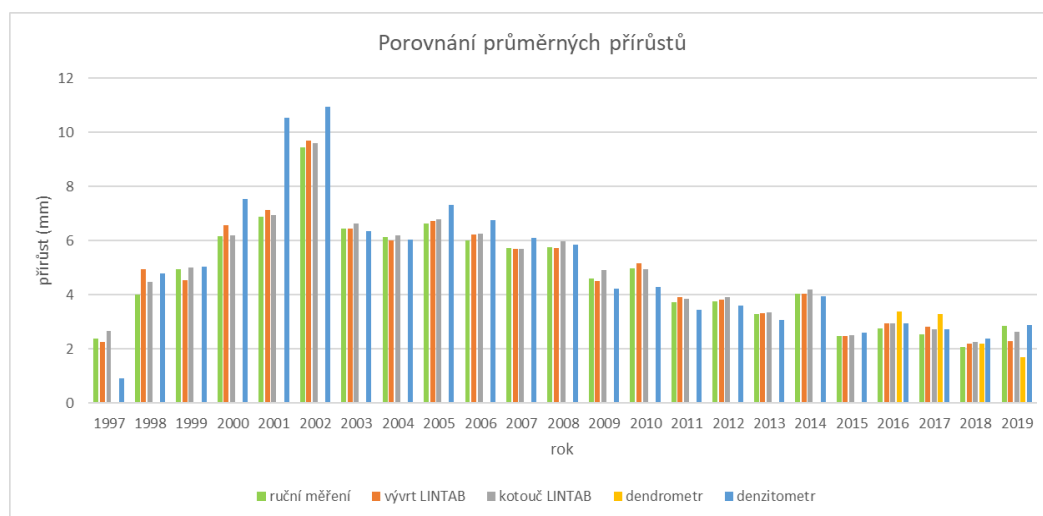
Obrázek 16 Výsledky z dendrometru

Na obrázku 16 je období 4.4. roku 2018 až 8.9. 2019. Pro zhodnocení míry přírůstů byl zhotoven graf č. 3, který ukazuje, jaký byl přírůst douglasky v jednotlivých letech. Osa x znázorňuje roky i s daty a časem, osa y přírůst v milimetrech.



Graf č. 3 Přírůsty za jednotlivé roky vyhodnocené dendrometrem

Mezi rokem 2016 a 2017 přírůst klesl o 0,12 mm na 3,3 mm, za rok 2017 a 2018 klesl o 1,11 mm na výsledných 2,2 mm a pro období 2018 až 2019 klesl oproti předchozímu přírůstu o 0,53 mm na 1,7 mm. Největší přírůst byl tedy v roce 2016 a 2017.



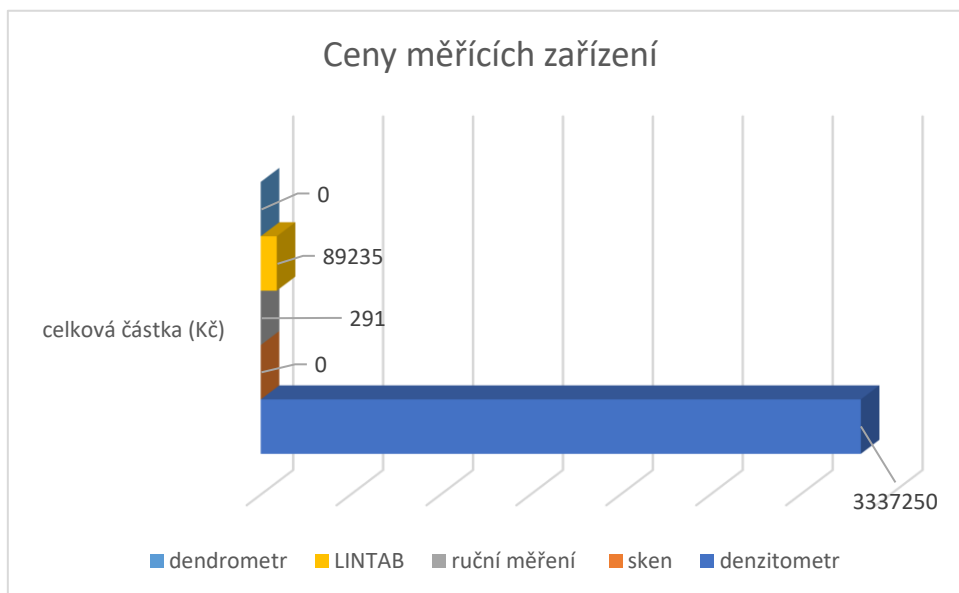
Graf č. 4 Porovnání naměřených šířek letokruhů

Odebrané vzorky z první douglasky, které byly odebrány a naměřeny všemi metodami znázorňuje graf č. 4. Z důvodu, že byl každý vzorek měřen z každé světové strany, byly výsledné hodnoty zprůměrovány a porovnávány byly výsledné hodnoty průměrných přírůstů.

