

**Česká zemědělská universita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva



**Variabilita vybraných vlastností dřeva dubu červeného  
(*Quercus rubra* L.) a dubu letního (*Quercus robur* L.)  
z antropogenně ovlivněných stanovišť**

**Vedoucí práce: Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.**

diplomová práce

Praha 2013

Bc. Jan Pouchanič

## Čestné prohlášení

"Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Variabilita vybraných vlastností dřeva dubu červeného (*Quercus rubra* L.) a dubu letního (*Quercus robur* L.) z antropogenně ovlivněných stanovišť vypracoval samostatně pod vedením Ing. Aleše Zeidlera, Ph.D. a použil a 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.....

Podpis autora

### **Poděkování:**

Velké poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc při plnění úkolů, poskytnuté rady a mnoho věnovaného času. Také bych chtěl poděkovat všem, kteří mě v průběhu studia podporovali, pomáhali mi a sdíleli se mnou vše, co s sebou studium přineslo.

## Abstrakt

Jednou z největších nevýhod dřeva je bezesporu variabilita jeho vlastností, která se projevuje v rámci druhů dřevin, kmenů stejného druhu dřeviny, či dokonce jednotlivých částí jednoho kmene. Největší příčinou takového chování je jednoznačně fakt, že dřevo je rostoucím přírodním materiálem a právě stanovištní růstové podmínky velmiovlivňují vlastnosti tohoto materiálu a jejich variabilitu. Důležité je tedy znát, jaké vlastnosti vykazuje dřevo z různých oblastí jeho růstu a tyto vlastnosti porovnávat mezi sebou. Tak můžeme mimo jiné pozorovat vliv stanoviště na kvalitu dřeva.

Pro hodnocení vlastností dřeva ve vztahu k oblasti jeho růstu je velmi zajímavou oblastí výsypky Větrák v oblasti mostecké pánve, která vznikla rekultivací krajiny po povrchové těžbě hnědého uhlí v 50. letech 20. století. Z této lokality byly odebrány vzorky dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.) a dřeva druhově příbuzného dubu červeného (*Quercus rubra* L.), u nichž byly zjišťovány vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti. Z fyzikálních vlastností to byla hustota při 0% vlhkosti, při 12% vlhkosti, konvenční hustota a sesychání. Z mechanických vlastností byla zjišťována mez pevnosti v tlaku ve směru vláken. Naměřené hodnoty vlastností dřeva jednotlivých dřevin byly porovnávány mezi sebou a s jinými autory. Provedla se analýza variability vlastností po poloměru kmene a po výšce kmene. Dále se zkoumaly závislosti pomocí korelačních a regresních analýz.

Dřevo dubu letního vykazovalo v porovnání s dřevem dubu červeného lepší vlastnosti. Naměřené vlastnosti dřeva obou dřev byly v porovnání s literárními zdroji na stejné úrovni. Také pozorování variability vlastností dřeva obou dřev po poloměru kmene přineslo shodný trend jako výsledky jiných autorů. Analýza vlastností dřeva po výšce kmene vykazovala neurčitý trend u obou zkoumaných dřevin. Analýzy závislosti přinesly ve všech případech kladnou závislost. Se zvyšující se hustotou rostou i fyzikální a mechanické vlastnosti. Dřevo dubu červeného vykazovalo velmi méně těsné závislosti v porovnání s dřevem dubu letního.

**Klíčová slova:** dřevo, vlastnosti, dub letní, dub červený, výsypky

## **Abstract**

One of the biggest disadvantages of wood is, without doubt, the variability of its properties, which is reflected in the species of trees, the trunks of the same trees species, or even different parts of one trunk. The biggest cause of such behaviour is clearly the fact that wood is a natural material that grows and the habitat's growing conditions strongly affect the properties of this material and their variability. It is therefore important to know what kind of properties wood has during different periods of its growth and to compare these characteristics with each other. This allows us to observe the habitat's effect on wood quality.

To evaluate the properties of wood in relation to the area of its growth, the Větrák spoil bank in the Most Basin was chosen. It is a very interesting area as it arose as part of land reclamation after surface mining of lignite in the 1950s. Wood samples of English oak (*Quercus robur* L.) were taken from this site, as were samples from the related species red oak (*Quercus rubra* L.), which were analysed for selected physical and mechanical properties. The physical properties were density at 0% moisture content, at 12% moisture, conventional density and shrinkage. The mechanical property was tensile strength under pressure in the direction of the fibres. The values of the wood's properties for each species were compared between the species and with other authors. An analysis was made of the properties along the trunk radius and by trunk height. In addition, correlation and regression analyses were used to investigate dependencies.

English oak wood had better properties compared to red oak wood. Compared with literary sources, the wood properties measured from both species were the same. Observations of variability in the properties of wood from both species along the trunk radius also gave the same trend as other authors' results. Analysis of the wood characteristics by trunk height showed a vague trend for both species under investigation. In all cases, analyses of dependence showed a positive dependence. The physical and mechanical properties increase with increasing density. Red oak wood showed a much less close relation in comparison with English oak wood.

**Key words:** wood, properties, English oak, red oak, spoil banks

1. Úvod.....	9
2. Cíl práce .....	11
3. Literární přehled.....	12
3.1 Obecná charakteristika dřeviny.....	12
3.2 Dendrologická charakteristika .....	14
3.2.1 Rod dub (Quercus L.).....	14
3.2.2 Dub letní (Quercus robur L.).....	14
3.2.3 Dub červený (Quercus rubra L.) .....	16
3.3 Makroskopická stavba dřeva – rod dub (Quercus L.).....	17
3.4 Mikroskopická stavba dřeva – rod dub (Quercus L.) .....	18
3.5 Vlastnosti dřeva – obecná charakteristika.....	19
3.5.1 Vztah dřeva k vodě.....	19
3.5.2 Hustota dřeva.....	20
3.5.3 Sesýchání dřeva.....	22
3.5.4 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken .....	24
3.6 Vlastnosti dřeva dubu .....	24
3.6.1 Hustota dřeva dubu.....	24
3.6.2 Sesýchání dřeva dubu.....	25
3.6.3 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva dubu .....	26
3.7 Variabilita vlastností dřeva .....	26
3.8 Variabilita vlastností dřeva dubu (Quercus L.).....	27
3.8.1 Porovnání variability vybraných vlastností dřeva dubu letního (Quercus robur L.) z odlišných stanovišť .....	28
3.8.2 Porovnání variability vybraných vlastností dřeva dubu letního (Quercus robur L.) a dubu zimního (Quercus paetrea Matusch.) ze stejného stanoviště.....	28

3.8.3 Variabilita vlastností dřeva dubu letního ( <i>Quercus robur</i> L.) po poloměru kmene .....	29
3.8.4 Variabilita vlastností dřeva dubu letního ( <i>Quercus robur</i> L.) po výšce kmene .....	29
3.9 Statistické vyhodnocení dat .....	29
3.9.1 Popisná statistika .....	29
3.9.2 Matematická statistika .....	30
4. Materiál a metodika .....	32
4.1 Oblast odběru vzorků .....	32
4.2 Vzorníkové stromy .....	32
4.3 Zkušební vzorky .....	33
4.4 Kódování vzorků .....	34
4.5 Statistické vyhodnocení dat .....	35
4.6 Metodika měření a výpočtů dat fyzikálních vlastností dřeva .....	35
4.6.1 Měření hustoty dřeva .....	35
4.6.2 Měření sesychání dřeva .....	36
4.7 Metodika měření a výpočtů dat mechanických vlastností dřeva .....	37
4.7.1 Měření meze pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva .....	37
5. výsledky .....	39
5.1 Hustota dřeva .....	39
5.1.1 Hustota dubu letního a dubu červeného – popisná statistika .....	39
5.1.2 Porovnání hustoty dřeva dubu letního a dubu červeného .....	39
5.1.3 Porovnání hustoty dřeva mezi vzorníky .....	40
5.1.4 Variabilita hustoty dřeva po poloměru kmene .....	44
5.1.5 Variabilita hustoty dřeva po výšce kmene .....	47
5.2 Sesychání .....	50

5.2.1 Porovnání celkového lineárního sesýchání dřeva dubu letního a dubu červeného .....	50
5.2.2 Porovnání celkového objemového sesýchání dřeva dubu letního a dubu červeného .....	52
5.2.3 Porovnání diferenciálního sesýchání dřeva dubu letního a dubu červeného .....	53
5.2.4 Variabilita objemového sesýchání dřeva po poloměru kmene.....	53
5.2.5 Variabilita objemového sesýchání dřeva po výšce kmene.....	57
5.2.6 Závislost celkového sesýchání na hustotě dřeva.....	60
5.3 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken.....	66
5.3.1 Porovnání meze pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva dubu letního a dubu červeného .....	66
5.3.2 Variabilita meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva po poloměru kmene .....	67
5.3.3 Závislost meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě dřeva.....	71
6. diskuse.....	74
6.1 Hustota .....	74
6.1.1 Srovnání výsledků s jinými autory .....	74
6.1.2 Porovnání hustoty dřeva dubu červeného a letního .....	74
6.1.3 Porovnání hustoty dřeva mezi vzorníky.....	75
6.1.4 Analýza variability hustoty dřeva po poloměru kmene .....	75
6.1.5 Analýza variability hustoty dřeva po výšce kmene.....	76
6.2 Sesýchání .....	76
6.2.1 Porovnání výsledků s literárními zdroji .....	76
6.2.2 Porovnání celkového sesýchání dřeva dubu červeného a letního .....	77
6.2.3 Hodnocení diferenciálního sesýchání dřeva dubu červeného a letního ..	77
6.2.4 Analýza variability objemového sesýchání dřeva po poloměru kmene..	78



6.2.5	Analýza variability objemového sesychání dřeva po výšce kmene .....	78
6.2.6	Závislost celkového sesychání na hustotě dřeva .....	79
6.3	Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken.....	79
6.3.1	Srovnání výsledků s jinými autory .....	79
6.3.2	Porovnání meze pevnosti v tlaku dřeva dubu červeného a letního .....	80
6.3.3	Variabilita meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva po poloměru kmene .....	80
6.3.4	Závislost meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě dřeva.....	80
7.	Závěr .....	81
8.	Použitá literatura .....	83

## 1. ÚVOD

Dřevo je v dnešní vědecky pokročilé době čím dál více chápáno jako materiál nenahraditelný a nezbytný k životu na této planetě. Rozvojem vzdělanosti a vědy se lidem dostávají kvalitnější informace o výhodách a možnostech použití tohoto přírodního kompozitního materiálu minulosti, současnosti a nepochybně také budoucnosti. Jeden z nejstarších používaných materiálů na světě se tak stal oblíbeným nejen pro svoji obnovitelnost, ale zejména pro své technické vlastnosti, kterými v mnoha ohledech předčí ostatní zejména uměle vytvořené materiály. Oblastí, kde není možnost použít jiného materiálu, vzniká, s rozvojem nároků společnosti na život, čím dál více. O tom svědčí mimo jiné neustále se zvyšující světová spotřeba dříví, či vývoj nových progresivních materiálů na bázi dřeva.

Mezi oblíbené vlastnosti dřeva se řadí např. jeho zdravotní nezávadnost, přírodní vzhled, vynikající mechanické vlastnosti (tj. pevnost a pružnost) vzhledem ke své nízké objemové hmotnosti, nízká měrná spotřeba energie při jeho zpracování, snadná opracovatelnost, odolnost proti působení některých chemických látek (zejména pak soli atd.), vysoké možnosti použití a podobně. Výhod dřeva je celá řada a bylo by velmi zdouhavé, a v rámci předkládané práce bezpředmětné, je všechny vyjmenovat a charakterizovat.

Každá vlastnost materiálu může být výhodou, ale zároveň i nevýhodou. To záleží na tom, jakou vlastnost od používaného materiálu právě požadujeme. Jak již bylo řečeno, hlavní výhodou dřeva je, že je to materiál přírodní, rostlý a tedy obnovitelný. Na druhou stranu tím, že dřevo je materiál rostlý, má na jeho vlastnosti má vliv celá řada faktorů, které nelze nebo lze jen omezeně ovlivnit. Mezi tyto faktory patří zejména stanoviště růstu, abiotické vlivy okolí, druh dřeviny, věk porostu apod., což má důsledek ve značné variabilitě vlastností dřeva na všech úrovních poznání - chemického složení, mikroskopické, submikroskopické a makroskopické stavbě. Výsledné vlastnosti takového materiálu jsou potom odrazem jeho stavby a jestliže zaznamenáváme variabilitu ve stavbě dřeva, pak se nám to musí projevit i v chování dřeva. Se stoprocentní jistotou můžeme tvrdit, že nelze, za žádných okolností, nalézt 2 identicky stejné kusy dřeva.

Díky velkému vlivu stanoviště růstu dřeva na výsledné vlastnosti dřeva, je velmi důležité porovnávat naměřené a zjištěné vlastnosti dřeva stejné dřeviny z různých oblastí.

Tak získáváme obraz toho, kde je vhodné pěstovat konkrétní druh dřeviny, u které vyžadujeme produkci dřeva co nejlepší kvality.

Předmětem předkládané diplomové práce jsou vlastnosti dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.) a dubu červeného (*Quercus rubra* L.), které pochází z antropogenně ovlivněného stanoviště výsypky Větrák v oblasti mostecké pánve. Stanoviště vzniklo rekultivací krajiny po povrchové těžbě hnědého uhlí v 50. letech 20. století. Byly zde vysázeny různé dřeviny (např. *Larix*, *Acer*, *Fraxinus*, *Ulmus*, *Alnus*, *Tilia*, *Pinus*) včetně dřevin sledovaných. Můžeme tak porovnat vlastnosti dubu červeného a letního mezi sebou a s literárními zdroji a zjistit, jaký vliv má toto stanoviště na výslednou kvalitu produkovaného dřeva.

Z pohledu praktického používání dřeva je velmi důležité zabývat se tímto tématem, protože při používání musí materiál odolávat podmínkám, kterým bude vystaven v celém svém objemu. Zajímá nás tedy mimo jiné také to, zda je dřevo ze sledované oblasti růstu vzhledem ke svým vlastnostem pro daný účel použitelné.

## 2. CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je analyzovat vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti a jejich variabilitu, na exemplárních jedincích dubu červeného (*Quercus rubra* L.) a dubu letního (*Quercus robur* L.) z antropogenně ovlivněného stanoviště. Posoudit vliv polohy v kmene na posuzované vlastnosti, tedy provést analýzu variability vlastností po poloměru kmene a po výšce kmene. Dále nalézt závislost zjištěných vlastností na hustotě dřeva pomocí korelačních a regresních analýz, porovnat výsledky popisné statistiky mezi sebou a konfrontovat zjištěné hodnoty s hodnotami uváděnými v literárních zdrojích. Na tomto základě nalézt vliv růstových podmínek stanoviště na vlastnosti dřeva.

Z fyzikálních vlastností se bude analyzovat hustota dřeva při 0% a 12% vlhkosti, konvenční hustota dřeva a sesychání dřeva. Z mechanických vlastností je to pak mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při 12% vlhkosti dřeva.

### 3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

#### 3.1 Obecná charakteristika dřeviny

Dubové dřevo je díky svým vlastnostem jedno z nejpoužívanějších listnatých dřevin nejen v Evropě. Jeho vysoká trvanlivost, tvrdost, pevnost a houževnatost umožňuje používat dubové dřevo na ty nejnáročnější a nejvíce namáhané výrobky. Dřevo má široké využití jak v interiéru, tak i v exteriéru. Díky své textuře se používá na výrobu sportovních potřeb, hraček, masivního, či dýhovaného nábytku. Hodí se také na výrobu stavebně truhlářských výrobků: schodů, podlah, obkladů, oken dveří a dalších výrobků. Oblíbeným materiálem je v oboru stavebnictví na terasy, zábradlí apod., a dopravě na výrobu lodí, letadel a dalších výrobků.

Jeho jádrové dřevo je velmi bohaté na doprovodné látky, zejména pak na třísloviny. Ty se využívají zejména v oblasti vyčiňování kůží. Vzhledem k vyššímu obsahu tříslovin se jádrové dřevo řadí do skupiny dřev trvanlivých až velmi trvanlivých, a s oblibou se používal na vodní stavby mlýnů.

Vzhledem k tomu, že jádrové dřevo má vodivé elementy vyplněné thylami, není pro kapaliny téměř vůbec propustné. Takové vlastnosti se používalo při výrobě vinných sudů, škopků, necek a dalších obalových materiálů.

Vzhledem ke svému pH není příliš vhodnou dřevinou pro výrobu aglomerovaných materiálů. Při jeho zpracování se musí upravovat množství přidávaných chemikálií, zejména tvrdidla. Také vytváří lámavé třísky, zvláště dub cer (*Quercus cerris*).

Samozřejmostí je použití málo jakostního (palivového) dubového dřeva na spalování a výrobu tepla.

Dub se stal touto cestou velmi cennou surovinou, kterou se neplýtvá. Je proto důležité znát chování dubového dřeva, jak při technologických procesech, tak při používání výrobku, a díky tomu zabránit jeho úplnému vyřazení z technologického toku a tím jeho znehodnocení. Cena dubového dříví neustále roste. Nejjakostnější surové dříví (I. Jakost) se v minulém roce svojí cenou vyšplhalo až na 10 560 Kč/m<sup>3</sup>. Největší prodejní cenu mělo v roce 2009, kdy se jeho cena pohybovala 12 951 Kč/m<sup>3</sup>, což je téměř dvojnásobek oproti roku 2004.

O oblíbenosti svědčí také rostoucí trend jeho pěstování. Umělá obnova dubu zaznamenala největší úroveň v roce 2010, kdy bylo tímto porostem obnoveno 2607 ha.

V roce 2011 to bylo o něco méně: 2494ha. Nicméně v porovnání s rokem 2001 až 2007 je nárůst umělé obnovy porostu velmi značný.

Rostoucí trend v umělé obnově dubových porostů se projevuje také v rostoucím trendu zastoupení dubu z celkové výměry lesů v ČR. Rod dub je rozšířen po celé České republice, kde zaujímá 180 597 ha. Tato hodnota představuje 7,0% celkové výměry lesů v ČR (údaje pro rok 2011). Do budoucna při tom lesníci plánují zvýšení podílu dubu na doporučených 9% oproti přirozené rekonstruované skladbě, která se uvádí 19,6%.

**Tab.1: Zastoupení dubu v ha a % z celkové porostní plochy v ČR (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2000 až 2011)**

Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ha	163761	164930	166603	168278	169150	169768	171720	173047	175495	176397	178466	180597
%	6,4	6,4	6,5	6,5	6,5	6,6	6,6	6,7	6,8	6,8	6,9	7,0

**Tab.2: Umělá obnova dubových porostů v ha v lesích České republiky (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2000 až 2011)**

Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ha	2428	2033	1780	1910	1965	1935	2005	1949	2246	2473	2067	2494

**Tab. 3: Ceny dubového surového dříví jednotlivých jakostí na území ČR v Kč/m<sup>3</sup> (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2000 až 2011)**

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
I.	6824	8371	10980	12010	11685	12951	10560	...
II.	3239	3516	5685	6080	6779	6163	5955	6575
III. A/B	2233	2122	2210	2999	3264	2838	2744	2597
III. C	1462	1529	1744	2066	2272	1988	1879	2029
III.D	1008	1089	1243	1454	1655	1481	1429	1553
V.	527	585	680	847	819	842	898	993
VI.	442	503	559	643	708	715	804	907

## 3.2 Dendrologická charakteristika

### 3.2.1 Rod dub (*Quercus L.*)

Ze systematického hlediska řadíme dub do čeledi bukovitých (Fagaceae) (Úřadníček, Chmelař, 1998). Středního plošného věku na území ČR dosáhl v roce 201170 let (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství ČR, 2007).

Na našem území je nejvíce rozšířen dub letní (*Quercus robur L.*) a dub zimní (*Quercus petraea Liebl.*), jejichž dřevo se z hlediska upotřebení nerozlišuje (Šlezingerová 1999). Duby jsou v ČR nejvíce plošně zastoupenou listnatou dřevinou. Stromy, zřídka keře, listy opadavé, nebo vždyzelené, jednoduché, umístěné spirálovitě. Samčí květy umístěné koncově, štíhlé, převislé. Samičí květy jednotlivě nebo několikrát krátkých koncových klasech. Rod obsahuje asi 200 (500) druhů, přičemž těžiště výskytu je v teplejších oblastech severní polokoule od Ameriky přes Evropu, Asii až po Malajsii. Na našem území rostou původní 4 základní druhy dub letní – *Q. robur*, dub zimní – *Q. petraea*, dub cer – *Q. cerris*, a dub pýřitý – *Q. pubescens* (Slavík, 2004).

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

Vysoký strom dorůstající do výšky 30–40 m, průměru kmene 1,5 (4) m. Kořenová soustava je mohutně vyvinuta a je charakterizována mohutně vyvinutým silným kúlovým kořenem. Kůra je v mládí červenohnědá, hladká, později tmavošedá, hrubě podélně rozpukaná a pevná. (Slavík, 2004)

Pupeny jsou postaveny spirálovitě, na konci kolem terminálního pupenu nahlučeny, jsou vejčité až protáhle vejčité, šupiny jsou holé, silně přitisknuté, 0,5–0,8 cm dlouhé. Listy jsou široce vejčité nebo obvejčité, 6–15 cm dlouhé a 2–5 (10) cm široké, zpravidla oboustranně lysé, na bázi zpravidla srdčité vykrojené, na okraji tupé, laločnaté s 5–6 páry laloků, prostřední páry laloků bývají i dvakrát laločnaté. Řapík je 2–7 mm dlouhý, silný (Slavík, 2004).

Kvete v květnu současně s rozvíjením listů. Plody dubu jsou žaludy, mají dlouhou stopku, jsou podlouhle vejčité, 2–4 cm dlouhé. Zralé jsou v září až říjnu.

