

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Letokruhové analýzy, vlastnosti a možnosti
využití subfosilního dubového dřeva z lokality
Poděbrady**

Diplomová práce

Autor: Bc. Lukáš Čefelín
Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lukáš Čefelín

Lesní inženýrství

Název práce

Letokruhové analýzy, vlastnosti a možnosti využití subfosilního dubového dřeva z lokality Poděbrady

Název anglicky

Annual rings analyzes, properties and possibilities of utilization of subfossil oak wood from Poděbrady

Cíle práce

1. Vyhodnotit letokruhové analýzy a vlastnosti subfosilního dubu, i ve vzájemné korelaci.
2. Posoudit faktor fosilizace s ohledem na vybrané vlastnosti dřeva.
3. Porovnat zjištěné výsledky s dostupnými údaji v odborné literatuře.
4. Navrhnout možnosti využití subfosilního dubu.

Metodika

1. Zpracovat literární rešerši o fosilizaci, zkoumané dřevině, hodnocených vlastnostech a o faktorech ovlivňujících proměnlivost subfosilního dřeva.
2. Zabezpečit dendrochronologické datování získaného subfosilního dřeva ve spolupráci se specializovaným externím pracovištěm.
3. Standardizovanými postupy reprezentativně stanovit minimálně hustotu, sesychání, pevnost v tlaku ve směru vláken a tvrdost na zkušebních vzorcích subfosilního dubu.
4. Výsledky statisticky zpracovat, analyzovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.

Doporučený rozsah práce

60-80 stran

Klíčová slova

fosilizace, dub, letokruhové analýzy, fyzikální a mechanické vlastnosti, subfosilní dřevo

Doporučené zdroje informací

- Borůvka, V., and Babiak, M. (2016). Vlastnosti dřeva v příkladech, 1. vyd. Praha ČZU, 139 s. ISBN 978-80-213-2618-7
- Kolář, T., and Rybníček, M. (2010). Physical and Mechanical Properties of Subfossil Oak Wood, Acta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně LVIII(4), 123-134.
- Kolář, T., Gryc, V., Rybníček, M., and Vavrčík, H. (2012). Anatomical Analysis and Species Identification of Subfossil Oak Wood, Wood Research 57(2): 251-264.
- Kolář, T., Rybníček, M., Střelcová, M., Hedbávný, J., and Vít, J. (2014). The Changes in Chemical Composition and Properties of Subfossil Oak Deposited in Holocene Sediments, Wood Research 59(1), 149-166.
- Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., and Babiak, M. (1997). Štruktúra a Vlastnosti Dreva [Structure and Properties of Wood], Príroda AS, Bratislava, Slovakia. ISBN 80-07-00600-1
- Reinprecht, L., Kúdela, J., and Čunderlík, I. (1988). Vlastnosti subfosilneho dubového dreva z oblasti Zelená voda, Drevársky výskum 117, 79-90.
- Reinprecht, L. (2016). Wood Deterioration, Protection and Maintenance, John Wiley & Sons, Oxford, United Kingdom. ISBN 978-1-119-10653-1
- Tsoumis, G. (1991). Science and technology of wood structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall, pp. 497. ISBN 0-412-07851-1
- Vavrčík, H., and Gryc, V. (2012). Analysis of the annual ring structure and wood density relations in English oak and Sessile oak, Wood Research 57(4), 573-580.
- Wagenführ, R. (2000). Holzatlas, Fachbuchverlag, Leipzig, pp. 707. ISBN 978-3446213906
-

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

Konzultant

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 24. 2. 2018

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Letokruhové analýzy, vlastnosti a možnosti využití subfosilního dřeva vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vlastimila Borůvky, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze dne 15.4.2019

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Vlastimilovi Borůvkovi, PhD. za vedení této diplomové práce, za rady a připomínky při konzultacích. Za odborné rady a pomoc při měření Ing. Tomášovi Holečkovi. Za datování subfossilního dřeva doc. Ing. Michalovi Rybníčkoví, Ph.D. Děkuji.

Abstrakt

Tato práce přináší základní poznatky o změně hustoty, bobtnání, sesychání a vybraných mechanických vlastností (pevnost a modul pružnosti v ohybu, pevnost v tlaku podél vláken, rázová houževnatost a tvrdost). Tyto vlastnosti byly zkoumány na subfosilním dubovém dřevě pocházejícím ze šterkovny Kluk nedaleko města Poděbrady. Datovaný kmen podle vykonané dendrochronologické analýzy spadá do období 75 n. l. Kromě zjišťování vlastností bylo pořízeno několik snímků subfosilního dubového dřeva na elektronovém mikroskopu. Zjištěné výsledky byly vyhodnoceny, a statisticky i graficky znázorněny. Všechny výsledky jsou porovnány s hodnotami dostupnými v odborné literatuře, přičemž jako nejzajímavější se ukázalo, že u subfosilního dubového dřeva dochází vůči recentnímu dubovému dřevu k výraznému poklesu tvrdosti a naopak k nárůstu hodnot pro bobtnání a sesychání.

Klíčová slova: fosilizace, dub, letokruhové analýzy, fyzikální a mechanické vlastnosti, subfosilní dřevo

Abstract

This paper brings a fundamental knowledge of a change of density, swelling, shrinking and chosen mechanical features of a subfossil oak wood. A bending strength, a compression strength parallel to the grain, an impact strength, a modulus of elasticity and a hardness were examined on a subfossil oak wood from a gravel pit Kluk, located in Central Bohemian region of the Czech Republic. The examined trunk dates back 75 B.C. In addition to this examination, several images of a subfossil oak wood were taken by a electron microscope. The results were both statistically and graphically projected in this paper. The collected results were compared with other values from a professional literature. Additionally, findings provided details that subfossil oak wood lost some characteristics to the recent oak wood. Interestingly enough, the values for hardness decreased while values for shrinking and swelling increased.

Key words: fossilisation, oak, annual ring analysis, physical and mechanical properties, subfossil wood

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíle práce	13
3. Literární rešerše.....	14
3.1 Stavba a vlastnosti dubového dřeva	14
3.1.1 Dub letní a dub zimní.....	15
3.1.2 Makroskopická stavba dřeva.....	15
3.1.3 Mikroskopická stavba dřeva	16
3.2 Hodnocené fyzikální vlastnosti dřeva	17
3.2.1 Hustota	17
3.2.2 Vlhkost	17
3.2.3 Bobtnání a sesychání.....	19
3.3 Hodnocené mechanické vlastnosti	22
3.3.1 Pružnost dřeva.....	22
3.3.2 Pevnost dřeva	23
3.3.3 Rázová houževnatost dřeva.....	25
3.3.4 Tvrdost	25
3.4 Subfossilní dřevo	27
3.4.1 Proces fosilizace.....	28
3.4.2 Výskyt subfossilních dubových kmenů	30
4. Metodika	32
4.1 Příprava a klimatizování vzorků	32
4.2 Stanovování fyzikálních a mechanických vlastností	33
4.2.1 Hustota	33
4.2.2 Pevnost v ohybu a statický modul pružnosti.....	34
4.2.3 Rázová houževnatost.....	35
4.2.4 Bobtnání a sesychání.....	37
4.2.5 Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken	38
4.2.6 Tvrdost	39
5. Výsledky a diskuze	41
5.1 Hustota	41
5.2 Bobtnání a sesychání.....	42
5.3 Modul pružnosti ve statickém ohybu	46
5.4 Pevnost v ohybu	47
5.5 Pevnost v tlaku podél vláken	49
5.6 Rázová houževnatost.....	51
5.7 Tvrdost	53
5.8 Možnosti využití subfossilního dubového dřeva	55
5.9 Snímky z elektronového mikroskopu	58
6. Závěr	59
7. Použité zdroje.....	60

Seznam obrázků

Obr. 1 Rozšíření <i>Quercus robur</i> v Evropě (Eaton, 2016).....	14
Obr. 2 Makroskopická stavba dřeva dubu (Němec 2005)	16
Obr. 3 Mikroskopická stavba dřeva dubu (P - Řez příčný, R - Řez radiální, T - Řez tangenciální) (Zdroj: http://fld.czu.cz/).....	16
Obr 5 Sesychání dřeva podél a napříč vláken při různém sklonu mikrofibril (Perelygin 1965) A ₁ , B ₁ - rozměry před seschnutím, A ₂ , B ₂ - rozměry po seschnutí	20
Obr. 6 Obecný tvar pracovního diagramu (Požgaj a kol., 1997)	22
Obr 7. Čistý ohyb dřeva (Požgaj a kol., 1997)	23
Obr. 8 Zatížení dřeva při ohybu kolmo na vlákna v radiálním směru. (Požgaj a kol., 1997)	24
Obr. 9 Způsob zkoušení rázové houževnatosti (Bodig a Jayne, 1982).....	25
Obr. 10 Zkamenělé kmeny stromů v lokalitě Bükkábrány v Maďarsku (Zdroj: http://news.bbc.co.uk/).....	29
Obr. 11 Subfosilní kmen (Zdroj: http://theveneersource.com/).....	31
Obr. 12 Vzorek ze středové fošny, který byl odeslán na datování	32
Obr. 13 Část vzorků před procesem klimatizování.....	33
Obr. 14 Měření vzorku pomocí digitálního posuvného měřítka.....	34
Obr. 15 Zjišťování rázové houževnatosti pomocí Charpyho kladiva	36
Obr. 16 Příprava vzorků na formátovací pile	37
Obr. 17 Zjišťování pevnosti tlaku ve směru vláken pomocí UTS 50	39
Obr. 18 Testování tvrdosti pomocí přístroje Duravision	40
Obrázek 19 Deska stolu ze subfosilního dubového dřeva s ponechanými trhlinami (Zdroj: https://archiproducts.com/)	56
Obrázek 20 Krájená dýha ze subfosilního dubového dřeva	57
Obr. 21 Snímky subfosilního dubového dřeva z elektronového mikroskopu. Snímek A až C zobrazuje usazení krystalů v a na buněčných stěnách.	58

Seznam tabulek

Tabulka 1 Porovnání vybraných vlastností recentního dubového dřeva z literatury při vlhkosti 12 %	26
Tabulka 2 Hodnoty hustoty subfosilního dubového dřeva z dostupné literatury	41
Tabulka 3 Zjištěná hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) pro jednotlivé části kmenů při vlhkosti 12 %, základní statistika.	42
Tabulka 4 Hodnoty pro bobtnání subfosilního dubového dřeva (%) z dostupné literatury.	43
Tabulka 5 Zjištěné hodnoty (%) pro bobtnání subfosilního dubového dřeva, základní statistika.	43
Tabulka 6 Hodnoty pro sesychání subfosilního dubového dřeva (%) z dostupné literatury.	44
Tabulka 7 Zjištěné hodnoty (%) pro sesychání subfosilního dubového dřeva, základní statistika.	45
Tabulka 8 Zjištěné hodnoty pro modul pružnosti ve statickém ohybu [MPa] subfosilního dubového dřeva, základní statistika	46
Tabulka 9 Hodnoty pro pevnost v ohybu subfosilního dubového dřeva z dostupné literatury.....	48
Tabulka 10 Zjištěné hodnoty pro pevnost v ohybu [MPa] subfosilního dubového dřeva, základní statistika.....	48
Tabulka 11 Hodnoty pro pevnost subfosilního dubového dřeva v tlaku podél vláken z dostupné literatury.	49
Tabulka 12 Zjištěné hodnoty pro pevnost subfosilního dubového dřeva v tlaku [MPa], základní statistika.....	50
Tabulka 13 Hodnoty pro rázovou houževnatost [$\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$] subfosilního dubového dřeva dostupné z literatury.....	51
Tabulka 14 Zjištěné hodnoty pro rázovou houževnatost [$\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$] subfosilního dubového dřeva, základní statistika.	52
Tabulka 15 Hodnoty pro tvrdost [MPa] subfosilního dubového dřeva z dostupné literatury	53
Tabulka 16 Zjištěné hodnoty pro tvrdost [MPa] subfosilního a recentního dubové dřeva v radiálním a tangenciálním směru.	53

Tabulka 17 Souhrn vybraných a hodnocených fyzikálních a mechanických vlastností subfosilního dubového dřeva.....	59
--	----

Seznam grafů

Graf 1 Rozdílné hodnoty bobtnání v rámci jednotlivých fošen.....	44
Graf 2 Rozdílné hodnoty sesychání v rámci jednotlivých fošen	46
Graf 3 Znázornění rozdílností pro modul pružnosti ve statickém ohybu v rámci jednotlivých fošen.....	47
Graf 4 Znázornění rozdílností pro pevnost v ohybu v rámci jednotlivých fošen	49
Graf 5 Znázornění rozdílností pro pevnost v tlaku podél vláken v rámci jednotlivých fošen.....	51
Graf 6 Znázornění rozdílností pro rázovou houževnatost v rámci jednotlivých fošen...	52
Graf 7 Rozdíly ve specifické tvrdosti v radiálním směru mezi subfosilním a recentním dubem.....	54
Graf 8 Rozdíly ve specifické tvrdosti v tangenciálním směru mezi subfosilním a recentním dubem.....	55

1. Úvod

Lidstvo bylo obklopeno předměty a nástroji vyrobenými ze dřeva téměř hned od počátku historie, přičemž právě široká využitelnost a snadná dostupnost dřeva vedla člověka k neustávajícímu zájmu o tento přírodní materiál. Dřevo je stále všude kolem nás v jakékoli podobě a ani v budoucnu se na tom bezpochyby nic podstatného nezmění (Vigué, 2006).

Málokterý strom umře poklidně stářím. Jako každý tvor v přírodě má řadu nepřátel, ať už biotických či abiotických. Nejinak to měly stromy, které rostly v blízkosti větších řek, před několika tisíci let. Vlivem podemílání břehů vodou stromy padaly pod hladinu na dno řeky, což není nic neobvyklého a děje se to neustále. Pokud však kmeny ve vodě měly specifické podmínky, zůstaly zachované pod nánosem sedimentů dodnes.

Tyto stromy prošly v průběhu stovek až tisíců let velkou chemickou změnou. V subfossilních kmenech probíhá proces mineralizace, ta zapříčiňuje rozdíl vlastností subfossilního dřeva od dřeva recentního. Dubové dřevo mění svojí barvu na černou, tis na červenohnědou a borovice na zlatě žlutou. Obecně lze říct, že mechanické vlastnosti subfossilního dřeva se v průběhu fosilizace zhoršují.

Datované stáří nalezeného subfossilního dřeva může být až deset tisíc let. K určení stáří se dnes běžně používá vědní disciplína dendrochronologie. Může se ale stát, že je dendrochronologická metoda neúspěšná, v tom případě se používá radiokarbonová metoda.

Největším nalezištěm subfossilního dřeva v Evropě byla pravděpodobně oblast povrchového hnědohelného dolu v Německu, kde bylo nalezeno velké množství převážně dubových kmenů. Velká naleziště subfossilního dřeva jsou na Ukrajině, se dřevem se tam obchoduje a dováží se například do Ameriky. V České republice je to blízké okolí větších řek například Labe, Vltava, Dyje. Subfossilní dřevo se nejčastěji nachází v pískovnách, štěrkovnách, rašeliništích, bažinách a v ledu. O subfossilním dřevě na území České republiky se zřejmě poprvé zmínil F. Jirout (1928) ve své knize Dřevo v přírodě a řemeslech, v živnosti a průmyslu vůbec.

Využití subfossilního dřeva spočívá v oblasti dendrochronologického datování, kde poskytuje informace potřebné k prodloužení standartních letokruhových chronologií,

které slouží k zjišťování stáří nejen archeologických nálezů. V praxi se dřevo využívá k výrobě šperků, dýmek, hudebních nástrojů, nábytku, ale také dých.

2. Cíle práce

Tato práce se skládá ze dvou částí, teoretické a praktické. První, teoretická část si klade za cíl zpracovat literární rešerši o fosilizaci, zkoumané dřevině, hodnocených vlastnostech a faktorech ovlivňujících proměnlivost subfosilního dřeva.

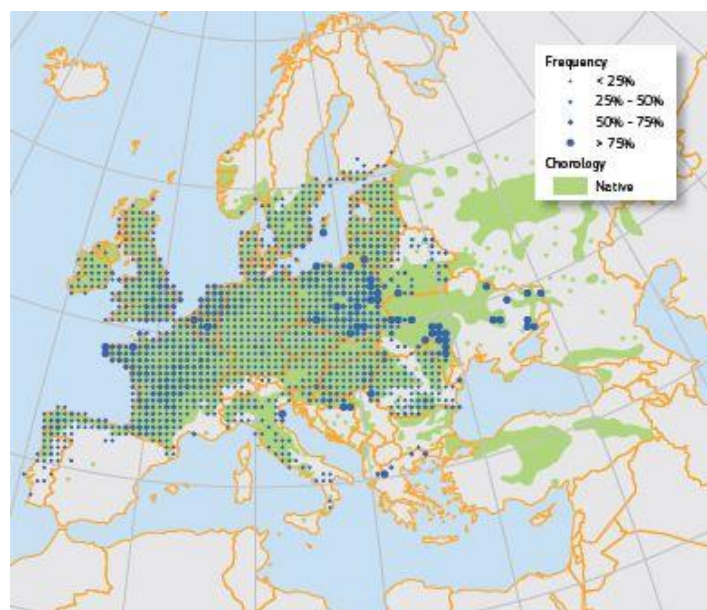
Praktická část se zabývá dendrochronologickým datováním získaného dubového dřeva, posouzením základních fyzikálních a mechanických vlastností. Mezi hodnocené fyzikální vlastnosti je zahrnuta hustota, bobtnání a sesychání. Z mechanických vlastností byla stanovena pevnost a modul pružnosti v ohybu, pevnost v tlaku ve směru vláken, rázová houževnatost a tvrdost. Zjištěné hodnoty jsou v práci porovnány s údaji dostupnými v odborné literatuře a poukazují i na možnosti využití subfosilního dřeva v praxi. Výsledky jsou statisticky zpracované a interpretované v textové, tabelární a grafické podobě.

