

Mendelova univerzita v Brně  
Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě

**Rozšíření české dubové standardní chronologie  
o letokruhové křivky ze subfosilních dubových  
kmenů z Polabí**

**Diplomová práce**

Prohlašuji, že jsem práci: Rozšíření české dubové standardní chronologie o letokruhové křivky ze subfossilních dubových kmenů z Polabí vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:

.....

Bc. Michal Jelínek

▪ **Poděkování:**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Tomáši Kolářovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a trpělivost při zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalu Rybníčkoví, Ph.D. za rady a poskytnuté materiály.

Mé poděkování patří i mojí rodině, bez jejíž podpory by mé studium nebylo možné.

Dále bych rád poděkoval své přítelkyni Lence Homolkové za podporu a pomoc při vypracovávání této diplomové práce.

# **Rozšíření české dubové standardní chronologie o letokruhové křivky ze subfossilních dubových kmenů z Polabí**

**Michal Jelínek**

## **Abstrakt**

Subfossilní kmeny jsou nezkamenělá dřeva, jejichž nálezy jsou na území ČR vzácné. Cílem práce bylo vyhledat a odebrat vzorky ze subfossilních kmenů z oblasti Polabí, provést dendrochronologickou analýzu a následně letokruhové křivky datovat podle dostupných českých i zahraničních standardních chronologií. Současně také dohledat a shromáždit již dříve odebrané subfossilní kmeny z dané oblasti. Vybrané letokruhové křivky dále použít k prodloužení a vylepšení české dubové standardní chronologie. Vybrané vzorky, které nebude možné dendrochronologicky datovat, budou odeslány na radiouhlíkové datování a následně tyto výsledky využity pro dendrochronologické datování. Pro účely této práce bylo dendrochronologicky zpracováno celkem 122 nových subfossilních nálezů z oblasti Polabí, z nichž 3 byly připraveny a odeslány na radiouhlíkové datování. Většina subfossilních kmenů byla identifikována jako dub, pouze 5 vzorků jako jilm. Úspěšně bylo datováno 96 vzorků, přičemž nejvíce do dvou období: 3500–3200 př.n.l. a 133 př.n.l.–115 n.l. Na lokalitě Kostomlátky byl nalezen také nejstarší subfossilní dubový kmen území ČR, jehož letokruhy pokrývají období od roku 8181 do roku 7971 před naším letopočtem. Díky těmto nálezům se podařila rozšířit česká standardní chronologie..

## **Klíčová slova:**

dendrochronologie, Polabí, radiouhlíkové datování, standardní chronologie, subfossilní dub

## **Extension of the Czech oak standard chronology using tree-ring series from subfossil trunks from the Polabí region**

### **Abstract**

Subfossil trunks are unfossilized woods which are discovered rarely in the Czech Republic. The aim of this work was to find, sampled and dated subfossil trunks from the Polabí region. Available Czech and foreign standard chronologies were used for dendrochronological dating of tree-ring series. Simultaneously, earlier sampled subfossil trunks from the study area were assembled. The chosen tree-ring series were used to extension and improvement of the Czech oak standard chronology. Selected samples, which were not possible to dendrochronologically date, were sent for radiocarbon dating. For a purpose of this work, 122 new subfossil findings were dendrochronologically processed from the Polabí region and three samples were prepared and sent for radiocarbon dating. The major part of subfossil trunks was identified as an oak and only 5 samples as an elm. In total, 96 samples were successfully dated mostly into two periods: 3500–3200 BC and 133 BC–155 AD. In Kostomlátky location, the oldest oak subfossil trunk in the Czech republic was found – the tree-ring series covers the period 8181–7971 BC. Thanks to these subfossil findings, the Czech oak standard chronology could be extended.

### **Key words:**

dendrochronology, Polabí region, radiocarbon dating, standard chronology, subfossil oak

## OBSAH

1. ÚVOD .....	9
2. CÍL PRÁCE.....	10
3. LITERÁRNÍ PŘEHLED .....	11
3.1 Dub .....	11
3.1.1 Rozšíření a nároky na půdu a klima .....	12
3.1.2 Makroskopická stavba dřeva .....	13
3.1.3 Mikroskopická stavba dřeva.....	14
3.1.4 Využití dřeva .....	14
3.1.5 Subfossilní dřevo dubu .....	15
3.1.6 Využití dubu v dendrochronologii .....	16
3.2 Dendrochronologie.....	17
3.2.1 Princip .....	17
3.2.2 Odběr vzorků.....	18
3.2.3 Radiální přírůst dřeva – Letokruhy .....	20
3.2.4 Faktory ovlivňující tloušťkový přírůst .....	22
3.3 Radiouhlíková metoda datování.....	25
3.3.1 Princip Radiouhlíkového datování .....	25
4. METODIKA.....	27
4.1 Identifikace druhu dřeva.....	27
4.2 Dendrochronologická analýza.....	27
4.2.1 Odběr vzorků.....	27
4.2.2 Příprava vzorků .....	29
4.2.3 Měření šířky letokruhů .....	30
4.2.4 Křížové datování .....	31
4.2.5 Statistické výpočty používané v PAST 4 .....	32
4.3 Metodika radiouhlíkového datování.....	34

4.3.1	Příprava vzorků .....	34
5.	MATERIÁL .....	35
5.1	Kostomlátky .....	35
5.1.1	Lokalizace a popis obce Kostomlátky .....	35
5.2	Mnichovo Hradiště .....	36
5.2.1	Lokalizace a popis Mnichova Hradiště .....	36
5.3	Sandberg .....	37
5.3.1	Lokalizace a popis Sandberg .....	37
5.4	Hradištko 1 .....	39
5.4.1	Lokalizace a popis Hradištko 1 .....	39
6.	VÝSLEDKY .....	40
6.1	Výsledky dendrochronologické analýzy – Nové vzorky .....	40
6.1.1	Kostomlátky .....	40
6.1.2	Mnichovo hradiště .....	48
6.1.3	Sandberg .....	50
6.2	Výsledky dendrochronologické analýzy – Staré vzorky .....	52
6.3	Rozšíření české standardní dubové chronologie .....	54
7.	DISKUZE .....	55
8.	ZÁVĚR .....	58
9	SUMMARY .....	59
10	SEZNAM LITERATURY .....	60

## 1. ÚVOD

Dub je v České republice jednou nejrozšířenějších listnatých dřevin, přesto jeho podíl ze současné skladby lesů tvoří pouze 7,1%, což představuje 185 044 ha (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky 2015). V současné době je dub na našem území nejvíce zastoupen dvěma druhy: dubem letním (*Quercus robur* L.) a dubem zimním (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Dub letní je náročný na půdu a roste nejlépe na hlubokých hlinitých půdách nacházejících se v lužních lesích. Jeho rozšíření má převážně pásovité charakter daný průběhem toků řek. Dub zimní roste v podmínkách s nedostatkem vláhy, jako jsou silně vysychavá a suchá stanoviště lesostepní na spraších a na skalnatých podkladech (Úradníček a kol., 2010).

Do střední Evropy dub migroval s koncem doby ledové a počátkem Holocénu (Rybníčková, 1985). Dnes mohou být pozůstatky těchto dubových lesů objeveny v podobě tzv. subfossilních kmenů. Subfossilní dřevo je nezkamenělé dřevo, které bylo uloženo po stovky až tisíce let v bažinách, řekách nebo v sedimentech. V současnosti jsou subfossilní kmeny nacházeny převážně v přirozeně meandrujících úsecích řek nebo na štěrkovnách a pískovnách. Na našem území se tyto kmeny nachází především v neregulovaných úsecích toků našich velkých řek jako jsou Labe, Vltava, Morava. Dále pak ve štěrkovnách užívajících mokré způsob těžby a ležících v povodí těchto řek.

Dub je jedna z nejpoužívanějších dřevin v dendrochronologii. Díky velmi dobré trvanlivosti jádra se uchovává po stovky až tisíce let a je tedy vhodný pro tvorbu dlouhých standardních chronologií (Rybníček, 2007). Subfossilní dřevo je vhodným materiálem právě pro prodlužování standardních dubových chronologií dále do minulosti v obdobích, kdy archeologické nálezy už jsou velmi omezené (Leuschner a Delorme, 1988, (Becker 1993). Dlouhé a dobře proložené standardní chronologie jsou pak vhodným nástrojem pro datování dalších nálezů dřeva na daném území (Rybníček, 2003).



## **2. CÍL PRÁCE**

Práce měla dva hlavní cíle. Prvním cílem práce bylo odebrat vzorky subfosilních kmenů z dané oblasti, provést dendrochronologickou analýzu a křivky datovat podle dostupných českých i zahraničních standardních chronologií. Současně také dohledat a shromáždit již dříve odebrané subfosilní kmeny z dané oblasti. Vybrané datované letokruhové křivky dále použít pro zlepšení a prodloužení české dubové standardní chronologie CZGES2010.

Druhým cílem bylo provést přípravu vybraných nedatovaných vzorků pro radiouhlíkové datování. Výsledky datování následně vyhodnotit a pokusit se vzorky opětovně datovat dendrochronologicky.

### 3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

#### 3.1 Dub

Na základě pylové analýzy a analýzy makro zbytků bylo zjištěno, že první duby se u nás začaly objevovat 12 000 let př.n.l. a to v nejjihnějších částech Moravy. Během 11 500 let př.n.l. dochází k úbytku dubů, zůstává v jižní části Českomoravské vrchoviny a v období 11 000 let př.n.l. se rozšiřuje do jižních Čech k Vltavě. V období 10 000 let př.n.l. dochází k dalšímu úbytku dubů, ojediněle se vyskytují v jižní části Českomoravské vrchoviny a na jižní Moravě u Vracova. Od 9 000 až 8 000 let př.n.l. dochází k velmi rychlému šíření dubu, až 500 m za rok. U nás je rozšířen po celém území Moravy neobsazena zůstává pouze jihozápadní část Čech za bariérou Šumavy a Českého lesa až ke střední Vltavě. Během období od 7 000 až 5 000 let př.n.l. dochází ke stálému zvyšování zastoupení dubů, u nás je už dub rozšířen po celém území. Největší zastoupení dubu je při naší hranici s Rakouskem. V období 4 000 let př.n.l. si dub uchovává vysoké zastoupení na celém území našeho státu, nejvíce pak v oblasti jižní Moravy a u severozápadních hranic Rakouska. Během období 3 000 let př.n.l. začíná dub ustupovat v širokém pásu od jihozápadu Čech k severovýchodu, to znamená od Šumavy a Českého lesa k Orlickým horám a Broumovskému výběžku. K úbytku dubu dochází kvůli rozšiřujícímu se zastoupení borovice na tomto území. V letech 2 000 až 1 000 let př.n.l. ústup dubu nadále pokračuje, dub je vytlačován borovicí ze všech pohraničních hor. Dominantní postavení si nadále dub udržuje pouze ve středních Čechách kolem Labe a Ohře. V období 500 let př.n.l. dochází k pokračování úbytku dubů v důsledku osidlování a využívání dřeva lidmi. Dub je nadále nejvíce zastoupen v oblasti středních Čech a jižní Moravy (Rybníčková 1985).

V současnosti je dub zastoupen v lesních porostech v České republice přibližně 7,1 % (Tab. 1). Je to čtvrtá nejčetnější dřevina u nás, po smrku (50,6 %), borovicí (16,5 %) a buku (8,2 %). Přitom v přirozené skladbě lesů byl dub zastoupen dokonce 19,4 %. Střední plošný věk je k roku 2015 na území ČR u dubu 71 let (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2015).

Tab. 1: Zastoupení dubu v ha a % z celkové plochy porostní půdy ČR (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2015)

Dřevina	Rok				
	2010	2012	2013	2014	2015
	plocha porostní půdy ha / %				
dub	178 466	182 327	184 180	184 441	185 044
	6,9	7,0	7,1	7,1	7,1

### 3.1.1 Rozšíření a nároky na půdu a klima

V České republice je dub nejvíc zastoupen dvěma druhy: dubem letním (*Quercus robur* L.) a dubem zimním (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), jejichž dřevo se z hlediska upotřebení nerozlišuje.

#### 3.1.1.1 Dub zimní (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)

Dub zimní roste většinou v podmínkách se značným nedostatkem vláhy, vydrží od stanovišť, která v létě silně vysychají, až po výrazně suchá lesostepní stanoviště na spraších nebo na skalnatých podkladech. Jelikož nesnáší stoupání spodní vody nevyskytuje se v záplavových oblastech. Jeho nároky na půdu jsou malé, roste i na kyselých a chudých půdách krystalinika nebo štěrkových teras. Snáší dobře i skalnaté podklady a je velice odolný vůči kouřovým plynům, proto se hodí do městského prostředí. U nás je doma ve všech teplejších pahorkatinách a je hlavní dřevinou oblastí jižní Moravy (Pavlovské kopce a Litenčické vrchy), dále zasahuje hluboko do Českomoravské a Dražanské vysočiny. Taktéž se vyskytuje v nižší části Oderských a Vsetínských vrchů a Beskyd (Úradníček a kol., 2010).

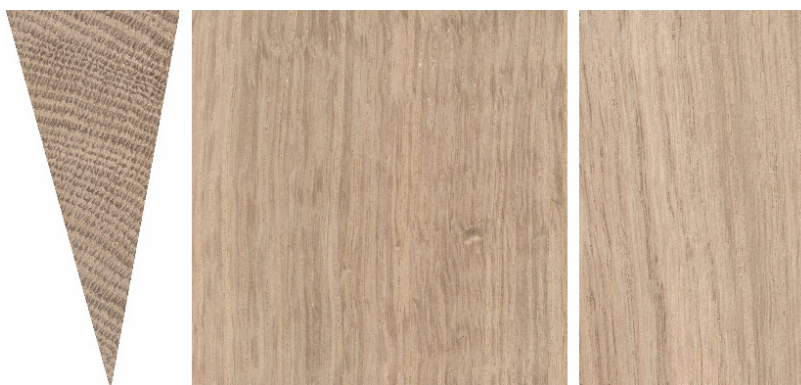
#### 3.1.1.2 Dub letní (*Quercus robur* L.)

Dub letní je světlomilnou dřevinou, která má o něco vyšší nároky než dub zimní. Rozlišujeme dva druhy ekotypu z hlediska požadavku na vláhu, běžně rozšířený ekotyp nalézající se zejména v lužních lesích, který má značné nároky na vláhu. Druhý ekotyp, který se vyznačuje schopností růst na mělkých, v létě silně vysychavých půdách a najdeme jej na lesostepních lokalitách. Dub letní je dřevina náročná na půdu a roste

nejlépe na hlubokých hlinitých substrátech, jaké nacházíme v lužních lesích nebo na spraších. Je částečně odolný i vůči solím v půdě. Ke klimatickým podmínkám je celkem lhostejný, avšak citlivý je k pozdním mrazům. Je také dosti tolerantní k imisím a daří se mu celkem dobře i v podmínkách velkých měst. Přirozený výskyt dubu letního má na našem území většinou pásovitý charakter závislý na průběhu toku řek. Místem výskytu je Polabí, Poohří, úvaly Hornomoravský, Dolnomoravský a Dyjskosvratecký, dále pak Třeboňská pánev. V malé míře se také vyskytuje i v jiných podmínkách, na teplých výslunných stráních, na živnějších podkladech, kde má nízký a křivý vzrůst. Tyto lokality se nachází například v Českém krasu, v Českém středohoří nebo na jižní Moravě (Úradníček a kol., 2010).

### 3.1.2 Makroskopická stavba dřeva

Oba druhy dubu, jak dub letní (*Quercus robur* L.), tak dub zimní (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) nemají pro účely dendrochronologie žádné patrné rozdíly v anatomické stavbě dřeva, a proto se obecně nerozlišují (Berger a kol., 1971). Dub spadá do skupiny listnatých dřevin s kruhovitě pórovitou stavbou dřeva. Na příčném řezu je vidět běl, která je u dubu úzká, nažloutlá a světle hnědá. Jádro je pak mohutné, žlutohnědé až tmavě hnědé. Má jasně zřetelnou hranici mezi letokruhy i hranici mezi jarním a letním dřevem, toto je typické pro kruhovitě pórovité dřeviny. Na radiálním řezu lze pozorovat velmi široké dřevové paprsky vytvářející tzv. zrcátka, na příčné řezu pak vytvářejí pásy kolmé k letokruhům a na tangenciálním řezu vytvářejí několik cm vysoké pásy. Mikropóry (úzké cévy 30–140  $\mu\text{m}$ ) nacházející se v letním dřevě tvoří pro dub tak charakteristický znak, radiální žíhání. Makropóry (široké cévy 150–350  $\mu\text{m}$ ) nacházející se v jarním dřevě tvoří zřetelné póry. Dřevo dubu řadíme mezi středně těžké  $\rho_0$  680  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a středně tvrdé 67,5 Mpa (Šlezingerová a Gandelová, 2004).



Obr. 1: Makroskopická stavba dřeva dubu, příčný řez, radiální řez a tangenciální řez (Vavrčík a kol., 2002).

### 3.1.3 Mikroskopická stavba dřeva

Jako u všech ostatních listnatých dřevin je dřevo dubu tvořeno čtyřmi typy buněk:

- cévy: vodivá funkce,
- cévice (tracheidy): cévovité s vodivou a vláknité s mechanickou funkcí,
- libriformní vlákna: mechanická funkce,
- parenchymatické buňky: zásobní funkce.

Na příčném řezu jsou letní cévy v radiálních seskupeních (V) a jarní cévy často jednotlivě. V jarních cévách se vyskytují thyly, dále jsou zde úzké nebo velmi široké pásy parenchymatických buněk dřevných paprsků (Šlezingerová a Gandelová, 2004).