Evropský areál rozšíření zasahuje i do Skandinávie (vyskytuje se dokonce asi o 150 km severněji než dub zimní – *Q. petraea*) a jeho rozšíření je výrazně závislé na nadmořské výšce. Roste podél vodních toků a je nejvýznamnější dřevinou tvrdého luhu. Západní a jižní hranice je téměř totožná s hranicí rozšíření dubu zimního, oproti němu ale zasahuje omnoho

dál do kontinentální východní části, nad Moskvou zasahuje až k Uralu, kde se otáčí na západ k Saratovu (Slávik, 2004).

Areál v České Republice, všude v nižších polohách, je přirozeně zastoupen v lužních úvalech větších řek. Netvoří čisté porosty, ale směsi s jasanem a jilmem. Je to světlomilná dřevina, má ještě vyšší nároky na světlo než dub zimní. Je dlouhověký, dožívá se 400–500 (1000 a víc) let. (Slávik, 2004).

V požadavcích na vláhu jsou dva rozličné ekotypy. Lužní ekotyp vyžaduje vysokou hladinu tekoucí podzemní vody a záplavy snáší do 10–14 dní. Nejlépe se mu daří na hlubokých hlinitých půdách s dostatkem živin. Stepní ekotyp je hospodářsky o něco méně významný, roste na teplých, vysychavých lokalitách, kde kořeny nejsou v dosahu spodní vody. Ke klimatickým podmínkám je lhostejný, je "více kontinentální" jak dub zimní. Je odolný vůči znečištěnému ovzduší a poměrně dobře se mu daří i v městském prostředí.

**Obr. 1: Dendrologické znaky dubu letního (*Quercus robur* L.), zdroj wikipedie:**





### 3.2.3 Dub červený (*Quercus rubra* L.)

Strom dorůstá do výšky až 40 m a dosahuje průměru kmene 1,5 m. Kůra zůstává poměrně dlouho hladká. Listy jsou poměrně veliké, 20 – 25 cm dlouhé, se 7 – 9 ostnátými zubatými laloky, které zabíhají do jedné třetiny maximálně do jedné poloviny šířky listové čepele. Řapík listu je 2,5 – 5 cm dlouhý. Na podzim se listy zbarvují do žlutohněda nebo světle hnědá. Ve výjimečných případech mohou mít i červenooranžové zbarvení. Plody jsou žaludy, které dozrávají v dvouletých cyklech, v prvním roce dosahují velikosti malého knoflíku a až v druhém roce dozrávají (Slávik, 2004).

Dub červený je méně náročný na světlo. Nesnáší záplavy ani vysloveně mokré půdy (Musil et al., 2005).

U nás je používán jako dřevina parková díky svému červenohnědému podzimnímu zbarvení. Pro průmyslové potřeby se dřevo této dřeviny dováží.

Areál rozšíření je východní pobřeží Severoamerického kontinentu (Slávik 2004).

Musil et al. (2005) uvádí, že jeho dřevo je méně kvalitní.

**Obr. 2: Dendrologické znaky dubu červeného (*Quercus rubra* L.), zdroj wikipedie:**



### 3.3 Makroskopická stavba dřeva – roddub (Quercus L.)

Dubové dřevo má vylišeno jádro a běl, běl je úzká nažloutlá až světlehnědá, jádro světle až tmavohnědé. Dřevo s typickou kruhovitě pórovitou stavbou se zřetelnou hranicí mezi letokruhy i hranicí mezi jarním a letním dřevem. Makropóry (široké jarní cévy) tvoří v zóně jarního dřeva zřetelné póry, na podélných řezech zřetelné rýhy. Mikropóry (úzké letní cévy) tvoří na příčném řezu v zóně letního dřeva světlé radiální pásy (radiální seskupení cév). Dřeňové paprsky viditelné na všech řezech, na příčném řezu tvoří viditelné pásy kolmé k letokruhům, na radiálním řezu křivolaká lesklá zrcadla a na tangenciálním řezu až několik cm vysoké tmavší pasy. Dřevo dubu je středně těžké, hustota u dubu letního  $\rho_0 = 680 \text{ Kg/m}^3$ ,  $\rho_{12} = 725 \text{ Kg/m}^3$  a středně tvrdé (67,5 MPa), pro velký obsah tříslovin patří k našim nejtrvanlivějším dřevinám. Dřevo dubu je dobře opracovatelné, hůře se suší a obtížněji impregnuje.

Dřevo dubu se využívá na vodní stavby, ke stavbě lodí, v nábytkářství, v řezbářství, soustružnictví, na rozmanité konstrukce, na parkety, prahy, schody, sudy, sloupy, atd. (Šlezingerová & Gandelová, 2001).

**Obr. 3: Makroskopická stavba dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.), zdroj lexikon dřev Mendelu Brno: (zleva: příčný, radiální, tangenciální řez)**



**Obr. 4: Makroskopická  
(*Quercus rubra* L.), zdroj**

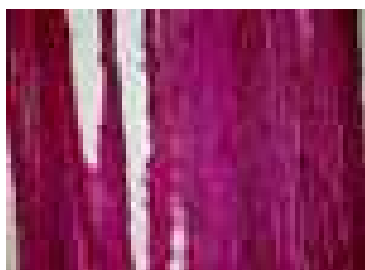
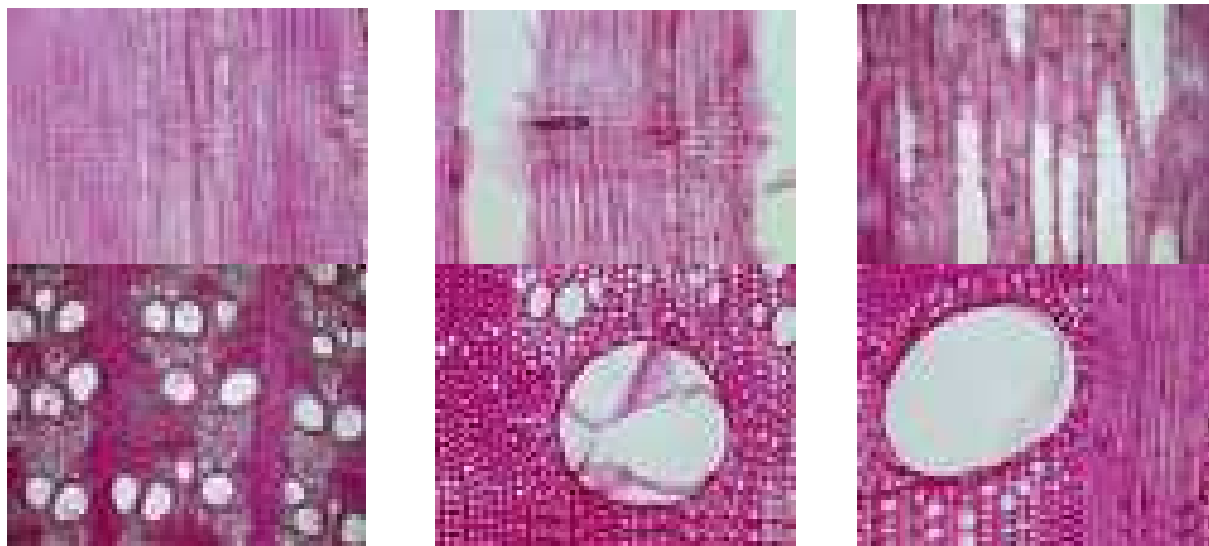


**stavba dubu červeného  
wikipedie:**

### **3.4 Mikroskopická stavba dřeva – rod dub (*Quercus* L.)**

Dřevo dubu je na jednotlivých řezech charakterizováno těmito znaky: Na příčném řezu jsou letní cévy v radiálních seskupeních, cévy často jednotlivé. V jarních cévách jsou viditelné thyly, podélný dřevní parenchym apotracheální v tangenciálních skupinách, úzké nebo velmi široké pásy parenchymatických buněk dřeňových paprsků. Na radiálním řezu jsou dřeňové paprsky homogenní, viditelné ve dvou velikostech ploch zrcadel. Cévy jsou zathyleny. V základním pletivu probíhají svislé pásy obdélníkových buněk podélného dřevního parenchymu. Na tangenciálním řezu jsou viditelné dřeňové paprsky dvou typů – jednovrstevné a mnohovrstevné (20 i více). Thyly jsou patrné a v základním pletivu probíhá hojný podélný dřevní parenchym (Šlezingerová, 2001).

*Obr. 5: Mikroskopické obrázky stavby dřeva dubu, zdroj lexikon dřev Mendelu v Brně: (z levé horní řady: 1. Příčný řez, 2. Detail thyly jarní cévy, 3. Jarní céva běle, 4. radiální řez s homogenním paprskem, 5. Radiální řez s cévou, 6. Tangenciální řez – mnohovrstevnatý DP,*



### **3.5 Vlastnosti dřeva – obecná charakteristika**

#### **3.5.1 Vztah dřeva k vodě**

Dřevo je ve vztahu k okolnímu prostředí hygroskopickým materiálem schopným přijímat nebo odevzdávat vodu, ať už ve skupenství kapalném nebo plynném, a má schopnost měnit svoji vlhkost podle vlhkosti okolního prostředí (Horáček, 2001). Schopnost suchého dřeva poutat kapalnou a plynnou vodu chemickými látkami celulosou (pouze amorfni) a hemicelulosami buněčné stěny vyplývá z přítomnosti hydroxylových skupin sacharidových řetězců. Voda se do dřeva váže pouze do meze hygroskopicity (MH), kdy dřevo obsahuje maximum vody vázané a zároveň neobsahuje žádnou vodu volnou. Nad tuto mez již voda není vázaná do buněčné stěny a nachází se v lumenech buněk.

Ve většině případů voda ve dřevě ovlivňuje i vlastnosti dřeva a způsobuje často jejich zhoršení (Horáček, 2001). Největší změny se změnou vlhkosti zaznamenáváme v intervalu vody vázané (0% až MH). Voda, která sorbuje do dřeva, se váže na hydroxylové skupiny amorfni celulosy a hemicelulos, čímž dochází k oddalování jednotlivých fibril. Důsledkem toho je zvětšování rozměrů dřeva – bobtnání (uvedeno níže), zvyšování hustoty a snižování pevnosti dřeva.

Změny vlastností dřeva se změnou vody volné (nad MH) souvisí pouze se změnou hmotnosti dřeva.

Pro účely zjišťování vlastností dřeva se používá absolutní vlhkost dřeva, která je definována následujícím vztahem č. 1:

$$w_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100 = \frac{m_v}{m_0} * 100 \quad (1)$$

$w_{abs}$  – absolutní vlhkost dřeva (%),  $m_w$  – hmotnost dřeva při určité vlhkosti (g),  $m_0$  – hmotnost absolutně suchého dřeva (g),  $m_v$  – hmotnost vody obsažená ve dřevě

U veličin, které popisují fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a jsou ovlivňovány vlhkostí dřeva, je nutné vždy uvádět hodnotu vlhkosti dřeva, při které byla vlastnost zjištěna. Nejčastěji jsou hodnoty vlastností dřeva uváděny při vlhkosti 12 %, resp. 0 %. V případě, že zkoušky vlastností dřeva byly prováděny na zkušebních vzorcích, které měli jinou vlhkost dřeva, je nutné provést přepočty ne uvedené hodnoty vlhkosti pomocí přepočtových vztahů. Přepočtové vztahy jsou založeny na opravných koeficientech, které jsou specifické pro jednotlivé fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva (Požgaj, 1993).

### 3.5.2 Hustota dřeva

Mezi nejdůležitější vlastnosti dřeva patří hustota dřeva. Hustota dřeva je charakteristikou, která významně ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva (Požgaj, 1993).

Hustota pro homogenní materiál je definována jako hmotnost tělesa vztažená na jednotku jeho objemu. Používání heterogenních materiálů termín hustota je nepřesné, vhodnější by bylo používat např. termín průměrná hustota. Nicméně je pojem hustota dřeva dostatečně zavedený a běžně používaný (Vavřík et al., 2008).

Hustota dřeva udává hmotnost jeho objemové jednotky, která se nejčastěji vyjadřuje v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  nebo  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (Horáček, 2001).

Hustota dřeva byla předmětem výzkumu mnohých prací, protože jde o charakteristiku, která významně ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Je možno považovat ji za nejlepší kritérium pro posuzování vlastností dřeva. Dřevo s vyšší hustotou je kupříkladu pevnější, tvrdší a odolnější proti opotřebenosti než dřevo s nižší hustotou (Trávník, 1952).

Ve srovnání s jinými nehygroskopickými materiály je stanovení hustoty dřeva poměrně obtížné. Jak hmotnost, tak i objem dřeva jsou velmi ovlivněny vlhkostí dřeva.

U hustoty dřeva je nutné vždy uvádět vlhkost dřeva, při které byla hustota zjišťována – udává se dolním indexem u řeckého písmene  $\rho$ . Nejčastěji se setkáváme s hustotou dřeva v absolutně suchém stavu  $\rho_0$  a hustotou dřeva zjištěnou při vlhkosti 12% -  $\rho_{12}$ . Hustotu dřeva vypočteme ze vztahu č.2:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{a_0 \cdot b_0 \cdot l_0} = \frac{m_0}{V_0} \quad (2)$$

Hustotu dřeva při vlhkosti dřeva  $w$  vypočteme podle následujícího vztahu č. 3:

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} = \frac{m_w}{V_w} \quad (3)$$

Speciálním případem  $\rho_w$  je hustota dřeva při 12% vlhkosti. Tuto hustotu udávají platné normy, protože 12% vlhkosti je dosaženo dlouhodobějším vystavením dřeva běžným podmínkám temperované místnosti ( $T=20^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=65\%$ ) (Horáček, 2001). Pro 12% vlhkost platí indexy všech vstupujících veličin 12.

Konvenční hustota je veličinou velmi vhodnou pro technologické výpočty v lesním a dřevozpracujícím průmyslu. Pomocí této veličiny lze např. přepočítat zásobu mokrého dřeva (s vlhkostí nad mezí hygroskopicity) v objemových jednotkách na hmotnost sušiny a naopak, což nalézá uplatnění zejména při váhové přejímce dříví (Horáček, 2001). Jedná se o podíl hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu a objemu při určité vlhkosti nad mezí hygroskopicity, kdy dřevo dále nebobtná a má stejné rozměry. Konvenční hustotu vypočítáme podle vztahu č. 4:

$$\rho_k = \frac{m_0}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} = \frac{m_0}{V_w} \quad (4)$$

legenda:

$\rho_0$  – hustota dřeva při  $w=0\%$  ( $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{g/cm}^3$ ),  $\rho_w$  – hustota při dané vlhkosti ( $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{g/cm}^3$ ),  $\rho_k$  – konvenční hustota dřeva ( $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{g/cm}^3$ ),  $a_0, b_0, l_0$  – lineární rozměry vzorku při  $w=0\%$  (m, cm),  $a_w, b_w, l_w$  – lineární rozměry vzorku s  $w > \text{MNBS}$  (m, cm),  $V_0$  - objem vzorku při  $w=0\%$  ( $\text{m}^3$ ,  $\text{cm}^3$ ),  $V_w$  - objem vzorku při  $w > \text{MNBS}$  ( $\text{m}^3$ ,  $\text{cm}^3$ ),  $m_0$  - hmotnost vzorku při  $w=0\%$  (kg, g),  $m_w$  - hmotnost vzorku při stanovené vlhkosti (kg, g)

### 3.5.3 Sesýchání dřeva

Jak již bylo uvedeno, dřevo je materiál hygroskopický. Navíc při změnách jeho vlhkosti dochází k rozměrovým změnám. Při zvyšování vlhkosti se jeho rozměry zvětšují – dochází k tzv. bobtnání, při snižování vlhkosti se jeho lineární rozměry zmenšují – tzv. sesýchání. K těmto rozměrovým změnám dochází však jen v rozsahu vody vázané, tj. v intervalu vlhkosti dřeva od 0 % až po mez hygroskopicity (MH) (Požgaj et. al, 1993).

Sesýchání dřeva je nutné, vzhledem k anizotropii tohoto materiálu, rozlišovat podle jednotlivých anatomických směrů na radiální, tangenciální a podélné. Také se často uvádí sesýchání objemové, které popisuje změnu objemu (Vavrčík et al., 2008).

Dále rozlišujeme, z hlediska rozsahu změny vlhkosti dřeva, sesýchání celkové – seschnutí z MH na vlhkost 0 % a částečné, které vyjadřuje rozměrovou změnu v rámci intervalu vymezeného MH a 0 % vlhkostí dřeva (Vavrčík et al., 2008).

Celkové lineární sesýchání lze vypočítat z následujícího vztahu č. 5:

$$\beta_{i \max} = \frac{R_w - R_0}{R_w} \cdot 100 \quad (5)$$

Celkové objemové sesýchání lze vypočítat z následujícího vztahu č. 6:

$$\beta_{v \max} = \frac{V_w - V_0}{V_w} \cdot 100 \quad (6)$$

legenda:

$\beta_{i \max}$  – maximální sesychání v příslušném směru (%),  $R_w$  – rozměr vzorku v příslušném směru při  $W > MNBS$  (mm),  $R_0$  – rozměr vzorku v příslušném směru při  $W = 0\%$  (mm), značení příslušného směru: r – radiální ( $a_0, a_w$ ), t – tangenciální ( $b_0, b_w$ ), l – podélný ( $l_0, l_w$ ),  $\beta_{v \max}$  – maximální objemové sesychání (%),  $V_w$  – objem vzorku v příslušném směru při  $W > MNBS$  (mm<sup>3</sup>),  $V_0$  – rozměr vzorku v příslušném směru při  $W = 0\%$  (mm<sup>3</sup>)

Nejvíce dřevo sesychá v tangenciálním směru, méně v radiálním a sesychání v podélném směru bývá pro praktické účely zanedbatelné (Simpson, Tenwold, 1999 ve Vavrčík et al., 2008). Průměrné hodnoty celkového sesychání v jednotlivých směrech jsou pro naše domácí dřeva (Požgaj et al., 1993):

- Tangenciální směr: 6 – 12 %,
- Radiální směr: 3 – 6 %,
- Podélný směr 0,1 – 0,6 %

Poměr celkového sesychání v příčných směrech vyjadřuje tzv. diferenciální sesychání (Požgaj et al., 1993), dle vztahu č. 7:

$$\beta_{dif} = \frac{\beta_t}{\beta_r} \quad (7)$$

legenda:

$\beta_{dif}$  – diferenciální sesychání,  $\beta_t$  – tangenciální sesychání (%),  $\beta_r$  – radiální sesychání (%)

Diferenciální sesychání je velmi dobrou charakteristikou dřev z hlediska jejich vhodnosti použití na konkrétní účely. Čím je diferenciální sesychání menší, tím je dřevo z hlediska zpracování vhodnější. Dřeva s nízkým diferenciálním sesycháním jsou méně náchylná k borcení než dřeva s vysokým diferenciálním sesycháním. Tento poměr je dále důležitý u výrobků, které jsou vystaveny účinku velkého kolísání vlhkosti (Perelygin, 1960 ve Vavrčík, 2008). Průměrná hodnota se udává kolem 2, běžně se pohybuje v rozmezí 1 – 3,5 (Vavrčík, 2008).



### 3.5.4 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken

Když vnější síla tlačí na průřez, vzniká tlakové namáhání (Požgaj et al., 1993).

Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken je z hlediska praxe velmi užitečná vlastnost, která je důležitá např. pro účely dimenzování nosných prvků konstrukcí apod. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken je značně ovlivňována vlhkostí dřeva a jeho hustotou (Vavrčík et al., 2008).

U suchého dřeva s vysokou hustotou dojde při zatížení tělesa na hodnotu překračující mez pevnosti k jeho porušení ve formě smyku. Jedna část tělesa je posunuta vůči druhé po linii, která na tangenciální ploše probíhá pod úhlem 60° vůči podélné ose tělesa (Požgaj et al., 1993).

U dřeva o větší vlhkosti dojde k otlacení vláken na čelních plochách a k vybočení stěn zatěžovaného tělesa (Požgaj et al., 1993).

## 3.6 Vlastnosti dřeva dubu

### 3.6.1 Hustota dřeva dubu

Vzhledem k tomu, že dub červený (*Quercus rubra* L.) a dub letní (*Quercus robur* L.) jsou dřeviny jádrové, zaznamenáváme zásadní rozdíl mezi hustotou jádra a hustotou běle. Běl je ovšem oproti některým jiným dřevinám úzká a proto se o její hustotu nezajímáme. V praxi se též nezpracovává a nemá výraznějšího využití. Hustota dřeva dubu je jednou z nejvyšších hustot našich domácích dřevin. Například oproti hustotě dřeva vrby (*Salix*L.) je hustota dřeva dubu téměř dvojnásobná.

Tab. 4: Hustota dřeva dubu při 0% vlhkosti v kg/m<sup>3</sup> podle různých autorů:

<b>Quercus robur L.</b>	<b>Quercus rubra L.</b>	<b>autor</b>
650	620	Lexa a kol., 1952
680	-	Horáček, 2001
650	620	Kollman, 1951
650	660	Wagenfuhr, 2000
690	-	Matovič, 1993
696	-	Požgaj et al., 1993

**Tab. 5: Hustota dřeva dubu při 12% vlhkosti v kg/m<sup>3</sup> podle různých autorů:**

<b>Quercus robur L.</b>	<b>Quercus rubra L.</b>	<b>autor</b>
725	-	Šlezingerová, Gandelová, 2001
690	700	Wagenfuhr, 2000
680	650	Lexa a kol., 1952
725	-	Horáček, 2001

### 3.6.2 Sesýchání dřeva dubu

Sesýchání dřeva velmi ovlivňuje hustota dřeva. Souvislost mezi sesýcháním dřeva a hustotou dřeva je vysvětlena množstvím hydroxylových skupin amorfní celulosy a hemicelulos, kam se voda váže. Vzhledem k tomu, že všechna dřeva obsahují přibližně stejné podíly základních chemických konstituent (lignin, celuloza a hemicelulosy), nachází se u dřeva s vyšší hustotou více vazebných míst ve stejném objemu, než u dřeva s hustotou nižší. Rozdíly v sesýchání mezi dřevy se stejnou hustotou můžeme pak vysvětlit zejména tím, že v rámci dřeva jádra, které obsahuje hydrofobní jádrové látky, dochází k přijímání menšího množství vody.