3. Literární rešerše

Literární rešerše se v úvodní části zabývá dřevinou, kterou se fosilizace v našich podmínkách nejvíce týká, to znamená dubem. Pro popis byly vybrány základní dva druhy, které se u nás vyskytují, a to dub letní a dub zimní. Práce se nezabývá introdukovanými druhy dubu, což by nemělo opodstatnění, jelikož se v našem případě jedná o subfossilní dub a v té době se na našem území jiný nepůvodní druh nevyskytoval. Následuje všeobecný popis vlastností dřeva, které byly hodnoceny v této práci. Popis je doplněn tabulkou hodnocených vlastností pro recentní dub od třech různých autorů. V poslední části rešerše se pojednává o subfossilním dřevu a samotném procesu fosilizace.

3.1 Stavba a vlastnosti dubového dřeva

Rod dub (*Quercus*) se řadí do čeledi bukovité a čítá asi 400 druhů. Zastoupen je především v teplejších oblastech severní polokoule (Slávik, 2004). Na území České republiky je po buku lesním druhou nejhojnější listnatou dřevinou. Jeho současné zastoupení v lesích činí 7,2 % (Ministerstvo zemědělství, 2018). Na našem území jsou běžně rozšířeny čtyři druhy a to dub letní (*Quercus robur*), dub zimní (*Quercus petraea*), dub cer (*Quercus cerris*), dub pýřitý (*Quercus pubescens*) a introdukovaný dub červený (*Quercus rubra*), pocházející z východní části Severní Ameriky (Chmelař, 1987). Nejvíce je však rozšířen dub letní a dub zimní (*Quercus robur L. a Quercus petraea (Matt.) Liebl.*). Tyto dva druhy si jsou ve vzhledu velice podobné a mají široce překrývající se areál rozšíření. Jejich dřevo se z hlediska zpracování nerozlišuje.



Obr. 1 Rozšíření *Quercus robur* v Evropě (Eaton, 2016)

3.1.1 Dub letní a dub zimní

Dub letní je rozložitý strom se silnými větvemi, 20 – 40 m vysoký, výčetní tloušťka až 1,5 m a objem může být až 40 m³. Jedná se o dlouhověký strom, dožívá se 400 – 500 let, v ojedinělých případech i 1000 let (Praciak, 2013). Kořenový systém je mohutný s hlavním kúlovým kořenem. Hluboké kořeny stromu mohou tvořit spojení se spodní vodou (Vavrčík a kol., 2008). Dub letní je výrazně světlomilná dřevina, nároky na světlo má o něco málo vyšší, než dub zimní (Úředníček, 2001). Růst není zpočátku příliš rychlý, po 5 letech výrazně zrychluje. Pařezová a kmenová výmladnost je velice dobrá a vytrvává až do pozdního věku (Musil a Möllerová, 2005).

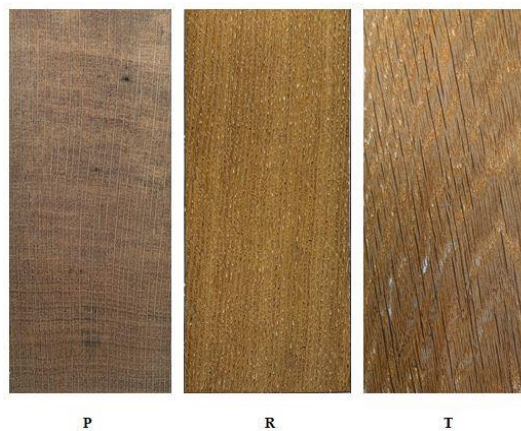
U dubu letního je třeba vylíšit dva ekotypy a to lužní a lesostepní. Lužnímu ekotypu se daří na území s dostatkem vláhy, především tedy v lužních lesích, kde snáší i krátkodobé záplavy v předjaří. Lužní ekotyp je nejvíce rozšířený. Lesostepní ekotyp roste spíše na půdách mělkých, v létě vysychavých, ale živnějších s podzemní vodou na dosah kořenům. Tento ekotyp je vzácnější (Úředníček a Chmelař, 1998).

Dub zimní je strom s vejčitou korunou, 30 – 40 m vysoký, výčetní tloušťka až 1 m. Nedosahuje tedy takových dimenzí, ani stárí jako dub letní. Kořenový systém je srdčitý, bez hlavního kúlového kořenu. Mladý strom má kůru hladkou, která až v pozdějším věku ztloustne a podélně rozpraská (Banfí, 2001). Světlomilná dřevina, nepříliš citlivá na znečištění ovzduší, je odolná proti mrazu a schopná růst na podkladech silně vysychavých, na výrazně suchých stanovištích, na spraších a dokonce na skalnatých podkladech. Na srážky nemá velké nároky, nesnáší však mokré a oglejené půdy (Štursa, 2016).

3.1.2 Makroskopická stavba dřeva

Dřevo dubu patří mezi dřeva s kruhovitě uspořádanou stavbou dřeva. Jedná se o jádrovou dřevinu. Jádro je mohutné, žlutohnědé až tmavohnědé, běl je úzká, nažloutlá až světlehnědá (Šlezingerová a Gandelová, 1999). V jarním dřevě jsou velké, široké, okem dobře viditelné cévy. Na příčném řezu se jeví jako kruhovité otvory, na podélných řezech jako dlouhé rýhy. Ve dřevě letním se vyskytují cévy menších průměrů, které lze pozorovat jako světlé radiální žíhání letního dřeva. Dřeňové paprsky jsou velmi časté a zřetelné na všech řezech. Na příčném řezu se jeví jako světlé proužky, paprscitě se rozbíhající se z dřeně kolmo na letokruhy, na radiálním řezu jako velké lesklé plošky (zrcátka) a na řezu tangenciálním jako tmavé pásy dlouhé až několik centimetrů.

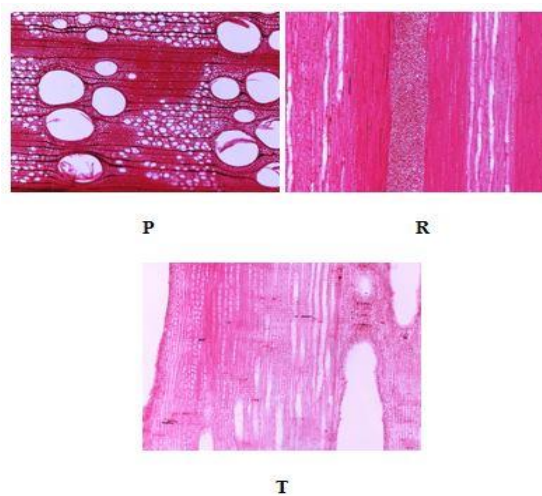
V dubovém dřevě se vyskytuje velké množství tříslovin, které když přijde do styku se železem, způsobuje černání dřeva (Balabán, 1955).



Obr. 2 Makroskopická stavba dřeva dubu (Němec 2005)

3.1.3 Mikroskopická stavba dřeva

V jarním dřevě se nachází 1 až 3 řady makrocév. Na axiálním řezu jsou letní cévy v radiálních seskupeních. V jarních cévách jsou dobře patrné thyly, perforace cév je jednoduchá. Na řezu radiálním jsou dřeňové paprsky homogenní viditelné ve dvou velikostech ploch zrcátek. V základním pletivu se nachází svislé pásy obdélníkových buněk podélného dřevního parenchymu. Na tangenciálním řezu jsou patrné dřeňové paprsky dvou typů - jednovrstevné a mnohovrstevné (20 i více). Thyly jsou viditelné a v základním pletivu probíhá značný podélný dřevní parenchym (Šlezingerová a Gandelová, 2004).



Obr. 3 Mikroskopická stavba dřeva dubu (P - Řez příčný, R - Řez radiální, T - Řez tangenciální) (Zdroj: <http://fld.czu.cz/>)

3.2 Hodnocené fyzikální vlastnosti dřeva

3.2.1 Hustota

Hustota dřeva (ρ) je definována jako podíl hmotnosti a objemu dřeva. Nejčastější vyjádření hustoty je v jednotkách $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ nebo $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Gandelová, 2009). Jedná se o charakteristiku, která velice významně ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva (Balabán, 1955). Hustotu dřeva ovlivňuje velké množství faktorů, k nejdůležitějším patří chemické složení dřeva, podíl jarního a letního dřeva v letokruhu, stavba dřeva, poloha ve kmeni, a především vlhkost dřeva (Horáček, 2001). Vzhledem k hygroskopicitě je určování hustoty poměrně obtížné. Hustota, ale i objem dřeva jsou velmi ovlivněny vlhkostí dřeva. Z tohoto důvodu je nutné vždy uvádět vlhkost dřeva, při které je hustota zjišťována. Běžně se hustota udává při vlhkosti 12 %, což je průměrná vlhkost, při které se výrobky používají (Kvietková, 2015).

Podle hustoty dřeva při vlhkosti 12% lze rozdělit domácí dřeviny do třech skupin:

- dřeva s nízkou hustotou ($< 540 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) - BO, SM, JD, DG, TP, OL, LP, VR,...
- dřeva se střední hustotou ($541 - 750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) - MD, BR, BK, DB, JM,...
- dřeva s vysokou hustotou ($> 751 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) - HB, AK, hrušeň,...

Pro určení hustoty dřeva používáme nejčastěji následující vlhkostní stavy:

- a) hustota dřeva v suchém stavu ($w = 0\%$)
- b) hustota při vlhkosti 12%
- c) hustota dřeva vlhkého ($w > 0\%$)

3.2.2 Vlhkost

Vlhkostí dřeva se rozumí přítomnost vody ve dřevě. Dřevo je hygroskopický materiál a prakticky vždy nějakou vodu obsahuje. Voda ve dřevě výrazně ovlivňuje jeho vlastnosti, často však negativně a k nežádoucím jevům. Se změnou vlhkosti souvisí i rozměrové změny, fyzikální a mechanické vlastnosti, odolnost proti biotickým činitelům (houby, plísně, dřevokazný hmyz) a změna hustoty (Gandelová a kol., 2008).

Výpočet vlhkosti se provádí pomocí dvou základních vzorců. Absolutní vlhkost se vyjadřuje podílem hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu (1).

Relativní vlhkost je vyjádřena podílem hmotnosti vody ke hmotnosti mokrého dřeva (2). Absolutní a relativní vlhkost se vyjadřuje nejčastěji v % a vypočítá se podle následujících vztahů (Šlezingerová 1999):

$$w_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

$$w_{rel} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_w} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

Kde: m_w - hmotnost vlhkého dřeva [kg],

m_0 - hmotnost absolutně suchého dřeva [kg],

m_v - hmotnost vody [kg].

Absolutní vlhkost dřeva se používá pro hodnocení fyzikálních a mechanických vlastností dřeva. Relativní vlhkost se používá např. při prodeji nebo nákupu dřeva na základě jeho hmotnosti. Je to tedy všude tam, kde je potřebné znát procentické zastoupení vody z celkové hmotnosti mokrého dřeva (Šlezingerová, 1999).

Rozdělení vody ve dřevě

Vodu uloženou ve dřevě lze rozdělit na vodu chemicky vázanou - molekulární, vázanou - hygroskopickou a volnou - kapilární.

Chemicky vázaná voda je součástí chemických sloučenin. Tato voda nejde ze dřeva odstranit sušením, ale jen spálením. Celkové množství této vody činí asi 1 – 2% sušiny dřeva. Při hodnocení fyzikálních a mechanických vlastností se neuvažuje a nemá na ně žádný vliv. Molekulární voda je zjištělná pouze při chemických analýzách. Voda vázaná se vyskytuje v buněčných stěnách a je vázaná pomocí vodíkových můstků na hydroxylové skupiny (OH) amorfni části celulózy a hemicelulóz. Tato voda se vyskytuje ve dřevě při vlhkostech 0 – 30% a zároveň má největší význam při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností. Voda volná se vyskytuje lumenu buňky a v mezibuněčných prostorech. Výskyt této vody ve dřevě je pouze za předpokladu, že má dřevo větší vlhkost než 30%, tzn. musí být přítomna voda vázaná (Gandelová, 2009).

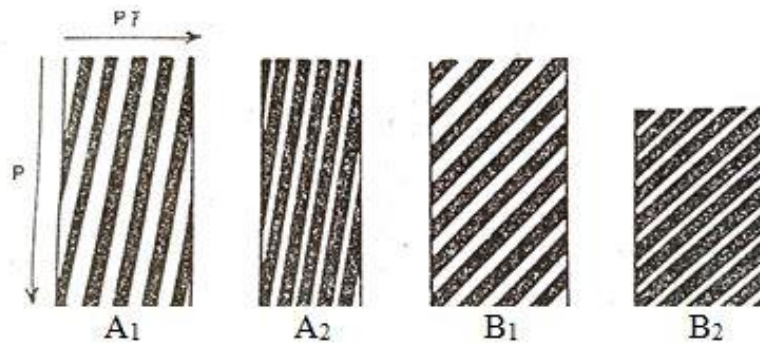
Mez nasycení buněčných stěn a mez hygroscopicity

Mez nasycení buněčných stěn se používá při stanovení hranice mezi vodou volnou a vodou vázanou. Bod nasycení buněčných stěn lze charakterizovat jako maximální vlhkost buněčných stěn. Tento stav platí za předpokladu, že dřevo bylo dlouhodobě uloženo ve vodě. Vlhkost při bodu nasycení buněčných stěn se u našich dřevin pohybuje v rozmezí 22 – 35% a závisí na anatomické a chemické stavbě dřeva neboli druhu dřeviny (Šlezingerová, 1999).

Mez hygroscopicity je taková vlhkost, kterou dřevo dosáhne je-li dlouhodobě vystavené vzduchu, jehož relativní vlhkost se blíží plnému nasycení ($\varphi=0,995\%$). Mez hygroscopicity na rozdíl od meze nasycení buněčných stěn je závislá na teplotě prostředí a s rostoucí teplotou klesá (Horáček, 1998).

3.2.3 Bobtnání a sesychání

Bobtnání a sesychání jsou procesy, při kterých dochází ke změně lineárních, plošných nebo objemových rozměrů tělesa jako následek změny vlhkosti. Mění-li se vlhkost dřeva do meze hygroscopicity, dochází k rozměrovým změnám dřeva. Odpaření vody volné, tedy vlhkosti nad mezí hygroscopicity, nemá vliv na změnu rozměrů. Bobtnání a sesychání probíhá v buněčné stěně, kde dochází k oddalování, či přibližování fibrilární struktury. To má za následek změnu rozměrů jednotlivých elementů a dřeva jako celku. Orientace fibril v buněčné stěně má velký vliv na velikost bobtnání a sesychání. Největší podíl z buněčné stěny má vrstva S2 sekundární buněčné stěny (až 90%), kde se orientace fibril odklání od podélné osy jen minimálně (15 – 30%), zde dochází k maximálnímu bobtnání a sesychání napříč vláken. Bobtnání a sesychání v podélném směru je minimální, což je zapříčiněno sklonem fibril. Molekuly vody nemohou vnikat mezi fibrily do valenčního řetězce v podélném spojení, tak dochází k rozestupování v tomto směru. Bobtnání a sesychání se definují jako podíl příslušné rozměrové změny a původní hodnoty rozměru. (Gandelová, 2009).



Obr 4 Sesychání dřeva podél a napříč vláken při různém sklonu mikrovláken (Perelygin 1965) A₁, B₁ - rozměry před seschnutím, A₂, B₂ - rozměry po seschnutí

Bobtnání

Bobtnáním (α) dřeva rozumíme schopnost zvětšovat lineární rozměry, plochu nebo objem při přijímání vody vázané v rozsahu 0% až po mez hygroscopicity. Bobtnání lze rozlišit na lineární (v podélném, radiálním a tangenciálním směru), plošné (změna velikosti plochy tělesa) a objemové (změna velikosti objemu tělesa). Bobtnání se definuje podílem změny rozměru k původní hodnotě. Nejčastěji se uvádí v %.

Bobtnání je možné vyjádřit pomocí koeficientu, který nám říká, o kolik se změny rozměry (lineární, plošné, objemové), změní-li se vlhkost o 1%. Vyjádřeno vzorcem:

$$K_{ai} = \frac{\alpha_i}{w_2 - w_1} = \frac{\alpha_i}{dw} \quad [\% / 1\%]$$

Pokud známe celkové bobtnání podle vztahu:

$$K_{\alpha i} = \frac{\alpha_{max}}{MH} \quad [\% / 1\%]$$

Kde: α – rozměr tělesa, plocha nebo objem [mm , mm^2 , mm^3],

i – index udávající směr, plochu nebo objem,

w_1 – vlhkost před bobtnáním [%],

w_2 – vlhkost po bobtnání [%].

Použití koeficientu bobtnání předpokládá, že změny rozměrů tělesa pod mezí hygroskopicity jsou lineárně úměrné změnám vlhkosti. Toto tvrzení není zcela přesné, ale pro použití v praxi dostačující (Gandelová, 2009).

Podél vláken je bobtnání velmi malé a nepřesahuje více než 1 %, průměrná hodnota pro naše dřeviny se pohybuje v rozmezí 0,1 % – 0,4 %. V příčném směru je bobtnání znatelnější, v radiálním směru 3 – 6 % a v tangenciálním směru 6 – 12 %. Celkové objemové bobtnání je součtem bobtnání podélného, radiálního a tangenciálního (Horáček, 2001). V jednotlivých anatomických směrech lze bobtnání obecně vyjádřit poměrem:

$$\alpha_t : \alpha_r : \alpha_l = 20 : 10 : 1$$

Sesychání

Sesycháním se rozumí změna lineárních a plošných rozměrů a objemu dřeva jako důsledek vypařování vody vázané. Sesychání (β) probíhá v rozmezí meze hygroskopicity až po vlhkost 0 %. Vlivem nerovnoměrného sesychání, ale i bobtnání, vzniká ve dřevě velké napětí, které má za následek borcení a praskání dřeva (Kvietková, 2015).