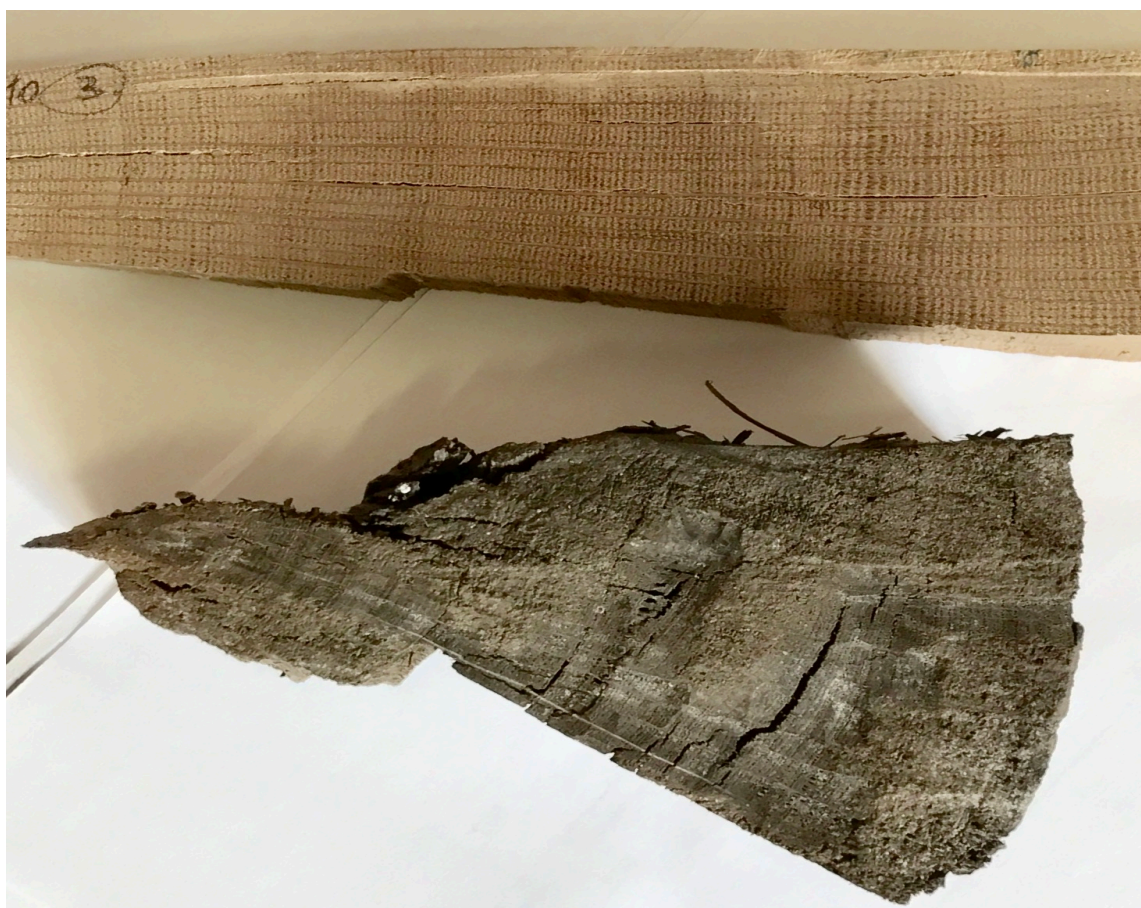
Obr. 2: Příčný mikroskopický řez dubu (Vavrčík a kol., 2002)

### 3.1.4 Využití dřeva

Jádrové dřevo z dubu je využíváno hlavně díky svému vysokému obsahu tříslovin a s tím související výbornou trvanlivostí ve vodě a vůči hnilobám ke stavbě lodí, vodních staveb, ale také v řezbářství, k výrobě dých, pražců, stavebního dříví, sudů a také nábytku. Dále se dřevo dubu využívá na parkety, prahy a schody. Dřevo dubu se dobře opracovává, hůře suší a velice obtížně impregnuje (Šlezingerová a Gandelová, 2004). Vzhledem k výborné trvanlivosti jádrového dřeva se dřevo dubu hojně nachází v archeologických nálezích (např. neolitické studny; Tegel a kol., 2012) nebo v podobě subfossilního dřeva (Kolář a Rybníček, 2011).

### 3.1.5 Subfossilní dřevo dubu

Subfossilní dřevo je nezkažené dřevo, uložené stovky až tisíce let v řekách, bažinách nebo morénových sedimentech (Kaennel a Schweingruber, 1995). Nejčastěji se v podobě subfossilního dřeva nachází právě dub, také často označovaný podle barvy jako „černý dub“ (Kalicki a Krąpiec, 1995). Změna barvy dřeva dubu je způsobena reakcí taninů obsažených ve dřevě s železitými složkami rozpuštěnými ve vodě. Intenzita této změny barvy je dána primárně dobou uložení a povahou usazeniny. Se změnou barvy dřeva dochází také ke změnám mechanických a fyzikálních vlastností (Govorčín a Sinkovič, 1995). V současnosti se subfossilní kmeny nacházejí podél neregulovaných toků velkých českých řek, jako jsou Labe, Vltava, Morava a ve šterkovnách ležících v povodí těchto řek, které užívají mokrého způsobu těžby (Kolář a Rybníček, 2011). Subfossilní dřevo je materiálem vhodným k sestavování nebo prodlužování standardních dubových chronologií (Pilcher a kol., 1984).



*Obr. 3: Dřevo recentního a subfossilního dubu*

### 3.1.6 Využití dubu v dendrochronologii

Dřevo dubu je pro dendrochronologické užití velmi vhodné, neboť stromy mají středně dlouhou dobu života, pokrývají širokou oblast a dřevo má zřetelné letokruhy (Schweingruber 1993). Problémy s měřením se vyskytují jen u vzorků s velmi úzkými letokruhy, kde se cévy jarního dřeva vyskytují na hranici druhého letokruhu. V takových případech, je často hranice letokruhu těžko rozpoznatelná. Kromě toho, narušený letokruh se často objevuje vedle širokých dřevných paprsků (Schweingruber 1993). Rozsah použití je široký a sahá od datování zpevnění řek a břehů jezer, lodí, dubových rakví a konstrukčního dřeva až po umělecké historické objekty všeho druhu, nábytku, soch či obrazů (Schweingruber 1993).

S ohledem na historii rozšíření dubu ve střední Evropě (viz kapitola 3.1) mohou nejstarší dubové nálezy na tomto území sahát až do počátku Holocénu. Důkazem toho jsou velmi dlouhé dubové chronologie :

Německo (Hohenheim) 8480 př.n.l. do současnosti (Becker, 1993; Spurk a kol., 1998; Friedrich a kol., 2004) – nejdelší dubová letokruhová chronologie na světě.

Německo 6255 př.n.l. do současnosti (Leuschner, 1992).

Irsko 5289 př.n.l. do současnosti (Baillie, 1995)

Polsko 1795-612 př.n.l. a 474 př.n.l. do současnosti (Krapiec, 1996, 2001)

Francie 450 př.n.l. do současnosti (Tegel a kol., 2010)

Dubová standardní chronologie pro Českou republiku byla poprvé vytvořena v roce 1995 (Poláček 2002). Postupně byly odebírány další vzorky. Nejnovější standardní chronologie byla vytvořena v roce 2010. Pro tvorbu dubové chronologie bylo použito 439 průměrných letokruhových křivek z 1911 jednotlivých letokruhových křivek. Výsledkem byla chronologie (nazvaná CZGES 2010) pokrývající období od 4682 př.n.l. do současnosti se nepřetržitou, souvislou částí od roku 352 n.l. do roku 2006 (Kolář a kol. 2012).

## 3.2 Dendrochronologie

Slovo dendrochronologie je složené z řeckých slov dendron (strom) a chronos (čas) (Fritts, 1976). V širším významu dendrochronologie studuje informaci uloženou v letokruhu a snaží se oddělit signál (podstatná informace k řešení daného problému) od šumu (nepodstatná zkreslující informace). V užším významu je to pak metoda datování dřeva založená na měření šířek letokruhů (Rybníček, 2007). Dendrochronologii nejvíce ovlivnil astronom Andrew Ellicott Douglass, který byl přesvědčen, že na kolísání šířek letokruhů mají vliv klimatické podmínky minulých let. Jelikož neměl možnost přístupu k meteorologickým záznamům, soudil, že klimatické změny jsou zaznamenány v šířce letokruhu a snažil se na základě této domněnky nalézt důkazy slunečních cyklů. Svoji teorii potvrdil zkoumáním borovice osinaté (*Pinus aristata*) a jejího poddruhu (*Pinus Longaeva*) rostoucí v polopoušti u Arizony ([www.dendrochronologie.cz](http://www.dendrochronologie.cz)).

### 3.2.1 Princip

Pomocí dendrochronologie je možné měřit téměř všechny dřeviny, rostoucí v mírném nebo chladném klimatickém pásmu (Cook a Kairiukstis, 1990). Podmínkou je, aby měřená dřevina vytvářela každý rok jeden letokruh (Rybníček, 2007). Použití stromů z těchto oblastí je vhodné, jelikož během vegetačního klidu dochází k přerušení růstu dřeva a vzniku hranice letokruhu (Cook a Kairiukstis, 1990). Stromy, které rostou ve stejných klimatických podmínkách a na stejném území reagují stejně a vytvářejí stejné množství dřeva. V rámci jednoho porostu je tedy jistá podobnost v šířce letokruhů, hlavně u maximálních a minimálních hodnot (Douglass, 1937). Stromy rostoucí v méně drsných podmínkách, neukazují dost jasně působení jednotlivých faktorů limitujících růst. To se pak projevuje horším odečítáním a dešifrováním hodnot z grafu změny růstu (Rybníček, 2007).

Pro datování určitého objektu nebo lokality je vždy lepší změřit větší množství vzorků. Ojedinelá dřeva se většinou datují jen těžko, protože mohou být výrazně ovlivněna lokálními podmínkami růstu stromu. Při zpracování většího souboru dřev je prvním krokem po jejich změření vzájemné srovnání jednotlivých naměřených křivek. Snahou je najít takovou pozici křivek, kdy tyto spolu výborně korelují, tzn. že jsou současné. Zprůměrováním křivek vznikne tzv. křivka střední, která zvýrazní společné výkyvy související s klimatickými změnami a potlačí všechny ostatní oscilace způsobené jinými vlivy (Rybníček, 2007).



Pro spolehlivé datování vzorků je nutné, aby měl vzorek nejméně 40 letokruhů (Cook a Kairiukstis, 1990). Při datování většího množství dřev z jedné lokality lze někdy datovat i dřeva kratší na základě již datované střední křivky z dřev delších. V souvislosti se spolehlivostí datování je důležité ukončení odebraných vzorků. Ideálním stavem je výskyt podkorního letokruhu, kdy lze určit přesný rok skácení stromu a tedy i přesně datovat vzorek. Jedná se o poslední vytvořený letokruh před skácením stromu. Není-li tomu tak, v případě dubu může napomoci zřetelná hranice jádrového a bělového dřeva. V takovém případě lze chybějící letokruhy s jistou tolerancí dopočítat. Nutné je ovšem znát z jaké oblasti strom pochází, neboť počet bělových letokruhů se v rámci Evropy mění (Rybníček 2003). V České republice se počet letokruhů bělového dřeva pohybuje od 5 do 25 (Prokop a kol., 2017). V případě, že vzorek neobsahuje ani podkorní letokruh ani hranici jádrového a bělového dřeva, lze pouze určit nejstarší rok, po kterém byl strom skácen (Rybníček, 2007).

### **3.2.2 Odběr vzorků**

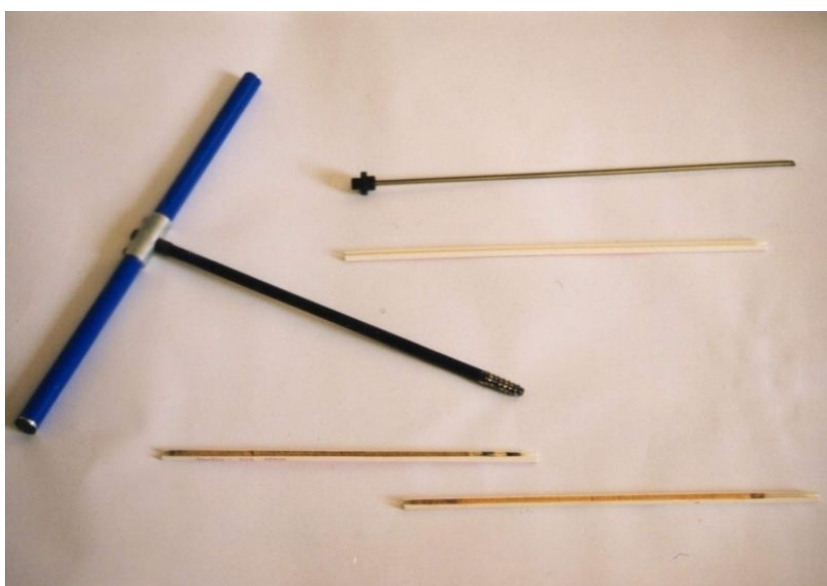
Aby mohl být vzorek spolehlivě a přesně změřen, musí mít nejméně 20 letokruhů (Rybníček, 2003). Řez stromem vedeme tak, aby byl získán průřez, který je kolmý na směr růstu a obsahuje co největší množství letokruhů, ideálně od jádra až po okraj kmene. Je zapotřebí vybrat takovou část, kde suky ani jiná poškození dřeva nezasahují do letokruhů ([www.dendrochronologie.cz](http://www.dendrochronologie.cz)). V dendrochronologické praxi se nejčastěji používají dva způsoby odběru vzorků:

#### **3.2.2.1 Odběr vzorků příčným řezem**

Tento způsob umožňuje získání nejlepších vzorků. Je většinou používán pro odběr vzorků z pokácených stromů (destruktivní metoda) Pro datování stačí výřez tlustý 3–5 cm, který v ideálním případě obsahuje i podkorní letokruh. Tato metoda je nejpoužívanější právě pro odběr subfossilních kmenů (Rybníček, 2007).

### 3.2.2.1 Odběr vzorků vrtáním

Tento způsob odběru je nejčastější, vzorky se odebírají pomocí dutých vrtáků. Průměr otvoru je závislý na typu použitého vrtáku od 1 do 2,5 cm, takže poškození trámu stromu není příliš velké a otvor lze poměrně snadno ošetřit tak, že není viditelný. Odběr je možné provést pomocí ručního vrtáku (Presslerův přírůstový nebozez) nebo motorově poháněného vrtáku ([www.dendrochronologie.cz](http://www.dendrochronologie.cz)). Tento způsob je naprosto nevhodný pro odběr subfossilních kmenů, protože kmeny jsou vytahovány ze země a zpravidla obaleny vrstvou sedimentů, štěrku či písku, což by ostří nebozezu výrazně poškodilo.



Obr. 4: Presslerův přírůstový nebozez (Zdroj: <http://www.archaiabrno.cz/data/images/0006/img0311.jpg>).



Obr. 5: Vrtáky do elektrické vrtačky (Zdroj: [http://www.dendrochronologie.cz/images/foto\\_galerie/Pokus\\_vrtaky.jpg](http://www.dendrochronologie.cz/images/foto_galerie/Pokus_vrtaky.jpg))

### 3.2.3 Radiální přírůst dřeva – Letokruhy

#### 3.2.3.1 *Tvorba letokruhů*

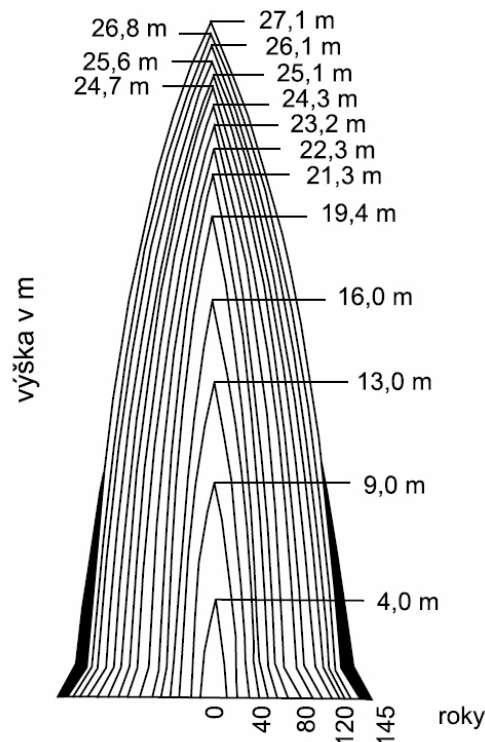
Letokruhy vznikají ve vegetačním období v důsledku dělení buněk kambia. Kambium se nachází mezi lýkem a dřevem (xylémem). Jedná se o úzké seskupení živých buněk, které jsou schopné dělení po celý čas života stromu. Jeho hlavní činností je tloušťkový radiální přírůst. Jako první dochází k dělení a diferenciaci mateřských buněk lýka a xylému, které byly vytvořeny činností kambiálních iniciál během podzimu (Šlezingerová a Gandelová, 1998).

Při působení určitých faktorů může dojít během jednoho vegetačního období k vytvoření dvou letokruhů. Těmto letokruhům se říká nepravé a k jejich vzniku dochází v důsledku ztráty asimilačních orgánů zapříčiněním biotických nebo abiotických činitelů. Mají na rozdíl od letokruhů skutečných menší šířku a méně zřetelné ohraničení. U silně zastíněných, podúrovňových porostů dochází i k tomu, že strom letokruh nevytvoří vůbec (Šlezingerová a kol., 2002).

#### 3.2.3.2 *Charakteristika a struktura letokruhů*

Letokruhy na příčném řezu kmenem jsou viditelné jako koncentrické a na sebe navazující vrstvy obklopující dřeň stromu. Jsou složené ze dvou barevně a strukturálně odlišných vrstev: jarní a letní (Šlezingerová a kol., 2002). Světlejší část vznikající na počátku vegetačního období se označuje jako dřevo jarní a tmavší část vytvořená v průběhu vegetačního období se nazývá dřevo letní. Dřevo jarní má nižší hustotu než dřevo letní. Listnaté dřeviny nemají oproti jehličnatým výrazně odlišeno světlejší jarní a tmavší letní dřevo. U listnáčů je v rámci letokruhu větší podíl letního dřeva než dřeva jarního, u jehličnanů je tomu naopak (Šlezingerová a kol., 2002).

Na radiálním řezu letokruhy vytvářejí svíslé, rovnoběžné pásy, na tangenciálním pak zvlněné elipsy (fládr). Letokruhy jsou postupně na sebe nasedající kuželovité pláště, nový vždy navazuje na předcházející. Takto dochází ke každoročnímu zvětšování průměru stromu (Šlezingerová a kol., 2002). Letokruhy u našich dřevin mírného pásma jsou výsledkem přerušení radiálního růstu v důsledku vegetačního klidu. Věk stromu je roven počtu letokruhů na příčném řezu od dřeně až k obvodu. Pro sledování tloušťkového přírůstku je ideální výška 1,3 m. V této výšce již není letokruh ovlivněn kořenovými náběhy (Cook a Kairiukstis, 1990).