Takové porovnání můžeme nalézt mezi dřevem dubu a buku. Objemové sesýchání dřeva dubu dle Požgaje et al., 1993 je 13,2 % a buku 17,5 %. Takto markantní rozdíl v sesýchání (4,3 %) je způsoben právě obsahem tříslovin jádra dubu. Dubové dřevo v rámci své hustoty můžeme tedy považovat za poměrně stabilní dřevo oproti dřevu jiných dřevin.

**Tab. 6: Sesýchání dřeva dubu červeného (*Quercus rubra L.*) a dubu letního (*Quercus robur L.*) v % podle různých autorů:**

<b>Quercus robur L.</b>				<b>Quercus rubra L.</b>				<b>autor</b>
rad.	tan.	podél.	objem.	rad.	tan.	podél.	objem.	-
-	-	-	-	4,7	8,7	0,6	14,3	Lexa, 1952
4,0 – 4,6	7,8 – 10	0,4	12,6 – 15,6	4,0 – 4,3	8,2 – 10	0,7	12,9 – 13,3	Wagenfuhr, 2000
-	-	-	13,7	-	-	-	-	Požgaj et al., 1993
4	7,8	-	12,2	4,5	8,7	-	13,8	Kollmann, 1951
-	-	-	-	4,0	8,6	-	13,7	Wood hand book

### 3.6.3 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva dubu

Dubové dřevo je jedno z našich nejpevnějších dřev. Je to dáno především tím, že dubové dřevo má vysokou hustotu, která přímo koreluje s pevností. Také jádrové látky napomáhají k vyšší pevnosti. Běl je tzv. úzká a jádro tak zaujímá největší podíl v kmeni. Běl se průmyslově ani nevyužívá a tak se používá pouze dřevo jádrové.

Tab. 7: mez pevnosti v tlaku ve směru vláken dubu červeného (*Quercus rubra L.*) a dubu letního (*Quercus robur L.*) v Mpa podle různých autorů, při 12% vlhkosti:

<b>Quercus robur L.</b>	<b>Quercus rubra L.</b>	<b>autor</b>
55,2	-	Lexa a kol., 1952
61,0	-	Novák, 1970
59,8	-	Požgaj et al., 1993
61,0	43	Kollman, 1951
-	46,6	Wood Handbook
54 – 61 - 67	39 – 50 - 61	Wagenfuhr, 2000

### 3.7 Variabilita vlastností dřeva

Vzhledem k tomu, že většina vlastností dřeva je korelována s hustotou, je nejdůležitější se zaměřit na variabilitu právě této vlastnosti. Hustota dřeva vykazuje variabilitu mezi jednotlivými druhy dřevin, mezi jedinci jednoho druhu i v rámci jednoho jedince (Wangaard, 1950, Simpson, Tenwold, 1999).

Studie prokázaly existenci tří charakteristických typů průběhu hustotního profilu ve směru od dřeně ke kambiu (Pashin, de Zeeuw, 1980 v Vavrčík et al., 2008):

*Typ I –Nárůst od dřeně ke kambiu.* Průměrná hustota dřeva vzrůstá od dřeně ke kambiu. Křivka reprezentující změny průměrné hustoty může být buď lineární rostoucí nebo konstantní v zóně vyzrálého dřeva a vykazuje pokles ve vnějších částech kmene starých stromů.

*Typ II – Pokles ve směru od dřeně, pak růst ke kambiu.* Průměrná hustota dřeva klesá ve směru od dřeně, pak ke kambiu roste. V blízkosti kambia pak může být hodnota hustoty o něco vyšší nebo nižší než byla v blízkosti dřeně.

*Typ III – Pokles od dřene ke kambiu.* Průměrná hustota dřeva je vyšší u dřene než v blízkosti kambia. Pokles je lineární nebo po křivce.

U listnatých dřevin s kruhovitě pórovitou stavbou jsou změny hustoty dřeva ovlivňovány zastoupením jarního a letního dřeva v letokruzích. Se změnou šířky letokruhů lze zaznamenat daleko větší změny v procentu letního dřeva ve srovnání s procentem jarního dřeva. Pokles šířky letokruhu má pak za následek pokles procenta mechanického pletiva (libriformní vlákna, resp. vláknité tracheidy). Důsledkem toho je i pokles hustoty dřeva. Nárůst procentického zastoupení vodivých elementů dřeva (cévy, resp. vazicentrické a cévovité tracheidy) snižuje hustotu dřeva (Taylor, Wooten 1973, anshin, de Zeeuw, 1980 ve Vavrčík et al., 2008).

Perelygin (1960) k variabilitě vlastností dřeva po výšce kmene uvádí, že nejlepší dřevo se nachází v územkové části kmene a směrem vzhůru (do začátku živé koruny) se hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností snižují. Při přechodu do oblasti živé koruny se hodnoty někdy zvyšují. Uvedenou zákonitost považuje za společnou pro všechny dřeviny (v Vavrčík et al., 2008).

Růstové podmínky, jako stanovištní konkurence nebo živnost půdy, mohou zapříčinit značné rozdíly v míře a charakteristice variability vlastností dřeva ve stromech stejného druhu rostoucích na stejném stanovišti. Např. stromy, které jsou nadúrovňové, mohou vykazovat jinou charakteristiku variability, než stromy stresované. Stejně tak lze pozorovat rozdíly u stromů, které rostou v zápoji porostu. Zeměpisná poloha, která je ve skutečnosti odrazem rozdílů průměrných teplot a srážek, je tak příčinou vnitrodruhové variability. Také nadmořská výška má značný vliv na variabilitu vlastností dřeva (Panshin, de Zeeuw, 1980, ve Vavrčík et al., 2008).

### **3.8 Variabilita vlastností dřeva dubu (*Quercus L.*)**

Porovnávání vlastností dřeva a jejich variability je nejčastěji zaměřeno na případy stejné dřeviny v odlišných stanovištních podmínkách, nebo dřeviny stejného rodu, ale odlišného druhu, ve stejných stanovištních podmínkách tj. z jednoho místa. Takovým to postupem získáváme informace, jak dřevina reaguje na soubor abiotických faktorů růstu, dále pak, jak se který druh dřeviny dokáže podmínkám přizpůsobit.

### 3.8.1 Porovnání variability vybraných vlastností dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.) z odlišných stanovišť

Vavrčík et al. (2008) se zabýval porovnáním vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.) z lokality Tvrdonice a lokality Valtice nedaleko obce Lednice na Moravě.

Obě lokality se nachází v téměř stejné nadmořské výšce (Valtice 161 m n. m., Tvrdonice 154 m n. m.). Lokalita Tvrdonice je zařazena do lužního až podmáčeného lesníhotypu a je tudíž bohatší na vodu než lokalita Lednice, která je zařazena do lesního typupouze lužního.

Na základě statistického vyhodnocení bylo zjištěno, že dubové dřevo z lokality Tvrdonice vykazovalo vyšší průměrné hodnoty jednotlivých zkoumaných veličin fyzikálních a mechanických vlastností a tudíž jej lze považovat za kvalitnější.

Z výsledků zmiňované práce je tedy možné konstatovat, že stanoviště ovlivňuje výsledné materiálové charakteristiky dřeva jedinců z daného stanoviště.

**Tab. 8: Porovnání naměřených fyzikálních a mechanických charakteristik dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.) – Vavrčík et al., 2008:**

Měřená charakteristika	Valtice	Tvrdonice
Hustota $\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	584,3	654,4
Sesychání radiální $\beta_R$ (%)	4,5	4,9
Sesychání tangenciální $\beta_T$ (%)	8,1	8,7
Sesychání objemové $\beta_V$ (%)	12,5	13,4
Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken $\sigma_{tlakII}$ (Mpa)	49,7	57,7

K těmto výsledkům se také připojuje Šácha (2008) a jiní.

### 3.8.2 Porovnání variability vybraných vlastností dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.) a dubu zimního (*Quercus paetrea* Matusch.) ze stejného stanoviště

Vědecká literatura uvádí, že dub zimní (*Quercus paetrea* Matusch.) a dub letní (*Quercus robur* L.) mají téměř shodnou stavbu dřeva, kterou nedokážeme odlišit ani na

základě mikroskopického pozorování. Shodnost platí také u fyzikálních a mechanických vlastností a proto se obě dřeva z hlediska jejich použití nerozlišují.

Takové pravidlo by mohlo platit i v případě porovnání dřeva dubu červeného (*Quercus rubra* L.) a dubu letního (*Quercus robur* L.) ze stejných stanovišť. Takové porovnání ovšem v odborné literatuře nebyly nalezeny a nezbývá, než se opřít o předkládané výsledky řešené diplomové práce.

### **3.8.3 Variabilita vlastností dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.) po poloměru kmene**

Vavrčík et al. (2008) zkoumal vlastnosti dubu letního (*Quercus robur* L.) o věku 123 – 124 let s výčetní tloušťkou cca 45cm. Z jeho analýzy variability vlastností po poloměru kmene je patrné, že sledované vlastnosti (hustota a sesýchání) ve směru od dřeně do přibližně poloviny poloměru kmene rostly, dále v polovině průměru kmene dosáhly maxima. Poté směrem ke kambiu výrazně klesly. Dle členění podle Panshin a de Zeeuw (1980), odpovídal tento průběh typu III.

### **3.8.4 Variabilita vlastností dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.) po výšce kmene**

Vavrčík et al. (2008) uvádí, že zjištěný trend hustoty po výšce od dolní části kmene více méně rostla a v oblasti koruny (12 m) byl zaznamenán pokles a poté opět nárůst.

## **3.9 Statistické vyhodnocení dat**

### **3.9.1 Popisná statistika**

#### *1) Aritmetický průměr*

Aritmetickým průměrem charakterizujeme hodnotu, okolo níž kolísají jednotlivé prvky souboru (Drápela, Zach 2002). Používá se pro neroztříděný soubor. Výpočet se provádí podle vztahu č.8:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (8)$$

legenda:

$\bar{x}$  – aritmetický,  $x_i$  – reprezentant,  $N$  – rozsah souboru

### 2) Směrodatná odchylka

Je nejlepší charakteristikou variability. Její rozměr je stejný jako rozměr veličiny, což je její hlavní výhodou (Drápela, Zach 2002). Výpočet směrodatné odchylky se provádí podle vztahu č. 9:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N}} \quad (9)$$

legenda:

$S$  – směrodatná odchylka,  $\bar{x}$  – aritmetický,  $x_i$  – reprezentant,  $N$  – rozsah souboru

### 3) Variační koeficient

Je relativní mírou variability. Používá se k porovnání variability různých souborů o nestejných základních jednotkách. Výpočet se provádí podle vztahu č. 10:

$$S\% = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (10)$$

legenda:

$S\%$  - variační koeficient,  $S$  – směrodatná odchylka,  $\bar{x}$  – aritmetický,

## 3.9.2 Matematická statistika

### 1) T-testy středních hodnot

U těchto testů testujeme shodu středních hodnot. Protože se jedná o soubory dat s měřeními 2 skupin vzorků, byl použit dvouvýběrový t-test s nezávislými výběry. Před použitím vlastního t-testu je nutné provést testování homogenity rozptylů pomocí vhodného F-testu. Nebyla-li zamítnuta nulová hypotéza o homogenitě rozptylů, byl použit t-test s rovností rozptylů. Byla-li zamítnuta nulová hypotéza o homogenitě rozptylů, byl použit t-test s nerovností rozptylů.

## 2) Analýza rozptylu (Anova)

Analýza rozptylu je test shody středních hodnot pro více souborů. U testování shody středních hodnot více souborů nelze použít vícenásobného porovnání souborů pomocí t-testů, neboť se zvyšuje chyba I. Druhu tj. chybné zamítnutí platné nulové hypotézy. Nulová hypotéza u anovy se odmítne tehdy, pokud mezi alespoň 2 soubory dat ze všech existuje neshoda středních hodnot. – tj. přijímáme alternativní hypotézu.

## 3) Tukeyho metoda mnohonásobného porovnání

Dojde-li k zamítnutí nulové hypotézy anovy, pak platí, že minimálně 2 soubory dat mezi sebou mají rozdílnou střední hodnotu. Ke zjištění, které soubory jsou rozdílné, slouží Tukeyho test mnohonásobného porovnání.

## 4) Korelační a regresní analýza

Zkoumá vztahy mezi jevy. Zjišťuje existenci vlivu změny úrovně nezávisle proměnných na změnu úrovně závislého znaku. Pro zjištěnou existenci vlivu vytváří vhodný matematický model závislosti, doplněný o parametry modelu.

Koeficient determinace je jeden z parametru korelace. Vyjadřuje, jaký podíl rozptylu je vysvětlen pomocí regresní analýzy. Značí se  $R^2$ . Korelační koeficient (též Pearsonův korelační koeficient) vyjadřuje těsnost závislosti mezi nezávisle proměnnou a závisle proměnnou. Nabývá hodnoty v intervalu  $< -1; 1 >$ .

Tab. 9: Stupně závislosti korelačních koeficientů:

korelační koeficient	závislost
$r=0$	není
$0 < r < 0,3$	slabá
$0,3 < r < 0,5$	střední
$0,5 < r < 0,7$	vysoká
$0,7 < r < 1$	značně vysoká
$r=1$	funkční



## **4. MATERIÁL A METODIKA**

### **4.1 Oblast odběru vzorků**

Vzorníkové stromy, ze kterých byla vyrobena zkušební tělesa, pochází z výsypky Větrák asi 2 km od města Bíliny v oblasti mostecké pánve. Tato oblast je známá jako jedna z nejvýznamnějších a největších pánví hnědouhelné těžby v České republice. Mezi Ústím nad Labem a Kadaní zaujímá plochu cca 140 000 ha. Zde bylo doposud vytěženo více jak 3,5 mld. Tun hnědého uhlí povrchovou těžbou.

Dobývání uhlí je však spojeno s rozsáhlou devastací krajiny a zničením ekosystému v dané oblasti. Dochází ke vzniku tzv. výsypek - hromad hlušiny, odpadního materiálu vzniklého při získávání nerostů z povrchových dolů. Po ukončení navážení hlušiny, se tato místa rekultivují. Vznikají tak specifické krajiny.

Sypání výsypky bylo ukončeno koncem padesátých let minulého století. V roce 1964 byl lesnický rekultivován okrajový svah s východní až jihovýchodní expozicí. Půdotvorný substrát tvoří heterogenní substrát zemin terciérního i kvartérního původu jílovce, porcelanity, sprašové hlíny, uhelné příměsi. Petrograficky lze substrát hodnotit jako jílovce s převažujícím zastoupením jílového minerálu kaolinitu (55-68%) a montmorillonitu (8-27%), illit se vyskytuje cca pouze do 2% další významnější součástí je i křemen (3-9%) a siderit (5-7%). Podle Nováka lze substrát hodnotit jako jílový a podle NRSCSUSDA trojúhelníkového diagramu zrnitosti půd jako jílu. Zpřijitelných živin má substrát velmi nízké zásoby fosforu, vyhovující zásoby vápníku a velmi vysoké zásoby draslíku a hořčíku. Půdotvorný proces ve věku 45 let charakterizuje (od 0,1m) zejména nárůst obsahu organických látek a pozitivní úprava infiltračních (retenčních) vlastností povrchu výsypky. Hodnocení ostatních půdních vlastností může být vzhledem k heterogenosti substrátu problematické (Bažant 2011).

### **4.2 Vzorníkové stromy**

Pro potřeby zkoumání byly v dubnu 2010 pokáceny 3 stromy dubu červeného (*Quercus rubra* L.) a 3 stromy dubu letního (*Quercus robur* L.). U těchto kmenů byl zjištěn obvod ve vzdálenosti 1,3 m od paty stromu. Údaje o obvodech poskytuje tabulka č. 10.

Každý vytěžený kmen byl poté krácen na jednotlivé sekce dlouhé 110 – 120 cm. Tento postup zajišťoval možnost zkoumání variability vlastností po výšce kmene. Aby byla zajištěna nezaměnitelnost každé části, byla každá sekce označena jasně a nesmazatelně. Pro dub červený byly použity římské číslice I, II a III, pro dub letní IV, V a VI. Poté byly sekce převezeny do dílen university, kde z nich bylavYROBENA zkušební tělesa dle příslušných norem.

Každý strom poskytl pouze 3 výškové sekce. To je dáno stářím porostu. Rekultivace oblasti začala v roce 1962, kdy v rámci výzkumných prací byly vysázeny sazenice různých druhů dřevin a zkoumal se vliv prostředí na jejich schopnost růstu apod.. Vzhledem k tomu je stáří stromů cca 50 let. Bližší informace o stáří porostů je možné nalézt v Bažant (2011) str. 36.

Také tloušťka stromů nebyla příliš velká. Průměrná naměřená hodnota obvodu u všech kmenů činila 76 cm, což při přepočtu na tloušťku činilo průměrných 26 cm.

**Tab. 10: Zjištěné obvody a přepočtené tloušťky kmenů dubu červeného a dubu letního v cm:**

Quercus rubra L.			Quercus robur L.			
I	II	III	IV	V	VI	označení
67	78	77	86	73	76	obvod kmene
21,4	24,8	24,5	27,3	23,2	24,2	tloušťka kmene

### 4.3 Zkušební vzorky

Do procesu výroby zkušebních těles vstupovalo 6 kmenů rozdělených do 3 sekcí. To znamená, že celkem bylo k dispozici 18 sekcí z obou druhů dubu. Pro dub červený to bylo 9 sekcí a pro dub letní také 9 sekcí.

Každá sekce byla zpracována pomocí jednooperačních strojů v dílnách České zemědělské university. Nejprve byly pomocí kotoučové pily vyříznuty středové radiální fošny o tloušťce cca 6 cm. Takové fošny poskytovaly správný průběh letokruhů na příčném řezu pro výrobu speciálně ortotropních tělísek, nezbytných pro správnou metodiku měření. Každá část se poté podélně rozřezávala na několik neopracovaných přířezů, různě vzdálených od dřeně. Části se poté označily písmeny A, B, C a ve výjimečných případech i D podle toho jakou pozici vzhledem k dřeni měli. Nejbližší části měli písmenné označení A, a nejbližší D. Přířezy byly dále označovány kódem, který zabezpečoval naprosto přesné zpětné určení polohy v konkrétním pokáceném kmeni. Neopracované přířezy se

dále čtyřstranně ofrézovaly na průřez 20 x 20 mm a následně se krátily na délku 30 mm. Hotová zkušební tělesa se ukládala do sáčků tak, aby byla zajištěna separace každé polohy v kmeni.

Pro laboratorní zkoušky se ze sáčků vybraly pouze ty kusy, které bezpodmínečně splňovaly daná normovaná kritéria, a to v počtu 10 ks na každý druh zkoušky. Značení zkušebních těles se poté doplnilo o pořadové číslo vzorku, aby zjišťované údaje nebyly přiřazeny jinému tělesu, čímž by došlo ke vzniku chyb při měření. Pro analýzu sesýchání a konvenční hustoty bylo vybráno 8 ks z každé polohy v kmeni. Tělesa dostala pořadové číslo 1 - 8. Pro analýzu hustoty a pevnosti při 12% vlhkosti bylo vybráno 8 ks z každé polohy v kmeni. Tělesa dostala pořadové číslo 9 – 16.

Vzhledem ke způsobu získání těles se jedná o dvoustupňový náhodný výběr.

Diplomová práce navazuje na studentské práce Rozkošného (2012), Webersinka (2012) a Briche (2012). Pro vyhodnocení vlastností byla použita také jejich měření. Od Rozkošného (2012) to bylo měření hustoty při 12% vlhkosti 1. sekce každého stromu. Dále od Webersinka (2012) měření sesýchání 1. sekce každého stromu a od Briche (2012) měření pevnosti v tlaku ve směru vláken 1. sekce.

#### **4.4 Kódování vzorků**

Kódování vzorků vychází z potřeb jednoduchosti a efektivnosti, neboť při výrobě vzorků v dílnách není příliš mnoho času a klidu na stanovení dlouhého a složitého unikátního kódu pro každou polohu v kmeni. Proto bylo přikročeno k velmi jednoduchému značení, které rozlišuje následující úrovně přesnosti:

1. označení druhu dubového dřeva: I, II, III dub červený, IV, V, VI dub letní
2. výšková sekce: 1, 2, 3 pro dub červený a letní stejné
3. orientace od dřeně: levá strana L, pravá strana P
4. vzdálenost od dřeně: A, B, C popř. D pro dub červený i letní stejné
5. pořadové číslo jedince: pro sesýchání a konvenční hustotu: 1-8  
pro pevnost a hustotu při  $w = 12\%$ : 9-16

Pro každou kombinaci prvních 3 úrovní přesnosti bylo přiděleno speciální číslo a úrovně 4 a 5 byla doplněna na každý konkrétní vzorek.

## 4.5 Statistické vyhodnocení dat

U každého souboru naměřených dat byl vyhodnocen: aritmetický průměr, minimální a maximální hodnota, směrodatná odchylka a variační koeficient. Pro porovnání 2 souborů dat byl použit t-test středních hodnot, pro porovnání více souborů byla použita analýza rozptylu s Tukeyho metodou vícenásobného porovnání dat. Závislost mezi jednotlivými veličinami byla zjišťována na základě korelační a regresní analýzy. Grafické vyjádření zajišťují krabicové grafy a grafy se souřadnými osami XY. Zvolená hladina významnosti je  $\alpha = 0,05$ .

Pro matematicko-statistické vyhodnocení byly použity parametrické testy, u nichž je vyšší síla testu (tj. menší pravděpodobnost chybného zamítnutí platné nulové hypotézy). Podmínkou použití parametrických testů je tzv. normální rozdělení souborů naměřených dat. V případě, že soubor či soubory neměly normální rozdělení, byla využita Box-Coxova transformace. Zjištění normálního rozdělení souboru bylo provedeno pomocí Shapiro-Wilkova testu.

Z celkového počtu měření nebyla do statistického vyhodnocení zahrnuta ta měření, jež vykazovala extrémní hodnoty, či chybná měření. Takové hodnoty narušují normální rozdělení souboru.