Sesychání, stejně jako bobtnání lze vyjádřit pomocí koeficientu:

$$K_{\beta i} = \frac{\beta_i}{w_1 - w_2} \text{ [% / 1%]}$$

Kde: β – rozměr tělesa, plocha nebo objem [mm , mm^2 , mm^3],

i – index udávající směr, plochu nebo objem,

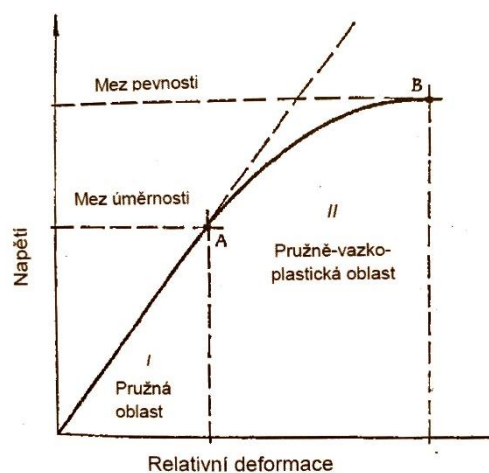
w_1 – vlhkost před sesycháním [%],

w_2 – vlhkost po sesychání [%].

Dřevo lze na základě tohoto objemového koeficientu sesychání rozdělit do tří skupin. Dřeva málo sesychavá, kde koeficient objemového sesychání je menší než 0,4 %. Patří sem akát, olše, tis, topol, limba, kaštanovník, vrba. Dřeva středně sesychavá, koeficient objemového sesychání je 0,4 – 0,47 %. Do této skupiny se řadí například dub, jasan, javor, jilm, ořešák, osika, jeřáb a z jehličnanů smrk, jedle, borovice. Poslední skupinou jsou dřeva hodně sesychavá, koeficient objemového sesychání je větší než 0,47 %. Sem patří buk, bříza, habr, lípa, líska a modřín (Šlezingerová, 1998).

3.3 Hodnocené mechanické vlastnosti

Mechanickými vlastnostmi dřeva se rozumí schopnost dřeva odolávat účinku vnějších sil. Mechanické vlastnosti se dělí do tří skupin na základní (pružnost, pevnost, plastičnost a houževnatost), odvozené (tvrdoost, odolnost proti tečení, odolnost proti únavovému lomu, odolnost proti trvalému zatížení a schopnost držet spojovací prostředky) a technologické (štípatelnost, ohýbatelnost, opotřebovatelnost nebo impregnovatelnost). Stejně jako většina fyzikálních vlastností dřeva, mají i mechanické vlastnosti anizotropní charakter, ten je dán orientací a uspořádáním molekul stavebních látek ve dřevě (Kvietková, 2015).



Obr. 5 Obecný tvar pracovního diagramu (Požgaj a kol., 1997)

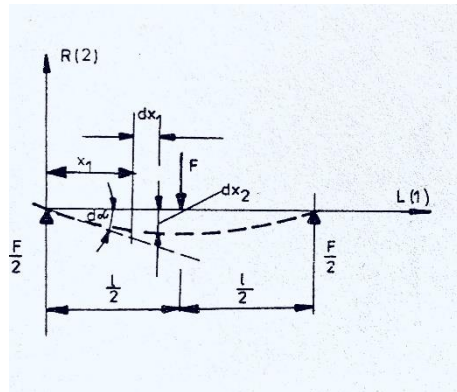
3.3.1 Pružnost dřeva

Pružností dřeva se rozumí schopnost dřeva vrátit se do původního tvaru a rozměrů po uvolnění vnějších sil. Vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci se nazývá modul pružnosti. Obecně platí, že čím je modul pružnosti větší, tím větší je potřeba napětí na vyvolání pružné deformace. Rozlišují se dva moduly pružnosti. Moduly při normálových namáháních (E), tj. tah, tlak a ohyb a modul při tangenciálních namáháních (G), tj. smyk a krut (Gandelová, 2009). Práce se zabývá pouze modulem pružnosti pro ohyb, dále se tedy bude uvažovat pouze modul E.

Modul pružnosti ve statickém ohybu

Modul pružnosti v ohybu se udává pouze kolmo na vlákna a provádí se jen v tangenciálním směru. Modul pružnosti v ohybu vychází z normálového namáhání tělesa způsobeného ohybovým momentem. Je-li nosník zatížen tak jako na obrázku 8,

konkávní strana je namáhána na tlak a konvexní strana na tah. Přibližně uprostřed tělesa je neutrální osa, která je nezatížena (Požgaj a kol., 1997).



Obr 6. Čistý ohyb dřeva (Požgaj a kol., 1997)

Výpočet modulu pružnosti ve statickém ohybu lze vypočítat podle vzorce níže, za předpokladu použití pravoúhlého tělesa.

$$E_L = \frac{Fl_0^3}{4bh^3\Delta y} \text{ [MPa]}$$

Kde: F - působící síla [N],

l_0 - vzdálenost podpěr [mm],

b - šířka zkušebního tělesa [mm],

h - výška zkušebního tělesa [mm],

Δy - průhyb tělesa (Gandelová, 2009).

Tento vzorec lze použít pouze pro stanovení modulu při třibodovém ohybu.

3.3.2 Pevnost dřeva

Pevností dřeva se rozumí odpor (odolnost) dřeva proti trvalému porušení. Vyjadřuje se napětím na mezi pevnosti. Jedná se tedy o napětí, při kterém dojde k porušení soudržnosti dřeva. Pevnost dřeva se zjišťuje pouze pomocí zkoušek. Při získávání údajů o pevnosti se sleduje napětí v okamžiku porušení tělesa.

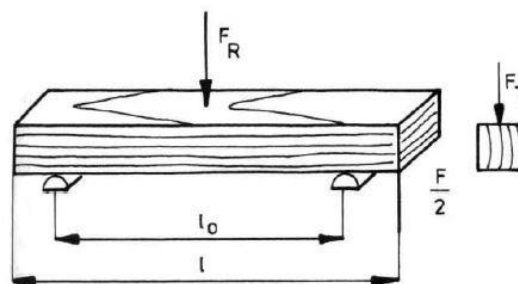
Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken

Pevnost dřeva ve směru vláken je velmi důležitá vlastnost. Výsledkem působení tlaku na těleso podél vláken je deformace, která se projevuje zkrácením délky tělesa. Vliv na charakter deformace má stavba a jakost dřeva, dále hustota a vlhkost dřeva. Pevnost

ve směru vláken je podstatně větší, než pevnost v příčném směru. V kolmém směru na vlákna je pevnost dřeva $10\times$ až $50\times$ nižší (Kvietková, 2015). Mez úměrnosti v tlaku podél vláken je průměrně 60 % meze pevnosti. V literatuře jsou hodnoty meze úměrnosti uváděny následovně: tvrdé listnáče 56 %, měkké listnáče 60 % a jehličnany 68 % meze pevnosti. U jehličnanů je vyšší mez úměrnosti vysvětlována pravidelnější stavbou dřeva. Listnaté dřeviny s kruhovitě pórovitou a méně pravidelnou stavbou dřeva mají rovněž mez úměrnosti nižší (Gandelová, 2009).

Pevnost dřeva v ohybu

Pevnost dřeva v ohybu jedna z nejdůležitějších mechanických vlastností. Rozlišují se dva způsoby pevnosti v ohybu s ohledem na směr vláken, a to pevnost v ohybu, kdy jsou vlákna rovnoběžně s podélnou osou tělesa a pevnost v ohybu, kdy jsou vlákna kolmé na podélnou osu tělesa. Pevnost dřeva v ohybu se převážně sleduje pouze napříč vláken (Obr. 9). Orientace zkušebních vzorků je obvykle v tangenciálním směru (tangenciální ohyb). Jehličnaté dřevo má větší rozdíly mezi pevností dřeva v ohybu v radiálním a tangenciálním směru. Mez pevnosti v radiálním směru je o 10 – 12 % nižší než ve směru tangenciálním. U dřevin listnatých jsou rozdíly mezi radiálním a tangenciálním směrem prakticky stejné (2 – 4 %).

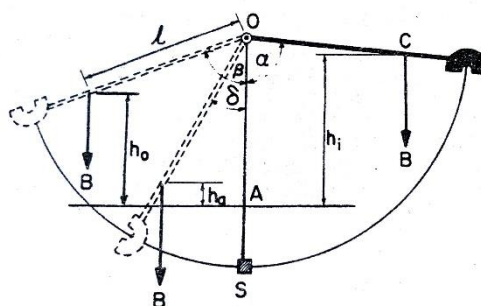


Obr. 7 Zatížení dřeva při ohybu kolmo na vlákna v radiálním směru. (Požgaj a kol., 1997)

Při namáhání tělesa na ohyb vzniká v jeho horní části napětí v tlaku a v části spodní napětí v tahu. Přibližně uprostřed tělesa je nedeformovatelná část bez normálového napětí. Mezi tahovým a tlakovým napětím je smykové napětí. Porušení tělesa začíná v tlakové zóně, jelikož tlaková pevnost je menší než tahová pevnost dřeva. Po překročení meze pevnosti dochází nejprve k odštěpení krajních vláken a poté k úplnému zlomení tělesa (Gandelová, 2009).

3.3.3 Rázová houževnatost dřeva

Rázovou houževnatostí dřeva se rozumí schopnost dřeva absorbovat práci vykonanou rázovým ohybem. Rázovou houževnatost neboli přerážecí práci vyjadřuje spotřebovaná energie na přerážení dřeva předepsaných rozměrů. Míru houževnatosti je možné také odhadnout podle struktury lomu. Houževnatější dřevo má zlom tvořen vytrhanými třískami a má vláknitou strukturu. Naopak dřeva s nízkou houževnatostí mají tupý zlom. Pevnost ve statickém ohybu nijak nekoreluje s rázovou houževnatostí. Některé dřeviny mají velkou pevnost ve statickém ohybu, nicméně jsou křehké. Obecně lze říci, že listnaté dřevo je 1,5 až 2,5 krát houževnatější, než dřevo jehličnanů (Matovič, 1993).



Obr. 8 Způsob zkoušení rázové houževnatosti (Bodig a Jayne, 1982)

3.3.4 Tvrdost

Tvrdostí dřeva se rozumí schopnost dřeva klást určitý odpor vůči vniknutí cizího předmětu do jeho struktury. Tvrdost je důležitým faktorem, který ovlivňuje náročnost a způsob obrábění. V praxi rozeznáváme tvrdost statickou a dynamickou (Požgaj a kol., 1997).

Principem statické metody je pozvolné zatlačování ocelové kuličky do plochy dřeva. Tvrdost se určuje na různých plochách (radiální, tangenciální a čelní). Pro zjišťování statické tvrdosti se nejčastěji používá Brinellova a Jankova metoda. Brinellova metoda spočívá v zatlačování ocelové kuličky o průměru 10 mm do dřeva konstantní silou. Z průměru otláčené plochy se vypočte plocha otláčení. Jankova metoda spočívá v zatlačování ocelové polokuličky o průměru 11,28 mm. Polokulička je vtlačována do materiálu do hloubky o velikosti jejího poloměru (5,64 mm), tím vznikne plocha o velikosti 1 cm². Síla potřebná pro výše uvedené zatlačení udává tvrdost materiálu v magapascalch (Gandelová, 2009).

Dřeviny lze na základě statické tvrdosti (čelních ploch) rozdělit na:

- měkká dřeva (0-40 MPa) - smrk, borovice, jedle, lípa, topol,
- středně tvrdá dřeva (41-80 MPa) - dub, buk, olše, bříza, jilm, klen, hruška, jasan, modřín,
- tvrdá dřeva (81-100 MPa) - akát, habr,
- velmi tvrdá dřeva (10 -150 MPa) – zimostráz,
- super tvrdá dřeva (151 MPa a více) - eben, quajak (Ugolev, 1975).

Tabulka se souhrnem vybraných fyzikálních a mechanických vlastností pro recentní dubové dřevo od více autorů. Stejně vlastnosti byly v této práci zjišťovány pro subfossilní dub. Rozdílnosti jsou způsobené variabilitou dřeva a místem, kde dané dřevo rostlo.

Tabulka 1 Porovnání vybraných vlastností recentního dubového dřeva z literatury při vlhkosti 12 %.

		Wagenführ (2000)	Zeidler (2016)	Požgaj (1997)
Hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)		690	702	696
Sesychání (%)	podélné	0,4	0,7	0,15
	radiální	4,0 – 4,6 %	4,0	4,2
	tangenciální	7,8 – 10 %	8,2	8,5
	objemové	12,2 – 15 %	12,9	13,7
Statický modul pružnosti (MPa)		11474	11778	13066
Pevnost v ohybu (MPa)		86,3	85,2	85,2
Rázová houževnatost ($\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$)		5,9	4,7	4,7
Pevnost v tlaku podél vláken (MPa)		59,8	59,8	59,8
Tvrdost (MPa)	⊥	64,7	66,0	65,4
		33,3	34,0	50,5

3.4 Subfossilní dřevo

Subfossilní dřevo, v angličtině nazývané jako bog wood, abonos a morta je nezkamenělé dřevo, které bylo uloženo po stovky až tisíce let v rašeliništích, bažinách, řekách nebo morénových sedimentech (Kaennel a Schweingruber, 1995).

V současné době se můžeme nejčastěji setkat s dubovým subfossilním dřevem. (Becker 1982) Dále pak s jasanem (*Fraxinus*), javorem (*Acer*), olší (*Alnus*), topolem (*Populus*), jilmem (*Ulmus*), bukem (*Fagus*). (Becker 1993) Z jehličnatých dřevin s borovicí (*Pinus*), tiselem (*Taxus*), cypřiši (*Taxodium*) a kauri (*Agathis*) (Denovič, 2013).

Subfossilní dubové dřevo je ve starší literatuře označováno jako „černý dub“ (Kalicki, Krąpiec 1995). Tento název je zapříčiněn změnou přirozené barvy dřeva na černou, která je zapříčiněna reakcí železitých složek rozpuštěných ve vodě s taniny v dubu. Intenzitu zbarvení ovlivňuje doba uložení dřeva. Nemění se však jen odstín dřeva, ale i fyzikální a mechanické vlastnosti (Govorčin a Sinković, 1995).

V době, kdy je dřevo uloženo pod vodou, vznikají specifické podmínky pro množství komplikovaných fyzikálních a chemických procesů. Tyto procesy nakonec vedou k jeho fosilizaci (Habětín a Knobloch, 1982). Pokud tyto procesy probíhají, dřevo mění svou chemickou i morfologickou strukturu, což se přirozeně odráží na jeho vlastnostech (Reinprecht a kol., 1988). Vlastnosti dřeva jsou ovlivněny mnoha faktory, z nichž nejdůležitější je pravděpodobně jeho chemické složení (Požgaj a kol., 1973). Subfossilní dřevo má z hlediska chemického složení značně nižší podíl hemicelulóz z důvodu jejich hydrolyzovatelnosti. Obsahuje však větší množství ligninu a extraktivních látek oproti recentnímu dubu (Bednar a Fengel, 1974). Uložení pod povrchem a vlivem působení vody dochází k vyměšování látek a k usazením vápence a křemence na povrch dřeva (Govorčin, Sinković 1995).

Z fyzikálních vlastností má největší informační význam hustota, protože ovlivňuje do určité míry všechny ostatní fyzikální a mechanické vlastnosti (Požgaj a kol., 1997). Hustota dřeva je definována jako hmotnost na jednotku objemu. Obvykle lze říci, že vyšší hustota znamená vyšší hodnoty pro některé fyzikální a mechanické vlastnosti (Gryc a Horáček, 2007). Subfossilní dubové dřevo ve srovnání s dubovým dřevem recentním má hustotu víceméně stejnou nebo mírně vyšší (Reinprecht a kol., 1988). Výraznější nárůst hustoty se nachází v povrchových vrstvách kmene, kde lze předpokládat větší urychlení a větší vliv chemických změn např. zesílení celulózových

krystalických mřížek. (Horský a Reinprecht, 1986). Sesychání subfosilního dubového dřeva je zhruba dvojnásobně vyšší ve srovnání s recentním dubovým dřevem. To úzce souvisí i s vysokým počtem trhlin ve dřevě (Kolář, 2010).

Mechanické vlastnosti subfosilního dubového dřeva jsou obecně nižší ve srovnání s recentním dubovým dřevem (Govorčin a Sinković, 1995). Pevnost v tlaku podél vláken odpovídá asi 70 – 80%, u některých případů dokonce 50% z hodnot recentního dubu (Bednar a Fengel, 1974).

3.4.1 Proces fosilizace

Fosilizační proces nastává, je-li dřevo dlouhodobě uloženo ve specifických podmínkách pro tento jev (Habětín a Knobloch 1981). Jedná se o fyzikálně chemický proces, který vede k úplnému nebo částečnému zachování odumřelých organismů. V případě dřeva může být dřevní hmota postupně, po molekulách, nahrazována minerály. Charakteristické rysy dřeva, letokruhy i buněčné stěny se zachovávají původní (Fejfar, 1989). Tento jev se nazývá permineralizace nebo inkrustace a zachovává tedy dřevo prostoupením pletiv vodními roztoky různých minerálních látek (Fengel, 1991). Mezi tyto látky patří křemitá hmota (rohovec, opál, křemen a jeho odrůdy), dále je to vápenec, halit, dolomit, sulfid, pyrit, limonit (Březinová, 1970). Mechanismy samotné permineralizace jsou většinou neznámé a nejasné a často se pouze nejednoznačně mluví o impregnaci odumřelého organismu roztoky (Matysová, 2004). K procesu inkrustace jsou zapotřebí specifické podmínky prostředí, jako dostupnost vody a minerálů, fyzikální a chemický charakter sedimentů, teplota, tlak a samotný organismus (Ash, 1998). Po určitém čase dojde k vysrážení výše uvedených minerálů uvnitř buněk a v mezibuněčných prostorách a dochází ke zpevnění odumřelého organismu. V této fázi obsahují buněčné stěny organické látky, pokračuje-li proces dále, dochází k mineralizaci buněčných stěn (Plešák, 2006).

Samotný fosilizační proces může proběhnout, pouze pokud je splněný souběh příznivých okolností. První podmínkou je, že odumřelý organismus musí být co nejdříve překryt okolním sedimentem. Zasypáním organismu se zabrání negativnímu působení vzduchu, mechanickým vlivům a působením mikroorganismů. Uvedený děj se odehrává rychleji ve vodním prostředí, než na souši (Habětín a Knobloch 1981). Na souši může být tento požadavek splněn vulkanickou činností. Při sopečných explozích se uvolňuje do ovzduší pyroklastický materiál (popel, prach), který je vhodným konzervačním prvkem.