Obr. 6: Schéma průběhu letokruhů s věkem a po výšce kmene (Šlezingerová a kol., 2002)

### 3.2.3.3 Šířka a tvar letokruhů

Tvar a šířka letokruhů se odvíjejí od mnoha faktorů, jako jsou druh a stáří jedince, poloha v kmeni, stanoviště růstu, sociální postavení v porostu a opatření při pěstování (Šlezingerová a kol., 2002). Širší letokruhy se vytvářejí v oblasti juvenilního dřeva, se zvyšujícím se věkem pak jejich šířka klesá, toto platí u většiny jedinců (Zobel a Sprague, 1986). Průměrná šířka letokruhu se u našich hospodářských dřevin pohybuje okolo 1 až 5 mm. Jedinci rostoucí za nepříznivých podmínek mají šířku i pod 1 mm, na druhou stranu stromy s velkými korunami rostoucí v optimálních podmínkách dosahují šířky letokruhu i 5 až 10 mm (Šlezingerová a kol., 2002).

Šířka letokruhů se také odvíjí od nadmořské výšky a zeměpisné šířky. Průměrná šířka letokruhů se vrůstající nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou klesá (Šlezingerová a kol., 2002). Šířka letokruhů a procentuální podíl jarního a letního dřeva mohou být použity jako přibližný ukazatel fyzikálních a mechanických vlastností dřeva. Platí, že fyzikální a mechanické vlastnosti se zlepšují s vyšším podílem letního dřeva v letokruhu (Požgaj a kol., 1993).

### 3.2.4 Faktory ovlivňující tloušťkový přírůst

Faktory ovlivňující tloušťkový přírůst rozdělujeme na vnitřní (biotické, genetické) a vnější (abiotické) (Schweingruber, 1996). Pro potřeby letokruhové analýzy lze genetický faktor ovlivnit pouze výběrem vhodných dřevin.

Biotickými faktory, které napadají stromy (zvláště asimilační oblast), jsou dřevokazný hmyz, dřevokazné houby, pasoucí se obratlovci, lidé, management lesů (probírka či jiné lidské činnosti) či lesní zvěř. Stromy jsou těmto poruchám vystaveny trvale a reagují na to šířkou svých letokruhů (Schweingruber, 1996).

Mezi abiotické faktory patří světlo (sluneční záření), teplota, voda, zásoba živin, vítr, mechanické poškození koruny, kořenů a kmene, stejně jako znečištění ovzduší a půdy, které ovlivňují růst stromu, tedy i radiální přírůst kmene. Jeden faktor prostředí může ovlivňovat různě rostlinné procesy a navíc sám může být ovlivněn působením jiného faktoru. Toto platí zvláště pro hodnocení působení takových faktorů jako je voda (půdní vlhkost), teplota a další (Fritts, 1976).

Světlo (sluneční záření) je důležitý faktor prostředí, který kontroluje růst rostlin a jejich vývoj. Záření dopadající na povrch rostlin je částečně odraženo, částečně absorbováno a částečně jejich pletivy proniká. Množství odraženého záření závisí na postavení listu vzhledem ke směru slunečních paprsků a povrchu listu. Pohlcená část záření je použita při fotosyntéze nebo přeměněná na tepelnou energii (Šamaj a kol., 1994). Pokusy na mladých stromech ukazují, že snížením přístupu slunečního záření a jeho intenzitou dochází k poklesu produkce fotosyntézy (biomasy). Výsledkem je pomalejší růst a úzké letokruhy. Tento vliv je větší mezi dřevinami, které vyžadují více světla (modřín a borovice) než mezi stromy snášející stín (jedle) (Schweingruber, 1996).

Teplo pro rostliny není zdrojem energie, pouze vytváří potencionální stav pro průběh životních funkcí a pochodů (Horáček, 1994). Růst je většinou zahájen při minimální teplotě, při optimální teplotě je rychlost růstu maximální a při vysoké teplotě nad 30 °C se rychlost růstu snižuje (Šebánek, 1992). Za nejnižší přípustnou teplotu vzduchu pro rašení se považuje 8 °C. Jestliže je na začátku vegetačního období nízká teplota, může to vést k oddálení kambiální aktivity (Fritts, 1976). Teplotní minima a maxima ovlivňují schopnost obnovy a přežití rostlin. Nárok rostlin na teplotu vzduchu rozumíme vegetativní teplotní konstantou, která vyjadřuje součet průměrných denních

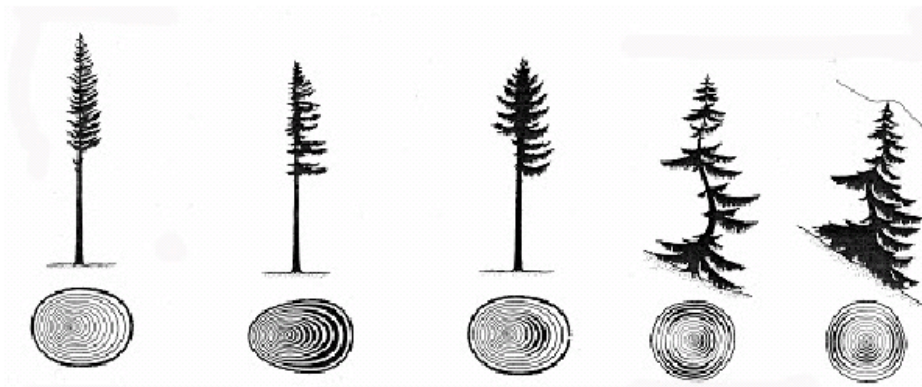
teplot ve vegetačním období. Délka vegetačního období je pak rovna počtu dní s průměrnou denní teplotou nad 8 °C tj. minimální teplota vzduchu potřebná pro rašení. Takto získanou vegetativní konstantu nazýváme sumou aktivních teplot vzduchu, tyto jsou považovány za vhodný ukazatel teplotního režimu. Při modelování růstových procesů se však sumy ročních teplot nebo srážek ukázaly jako nedostačující (Horáček, 1994). K simulaci růstových procesů je třeba použít denní nebo měsíční hodnoty klimatických charakteristik (Fitts, 1976).

Na tloušťkový přírůst mají vliv jak teploty nadprůměrné, tak podprůměrné. Nadprůměrné teploty během vegetačního období většinou tloušťkový přírůst ovlivňují pozitivně. Jestliže jsou však příliš vysoké, mají tendenci snižovat uhlíkovou bilanci, v důsledku čehož pak dochází ke snížení přírůstu. Vyšší teploty v zimním a jarním období (leden–červenec) mají za následek zvětšení radiálních přírůstů, toto je pravděpodobné ve vyšších nadmořských výškách (Čermák, 2007).

Voda ovlivňuje aktivitu kambia přímo, i když v některých obdobích vývoje je kambium citlivé na její nedostatek více než v obdobích jiných (Slavíková 1986). Vodní zásoba oblasti nebo poloha má velmi důležitý vliv na rostliny a vegetaci. Souvislost lze pochopit ze srovnání zelené krajiny ve Střední Evropě se savanou nebo srovnáním dlouhověkých stromů v hlubokých půdách se stromy rostoucími ve skalních trhlinách (Schweingruber, 1996). V tomto ohledu jsou důležité atmosférické srážky, jenž jsou hlavním zdrojem vody. Srážky ovlivňují vodní bilanci v závislosti na své velikosti, intenzitě a časovém rozdělení během vegetačního období (Penka, 1985). Vodní bilance rostliny je definována jako rozdíl mezi současným příjmem a výdejem vody. Pokud během delšího období výdej převyšuje příjem, v rostlině dochází k určitému stupni vodního deficitu (Šebánek, 1992). Vodní deficit má negativní dopad na růstové procesy, vede k poklesu fotosyntézy, zpomalení růstu a přechodnému vadnutí (Horáček, 1994).

Pohyby větru mají značný vliv na růst a tvar stromů. Druh pohybu větru je důležitý, zda se jedná o laminární, konstantní nebo turbulentní proudění, zda je prudký či konstantní s různými rychlostmi. Charakter větru je též určován reliéfem terénu (pobřeží, hřebeny hor či údolí). Změny pohybu větru během dne nebo roku ovlivňují tvar koruny a kmene v závislosti na hustotě a konstrukci koruny. Hlavní rozdíly existují mezi obdobím s listím a obdobím bez listí. Pohybem vzduchu může docházet k různým deformacím tvaru stromů: silné a konstantní větry snižují výškový růst a radiální přírůst stromu, stromy mají deformované tvary, koruna se mění v jednostrannou a příčné řezy

kmene jsou excentrického tvaru v důsledku tvorby reakčního dřeva (obr. 7) (Schweingruber, 1996). U jehličnatých dřevin se reakční dřevo označuje jako tlakové a to na spodní straně. U listnatých dřevin tyto změny polohy zase způsobují tahové dřevo na horní straně (Schweingruber, 1993). Vlivem silných větrů může také dojít ke zlomení či vyvrácení stromu.



Obr. 7: Excentrická stavba kmene (Schweingruber, 1993)

Odvodnění, hloubka a výživnost půdy ovlivňují významně rychlost růstu (Schweingruber, 1993). Výživnost půdy je většinou určována jejím chemickým složením a její schopnosti odolávat zvětrávání. Zásoba živin v přirozených lesích nemá obvykle extrémně omezující vliv na růst. Výjimkou jsou výjimečné polohy, např. na křemenech, šterku nebo sádrovci. Abnormality jako jsou odumření v oblasti koruny a chloróza, stejně jako omezení růstu může ukazovat na nedostatek živin. Pozorování musí být dokázána chemickou analýzou listů a půdy. Na trvale obhospodařovaných lesních půdách je dřevěná produkce podpořena hnojením, ne z nedostatku živin, ale aby bylo dosaženo požadované produkce (Schweingruber, 1996).

Stanovištní podmínky a omezenost prostoru pro kořeny jsou dalšími významnými faktory. Rozvoj kořenů je omezen v extrémních polohách, jako jsou například hory. Kořeny jsou zde mělké v kamenitém podloží a suchu, což má za následek stromy malého vzrůstu s volnou korunou a úzkými letokruhy. Mělké kořeny jsou také v bažinách, kde je dalším stresujícím faktorem vysoká hladina podzemní vody. Stromy jsou zde malé s tenkou korunou, často žlutým jehličím a úzkými letokruhy. Má-li strom dostatek prostoru pro hluboké kořeny a půdu o vhodné vlhkosti, působí to pozitivně na celý strom, který má kompaktní korunu a široké letokruhy (Schweingruber, 1993).

Mezi abiotické limitující faktory patří hlavně teplotní a vodní režim, sluneční záření a stav minerální výživy (Horáček, 1994).

### 3.3 Radiouhlíková metoda datování

Radiouhlíková metoda datování se používá jako způsob absolutního způsobu určení nálezů organického materiálu. Jedná se o destruktivní metodu, která se používá zejména v archeologii. V dendrochronologii je využívána zejména pro datování nálezů z období, které není pokryto standardní chronologií. Vzhledem k tomu, že produkce  $C^{14}$  v atmosféře kolísá v čase v důsledku solární aktivity a zemského magnetického pole, což přispívá k odchýlkám při datování, využívá tato metoda dendrochronologické standardní chronologie pro kalibraci radiouhlíkových křivek. Pro kalibraci se používají letokruhové chronologie dřevin Gigant Sequoia (*Sequoiadendron giganteum*, (Lindl.) Buchholz) a borovice osinatá (*Pinus longaeva*) v Severní Americe a letokruhové chronologie dubu (viz kapitola 3.1.6) v Evropě (Speer, 2010).

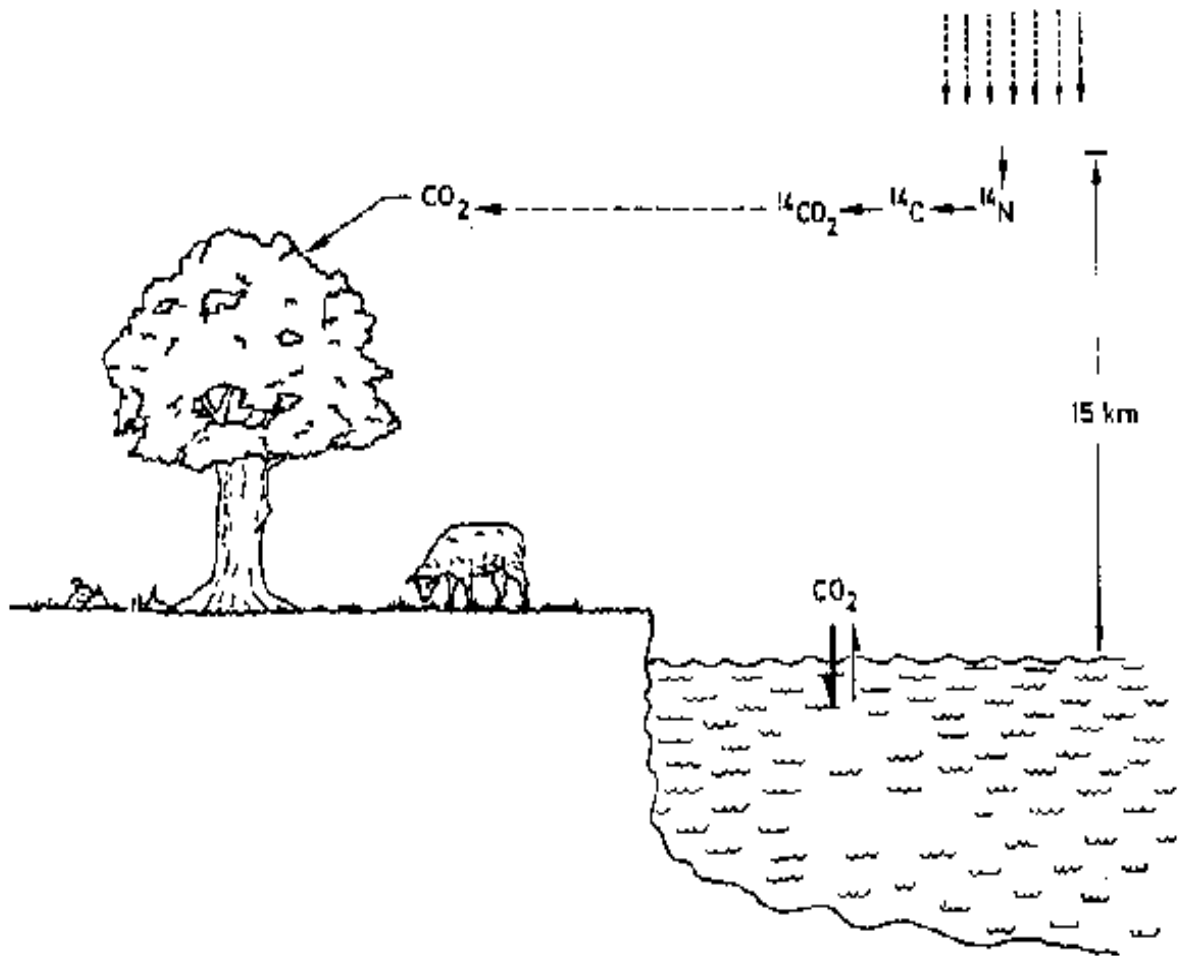
#### 3.3.1 Princip Radiouhlíkového datování

Poměr všech 3 izotopů (stabilní  $C^{12}$  a  $C^{13}$ , nestabilní  $C^{14}$ ) uhlíku v atmosférickém oxidu uhličitým se dlouhodobě udržuje na konstantní hodnotě. Do organismu se během jeho života dostává s oxidem uhličitým uhlík ze vzduchu (obr. 8). Poměr izotopů  $^{14}C/^{12}C$  zůstává v průběhu života daného organismu konstantní. Po odumření jakékoliv biotické tkáně se výměna uhlíku mezi organismem a prostředím zastaví. Množství  $^{14}C$  postupně ubývá a vyzařuje částici beta a mění se na izotop dusíku  $^{14}N$ . Isotop  $^{14}C$  se přeměňuje resp. rozpadá s poločasem rozpadu 5730 let. Poměr  $^{14}C/^{12}C$  poměrně přesně ukazuje na dobu zániku.

Příklad:	$^{14}C \times ^{12}C$
Původní množství:	2g x 10g
Za 5 700 let:	1g x 10g
Za 11 400 let:	0,5 x 10g

Metoda tedy spočívá v měření zbytku izotopu uhlíku  $^{14}C$  v odumřelých organismech, do nichž se dostává ve formě oxidu uhličitého  $CO_2$  za jejich života. Intenzita kosmického záření dopadajícího do atmosféry se však časem mění a proto radiouhlíkové datování dává spolehlivé výsledky asi do 5000 roků, maximálně je použitelné do 57000 roků (Speer 2010).





Obr. 8: Vznik a koloběh  $^{14}\text{C}$  v biosféře (Zdroj: <http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/iz/node4.html>)

## **4. METODIKA**

### **4.1 Identifikace druhu dřeva**

Vzhledem k tomu, že pro dendrochronologické datování je nezbytné znát druh dřeva, byla provedena identifikace druhů dřeva podle makroskopických znaků. V případě, že nebylo možné s ohledem na kvalitu uchovaného vzorku přesně identifikovat dřevinu, byla provedena identifikace druhů dřeva podle mikroskopických znaků v následujících krocích:

- 1) Z odebraných vzorků byly pomocí čepelky zhotoveny základní mikroskopické řezy (příčný, radiální a tangenciální), které jsou nutné pro určení druhu dřeva.
- 2) Z připravených mikroskopických řezů byly zhotoveny dočasné mikroskopické preparáty. Jako montovací médium byla použita destilovaná voda.
- 3) Mikroskopické preparáty byly pozorovány pomocí světelného mikroskopu.
- 4) Připravené preparáty byly určovány na základě mikroskopických znaků.

### **4.2 Dendrochronologická analýza**

#### **4.2.1 Odběr vzorků**

Odběr a následné zpracování vzorků bylo provedeno dle standardní dendrochronologické metodiky (Cook a Kairiukstis, 1990). K odběru vzorků ze subfossilních dubových kmenů nalezených poblíž pískoven a šterkoven byla použita motorová pila, palice, sekera a železné klíny. Za pomoci motorové pily (obr. 9) byly kmeny subfossilních dubů nejprve naříznuty zhruba do poloviny jejich průměru, následně byly za pomoci železných klínů, sekery a palice (obr. 10) vymanipulovány klíny obsahující dřeň. Po vymanipulování byly klíny označeny číslem vzorku a místem odběru. Poté byly jednotlivé klíny zabaleny do stretch folie (obr. 11 a 12), aby nedošlo k jejich popraskání a následné destrukci v důsledku vysychání.