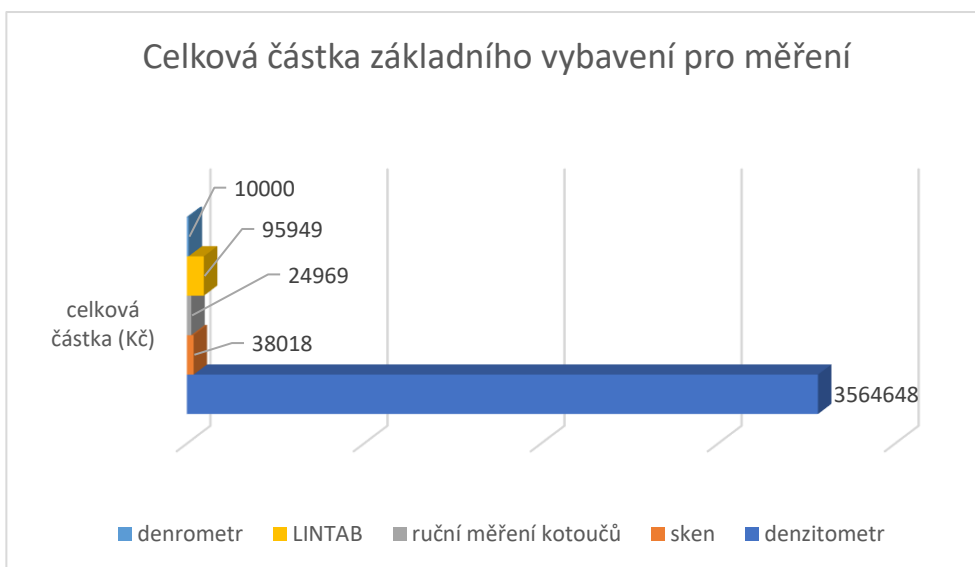
4.2 Náklady

K analýze je potřeba základního vybavení. Zde jsou znázorněny grafy, kde jsou zjištěné základní ceny bez DPH. Na grafu č. 5 jsou ceny pouze zařízení, která jsou potřeba k analýze a měření. Nejlevnější měření vychází sken a dendrometr, jelikož k samotné analýze je potřeba pouze programů Letokruhy a Mini 32, které jsou zdarma. V této bakalářské práci není zcela podrobně rozpočítávána ekonomická náročnost, ale jde pouze o přibližný přehled cenové náročnosti pro měření. Do základního vybavení nebyla nikde zohledněna potřeba počítače, jelikož je brán jako základní vybavení, které má v dnešní době skoro každý. Pro ruční měření bylo použito digitální posuvné měřítko, které stojí přibližně 291 Kč. Měřicí stůl Lintab 6 stojí 89 235 Kč a program Tsap-Win, který je k němu potřeba, je buď zdarma v základní verzi nebo v rozšířené verzi, která stojí 8 268 Kč. Je zde i možnost dokoupit ještě program CDendro, který se používá ke křížovému datování (cross dating), stojí 1 564 Kč. Nejdražší měřicí přístroj je

denzitometr, který stojí 3 337 250 Kč. Pro analýzu dat z dendrometru byl stažen program Mini 32, který lze získat zdarma.



Graf č. 5 Cena měřících zařízení, která jsou nutná k samotnému měření



Graf č. 6 Celková částka základního vybavení a měřících přístrojů

Graf č. 6 porovnává celkové částky nejnútnejšího vybavení, abychom vzorky získali a změřili. Nyní je vidět, že mezi nejlevnější metody patří dendrometr a ruční měření kotoučů, u kterého bylo počítáno pouze s motorovou pilou, kterou jsme potřebovali k pokácení douglasek. Nebyly zde započítány ochranné prvky, pro bezpečnou manipulaci s JMP, je zde uvedena pouze nákupní cena příslušné motorové pily, která stojí 22 999 Kč. Dále je potřeba ruční pátová bruska, stojící 1679 Kč. Celková cena tedy činila 24 969 Kč.

O něco více nákladnější vychází měření skenu, a to z jediného důvodu. Byla zde stejně jako u ručního měření kotoučů započítána JMP, ruční pásová bruska a k tomu skener, jehož cena činí 13 340 Kč. Program Letokruhy byl zdarma.