Výsledky byly přehledně uváděny v tabulkách a statisticky zpracovány a vyhodnoceny s pomocí statistického programu STATISTICA a tabulkového softwaru MICROSOFT OFFICE EXCEL 2007.

U vyhodnocení Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pomocí tabulky se statisticky významně odlišné skupiny vyznačují symbolem \*.

## 4.6 Metodika měření a výpočtů dat fyzikálních vlastností dřeva

### 4.6.1 Měření hustoty dřeva

Měření hustoty bylo prováděno podle normy ČSN 49 0108 Zjišťovanie hustoty při fyzikálních a mechanických zkouškách.

1) zkušební tělesa: mají tvar pravoúhlého hranolu o základně 20x20 mm a délce orientované ve směru vláken 30 mm. Na Příčném řezu je minimální počet letokruhů 5. Norma nepředepisuje speciálně ortotropní tělesa. Tělíska nemají žádné vady (suky, trhliny apod.), ani biotické či abiotické poškození a neobsahují běl.

2) požadavky na měřicí přístroje: pro měření lineárních rozměrů se používá posuvné měřidlo s přesností 0,1mm. Na vážení se používají digitální váhy s přesností 0,01g

3) postup měření hustot dřeva: Pro zjištění hustoty při 12 % vlhkosti byla použita tělíska ve stavu rovnovážné vlhkosti s klimatizovaným prostředím ( $t=20^{\circ}\text{C}$  a  $\varphi=60\%$ ), ve kterém byla uložena. Byly změřeny všechny lineární rozměry a váha klimatizovaných tělísek. Následně se tělíska vysušila na 0 % vlhkost a opět zvažila. Dosazením hmotností do vztahu č. 1 byla zjištěna skutečná vlhkost tělísek v době měření. Na základě naměřených a vypočtených údajů byla provedena korekce hustoty klimatizovaných tělísek na hustotu při 12 % vlhkosti dle vztahu č 11. Samotná hustota dřeva klimatizovaných tělísek byla zjištěna dle vztahu č. 3.

Vztah č. 11: korekce hustoty klimatizovaných tělísek na hustotu dřeva při 12 % vlhkosti dle ČSN 49 0108:

$$\rho_{12} = \rho_w * \left[ 1 - \frac{(1-K)*(W-12)}{100} \right] \quad (11)$$

legenda:

$\rho_{12}$  – hustota dřeva při  $w=12\%$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $\rho_w$  – hustota při dané vlhkosti ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $W$  – vlhkost vzorku (%),  $K$  – koeficient pro korekci  $K=0,85*10^{-3}*\rho_w$ , kde hustota je vyjádřena v  $\text{kg}/\text{m}^3$

Výpočet hustoty dřeva v absolutně suchém stavu  $\rho_0$  byl proveden pomocí vztahu č. 2. Hodnoty pro měření byly použity z dat měření sesychání.

Konvenční hustota dřeva byla zjišťována dle vztahu č. 4. Hodnoty pro toto měření byly také převzaty z měření sesychání.

#### 4.6.2 Měření sesychání dřeva

Měření rozměrových změn bylo prováděno podle normy ČSN 49 0128 Skúšky vlastností rastlého dřeva. Metoda zjišťování zosychavosti.

1) zkušební tělesa: mají tvar pravouhlého hranolu o základně 20x20 mm a délce orientované ve směru vláken 30 mm. Norma předepisuje použití speciálně ortotropních

tělísek. Úhel sklonu letokruhů ke dvěma přilehlým stranám je maximálně 10°. Tělíska nemají žádné vady (suky, trhliny apod.), ani biotické či abiotické poškození a neobsahují běl.

2) požadavky na přístroje: pro měření lineárních rozměrů se používá digitální posuvné měřidlo s přesností 0,01mm. Na vážení se používají digitální váhy s přesností 0,01g. Sušení zabezpečuje sušárna o  $t=103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

3) měření sesychání dřeva: Klimatizovaná tělíska byla ponořena do misek s vodou a zatěžkána závažím tak aby byla celým svým objemem ponořena. Po nabobtnání byla tělíska vyjmuta, osušena a změřena ve svých 3 rozměrech. Sušení, které následovalo po měření, bylo prováděno pozvolně tak, aby tělíska nebyla porušena výsušnými trhlinami. Tělísko, u něhož byla zaznamenána trhlina, bylo vyřazeno z měření. Po vysušení tělísek na 0 % vlhkost (tehdy pokud po 2 po sobě jdoucích měření rozměrů v intervalu 2-6 hodin nebyl rozdíl rozměrů vyšší než 0,02 mm) byla opět měřena ve svých lineárních rozměrech. Došlo také k vážení tělísek při 0 % vlhkosti pro zjišťování konvenční hustoty a hustoty při 0 % vlhkosti. Celková lineární sesychání byla vypočtena ze vztahu č. 5. Celková objemová sesychání byla vypočtena ze vztahu č. 6. Diferenciální sesychání bylo vypočteno dle vztahu č. 7.

## **4.7 Metodika měření a výpočtů dat mechanických vlastností dřeva**

### **4.7.1 Měření meze pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva**

Měření meze pevnosti v tlaku podél vláken bylo prováděno podle normy ČSN 49 0110 Dřevo. Medza pevnosti v tlaku v směru vláken.

1) zkušební tělesa: mají tvar pravoúhlého hranolu o základně 20x20 mm a délce orientované ve směru vláken 30 mm. Norma nepředepisuje speciálně ortotropní tělesa.

2) požadavky na přístroje: pro měření lineárních rozměrů se používá posuvné měřidlo s přesností 0,01mm. Zkušební stroj pracuje s přesností zatížení do 1% a zajišťuje rychlost porušení tělesa v čase  $1 \pm 0,5$  min. od začátku zatěžování.

3) měření mechanických vlastností v tlaku ve směru vláken: Pro měření pevnosti v tlaku ve směru vláken byla použita klimatizovaná tělíska. Pomocí posuvného měřítka

byly uprostřed délky každého tělesa změřeny příčné lineární rozměry (radiální, tangenciální). Tyto hodnoty byly zaneseny do programu test systeme, jenž je ovládacím programem měřicího stroje. Vzorky byly poté po jednom vkládány do čelistí měřicího stroje UTS test systeme a programem byl stroj spouštěn. Zjišťování meze pevnosti v tlaku ve směru vláken probíhalo automaticky pomocí výpočetní techniky napojené na stroj podle vztahu č. 12. Na základě naměřených vlhkostí vzorků byla pevnost klimatizovaných vzorků přepočtena na pevnost vzorků při 12 % vlhkosti dle vztahu č. 13. Výsledek byl zaokrouhlen na celé 0,5 MPa.

Vztah č. 12: výpočet meze pevnosti v tlaku ve směru vláken podle ČSN 49 0110:

$$\sigma_{max w} = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \quad (12)$$

Vztah č. 13: korekce meze pevnosti v tlaku ve směru vláken klimatizovaných těles na 12 % vlhkost podle ČSN 49 0110:

$$\sigma_{max 12} = \sigma_{max w} \cdot (1 + \alpha \cdot (w - 12)) \quad (13)$$

legenda:

$\sigma_{max w}$  – mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při  $w$  v době zkoušky (MPa),  $F_{max}$  – maximální zatížení (N),  $a, b$  – lineární rozměry příčného průřezu vzorků (mm),  $\sigma_{max 12}$  – mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při  $w=12\%$  (MPa),  $w$  – vlhkost tělesa v době zkoušky (%),  $\alpha$  - opravný vlhkostní koeficient pro všechny dřeviny 0,04

## 5. VÝSLEDKY

### 5.1 Hustota dřeva

#### 5.1.1 Hustota dubu letního a dubu červeného – popisná statistika

Měřená hustota je uváděna při 0 % a 12 % vlhkosti. Dále pak je uváděna konvenční hustota dřeva. Popisná statistika pro hustotu dřeva při 0 % vlhkosti je uvedena v tabulce č. 11, pro 12 % vlhkost v tabulce č. 12 a pro konvenční hustotu v tabulce č. 13.

Z tabulek je zřejmé, že variabilita všech souborů je poměrně nízká a nepřekračuje 6,1%. Pro statistické zpracování dat bylo využito 431 měření dubu letního a 392 měření dubu červeného.

*Tab. 11: Hustota dřeva dubu letního a dubu červeného v kg/m<sup>3</sup> při 0 % vlhkosti:*

dřevina	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
Quercus robur L.	431	625	<b>707,4</b>	815	43,3	6,1
Quercus rubra L.	392	555	<b>655,2</b>	750	28,2	4,3

*Tab. 12: Hustota dřeva dubu letního a dubu červeného v kg/m<sup>3</sup> při 12 % vlhkosti:*

dřevina	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
Quercus robur L.	432	675	<b>773,1</b>	878	46,9	6,1
Quercus rubra L.	392	616,8	<b>713,2</b>	820	30,7	4,3

*Tab. 13: Konvenční hustota dřeva dubu letního a dubu červeného v kg/m<sup>3</sup>:*

dřevina	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
Quercus robur L.	432	530	<b>613,2</b>	710	33,4	5,4
Quercus rubra L.	392	500	<b>567,1</b>	660	22,8	4,0

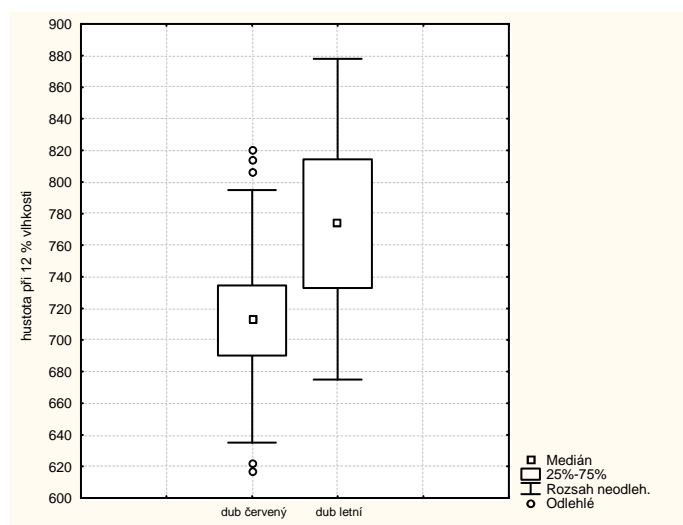
#### 5.1.2 Porovnání hustoty dřeva dubu letního a dubu červeného

Grafické porovnání hustot obou dubů poskytuje krabicový graf č. 1. Z dostupných údajů tabulky č. 12 a krabicového grafu č. 1 bylo zjištěno, že variabilita hustoty při 12% vlhkosti obou dřev byla podobná, střední hodnoty ovšem vykazovaly velmi markantní rozdíl 59,9 kg/m<sup>3</sup>.



Pro posouzení shodnosti obou souborů byl použit T-test středních hodnot s rovností rozptylů pro nezávislé skupiny. Na jeho základě byla zamítnuta nulová hypotéza o shodnosti středních hodnot. Lze tedy tvrdit, že dub letní vykazoval statisticky významně vyšší hustotu při 12 % vlhkosti než dub červený. Ve zbylých případech hustoty při 0% vlhkosti a konvenční hustoty rozhodl T-test stejně. Hustota dřeva ve všech případech byla u dubu letního vyšší než u dubu červeného.

**Krabicový graf 1: Rozložení hodnot hustoty dubu letního a červeného při 12 % vlhkosti:**



### 5.1.3 Porovnání hustoty dřeva mezi vzorníky

Jedná se o porovnání středních hodnot a variability mezi jednotlivými stromy stejného druhu.

#### *dub červený (Quercus rubra L.)*

Tabulka č. 14 nám dává možnost porovnání středních hodnot u všech 3 stromů. Výraznější rozdíl zaznamenáváme pouze u stromu č. 1, který vykazuje hustotu  $735 \text{ kg/m}^3$  s velmi nízkou variabilitou 2,4% oproti ostatním stromům, jejichž hustota při 12% vlhkosti nepřekračuje  $708 \text{ kg/m}^3$ . Variabilita hustoty dřeva II. a III. stromu je o něco vyšší 4,2 až 4,5%, ale není vysoká.

Provedená analýza rozptylu došla k závěru, že minimálně mezidvěmastromy existuje statisticky významný rozdíl ve středních hodnotách naměřené hustoty při 12 % vlhkosti. Následně provedený Tukeyho test zjistil, že významné rozdíly existují mezi stromy I a II a I a III. Vyjádření homogenních skupin poté ukázalo, že stromy

II a III tvoří jednu skupinu a strom jedna se od nich významně odlišuje. Grafické znázornění intervalů spolehlivosti nabízí graf č. 1, výsledky Tukeyho testu potom tabulka č. 15 a rozložení hodnot krabicový graf č. 3.

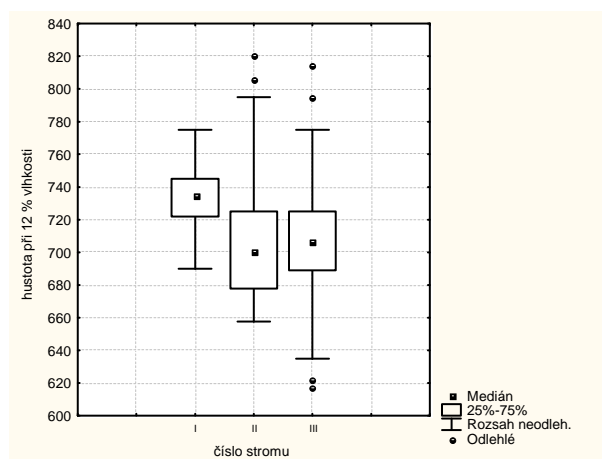
**Tab. 14: Hustota vzorníkových stromů dubu červeného při 12 % vlhkosti v kg/m<sup>3</sup>:**

Strom č.	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
I.	88	690	<b>735</b>	775	17,4	2,4
II.	152	657	<b>705</b>	820	31,8	4,5
III.	152	616	<b>708</b>	814	29,6	4,2

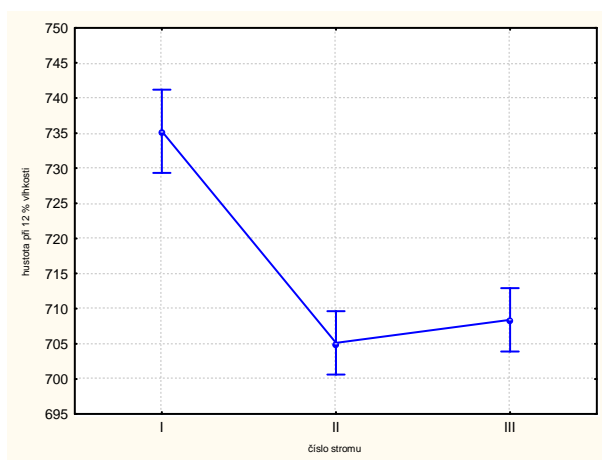
**Tab. 15: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro střední hustoty při 12 % vlhkosti vzorníkových stromů dubu červeného:**

Strom č.	I.	II.	III.
I.	-	*	*
II.	*	-	
III.	*		-

**Krabicový graf 2: Rozložení hodnot hustoty vzorníkových stromů dubu červeného při 12 % vlhkosti:**



**Graf 1: Intervaly spolehlivosti hustot při 12 % vlhkosti pro vzorníkové stromy dubu červeného:**



### ***dub letní (*Quercus robur* L.)***

Tabulka č. 16 nám dává možnost porovnání středních hodnot u všech 3 stromů. Výraznější rozdíl zaznamenáváme zejména u stromu č. VI, který vykazuje nejnižší střední hodnotu hustoty  $729 \text{ kg/m}^3$  oproti ostatním stromům, jejichž střední hodnota hustoty neklesá pod  $782 \text{ kg/m}^3$ . Hodnoty variability jsou opět malé a nepřekračují 5,2 %.

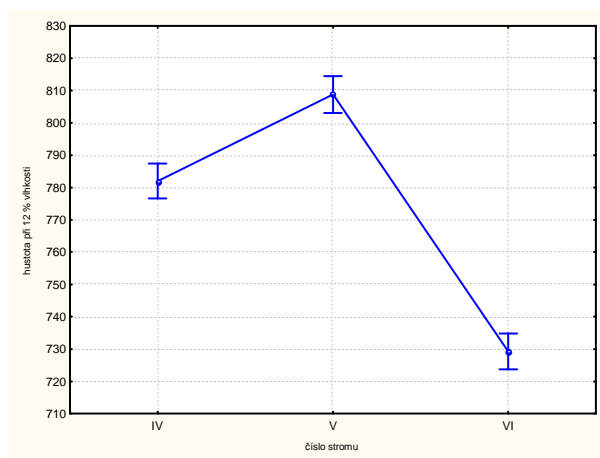
Analýza rozptylu došla k závěru, že minimálně mezi dvěma stromy existuje statisticky významný rozdíl ve středních hodnotách naměřené hustoty při 12 % vlhkosti. Následně provedený Tukeyho test zjistil, že významné rozdíly existují mezi všemi stromy. Grafické znázornění intervalů spolehlivosti nabízí graf č. 2, výsledky Tukeyho testu potom tabulka č. 17a rozložení hodnot krabicový graf č. 3.

V porovnání se vzorníkovými stromy dubu červeného vykazoval dub letní větší variabilitu. Rozdíl v min. a max. hustotě dřeva při 12% vlhkosti vzorníků dubu letního je poměrně vysoký  $80 \text{ kg/m}^3$ .

**Tab. 16: Hustota vzorníkových stromů dubu letního při 12 % vlhkosti v  $\text{kg/m}^3$ :**

Strom č.	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
IV.	152	680	<b>782</b>	868	41,3	5,2
V.	136	730	<b>809</b>	878	28	3,4
VI.	144	675	<b>729</b>	839	29,7	4,1

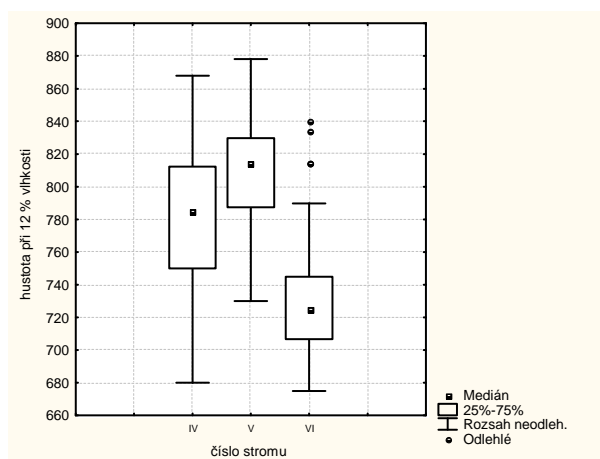
**Graf 2: Intervaly spolehlivosti hustot při 12 % vlhkosti pro vzorníkové stromy dubu letního:**



**Tab. 17: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro střední hustoty při 12 % vlhkosti vzorníkových stromů dubu letního:**

Strom č.	IV.	V.	VI.
IV.	-	*	*
V.	*	-	*
VI.	*	*	-

**Krabicový graf 3: Rozložení hodnot hustoty vzorníkových stromů dubu letního při 12 % vlhkosti:**



#### 5.1.4 Variabilita hustoty dřeva po poloměru kmene

##### *dub červený (Quercus rubra L.)*

Do statistické analýzy variability střední hodnoty hustoty dřeva dubu červeného při 12 % vlhkosti po poloměru kmene byla zahrnuta měření ze všech 3 stromů. Směrem od dřeně byly vyřezány celkem 4 části. Poslední část (d) měla ovšem jen málo platných měření, neboť výběr tělísekbez běle byl omezený. Výsledky tedy ukazují 4 části, ale výsledkům části d neukládají příliš velkou váhu.

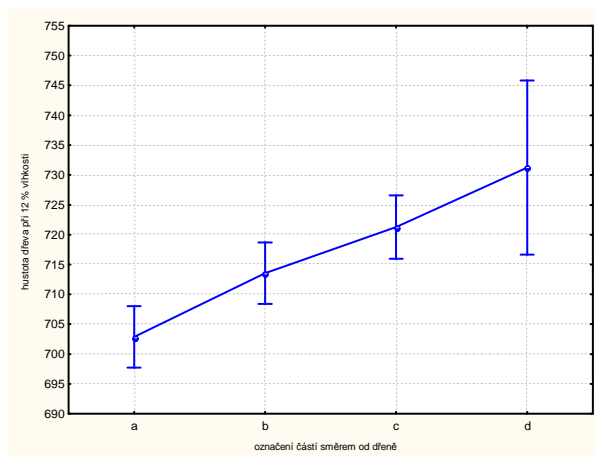
Na základě provedené analýzy rozptylu bylo zjištěno, že minimálně mezi dvěma částmi existuje statisticky významný rozdíl ve střední hodnotě hustoty při 12 % vlhkosti dřeva. Následně provedená Tukeyho metoda odhalila, že statisticky významný rozdíl vykazovala oproti všem ostatním část a. Byly tedy zjištěny 2 homogenní skupiny tj. část a, a části b,c,d. Výsledky Tukeyho metody nabízí tabulka č. 19 a graf č. 3.

Jak vyplívá z grafu č. 3, existuje rozdíl ve středních hodnotách hustoty při 12 % vlhkosti u všech částí s rostoucím trendem směrem od dřeně, ale statisticky významný je pouze rozdíl u části a. Variabilita všech částí je nízká maximálně 4,3 %. Tabulka č. 18 nám podává informaci o popisné statistice všech částí a krabicový graf č. 4 rozložení naměřených hodnot hustoty.