*Obr. 9, 10: Odběr vzorků pomocí motorové pily, železné palice a železného klínu*



*Obr. 11: Balení odebraných vzorků subfossilních dubů do stretch folie*



*Obr. 12: Zabalené a připravené vzorky subfossilních dubů*

#### **4.2.2 Příprava vzorků**

Pro přesné měření letokruhů musel být povrch vzorků upraven. Proto byla po vybalení ze stretch folie do vzorků za pomoci žiletek vyříznuta cesta vedoucí od dřene směrem k obvodu kmene (obr.13). Takto upravené a očištěné vzorky byly připraveny k následnému měření.



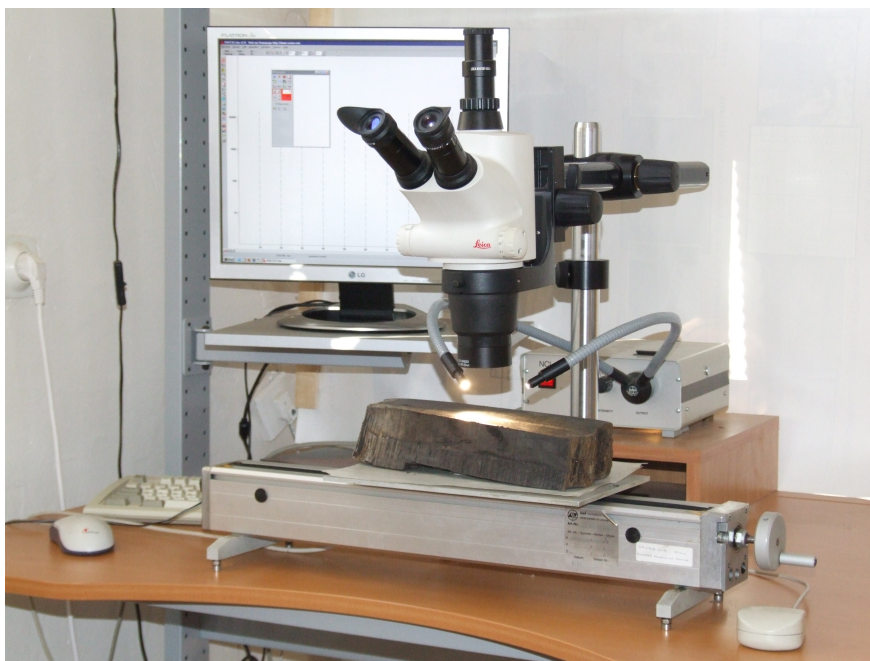
*Obr. 13: Vzorek subfossilního dubu s vyříznutou cestou pro měření*

### 4.2.3 Měření šířky letokruhů

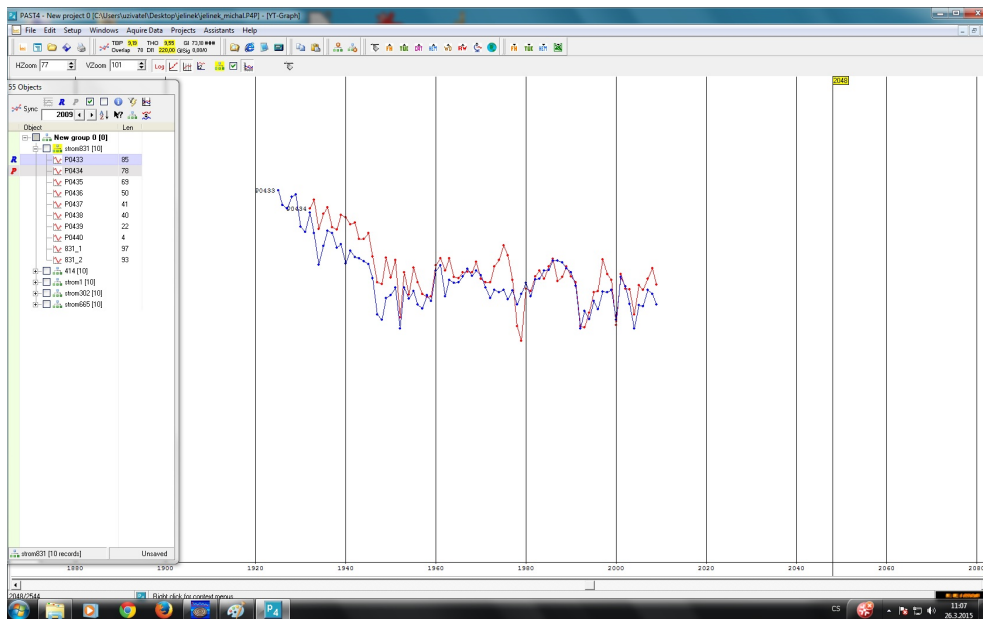
K měření šířek letokruhů bylo použito přímé metody měření za pomoci softwaru PAST 4 a měřicího stolu VIAS TimeTable (délka stolu 78 cm; rozlišení  $<1/100$  mm) vyrobených rakouskou firmou SCIEM (Obr. 14).

Jedná se o nejjednodušší a nejstarší metodu měření letokruhu, při které bylo použito speciálního měřicího stolu (Obr. 14) s posuvným šroubovým mechanismem a impulsmetrem, zaznamenávajícím interval posunu desky měřicího stolu, a tím i šířky letokruhu. Celé zařízení bylo připojeno k počítači, roční přírůsty byly zaznamenány a dále zpracovávány v programu PAST 4 (Obr. 15). Šířka letokruhů byla měřena s přesností 0,01 mm.

Při měření bylo postupováno tak, že upravený vzorek byl umístěn na měřicí stůl. Vzorek byl měřen vždy od dřeně (od nejstaršího letokruhu) směrem k obvodu. Měření probíhalo vždy kolmo na následující letokruh. Vzorek byl postupně posouván za pomoci šroubového mechanismu vždy o jeden letokruh a na každé hranici letokruhu došlo k potvrzení a okamžitému zapsání šířky letokruhu za pomoci kliknutí tlačítka (myši). Po doměření a uložení dat bylo možné data zobrazit ve formě letokruhových křivek, které bylo možné dodatečně upravit a také porovnat.



Obr. 14: Speciální měřicí stůl s posuvným šroubovým mechanismem a impulsmetrem



Obr. 15: Prostředí programu PAST 4

#### 4.2.4 Křížové datování

Křížové datování je nalezením synchronní polohy letokruhové řady X o neznámé dataci letokruhů s jinou letokruhovou řadou Y s letokruhy odatovanými (např. standardní chronologií). Obě řady jsou vzájemně srovnávány ve všech možných vzájemných polohách. Existuje-li poloha vzájemně synchronní, projeví se to dostatečně vysokou podobností v úseku, jímž se překrývají (Vinař et al. 2005). Získané letokruhové řady jednotlivých vzorků byly v počítači programem PAST4 porovnány nejprve mezi sebou. V případě, že spolu byly vzorky dobře synchronizovatelné, vytvořila se průměrná letokruhová řada, která zvýraznila společná minima a maxima a současně potlačila všechny ostatní oscilace způsobené jinými vlivy (Cook a Kairiukstis, 1990). Vytvořená průměrná letokruhová řada byla srovnána s dostupnými dubovými standardními chronologiemi. Míra podobnosti mezi průměrnou letokruhovou řadou a standardní chronologií byla posuzována pomocí korelačního koeficientu a tzv. koeficientu souběžnosti. Tyto výpočty slouží k usnadnění optického srovnání obou křivek, jež je pro konečné datování rozhodující. Pokud má některá ze stanovených pozic na standardní chronologii dostatečnou statistickou hodnotu, musí se také při optickém srovnání obě křivky setkávat ve většině výrazných minim a maxim (Rybníček, 2003). Pokud vzájemné porovnání splňovalo všechny potřebné parametry, byla řada absolutně datována. Podle již datované průměrné letokruhové řady se zpětně datují všechny

individuální letokruhové řady, z nichž průměrná letokruhová řada vznikla (Rybníček 2007).

U vzorků, u nichž je zřetelná hranice mezi jádrovým a bělovým dřevem, je možné datování upřesnit. Tento zásah je možno provést pouze v případě dubových vzorků, ostatní jádrové dřeviny (např. borovice) mají šířku běle velmi variabilní (Rybníček 2003). Pro naše území platí, že podle stáří stromu a lokality má běl dubu průměrně 5-25 letokruhů (Rybníček a kol. 2006, Prokop a kol., 2017). Pokud není na vzorku vylišeno jádrové a bělové dřevo, a není na něm ani podkorní letokruh lze pouze uvést, že strom byl skácen někdy po datovaném roce bez přesnější informace.

Pro účely datování subfossilních kmenů byla použita především poslední verze české dubové chronologie. Na základě spolupráce se zahraničními laboratořemi bylo možné použít i další středoevropské standardní chronologie (Tab. 2).

*Tab. 2: Použité standardní dubové chronologie*

Lokalita	Reference
CR	Kolář a kol. 2012
Jižní Německo	Becker 1993
Německo - povodí řeky Mohan	Becker 1993
Bavorsko	Büntgen a kol. 2011
Jižní Polsko	Krapiec, 2001
východní Rakousko	Geihofer a kol. 2005

#### 4.2.5 Statistické výpočty používané v PAST 4

##### 4.2.5.1 *T*-testy

*T*-test je založen na porovnání vzorku se standardní chronologií v překrývajících se částech křivek jako dvou datových řad. Míra podobnosti křivek je spočtena pomocí korelace a její statistická významnost hodnocena pomocí *t*-testu (Rybníček, 2004).

Transformace Baillie/Pilcher:

$$ybp_i = \ln \left( \frac{5y_i}{y_{i-2} + y_{i-3} + y_i + y_{i+1} + y_{i+2}} \right)$$

Transformace Hollstein:

$$yh_i = \ln \left( \frac{y_i}{y_{i+1}} \right)$$

Transponované a indexované datové řady standardní chronologie a vzorku jsou použity pro výpočet korelačního koeficientu (jsou reprezentovány proměnnými  $si$  a  $ri$  ve vzorci) (PAST 4)

$x, y$ : hranice překrytí křivek

$ri, si$ : hodnoty letokruhů po transformaci

$\bar{r}, \bar{s}$ : průměrné hodnoty transformovaných letokruhových řad

$$c_{coef f} = \frac{\sum_{i-x..y} (S_i - \bar{S}) \cdot (r_i - \bar{r})}{\sqrt{\sum_{i-x..y} (S_i - \bar{S})^2 \cdot (r_i - \bar{r})^2}}$$

Konečná hodnota t–testu má pak podobu (Stone, 1963):

$$tbp, tho = \frac{c_{coef f} \sqrt{n - 2}}{\sqrt{(1 - c_{coef f}^2)}}$$

Při překrytí datové křivky se standardní chronologií šedesáti letokruhy je kritická hodnota Studentova t–rozdělení, při hladině významnosti 0,1 % stanovena na 3,46 (Šmelko a Wolf, 1977). Při hodnotě t–testu nižší než 3,4 je pravděpodobnost pozitivní korelace křivek malá. Hodnoty vyšší než 5 při dostatečném překrytí křivek signalizují s velkou pravděpodobností shodné chronologické zařazení vzorků (Rybníček, 2004).

#### 4.2.5.2 Souběžnost

Představuje procento směrové shody křivky vzorku s křivkou vzorku jiného v překrývající se části obou křivek. Souběžnost se vypočítá tímto způsobem:

1) Oběma křivkám jsou přiřazovány hodnoty po jednoletých intervalech. Hodnoty jsou -1 pro klesající trend křivky, 0 pro stagnující trend a +1 pro rostoucí trend křivky.

2) Druhým krokem je porovnání digitalizovaných hodnot překrývajících se částí obou křivek a sečtení jednotlivých intervalů se souhlasným trendem křivek.

3) Počet souhlasných let ku počtu všech překrývajících se roků udává hodnotu souběžnosti (0 až 100 %) Souběžnost by neměla být nižší než 55 %. Tento test poskytuje



rychlou informaci o tom, jestli je hodnota souběžnosti (v intervalu překrytí křivek) statisticky významná, nebo ne (Rybniček, 2004).

### **4.3 Metodika radiouhlíkového datování**

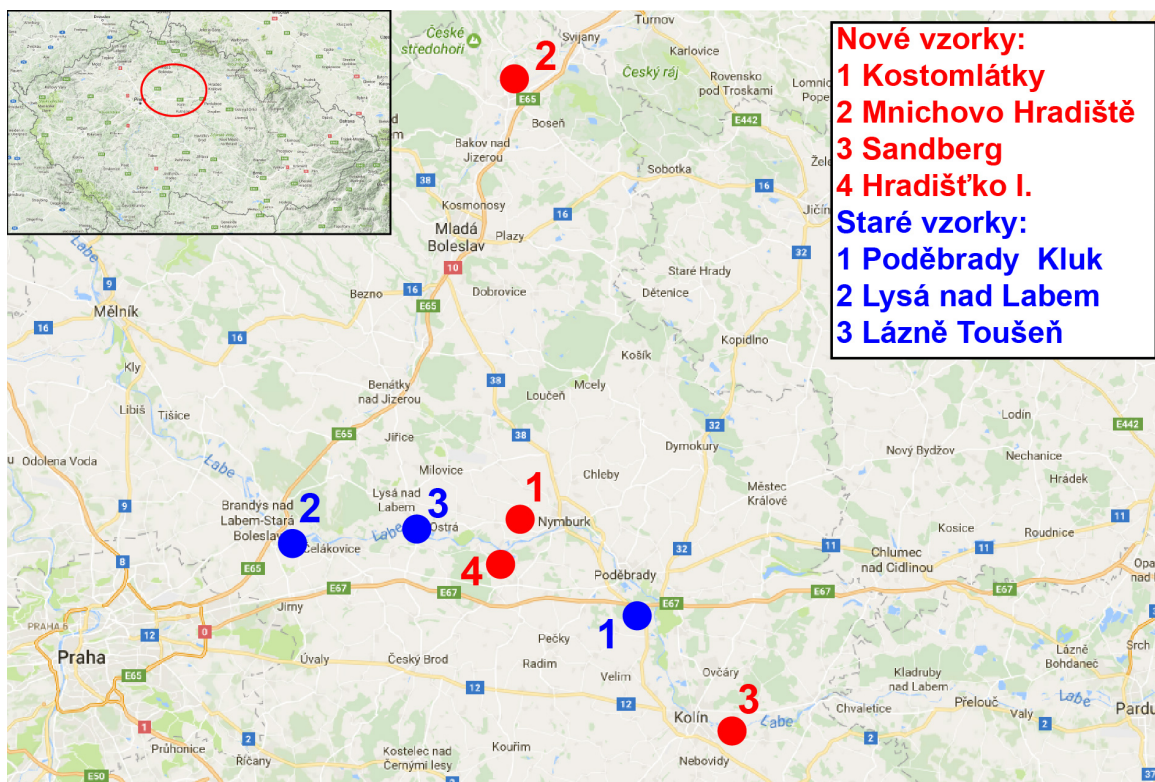
V případě, že nebylo možné vzorky ze subfossilních kmenů spolehlivě dendrochronologicky datovat, byly vzorky odeslány k radiouhlíkovému datování. Na základě dlouhodobé spolupráce byly vzorky odeslány na Ústav jaderné fyziky Akademie věd České republiky.

#### **4.3.1 Příprava vzorků**

Pro radiouhlíkové datování bylo nutné vždy vybrat vhodný vzorek s ohledem na jeho reprezentativnost (nejlépe jeden vzorek z vytvořeného průměru = podaří se datovat více vzorků na základě jednoho) a délku (co nejvíce letokruhů). Odebral se dostatečně velký vzorek o hmotnosti alespoň 20–50 g, který je nezbytný pro datování konvenční metodou. Vzorek byl následně zabalen do sáčku a popsán. Nutné bylo zejména přesně popsat místo, odkud byl vzorek odebrán (tedy lépe řečeno, které letokruhy přesně byly na datování odeslány). Dále byla provedena fotodokumentace odebraného vzorku se zaznačením odebraných letokruhů, protože metoda je destruktivní a vzorek se při datování zničí. Vyplnil se průvodní formulář, kde se uvedly následující informace: datum a místo odběru včetně přesné souřadnice nálezů, stručný popis nálezové situace, způsob odběru vzorků a dalšího zpracování a možnosti ovlivnění vzorku v místě uložení (např. plísň, povětrnostní vlivy) či kontaminace vzorku během zpracování. Formulář byl následně společně se vzorky odeslán do radiouhlíkové laboratoře. Vzhledem ke složitosti procesu trvalo datování nejméně 3 měsíce.

## 5. MATERIÁL

Nové vzorky ze subfosilních dubů byly odebrány celkem z čtyř lokalit: Kostomlátky, Mnichovo Hradiště, Sandberg a Hradištko 1. Staré vzorky byly dohledány z těchto lokalit: Poděbrady Kluk, Lysá nad Labem a Lázně Toušeň (obr. 16).



Obr. 16: Lokalizace starých i nových míst odběru vzorků v rámci ČR (Zdroj: <http://www.googlemaps.com>)

### 5.1 Kostomlátky

#### 5.1.1 Lokalizace a popis obce Kostomlátky

Kostomlátky jsou obec ležící v okrese Nymburk, asi 5 km západně od Nymburku, jsou součástí mikroregionu Nymbursko. Mají 281 obyvatel a jejich katastrální území má rozlohu 574 ha. Obec leží v nadmořské výšce 182 m. n. m.. Místo odběru vzorků zobrazuje obrázek 17 (GPS: 50°0'52.447"N, 15°15'42.075"E). V pískovně byly odebrány vzorky celkem ze 110 subfosilních kmenů (obr. 18).