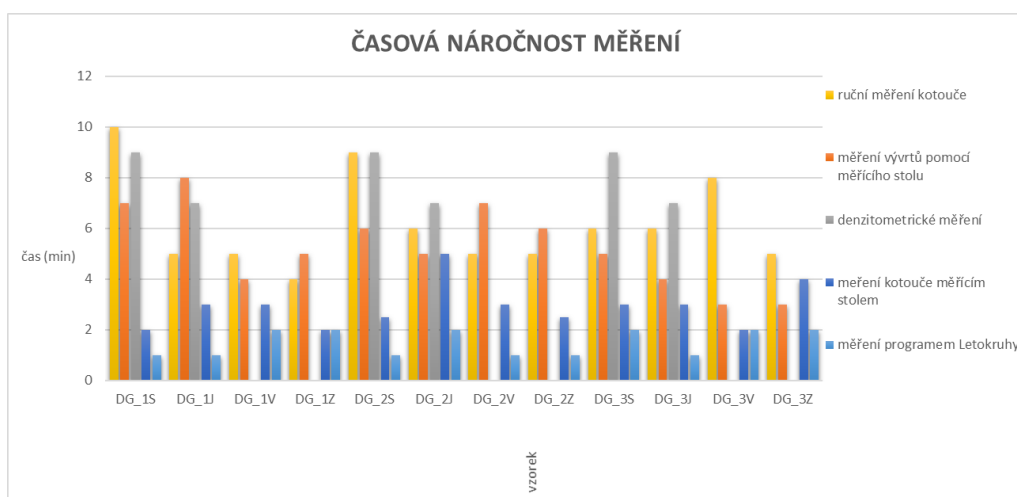
Pro měření vývrtů je potřeba mít k dispozici nebozez, jehož cena se pohybuje kolem 6710 Kč, měřicího stolu LINTAB stojícího 89 235 Kč a kousek brusného papíru o přibližné ceně 4 Kč. K potřebám mého měření nebyla potřeba mít placenou licenci, která jinak stojí 8268 Kč.

Cena dendrometru se pohybuje kolem 10 000 Kč a jiné nutné vybavení nebylo potřeba.

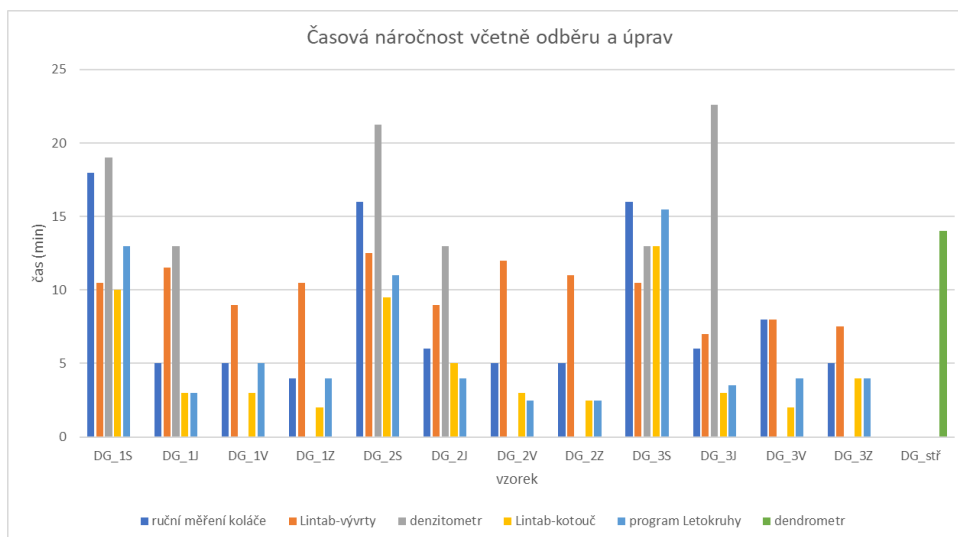
Denzitometrické měření bylo opět nejnákladnější ze všech typů metod měření. Celková částka se vyšplhala až na 3 564 548 Kč. Byla potřeba JMP, stolní pásová pila o hodnotě 4 399 Kč, dvoukotoučová pilka za 200 000 Kč a denzitometru QTRS-01X Tree Ring Scanner stojícího 3 337 250 Kč.

4.3 Výsledná hodnocení analýz

Pro srovnání náročnosti všech studovaných metod byl každý úkon měřen časomírou. Z výsledků v grafu č. 7 vychází, že samotné měření, je nejrychlejší provést programem Letokruhy nebo měřit kotouče měřícím stolem LINTAB. Střední časová náročnost je u měření vývrtů (měřícím stolem LINTAB). Ruční a denzitometrické měření bylo časově nejnáročnější. Díky tomu, že byla nastavena měřicí rychlost denzitometru na 4, měření tudíž probíhalo rychleji. Jinak by byla tato metoda časově nejnáročnější.