Druhou podmínkou pro úspěšný proces fosilizace jsou vhodné granulometrické vlastnosti sedimentů. Organismy uložené v jemnozrnných sedimentech bývají více zachovalé. Naopak u hrubozrnných sedimentů dochází k cirkulaci vody a vzduchu, což vede k rozkladu organických zbytků. Hrubozrnné usazeniny působí nepříznivě i z hlediska drcení organických zbytků (Pokorný, 1992). Třetí podmínka je optimální chemické složení roztoků v sedimentu. Čtvrtou podmínkou je předpoklad samotného organismu pro fosilizaci. Morfologické a anatomické vlastnosti odumřelých organismů předurčují, zda je reálné, aby se odumřelý jedinec dochoval. Nejlépe se zakonzervují silnostěnné schránky měkkýšů, kosti, zuby obratlovců, trilobiti a v neposlední řadě dřevo (Weibel, 1996).



Obr. 9 Zkamenělé kmeny stromů v lokalitě Bükkábrány v Maďarsku (Zdroj: <http://news.bbc.co.uk/>)

Paleoekologické podmínky pro vznik fosilních stromů odpovídají dvěma typům sedimentačních prostředí. Vulkanicko-sedimentárnímu prostředí, kde při sopečných erupcích docházelo k překrytí mokřadů tufy a dalším sopečným materiálem. Limnickému prostředí se sedimentací písků, bahen a jílu, kdy za anaerobních podmínek vynikaly pískovce nebo jílovité břidlice (Ivanov, 2001).

3.4.2 Výskyt subfossilních dubových kmenů

Dubové lesy se začaly objevovat na březích evropských řek před asi 10 000 lety, to znamená na počátku holocénu (Leuschner a kol., 1986). Vlivem podemílání břehů v meandru stromy spadly do vody nebo byly strženy během velkých povodní a odneseny do ústí meandru (Kalicki a Krapiec, 1995). Následovalo nasáknutí kmenů, což zapříčinilo klesání hlouběji pod hladinu (Krapiec, 1996). Uložené kmeny stromů v naplavených terasách byly pod hladinou vody výborně chráněny, a proto odolaly působení mikroorganismů, především houbám a bakteriím. Některé by tedy mohly být uloženy pod vodou více než 10 000 let a stále by si zachovaly makroskopickou a mikroskopickou stavbu dřeva, základní stavební prvky a poměrně dobré pevnostní vlastnosti (Becker, 1982). Délka života dubů, které rostly na březích řek během holocénu, je relativně krátká 95% stromů má pouze 150 – 400 letokruhů. Tato skutečnost je spojena s četností výše uvedených záplav. Pravidelné záplavy, zejména jarní s plovoucími kusy ledu, často poškozovaly blízké okolí toku nejvíce. Duby na březích řek v období holocénu rostly tedy zřídka déle než 300 – 400 let (Becker, 1993).

Největším nalezištěm v Evropě je pravděpodobně oblast povrchového na hnědouhelného dolu Goitzsche u města Bitterfeld v Německu. Roku 1974 se zde v hloubce 4 – 8 m ve vlhkých jílových vrstvách našlo velké množství převážně dubových kmenů (Horský, Reinprecht 1986). V České republice se kmeny nacházejí převážně v údolních nivách řek. V Čechách je to Labe, Vltava a na Moravě řeky Dyje a Morava (Hrib a kol., 2004). Subfossilní dubové dřevo se konkrétně nalézá ve štěrkovnách, které používají mokré způsob těžby a nachází se v neregulovaných úsecích velkých řek (Kolář a Rybníček, 2010).



Obr. 10 Subfosilní kmen (Zdroj: <http://theveneersource.com/>)

Dub letní a dub zimní (*Quercus robur* L. a *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) jsou druhy, které se na území České republiky vyskytují jako subfosilní dřevo nejčastěji. (Vít a Dvorská, 2002) První zmínky o subfosilním dřevu v aluviích středoevropských řek pocházejí již z devatenáctého století (Kalicki a Krapiec, 1995). O subfosilním dřevu v oblasti České republiky se zřejmě poprvé zmínil F. Jirout (1928) ve své knize Dřevo v přírodě a řemeslech, v živnosti a průmyslu vůbec. Publikace interpretuje subfosilní kmeny jako zbytky lesů rostoucích podél toků, před sty nebo tisíci lety (Růžičková a Zeman, 1994). Dřevo z výše uvedených dvou druhů dubu nelze rozlišit na makroskopické úrovni a jeho rozlišení na mikroskopické úrovni je velmi obtížné (Huber a kol., 1941).

4. Metodika

Materiál pro výzkum subfossilního dubového dřeva byl odebrán ze dvou kmenů pocházejících ze šterkovny Kluk v Poděbradech. Kmeny o celkové délce 3,1 m byly nařezány na fošny o tloušťce 55 mm pomocí kmenové pásové pily. Dále byla označena jejich spodní a vrchní část a pro snadnější manipulaci byly příčným řezem přepůleny. Ze středové fošny byl odebrán vzorek dlouhý 50 mm, jelikož se tento vzorek rozpadal na tři části, tak byl sestaven do původního tvaru a podlepen překližkou. Po nalepení vzorku na překližku následovalo zabalení do fólie, aby nedocházelo k sesychání a praskání. Dále byl vzorek odeslán na dendrochronologické datování na Mendelovu univerzitu v Brně.



Obr. 11 Vzorek ze středové fošny, který byl odeslán na datování

4.1 Příprava a klimatizování vzorků

Obě středové fošny byly řádně uloženy v hrani na vzduchu, aby vysychaly přirozeně a zabránilo se výsušným trhlinám, které by mohly ovlivnit mechanické vlastnosti. Bylo dbáno na to, aby materiál vyschnul co nejpomaleji a průběžně byla kontrolována vlhkost hrotovým vlhkoměrem. Ve fázi, kdy vlhkost spadla na hodnotu 15 %, byly fošny přemístěny na dosušení v teplovzdušné sušárně, kde se velmi pozvolným režimem dosušily na požadovanou zkušební vlhkost. Po vyjmutí materiálu ze sušárny se obě fošny prořízly podél dřeně a na několik týdnů se opět odložily pro uvolnění nastřádaného pnutí. Vzorky se připravovali jednotlivě a to tak, že nejdříve byly nařezány přířezy, které se označily, tím pádem se dá zjistit z jaké polohy ve fošně neboli ve kmeni daný vzorek pochází. Zároveň došlo k vyřazení vzorků s vadami a trhlinami. Po vyrobení přířezů o průřezu 20 × 20 mm, se na formátovací pile zakrátily na délku 300 mm, následně byla tělesa opatřena finálním pětimístným kódem. Vzorky byly tedy zhotoveny podle

normy ČSN 49 0101. Celkem bylo vyrobeno 325 vzorků o průřezu 20×20 mm a délce 300 mm, při výrobě byl kladen důraz, aby vzorky měly co nejvyšší jakost. Po zjištění hustoty a proběhnutí zkoušek rázové houževnatosti a pevnosti v ohybu byly z obou konců odřezány vzorky o délce 30 mm, které posloužily k dalším zkouškám.



Obr. 12 Část vzorků před procesem klimatizování

Všechny zhotovené vzorky opatřené kódem byly vloženy do klimatizační skříně CLIMACELL 707. Celý proces klimatizování vzorků probíhal při teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti vzduchu 65 %. V tomto prostředí mají vzorky dřeva přibližně 12 % absolutní vlhkosti. Jedná se o nezbytný proces, který zajišťuje stejné podmínky pro všechny zkušební vzorky, tím pádem se tedy minimalizují chyby, které by mohly nastat vlivem rozdílných vlhkostí těles. Klimatizování probíhalo, dokud nebylo dosaženo takzvané rovnovážné vlhkosti, tedy stavu, při kterém se již neměnila hmotnost zkušebních vzorků. Jakmile bylo dosaženo tohoto stavu, bylo možné začít stanovovat dílčí fyzikální a mechanické vlastnosti.

4.2 Stanovování fyzikálních a mechanických vlastností

Měření probíhalo v laboratořích Fakulty lesnické a dřevařské. Následující kapitoly jsou uspořádány tak, jak probíhala jednotlivá měření za sebou.

4.2.1 Hustota

Stanovování hustoty subfossilního dřeva probíhalo podle normy ČSN 49 0108. V této normě lze nalézt základní metodu spočívající v určení hmotnosti a objemu dřeva při dané vlhkosti. Pro zjištění hustoty bylo použito celkem 325 vzorků. Hmotnost byla zjišťována pomocí laboratorní váhy značky Kern s přesností 0,01 g. Rozměry

jednotlivých těles byly měřeny pomocí digitálního posuvného měřítka od firmy Kinex s přesností 0,01 mm. Každé těleso bylo měřeno nejprve v axiálním směru a poté na třech místech v radiálním směru a na třech místech v tangenciálním směru. Celkem tedy jedno vážení a sedm měření posuvným měřítkem na jednom vzorku. Z naměřených hodnot byl pro radiální a tangenciální směr vypočten aritmetický průměr a následoval výpočet pomocí vzorce:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} [kg \cdot m^{-3}]$$

Kde: ρ_w – hustota dřeva při vlhkosti w [$kg \cdot m^{-3}$],

m_w – hmotnost dřeva při vlhkosti w [kg],

V_w – objem dřeva při vlhkosti w [m^3].

(ČSN 49 0108)



Obr. 13 Měření vzorku pomocí digitálního posuvného měřítka

4.2.2 Pevnost v ohybu a statický modul pružnosti

Pevnost v ohybu a statický modul pružnosti byly měřeny tříbodovým ohybem. Zkoušky byly vykonány na univerzálním trhacím stroji UTS 50, který je opatřen softwarem TIRA. Zkouška spočívá v působení síly na těleso v tangenciálním směru. Těleso je uloženo na dvou podpěrách a síla působí do středu tělesa a zároveň do pomyslného středu dvou podpěr. V našem případě bylo pro zjištění pevnosti v ohybu a statického modulu pružnosti použito 174 vzorek subfosilního dubového dřeva. Stanovení pevnosti v ohybu upravuje norma ČSN 49 0115, která udává vzorec:

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot F \cdot l_0}{2 \cdot b \cdot h^2} [MPa]$$

Kde: F – síla zatížení [N],

l_0 – vzdálenost mezi středy podpěr [mm],

b – šířka zkušební tělesa [mm],

h – výška zkušební tělesa [mm].

(ČSN 49 0115)

Při výpočtu statického modulu pružnosti je třeba vycházet z normy ČSN EN 310, tato norma nám udává vzorec pro výpočet tříbodového ohybu, který je:

$$E_w = \frac{L^3 \cdot \Delta F}{4 \cdot b \cdot h^3 \Delta f} [MPa]$$

Kde: L – vzdálenost mezi středy podpěr [mm]

b – šířka tělesa [mm]

h – výška tělesa [mm]

ΔF – rozdíl mezi silami [N]

Δf – rozdíl průhyb [mm]

(ČSN EN 310)

Rozdíl mezi silami a průhybem je stanoven na základě pracovního diagramu softwarem TIRA.

4.2.3 Rázová houževnatost

Rázová houževnatost byla stanovena pomocí normy ČSN 49 0117. Zkouška byla prováděna na Charpyho kladivu s energií 50 J. Zjišťování rázové houževnatosti subfossilního dubového dřeva bylo podrobena 151 vzorek. Vzorek byl položen na podpěry vzdálené 240 mm tak, aby kladivo dopadlo na radiální plochu, přerážení tedy probíhá v tangenciálním směru. Na ustavený vzorek je spuštěno kladivo, které k přerážení vzorky

spotřebuje určitou energii a dále pokračuje v kyvu. Podle délky kyvu, a tedy i množství zbylé energie, je vychýlen ukazatel na stupnici. Spotřebovaná práce byla odečtena ze stupnice a přepočtena na odpovídající plochu podle vzorce:

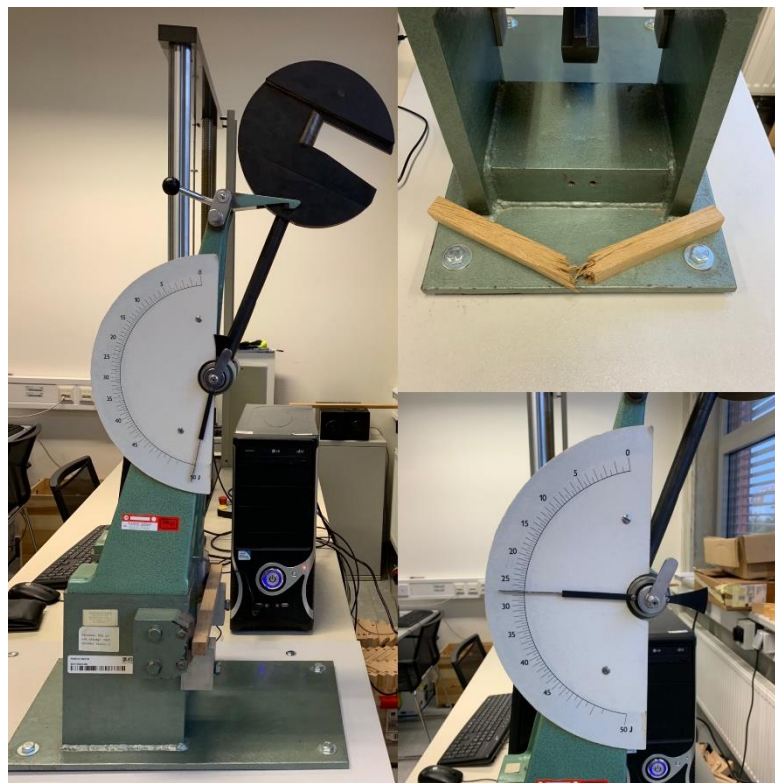
$$A_w = \frac{W}{b \cdot h} \quad [J \cdot cm^{-2}]$$

Kde: A_w - rázová houževnatost [$J \cdot cm^{-2}$],

W - práce spotřebovaná na přeražení tělesa [J],

b, h - příčné rozměry tělesa [cm].

(ČSN 49 0117)



Obr. 14 Zjišťování rázové houževnatosti pomocí Charpyho kladiva

Po vykonání těchto dvou zkoušek byly z konce těles odřezány vzorky o délce 30 mm. Tyto vzorky se použili pro stanovení tvrdosti, pevnosti v tlaku podél vláken, bobtnání a sesychání. Celkem bylo tedy vyrobeno 529 nových vzorků. Na bobtnání bylo

použito 219 vzorků, na sesychání 216 vzorků, na tvrdost 60 vzorků a na tlak podél vláken 34 vzorek.



Obr. 15 Příprava vzorků na formátovací pile

4.2.4 Bobtnání a sesychání

Bobtnání (α) dřeva bylo zjišťováno podle normy ČSN 49 0126. Vzorek určených na zjištění hodnot bobtnání se vyrobilo 219 kusů. Vzorky byly vloženy do laboratorní sušárny, kde působila teplota 103 °C. Tělesa se zde nacházela tak dlouho, dokud jejich váha klesala. Po ustálení hmotnosti vzorek následovalo jednotlivé vážení a měření ve třech směrech. Hmotnost byla opět zjišťována pomocí laboratorní váhy značky Kern s přesností 0,01 g a rozměry pomocí digitálního posuvného měřítka od firmy Kinex s přesností 0,01 mm. Změřené a zvážené vzorky byly vloženy do nádoby s destilovanou vodou o teplotě 20±2 °C. Zde byly ponořeny, dokud nepřestaly měnit své rozměry, tedy do stavu, kdy došlo k nasycení buněčných stěn. Následovalo opětovné měření a vážení vzorek. Bobtnání bylo vypočteno podle vzorce:

$$\alpha_i = \frac{a_{iw2} - a_{iw1}}{a_{iw1}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Kde: a – rozměr tělesa, plocha nebo objem [mm , mm^2 , mm^3],

i – index udávající směr, plochu nebo objem,

w_1 – vlhkost před bobtnáním [%],

w_2 – vlhkost po bobtnání [%].

(ČSN 49 0126)

Sesychání (β) dřeva bylo zjišťováno podle normy ČSN 49 0128. U sesychání byl postup opačný než u stanovení bobtnání. Vzorky určené na zjištění sesychání, celkem tedy 216 těles, bylo napřed ponořeno do destilované vody, dokud nedošlo k nasycení buněčných stěn, poté následovalo měření a vážení vzorek. V dalším kroku se tělesa vysušila na 0 % a opětovně změřila a zvažila. Ze zjištěných hodnot bylo vypočteno sesychání pomocí vzorce:

$$\beta_i = \frac{a_{iw1} - a_{iw2}}{a_{iw1}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Kde: a – rozměr tělesa, plocha nebo objem [mm , mm^2 , mm^3],

i – index udávající směr, plochu nebo objem,

w_1 – vlhkost před sesycháním [%],

w_2 – vlhkost po sesychání [%].

4.2.5 Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken

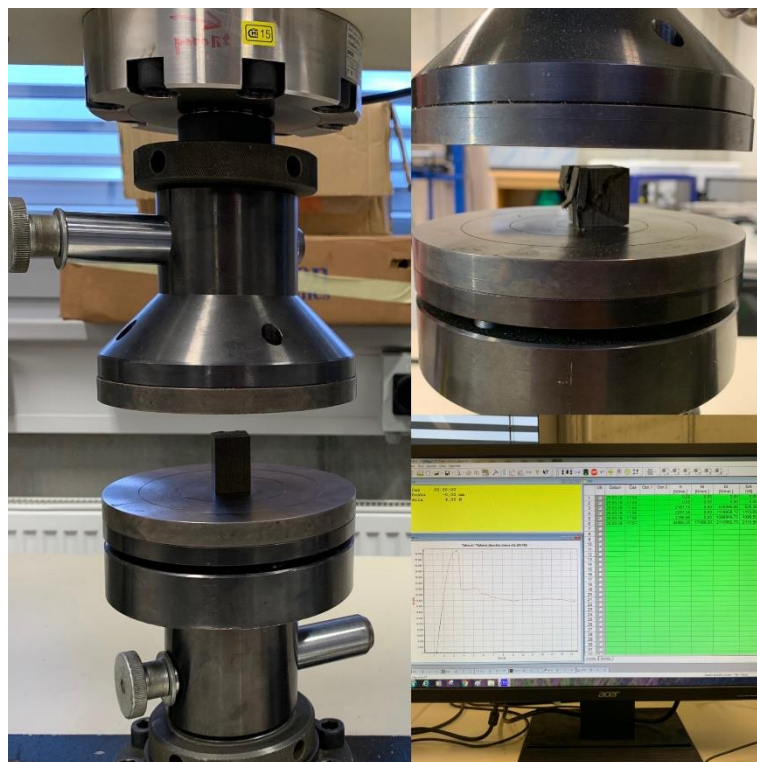
Pevnost subfossilního dřeva v tlaku ve směru vláken byla zjišťována na 34 vzorkách. Samotnému měření pevnosti předcházelo opět zjišťování rozměrů a hmotnosti jednotlivých těles. Následovalo měření pomocí univerzálního trhacího stroje (UTS 50), který disponuje softwarem TIRA. Princip zkoušky spočívá v působení síly v podélném směru vzorky do doby, kdy těleso vlivem působící síly překročí svoji mez pevnosti. Po zjištění potřebné síly byla vypočtena pevnost dřeva ve směru vláken pomocí vzorce:

$$\sigma_p = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \text{ [MPa]}$$

Kde: F_{max} - maximální zatížení [N],

a , b - příčné rozměry tělesa [mm].