*Obr. 17: Místo odběru, umístění na mapě GPS souřadnice Kostomlátky (Zdroj: <http://www.googlemaps.com>)*

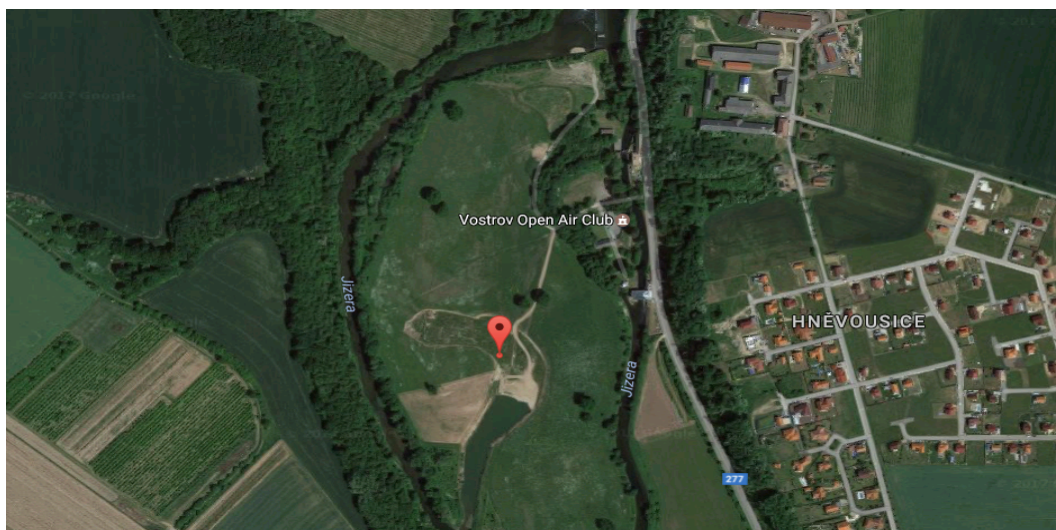


*Obr. 18: Odebírané subfosilní kmeny dubů Kostomlátky*

## **5.2 Mnichovo Hradiště**

### **5.2.1 Lokalizace a popis Mnichova Hradiště**

Mnichovo Hradiště je město ležící v okrese Mladá Boleslav asi 70 km severovýchodně od Prahy, asi 14 km severně od Mladé Boleslavi. Leží v nadmořské výšce 220 m. n. m.. Místo odběru vzorků GPS: 50°32'5.456"N, 14°57'43.693"E (obr. 19). Na této lokalitě byly odebrány vzorky ze 7 subfosilních kmenů (obr. 20).



Obr. 19: Místo odběru, umístění na mapě GPS souřadnice Mníchovo Hradiště (Zdroj: <http://www.googlemaps.com>)

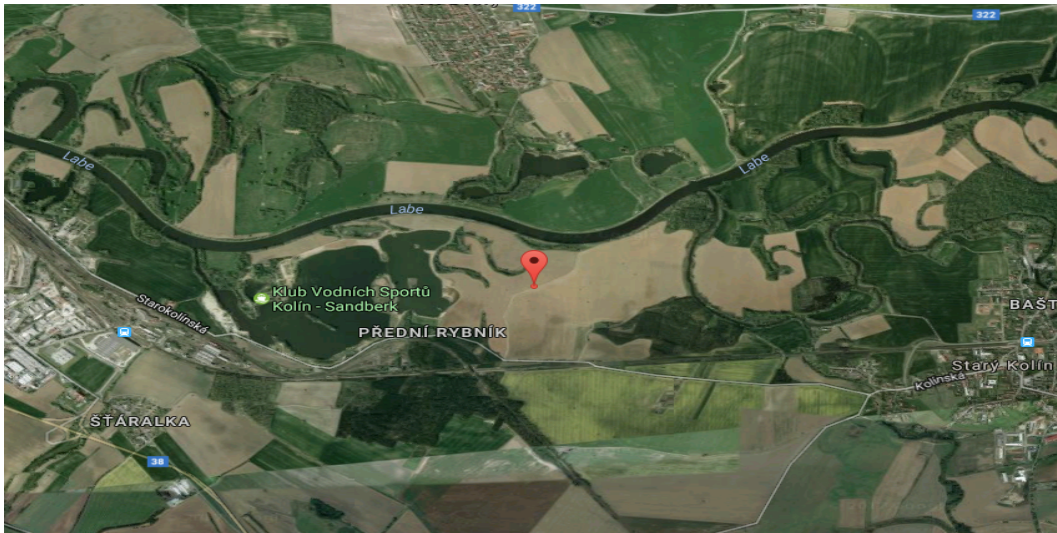


Obr. 20: Odebírané subfossilní kmeny dubů Mníchovo Hradiště

## 5.3 Sandberg

### 5.3.1 Lokalizace a popis Sandberg

Lokalita Sandberg je písňík ležící nedaleko Kolína na východě Středočeského kraje na řece Labi. Má rozlohu 35 km<sup>2</sup> s průměrnou nadmořskou výškou 220 metrů. Místo odběru vzorků GPS: 50°0'52.447"N, 15°15'42.075"E (obr. 21). Z břehu písňíku byly odebrány 4 vzorky (obr. 22).



*Obr. 21: Místo odběru, umístění na mapě GPS souřadnice Sandberg (Zdroj: <http://www.googlemaps.com>)*



*Obr. 22: Odebíraný subfosilní kmen dubu Sandberg*

## 5.4 Hradištko 1

### 5.4.1 Lokalizace a popis Hradištko 1

Jedná se o vesnici ležící v okrese Kolín, je součástí obce Veltruby. Nachází se asi 1,4 km na jihovýchod od Veltrub, nedaleko od řeky Labe. Hradištko I má rozlohu 2,89 km<sup>2</sup> s průměrnou nadmořskou výškou 180 metrů. Místo odběru vzorků (GPS: 50°3'19.055"N, 15°11'21.219"E) je zobrazeno na obrázku 23. Na této lokalitě byly odebrán 1 vzorek.



Obr. 23: Místo odběru, umístění na mapě GPS souřadnice Hradištko 1 (Zdroj: <http://www.googlemaps.com>)

## 6. VÝSLEDKY

### 6.1 Výsledky dendrochronologické analýzy – Nové vzorky

Celkem bylo odebráno 122 nových vzorků ze čtyř lokalit: Hradištsko I, Kostomlátky, Mnichovo Hradiště a Sandberg. Z těchto vzorků se povedlo datovat 96 vzorků.

#### 6.1.1 Kostomlátky

Na lokalitě bylo celkem odebráno 110 vzorků v průběhu 2 let. Z celkového počtu bylo datováno 84 dubů a 5 jilmů. Ze všech dubových a jilmových letokruhových křivek bylo sestaveno 6 průměrných letokruhových křivek.

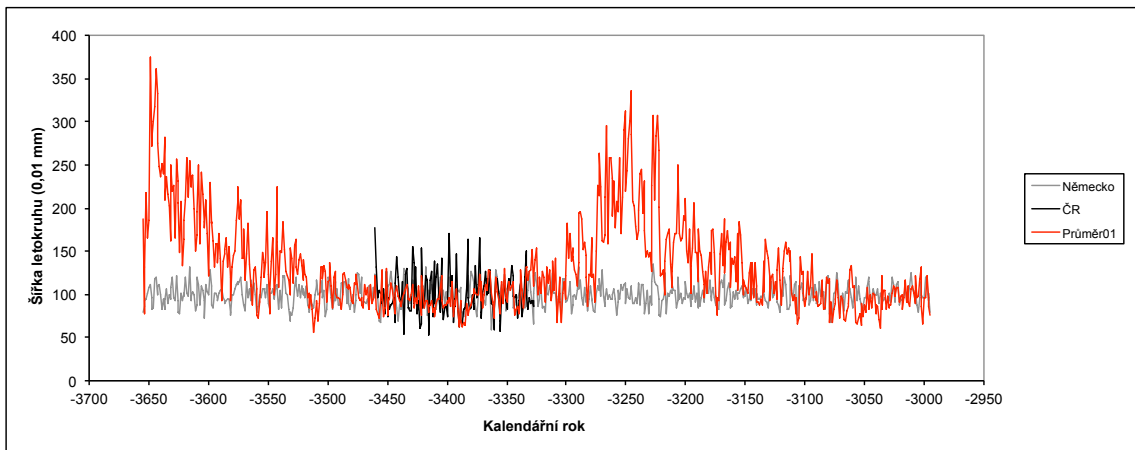
##### 6.1.1.1 Průměr 01 – Dub

Průměrná letokruhová křivka byla sestavena z 33 letokruhových křivek. Je dlouhá 661 let (obr. 24) a datovaná podle jihoněmecké dubové chronologie a české dubové chronologie do období od roku 3655 do roku 2996 před naším letopočtem. Z tab. 3 jsou pak patrné vysoké hodnoty obou t-testů přesahující kritickou hodnotu Studentova t-rozdělení při 0,1 % hladině významnosti a překrytí 120 letokruhy, která činí 3,373 (Šmelko a Wolf, 1977). Lepší korelace byla dosažena s německou standardní chronologií. U souběžnosti křivek v procentech byla vyšší hodnota naopak u české standardní chronologie (72 %). Překrytí průměru se standardní chronologií bylo opět vyšší u německé chronologie. Z obr. 25 je patrné, že k nejlepšímu proložení průměrné letokruhové křivky dochází od roku 3557 do roku 3522 př. n. l. a to 22 z 33 použitých letokruhových křivek. Z obr. 26 je vidět, že s rostoucím věkem stromu klesá šířka letokruhu.

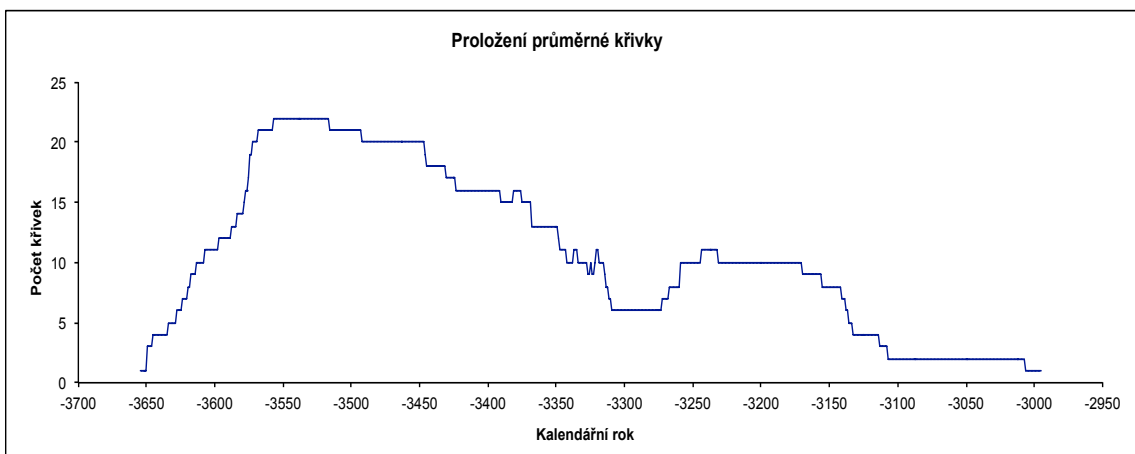
Tab. 3: Hodnoty synchronizace jednotlivých standardních dubových chronologií s průměrem 01.

A	B	C	D	E	F
průměr 01					
ČR	6,6	7,65	72	134	-2996
Německo	11,4	11,7	65,7	661	-2996

A = standardní chronologie  
 B = T.test 1 (podle Baillie & Pilcher) TBP  
 C = T.test 2 (podle Hollsteina) THO  
 D = souběžnost křivek v procentech GL  
 E = překrytí vzorku se standardem v rocích  
 F = datování

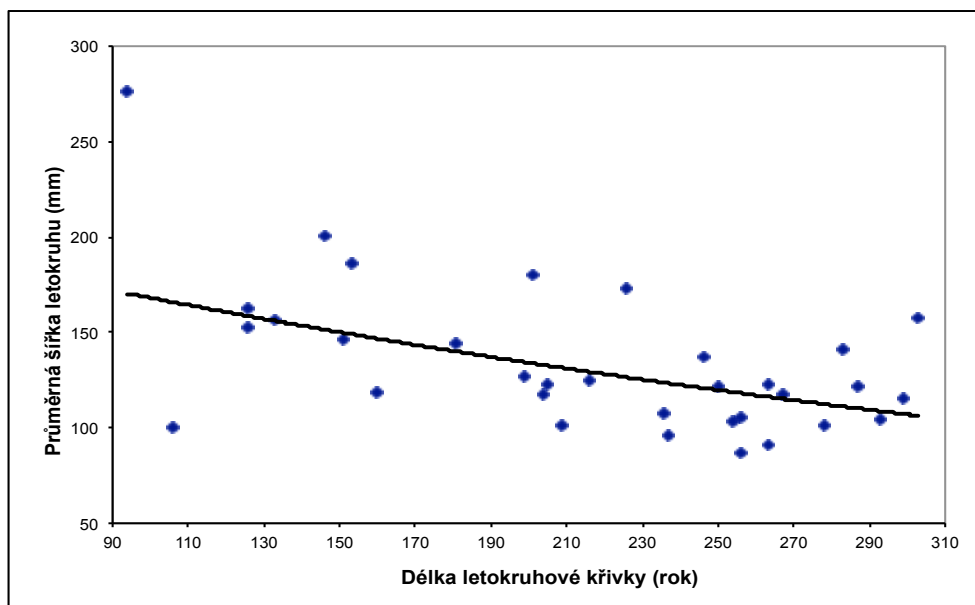


Obr. 24: Datování průměru 01 podle standardních dubových chronologií Česka a Německa



Obr. 25: Proložení průměru 01 v jednotlivých kalendářních rocích





Obr. 26: Závislost průměrné šířky letokruhu na délce letokruhových křivek

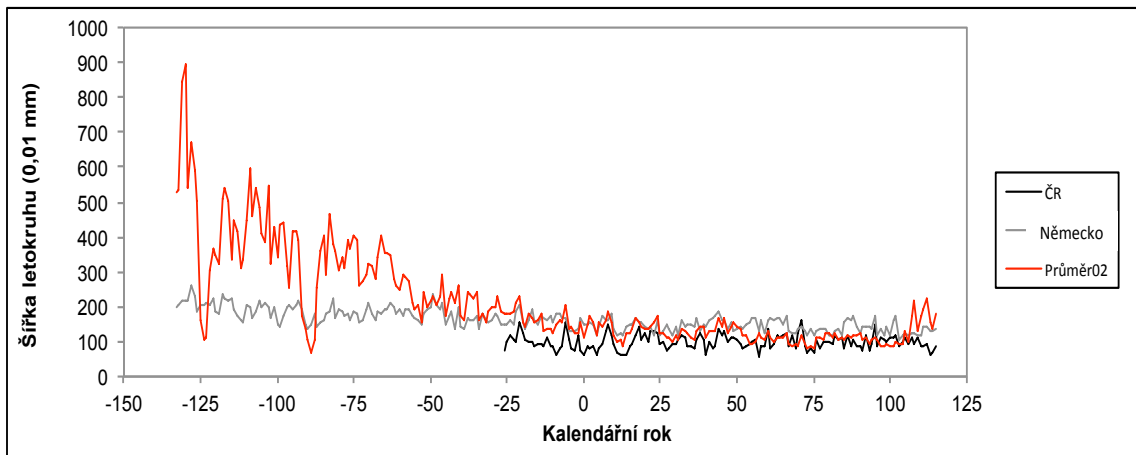
#### 6.1.1.2 Průměr 02 – Dub

Průměr 02 byl sestaven z 24 letokruhových křivek. Je dlouhý 249 let (obr. 27) a je datovaný podle německé dubové chronologie a české dubové chronologie od roku 133 před naším letopočtem do roku 115 našeho letopočtu. Spolehlivost datování ukazují hodnoty t-testů (tab. 4), které opět dostatečně přesahují hodnotu 3,373 (Šmelko, Wolf 1977). Shoda průměrné letokruhové řady se standardní chronologií se projevuje i ve většině extrémních hodnot (obr. 27). Z obr. 28 je zřejmé, že k nejlepšímu proložení křivky dochází od roku 46 před naším letopočtem do roku 16 našeho letopočtu a to 24 z 24 použitých letokruhových křivek. Obr. 29 potvrzuje klesající trend šířky letokruhu s věkem.