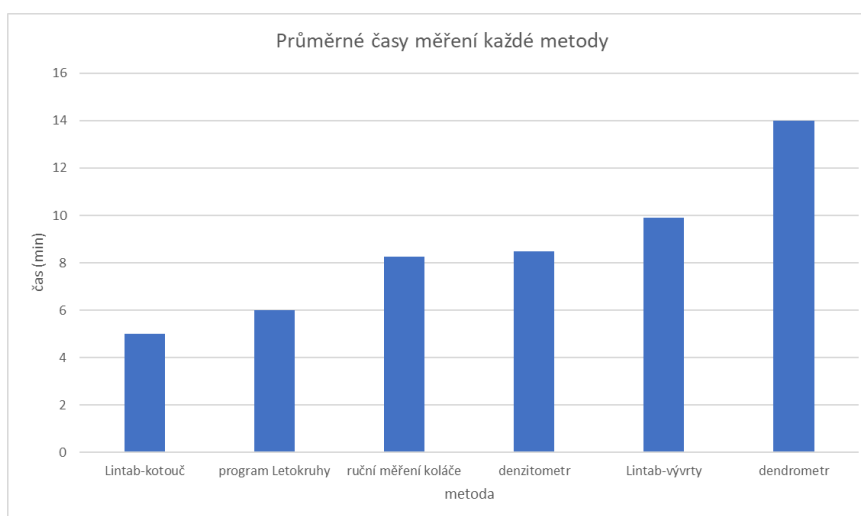


Graf č. 7 Časová náročnost měření



Graf č. 8 Výsledný graf porovnávající časovou vytiženost celého procesu

Pro srovnání celkové časové náročnosti studovaných metod byl vytvořen graf č. 8. Do grafů byly sumarizovány všechny jednotlivě naměřené časy od odběru přes úpravy vzorků, editaci v jednotlivých programech po samotné měření. Pro srovnání časové náročnosti odběru a úprav i dendrometrického měření byly do grafu č. 8 vloženy časy celého procesu. Pro přehled byl měřen čas instalace dendrometru na douglasku, která trvala přibližně 4 minuty a iniciace dendrometru (5 min). Stažení dat z dendrometrů trvá 3 minuty a vyhodnocení přibližně také 3 minuty. Výsledný čas je porovnáván v grafu č. 6 s ostatními metodami pro každý vzorek zvlášť. Nejdelším procesem při práci s dendrometrem, je doba trvání sběru dat. Pro rychlejší orientaci v časové náročnosti byly naměřené časy všech měření zprůměrovány v grafu č. 9. Nejdelší metodou byl dendrometr a nejrychlejší bylo použití měřicího stolu LINTAB s kotoučem.



Graf č. 9 Průměrné časy při měření každou metodou

4.4 Hodnocení

V této práci bylo hlavním tématem zhodnotit klady a zápory daných měřících metod. Pro přehlednost byly vypracovány tabulky s bodovým hodnocením. Výsledek celkového hodnocení znázorňuje tabulka 7. Byly posuzovány různé typy měřících zařízení od běžně dostupných po velmi drahé a na zkušenosti významné metody.

V tabulce 2 bylo hodnoceno, jak samotné měření vychází dle grafu č. 7 časově nejlépe a nejhůře. Nejrychleji byly změřeny kotouče měřícím stolem LINTAB a sken v programu letokruhy, se kterým se pracuje velmi rychle. Nejpomaleji vyšlo ruční měření a denzitometr.

Tabulka 2

Časová vytiženost	Bodové hodnocení
Ruční měření kotouče posuvným měřítkem	2
Měření vývrtů měřícím stolem LINTAB	3
Denzitometr QTRS-01 Tree Ring Scanner	1
Měření kotouče měřícím stolem LINTAB	5
Analýza skenu (Letokruhy)	6
Dendrometr	4

1= nejpomalejší

6= nejrychlejší

Každý odběr vzorků byl různě fyzicky náročný. V tabulce 3 je zhodnoceno, která metoda je pro odběr vzorku náročná a která ne. Plátek pro denzitometr je hodnocen nejhůře, jelikož je zde zahrnuto kácení stromu a frézování na dvoukotoučové pilce, které musí být velmi přesné. Vývrt není velmi náročný na odběr, proto je hodnocen

třemi body. U dendrometru je maximální počet bodů, protože naměřená data stačí pouze stáhnout z přístroje a ihned s nimi může měřič pracovat v programu.

Tabulka 3

Náročnost odběru vzorků	Bodové hodnocení
kotouč	2
vývrt	3
plátek pro denzitometr	1
dendrometr	4

1= maximální náročnost

4= nízká náročnost

Každá analýza se liší v nárocích na zkušenosti měřiče, což je hodnoceno v tabulce. Pro měření měřícím stolem LINTAB a denzitometrem je potřeba získat zkušenosti pro učení hranic letokruhů, v této práci byly vzorky douglasky, ve kterých se vyskytovaly často falešné letokruhy. Práce se skenem v programu Letokruhy nebylo zdaleka náročné, uživatel musí znát základní informace pro rozpoznání letokruhové hranice. Ruční měření je hodnoceno pěti body, jelikož uživatel musí pouze umět pracovat s MS Excel a pokud i to dotyčný nezvládne, je možné zapisovat výsledky na papír. Do hodnocení byl zahrnut i odběr dat pro dendrometr.