**Tab. 18: Hustota dřeva dubu červeného při 12 % vlhkosti v kg/m<sup>3</sup> po poloměru kmene:**

část	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
a	128	635	<b>703</b>	795	30,2	4,3
b	128	658	<b>714</b>	795	28,7	4,0
c	120	616	<b>722</b>	820	30,9	4,2
d	16	690	<b>731</b>	770	21,3	2,9

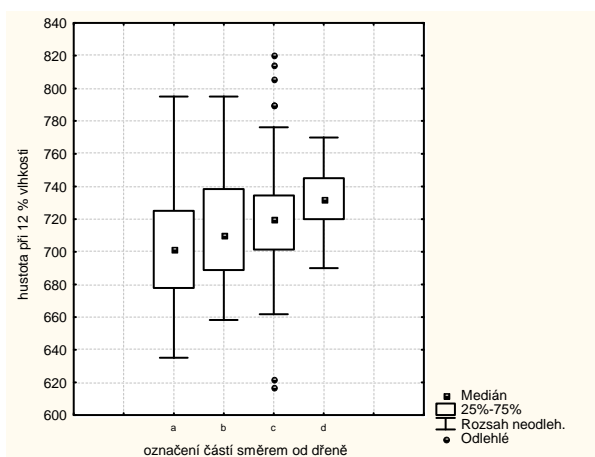
**Graf 3: Intervaly spolehlivosti hustot při 12 % vlhkosti po poloměru kmene dubu červeného:**



**Tab. 19: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro střední hustoty při 12 % vlhkosti po poloměru kmene dubu červeného:**

Část	a	b	c	d
a	-	*	*	*
b	*	-		
c	*		-	
d	*			-

**Krabicový graf 4: Rozložení hodnot hustoty dubu červeného při 12 % vlhkosti po poloměru kmene:**



### *dub letní (Quercus robur L.)*

Stejně jako při měření předchozím, i zde používáme měření všech 3 stromů dubu letního. Ze 4 částí směrem od dřeně poskytovala poslední část **d** pouze 8 platných měření. Výpočet opět využívá i hodnot poslední části, nicméně jak jsme viděli v předchozím měření, interval spolehlivosti je vzhledem k malému souboru oproti zbylým částem velký. Proto je měření poslední části uvedeno, ale opět se mu nemůže dávat velkého významu.

Na základě výsledků analýzy rozptylu bylo zjištěno, že minimálně mezi dvěma částmi existuje statisticky významný rozdíl ve střední hodnotě hustoty při 12 % vlhkosti dřeva. Následně provedená Tukeyho metoda odhalila, že statisticky významný rozdíl vykazovala část a s částí b a c. Ostatní části nebyly vůči sobě statisticky významně odlišné. Dále byly zjištěny následující homogenní skupiny: část a a d, dále pak část b,c a d. Výsledky Tukeyho metody nabízí tabulka č. 21 a graf č. 4. Tabulka č. 20 nám podává informaci o popisné statistice všech částí a krabicový graf č. 5 rozložení naměřených hodnot hustoty.

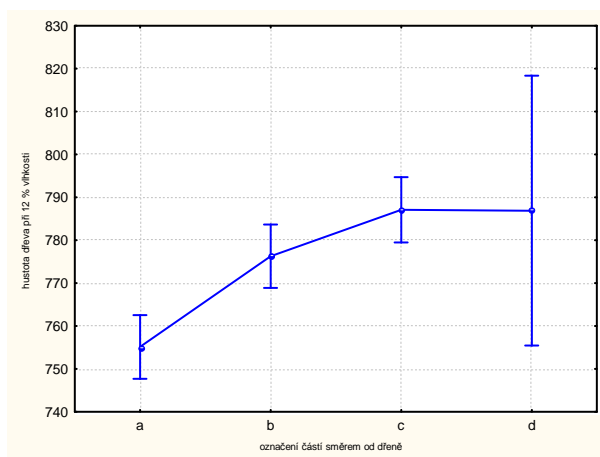
Z grafu č. 4 můžeme zjistit velmi podobný rostoucí průběh střední hodnoty hustoty při 12 % vlhkosti po poloměru kmene, jako v předešlém měření. Poslední část d vykazuje nadměrný interval spolehlivosti oproti ostatním částem. Je to zřejmě způsobeno velmi malým počtem měření.

Variabilita všech částí je oproti dubu letnímu o něco větší. Minimální hodnota variačního koeficientu je 5,2 % a maximum je 6,7 %. I přes to není variabilita příliš vysoká.

**Tab. 20: Hustota dřeva dubu letního při 12 % vlhkosti v kg/m<sup>3</sup> po poloměru kmene:**

část	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
a	144	680	<b>755</b>	865	43,1	5,7
b	144	675	<b>776</b>	878	50,5	6,5
c	136	675	<b>787</b>	867	40,9	5,2
d	8	710	<b>787</b>	855	52,7	6,7

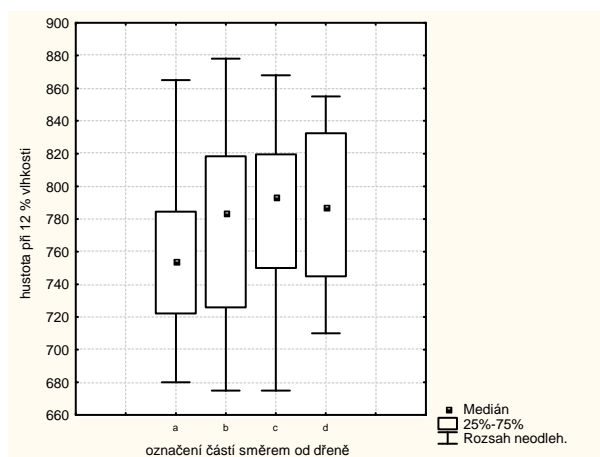
**Graf 4: Intervaly spolehlivosti hustot při 12 % vlhkosti po poloměru kmene dubu letního:**



**Tab. 21: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro střední hustoty při 12 % vlhkosti po poloměru kmene dubu letního:**

část	a	b	c	d
a	-	*	*	
b	*	-		
c	*		-	
d				-

**Krabicový graf 5: Rozložení hodnot hustoty dubu letního při 12 % vlhkosti po poloměru kmene:**



### 5.1.5 Variabilita hustoty dřeva po výšce kmene

Analýza variability po výšce kmene je velmi omezena nízkým stářím vzorníkových stromů a jejich výškou.



### *dub červený (Quercus rubra L.)*

Popisná statistika je zaznamenána v tabulce č. 22, výsledky Tukeyova testu v tabulce č. 23. Zprávu o intervalech spolehlivosti poskytuje graf č. 5 a rozložení hodnot hustoty krabicový graf č. 6.

Provedená analýza rozptylu zjistila, že minimálně mezi 2 výškovými sekcemi je statisticky významný rozdíl. Následně provedená Tukeyho metoda mnohonásobného porovnání určila, že odlišná sekce od ostatních je sekce č. 1, která vykazuje nejvyšší hustoty  $730 \text{ kg/m}^3$  s variačním koeficientem 3,4 %. U zbylých 2 horních sekcí je hustota velmi podobná  $699 - 702 \text{ kg/m}^3$ . Variační koeficienty u 2. a 3. sekce vykazovaly velminízkou variabilitu souboru, která nepřekročila 4,1%.

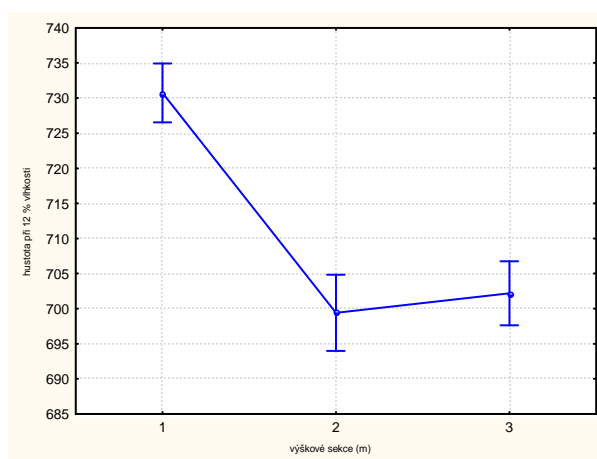
**Tab. 22:** Hustota dřeva dubu červeného při 12 % vlhkosti v  $\text{kg/m}^3$  po výšce kmene:

Výšková sekce	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
1	160	635	<b>730</b>	820	24,9	3,4
2	96	664	<b>699</b>	814	28,1	4
3	136	617	<b>702</b>	790	28,6	4,1

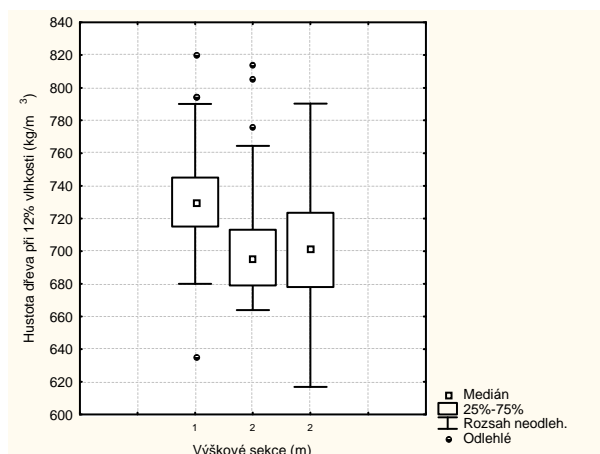
**Tab. 23:** Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro střední hustoty při 12 % vlhkosti po výšce kmene dubu červeného:

Výšková sekce	1	2	3
1	-	*	*
2	*	-	
3	*		-

**Graf 5:** Intervaly spolehlivosti hustot při 12 % vlhkosti po výšce kmene dubu červeného:



**Krabicový graf 6: Rozložení hodnot hustoty dubu červeného při 12 % vlhkosti po výšce kmene:**



***dub letní (Quercus robur L.)***

Popisná statistika je zaznamenána v tabulce č. 24. Zprávu o intervalech spolehlivosti poskytuje graf č. 6 a rozložení hodnot hustoty krabicový graf č. 7.

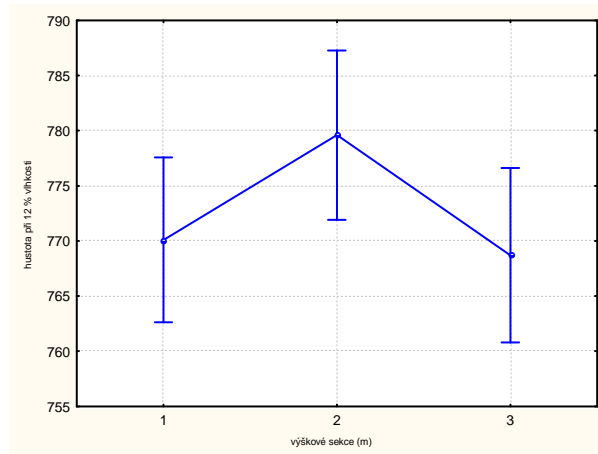
Provedená analýza rozptylu zjistila, že neexistuje statisticky významného rozdílu mezi žádnou sekci. Tukeyho metoda pro mnohonásobné porovnání proto nebyla provedena. Vyšší střední hodnotu hustoty při 12 % vlhkosti můžeme zaznamenat u sekce č. 2, nicméně vzniklý rozdíl je velmi malý 10 – 11 kg/m<sup>3</sup>. Variační koeficienty jsou v porovnání s dubem červeným vyšší, ale přesto vykazovaly velminízkou hodnotu, která nepřekročila 6,3%.

Porovnáním trendů hustoty dřeva při 12 % vlhkosti po výšce kmene obou dřevin bylo zjištěno, že trendy nejsou shodné. Nebyla tedy nalezena žádná podobnost, trendy jsou neurčité.

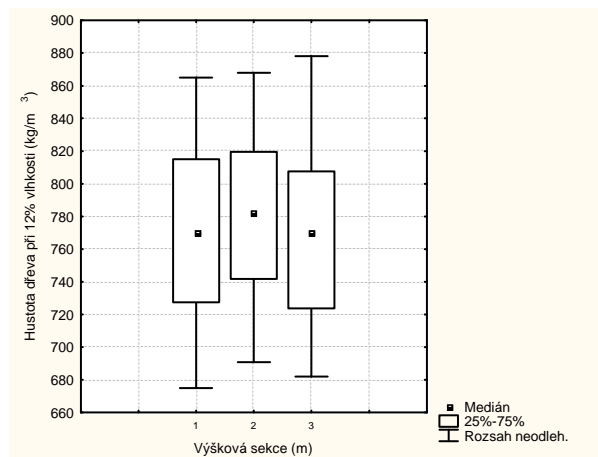
**Tab. 24: Hustota dřeva dubu letního při 12 % vlhkosti v kg/m<sup>3</sup> po výšce kmene:**

Výšková sekce	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
1	152	675	770	865	48,7	6,3
2	144	691	780	868	44,5	5,7
3	136	682	769	878	47,2	6,1

**Graf 6: Intervaly spolehlivosti hustot při 12 % vlhkosti po výšce kmene dubu letního:**



**Krabicový graf 7: Rozložení hodnot hustoty dubu letního při 12 % vlhkosti po výšce kmene:**



## 5.2 Sesýchání

### 5.2.1 Porovnání celkového lineárního sesýchání dřeva dubu letního a dubu červeného

Vzhledem k nízkému a v praxi nedůležitému podélnému sesýchání bylo porovnáno pouze celkové lineární sesýchání u radiálního a tangenciálního směru.

#### *Celkové radiální sesýchání*

Naměřená střední hodnota radiálního sesýchání dubu letního dosáhla hodnoty 4,6% a dubu červeného 4,3%. Rozdíl je tedy poměrně nízký 0,3%. Variabilita obou souborů je vyšší, než u měření hustoty. Zde dosáhl variační koeficient hodnot 13,5% a 16,7%. Také se začínají objevovat odlehle a dokonce 1 extrémní hodnota. Tyto hodnoty nebyly zahrnuty do T-testu.

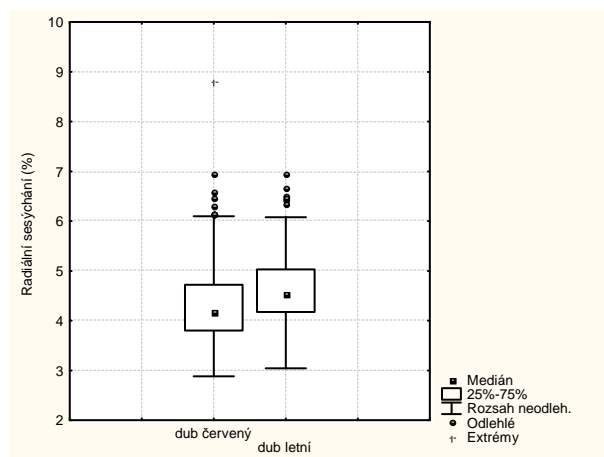
Popisná statistika je zaznamenána v tabulce č. 25. Zprávu o rozložení hodnot radiálního sesýchání poskytuje krabicový graf č. 8.

Použitý T-test s nerovností rozptylů doporučil zamítnout nulovou hypotézu o shodnosti středních hodnot. Radiální sesýchání dubu letního a červeného proto považujeme za statisticky rozdílné.

**Tab. 25: Celkové radiální sesýchání v % dubu letního a dubu červeného:**

dřevina	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
Quercus robur L.	432	3,04	<b>4,6</b>	6,9	0,62	13,5
Quercus rubra L.	392	2,88	<b>4,3</b>	8,8	0,72	16,7

**Krabicový graf 8: Rozložení hodnot radiálního sesýchání v % dubu červeného a dubu letního:**



### **Celkové tangenciální sesýchání**

Oproti předchozímu měření byla naměřená hodnota tangenciálního sesýchání dubu červeného 9,07% vyšší než u dubu letního 8,73%. Variabilita obou souborů byla opět poměrně vysoká. Variační koeficienty se pohybovali v rozmezí 15,1 až 18,1%. Opět se objevovaly odlehlé hodnoty, které nebyly zahrnuty do T-testu.

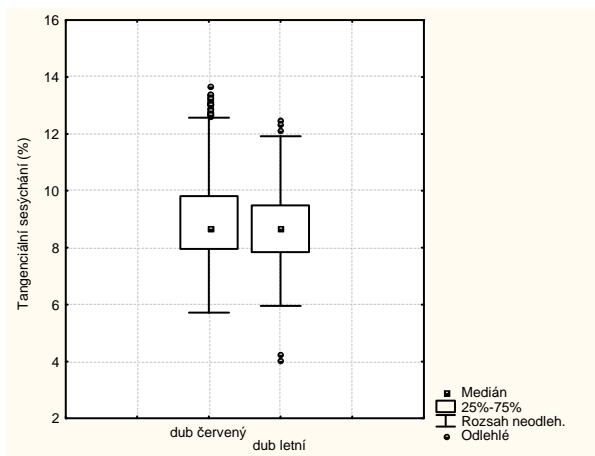
Popisná statistika je zaznamenána v tabulce č. 26. Zprávu o rozložení hodnot tangenciálního sesýchání poskytuje krabicový graf č. 9.

Byl použit T-test středních hodnot s nerovností rozptylů. Ten doporučil zamítnout nulovou hypotézu a považovat střední hodnoty celkového tangenciálního sesýchání za odlišné.

**Tab. 26: Celkové tangenciální sesýchání v % dubu letního a dubu červeného:**

dřevina	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
Quercus robur L.	432	4,05	<b>8,73</b>	12,5	1,34	15,1
Quercus rubra L.	392	5,7	<b>9,07</b>	13,7	1,65	18,1

**Krabicový graf 9: Rozložení hodnot tangenciálního sesýchání v % dubu červeného a dubu letního:**



### 5.2.2 Porovnání celkového objemového sesýchání dřeva dubu letního a dubu červeného

Objemové sesýchání dubu červeného 13,4% bylo téměř shodné s objemovým sesýcháním dubu letního 13,3%. Také klesla variabilita souborů. Variační koeficient se pohyboval v rozmezí 11,6 až 14,7%.

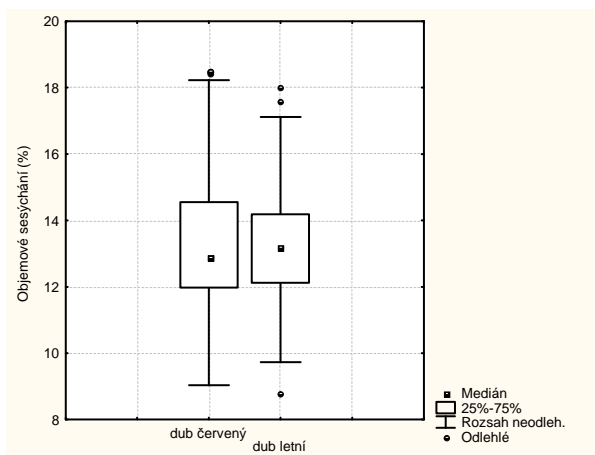
Popisná statistika je zaznamenána v tabulce č. 27. Zprávu o rozložení hodnot objemového sesýchání poskytuje krabicový graf č. 10.

T-test s nerovností rozptylů doporučil přijmout nulovou hypotézu o shodnosti středních hodnot objemového sesýchání dubu červeného a letního. Střední hodnoty objemového sesýchání obou dřevin považujeme proto za shodné.

**Tab. 27: Celkové objemové sesýchání v % dubu letního a dubu červeného:**

dřevina	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
Quercus robur L.	431	8,78	<b>13,3</b>	17,98	1,55	11,6
Quercus rubra L.	391	9,04	<b>13,4</b>	18,5	1,98	14,7

**Krabicový graf 10: Rozložení hodnot objemového sesýchání v % dubu červeného a dubu letního:**



### 5.2.3 Porovnání diferenciálního sesýchání dřeva dubu letního a dubu červeného

Diferenciální sesýchání dubu letního nabylo průměrné hodnoty 1,91. To znamená, že celkové tangenciální sesýchání je přibližně o 91% vyšší než sesýchání radiální.

U dubu červeného je průměrná hodnota diferenciálního sesýchání 2,1 - o 0,19 vyšší než u dubu letního. Celkové tangenciální sesýchání dubu červeného je v porovnání s celkovým radiálním sesýcháním více než dvojnásobné. V procentuelním vyjádření je celkové tangenciální sesýchání přibližně o 110% vyšší než radiální sesýchání.

Popisná statistika je zaznamenána v tabulce č. 28.

Markantní rozdíl v průměrných hodnotách diferenciálního sesýchání mezi dubem červeným a letním potvrdil také T-test středních hodnot pro nehomogenní rozptyly (F-test zamítl nulovou hypotézu). T-test doporučil zamítnout nulovou hypotézu  $H_0$ .

**Tab. 31: Popisná statistika diferenciálního sesýchání dubu letního a dubu červeného:**

dřevina	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
Quercus robur L.	432	0,67	<b>1,91</b>	3,0	0,31	16,2
Quercus rubra L.	392	0,7	<b>2,1</b>	3,2	0,37	17,6

### 5.2.4 Variabilita objemového sesýchání dřeva po poloměru kmene

Variabilita sesýchání dřeva po poloměru kmene byla prováděna pouze pro objemové sesýchání.

### *dub červený (Quercus rubra L.)*

Ze 4 částí směrem od dřeně poskytovala poslední část **d** pouze 16 platných měření. Výpočet opět využívá i hodnot poslední části, nicméně jak je vidět v grafu č. 7, interval spolehlivosti části d je vzhledem k malému souboru oproti zbylým částem velký. Proto je měření poslední části uvedeno, ale opět se mu nemůže dávat velkého významu při hodnocení v diskusi.

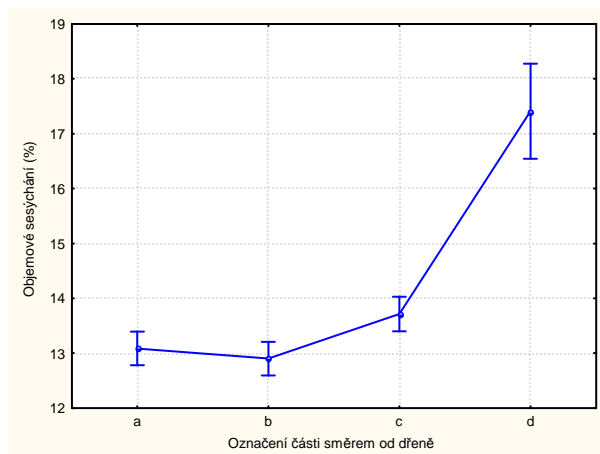
Na základě výsledků analýzy rozptylu bylo zjištěno, že minimálně mezi dvěma částmi existuje statisticky významný rozdíl ve střední hodnotě objemového sesýchání dřeva. Následně provedená Tukeyho metoda odhalila, že statisticky významný rozdíl vykazovala část a a b se všemi ostatními částmi. Dále byly zjištěny následující homogenní skupiny: první skupinu tvořila část a a b, druhou pak část c a poslední homogenní skupinou byla část d. Výsledky Tukeyho metody nabízí tabulka č. 30 a graf č. 7. Tabulka č. 29 nám podává informaci o popisné statistice všech částí a krabicový graf č. 11 rozložení naměřených hodnot hustoty.