(ČSN 49 0110)



Obr. 16 Zjišťování pevnosti tlaku ve směru vláken pomocí UTS 50

4.2.6 Tvrdost

Ke zjištění tvrdosti subfossilního dřeva byla použita Brinellova metoda. Zkouška spočívá v zatlačování ocelové kuličky o průměru 10 mm silou, která závisí na tvrdosti testované dřeviny. Síla se pohybuje v rozmezí 100 N až do 1000 N. Předmětem zkoumání je velikost otlaku, který zanechala ve dřevě ocelová kulička. Výsledná tvrdost se vypočítá podle vzorce:

$$H_B = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ [MPa]}$$

Kde: F - síla působící na kuličku [N],

D - průměr kuličky [mm],

d - průměr otláčené plochy ve dřevě [mm].

(ČSN EN 1534)

Tvrdost byla v našem případě měřena na přístroji Duravision. Celkem bylo použito 30 vzorek subfossilního dubového dřeva a 30 vzorek recentního dubového dřeva. Tvrdost byla porovnávána jako hodnota, která je vztažena k hustotě. Na každém vzorku

byla tvrdost měřena na radiální a tangenciální ploše. Tvrdoměr zobrazí naměřenou hodnotu v $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$, ta je třeba vynásobit tíhovým zrychlením. Výsledkem je tvrdost podle Brinella v MPa.



Obr. 17 Testování tvrdosti pomocí přístroje Duravision

5. Výsledky a diskuze

Všechny zjištěné výsledky se nacházejí v této kapitole a jsou zde zpracovány v tabelární a grafické podobě. Tabulky obsahují popisnou statistiku pro jednotlivé hodnocené vlastnosti, jedná se především o počet vzorků, aritmetický průměr, medián, dále dosahované minimum a maximum hodnot a směrodatnou odchylku. Nachází se zde rovněž tabulky pro porovnání námi zjištěných hodnot s dostupnou odbornou literaturou, z kterých je jasně patrná rozdílnost fyzikálních a mechanických vlastností mezi dřevem recentním a subfossilním. Za účelem porovnání jsou použity hodnoty pro subfossilní dubové dřevo z různých lokalit, ale také s rozdílnou dobou uložení. Použité grafy jsou zpracovány za pomoci programu STATISTICA 13 (Statsoft INC., USA)

Datování vzorku probíhalo ve specializovaném pracovišti na Mendelově univerzitě v Brně. Poslední měřený letokruh pochází z roku 69 n.l. Na vzorku nebyly přítomny letokruhy bělového dřeva, kterých musí být minimálně 5. Strom tedy přestal růst po roce 75 n.l. (Příloha 1).

5.1 Hustota

Průměrnou hustotu recentního dubového dřeva při vlhkosti 12 % literatura udává v rozmezí 690 – 702 kg·m⁻³ (tab. 1), u subfossilního dubového dřeva je to rozmezí 650 – 735,4 kg·m⁻³ rovněž při vlhkosti 12 % (tab. 2).

Tabulka 2 Hodnoty hustoty subfossilního dubového dřeva z dostupné literatury

	stáří vzorku	vlhkost (%)	hustota (kg·m ⁻³)
Bednar, Fengel (1974)	6550 př. n. l.	0	650,0
Govorčín, Sinkovič (1995)	2250 př. n. l.	12	735,4
Horský, Reinprecht (1986)	6200 př. n. l.	0	725,0
Wagenführ (2000)	neuveдено	12	665,0
Rowell, Barbour (1990)	6550 př. n. l.	0	650,0

V našem případě byla hustota stanovována také při vlhkosti 12 %. Výsledná hodnota pro kmen č. 1 činí 745 kg·m⁻³, pro spodní část fošny 751 kg·m⁻³ a pro vrchní část fošny pak 746 kg·m⁻³.

Pro kmen č. 2 se zjištěná hustota vyhodnotila obecně na 644 kg·m⁻³, detailně pak pro spodní část fošny na 648 kg·m⁻³ a pro vrchní část fošny 641 kg·m⁻³ (tab. 3). Hustota

prvního kmene je poměrně vysoká ($748 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), je dokonce o 1,8 % vyšší než hustota, kterou prezentoval Govorčín a Sinkovič (1995) pro subfossilní dubové dřevo z roku 2250 př. n. l., která byla z dostupné literatury nalezena jako nejvyšší. Kontrastní trend lze pozorovat u kmene č. 2 u kterého je hustota přibližně o $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ nižší, než u kmene č. 1 a blíží se hodnotám, které udává Wagenführ (2000) a v odborné literatuře byly nalezeny jako nejnižší.

Tabulka 3 Zjištěná hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) pro jednotlivé části kmenů při vlhkosti 12 %, základní statistika.

	kmen 1 bazální část	kmen 1 vrcholová část	kmen 2 bazální část	kmen 2 vrcholová část
arit. průměr	751	746	648	641
medián	755	745	642	644
minimum	636	656	580	547
maximum	881	849	727	730
směr. odchylka	43	38	35	31
počet	65	62	84	114

Obecně lze říci že hustota subfossilního dubového dřeva je ve srovnání s recentním dubovým dřevem téměř stejná nebo nepatrně vyšší (Govorčín a Sinkovič 1995). Při porovnání námi naměřených hodnot s hodnotami pro recentní dub je u kmene č. 1 hustota vyšší o 7,4 %, nicméně u kmene č. 2 je naopak hustota o 7,1 % nižší. Tento rozdíl může být zapříčiněn například stupněm degradace nebo množstvím usazených minerálů ve dřevě, nelze však vyloučit, že tyto dva stromy měly různou genetickou variabilitu čili rozdílnou hustotu již během růstu. Vyšší hustota dřeva byla naměřena směrem k běli neboli v povrchových vrstvách, což lze vysvětlit větším stupněm petrifikace a nelze ani vyloučit vliv chemických změn, jako je například ztloustnutí krystalické mřížky celulózy (Horský a Reinprecht 1986).

5.2 Bobtnání a sesychání

Bobtnání

Průměrné hodnoty pro bobtnání recentního dubového dřeva se pohybují v rozmezí: pro podélné bobtnání 0,4 – 0,8 %, pro bobtnání v radiálním směru 5,9 – 8,3 %, pro bobtnání v tangenciálním směru 3,8 – 5,2 % a pro objemové bobtnání 12,1 – 13,9 %. Porovnáme-li tyto hodnoty se subfossilním dubovým dřevem (tab. 4), zjistíme velké

rozdíly. Reinprecht a kol. (1988) a Govorčín, Sinkovič (1995) uvádí téměř dvojnásobné hodnoty procentuálního sesychání subfossilního dubu oproti dubu recentnímu.

Tabulka 4 Hodnoty pro bobtnání subfossilního dubového dřeva (%) z dostupné literatury.

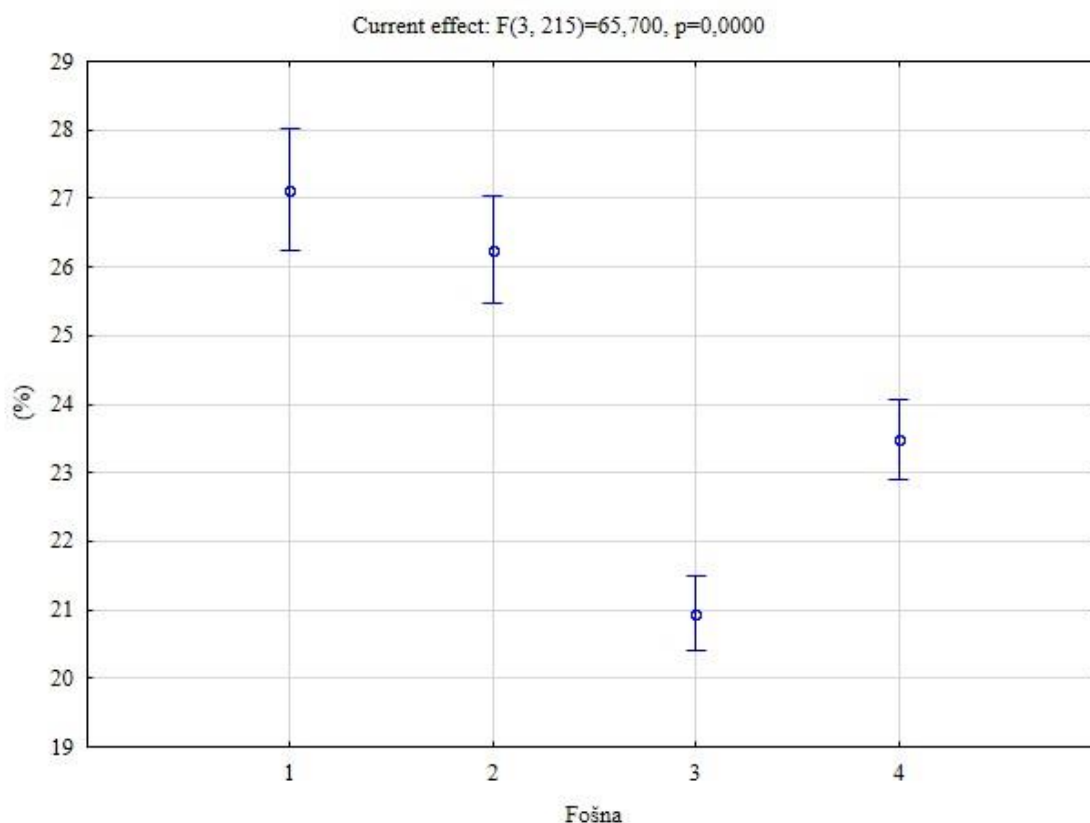
	stáří	podélné	tangenciální	radiální	objemové
Rowell, Barbour (1990)	1150 n. l.	1,00	15,10	8,10	-
Rowell, Barbour (1990)	850 n. l.	1,20	13,80	9,30	-
Rowell, Barbour (1990)	2750 př. n. l.	1,00	12,30	5,90	-
Horský, Reinprecht (1986)	6200 př. n. l.	-	18,19	10,04	31,08

V našem případě jsou naměřené hodnoty oproti hodnotám v odborné literatuře pro subfossilní dub poměrně nižší (tab. 5). V podélném směru je bobtnání nižší o 0,12 %, v tangenciálním směru o téměř dvě procenta, v radiálním směru o necelé jedno procento a objemové bobtnání je nižší o 7,5 %. Porovnáme-li však námi naměřené hodnoty s hodnotami pro recentní dub je změna rozměrů stále velice významná. V axiálním směru je bobtnání subfossilního dřeva vyšší o 0,4 %, ve směru tangenciálním o 6,0 %, ve směru radiálním o 2,9 % a objemové bobtnání je vyšší o 10,4 %.

Tabulka 5 Zjištěné hodnoty (%) pro bobtnání subfossilního dubového dřeva, základní statistika.

	podélné	tangenciální	radiální	objemové
arit. průměr	1,0	13,9	7,5	23,5
medián	0,7	13,8	7,0	23,2
minimum	0,5	7,2	4,6	12,6
maximum	1,3	15,8	15,6	35,2
směr. odchylka	0,9	2,9	2,1	3,4
počet	219	219	219	219

Graf č. 1 poukazuje na rozdíly pro objemové bobtnání v rámci dvou kmenů a jejich spodní a vrchní částí. Rozpětí č. 1 udává hodnoty pro první kmen a jeho spodní část, objemové bobtnání zde činí 27,1 %, rozpětí č. 2 je rovněž první kmen a jeho vrchní část, kde je bobtnání stanoveno na 26,3 %. Stejný způsob značení je použit u rozpětí 3 a 4. Můžeme tedy mezi jednotlivými kmeny pozorovat rozdíl v objemovém bobtnání 4,6 % a určitou variabilitu lze však pozorovat i v rámci jednotlivých kmenů.



Graf 1 Rozdílné hodnoty bobtnání v rámci jednotlivých fošen

Sesychání

Sesychání subfosilního dubového dřeva oproti recentnímu dubovému dřevu je, stejně tak jako u bobtnání, velice výrazné. Průměrné hodnoty pro sesychání recentního dubového dřeva (Tab. 1) jsou v podélném směru 0,15 – 0,7 %, v radiálním směru 4,0 – 4,6 %, v tangenciálním směru 7,8 – 10,0 % a objemové sesychání činí 12,2 – 15,0 %.

Tabulka 6 Hodnoty pro sesychání subfosilního dubového dřeva (%) z dostupné literatury.

	stáří	podélné	tangenciální	radiální	objemové
Reinprecht (1988)	730 ± 150 n. l.	-	-	-	26,50
Govorčín, Sinkovič (1995)	2050 př. n. l.	1,09	17,22	9,37	25,79
Horský, Reinprecht (1986)	6200 př. n. l.	-	-	-	31,60
Wagenführ (2000)	neuveдено	0,50	11,90	8,00	20,40
Rowell, Barbour (1990)	1380 př. n. l.	-	20,00	9,50	-

Z tabulky výše jsou patrné rozdíly v sesychání udávané různými autory, tyto odchylky mohou být způsobeny jednak stanovištěm, kde jednotlivé stromy rostly, ale určitý vliv mohla mít i doba uložení. Kolář (2010) ve své práci popisuje přibližně stejné

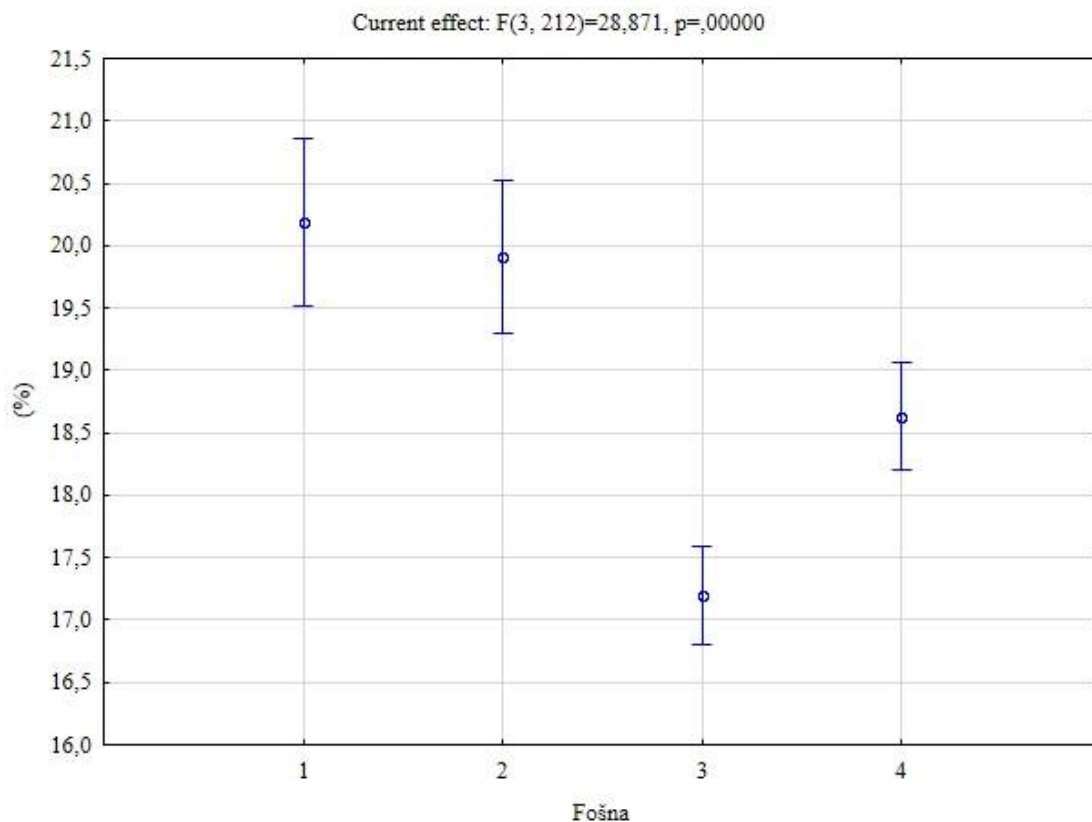
hodnoty pro bobtnání a sesychání dvou kmenů, u kterých se doba uložení liší o téměř 2000 let a usuzuje, že v tomto případě nemá doba uložení vliv na rozměrové změny.

Stejně jako u bobtnání jsou námi naměřené hodnoty pro sesychání subfossilního dubového dřeva z lokality Kluk nepatrně nižší (Tab. 7). Blíží se však k hodnotám, které udává Wagenführ (2000). V porovnání s dostupnou literaturou je bobtnání nižší v podélném směru o 0,27 %, v tangenciálním směru o 5,42 %, v radiálním směru o 2,56 % a objemové bobtnání je nižší o 7,57 %.