Tabulka 4

Míra náročnosti na zkušenosti pro zvládnutí technologie	Bodové hodnocení
Měřicí stůl LINTAB	2
Denzitometr QTRS-01X Tree Ring Scanner	1
Sken kotouče (Letokruhy)	3
Ruční měření kotouče posuvným měřítkem	5

Dendrometr	4
------------	---

1= náročné

5= málo náročné na zkušenosti

Pro zkušené měřiče, kteří se tím živí, je důležitá taky pohodlnost měření. Pokud by měl měřič celý den pracovat s daným typem měření, byla zde vyhotovena tabulka 5 pro určení nejvíce vyhovující metody. Nejpohodlnější je měření denzitometrem QTRS. Do tohoto přístroje vložíte vzorek a poté pouze čekáte, až vám ho program QMS vyhodnotí, čímž získává měřič čas na jiné činnosti. Ruční měření je naopak hodnoceno nejhůře. Není to zcela pohodlná metoda pro sezení a měření, jelikož se měřič neustále předklání, aby viděl, zda měří ve správné směru správné letokruhy.

Tabulka 5

Pohodlnost měření pro uživatele	Bodové hodnocení
Ruční měření kotouče posuvným měřítkem	1
Měření vývrtů měřícím stolem LINTAB 6	4
Denzitometr QTRS-01X Tree Ring Scanner	6
Měření kotouče měřícím stolem LINTAB 6	5
Analýza skenu (Letokruhy)	3
Práce s daty z dendrometru	2

1= nepohodlné pro měřiče

6 = pohodlné pro měřiče

Tabulka 6 bodově hodnotí finanční náklady na jednotlivé soupravy dle grafu č. 6, který zahrnuje ceny veškerého vybavení.

Tabulka 6

Finanční náklady	Bodové hodnocení
Ruční měření kotouče posuvným měřítkem	5
Měření vývrtů měřícím stolem LINTAB 6	3
Denzitometr QTRS-01X Tree Ring Scanner	1
Měření kotouče měřícím stolem LINTAB 6	2
Práce se skenovým snímkem v programu Letokruhy	4
Dendrometr	6

1=nejnákladnější

6=nejlevnější

Tabulka 7

Závěrečné bodové vyhodnocení atraktivnosti daného způsobu analýzy	Celkový počet bodů
Ruční měření kotouče posuvným měřítkem	10
Měření vývrtů měřícím stolem LINTAB	15
Denzitometr QTRS-01X Tree Ring Scanner	10
Měření kotouče měřícím stolem LINTAB	16
Analýza skenu programem Letokruhy	18
Dendrometr	20

V tabulce 7 jsou sečteny všechny udělené body k jednotlivým metodám. Ruční měření posuvným pravítkem vyšlo společně s denzitometrem QTRS-01X Tree Ring Scanner mezi nejméně bodované metody. Denzitometr je velmi nákladný a odběr vzorků není zrovna lehký, a hlavně musí tento přístroj obsluhovat proškolená osoba, to u ručního měření není potřeba, za to nepatří mezi pohodlné metody a odběr kotouče také není lehký. Měření vývrtů a kotouče měřícím stolem LINTAB je hodnoceno 15 a 16 body. Mezi nejvíce hodnocené řadíme analýzu skenu programem Letokruhy a dendrometr. Jsou to levné a efektivní metody, které nevyžadují mnoho zkušeností s daným přístrojem pro získání a následnou práci s daty.

5 Diskuse

5.1 Měřící stůl s lupou

Předmětem této práce bylo zhodnocení náročnosti metod, kterými jsme se zde zabývali. Jako první jsme zvolili odběr a následnou analýzu vývrtů. Tato metoda patří mezi středně atraktivní metody měření, jak ukazuje závěrečné hodnocení v tabulce 7. Odebrat vývrty není velmi fyzicky náročné, lepení a broušení také ne. Úskalí v odběru vzorku je pouze tehdy, kdy se vzorek rozlomí. Samotné měření je založeno na zkušenostech měřiče. Pokud se analyzují spíše jehličnaté dřeviny, je u nich lépe vidět přechod jarního a letního dřeva, a tudíž není tak těžké zhotovit chronologii. Některé dřeviny, jako je buk dělají problém v určení hranice, tuto problematiku demonstruje v diplomové práci Dušátko (2017), který po změření vývrtů zhotovil pomocí programu CDendro průměrnou křivku k jeho studovaným dřevinám, aby tyto nedostatky při měření opravil. Cílem této práce nebylo trápit se složitou chronologií, a proto byla vybrána douglaska u které jsou většinou kvalitně vidět letokruhy. Avšak i u ní je potřeba dávat pozor na falešné letokruhy. Cena se pohybovala okolo 95 949 Kč.