Největší střední hodnota objemového sesýchání byla naměřena v části d. Směrem od dřeně k obvodu byl zjištěn rostoucí trend. Variabilita jednotlivých částí je uspokojivá. Pohybuje se v intervalu od 4,5 až 16,9 %. Maximálního variačního koeficientu bylo dosaženo v sekci c 16,9 %.

**Tab. 29: Objemové sesýchání dřeva dubu červeného v %po poloměru kmene:**

část	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
a	128	9,8	<b>13,08</b>	16,66	1,43	10,9
b	127	9,0	<b>12,9</b>	17,5	1,55	12
c	120	9,7	<b>13,71</b>	18,5	2,32	16,9
d	16	15,8	<b>17,4</b>	18,5	0,79	4,5

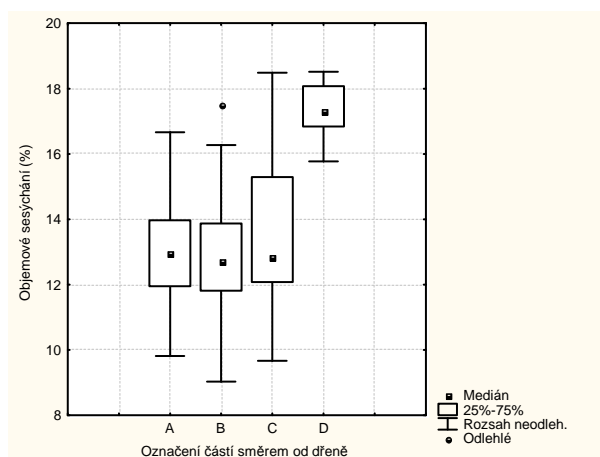
**Graf 7: Intervaly spolehlivosti objemového sesýchání v % po poloměru kmene dřeva dubu červeného:**



**Tab. 30: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro objemové sesýchání dřeva dubu červeného po poloměru kmene:**

část	a	b	c	d
a	-		*	*
b		-	*	*
c	*	*	-	*
d	*	*	*	-

**Krabicový graf 11: Rozložení hodnot objemového sesýchání dřeva dubu červeného po poloměru kmene:**





### *dub letní (Quercus robur L.)*

Poslední část d poskytla pouze 8 platných měření. Měření poslední části je uvedeno, ale opět se mu nemůže dávat velkého významu při hodnocení v diskusi.

Na základě výsledků analýzy rozptylu bylo zjištěno, že minimálně mezi dvěma částmi existuje statisticky významný rozdíl ve střední hodnotě objemového sesýchání dřeva. Provedená Tukeyho metoda určila, že statisticky významný rozdíl vykazovala část c a doproti všem ostatním a zároveň část a a b mezi sebou. Dále byly zjištěny následující homogenní skupiny: první skupinu tvořila část a, druhou pak část b a poslední homogenní skupinou byla část c a d.

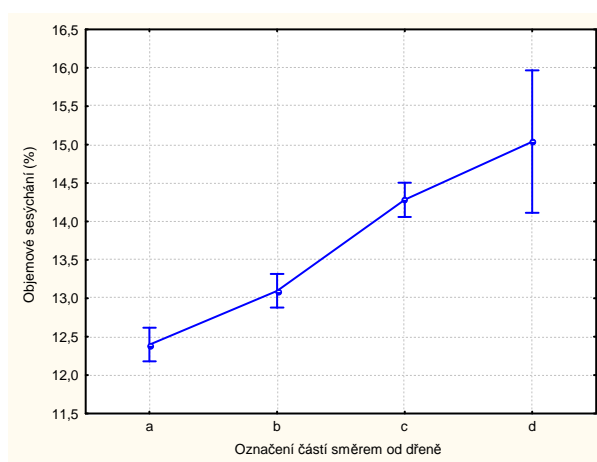
Výsledky Tukeyho metody nabízí tabulka č. 32 a graf č. 8. Tabulka č. 31 nám podává informaci o popisné statistice všech částí a krabicový graf č. 12 rozložení naměřených hodnot hustoty.

Největší střední hodnota objemového sesýchání byla naměřena opět v části d. Směrem od dřeně k obvodu byl zjištěn rostoucí trend. Variabilita jednotlivých částí jenízká a nepřekračuje 10,6%.

**Tab. 31: Objemové sesýchání dřeva dubu červeného v % po poloměru kmene:**

část	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
a	143	8,8	<b>12,4</b>	15,2	1,32	10,6
b	144	9,7	<b>13,1</b>	16	1,38	10,5
c	136	11,4	<b>14,3</b>	18	1,34	9,3
d	8	14	<b>15,0</b>	15,6	0,55	3,7

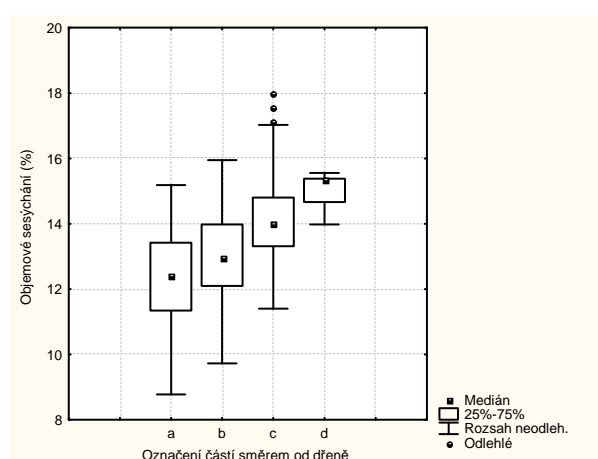
**Graf 8: Intervaly spolehlivosti objemového sesýchání v % po poloměru kmene dřeva dubu červeného:**



**Tab. 32: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro objemové sesýchání dřeva dubu červeného po poloměru kmene:**

část	a	b	c	d
a	-	*	*	*
b	*	-	*	*
c	*	*	-	
d	*	*		-

**Krabicový graf 12: Rozložení hodnot objemového sesýchání dřeva dubu červeného po poloměru kmene:**



### 5.2.5 Variabilita objemového sesýchání dřeva po výšce kmene

#### *dub červený (Quercus rubra L.)*

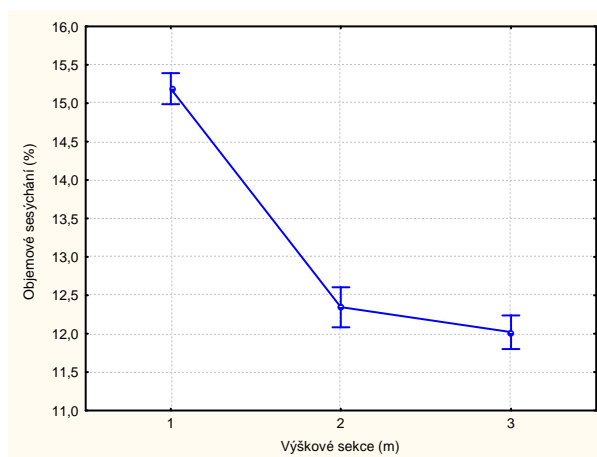
Popisná statistika je zaznamenána v tabulce č. 33, provedený Tukeyho test je zaznamenán v tabulce č. 34. Zprávu o intervalech spolehlivosti poskytuje graf č. 9 a rozložení hodnot hustoty krabicový graf č. 13.

Provedená analýza rozptylu zjistila, že minimálně mezi dvěma sekcemi existuje statisticky významný rozdíl. Tukeyho metoda mnohonásobného porovnání potom určila, že sekce 1 se významně liší od zbylých sekcí. Sekce 2 a 3 nejsou statisticky významně odlišné. Test pro homogenní skupiny poté určil, že sekce 1 je první a sekce 2 a 3 je druhá homogenní skupina. V rámci měření byl zaznamenán klesající trend po výšce kmene.

**Tab. 33: Objemové sesýchání dřeva dubu červeného v % po výšce kmene:**

část	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
1	160	12,4	<b>15,18</b>	18,5	1,63	10,7
2	96	9,9	<b>12,34</b>	17,5	0,94	7,7
3	135	9,0	<b>12,01</b>	15,6	1,03	8,6

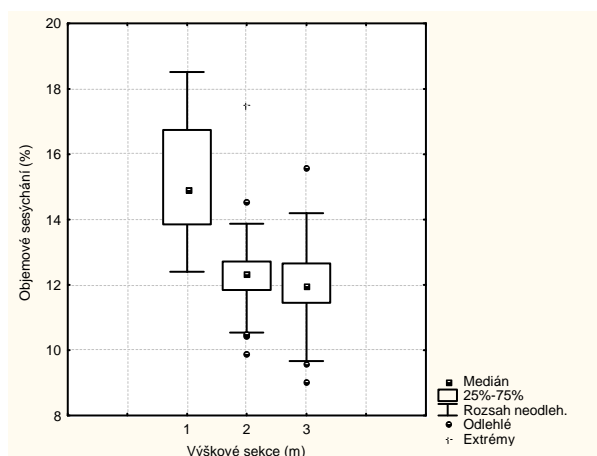
**Graf 9: Intervaly spolehlivosti objemového sesýchání v % po výšce kmene dřeva dubu červeného:**



**Tab. 34: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro objemové sesýchání dřeva dubu červeného po výšce kmene:**

Výšková sekce	1	2	3
1	-	*	*
2	*	-	
3	*		-

**Krabicový graf 13: Rozložení hodnot objemového sesýchání dřeva dubu červeného po výšce kmene:**



### *dub letní (Quercus robur L.)*

Popisná statistika je zaznamenána v tabulce č. 35, provedený Tukeyho test je zaznamenán v tabulce č. 36. Zprávu o intervalech spolehlivosti poskytuje graf č. 10 a rozložení hodnot hustoty krabicový graf č. 14.

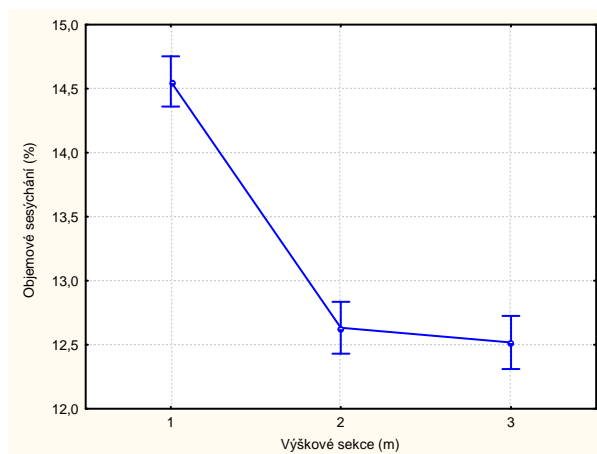
Provedená analýza rozptylu zjistila, že minimálně mezi dvěma sekcemi existuje statisticky významný rozdíl. Tukeyho metoda mnohonásobného porovnání potom určila, že sekce 1 se významně liší od zbylých sekcí. Sekce 2 a 3 nejsou statisticky významně odlišné. Test pro homogenní skupiny poté určil, že sekce 1 je první a sekce 2 a 3 je druhá homogenní skupina. V rámci měření byl zaznamenán klesající trend po výšce kmene.

Oproti analýze hustoty dřev po výšce kmene, zde byl zaznamenán shodný klesající trend.

**Tab. 35: Objemové sesýchání dřeva dubu letního v % po výšce kmene:**

část	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
1	152	11,8	<b>14,6</b>	17,9	1,34	10,7
2	143	8,8	<b>12,6</b>	14,6	1,12	7,7
3	136	9,7	<b>12,5</b>	15,5	1,22	8,6

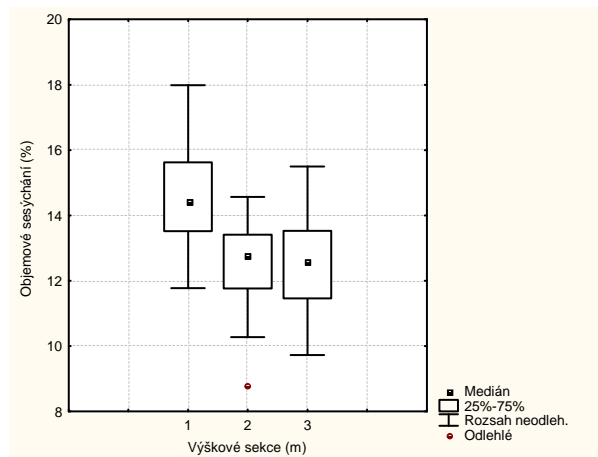
**Graf 10: Intervaly spolehlivosti objemového sesýchání v % po výšce kmene dřeva dubu letního:**



**Tab. 36: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro objemové sesýchání dřeva dubu letního po výšce kmene:**

Výšková sekce	1	2	3
1	-	*	*
2	*	-	
3	*		-

**Krabicový graf 14: Rozložení hodnot objemového sesýchání dřeva dubu letního po výšce kmene:**



### 5.2.6 Závislost celkového sesýchání na hustotě dřeva

#### *Závislost celkového radiálního sesýchání na hustotě dřeva při 0% vlhkosti*

##### *Dub červený*

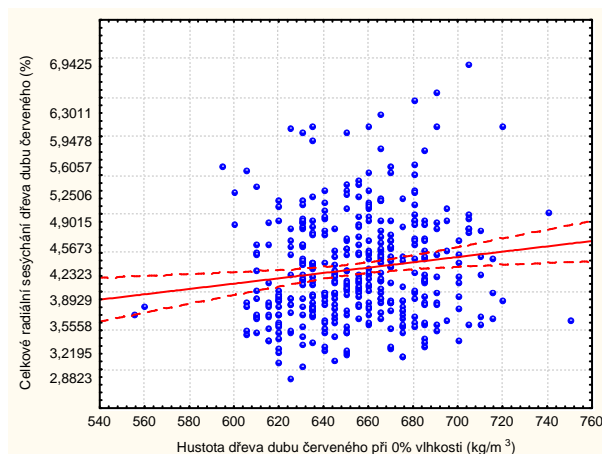
Byla zjištěna rostoucí tendence: s rostoucí hustotou roste i celkové radiální sesýchání. Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,012, což znamená, že až 1,2% celkového rozptylu radiálního sesýchání je vysvětleno jeho závislostí na hustotě dřeva. Korelační koeficient 0,14 ukázal, že závislost celkového radiálního sesýchání na hustotě je slabá.

Grafické znázornění závislosti poskytuje graf závislosti č. 1. Vztah č. 14 poskytuje regresní rovnici závislosti.

**Vztah 14: Lineární regresní rovnice závislosti celkového radiálního sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu červeného:**

$$\beta_r = 2,0436 + 0,0034 * \rho_0 \quad (14)$$

**Graf závislosti 1: Lineární regresní model závislosti celkového radiálního sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu červeného:**



### ***Dub letní***

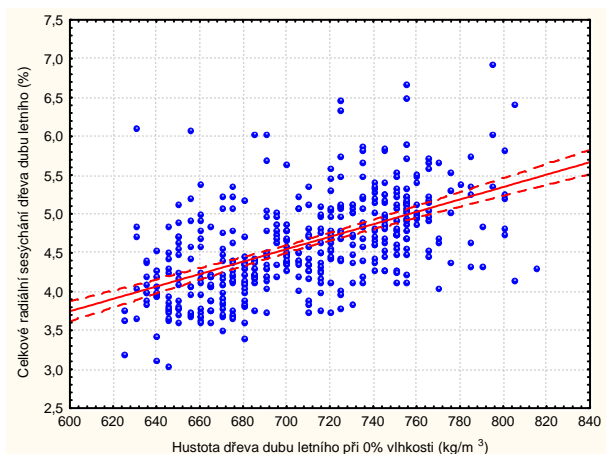
Opět byla zjištěna rostoucí tendence: s rostoucí hustotou dřeva roste i celkové radiální sesýchání. Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,31, což znamená, že až 31% celkového rozptylu radiálního sesýchání dřeva je vysvětleno jeho závislostí na hustotě dřeva. Korelační koeficient 0,56 ukázal, že závislost celkového radiálního sesýchání na hustotě dřeva je vysoká.

Grafické znázornění závislosti poskytuje graf závislosti č. 2. Vztah č. 15 poskytuje regresní rovnici závislosti.

**Vztah 15: Lineární regresní rovnice závislosti celkového radiálního sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu letního:**

$$\beta_r = -1,0578 + 0,008 * \rho_0 \quad (15)$$

**Graf závislosti 2: Lineární regresní model závislosti celkového radiálního sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu letního:**



**Závislost celkového tangenciálního sesýchání na hustotě dřeva při 0% vlhkosti**

**Dub červený**

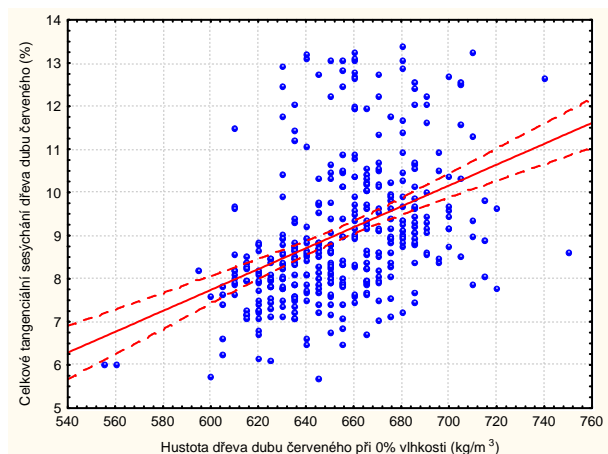
Byla zjištěna rostoucí tendence: s rostoucí hustotou dřeva roste i celkové tangenciální sesýchání. Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,175, což znamená, že až 17,5% celkového rozptylu tangenciálního sesýchání je vysvětleno jeho závislostí na hustotě dřeva. Korelační koeficient 0,42 ukázal, že závislost celkového tangenciálního sesýchání na hustotě dřeva je střední.

Grafické znázornění závislosti poskytuje graf závislosti č. 3. Vztah č. 16 poskytuje regresní rovnici závislosti.

**Vztah 16: Lineární regresní rovnice závislosti celkového tangenciálního sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu červeného:**

$$\beta_t = -6,7941 + 0,0242 * \rho_0 \tag{16}$$

**Graf závislosti 3: Lineární regresní model závislosti celkového tangenciálního sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu červeného:**



### ***Dub letní***

Byla zjištěna rostoucí tendence: s rostoucí hustotou dřeva roste i celkové tangenciální sesýchání. Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,163, což znamená, že až 16,3% celkového rozptylu tangenciálního sesýchání je vysvětleno jeho závislostí na hustotě dřeva. Korelační koeficient 0,40 ukázal, že závislost celkového tangenciálního sesýchání na hustotě dřeva je střední.

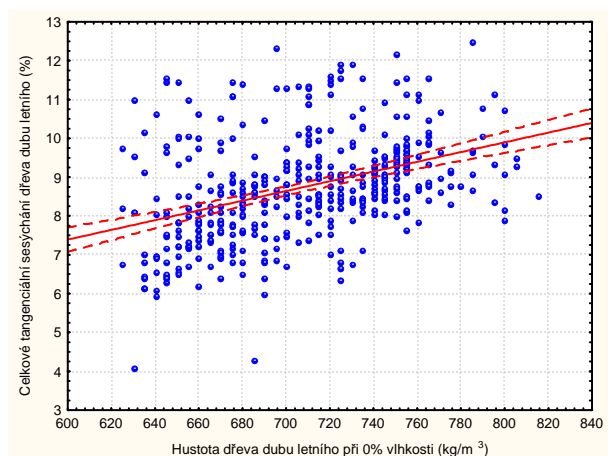
Grafické znázornění závislosti poskytuje graf závislosti č. 4. Vztah č. 17 poskytuje regresní rovnici závislosti

**Vztah 17: Lineární regresní rovnice závislosti celkového tangenciálního sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu letního:**

$$\beta_v = -0,1254 + 0,0125 * \rho_0 \quad (17)$$



**Graf závislosti 4: Lineární regresní model závislosti celkového tangenciálního sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu letního:**



***Závislost celkového objemového sesýchání na hustotě dřeva při 0% vlhkosti***

***Dub červený***

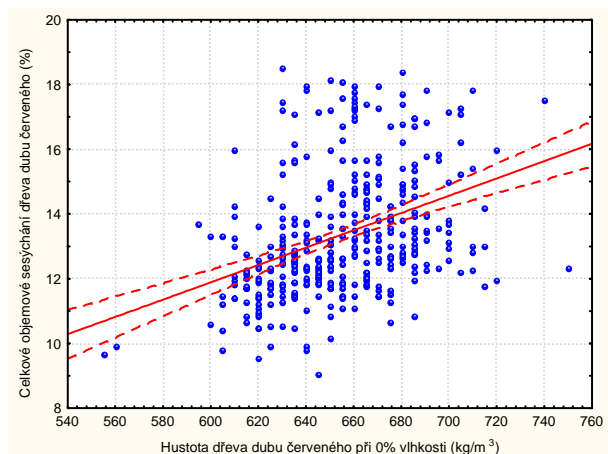
Byla zjištěna rostoucí tendence: s rostoucí hustotou dřeva roste i celkové objemové sesýchání. Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,15, což znamená, že až 15% celkového rozptylu objemového sesýchání je vysvětleno jeho závislostí na hustotě dřeva. Korelační koeficient 0,39 ukázal, že závislost celkového objemového sesýchání na hustotě dřeva je střední.

Grafické znázornění závislosti poskytuje graf závislosti č. 5. Vztah č. 18 poskytuje regresní rovnici závislosti.