Tabulka 7 Zjištěné hodnoty (%) pro sesychání subfossilního dubového dřeva, základní statistika.

	podélné	tangenciální	radiální	objemové
arit. průměr	0,8	11,8	6,9	18,5
medián	0,6	12,0	6,6	18,4
minimum	3,9	4,6	4,5	7,7
maximum	1,7	19,6	16,0	23,7
směr. odchylka	0,9	2,2	1,5	2,2
počet	216	216	216	216

Graf č. 2 popisuje rozdíly mezi dvěma kmeny a jejich spodní a vrchní částí. Rozpětí č. 1 udává hodnoty pro první kmen a jeho spodní část, objemové sesychání zde činí 20,29 %, rozpětí č. 2 je rovněž první kmen a jeho vrchní část, kde je sesychání stanoveno na 19,90 %. Rozpětí č. 3 udává hodnotu pro druhý kmen a jeho spodní část, objemové sesychání je zde stanoveno na 17,20 %, rozpětí č. 4 znázorňuje také hodnotu pro druhý kmen, ale pro jeho vrchní část a to 18,63 %. Rozdílnost můžeme tedy pozorovat i v rámci jednoho kmene a jeho spodní a vrchní částí. Odchylka, která je mezi prvním a druhým kmenem, bez rozlišení spodní a vrchní částí činí 2,17 %, určité rozdílnosti lze pozorovat i v rámci jedné fošny, tj. mezi spodní a horní částí.



Graf 2 Rozdílné hodnoty sesychání v rámci jednotlivých fošen

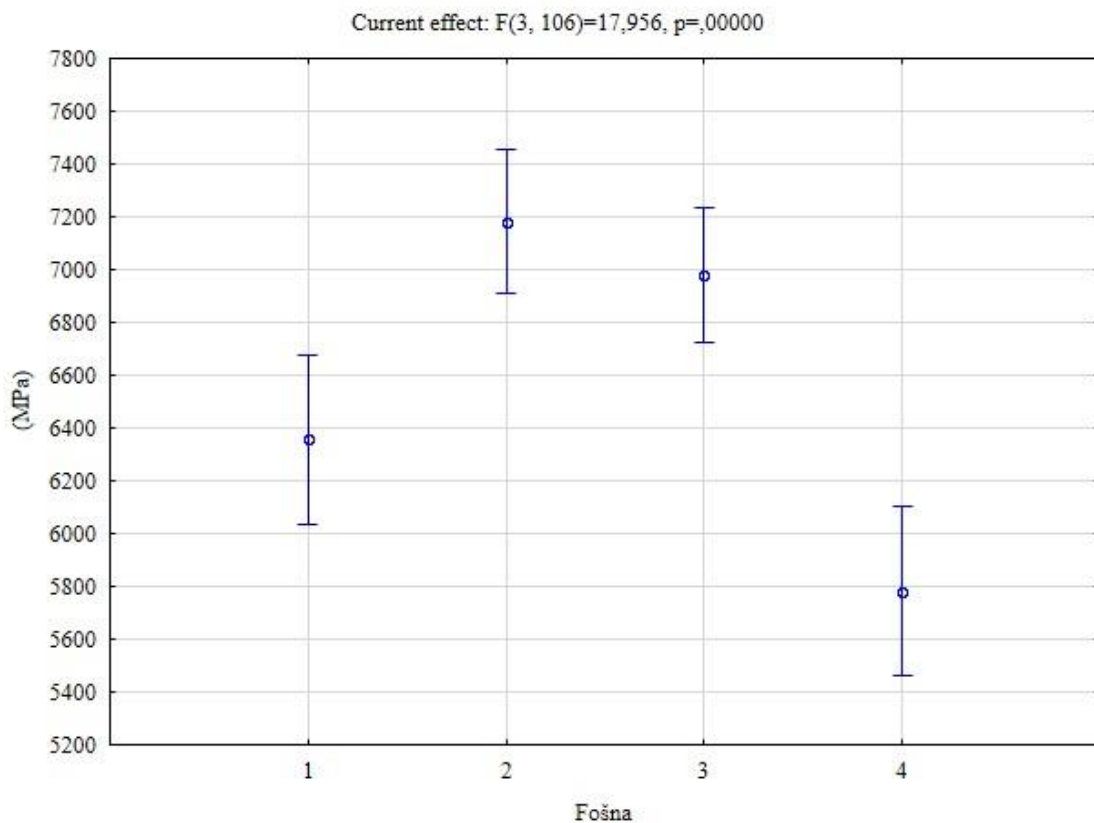
5.3 Modul pružnosti ve statickém ohybu

Hodnoty pro modul pružnosti ve statickém ohybu subfosilního dubu nejsou v literatuře uvedeny. Pro recentní dub se hodnoty pohybují v rozmezí 11474 – 13066 MPa. V našem případě byl modul pružnosti pro subfosilní dub stanoven na 6672 MPa, při vlhkosti 12 %. Námí stanovená hodnota pro modul pružnosti ve statickém ohybu subfosilního dubu dosahuje tedy pouze 54 % z hodnoty modulu pružnosti pro recentní dub.

Tabulka 8 Zjištěné hodnoty pro modul pružnosti ve statickém ohybu [MPa] subfosilního dubového dřeva, základní statistika

	kmen 1	kmen 2
arit. průměr	6840	6516
medián	6933	6446
minimum	5164	4997
maximum	9193	8360
směr. odchylka	923	895
počet	53	57

Graf č. 3 znázorňuje rozdíly pro modul pružnosti v rámci dvou kmenů a jejich spodní a vrchní částí. Rozpětí č. 1 udává hodnoty pro první kmen a jeho spodní část, modul pružnosti ve statickém ohybu zde dosahuje hodnoty 6356 MPa, rozpětí č. 2 je rovněž první kmen a jeho vrchní část, kde je modul pružnosti stanoven na 7182 MPa. Stejný způsob značení je použit u rozpětí 3 a 4. Kmen č. 2 dosahuje tedy pouze 88 % z modulu pružnosti kmene č. 1. Tento rozdíl může být způsoben odlišnou hustotou obou kmenů, ta je totiž u kmene č. 1 o $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ vyšší, než u kmene č. 2.



Graf 3 Znázornění rozdílností pro modul pružnosti ve statickém ohybu v rámci jednotlivých fošen

5.4 Pevnost v ohybu

Odborná literatura udává pro pevnost v ohybu recentního dubového dřeva hodnoty v rozmezí 85,2 – 86,3 MPa, při vlhkosti 12 % (tab. 1), pro subfossilní dub pak 65 – 71 MPa (tab. 8).

Tabulka 9 Hodnoty pro pevnost v ohybu subfossilního dubového dřeva z dostupné literatury.

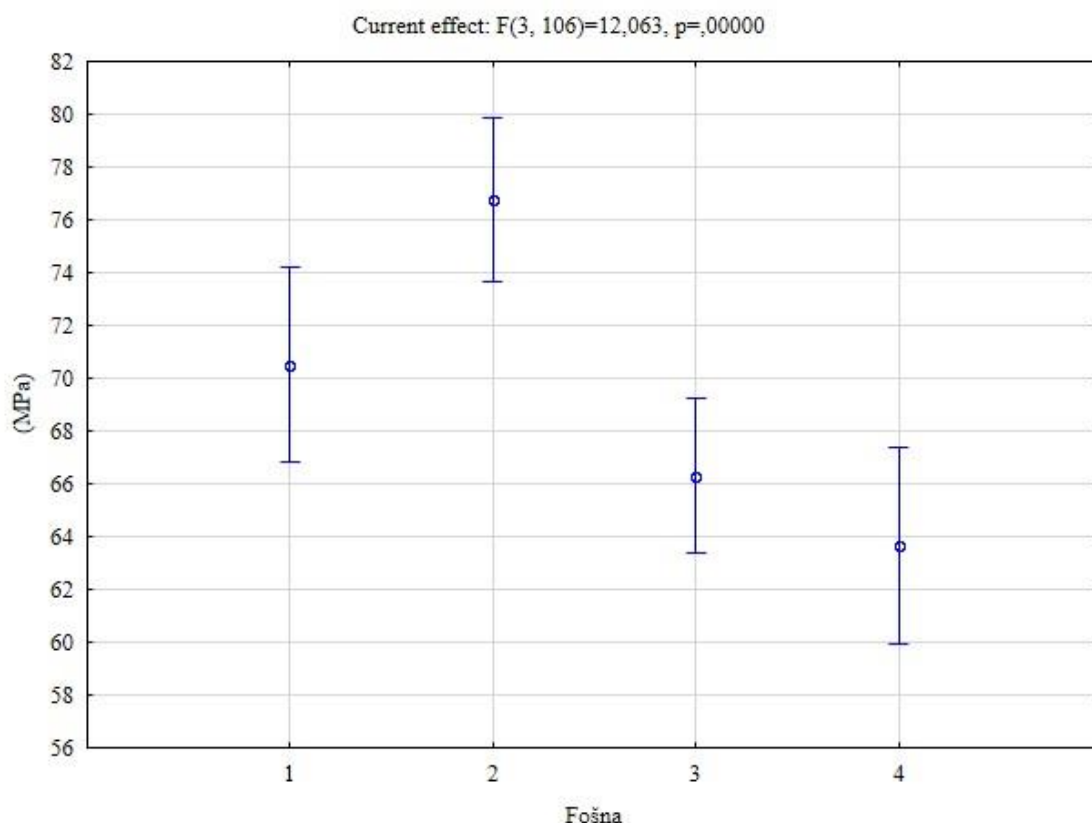
	stáří	vlhkost [%]	pevnost v ohybu [MPa]
Schwab (1994)	6800 př. n. l.	12	65
Scheiber (1976)	4750 př. n. l.	12	71
Wagenführ (2000)	neuveveno	12	71

Námi naměřené hodnoty se pro pevnost v ohybu pohybují pro kmen č. 1 kolem hodnoty 74 MPa a pro kmen č. 2 okolo 65 MPa při vlhkosti 12 %. Tento rozdíl může být pravděpodobně způsoben odklonem vláken zkušebních těles a také vadami ve zkušebních tělesech, které tuto vlastnost výrazně ovlivňují. Schwab (1994) udává pro subfossilní dub pevnost v ohybu 65 MPa, což je totožná hodnota pro námi zkoumaný kmen č. 2. Vyšší hodnotu udává Schreiber (1976) a Wagenführ (2000), ta činí 71 MPa a je pouze nepatrně nižší než pevnost pro kmen č. 2. Z těchto hodnot je patrné, že pevnost v ohybu není závislá na době uložení dřeva a musí být definitivně ovlivněna jiným faktorem. Při porovnání námi zjištěných hodnot s hodnotami uvedenými v literatuře pro recentní dub, zjistíme, že pevnost v ohybu subfossilního dřeva dosahuje pouze 81 % z pevnosti v ohybu recentního dubu.

Tabulka 10 Zjištěné hodnoty pro pevnost v ohybu [MPa] subfossilního dubového dřeva, základní statistika.

	kmen 1	kmen 2
arit. průměr	74,2	65,3
medián	76,0	65,3
minimum	51,7	52,9
maximum	98,6	82,4
směr. odchylka	11,2	6,2
počet	53	57

Graf č. 4 popisuje rozdíly pro pevnost v ohybu v rámci dvou kmenů a jejich spodní a vrchní částí. Rozpětí č. 1 udává hodnoty pro první kmen a jeho spodní část, rozpětí č. 2 je rovněž první kmen a jeho vrchní část. Stejný způsob značení je použit u rozpětí 3 a 4. Mezi jednotlivými kmeny můžeme pozorovat rozdíl téměř 9 MPa.



Graf 4 Znázornění rozdílností pro pevnost v ohybu v rámci jednotlivých fošen

5.5 Pevnost v tlaku podél vláken

Odborná literatura udává hodnotu pro pevnost v tlaku podél vláken na 59,8 MPa při vlhkosti 12 % (tab. 1). Pro subfosilní dub pak autoři stanovili pevnost v tlaku průměrně na 50,5 MPa (tab. 10), což činí 84 % z hodnoty recentního dubu.

Tabulka 11 Hodnoty pro pevnost subfosilního dubového dřeva v tlaku podél vláken z dostupné literatury.

	stáří	vlhkost [%]	pevnost v tlaku [MPa]
Reinprecht (1988)	730 ± 150 n. l.	10	50,7
Govorčín, Sinkovič (1995)	2050 př. n. l.	11	46,2
Bednar, Fengel (1974)	6550 př. n. l.	12	44,9
Horský, Reinprecht (1986)	6200 př. n. l.	10	60,0
Wagenführ (2000)	neuveveno	12	38,0

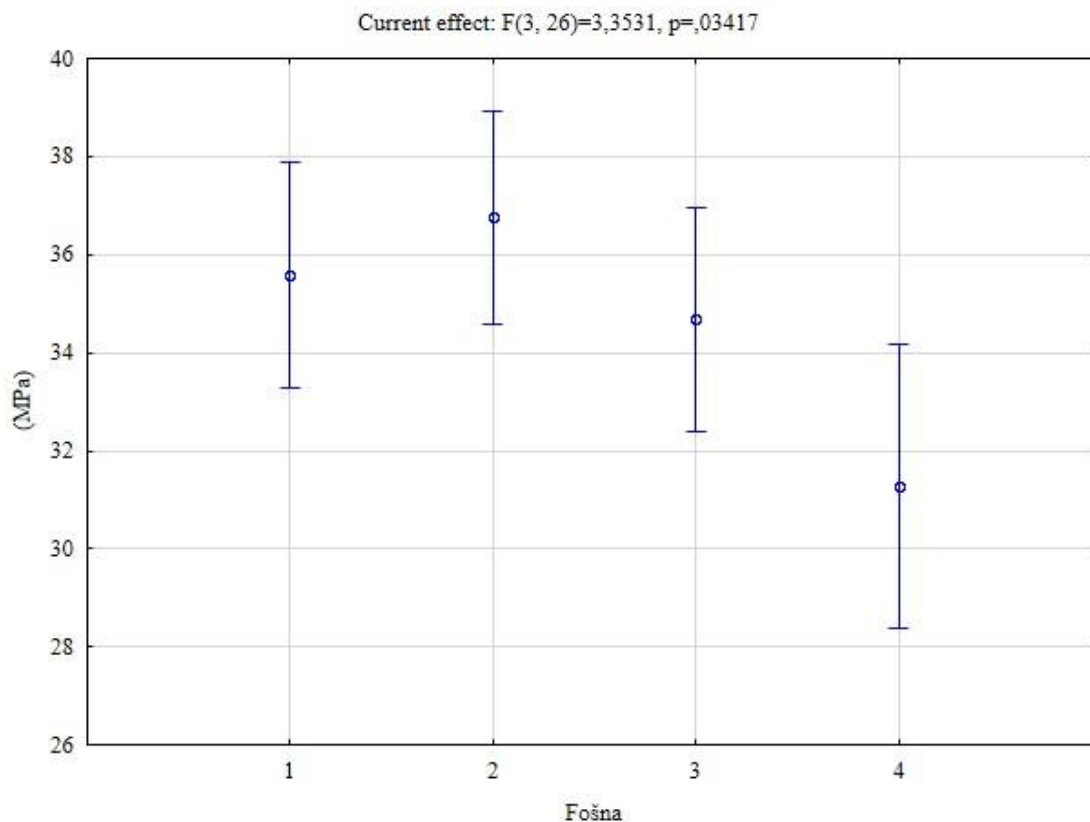
Námi stanovená hodnota pro kmen č. 1 je 36,21 MPa a pro kmen č.2 33,36 MPa, při vlhkosti 12 % a průměrné hustotě vzorků $719 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (tab. 11). Tyto hodnoty jsou v porovnání s literaturou, která se zabývá vlastnostmi subfosilního dubu, suverénně nejnižší, přestože hustota vzorků byla v porovnání s ostatními autory naopak téměř

nejvyšší. Lze tedy usoudit, že pevnost v tlaku není ve vztahu s hustotou a musí být ovlivněna jiným faktorem. Při porovnání s dubem recentním zjistíme, že pevnost v tlaku dosahuje pouze 58 % recentního dubu. Bednar a Fengel (1874) uvádí, že pevnost v tlaku ve směru vláken subfossilního dubu dosahuje přibližně 70 – 80 % pevnosti recentního dubu. Horský a Reinprecht (1986) zmiňují, že v některých případech hodnota může dosahovat pouze 50 % z hodnoty pevnosti recentního dubu.

Tabulka 12 Zjištěné hodnoty pro pevnost subfossilního dubového dřeva v tlaku [MPa], základní statistika

	kmen 1	kmen 2
arit. průměr	36,2	33,4
medián	35,6	35,4
minimum	28,3	28,3
maximum	41,2	41,2
směr. odchylka	3,4	3,5
počet	17	13

Graf č. 5 znázorňuje rozdíly pro pevnost subfossilního dřeva v tlaku ve směru vláken v rámci dvou kmenů a jejich spodní a vrchní částí. Rozpětí č. 1 udává hodnoty pro první kmen a jeho spodní část, rozpětí č. 2 je rovněž první kmen a jeho vrchní část. Stejný způsob značení je použit u rozpětí 3 a 4. Síla nepřesáhne ani v jednom případě hranici 40 MPa, tato hodnota lze tedy obecně považovat za relativně nízké ve srovnání s recentním dubovým dřevem.



Graf 5 Znárodnění rozdílností pro pevnost v tlaku podél vláken v rámci jednotlivých fošen

5.6 Rázová houževnatost

Hodnoty pro rázovou houževnatost se pro recentní dub v odborné literatuře pohybují v rozmezí 4,7 – 5,9 J·cm⁻² (tab.1). Pro subfosilní dub Wagenführ (2000) udává hodnotu 5,5 J·cm⁻² (tab. 12).

Tabulka 13 Hodnoty pro rázovou houževnatost [J·cm⁻²] subfosilního dubového dřeva dostupné z literatury.