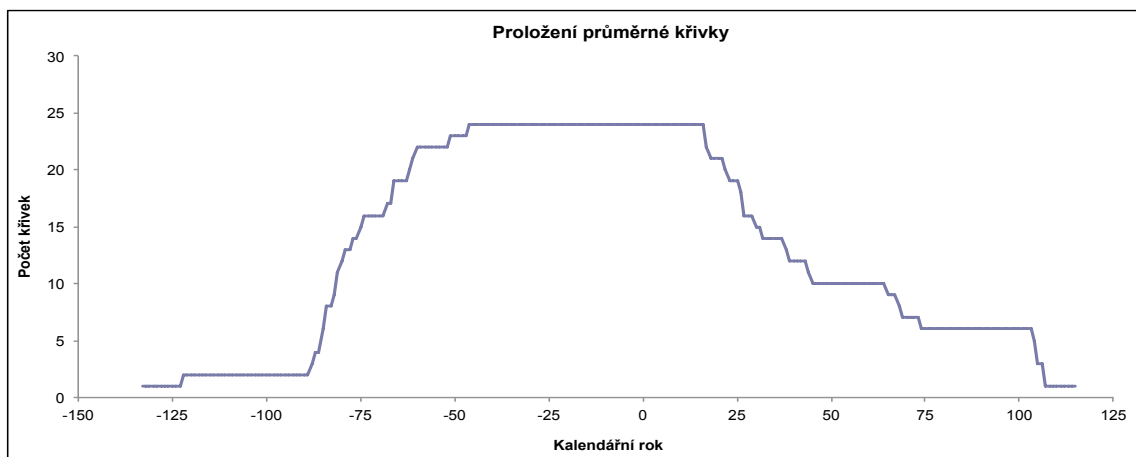
Tab. 4: Hodnoty synchronizace jednotlivých standardních dubových chronologií s průměrem 02

A	B	C	D	E	F
průměr 02					
Německo	5,27	5,83	65,1	249	115
ČR	4,9	5,27	66,9	142	115

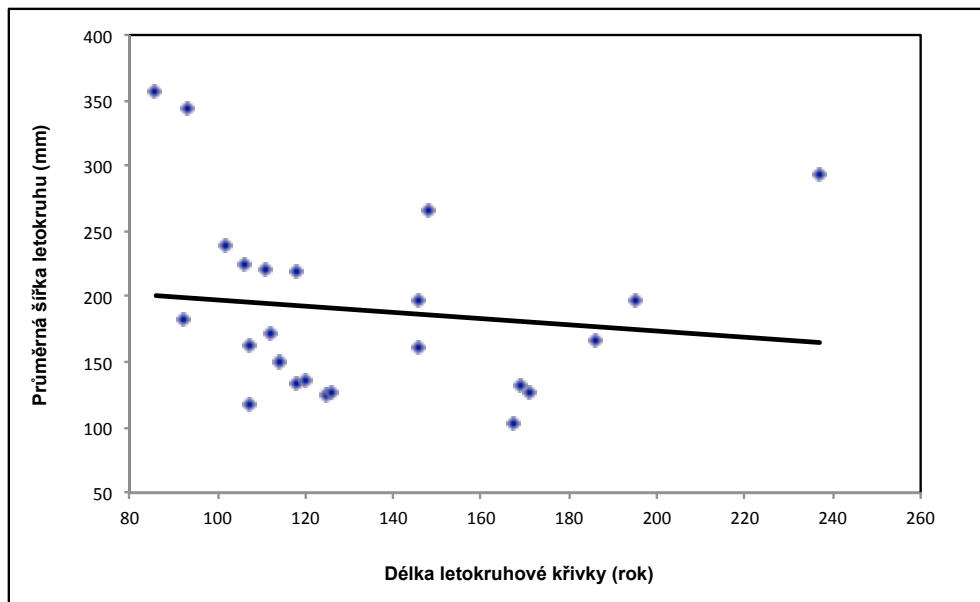
- A = standardní chronologie
- B = T.test 1 (podle Baillie & Pilcher)
- C = T.test 2 (podle Hollsteina)
- D = souběžnost křivek v procentech
- E = překrytí vzorku se standardem v rocích
- F = datování



Obr. 27: Datování průměru 02 podle standardních dubových chronologií Česka a Německa



Obr. 28: Proložení průměru 02 v jednotlivých kalendářních rocích



Obr. 29: Závislost průměrné šířky letokruhu na délce letokruhových křivek

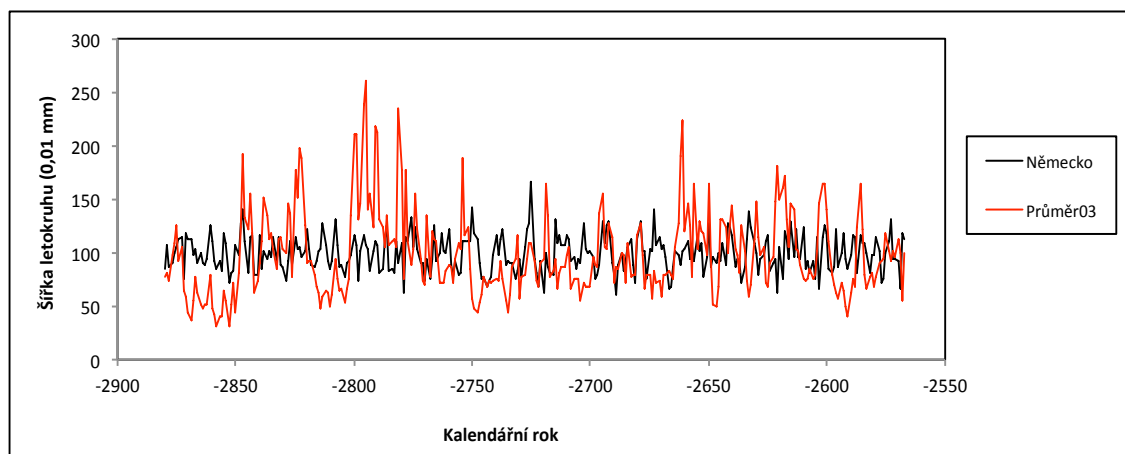
### 6.1.1.3 Průměr 03 – Dub

Průměr o délce 314 let byl sestaven ze 3 letokruhových křivek (obr. 30). Průměr byl úspěšně datován podle německé dubové chronologie do období od roku 2880 do roku 2567 před naším letopočtem. Z tab. 5 je pak patrné, že průměr dosáhl dostatečně vysokých hodnot jak u T. testu 1 tak i u T. testu 2. U souběžnosti křivek překročila hodnota 60 %. Z důvodu malého počtu křivek není vytvořen graf proložení průměru 03 v jednotlivých kalendářních rocích ani graf závislosti průměrné šířky letokruhu na délce letokruhových křivek.

Tab. 5: Hodnoty synchronizace standardní dubové chronologie s průměrem 03

A	B	C	D	E	F
průměr 03					
Německo	5,88	4,49	60,5	314	-2567

- A = standardní chronologie
- B = T.test 1 (podle Baillie & Pilcher)
- C = T.test 2 (podle Hollsteina)
- D = souběžnost křivek v procentech
- E = překrytí vzorku se standardem v rocích
- F = datování



Obr. 30: Datování průměru 03 podle německé standardní dubové chronologie

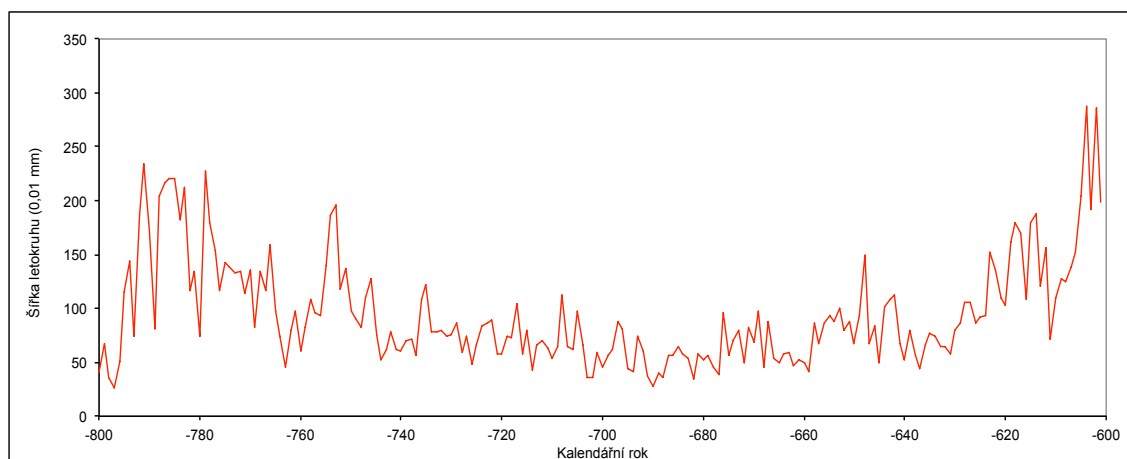
#### 6.1.1.4 Vzorek 04 – Dub

Jedná se o jednu letokruhovou křivku, která je dlouhá 200 let (obr. 31). Letokruhová křivka byla datovaná německým dendrochronologem Willy Tegelem podle německých dubových chronologií do období od roku 800 do roku 601 před naším letopočtem. Z tab. 6 je patrné, že vzorek 04 dosáhl přibližně stejných hodnot t-testů i souběžnosti u všech tří použitých německých chronologií. Z důvodu pouze jedné křivky není vytvořen graf proložení vzorku 04 v jednotlivých kalendářních rocích ani graf závislosti průměrné šířky letokruhu na délce letokruhové křivky 04.

Tab. 6: Hodnoty synchronizace jednotlivých standardních dubových chronologií se vzorkem 04

A	B	C	D	E	F
vzorek 04					
Německo1	5,37	5,12	64,5	200	601
Německo2	4,3	4,23	64,8	200	601
Německo3	5,81	5,32	65	200	601

- A = standardní chronologie
- B = T.test 1 (podle Baillie & Pilcher)
- C = T.test 2 (podle Hollsteina)
- D = souběžnost křivek v procentech
- E = překrytí vzorku se standardem v rocích
- F = datování



Obr. 31: Letokruhová křivka vzorku 04

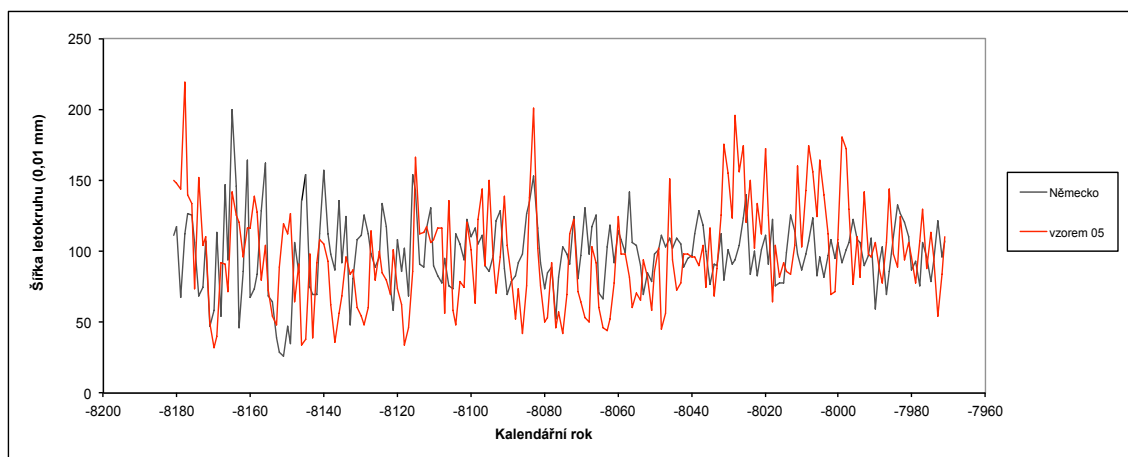
### 6.1.1.5 Vzorek 05 – Dub

Jedná se o jednu letokruhovou křivku dlouhou 211 let, kterou bylo možné spolehlivě datovat podle německé dubové chronologie do období od roku 8181 do roku 7971 před naším letopočtem (obr. 32). Hodnoty t-testů (více jak 4) a procento souběžnosti křivek (61%) dosahují dostatečně vysokých hodnot pro spolehlivé datování při překrytí vzorku více jak 120 letokruhy (tab. 7). Z důvodu pouze jedné křivky není vytvořen graf proložení vzorku 05 v jednotlivých kalendářních rocích ani graf závislosti průměrné šířky letokruhu na délce letokruhové křivky 05.

Tab. 7: Hodnoty synchronizace standardní dubové chronologie se vzorkem 05

A	B	C	D	E	F
vzorek 05					
Německo	4,38	4,01	61,1	211	-7971

- A = standardní chronologie
- B = T.test 1 (podle Baillie & Pilcher)
- C = T.test 2 (podle Hollsteina)
- D = souběžnost křivek v procentech
- E = překrytí vzorku se standardem v rocích
- F = datování



Obr. 32: Datování vzorku 05 podle německé standardní dubové chronologie

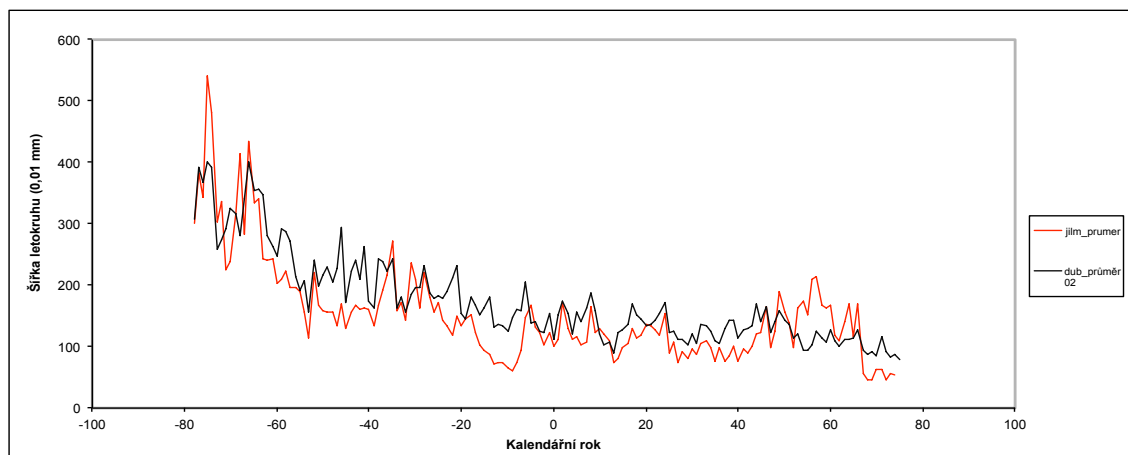
### 6.1.1.6 Průměr 01 – Jilm

Jak již bylo zmíněno, tak na lokalitě bylo kromě dubových kmenů nalezeno také několik jilmů. Z 5 letokruhových křivek bylo možné sestavit průměrnou letokruhovou křivku o délce 154 let (obr. 33), kterou bylo možné velmi spolehlivě datovat podle již datovaného dubového průměru 02 do období od roku 78 před naším letopočtem do roku 75 našeho letopočtu. Tab. 8 ukazuje vysoké hodnoty t-testů (více jak 6). Spolehlivost datování potvrzuje i vysoké procento souběžnosti křivek (70,5 %) a jejich shoda ve většině extrémních hodnot (obr. 33). Překrytí dubového průměru 02 a jilmového průměru 01 bylo po celé délce křivky a to 154 let. Z důvodu malého počtu křivek není vytvořen graf proložení jilmového průměru 01 v jednotlivých kalendářních rocích ani graf závislosti průměrné šířky letokruhu na délce průměrné letokruhové křivky jilmu 01.

Tab. 8: Hodnoty synchronizace dubového průměru 02 s průměrem jilm 01

A	B	C	D	E	F
průměr jilm 01					
průměr dub 02	6,23	8,31	70,5	154	75

- A = standardní chronologie
- B = T.test 1 (podle Baillie & Pilcher)
- C = T.test 2 (podle Hollsteina)
- D = souběžnost křivek v procentech
- E = překrytí vzorku se standardem v rocích
- F = datování



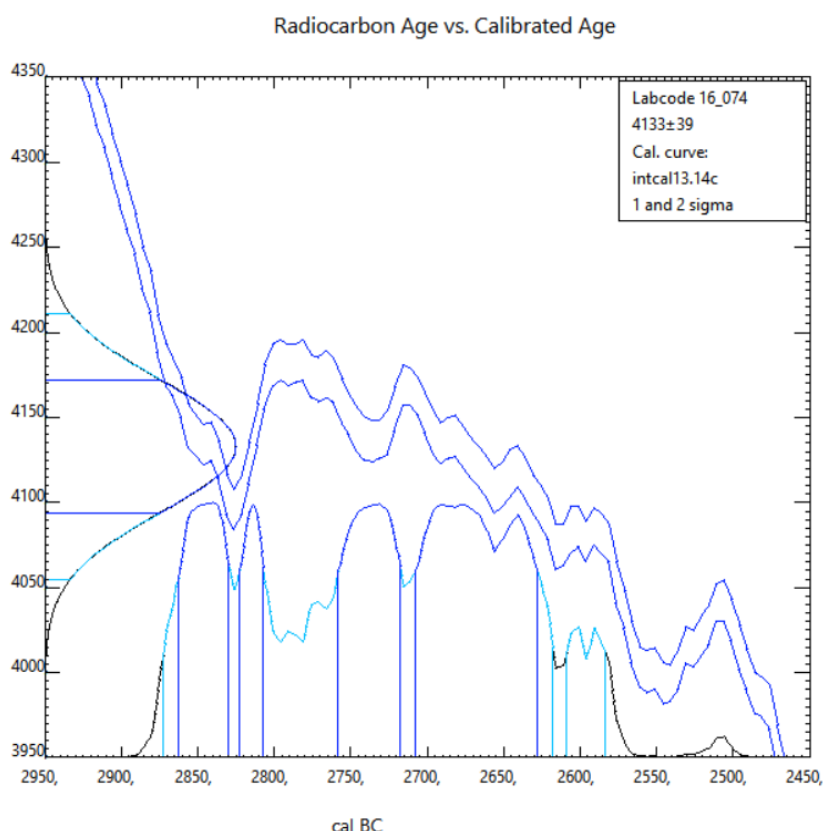
Obr. 33: Datování průměru – jilm 01 podle dubového průměru 02

## 6.1.2 Mnichovo hradiště

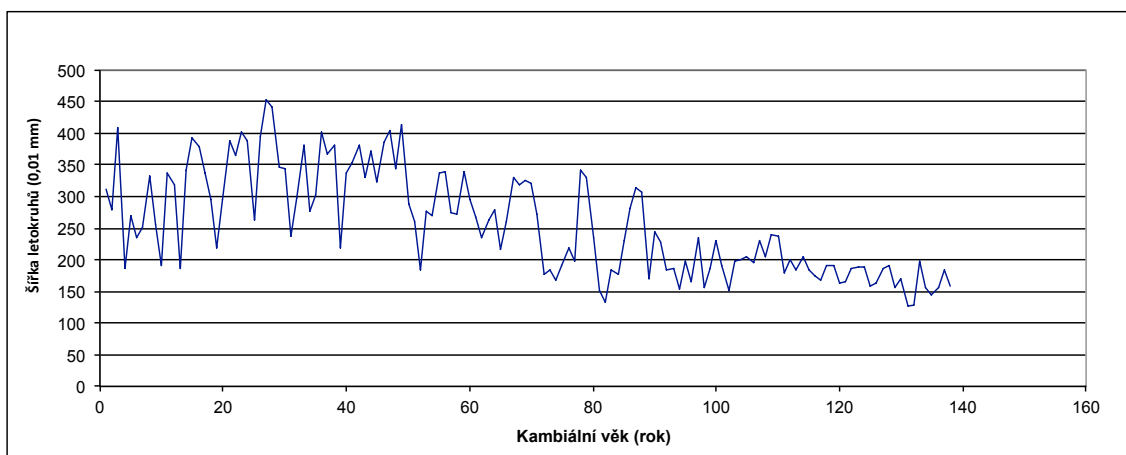
Na lokalitě bylo celkem odebráno 7 vzorků. Z celkového počtu bylo datováno 6 dubů. Ze 6 dubových letokruhových křivek bylo sestaveny 2 průměrné letokruhové křivky které byly následně datovány pomocí radiokarbonové metody.