5.2 Skenování

Analýza skenu vzorků byla nejrychlejší metoda měření, nebyla náročná na znalosti, které jsou potřebné například při měření posuvným stolem LINTAB nebo při práci s denzitometrem. K odběru a úpravě vzorků je však potřeba určité manuální zručnosti. Výhoda skenování vzorků je, že po odběru a naskenování je možno provést měření kdekoli na počítači, díky tomu nejste vázáni na laboratoř, jako je to v případě měření posuvným stolem. V poslední době je snaha vše automatizovat, ve výzkumu Fabijan'ska et al. (2017) skenovali vývrty a následně se snažili pomocí automatické detekce letokruhů určovat hranice. Výsledkem však bylo, že ačkoliv chyba v detekci nebyla tak velká, stroj nebo program nenahradí zkušenosti lidského měřiče.

5.3 Denzitometr

Náročnější na odběr a přípravu vzorků, avšak s kvalitními a přehlednými výsledky je denzitometrická analýza. Tato metoda je náročnější při odběru a přípravě vzorků, kde je potřeba naprosté přesnosti při práci s dvoukotoučovou pilkou DENDROCUT 2003 (Walesh Eletronics, Illnau-Effretikon, Švýcarsko). Dále je důležité mít proškolenou obsluhu, aby zadala všechna data a výpočty hustoty správně, a také aby neotvírala přístroj dříve, než je pro osobu bezpečné, jelikož přístroj pracuje s rentgenovým zářením.

Výsledky jsou poměrně rychle vygenerované. Samozřejmě záleží, jaká kvalita měření je nastavena. Čím kvalitnější, tím je měření vzorku časově náročnější. Heines et al. (2018) využívají také denzitu dřeva k určení hranice letokruhu. V jejich výzkumu nepoužívají malé plátky, jako to bylo v této práci, ale vloží vývrty do Itrax skeneru (Cox Analytical System, Sweden) s podobnými výsledky.

5.4 Ruční měření

Toto měření patřilo při výzkumu mezi nejhůře hodnocené. Oproti ostatním metodám je náročnější zapisování hodnot, ale jeho výhodou jsou nízké náklady pro měření, a proto jde o dostupnou variantu i pro oblasti s nízkou finanční podporou (Afrika a jiné rozvojové země). Vzorek byl oproti ostatním metodám po měření nejvíce poničen při měření posuvným měřítkem. Tato metoda vyjde přibližně na 24 969 Kč, jelikož je potřeba motorové pily, která je na tomto měření nejdražší. Samotné posuvné digitální měřítko se pohybuje okolo částky 291 Kč, tím pádem je na tomto měření největším kladem cena. Pro ještě levnější variantu by byla možnost měřit pouze vývrty a ne kotouče. Tímto by klesla cena na 7 005 Kč, jelikož by byla potřeba pouze Presslerův lesnický nebozez, brusný papír a posuvné měřítko. Pro ještě levnější variantu by bylo možné použít pravítko, které je k dostání za velmi nízkou cenu.

5.5 Dendrometr

Neustálý přísun dat můžeme získat snad jediné z přírůstoměrů. Data byla po hodinových intervalech snímána společně s teplotou. Tento způsob měření je nedestruktivní a pokud je potřeba, kovové pásy se dají povolit a zvětšit obvod k dalšímu měření. Jako nevýhoda se může jevit, že dendrometrem získáme pouze data od toho roku, kterého se přístroj nainstaloval. To je pak nemožné použít pro datování. Tyto analýzy jsou vhodné pro výzkum vlivu počasí a jiných faktorů na přírůst letokruhů, jako se zabýval například Chábera (2018) ve své bakalářské práci, kde bylo hodnoceno, jaká je sezonní dynamika tloušťkového přírůstu vybraných dřevin.

6 Závěr

Měření letokruhů je velmi zajímavá vědní disciplína, která nám může říct velmi zajímavé informace. S tímto se pojí nutnost co nejvhodněji zvolit metodu měření, v souvislosti s materiálním a finančním, případně časovým potenciálem.

Měření vývrtů pomocí měřicího stolu není časově náročná záležitost. Je zde potřeba pouze určité zkušenosti. Pro uživatele je to velmi pohodlná metoda měření, která není ani časově náročná a poskytuje velmi kvalitní data. Avšak negativum pro tuto metodu je, že je měřič vázán na laboratoř, kde se daná měřičská souprava nachází oproti ručnímu měření, kde není potřeba žádných přístrojů, jen posuvného měřítka či obyčejného pravítka. Tuto metodu měření letokruhů je vhodné používat pro přesné chronologie, kde můžeme trendy křivek upravovat v programu CDendro a datovat tak velmi přesně ekologické události. Cena základního vybavení se pohybuje kolem 95 949 Kč a měřicí souprava poskytuje velmi kvalitní data za poměrně krátkou dobu v souhrnu celého procesu od odběru po měření.