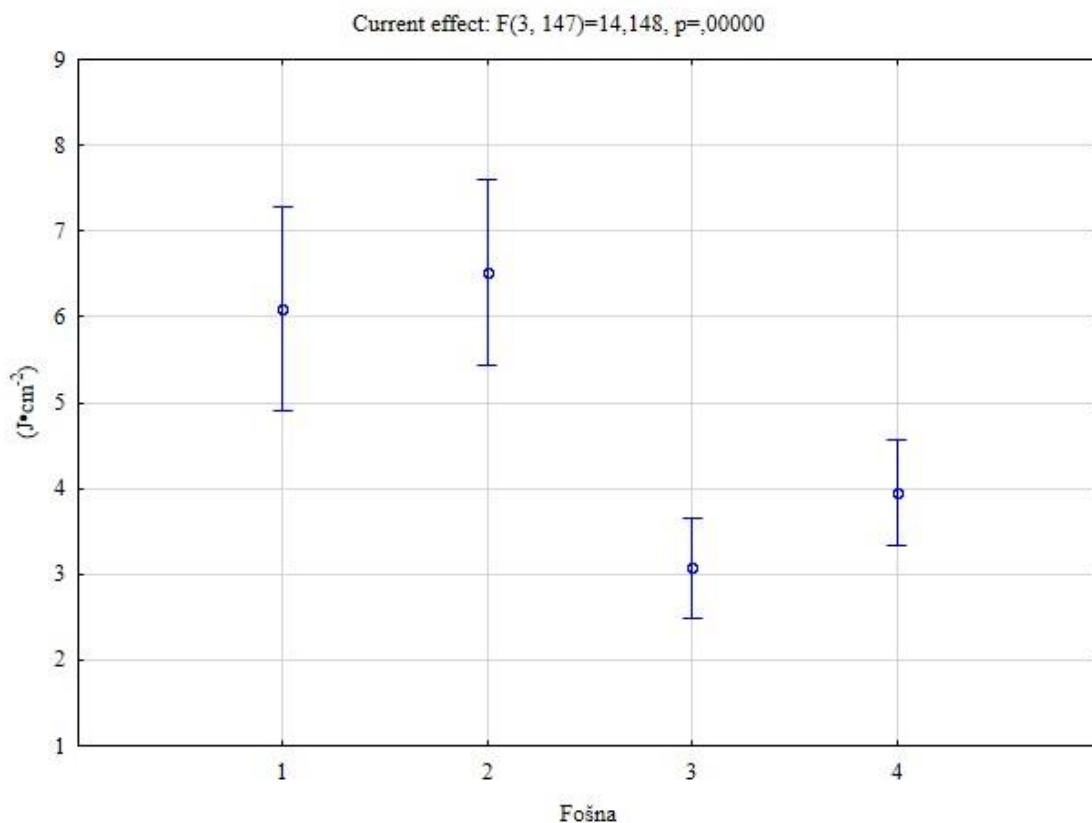
	stáří	vlhkost [%]	rázová houževnatost
Wagenführ (2000)	neuveveno	12	5,5

Námi naměřené hodnoty se výrazně liší v rámci dvou kmenů a to o 55 %. Pro kmen č. 1 je průměr naměřených hodnot 6,3 J·cm⁻², což je vyšší číslo, než udávají autoři pro recentní dub o 16 %. V případě kmene č. 2 je průměr hodnot 3,5 J·cm⁻², to je naopak hodnota nižší, než udává odborná literatura pro recentní dub a to o 44 %. Průměrná hustota vzorků testovaných rázovou houževnatostí byla 669 kg·m⁻³ při vlhkosti 12 %.

Tabulka 14 Zjištěné hodnoty pro rázovou houževnatost [$\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$] subfossilního dubového dřeva, základní statistika.

	kmen 1	kmen 2
arit. průměr	6,3	3,5
medián	6,6	3,1
minimum	1,0	1,0
maximum	12,3	12,1
směr. odchylka	3,2	2,1
počet	33	118

Graf č. 7 znázorňuje rozdíly v rázové houževnatosti subfossilního dubového dřeva v rámci dvou kmenů a jejich spodní a vrchní částí. Rozpětí č. 1 udává hodnoty pro první kmen a jeho spodní část, rozpětí č. 2 je rovněž první kmen a jeho vrchní část. Stejný způsob značení je použit u rozpětí 3 a 4. Z grafu je patrný velký rozdíl mezi kmenem č. 1 a kmenem č. 2. V rámci jednoho kmene, tj. spodní a horní část fošny se hodnoty už liší jen minimálně.



Graf 6 Znárodnění rozdílností pro rázovou houževnatost v rámci jednotlivých fošen

5.7 Tvrdost

Odborná literatura uvádí tvrdost recentního dubového dřeva v radiálním směru 33,3 – 50,5 MPa a v tangenciálním směru 64,7 – 66,0 MPa při vlhkosti 12 % (tab. 1). Hodnoty pro subfossilní dubové dřevo autoři pak uvádí v radiálním směru v rozmezí 10,42 – 12,1 MPa a v tangenciálním směru 10,5 – 15,6 MPa (tab. 14).

Tabulka 15 Hodnoty pro tvrdost [MPa] subfossilního dubového dřeva z dostupné literatury

	stáří	vlhkost [%]	radiální směr	tangenciální směr
Wagenführ (2000)	neuveдено	12		23,5
Horský, Reinprecht (1986)	6200 př. n. l.	10	10,42	10,94
Schwab (1994)	6800 př. n. l.	12	12,1	15,6
Scheiber (1976)	4750 př. n. l.	12		10,5

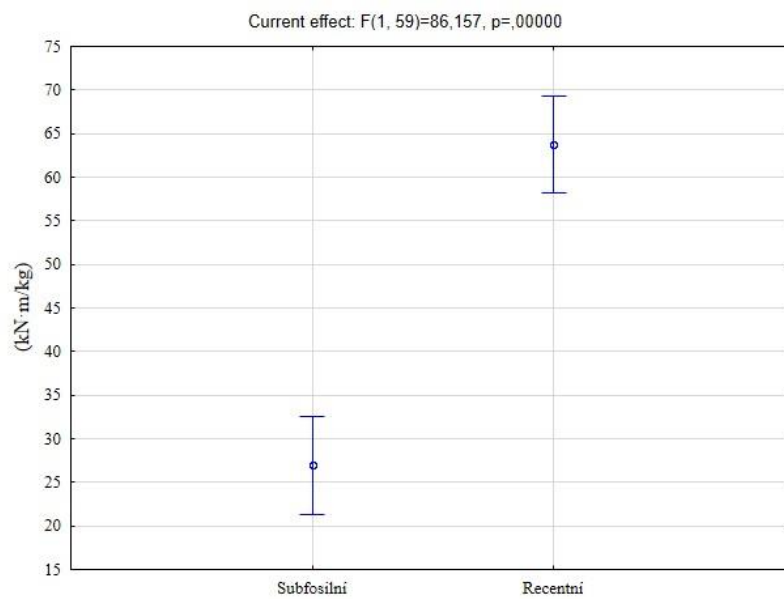
Námi naměřená tvrdost subfossilního dubového dřeva je v radiálním směru 20,6 MPa, jedná se tedy o hodnotu téměř dvojnásobnou, než udávají autoři pro subfossilní dub. V radiálním směru byla tvrdost stanoven na 36,3 MPa, tato hodnota je rovněž vyšší, než lze dohledat v literatuře a to o 76 %. Pro recentní dub jsme naměřili tvrdost v radiálním směru 51,8 MPa a v tangenciálním směru 63,0 MPa. Subfossilní dub dosahuje tedy v radiálním směru pouze 40 % z tvrdosti recentního dřeva a v tangenciálním směru 58 %. Měření na recentním dubu jsme provedli z titulu velké odlišnosti v údajích o tvrdosti v literatuře, respektive je značný rozdíl v jednotlivých metodikách a tím pádem i publikovaných výsledcích.

Tabulka 16 Zjištěné hodnoty pro tvrdost [MPa] subfossilního a recentního dubové dřeva v radiálním a tangenciálním směru.

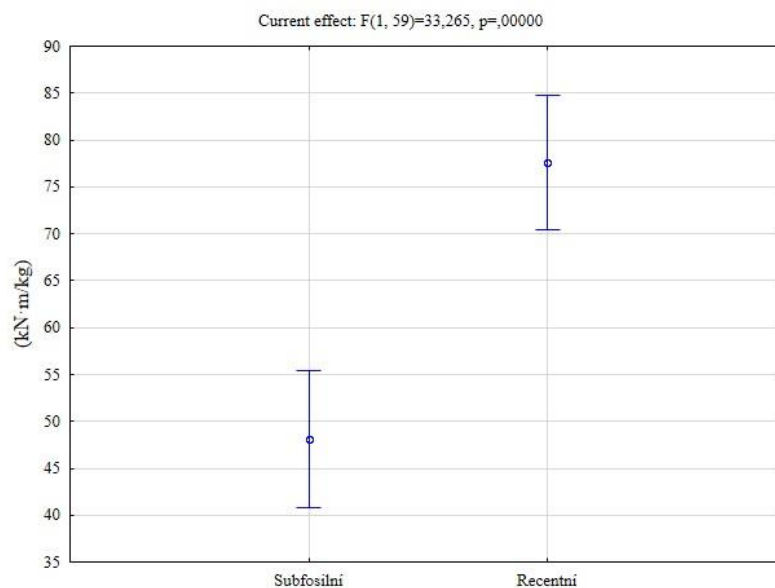
	subfossil. radiální směr	subfossil. tangenciální směr	recent. radiální směr	recent. tangenciální směr
arit. průměr	20,6	36,3	51,8	63,0
medián	15,0	37,5	52,0	64,0
minimum	9,0	5,0	36,0	47,0
maximum	56,0	66,0	67,0	74,0
směr. odchylka	17,0	22,9	6,7	5,4
počet	30	30	31	31

Kolář (2010) ve své práci popisuje závislost tvrdosti subfosilního dubového dřeva v různých směrech na stáří vzorku. Porovnáme-li námi naměřené hodnoty s literaturou pak tento trend rostoucí tvrdosti s klesajícím stářím vzorků můžeme potvrdit.

Tvrdost byla porovnávána s recentním dubem i proto, aby byl zohledněn vliv hustoty, resp. byla použita tzv. specifická tvrdost [$\text{kN}\cdot\text{m}/\text{kg}$]. Níže přiložený graf č. 8 popisuje rozdíly této specifické tvrdosti v radiálním směru a graf č. 9 ve směru tangenciálním. Z obou grafů je patrné, že i specifická tvrdost je u subfosilního dřeva nižší. V radiálním směru o 58 % a v tangenciálním směru o 40 %.



Graf 7 Rozdíly ve specifické tvrdosti v radiálním směru mezi subfosilním a recentním dubem



Graf 8 Rozdíly ve specifické tvrdosti v tangenciálním směru mezi subfossilním a recentním dubem

5.8 Možnosti využití subfossilního dubového dřeva

Porovnání vybraných vlastností subfossilního dřeva s recentním je popsáno v kapitolách výše. V některých případech jsou rozdílnosti v chování obrovské a výrazně ovlivňují zpracování subfossilního dřeva a jeho praktické využití. Mezi největší problém se dá zařadit tvorba velkého počtu trhlin při procesu sušení a následně značné rozměrové změny, které mají za následek borcení dřeva. Přestože sušení v našem případě probíhalo velmi šetrně, i tak však došlo k tvorbě velkému počtu trhlin a deformací. Tyto trhliny a deformace byly v takovém rozsahu, který podstatně omezuje použití tohoto materiálu a razantně zvyšuje množství odpadu během potenciální produkce. Jak bylo uvedeno výše, z důvodu vysokého bobtnání a sesychání dřeva se subfossilní dřevo používá především pouze v interiéru, kde jsou požadavky na mechanické vlastnosti nižší a zároveň je zde předpoklad relativně stálé teploty a vlhkosti.



Obrázek 18 Deska stolu ze subfosilního dubového dřeva s ponechanými trhlinami (Zdroj: <https://archiproducts.com/>)

Bez vyřešení výše popsaných problémů bude praktické využití subfosilního dubového dřeva problematické a bude vznikat velké množství odpadu u materiálu, jehož zdroje jsou značně omezené. Kolář (2012) popisuje možnost řešení tohoto problému v pozvolném vysoušení kmenů přirozeným způsobem až do dosažení vlhkosti kolem 15 % a uvádí, že kmeny by mohly být z počátku procesu vysoušení zabaleny do fólie a samozřejmě pravidelně kontrolovány, aby nedocházelo k tvorbě plísní. Poté, co by kmeny dosáhly vzdušné vlhkosti, byly by nařezány na řezivo a dosušeny v sušárně. Sinkovič (2009) vidí možnost řešit tento problém termickou úpravou dřeva, která by mohla mít za následek pokles rozměrových změn.

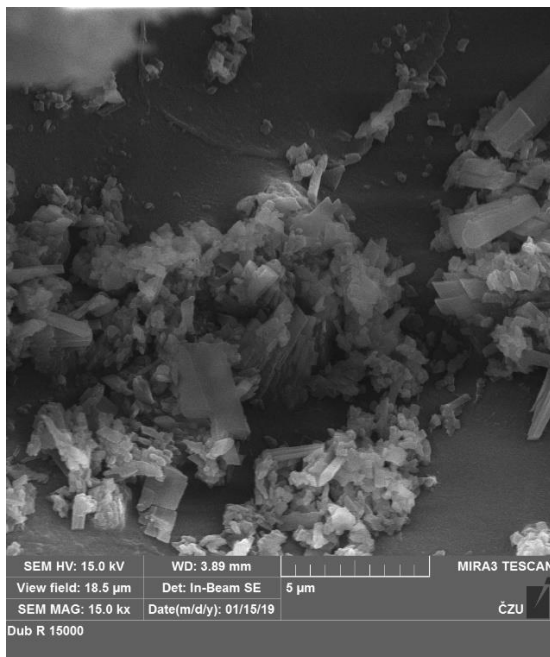
Co se týče obrábění subfosilního dubového dřeva z hlediska běžného zpracování (řezání, hoblování, broušení), tak specifické parametry měřeny nebyly, s jistotou však lze konstatovat, že řezné nástroje jsou otupeny mnohem rychleji, z důvodu minerálních částic na povrchu, a i ve struktuře subfosilního dřeva. Tento fakt se potvrdil již při manipulování motorovou pilou a hlavně při pořezu na kmenové pásové pile.

V současné době se ze subfosilního dubového dřeva vyrábí především drobné předměty, jako jsou dýmky, střenky nožů, šperky a další ozdoby, také však ale dýhy, kvalitní a vysoce ceněný nábytek, díly pro hudební nástroje, vysoce hodnotné předměty pro každodenní použití atd. Subfosilní dřevo je velmi ceněno v uměleckých kruzích mezi sochaři a dalšími umělci.

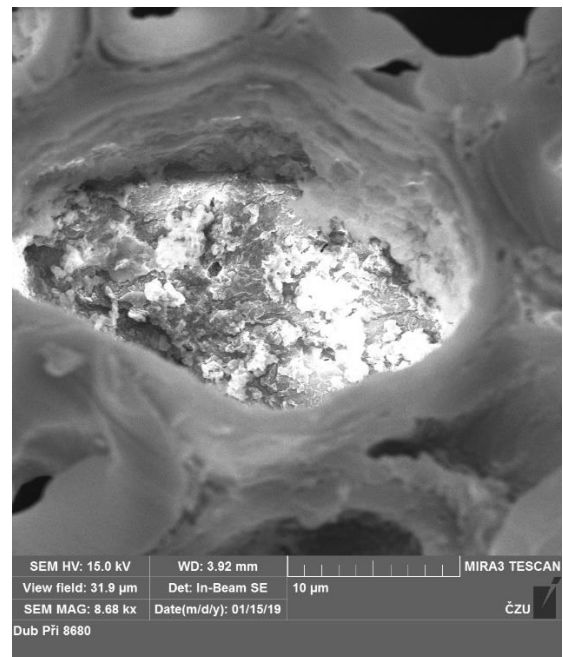


Obrázek 19 Krájená dýha ze subfosilního dubového dřeva

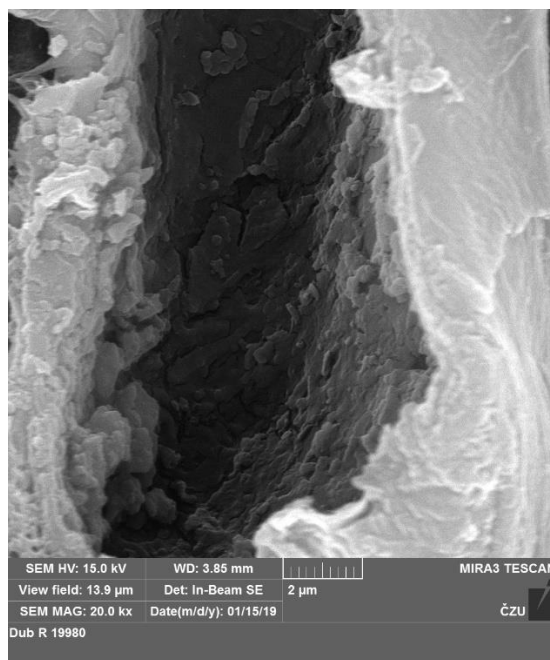
5.9 Snímky z elektronového mikroskopu



A



B



C

Obr. 21 Snímky subfosilního dubového dřeva z elektronového mikroskopu. Snímek A až C zobrazuje usazení krystalů v a na buněčných stěnách.

6. Závěr

Cílem práce bylo vyhodnotit letokruhové analýzy za účelem datování stáří kmenů, stanovit vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a porovnat zjištěné výsledky s dostupnými údaji v odborné literatuře. Pro účely této práce byly vybrány z fyzikálních vlastností - hustota, bobtnání a sesychání, z mechanických vlastností - pevnost a modul pružnosti v ohybu, pevnost v tlaku, rázová houževnatost a tvrdost. Výsledné hodnoty jsou relevantně prezentovány v tabulce 17. Ze zjištěných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty se nepřilíši liší od hodnot, které o subfossilním dřevě uvádí odborná literatura. Rozměrové změny u subfossilního dřeva jsou vyšší téměř o 30 %, než u recentního dřeva. Mechanické vlastnosti odpovídají přibližně 51 – 81 % hodnotám recentního dubového dřeva. Z uvedených vlastností vyplývá omezené využití subfossilního dřeva v praxi.

Tabulka 17 Souhrn vybraných a hodnocených fyzikálních a mechanických vlastností subfossilního dubového dřeva.

Hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)		685
Sesychání (%)	podélné	0,8
	radiální	6,9
	tangenciální	11,8
	objemové	18,5
Bobtnání (%)	podélné	1,0
	radiální	7,5
	tangenciální	13,9
	objemové	23,5
Statický modul pružnosti (MPa)		6672,0
Pevnost v ohybu (MPa)		70,0
Rázová houževnatost ($\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$)		4,1
Pevnost v tlaku podél vláken (MPa)		35,0
Tvrdost (MPa)	⊥	36,3
		20,6
Specifická tvrdost [$\text{kN}\cdot\text{m}/\text{kg}$]	⊥	47,5
		27,1

7. Použité zdroje

ASH, R. S. (1998): *Petrified Forest, The story behind the scenery*. Las Vegas: Tenth Printing, Petrified Forest Museum Association, 1998.

BALABÁN, K., *Nauka o dřevě, první část anatomie dřeva*. První vydání. Státní zemědělské nakladatelství v Praze, 1955. 216 s.

BANFI, E., & CONSOLIN, F. *Velký průvodce přírodou: Stromy*. Bratislava: Euromedia Group, k.s. 2001.

BECKER B. *Dendrochronologie und Palaeoökologie subfossiler Baumstämme aus Flussablagerungen*. Oesterreichischen Akademie: Wissenschaften 5, 1982. 120 s.

BECKER B. *An 11,000-year german oak and pine dendrochronology for radiocarbon calibration*, 1993.

BEDNAR, H., FENGEL, D., *Physikalische, chemische und strukturelle eigenschaften von regentem und subfossilem holz*, Springer: Verlag. 1974.

BŘEZINOVÁ, D. *Přehled dosavadních nálezů fosilních dřev na území Československa zpracovaných na základě literárních pramenů*. Praha, 1970. 3 – 36 s.

EATON E., CAUDULLO G., OLIVEIRA S., DE RIGO D. *Quercus robur and Quercus petraea in Europe: distribution, habitat usage and threats*. Luxembourg: European Atlas od Forest Tree Species. 2016.

FEJFAR 1989, O.: *Zkamenělá minulost*. 2 vydání. Praha: Albatros 1989.

FENGEL, D. *Aging and fossilization of wood and its components*. Wood Science and Technology 25, 1991. 153-177 s.

GANDELOVÁ, L., ŠLEZINGEROVÁ J., *Stavba dřeva*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. 187 s. ISBN 978-80-7375-966-7.

GANDELOVÁ, L., HORÁČEK P., ŠLEZINGEROVÁ J., *Nauka o dřevě*. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.

GOVORČIN S, SINKOVIĆ T. *Some physical and mechanical properties of the Bendja abonos* 1995.

- HABĚTÍN, V., KNOBLOCH, E. *Kapesní atlas zkamenělin*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1981. 288 s.
- HORÁČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 1. vydání 1998, dotisk 2001. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2001. 128 s. ISBN 80-7157-347-7
- HORÁČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. 124 s. ISBN 978-80-7375-169-2.
- HORSKÝ, D., REINPRECHT, L. *Štúdia subfossilního dubového dřeva*. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevarská Zvolen, 1986. 70s.
- HRIB, M., KORDIOVSKY, E., BUČEK, A. *Lužní les v Dyjsko-moravské nivě*. Břeclav: Moraviapress. 2004. 591 s. ISBN 80-86181-68-5
- HUBER, B., HOLDHEIDE, W., RAACK, K. *Zur Frage der Unterscheidbarkeit des Holzes von Stiel und Traubeneiche*. *Holz atlas Roh und Werkstoff*, 4. 1941. 373–380 s.
- CHMELÁŘ J. *Dendrologie s ekologií lesních dřevin*, 2. část – Hospodářsky významné listnáče. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1983. 13 – 28 s.
- IVANOV, M., HRDLIČKOVÁ, S. & GREGOROVÁ, R. *Encyklopedie zkamenělin*. Dobřejovice: Rebo Production CZ. 2001.
- KAENNEL, M., SCHWEINGRUBER, F.H., *Multilingual Glossary of Dendrochronology*. Berne: Paul Haupt Publisher, 1995. 467 s.
- KALICKI, T., KRAPIEC, M., *Problems of dating alluvium using buried subfossil tree trunks: lessons from the “black oaks” of the Pistula Halley*, Central Europe. The Holocene, Vol. 5, No. 2, p. 243–250. 1995. ISSN 0959-6836
- KOLÁŘ, T. *Oak Wood Properties Change in Time on an Example of Subfossil Trunks*. Disertační práce. Brno: Mendelova univerzita, 2012. 111 s.
- KOLÁŘ, T., RYBNIČEK, M.: *Physical and mechanical properties of subfossil oak (Quercus, sp.) wood*. Acta univ. agric. et silvic. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 2010. 123–134 s.

- KRAPIEC, M. *Subfossil oak chronology (474 BC - AD 1529) from southern Poland. Radiocarbon*, 1996. 58 s.
- KRAPIEC M. Oak dendrochronology of the neoholocene in Poland, *Folia Quaternaria* 69, Kraków, 1998. 5–133 s.
- KVIETKOVÁ, M. *Obrábění dřeva*. První vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2015. 295 s. ISBN 978-80-213-2604-0
- LEUSCHNER, H. H., DELORME, A., HÖFLE, H. C. *Dendrochronological study of oak trunks found in bogs in northwest Germany. In Proceedings of the International Symposium on Ecological aspects of Tree-Ring Analysis*. Tarrytown, USA: New York, 1986. 318 s.
- MATYSOVÁ, P. *Zkřemenělá permokarbonská dřeva v oblasti vnitrosudetské a podkrkonošské pánve*. Praha: Universita Karlova, 2004.
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ (2018) *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2017* Praha. 2018. ISBN 978-80-7424-389-6
- MUSIL I. a MÖLLEROVÁ J. *Listnaté dřeviny (lesnická dendrologie 2.)*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2005. 216 s. ISBN 80-213-1367-6.
- NĚMEC, J. *Dřevo - historický lexikon 1*. Vydání Praha: Grada publishing a.s., 2005. 80 s. ISBN 80-247-1187-7
- PLEŠÁK S. *Jehličnaté dřeviny v geologické minulosti země*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2009
- POKORNÝ, V., HOUŠA, V., KRHOVSKÝ, J., MAREK, J., PACLTOVÁ, B. & ŠPINAR, Z. V. *Všeobecná paleontologie*. Karolinum, Praha. 1992.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M., 1997: *Struktura a vlastnosti dřeva*. 2. edition. Bratislava: Priroda, a. s. 488 p. ISBN 80-07-00960-4
- PRACIAK A., et al., *The CABI encyclopedia of forest trees* Oxfordshire: Cabi. 2013.
- REINPRECHT, L., KUDELA, J., ČUNDERLIK, I., *Vlastnosti subfossilneho duboveho dřeva z oblasti Zelena voda*. Drevarsky vyskum, 1998. 117 s.

ROWELL, R. M., BARBOUR, R. J. *Archaeological Wood: Properties, Chemistry, and Preservation*. Oxford University press. 1990. 473 s. ISBN: 9780841216235

RŮŽIČKOVÁ, E., ZEMAN, A. *Trunks in holocene fluvial sediments of the Labe river*. In: Růžičková, E., Zeman, A. (eds.) *Holocene flood plain of the Labe river*, Praha. 1994. 31–33.

SCHWAB, E. *Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft*, Hamburg: Leuschnerstraße 91, 1994. 235 s.

SINKOVIĆ, T., GOVORČIN, S., DUBRAVAC, T., ROTH, V., SEDLAR, T. *Comparison some physical and mechanical properties of abonos and recent oak (Quercus robur L.)*. 2009 Šumarski list, 11–12: 605–611.

SLÁVIK, M. *Lesnická dendrologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 2004. 31 s.

ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L. *Stavba dřeva - cvičení*, 1. vydání 1999, dotisk 2004, Brno: MZLU, 2004. 132 s. ISBN 80-7157-400-7

ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L. *Stavba dřeva*, 1. vydání 1994, dotisk 1998 Brno: MZLU, 1998. 179 s. ISBN 80-7157-137-7

ŠTURSA, J. *Dřeviny opadavé i stálezelené*. Praha: Aventium. 2016.

UGOLEV, V.N. *Drevesinovedenije s onovami lesnovo tovarovedenija*. Moskva 1986. 365 s.

UGOLEV, V.N. *Drevesinovedenije s onovami lesnovo tovarovedenija*. Moskva 1975. 382 s.

ÚRADNÍČEK L. *Dřeviny České republiky*, Matice Lesnická, spol. s.r.o., Písek. 2001. 333 s.

ÚRADNÍČEK, L., CHMELAR, J., *Dendrologie lesnická*, 2. část listnáče, (1998) Brno: MZLU 1998 ISBN 80-7157-169-5

VAVRČÍK, H., GRÝC, V., RYBNÍČEK, M. *Variabilita vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva dubu letního. Vliv věku, poloměru kmene a výšky*. První vydání. Kostelec nad Černými lesy, 2008. 52 s ISBN 97-80-87154-18-2.

VIGUÉ J., *Praktická kniha o dřevě*. 4. vydání Praha: Typografické studio Amos. 2010. 427 s. ISBN 978-80-255-0445-1

WAGENÜHR, R. *Holzatlas*. 5. vydání. Munchen: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. 2000. 707 s. ISBN 3-446-21390-2.

WEIBEL, R. *Petrified wood from an unconsolidated sediment*, Denmark: Voervadsbro. 1996. *Sedimentary Geology* 101: 31-41 s.

ZEIDLER, A., *Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin – podklady pro cvičení*. První vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2016. 89 s. ISBN 978-80-213-2674-3

Použité normy:

ČSN 49 0101 Dřevo. Všeobecné požadavky na fyzikálne a mechanické skúšky. 1980

ČSN 49 0103 Dřevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach. 1979

ČSN 49 0108 Dřevo. Zisťovanie hustoty. 1993

ČSN 49 0116 Dřevo. Metóda zisťovania modulu pružnosti pri statickom ohybe. 1982

ČSN 49 0115 Dřevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe. 1979

ČSN 49 0117 Dřevo. Rázová húževnatost v ohybe. 1977.

ČSN 49 0126 Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania napúčavosti. 1989

ČSN 49 0128 Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania zosýchavosti. 1989

ČSN EN 1534 Parkety a jiné dřevěné podlahoviny - Stanovení odolnosti proti vtisku (Brinell) – Zkušební meotda

Internetové zdroje:

Obr. 3: Atlas dřevin. Zdroj: <http://r.fld.czu.cz/> [online.] [2019-02-03] Dostupné z WWW: http://r.fld.czu.cz/vyzkum/atla_drev/index6e4.html?sekce=atlas&drevina=DUB

Obr. 10: BBC News. Zdroj: <http://news.bbc.co.uk/> [online.] [2019-02-03] Dostupné z WWW: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/6942733.stm>

Obr. 11: A timeless gem – bog oak. Zdroj: <https://www.theveneersource.com/> [online.] [2019-02-20] Dostupné z WWW: <https://www.theveneersource.com/featureflitches/2017/1/20/architectural-quality-bog-oak>

Obr. 19: Archiproducts. Zdroj: <https://www.archiproducts.com/> [online.] [2019-02-23] Dostupné z WWW: https://www.archiproducts.com/en/products/tribu/rectangular-ceramic-high-table-illum-bar-table_366785

Obr. 20: A timeless gem – bog oak. Zdroj: <https://www.theveneersource.com/> [online.] [2019-02-28] Dostupné z WWW: <https://www.theveneersource.com/featureflitches/2017/1/20/architectural-quality-bog-oak>

8. Přílohy



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

Lukáš Čefelín

Nová 181

533 21 Vysoké Chvojno

11. 4. 2019, Brno

Závěrečná zpráva **Poděbrady – Kluk (subfossilní kmen)**

Studovaný materiál

V květnu roku 2018 byl dodán vzorek subfossilního dubového kmene, který pocházel ze šterkovny Kluk (okres Nymburk) pro dendrochronologickou analýzu. Vzorek byl v Dendrochronologické laboratoři Ústavu nauky o dřevě zpracován podle standardní dendrochronologické metodiky (Cook, Kairiūkstis 1990, Rybníček 2004). Určení druhu dřeva bylo provedeno na makroskopické úrovni podle standardní metodiky (Schweingruber 1990).

Synchronizace

U vzorku byly změřeny letokruhové sekvence, které byly vzájemně porovnány v programu PAST4. Z dobře synchronizovaných letokruhových křivek byla vytvořena průměrná letokruhová křivka, kterou bylo možné spolehlivě dendrochronologicky datovat podle dubové standardní chronologie pro Českou republiku CZGES 2016 (Prokop a kol. 2017) (Tab. 1, obr. 1).

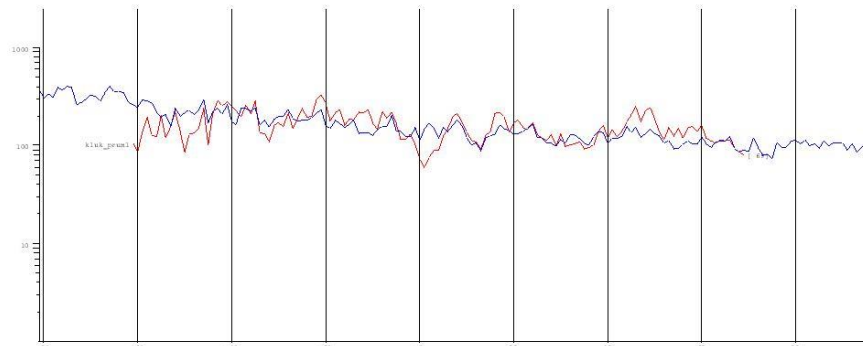
Tab. 1: Výsledky korelace průměrné letokruhové křivky se standardní chronologií

standardní chronologie	T.test 1 (podle Baillie & Pilcher)	T.test 2 (podle Hollsteina)	souběžnost křivek v procentech	překrytí křivek v rocích	datování
kluk_prum1					
CZGES 2016	6,74	7,13	70,2	131	69

Ústav Nauky o dřevě
Lesnická a dřevařská fakulta
Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 3 / 613 00 Brno
telefon 545 134 546
michal.rybnicek@mendelu.cz
www.mendelu.cz
IČ 62156489 / DIČ CZ62156489

1





Obr. 1: Synchronizace průměrné letokruhové křivky (červeně) s dubovou standardní chronologií pro Českou republiku CZGES 2016 (modře).

Datování

Datovaný vzorek neobsahoval podkorní letokruh ani letokruhy bělového dřeva. V tomto případě bylo možné určit pouze rok, po kterém strom přestal růst (Tab. 2). Pro naše území platí, že v závislosti na stáří stromu a typu lokality, na níž rostl, obsahuje dubový kmen průměrně 5-25 letokruhů bělového dřeva (Rybníček a kol. 2006; Prokop a kol. 2017).

Tab. 2: Datování vzorků.

labor. kód	číslo vzorku	dřevina	délka	konec	odumření stromu
M2119	1	dub	131+1ak	69	po roce 75

Poznámka: Při překrytí datované křivky se standardní chronologií sto dvaceti letokruhy je kritická hodnota Studentova t-rozdělení při 0,1 % hladině významnosti 3,373 (Šmelko – Wolf 1977). Hodnoty našich t-testů mají vyšší hodnotu než 3,373, což svědčí o spolehlivosti datování (Tab. 1). Správnost datování potvrzuje také shoda standardní chronologie s průměrnou letokruhovou křivkou ve většině extrémních hodnot (Obr. 1).

Použitá literatura:

Cook, E.R., Kairiūkštis, L.A. (1990): Methods of Dendrochronology. International Institute for Applied System Analysis, 393s.

Prokop, O., Kolář, T., Kyncl, T., Rybníček, M. (2017): Updating of the Czech millennia-long oak tree-ring width chronology. *Tree-ring Research* 73(1): 47–52.

Ústav Nauky o dřevě
Lesnická a dřevařská fakulta
Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 3 / 613 00 Brno
telefon 545 134 546
michal.rybnicek@mendelu.cz
www.mendelu.cz
IČ 62156489 / DIČ CZ62156489

2



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

- Rybniček, M. (2004): Dendrochronologická analýza krovu kostela Nanebevzetí Panny Marie a Sv. Ondřeje ve Starém Hobzí., Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., LII (5): 155–168.
- Rybniček, M., Vavřík, H., Hubený, R., (2006): Determination of the number of sapwood annual rings in oak in the region of southern Moravia, Journal of forest science, 52, 2006 (3), Česká akademie zemědělských věd, Praha, 141–146.
- Schweingruber, F.H. (1990): Anatomy of European woods. An atlas for the identification of European trees, shrubs and dwarf shrubs. Paul Haupt Publisher, Berne, Switzerland and Stuttgart, Germany, 800s.
- Šmelko, Š., Wolf, J. (1977): Štatistické metody v lesnictve. Příroda, 330s.

doc. Ing. Michal Rybniček, Ph.D.
Ing. Tomáš Kolář, Ph.D.

Příloha 1: Možnosti ukončení vzorků dřev.

zkratka	německý termín	ukončení vzorku a datace
ak	Außerkante	<ul style="list-style-type: none"> u vzorku není zachována hranice bělového dřeva (ks), ani podkorní letokruh (wk) vzorek tedy nelze přesně datovat, můžeme jen říci, že je mladší, než uvedené datum (tzn. než poslední datovaný letokruh + odhadovaný počet letokruhů bělového dřeva)
wk	Waldkante	<ul style="list-style-type: none"> podkorní letokruh (Kambium) vzorek lze datovat přesně rokem utětí stromu
swk	Sommerwaldkante	<ul style="list-style-type: none"> podkorní letokruh je tvořen pouze jarním dřevem strom byl uťat v létě daného roku
wwk	Winterwaldkante	<ul style="list-style-type: none"> podkorní letokruh obsahuje i letní dřevo strom byl uťat na podzim (v zimě) daného roku
+/-wk	+/- Waldkante	<ul style="list-style-type: none"> pravděpodobně podkorní letokruh, nelze to však s jistotou dokázat
ks	Kern / Splint	<ul style="list-style-type: none"> hranice jádrového a bělového dřeva podle stáří stromu a lokality má běl průměrně 5-25 letokruhů dřevo lze datovat s tolerancí +/-10 let

Ústav Nauky o dřevě
Lesnická a dřevařská fakulta
Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 3 / 613 00 Brno
telefon 545 134 546
michal.rybnicek@mendelu.cz
www.mendelu.cz
IČ 62156489 / DIČ CZ62156489

3



Příloha 1: Závěrečná zpráva z dendrochronologického datování