### 6.1.2.1 Průměr 01 – Dub

Průměr byl sestaven z 2 letokruhových křivek a je dlouhý 138 let. Průměr nebylo možné spolehlivě datovat dendrochronologicky podle dostupných standardních chronologií. Vybraná část jednoho vzorku byla proto odeslána na radiouhlíkové datování, které ukázalo, že vzorky pocházejí z období od roku 2873 do roku 2583 před naším letopočtem (obr. 34). Následně byl průměr opět datován dendrochronologicky v tomto období, ale nebylo možné najít žádnou spolehlivou pozici pro absolutní datování. Z obr. 35 je vidět, že se vzrůstajícím kambiálním věkem stromu klesá šířka letokruhu.



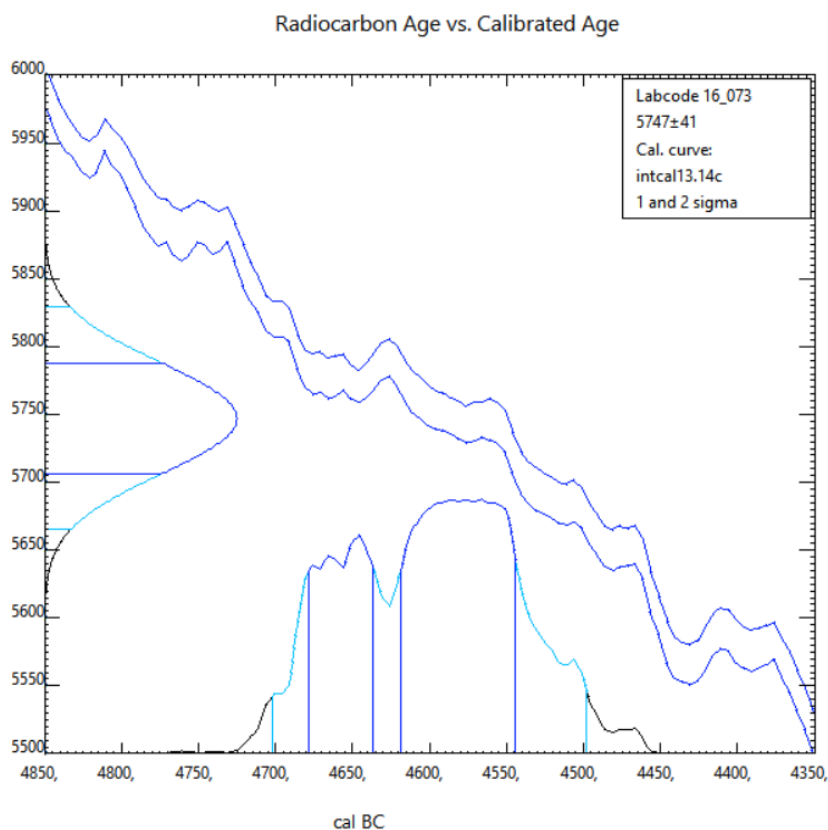
Obr. 34: Radiouhlíkové datování průměru 01 (Zdroj: Závěrečná zpráva radiouhlíkového datování Ústavu jaderné fyziky AV ČR)



Obr. 35: Závislost průměrné šířky letokruhu na kambiálním věku stromu u průměru 01

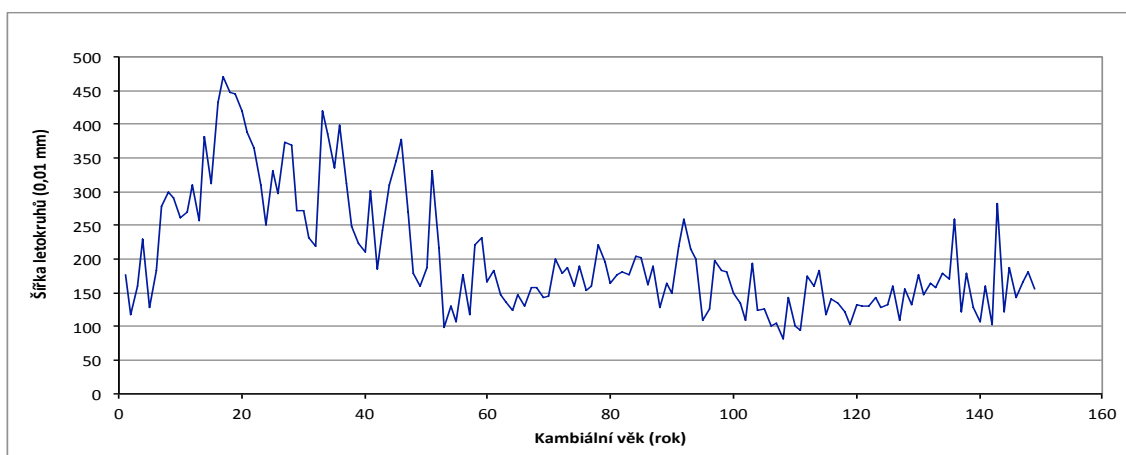
### 6.1.2.2 Průměr 02 – Dub

Průměr byl sestaven ze 4 letokruhových křivek o délce 149 let. Je datovaný za pomoci radiouhlíkové metody do období sahající přibližně od roku 4702 do roku 4497 před naším letopočtem (obr. 36). Ani u toho průměru nebylo možné dendrochronologicky najít přesnou pozici pro absolutní datování. Z obr. 37 je vidět, že se vzrůstajícím kambiálním věkem stromu klesá šířka letokruhu.



Obr. 36: Radiouhlíkové datování průměru 02 (Zdroj: Závěrečná zpráva radiouhlíkového datování Ústavu jaderné fyziky AV ČR)





Obr. 37: Závislost průměrné šířky letokruhu na kambiálním věku stromu u průměru 02

### 6.1.3 Sandberg

Na lokalitě byly celkem odebrány 4 vzorky, z nichž bylo možné datovat jeden vzorek.

#### 6.1.3.1 Vzorek 01 – Dub

Letokruhová křivka dlouhá 213 let byla datována podle české dubové chronologie do roku 965 našeho letopočtu (obr. 39). Současně byl vzorek datován za pomoci radiouhlíkové metody a to do období od roku 777 až do roku 994 (obr. 38) našeho letopočtu, což potvrdilo správnost datování. Tab. 9 uvádí dostatečně vysoké statistické parametry. Z důvodu pouze jedné křivky není vytvořen graf proložení vzorku 01 v jednotlivých kalendářních rocích ani graf závislosti průměrné šířky letokruhu na délce letokruhové křivky 01.

Tab. 9: Hodnoty synchronizace české standardní dubové chronologie s průměrem 01

A	B	C	D	E	F
vzorek 01					
ČR	5,12	4,99	69,5	213	965

A = standardní chronologie

B = T.test 1 (podle Baillie & Pilcher)

TBP

C = T.test 2 (podle Hollsteina)

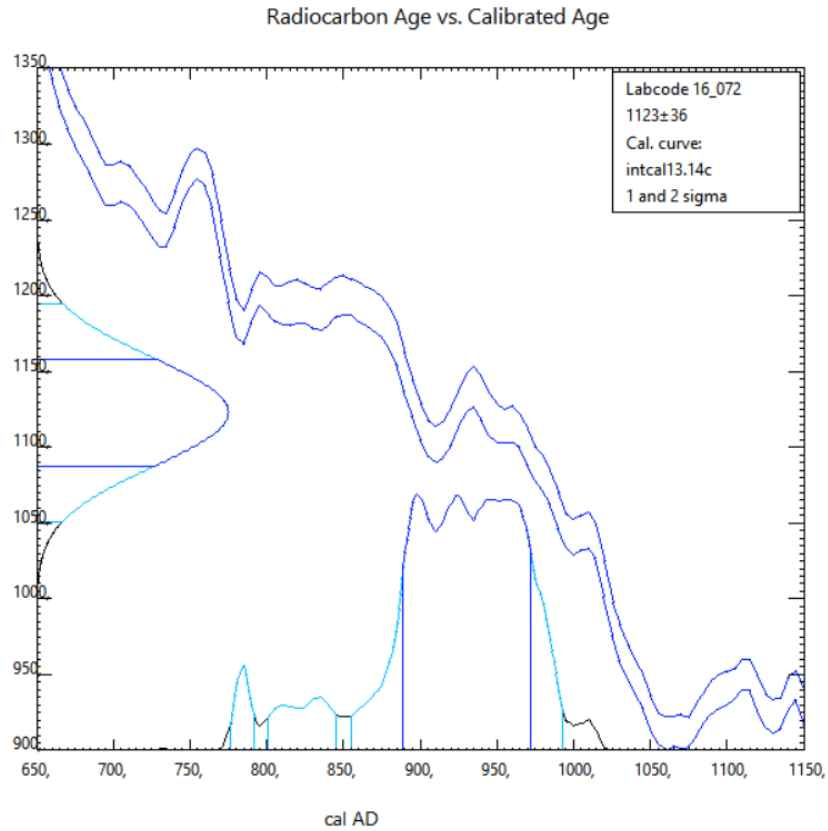
THO

D = souběžnost křivek v procentech

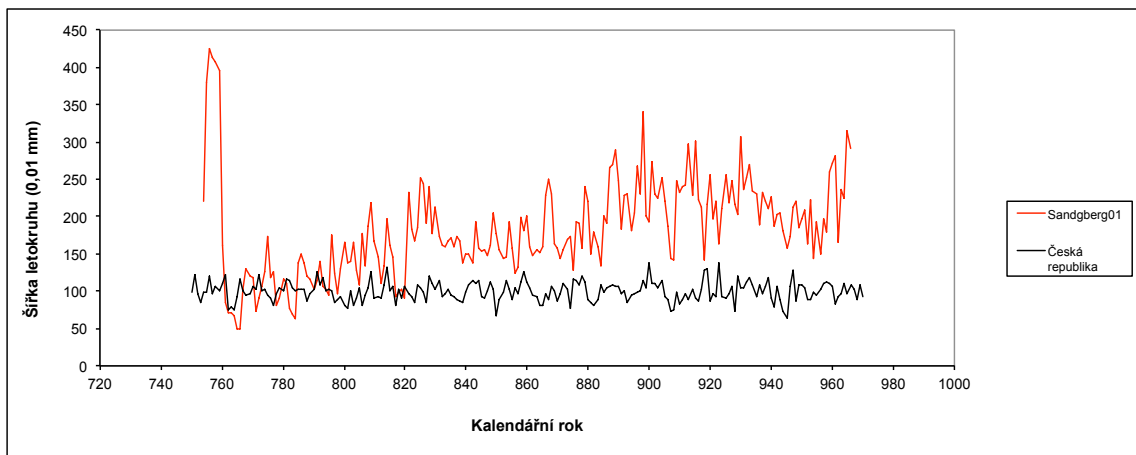
GL

E = překrytí vzorku se standardem v rocích

F = datování



Obr. 38: Radiouhlíkové datování vzorku 01 (Zdroj: Závěrečná zpráva radiouhlíkového datování Ústavu jaderné fyziky AV ČR)



Obr. 39: Datování vzorku Sandberg 01 podle české standardní dubové chronologie

## 6.2 Výsledky dendrochronologické analýzy – Staré vzorky

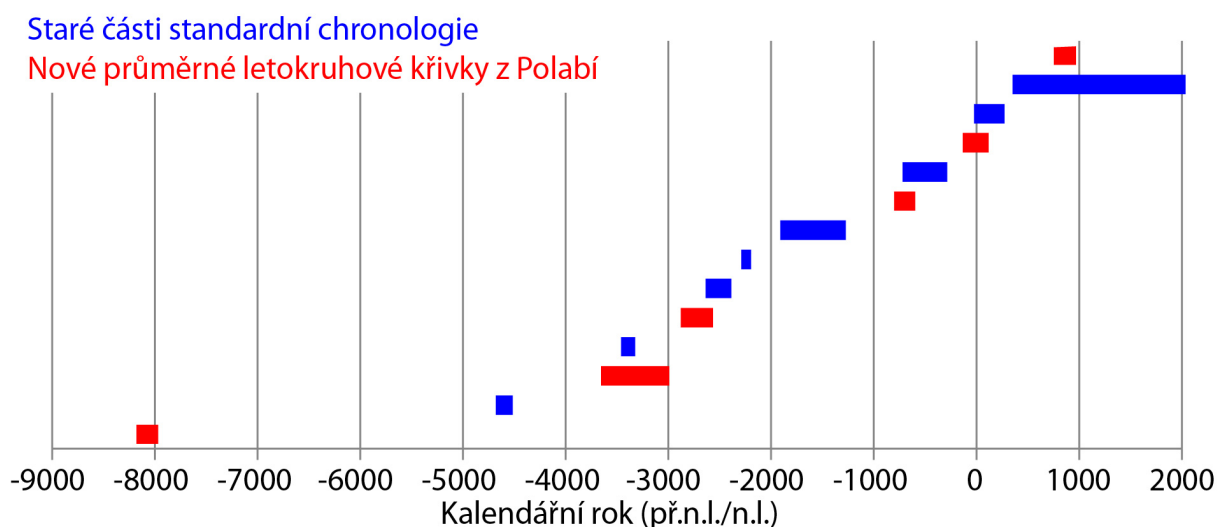
Celkem bylo nalezeno 113 starých vzorků ze třech lokalit v oblasti Polabí – Poděbrady Kluk, Lázně Toušeň a Lysá nad Labem. Z tab. 10 je patrné že, ze vzorků z lokality Poděbrady Kluk bylo celkem sestaveno 6 průměrných letokruhových křivek, z nichž byly datovány 4 křivky. Nejdelší z nich byla křivka Labe01, která byla dlouhá 247 let. Nejvíce letokruhových křivek bylo použito na sestavení letokruhové křivky Labe02 (17 křivek). Nejstarší byla křivka Labe03, která byla datována do období 4683 až 4520 let př.n.l. Dále je z tab. 10 patrné, že ze vzorků Lysá nad Labem bylo celkem sestaveno 6 průměrných letokruhových křivek, které bohužel nebylo zatím možné datovat podle dostupných standardních chronologií. Vzhledem k tomu, že jednotlivé vzorky nejsou k dispozici, není možné vzorky odeslat k radiokarbonovému datování. Nejdelší z těchto křivek byla křivka Lysa01, která byla dlouhá 172 let. Na sestavení této křivky bylo také použito nejvíce letokruhových křivek (5). Jako poslední je z tab. 10 vidět, že ze vzorků Lázně Toušeň bylo celkem sestaveno 10 průměrných letokruhových křivek, z nich bylo možné datovat 4 křivky. Nejdelší z tohoto území byla křivka toušen\_prum02, která byla dlouhá 238 let. Na tuto průměrnou letokruhovou křivku bylo zároveň použito nejvíce letokruhových křivek (28). Nejstarší byla křivka tousen\_prum01, která byla podle dostupných standardních chronologií datována do období 2639 až 2450 let př.n.l.

Tab. 10: Souhrn nalezených starých vzorků

Labe - Poděbrady Kluk					
průměr	dřevina	počet křivek	začátek	konec	délka
Labe01	dub	5	-2636	-2390	247
Labe02	dub	17	-3461	-3328	134
Labe03	dub	7	-4683	-4520	164
Labe04	dub	9	-2289	-2196	94
Labe05	dub	2	-	-	79
Labe06	dub	3	-	-	80
Lysá nad Labem					
průměr	dřevina	počet křivek	začátek	konec	délka
Lysa01	dub	5	-	-	172
Lysa02	dub	2	-	-	141
Lysa03	dub	2	-	-	93
Lysa04	dub	2	-	-	131
Lysa05	dub	2	-	-	121
Lysa06	dub	3	-	-	152
Lázně Toušeň					
průměr	dřevina	počet křivek	začátek	konec	délka
tousen_prum01		5	-2639	-2450	190
tousen_prum02		28	352	589	238
tousen_prum03		2	-	-	166
tousen_prum04		6	-1911	-1715	197
tousen_prum05		2	-	-	100
tousen_prum06		2	664	778	115
tousen_prum07		3	-	-	153
tousen_prum08		2	-	-	65
tousen_prum09		2	-	-	154
tousen_prum10		2	-	-	135

### 6.3 Rozšíření české standardní dubové chronologie

Jak je vidět z obr. 40, standardní česká dubová chronologie byla prodloužena o období od roku 8181 do roku 7971. Dále byla standardní chronologie prodloužena a lépe proložena v období od roku 3655 až do roku 2994 př.n.l. Dále byl prodloužen úsek standardní chronologie v 2. polovině prvního a třetího tisíciletí př.n.l. Významně byla standardní chronologie rozšířena v období kolem roku 0. K zlepšení proložení dochází v roce 754 až 965 našeho letopočtu (obr. 40).



Obr. 40: Prodloužení české standardní dubové chronologie.

## 7. DISKUZE

Kmeny subfossilních dubů jsou velice vzácné a ojedinělé. Mají však velký význam zejména pro dendrochronologii. Je velmi složité vytipovat místo, kde by se dané kmeny mohly vyskytovat, stejně tak je složité kmeny na již vytipovaných místech najít a odebrat z nich vzorky. Z tohoto důvodu je nutné udržovat stálý kontakt např. s pracovníky pískoven, štěrkoven a povodí velkých českých řek. Nutné jsou časté návštěvy a mapování míst případného odběru.

Tato práce se zabývala subfossilními kmeny dubů z oblasti Polabí, konkrétně z lokalit: Kostomlátky, kde bylo odebráno 110 vzorků (datováno 89), Mnichovo hradiště, kde bylo odebráno 7 vzorků (datováno 6), Sandberg, kde byly celkem odebrány 4 vzorky (datován jeden) a Hradištko I, kde byl odebrán jeden vzorek, který se nepodařilo datovat. Obvykle jsou na lokalitách nacházeny subfossilní kmeny v jednotkách, výjimečně desítkách kusů (Kolář, 2012). Kostomlátky jsou tak lokalitou, kde bylo v ČR nalezeno nejvíce subfossilních kmenů na jednom území. Je to dáno velmi intenzivní těžbou písku v této oblasti a také ochotnými majiteli, kteří umožnili odběr vzorků.