***Vztah 18: Lineární regresní rovnice závislosti celkového objemového sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu červeného:***

$$\beta_v = -4,175 + 0,0268 * \rho_0 \quad (18)$$

**Graf závislosti 5: Lineární regresní model závislosti celkového objemového sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu červeného:**



### ***Dub letní***

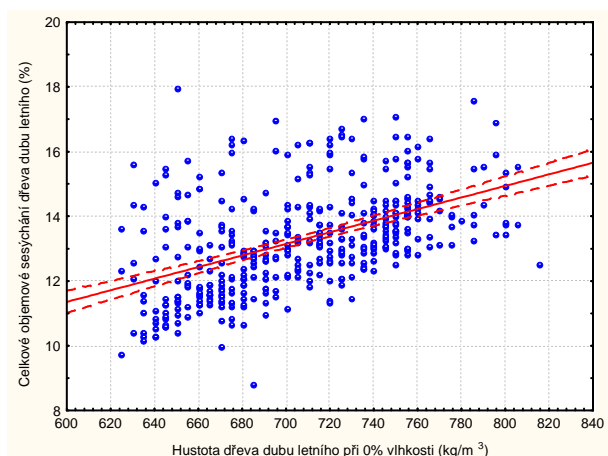
Byla zjištěna rostoucí tendence: s rostoucí hustotou dřeva roste i celkové objemové sesýchání. Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,25, což znamená, že až 25% celkového rozptylu objemového sesýchání je vysvětleno jeho závislostí na hustotě dřeva. Korelační koeficient 0,50 ukázal, že závislost celkového objemového sesýchání na hustotě dřeva je střední až vysoká.

Grafické znázornění závislosti poskytuje graf závislosti č. 6. Vztah č. 19 poskytuje regresní rovnici závislosti

**Vztah 19: Lineární regresní rovnice závislosti celkového objemového sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu letního:**

$$\beta_v = 0,602 + 0,0179 * \rho_0 \quad (19)$$

**Graf závislosti 6: Lineární regresní model závislosti celkového objemového sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti dubu letního:**



### 5.3 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken

#### 5.3.1 Porovnání meze pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva dubu letního a dubu červeného

Grafické porovnání souborů dat obou dubů poskytuje krabicový graf č. 15. Popisná statistika je součástí tabulky č. 37.

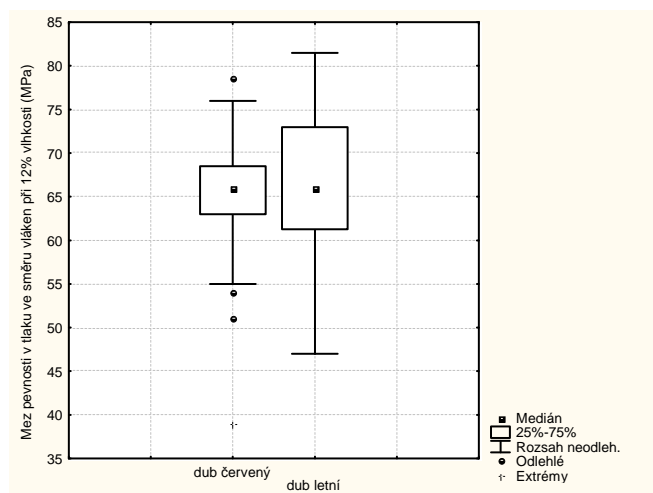
Pro posouzení shodnosti středních hodnot obou souborů byl použit T-test s nerovností rozptylů pro nezávislé skupiny. Na jeho základě byla zamítnuta nulová hypotéza o shodnosti středních hodnot. Lze tedy tvrdit, že i přes malý rozdíl 1,1 MPa vykazoval dub letní statisticky významně vyšší mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti než dub červený.

Variabilita obou souborů nebyla vysoká a nepřesáhla 10,7%.

**Tab. 37: Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v MPa dřeva dubu červeného a letního při 12 % vlhkosti:**

dřevina	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
Quercus robur L.	432	47	<b>66,9</b>	81,5	7,2	10,7
Quercus rubra L.	392	39	<b>65,8</b>	78,5	4,2	6,3

**Krabicový graf 15: Rozložení hodnot meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva dubu letního a červeného:**



### 5.3.2 Variabilita meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva po poloměru kmene

#### *dub červený (Quercus rubra L.)*

Ze 4 částí směrem od dřeně poskytovala poslední část d pouze 16 platných měření. Výpočet opět využívá i hodnot poslední části, nicméně jak je vidět v grafu č. 11, interval spolehlivosti části d je vzhledem k malému souboru oproti zbylým částem velký a proto jí nemůžeme dávat příliš velkou váhu při hodnocení.

Na základě výsledků analýzy rozptylu bylo zjištěno, že minimálně mezi dvěma částmi existuje statisticky významný rozdíl ve střední hodnotě meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva. Následně provedená Tukeyho metoda odhalila, že statisticky významný rozdíl vykazovala část a s b a dále část a s c. Dále byly zjištěny následující homogenní skupiny: první skupinu tvořila část a a d, druhou pak část b,c a d.

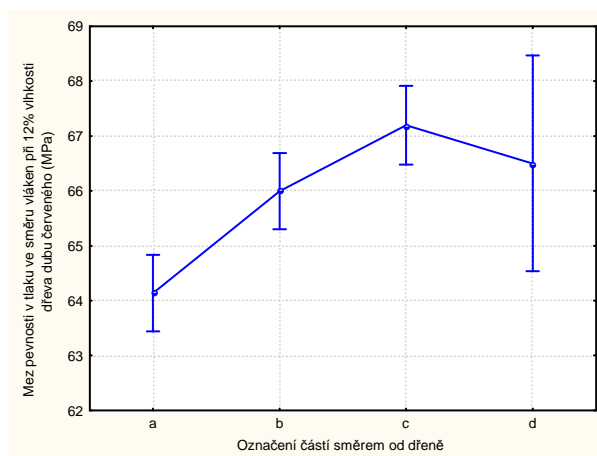
Výsledky Tukeyho metody nabízí tabulka č. 39 a graf č. 11. Tabulka č. 38 nám podává informaci o popisné statistice všech částí a krabicový graf č. 16 rozložení naměřených hodnot meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva.

Směrem od dřeně k obvodu byl zjištěn u částí a,b a c rostoucí trend a část d mírně klesla. Variabilita jednotlivých částí je nízká. Pohybuje se v intervalu od 4,1 až 8,1 %.

**Tab. 38: Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva dubu červeného v MPapo poloměru kmene:**

část	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
a	128	57,0	<b>64,1</b>	70,0	2,66	4,1
b	127	51,0	<b>66,0</b>	75,0	3,44	5,2
c	120	39,0	<b>67,2</b>	78,5	5,48	8,1
d	16	60,0	<b>66,5</b>	74,0	3,97	6,0

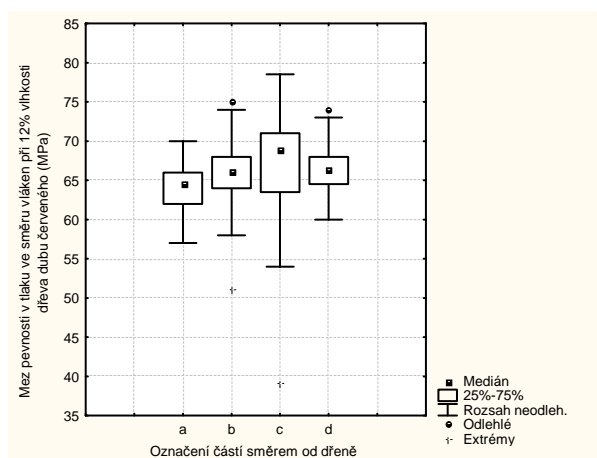
**Graf 11: Intervaly spolehlivosti mezí pevnosti v tlaku ve směru vláken v MPa při 12% vlhkosti dřeva dubu červeného po poloměru kmene:**



**Tab. 39: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva dubu červeného v MPa po poloměru kmene:**

část	a	b	c	d
a	-	*	*	
b	*	-		
c	*		-	
d				-

**Krabicový graf 16: Rozložení hodnot meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva dubu červeného v MPa po poloměru kmene:**



### ***dub letní (*Quercus robur* L.)***

Ze 4 částí směrem od dřene poskytovala poslední část d pouze 8 platných měření. Výpočet opět využívá i hodnot poslední části, nicméně jak je vidět v grafu č. 12, interval spolehlivosti části d je vzhledem k malému souboru oproti zbylým částem velký a proto jí nemůžeme dávat příliš velkou váhu při hodnocení.

Na základě výsledků analýzy rozptylu bylo zjištěno, že minimálně mezi dvěma částmi existuje statisticky významný rozdíl ve střední hodnotě meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva. Následně provedená Tukeyho metoda odhalila, že statisticky významný rozdíl vykazovala část a s b a dále část a s c. Dále byly zjištěny následující homogenní skupiny: první skupinu tvořila část a a d, druhou pak část b,c a d.

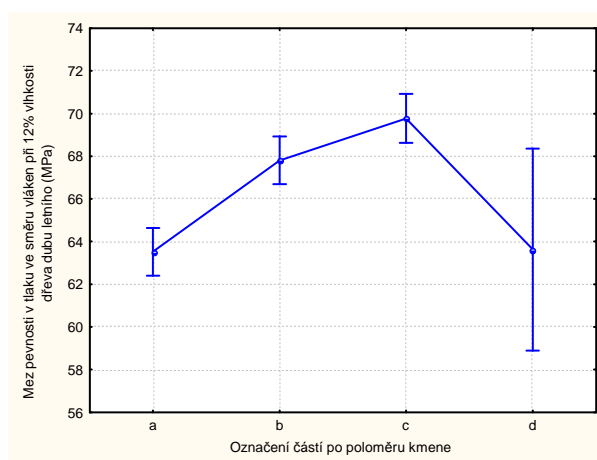
Výsledky Tukeyho metody nabízí tabulka č. 40 a graf č. 12. Tabulka č. 41 nám podává informaci o popisné statistice všech částí a krabicový graf č. 17 rozložení naměřených hodnot meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva.

Směrem od dřene k obvodu byl zjištěn u částí a,b a c rostoucí trend a část d mírně klesla. Variabilita jednotlivých částí je uspokojivá. Pohybuje se v intervalu od 8,6 až 11,6 %.

**Tab. 40: Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva dubu letního v MPa po poloměru kmene:**

část	Počet platných	Min.	Střední hodnota	Max.	Sm. odchylka	Variační k. (%)
a	144	47,0	<b>63,5</b>	74,0	5,5	8,6
b	144	50,0	<b>67,8</b>	81,5	7,9	11,6
c	136	50,0	<b>69,8</b>	81,0	6,8	9,7
d	8	53,0	<b>63,6</b>	72,0	6,4	10,0

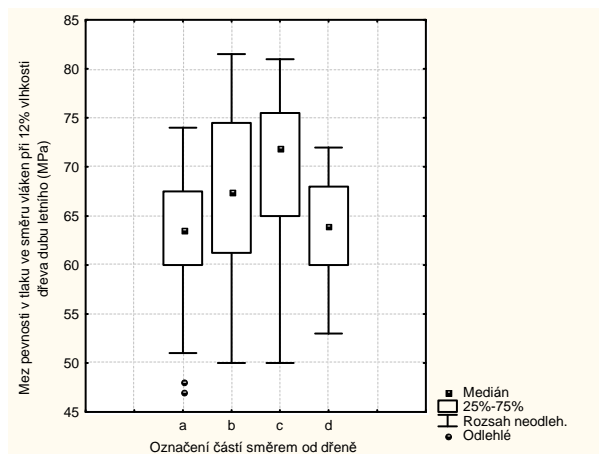
**Graf 12: Intervaly spolehlivosti mezí pevnosti v tlaku ve směru vláken v MPa při 12% vlhkosti dřeva dubu letního po poloměru kmene:**



**Tab. 41: Výsledky Tukeyho testu mnohonásobného porovnání pro mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva dubu letního v MPa po poloměru kmene:**

část	a	b	c	d
a	-	*	*	
b	*	-		
c	*		-	
d				-

**Krabicový graf 17: Rozložení hodnot meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva dubu letního v MPa po poloměru kmene:**



### 5.3.3 Závislost meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě dřeva

#### *Dub červený*

Byla zjištěna rostoucí tendence: s rostoucí hustotou roste i mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva. Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,0125, což znamená, že až 1,25% celkového rozptylu meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva je vysvětleno její závislostí na hustotě dřeva. Korelační koeficient 0,11 ukázal, že závislost meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě je slabá.

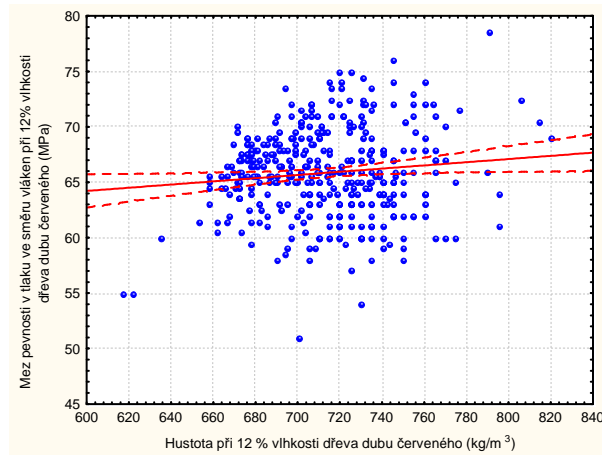
Grafické znázornění závislosti poskytuje graf závislosti č. 7. Vztah č. 20 poskytuje regresní rovnici závislosti.

**Vztah 20: Lineární regresní rovnice závislosti meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě dřeva dubu červeného:**

$$\sigma_{max\ 12} = 55,584 + 0,01434 * \rho_{12} \quad (20)$$



**Graf závislosti 7: Lineární regresní model závislosti meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě dřeva dubu červeného:**



### ***Dub letní***

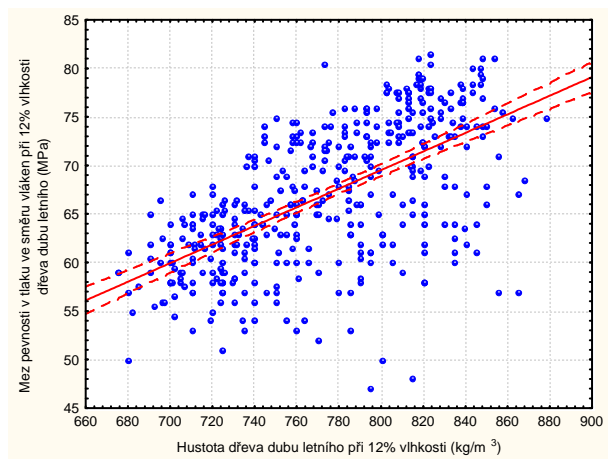
Opět byla zjištěna rostoucí tendence: s rostoucí hustotou dřeva roste i mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva. Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,38, což znamená, že až 38% celkového rozptylu meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva je vysvětleno její závislostí na hustotě dřeva. Korelační koeficient 0,62 ukázal, že závislost meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě dřeva je vysoká.

Grafické znázornění závislosti poskytuje graf závislosti č. 8. Vztah č. 21 poskytuje regresní rovnici závislosti.

**Vztah 21: Lineární regresní rovnice závislosti meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě dřeva dubu letního:**

$$\sigma_{max\ 12} = -7,178 + 0,0959 * \rho_{12} \quad (21)$$

**Graf závislosti 8: Lineární regresní model závislosti meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě dřeva dubu letního:**



## 6. DISKUSE

### 6.1 Hustota

#### 6.1.1 Srovnání výsledků s jinými autory

Naměřená hodnota hustoty dubu červeného při nulové vlhkosti  $\rho_0 = 655,2 \text{ kg/m}^3$  je v porovnání shodnotami různých autorů (viz. Tab. 4) vyšší. Nejvíce se naměřená hodnota přibližuje hodnotě neměřené Wagenfuhrem (2000)  $\rho_0 = 660 \text{ kg/m}^3$ , kde je rozdíl  $-4,8 \text{ kg/m}^3$ . Ostatní autoři uvádějí hodnotu  $\rho_0 = 620 \text{ kg/m}^3$ , což je znatelně menší než předkládané výsledky. Vzhledem k nízkým rozdílům mezi výsledky různých autorů a předkládanými výsledky, nebyl prokázán významný vliv stanovištních podmínek na hustotu dřeva dubu červeného při 0% vlhkosti.

Naměřená hodnota hustoty dubu letního při nulové vlhkosti  $\rho_0 = 707 \text{ kg/m}^3$  je v porovnání s hodnotami různých autorů (viz. Tab. 4) opět vyšší v průměru o  $+37,8 \text{ kg/m}^3$ . Nejvíce se naměřená hodnota přibližuje hodnotě neměřené Požgajem et. al. (1993)  $\rho_0 = 696 \text{ kg/m}^3$ , kde je rozdíl  $+11 \text{ kg/m}^3$ . Ostatní autoři uvádějí hodnotu  $\rho_0 = 650$  až  $690 \text{ kg/m}^3$ . Rozdíl se v tomto případě pohybuje v intervalu  $17$  až  $57 \text{ kg/m}^3$ , což není příliš velká hodnota. Vzhledem k nízkým rozdílům mezi výsledky různých autorů a předkládanými výsledky, nebyl prokázán významný vliv stanovištních podmínek na hustotu dřeva dubu letního při 0% vlhkosti.

Stejně vztahy byly zjištěny i v případě hustoty při 12% vlhkosti. Dřevo obou dřevin vykazovalo vyšší hustotu při 12% vlhkosti oproti průměrné hodnotě hustot při 12% vlhkosti různých autorů.

#### 6.1.2 Porovnání hustoty dřeva dubu červeného a letního

Porovnáním hustot dřeva dubu červeného a letního při 12% vlhkosti byl zjištěn statisticky významný rozdíl. Naměřená hustota dřeva dubu letního při 12% vlhkosti  $\rho_{12} = 773,1 \text{ kg/m}^3$  vykazovala výrazný rozdíl  $59,9 \text{ kg/m}^3$  v porovnání s naměřenou hustotou dřeva dubu červeného při 12% vlhkosti  $\rho_{12} = 713,2 \text{ kg/m}^3$ . Konfrontací s literárními zdroji bylo zjištěno, že naměřené výsledky mají stejný charakter jako průměrné hodnoty uváděné v odborné literatuře (viz. tab. 5). I zde je jednoznačný rozdíl mezi hodnotami hustoty při 12% vlhkosti dubu letního a dubu červeného, který je cca o  $30 \text{ kg/m}^3$  ve prospěch dubu letního. Na základě vysokého statisticky významného rozdílu mezi naměřenou hodnotou

hustoty při 12% vlhkosti dubu červeného a letního bylo zjištěno, že dřevo dubu červeného má z hlediska hustoty menší kvalitu.

### 6.1.3 Porovnání hustoty dřeva mezi vzorníky

Při porovnání hustoty při 12% vlhkosti mezi vzorníky dubu červeného bylo zjištěno, že vzorník I vykázal hodnotu hustoty při 12% vlhkosti  $\rho_{12,I} = 735 \text{ kg/m}^3$  statisticky významně vyšší oproti hustotě vzorníku II  $\rho_{12,II} = 705 \text{ kg/m}^3$  a III  $\rho_{12,III} = 708 \text{ kg/m}^3$ . Vzhledem k nízkému rozdílu hustot při 12% vlhkosti mezi vzorníkem I, II a III v intervalu 27 až 30  $\text{kg/m}^3$  nebyla zjištěna vysoká variabilita hustot při 12% vlhkosti dřeva mezi vzorníky dřeva dubu červeného. Variační koeficient hustoty dřeva vzorníků se pohyboval v intervalu 2,4 až 4,5%.

Stejně měření hustoty při 12% vlhkosti mezi vzorníky dubu letního ukázalo na vysokou variabilitu hustoty dřeva jednotlivých sledovaných stromů, kde  $\rho_{12,IV} = 782 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{12,V} = 809 \text{ kg/m}^3$  a  $\rho_{12,VI} = 729 \text{ kg/m}^3$ . Ze 3 sledovaných stromů nebyla zjištěna ani jedna homogenní skupina a tedy naměřená hustota při 12% vlhkosti dřeva dubu letního vykazovala statisticky významné rozdíly v porovnání mezi všemi sledovanými jedinci (viz. tab. 20). Také variabilita hustoty každého stromu byla vyšší a maximum bylo 5,2 %.

Výsledky měření ukazují na zvýšený rozptyl hodnot hustoty při 12% vlhkosti dřeva stromů dubu letního v porovnání se dřevem stromů dubu červeného. Dřevo dubu červeného z tohoto pohledu vykazuje lepší vlastnosti. Z praktického hlediska je ovšem nevýhodou měření velmi nízký počet stromů vstupujících do měření.

### 6.1.4 Analýza variability hustoty dřeva po poloměru kmene

Analýza variability hustoty při 12% vlhkostidřeva po poloměru kmene poskytla v obou případech velmi typické výsledky. Hustota dřeva obou dřevin vykazovalasměrem od dřeně rostoucí trend ( viz. graf 3 a 4). Dostupná odborná literatura (Vavrčík et al. 2008) uvádí, že standardní průběh hustoty dřeva dubu směrem od dřevně je mírně rostoucí a přibližně v polovině poloměru je dosaženo maximální hodnoty. Pak hodnota hustoty dřeva dubu klesá až ke kambiu. Výsledky této práce se vztahují na porost dubu letního o stáří 123 až 124 let. Naměřené výsledky jsou získány z porostu o stáří cca 50 let, což je méně než polovina oproti měření uváděné v odborné literatuře. Na základě porovnání získaných výsledků průběhu hustoty směrem od dřeně a výsledků uváděných v literatuře je důvodná domněnka, že zkoumané dřevo obou dřev vykazuje sledovanou vlastnost shodně. Směrem

od dřenež mírně roste hustota při 12% vlhkosti dřeva dubu červeného i letního. Porovnatelnost se ovšem vztahuje pouze na 4 části směrem od dřenež. První 3 části jsou přitom významné, okrajová 4. část poskytla pouze 8 a 16 platných měření. Obecně se dá říct, že průběh hustoty dřeva obou dřev po poloměru kmene není ovlivněn stanovištními podmínkami a vykazuje normální vlastnosti oproti porovnatelným měřením.

