

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva



**Srovnání pevnosti dřeva v tlaku dubu letního
a dubu červeného z antropogenně
ovlivněných stanovišť**

Bakalářská práce

Autor: Jiří Brich

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

2013

Rozsah textové části

30 - 40 stran

Klíčová slova

dřevo, vlastnosti, pevnost v tlaku, dub letní, dub červený, výsycky

Doporučené zdroje informací


- POŽGAJ A. et al. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vyd. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.
- KOLLMANN F. Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe 1. Berlín: Springer Verlag, 1951. 1050 s.
- LEXA J. et al. Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.
- WAGENFÜHR R. Holzatlas. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000. 707 s.
- Kolektiv. Dřevařská technická příručka. Praha: SNTL, 1970. 748 s.

Vedoucí práce

Zeidler Aleš, Ing., Ph.D.

Termín odevzdání

duben 2013


doc. Ing. Štefan Barčík, CSc.
Vedoucí katedry




prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.
Děkan fakulty

V Praze dne 15.2.2012

Prohlášení

"Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci, na téma Srovnání pevnosti dřeva v tlaku dubu letního a dubu červeného z antropogenně ovlivněných stanovišť, vypracoval samostatně pod vedením Ing. Aleše Zeidlera, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze dne: 30.4.2013

Jiří Brich

Poděkování

Děkuji Ing. Alešovi Zeidlerovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odbornou spolupráci při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Tomášovi Kopřivovi za spolupráci při měření v laboratoři.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit pevnost dřeva v tlaku na vzorcích dubu letního a dubu červeného pocházejících z rekultivované krajiny hnědouhelných mosteckých pánví.

Posuzována byla také závislost pevnosti na hustotě, která se nakonec výrazně neprojevila. Těchto výsledků bylo dosaženo laboratorními zkouškami a výpočty dle ČSN. Průměrná hodnota pevnosti dubu červeného je 55,29 MPa a pevnost dubu letního 56,18 MPa. Tyto hodnoty odpovídají údajům v literatuře.

Závislost pevnosti na vzdálenosti od dřenež zjištěna byla, ale v omezené míře. Všeobecně lze říci, že pevnost roste směrem od dřenež ke kambiu.

Získané výsledky nebyly negativně ovlivněny růstem na výsypkách.

Klíčová slova: dřevo, vlastnosti, pevnost v tlaku, dub letní, dub červený, výsypky

Abstract

The aim of this work was to determine the strength of wood in compression on samples of oak and red oak coming from the reclaimed landscape, the Most brown coal basins.

There was also examined the dependence of the strength of density, which eventually significantly affected. These results were achieved by laboratory tests and calculations according to. The average value of red oak strength is 55.29 MPa and tensile oak 56.18 MPa. These values correspond to those in the literature.

Strength versus the distance from the marrow was observed, but to a limited extent. Generally speaking, the strength grows away from the marrow to the cambium.

The results were not negatively impacted by growth on the the mine dumps.

Keywords: wood, properties, compressive strength, oak, red oak, spoil

Obsah

1. Úvod	9
2. Cíl bakalářské práce	9
3. Literární přehled	10
3.1 Charakteristika zkoumaných dřevin	10
3.1.1 Dřevo	10
3.1.2 Botanické zařazení	11
3.1.3 Dub-Quercus)	11
3.1.4 Dub Letní (Quercus robur L.)	12
3.1.5 Dub Červený (Quercus rubra L.)	13
3.2 Vlastnosti dřeva	14
3.2.1 Fyzikální vlastnosti	14
3.2.2 Mechanické vlastnosti	16
3.2.3 Vliv vybraných činitelů na pevnost dřeva v tlaku	17
3.2.4 Proměnlivost mechanických vlastností v závislosti na poloze	19
4. Metodika	20
4.1 Materiál	20
4.1.1 Výroba vzorků	21
4.2 Výsyvky	22
4.2.1 Mostecké výsyvky	22
4.3 Stanovení fyzikálních a mechanických vlastností	23
4.3.1 Fyzikální zkoušky	23
4.3.2 Mechanické zkoušky	24
4.4 Zpracování a vyhodnocení dat	25
4.4.1 Statistické zpracování dat	26
4.4.2 Použitý software	27

5. Výsledky	28
5.1 Fyzikální vlastnosti	28
5.1.1 Hustota dřeva	28
5.2 Mechanické vlastnosti	33
5.2.1 Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny.....	33
5.3 Závislost pevnosti na hustotě dřeva	38
5.3.1 Závislost pevnosti na hustotě dřeva dubu červeného.....	38
5.3.2 Závislost pevnosti na hustotě dřeva dubu letního.....	39
6. Diskuse.....	40
6.1 Hustota dřeva dubu letního a dubu červeného	40
6.2 Porovnání pevnosti v tlaku dubu letního a dubu červeného.....	40
6.3 Průběh pevnosti po průřezu kmene od dřene ke kambiu.....	41
6.4 Porovnání pevnosti v tlaku zkoumaných dřevin s literaturou.....	41
6.5 Závislost pevnosti na hustotě.....	41
7. Závěr	42
8. Seznam literatury a použitých zdrojů	43
8.1 Seznam obrázků, grafů, tabulek	45
9. Přílohy	46

1. Úvod

Dub patří mezi nejrozšířenější listnaté dřeviny české republiky. S tím je spojené i jeho všestranné použití v nejrůznějších odvětvích a nejen v průmyslu. Použitelnost dřeva je velmi rozmanitá díky své dostupnosti, obnovitelnosti, obrobiteľnosti a v neposlední řadě i hmotnosti.