Nevýhodou měření skenu je nutné pokácení celého stromu, což je nereálné pro zachování životních funkcí stromu a v podstatě nám poskytuje podobná data, jaká získáme z vývrtů, akorát za nižší cenu. Proto bychom si měli rozmyslet, zda není lepší pouze odebrat vývrty. Zde je atraktivní převážně pohodlnost, rychlost a cena celkové výbavy pro měření, což činí 38 018 Kč. Podle výsledků hodnocení patří analýza skenu programem Letokruhy mezi nejvíce atraktivní metody měření.

Při práci s denzitometrem je nutné mít proškolenou obsluhu, která dokáže pracovat s přístrojem a programem kvalitně. U tohoto přístroje lze nastavit rychlost měření a pokud by nám záleželo hlavně na denzitě vzorku, museli bychom čekat na výsledek alespoň jedenkrát tolik času, než jsme naměřili v této práci. Dalším negativem je pořizovací cena přístroje a vybavení pro měření vzorku. Přístroj je poměrně nákladný, jelikož celková cena se pohybuje ve výši 3 564 648 Kč. Pozitivum této metody je však v kvalitním měření vzorku, s mnoha dalšími získanými hodnotami, jelikož měří nejen šířku letokruhu, ale i denzitu. Tato metoda se hodí do výzkumných ústavů, ale pro základní měření není nutné tak nákladnou soupravu pořizovat.

Pro nejzákladnější měření však stačí odebrat vývrt, zajistit si posuvné měřítko či pravítko a změřit si šířky letokruhů ručně. Je to nejlevnější metoda, pokud chceme získat celou chronologii.

Nejlépe hodnocená metoda, která není nákladná a poskytuje kvalitní výsledky je sběr dat pomocí dendrometru. Cena přístroje se pohybuje kolem 10 000 Kč, avšak jedním velkým záporem je doba čekání na výsledky.

Z výčtu informací je nejvýhodnější dendrometr, pokud nepotřebujeme celou chronologii. Cenově se pohybuje v přijatelné míře a výsledky má velmi kvalitní. Další metoda měření, kterou bych podle výsledků a zkušeností doporučila, je použití stolu LINTAB, při kterém měřič zvládne určit i špatně viditelné anomálie letokruhů. Měřič je schopen poměrně v pohodlí za krátkou dobu změřit libovolné vzorky, například vývrt nebo kotouč. Avšak každá metoda má své klady i zápory, a proto bychom měli vždy volit takovou metodu, která je nám nejbližší.

7 Seznam použité literatury

BRÄKER, O. U. Measuring and data processing in tree-ring research – a methodological introduction. *Dendrochronologia*. 2002, vol. 20, no. 1-2, s. 203-216. DOI: <https://doi.org/10.1078/1125-7865-00017>.

CAMPELO, F.; MAYER, K. & GRABNER, M. xRing-An R package to identify and measure tree-ring features using X-ray microdensity profiles. *Dendrochronologia*. 2019, vol. 53, s. 17-21. ISSN: 1125-7865.

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

DREW, D. & DOWNES, G. M. The use of precision dendrometers in research on daily stem size and woodproperty variation: A review. *Dendrochronologia*. 2009, vol. 27, no. 2, s. 159-172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.06.008>.

DUBOVSKÝ, J.; BABIAK, M. & ČUNDERLÍK, I. Textúra, štruktúra a úžitkové vlastnosti dreva: návody na cvičenia. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 2001. 106 s. ISBN 80-228-1014-2.

DUŠÁTKO M. *Vývoj struktury primárních smíšených temperátních lesů v závislosti na režimu disturbancí*. Praha, Diplomová práce, 2017. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí. 72 s.

FABIJANSKA, A.; BARNIAK, J. & PIORKOWSKI, A. Towards automatic tree rings detection in images of scanned wood samples. *Computers and electronics in agriculture*. 2017, vol. 140, s. 279-289. ISSN 0168-1699

GAITAN-ALVARE, J.; MOYA, R. & BERROCAL, A. The use of X-ray densitometry to evaluate the wood density profile of *Tectona grandis* trees growing in fast-growth plantations. *Dendrochronologia*. 2019, vol. 55, s. 71-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.04.004>.

GRANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P. & ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. 3. vyd. nezměn. Ediční středisko MZLU v Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.

HAINES, H. A.; GADD, P. S.; PALMER, J.; OLLEY, J. M.; HUA, Q. & HEIJNIS, H. A new method for dating tree-rings in trees with faint, indeterminate ring boundaries

using the Itrax core scanner. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2018, vol. 497, s. 234-243. ISSN 0031-0182.