### **6.1.5 Analýza variability hustoty dřeva po výšce kmene**

Při hodnocení průběhu hustoty při 12% vlhkosti dřeva obou dřevin po výšce kmene nebyl nalezen žádný jednoznačný trend. U hustoty dubu červeného byl zjištěn pokles hustoty. První sekce  $\rho_{12,1} = 730 \text{ kg/m}^3$  vykazovala o 28 až  $31 \text{ kg/m}^3$  větší hustotu oproti sekci 2  $\rho_{12,2} = 699 \text{ kg/m}^3$  a sekci 3  $\rho_{12,3} = 702 \text{ kg/m}^3$ .

U dubu letního byl zjištěn spíše nepravidelný trend. Hustota dřeva při 12% vlhkosti dřeva v první sekci  $\rho_{12,1} = 770 \text{ kg/m}^3$  vykazovala o  $10 \text{ kg/m}^3$  menší hustotu než sekce 2  $\rho_{12,2} = 780 \text{ kg/m}^3$ . Ve třetím metru výšky kmene došlo k poklesu hustoty dřeva o  $11 \text{ kg/m}^3$  na téměř stejnou hodnotu jako u sekce 1. Trend je dobře znatelný z grafu 6. Rozdíl mezi jednotlivými sekcemi je přitom tak malý, že je možné ho považovat za konstantní.

Odborná literatura (Vavrčík et al. 2008) uvádí, že standardní trend hustoty dřeva dubu letního po výšce kmene je víceméně rostoucí a ve výšce 12m (oblast koruny) byl zaznamenán mírný pokles. Dále opět nárůst. Literární zdroj se opírá o dřevo dubu letního pocházejícího z oblasti Tvrdonic a Valtic o průměrném stáří porostu 124 a 125 let. Lokalizováno při tom bylo 20m výšky stromů. Porovnání naměřených hodnot hustoty dřeva po výšce kmene (analyzováno pouze 3m) s hodnotami v literatuře je vzhledem k rozdílným možnostem velmi ztížené a neprůkazné.

## **6.2 Sesýchání**

### **6.2.1 Porovnání výsledků s literárními zdroji**

Zjištěné celkové lineární a objemové sesýchání dřeva dubu červeného  $\beta_R = 4,3\%$ ,  $\beta_T = 9,07\%$  a  $\beta_V = 13,4\%$  vykazovalo ve všech případech shodu s hodnotami uváděnými v literatuře. Také variabilita hodnot radiálního sesýchání 16,7%, tangenciálního sesýchání 18,1% a objemového 14,7% je oproti údajům jiných autorů ve shodě.

Stejných výsledků bylo dosaženo i v případě dubu letního. Naměřené celkové radiální sesýchání dřeva dubu letního  $\beta_R = 4,6\%$ , tangenciálního  $\beta_T = 8,73\%$  a objemového  $\beta_V = 13,3\%$  je opět ve shodě s výsledky literatury. Variabilita souborů byla oproti dubu

červenému nižší. Variační koeficient dosáhl u radiálního sesýchání 13,5%, tangenciálního 15,1 % a objemového 11,6 % a v porovnání s literaturou je variabilita normální.

Všechny naměřené hodnoty celkového sesýchání dřeva obou dřevin byly ve shodě s dostupnými literárními zdroji. Lze tedy tvrdit, že nebyl nalezen vliv stanoviště růstu na vlhkostní rozměrové vlastnosti dřev obou dřevin.

### **6.2.2 Porovnání celkového sesýchání dřeva dubu červeného a letního**

V rámci šetření porovnání celkového sesýchání dřeva dubu červeného a letního byl zaznamenán statisticky významný rozdíl u radiálního a tangenciálního sesýchání. V případě radiálního sesýchání vykazoval větší celkové sesýchání dub letní  $\beta_R = 4,6\%$  oproti dubu červenému  $\beta_R = 4,3\%$ . Rozdíl v tomto případě činí 0,3% ve prospěch dubu letního. Naopak v případě tangenciálního sesýchání vykazoval větší celkové sesýchání dub červený  $\beta_T = 9,07\%$  oproti dubu letnímu  $\beta_T = 8,73\%$ . Rozdíl v tomto případě činí 0,34% ve prospěch dubu červeného.

Opačný trend radiálního a tangenciálního celkového sesýchání dřeva dubu letního a červeného způsobil, že v porovnání celkového objemového sesýchání dřeva dubu letního  $\beta_V = 13,3\%$  a dřeva dubu červeného  $\beta_V = 13,4\%$  nebyl nalezen statisticky významný rozdíl a celkové objemové sesýchání obou dřev proto považujeme za shodné.

V konečném důsledku na základě vlastností dřeva obecně, nebylo zjištěno rozdílné celkové sesýchání dřeva obou dřev. Celkové sesýchání dřeva obou dřev je proto považováno za shodné.

### **6.2.3 Hodnocení diferenciálního sesýchání dřeva dubu červeného a letního**

Diferenciální sesýchání má vypovídací hodnotu pro tvarovou vlhkostní stálost. Čím větší je koeficient diferenciálního sesýchání, tím větší je tangenciální sesýchání oproti radiálnímu sesýchání dřeva.

Zjištěná průměrná hodnota diferenciálního sesýchání dubu letního nabylo průměrné hodnoty 1,91. To znamená, že celkové tangenciální sesýchání dřeva dubu letního je přibližně o 91% vyšší než sesýchání radiální. U dubu červeného je průměrná hodnota diferenciálního sesýchání 2,1 - o 0,19 vyšší než u dubu letního. Celkové tangenciální sesýchání dřeva dubu červeného je v porovnání s celkovým radiálním sesýcháním více než dvojnásobné. V procentuelním vyjádření je celkové tangenciální sesýchání dřeva dubu červeného přibližně o 110% vyšší než radiální sesýchání.

Hodnoty diferenciálního sesýchání uváděné v odborné literatuře (Kollman (1951) a Vichrov (1954)) jsou pro dub letní 1,94, 1,95, 1,52 a 1,77.

Pro dub červený jsou uváděny hodnoty Lexa (1952) 1,85, Wagenfuhr (2000) 2,19, Kollman (1951) 1,93 a Wood Handbook 2,15.

Při porovnání naměřených hodnot a hodnot uváděných v literatuře byl zjištěn stejný trend. Vyšší naměřené diferenciální sesýchání dřeva dubu červeného odpovídá vyššímu diferenciálnímu sesýchání dřeva dubu červeného uváděného v literatuře a zároveň nižší naměřené diferenciální sesýchání dřeva dubu letního odpovídá nižšímu diferenciálnímu sesýchání dřeva dubu letního uváděného v literatuře. Rozdíl mezi naměřeným diferenciálním sesýcháním dřeva obou dřev je statisticky významný.

Z praktického pohledu bylo zjištěno, že dřevo dubu červeného má nižší tvarovou stálost oproti dřevu dubu letního.

#### **6.2.4 Analýza variability objemového sesýchání dřeva po poloměru kmene**

Z grafu 7 a 8 je zřejmé, že objemové sesýchání dřeva obou dřev vykazovalo směrem od dřeně rostoucí trend. Stejný průběh byl zaznamenán také v případě hustoty dřeva po poloměru kmene. To může znamenat, že se zvyšující se hustotou roste i objemové sesýchání.

I přes menší počet měření 4. sekce byl zachován rostoucí trend.

V porovnání s literárními zdroji byl zjištěn standardní a shodný průběh objemového sesýchání dřeva obou dřev.

#### **6.2.5 Analýza variability objemového sesýchání dřeva po výšce kmene**

Grafické hodnocení trendů objemového sesýchání dřeva obou dřev po výšce kmene je zřejmé z grafu 9 a 10. V obou případech byl nalezen stejný trend objemového sesýchání dřeva obou dřev. První sekce má vždy výrazně vyšší celkové objemové sesýchání než zbylé 2 sekce, které vždy tvoří homogenní skupiny. Rozdíl mezi první sekcí a zbylými sekcemi je statisticky významný v obou případech. Rozdíl je při tom velmi vysoký.

Velkým nedostatkem je, že nebyla nalezena porovnatelná data z odborné literatury a proto nemůže dojít ke konfrontaci mezi měřením a literaturou. Dalším nedostatkem je, že rozsah měření je vzhledem k možnostem materiálu velmi malý a proto ne příliš průkazný.

### 6.2.6 Závislost celkového sesýchání na hustotě dřeva

Analýza závislosti celkového sesýchání dřeva na hustotě u obou dřev potvrdila pozitivní korelaci. Ve všech sledovaných případech byl zaznamenán rostoucí trend. S rostoucí hustotou dřeva při 0% vlhkosti roste i sesýchání dřeva.

V případě radiálního sesýchání dubu červeného byla zjištěna slabá závislost na hustotě při 0% vlhkosti, korelační koeficient 0,14. Ve stejném případě u dubu letního byla hodnota korelace 0,56 a závislost vyhodnocena jako vysoká.

Sledování závislosti tangenciálního sesýchání na hustotě dřeva při 0% vlhkosti přineslo vyrovnané výsledky. U dubu červeného dosáhl korelační koeficient 0,42 a závislost je vyhodnocena jako střední. U dubu letního byla závislost také střední s korelačním koeficientem 0,40.

Závislost celkového objemového sesýchání na hustotě dřeva při 0% vlhkosti v případě dubu červeného dosáhla korelačního koeficientu 0,39 a závislost je střední. V případě dubu letního byla tato závislost těsnější. Korelační koeficient 0,50 poukázal na střední až vysokou závislost celkového objemového sesýchání na hustotě dřeva při 0% vlhkosti.

Z celkového hodnocení vyplývá, že závislost sesýchání dřeva na hustotě dřeva při 0% vlhkosti vyšla lépe pro dub letní. Dá se tedy říci, že sesýchání dřeva je u dubu letního více závislé na hustotě dřeva než u dřeva dubu červeného.

## 6.3 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken

### 6.3.1 Srovnání výsledků s jinými autory

Zjištěná průměrná hodnota meze pevnosti v tlaku ve směru vláken dubu červeného při 12% vlhkosti  $\sigma_{\max 12} = 65,8$  MPa byla v porovnání s literárními zdroji znatelně vyšší. Nejvíce se naměřená hodnota meze pevnosti v tlaku ve směru vláken přibližuje vrchní hodnotě udávané Wagenfuhrem (2000)  $\sigma_{\max 12} = 39 - 50 - 61$  MPa. I zde je ale naměřená střední hodnota pevnosti vyšší o + 4,8 MPa. Vyšší naměřená hodnota meze pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva dubu červeného jenesporně výhodou.

Naměřená průměrná hodnota meze pevnosti v tlaku ve směru vláken dubu letního při 12% vlhkosti  $\sigma_{\max 12} = 66,9$  MPa opět vykazovala v porovnání s literaturou vyšší pevnost. Nejvíce se naměřená hodnota meze pevnosti v tlaku ve směru vláken opět přibližuje vrchní hodnotě udávané Wagenfuhrem (2000)  $\sigma_{\max 12} = 54 - 61 - 67$  MPa.



Dřevo dubu letního tak z hlediska pevnosti můžeme považovat pro praktické využití za dřevo s nadstandardní pevností, což je v praxi výhodné.

### **6.3.2 Porovnání meze pevnosti v tlaku dřeva dubu červeného a letního**

V rámci šetření porovnání meze pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva dubu červeného a letního při 12% vlhkosti byl zaznamenán statisticky významný rozdíl. Zjištěná hodnota meze pevnosti v tlaku ve směru vláken pro dub letní  $\sigma_{\max 12} = 66,9$  MPa s variačním koeficientem 10,7% byla o 1,1 MPa větší než hodnota pro dub červený  $\sigma_{\max 12} = 65,8$  MPa s variabilitou 6,3%.

Při pohledu do literatury zjistíme, že uváděný rozdíl je větší. Ten je dán znatelně nižší uváděnou pevností dřeva dubu červeného.

### **6.3.3 Variabilita meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva po poloměru kmene**

Z grafu 11 a 12 je zřejmé, že mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva obou dřev vykazovala u prvních 3 částí směrem od dřeně rostoucí trend, část 4. vykazovala pokles. Pokles pevnosti dřeva v tlaku ve směru vláken u čtvrté části může být způsoben menším zastoupením jádrových látek, které mají svůj vliv na výslednou pevnost v tlaku. Vstupní materiál poskytl 4 sekce, přičemž 4. sekce již hraničila s bělím. Dřevo jádrové v blízké hranici s bělím stále ještě nedisponuje takovým množstvím jádrových látek jako dřevo blíže k dření. Menší množství jádrových látek jádrového dřeva blízko běle je proto logickým vysvětlením poklesu meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva obou sledovaných dřev.

### **6.3.4 Závislost meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě dřeva**

Analýza závislosti meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva na hustotě u obou dřev potvrdila pozitivní korelaci. Ve všech sledovaných případech byl zaznamenán rostoucí trend. S rostoucí hustotou dřeva při 12% vlhkosti roste i mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva. Grafické znázornění závislosti lze nalézt v grafu závislosti 7 a 8.

V případě závislosti pevnosti v tlaku na hustotě při 12% vlhkosti dřeva dubu červeného byla sice zjištěna pozitivní a rostoucí korelace, ale hodnota korelačního koeficientu 0,11 ukázala na slabou závislost. V porovnání se závislostmi ostatních

vlastností dřeva dubu červeného i nyní byla zjištěna daleko menší závislost oproti dřevu dubu letního.

Sledování závislosti pevnosti v tlaku na hustotě při 12% vlhkosti dřeva dubu letního přineslo lepší výsledky. Korelační koeficient dosáhl hodnoty 0,62 a vykázal vysokou závislost meze pevnosti dřeva v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti na hustotě při 12% vlhkosti.

Vavrčík et al. (2008) uvádí zjištěnou pozitivní závislost meze pevnosti ve směru vláken na hustotě dřeva při 12% vlhkosti dubu letního se zjištěným koeficientem korelace 0,88.

V porovnání se zjištěnými výsledky je závislost uváděná v literatuře větší. Rozdíl může být zapříčiněn ve velikosti sledovaného souboru. Vavrčík et al. (2008) pracoval s cca 3000 hodnot. Předkládaná práce vzhledem ke svému smyslu zpracovala pouze cca 400 hodnot. Z tohoto pohledu může být předkládaný výsledek pro dub letní porovnatelný.

## **7. ZÁVĚR**

Předkládaná diplomová práce uvádí výsledky zjištěných vlastností dvou druhově příbuzných dřev dubu červeného (*Quercus rubra* L.) dubu letního (*Quercu robur* L.) z antropogenně ovlivněného stanovištěoblastivýsypky Větrák asi 2 km od města Bíliny

v oblasti mostecké pánve. Nutno říci, že vzhledem ke stáří porostu byly omezené možnosti pro porovnání vlastností s literaturou.

Z výsledků vyplývá, že dub letní vykázal statisticky vyšší hustotu dřeva než dub červený, což je v porovnání s literaturou shodné.

Analýza variability hustoty dřeva po poloměru kmene u obou dřev vykázala rostoucí trend. Hustota dřeva byla u dřevě o přibližně 5 % menší než u poslední části.

Analýzavariability hustoty dřeva po výšce kmene u obou zkoumaných dřev přinesla neurčitý trend.

Naměřené hodnoty celkového sesýchání ve všech případech vykázaly shodné hodnoty s literaturou u dřeva obou dřev. Porovnání sesýchání dřeva dubu letního a červeného nepřineslo významné rozdíly. Diferenciální sesýchání dřeva dubu červeného bylo vyšší než dubu letního.

V rámci analýzy objemového sesýchání dřeva obou dřev po poloměru kmene byl zjištěn standardní průběh.

Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti vykázala u dřeva obou dřev znatelně vyšší hodnotu oproti literárním údajům. Vyšší pevnost ale nikdy není nevýhodou. Variabilita meze pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti dřeva po poloměru kmene vykázala v případě obou dřev rostoucí trend.

Korelační a regresní analýzy ve všech případech zjistily kladnou závislost u obou zkoumaných dřev. Se zvyšující se hustotou se zvyšují také zkoumané fyzikální a mechanické vlastnosti. V případě dubu červeného mají zjištěné závislosti menší těsnost.

Dřevo dubu letního vykazovalo v porovnání s dřevem dubu červeného lepší vlastnosti.

Vzhledem k vlastnostem dřeva sledovaných dřev v porovnání s literárními zdroji můžeme tvrdit, že dřevo pocházející z oblasti výsypek vykazovalo standardní vlastnosti.

**Tab. 42: Souhrn zjištěných vlastností dřeva dubu letního a dubu červeného:**

MĚŘENÁ VELIČINA	Dub červený ( <i>Quercus rubra</i> L.)		Dub letní ( <i>Quercus robur</i> L.)	
	N	střední	N	střední

		hodnota		hodnota
hustota při w=0% (kg/m <sup>3</sup> )	391	655,2 <sup>+</sup> / <sub>-28,2</sub>	431	707,4 <sup>+</sup> / <sub>-43,3</sub>
hustota při w=12% (kg/m <sup>3</sup> )	392	713,2 <sup>+</sup> / <sub>-30,7</sub>	432	773,1 <sup>+</sup> / <sub>-46,9</sub>
konvenční hustota (kg/m <sup>3</sup> )	392	567,1 <sup>+</sup> / <sub>-22,8</sub>	432	613,2 <sup>+</sup> / <sub>-33,4</sub>
radiální sesýchání (%)	392	4,3 <sup>+</sup> / <sub>-0,72</sub>	432	4,6 <sup>+</sup> / <sub>-0,62</sub>
tangenciální sesýchání (%)	392	9,07 <sup>+</sup> / <sub>-1,65</sub>	432	8,73 <sup>+</sup> / <sub>-1,34</sub>
objemové sesýchání (%)	391	13,4 <sup>+</sup> / <sub>-1,98</sub>	431	13,3 <sup>+</sup> / <sub>-1,55</sub>
diferenciální sesýchání	392	2,1 <sup>+</sup> / <sub>-0,37</sub>	432	1,91 <sup>+</sup> / <sub>-0,31</sub>
pevnost v tlaku podél vláken, w=0% (MPa)	392	65,8 <sup>+</sup> / <sub>-4,2</sub>	432	66,9 <sup>+</sup> / <sub>-7,2</sub>

*N = počet platných měření*

## **8. POUŽITÁ LITERATURA**

Bažant V., 2010: Růstové vlastnosti dřevin na výsypkových stanovištích Mostecké pánve (Severočeské hnědouhelné pánve), Disertační práce, Česká zemědělská universita v Praze, 118s

Brich, J. 2012 Srovnání pevnosti dřeva v tlaku dubu letního a dubu červeného z antropogenně ovlivněných stanovišť. Studenstská práce. Praha: ČZU

- ČSN 49 0103: Drevo. Zisťovanie vlhkosti při fyzikálních a mechanických skúškach.
- ČSN 49 0128: Skúšky vlastností rostlého dreva. Metoda zjišťovania zosýchavosti.
- ČSN 49 0108: Zjišťovanie hustoty při fyzikálních a mechanických zkúškach.
- ČSN 49 0110: Drevo. Medza pevnosti v tlaku v smere vlakien.
- ČSN 49 0012: Fyzikálne a mechanické skúšky, názvy a definície.
- ČSN 49 0101: Drevo: Všeobecné požadavky na fyzikálne a mechanicke skúšky.
- Drápela K., Zach J., 2002: Statistické metody I. MZLU v Brně, 160s
- Drápela K., 2002: Statistické metody II. MZLU v Brně, 152
- Horáček P., 2001: Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva, I. ES MZLU v Brně, 128s
- Kol. autorů: Dřevařská technická příručka. 1. vyd. Praha: SNTL, 1970, 743 s.
- Kolektiv autorů, 2006: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství v ČR 2006 část 1., Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha 59s.
- Kolektiv autorů, 2007: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství v ČR 2006 část 2., Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha 56s.
- Kolektiv autorů, 2008: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství v ČR 2008, Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha 116s.
- Kolektiv autorů, 2009: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství v ČR 2009, Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha 116s.
- Kolektiv autorů, 2010: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství v ČR 2010, Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha 130s.
- Kolektiv autorů, 2011: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství v ČR 2011 část 1., Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha 138s.
- Lexa, J. a kol. Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva, I. Svazok technologie dreva. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.
- Musil I., Möllerová J., 2005: Listnaté dřeviny (2), přehled dřevin v rámci systému rostlin krytosemenných, Česká zemědělská universita, 90s
- Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., Babiak, M. Struktura a vlastnosti dreva. 2. vydání. Bratislava: Příroda, 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4Slávik, M. Lesnická dendrologie. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2004

Rozkošný V., 2012: Srovnání hustoty dřeva dubu červeného a dubu letního z antropogenně ovlivněných stanovišť, Studentská práce, Česká zemědělská universita v Praze, 31s

Šácha Z., 2008: Experimentální zjištění sesychání a meze pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva dubu. Mendelu v Brně, 81s

Šlezingerová J., Gandelová L., 2005: Stavba dřeva. MZLU v Brně, 186s

Šlezingerová J., Gandelová L., 2008: Stavba dřeva (cvičení). MZLU v Brně, 128s

Vavrčík H. a kol. Variabilita vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva dubu letního. Vliv věku, poloměru kmene a výšky. Lesnická práce, 2008, 51 s.

Wagenführ, R. Holzatlas. 5. vydání. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hansen Verlag, 2000. 707 s. ISBN 3-446-21390-2.

Webersinke, J. 2012. Srovnání sesychání dřeva dubu letního a dubu červeného z antropogenně ovlivněných stanovišť. Studentská práce. Praha: ČZU

Vichrov, V. E., Strojenje i fiziko-mechaničeskije svojstva drevjesini duba. Moskva: Akademia nauk SSSR, 1954. 264 s.

Webové stránky:

[http://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/several\\_pubs.php?grouping\\_id=100&header\\_id=p](http://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/several_pubs.php?grouping_id=100&header_id=p)