Nejstarším a unikátním nálezem byl dubový vzorek číslo 5 (Obr. 3) nalezený na lokalitě Kostomlátky. Jedná se o nejstarší dubový vzorek nalezený na území České republiky. Tento vzorek je dlouhý 211 let a byl dendrochronologicky datován spolehlivě (tab. 7) podle jihoněmecké standardní dubové chronologie do období od roku 8181 do roku 7971 před naším letopočtem (Obr. 32). Jak uvádí Rybníčková (1985), v tomto období (kolem roku 8 000 př.n.l.) dochází k velmi rychlému šíření dubu do střední Evropy, až 500 m za rok. V České republice v této době je dub rozšířen po celém území Moravy a neobsazena zůstává pouze jihozápadní část Čech za bariérou Šumavy a Českého lesa až ke střední Vltavě. Takto staré nálezy jsou výjimečné i na území celé Evropy. Na Slovensku bylo dohledán pouze několik takových kmenů v průběhu výstavby vodních děl na Dunaji v oblasti Gabčíkovo, jejichž stáří bylo zjištěno na přibližně 8150 let (Horský a Reinprecht. 1986). Výjimečnost nálezu dokazují i nejdelší standardní chronologie v Evropě (viz kapitola 3.1.6). Nejdelší a nejstarší chronologie v Evropě je pro Jižní Německo (Hohenheim) a sahá do roku 8480 let př.n.l. (Becker, 1993; Spurk a kol., 1998; Friedrich et al. 2004).

K významnému rozšíření české standardní dubové chronologie přispěly zejména průměry 01 a 02 z pískovny Kostomlátky. První průměr je dobře proložen z 33 letokruhových křivek a pokrývá období více jak 660 let. Tento průměr byl datovaný do období od roku 3655 do roku 2996 před naším letopočtem. Vzhledem k tomu, že poslední verze standardní chronologie byla v tomto období pokryta pouze mezi lety 3460–3325 př.n.l., tedy 134 letokruhy, došlo k výraznému rozšíření chronologie v období doby měděné, tedy závěrečné fázi doby kamenné. Druhý průměr (02) byl sestaven z 24 letokruhových křivek a pokrývá téměř 250 let v období od roku 133 před naším letopočtem do roku 115 našeho letopočtu. Z této doby existoval pouze průměr vytvořený ze studny z Hostivic, který zahrnoval období od roku 26 př.n.l. do roku 289 n.l. (Kolář a kol. 2012). I zde tedy došlo k výraznému posunu o přibližně sto let zpátky do minulosti. Obě dvě průměrné letokruhové křivky byly vytvořeny z více než 20 křivek, což v případě subfosilních nálezů není příliš časté. I když se jedná o nálezy z jedné lokality, tak se obvykle promíchávají v jednom nálezu různá období (Kalicki a Krapiec, 1995), což právě souhrn vzorků z Kostomlátek současně i dokazuje.

Ostatní průměrné letokruhové křivky, které byly datovány, lze do standardní chronologie zařadit. A však jedná se o průměry, které jsou tvořeny obvykle pěti a méně letokruhovými křivkami. Jedná se o období především ve třetím a prvním tisíciletí před naším letopočtem. S ohledem na velký soubor vzorků z Kostomlátek lze usuzovat, že dub migroval do této oblasti nejpozději na přelomu 8. a 9. tisíciletí před naším letopočtem a vyskytuje se tam i dnes.

Co se týká skladby dřevin vyskytujících se v podobě subfosilních kmenů, tak výsledky ukazují, že převážná většina byla zastoupena dubem, což dokládá i literatura (např. Dvorská a Vít, 2002). Kromě dubových kmenů lze výjimečně najít i jiné dřeviny např. jilm, javor, buk, jasan, borovici nebo topol (Kolář a Rybníček, 2011; Dvorská a Vít, 2002). Na lokalitě Kostomlátky byla nalezena skupina jilmů, z nichž bylo po změření možné vytvořit průměrnou letokruhovou křivku dlouhou více jak 150 let. Průměr bylo možné velmi spolehlivě datovat podle dubového průměru ze stejného nálezů do období od roku 78 před naším letopočtem do roku 75 našeho letopočtu. Jedná se tak o nejstarší datovaný jilmový nález v ČR.

Dřevo subfosilních dubů je jako materiál velice vzácné a má specifickou tmavou barvu v důsledku reakcí taninů obsažených ve dřevě s železitými složkami rozpuštěnými ve vodě (Govorčín a Sinkovič, 1995). Lze ho v omezené míře využít

v nábytkářském průmyslu v podobě krájených dřív nebo k výrobě masivního nábytku. Nachází uplatnění pro výrobu šperků a luxusních bytových doplňků jako jsou různé sošky, svícny, stojany či šperkovnice ale také v řezbářství a výrobě hudebních nástrojů. Při jeho zpracovávání je však důležité dbát na jisté odlišnosti od dřeva dubu recentního, zejména nadměrné otupování nástrojů v důsledku zanesení dřeva štěrkem a pískem dále pak nadměrné borcení a vznik velkého množství trhlin. Pro předcházení těchto problémů je doporučeno velice pozvolné přirozené vysoušení dřeva (Horský a Reinprecht, 1986).



## 8. ZÁVĚR

Tato diplomová práce měla dva hlavní cíle. V první části odebrat vzorky subfossilních kmenů z dané oblasti, provést dendrochronologickou analýzu a křivky datovat podle dostupných českých i zahraničních standardních chronologií. Současně také dohledat a shromáždit již dříve odebrané subfossilní kmeny z dané oblasti. Vybrané datované letokruhové křivky dále použít pro zlepšení a prodloužení české dubové standardní chronologie CZGES2010. Vzorky byly zpracovány podle standardní dendrochronologické metodiky.

Nejstarším nálezem v této práci byl dubový vzorek, objevený na lokalitě Kostomlátky. Stáří tohoto vzorku sahá až do osmého tisíciletí před naším letopočtem, jedná se tedy o nejstarší dubový nález na území České republiky. Česká dubová chronologie byla prodloužena a lépe proložena v obdobích druhé poloviny třetího tisíciletí a kolem roku nula. Současně byl vytvořen jilmový průměr, který byl dlouhý 150 let a byl datován pomocí dubového průměru také na přelom letopočtů.

V druhé části byly radiouhlíkovou metodou datovány celkem 3 vzorky. Jednalo se o dva vzorky z oblasti Mnichovo Hradiště, na jejichž základě mohly být časově zařazeny dvě průměrné letokruhové křivky a to do období: 2873–2585 př. n. l. a 4702–4497 př. n. l. Dále pak jedna letokruhová křivka z oblasti Sandberg datována jak radiouhlíkovou metodou tak i zpětně dendrochronologicky pomocí standardní české dubové chronologie CZGES2010 do 10. století n. l..

Ve starých záznamech bylo dohledáno celkem 113 již dříve zpracovaných letokruhových křivek z oblasti Polabí. Z nich bylo vytvořeno 22 průměrných letokruhových křivek, přičemž 8 těchto průměrných křivek bylo datováno.

Výsledky dosažené v této diplomové práci významně přispěly k prodloužení a lepšímu proložení české dubové standardní chronologie v určitých obdobích minulosti. Standardní chronologie bude sloužit k datování dubových nálezů na území České republiky. Díky vylepšování standardní chronologie dochází ke zvyšování úspěšnosti datování nálezů. Současně se ukázalo, že je možné v některých případech spolehlivě datovat podle dubové standardní chronologie i nálezy jilmu.

## 9 SUMMARY

This thesis had two main goals. The first goal was to take samples from subfossil trunks from the Polabí region. Then, samples were measured and dated according to available Czech and foreign oak standard chronologies. Simultaneously, earlier sampled subfossil trunks from the study area were collected. Suitable dated tree-ring series were used to improvement and extension of the Czech oak standard chronology. Samples were processed according to standard dendrochronological methodology.

The oldest finding in this work was oak trunk found in Kostomlátky. This sample was dated into 8th millennium BC. It is the oldest oak discovery in the Czech Republic. In addition, the Czech oak chronology was extended and better replicated in the second half of the third millennium and around zero. Simultaneously, 150 years long elm average tree-ring series was created dated using oak average tree-ring series in the 1<sup>st</sup> century AD.

The second goal was prepared samples for radiocarbon dating. Two samples from Mnichovo Hradiště were dated as follows 2873–2585 BC and 4702–4497 BC. Based on these two samples, two average tree-ring series could be dated. Moreover, one tree-ring series from Sandberg was dated both radiocarbon and dendrochronological methods into the 10th century AD.

In total, 113 earlier processed tree-ring series were found from the Polabí region out of which 22 average tree-ring series were created and eight even dated.

Achieved results significantly helped to extension and better replication of the Czech oak standard chronology in several periods in the past. The standard chronology will serve for dating oak findings in the area of the Czech Republic. Thanks to improvement of the standard chronology, successfulness of dating of new oak findings increased. Moreover, it was proved that reliable dating of historical elm findings is possible according to the oak standard chronology.

## 10 SEZNAM LITERATURY

BAILLIE, M.G.L., 1995. A slice through time: Dendrochronology and precision dating. 1<sup>st</sup> issue, London: B.T. Batsford Ltd.: 176 s.

BECKER B. 1993. An 11,000 year German oak and pine chronology for radiocarbon calibration. Radiocarbon 35 (1): 201–213 s.

BERGER R., GIERTZ V., HORN W. 1971. Can German tree-ring curves be applied in France and England? Vernacular Architecture 2: 3–6 s.

BÜNTGEN, U., TEGEL, W., NICOLUSSI, K., MCCORMICK, M., FRANK, D., TROUET, V., KAPLAN, J.O., HERZIG, F., HEUSSNER, K.U., WANNER, H., LUTERBACHER, J., ESPER, J., 2011. 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. Science 331 (6017), 578–582 s.

COOK E. R., KAIRIUKSTIS L. A. 1990. Methods of Dendrochronology – Applications in the Environmental Science. Kluwer Academic Publisher and International Institute for Applied Systems Analysis. Dordrecht, Boston, London, 394 s.

ČERMÁK P. 2007. Defoliace a radiální růst, ukazatelé vitality smrku ztepilého. Lesnická práce 11, 15 s.

DOUGLAS A. E. 1937. Treerings and chronology. Bulletin, University of Arizona 8. Physical Science Series 1, 6 s.

DVORSKÁ J AND VÍT J, 2002. Dendrochronologické a radiometrické zpracování subfossilních kmenů z Mohelnice (Dendrochronological research and radiocarbon dating of subfossil trunks from Mohelnice, Northern Moravia). In: Anonymus, ed., 8. Kvartér 2002. Brno: 22-25 s.

FRIEDRICH, M., REMMELE, S., KROMER, B., HOFMANN, J., SPURK, M., KAISER, K.F., ORCEL, CH., KÜPPERS, M., 2004. The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from central Europe – a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. Radiocarbon, 46 (3): 1111–1122 s.

FRITZ, H.C., 1976. Tree ring and climate. London, Academic Press, 320 s.

GEIHOFFER, D., GRABNER, M., GELHART, J., WIMMER, R., FUCHSBERGER, H., 2005. New master chronologies from historical and archaeological timber in Eastern Austria, in: Sarlatto, M., Di Filippo, A., Piovesan, G., Romagnoli, M. (Eds.), EuroDendro 2005. Proceedings of the EuroDendro 2005, Viterbo, Italy, 0–51 s.

GOVORČIN, S., SINKOVIC, T., 1995. Some physical and mechanical properties of the Bednja abonos. *Drvna–Industrija*, 46 s.

HORÁČEK P. 1994. Dynamika radiálního růstu smrku ztepilého (*Picea abies* (L) Karst.) v závislosti na ekologických podmínkách. Disertační práce. Brno: VŠZ, Ústav lesnické botaniky, dendrologie a typologie, Lesnická a dřevařská fakulta, 144 s.

HORSKÝ, D., REINPRECHT, L., 1986. Štúdia subfosilneho dubového dreva. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska. 70 s.

KAENNEL M., SCHWEINGRUBER F.H. 1995: Multilingual Glossary of Dendrochronology. Berne, Paul Haupt Publishers: 467 s.

KALICKI T. AND KRAPIEC M, 1995. Problems of dating alluvium using buried subfossil tree trunks: lessons from the “black oaks” of the Pistula Halley, Central Europe. *The Holocene* 5(2): 243-250 s.

KRAPIEC, M., 2001. Holocene dendrochronological standards for subfossil oaks from the area of Southern Poland. *Studia Quaternaria*, 18, 47–63 s.

KRAPIEC, M., 1996. Subfossil oak chronology (474 BC – AD 1529) from Southern Poland. In: Dean, J.S., Meko, D.M., Swetnam, T.W. (eds.) *Tree Rings, Environment and Humanity*, Tucson, Arizona. *Radiocarbon*: 813–819 s.

KOLÁŘ, T., KYNCL, T., RYBNÍČEK, M., 2012. Oak chronology development in the Czech Republic and its teleconnection on a European scale. *Dendrochronologia* 30 (3): 243–248 s.

KOLÁŘ T., 2012. Oak Wood Properties Change in Time on an Example of Subfossil Trunks (Změna vlastností dřeva dubu v čase na příkladu subfosilních kmenů). Dizertační práce, MENDELU v Brně, 111 s.

KOLÁŘ, T., RYBNÍČEK, M., 2011. Dendochronological and radiocarbon dating of subfossil wood from the Morava River basin. *Geochronometria* 38 (2): 155–161 s.

LEUSCHNER H., DELORME A. 1988. Tree-ring work in Göttingen: absolute oak chronologies back to 6255 BC. PACT 22: 123–132 s.

LEUSCHNER, H.H., 1992. Subfossil trees. In: Bartholin, T. et al. (eds.): Tree-rings and Environment. Proceedings of the International Symposium, Ystad, South Sweden. Lundqua Report, 34: 193–197 s.

PENKA M. 1985. Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Academia, Praha, 250 s.

PILCHER J.R., BAILLIE M.G.L., SCHMIDT B., BECKER B. 1984. A 7,272 year tree-ring chronology for western Europe. Nature 312: 150–52 s.

POLÁČEK, L., 2002. Dendrochronologické fórum 2002 — Dendrochronologie v české archeologii dnes a zítra. Archeologický ústav AV ČR Brno.

POŽGAJ A., CHOVANEC D., KURJATKO S., BABIAK M. 1993. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava, Príroda, 485 s.

PROKOP, O., KOLÁŘ, T., KYNCL. T., RYBNÍČEK, M. Updating of the Czech millennia-long oak tree-ring width chronology. Tree-ring Research 73(1): 47–52 s.

RYBNÍČKOVÁ, E., 1985. Dřeviny a vegetace Československa v nejmladším kvartéru. Disertační práce, Brno, Ústav experimentální fyto techniky ČSAV. 317 s.

RYBNÍČEK, M., 2003. Sestavení dendrochronologických standardů pro město Brno. Diplomová práce. MZLU v Brně, 89 s.

RYBNÍČEK M. 2004. Dendrochronological analysis of the roof of the Nanebevzetí Panny Marie and Sv. Ondřeje church in staré Hobzví. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., LII, No. 5, pp, 155-168 s.

RYBNÍČEK M. 2007. Dendrochronologické datování dřevěných částí historických staveb, archeologických vzorků a výrobků ze dřeva – sestavení národní dubové chronologie. Disertační práce. Brno MZLU, 111 s.

SCHWEINGRUBER, F. H., 1993. Trees and Wood in Dendrochronology. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 402 s.

SCHWEINGRUBER F. H. 1996. Tree Rings and Environment Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Bern Stuttgart, Vienna, 609 s.

SPEER, J. H., 2010. Fundamentals of Tree-Ring Research. University of Arizona Press, Tucson; 333 s.

SPURK, M., FRIEDRICH, M., HOFMANN, J., REMMELE, S., FRENZEL, B., LEUSCHNER, H.H., KROMER, B., 1998. Revisions and extensions of the Hohenheim oak and pine chronologies – New evidence about the timing of the Younger Dryas/Preboreal – Transition. *Radiocarbon*, 40 (3): 1–10 s.

ŠAMAJ F., PROŠEK P., CABAJOVÁ Z. 1994. *Agrometeorológia a bioklimatológia*.

Univerzita Komenského, Bratislava, 306 s nionsv novneov novwnwo.

ŠEBÁNEK J. ed. 1992. *Plant Physiology. Developments in Crop Science 21*. Elsevier, Amstrdam – Oxford – New York – Tokio

ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L. 1998. *Stavba dřeva*. MZLU Brno, 179 s.

ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L., HORÁČEK P. 2002. *Nauka o dřevě*. MZLU Brno, 184 s.

ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L. 2004. *Stavba dřeva cvičení*. MZLU Brno, 187 s.

ŠMELKO Š., WOLF J. 1977. *Štatistické metody v lesnictve . Příroda*, 330 s.

TEGEL, W., ELBURG, R., HAKELBERG, D., STÄUBLE, H., BÜNTGEN, U., 2012. Early Neolithic Water Wells Reveal the World's Podest Wood Architecture. *PLOS ONE*, volume 7, issue 12, e 51374

TEGEL, W., J. VANMOERKERKE, AND U. BÜNTGEN, 2010. Updating historical tree-ring records for climate reconstruction. *Quaternary Science Reviews* 29:1957–1959.

ÚRADNÍČEK L., MADĚRA P., TICHÁ S., KOBLÍŽEK J., 2010. *Dřeviny České republiky. Lesnická práce*, 368 s.

VAVRCÍK H., ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L., 2002. *Anatomická stavba dřeva– multimediální výukové texty*, MZLU v Brně.

ZOBEL B. J., SPRAGUE J. R. 1986. *Juvenile Wood in Forest Trees*. Springer Verlag, Berlin, 705 s.

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA 2016. *Výsledky radiouhlíkového datování (ze dne 17. 6. 2016)*. Ústav jaderné fyziky AV ČR.

<http://www.archaiabrno.cz/data/images/0006/img0311.jpg>).

<http://dendrochronologie.cz/odber>

<http://dendrochronologie.cz/metodika>

<http://www.eagri.cz/public/web/file/426635/ZZ2014.pdf>

<https://www.google.cz/maps/place/50°00'52.5%22N+15°15'42.1%22E/@50.0145686,15.2463667,14z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d50.0145686!4d15.2616875>

<https://www.google.cz/maps/place/50°32'05.5%22N+14°57'43.7%22E/@50.5348489,14.9621369,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d50.5348489!4d14.9621369>

<https://www.google.cz/maps/place/50°00'52.5%22N+15°15'42.1%22E/@50.0145686,15.2616875,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d50.0145686!4d15.2616875>

<https://www.google.cz/maps/place/50°03'19.1%22N+15°11'21.2%22E/@50.0552931,15.1892275,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d50.0552931!4d15.1892275>

<http://www.vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/iz/node4.html>