HOFMAN, J. *Pěstování douglasky*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1964. 253 s.

CHÁBERA, J. *Zhodnocení sezonní dynamiky tloušťkového přírůstu vybraných dřevin v Arboretu FLD v Kostelci nad Černými lesy*. Praha, Bakalářská práce, 2018. Fakulta Lesnická a dřevařská při ČZU. 99 s.

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

KANTOR, P. & MAREŠ, R. Production potential of Douglas fir in acid sites of Hůrky Training Forest District, Secondary Forestry School in Písek. *Journal of forest science*. 2009, vol. 55, no. 7, s. 312–322. DOI: <https://doi.org/10.17221/2/2009-JFS>.

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

NOVÁK, J. & SKALICKÝ, M. *Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika*. 4. rozšířené a upravené vyd. Praha: Powerprint, 2017. 344 s. ISBN 978-80-7568-036-5.

PAGOTTO, M. A.; ROIG, F. A.; RIBEIRO, A. S. & LISI, C. S. Influence of regional rainfall and Atlantic sea surface temperature on tree-ring growth of *Poincianella pyramidalis*, semiarid forest from Brazil. *Dendrochronologia*. 2015, vol. 35, s. 14-23. ISSN: 1125-7865.

POLGE, H. The Use of X-Ray Densitometric Methods in Dendrochronology. *Tree-Ring Bulletin*. 1970, vol. 30, no. 1-4, s. 1-10. ISSN 0041-2198.

POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S. & BABIAK, M. *Struktúra a vlastnosti dreva*. 1. vyd. Bratislava: Príroda, 1993. 485 s. ISBN 80-07-00600-1.

ROČEK, I.; MUSIL, I. & CHALUPA, V. *Arboretum Lesnické fakulty České zemědělské univerzity v Praze: Kostelec nad Černými lesy*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, Lesnická fakulta, 1998. 79 s. ISBN 80-213-0413-8.

ROZENBERG, P.; SCHÜTE, G.; IVKOVICH, M.; BASTIEN, C. & BASTIEN, J.C. Clonal variation of indirect cambium reaction to within-growing season temperature changes in Douglas-fir. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2004, vol. 77, no. 4, s. 257-268. ISSN: 0015-752X.

SLODIČÁK, M.; NOVÁK, J.; MAUER, O. & PODRÁZSKÝ, V. *Pěstební postupy při zavádění douglasky do porostních směsí v podmínkách ČR*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2014. 272 s. ISBN 978-80-7458-65-9.

SPEER, J. H. *The Fundamentals of Tree-Ring Research*. Tuscon, AZ, USA: University of Arizona Press, 2009, 509 s. ISBN 0816526850.

SVOBODA, J. & DOHNANSKÝ, T. Douglaska tisolistá v České republice. *Lesnická práce*. Kostelec nad Černými lesy: Čs. matice lesnická, 2014. vol. 93, no. 8, s. 14-17. ISSN 0322-9254.

ŠLEZINGEROVÁ, J. & GANDELOVÁ, L. *Stavba dřeva*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. 187 s. ISBN 80-7157-636-0.

TIMKO, L. *Srovnání stavby a vybraných vlastností dřeva douglasky tisolisté z různých stanovišť*. Brno, Diplomová práce, 2015. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 120 s.

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

ZEIDLER, A. & BOMBA, J. Stavba a vlastnosti dřeva douglasky tisolisté. *Lesnická práce*. Kostelec nad Černými lesy: Čs. matice lesnická, 2014. vol. 93, no. 8, s. 20-22. ISSN 0322-9254.

ZRŮSTKOVÁ, I. *Dendrochronologické datování a stavebně-technický průzkum vodního mlýnu ve Křtinách*. Brno, Diplomová práce, 2017. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 88 s.

7.1 Internetové odkazy

(www.1)

KUČERA, J. *Environmental Measuring Systems: Denrometer Increment Sensor DRL 26A,B,C* [online]. Brno, 2015 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z WWW: <[http://www.emsbrno.cz/r.axd/pdf_v_DRL26A__C__userman_u_pdf.jpg?ver=>](http://www.emsbrno.cz/r.axd/pdf_v_DRL26A__C__userman_u_pdf.jpg?ver=).

(www.2)

RINNTECH. *LINTAB 6: Tree-ring measurement station* [online]. Heidelberg : Germany, 2019 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z WWW:

<<https://www.arborobchod.cz/download.php?fid=306359>>.

(www.3)

Česká zemědělská univerzita v Praze. *Arboretum FLD: Kostelec n. Č. lesy* [online]. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z WWW: <<https://arboretum.czu.cz/cs/r-12506-o-arboretu#i-0d2b7cc9dbcaf0935fd159ccfe19345d>>.