V dřevozpracujícím průmyslu se využívá k výrobě dýhy, nábytku, stavebních konstrukcí a v dnešní době k výrobě čím dál tím častěji využívanějších materiálů na bázi dřeva. Pro správný výběr dřeviny je nutné znát všechny jeho vlastnosti, aby využití daného výrobku bylo efektivní.

Mezi významné mechanické vlastnosti dřeva patří právě vysoká pevnost. Vlastnosti dřeva, jako přírodního materiálu, jsou ovlivňovány anizotropií a dalšími aspekty, jako je například heterogenita. Z tohoto důvodu budou porovnány dřeviny vysazené na rekultivovaných mosteckých výsypkách, které jsou ovlivněny těžbou hnědého uhlí.

2. Cíl bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je zjistit a porovnat pevnost v tlaku ve směru vláken u listnatých dřevin dubu letního (*Quercus robur L.*) a introdukovaného dubu červeného (*Quercus rubra L.*) pocházejících z rekultivované krajiny mosteckých výsypek. Dále určit závislost mezi hustotou a pevností v tlaku a určení vlivu vzdálenosti od dřeně na zjišťovanou pevnost v tlaku. Výsledné hodnoty budou porovnány mezi sebou a s údaji uváděnými v literatuře.

Přínosem této práce je zjištění, zdali jsou zkoumané vlastnosti dřevin ovlivněné místem jejich původu, a tím i jejich použití pro další zpracování.

3. Literární přehled

3.1 Charakteristika zkoumaných dřevin

3.1.1 Dřevo

Dřevo bylo a je jedním z nejvšestrannějších a nejrozšířenějších materiálů. Ještě do nedávna bylo nejvyhledávanějším materiálem a v současnosti jeho obliba stále stoupá. Dřevo představuje pružný, pevný a zároveň lehký materiál, který zabezpečuje dobré tepelně-izolační vlastnosti. Je lehce opracovatelný a v neposlední řadě plní dekorační funkci. V současnosti se používá na výrobu materiálů na bázi dřeva, které vytěsňují nežádoucí vlastnosti dřeva, jako je anizotropie a heterogenita, avšak zachovávají vlastnosti žádoucí (Požgaj et al., 1997).

Kmen stromu není jen kusem stavebního materiálu. Na příčném řezu je vidět jeho vrstvená stavba. Tmavě zbarvená a suchá část dřeva je již odumřelá jádrová část. Směrem k lýku se nachází světlejší vrstva zvaná běl. Dohromady tvoří tělo dřeva (xylém) a je obepnuto po obvodu různě tlustým pláštěm, tzv. lýkem (folém) přecházejícím v kůru či borku (Požgaj et al., 1997).

Každá z těchto vrstev plní určité úkoly. Xylém zabezpečuje transport vody od kořenů. Folém zabezpečuje transport rozpuštěných živin. Lýková část kmene obsahující cévní svazky zajišťuje transport cukrů z místa vzniku. Kmen stromu musí být každým rokem mohutnější, aby unesl rozvíjející se korunu stromu. Tloušť zajišťuje vrstva buněk mezi dřevem a lýkem - kambium. Každoročně z jara zahajuje dělivou činnost a tvoří nové buňky xylému směrem dovnitř a stejně produkuje buňky lýkové směrem opačným. Takto umístěné buňky kambia jsou dostatečně chráněné před nejrůznějšími poškozeními. Kambiální buňky zabezpečují transport vody od jara, až do podzimu, kdy je ukončeno vegetační období a zpomalována činnost, až do úplného přerušení. Xylémové buňky jsou mnohem menší a tenčí, což je zřejmé na příčném řezu. V průběhu let se takto vytváří prstencový vzor dřevní hmoty. Počítáním letokruhů lze přesně určit stáří stromu (Kremer, 1995).

3.1.2 Botanické zařazení

Říše: *Plantae*

Podříše: *Viridaeplantae*

Kmen: *Tracheophyta*

Podkmen: *Euphyllophytina*

Infrakmen: *Radiatopses*

Třída: *Spermatopsida*

Podtřída: *Rosidae*

Nadřád: *Faganae*

Řád: *Fagales*

Čeleď: *Fagaceae*

Podčeleď: *Quercoideae*

Rod: *Quercus*

Zdroj:(URL2)

3.1.3 Dub-*Quercus*)

Tato dřevina se vyskytuje v podobě stromu, zřídka kdy jako keř. V mládí se utváří hlavní kúlový kořen a později se mění na pevnou soustavu kosterních kořenů a vedlejšími vertikálními kořeny. Dřevina je kruhovitě pórovitá se zřetelným jádrem. Jako většina listnatých dřevin je také dub dřevinou opadavou. Listy jsou střídavé s jednoduchou čepelí (velmi zřídka celistvé). Pupeny jsou vejcovité, ke konci letorostů více nahloučené. Plodem této dřeviny je elipsoidní nažka zvaná žalud, sedící v číšce. Nejvíce poddruhů tohoto stromu je rozšířeno v Severní Americe, Asii a částečně i v Evropě. Celkem rozlišujeme 300-600 druhů.

Hlavním evropským zástupcem je dub letní (*Quercus robur*). Dalším hojně využívaným druhem je dub zimní (*Quercus petraea*). Jsou to důležité hospodářské dřeviny charakteristické pro některá lesní společenstva. Dalším méně rozšířeným druhem je dub červený (*Quercus rubra*) a dub cer (*Quercus cerris*), nejčastěji se vyskytující druhy v evropských parcích.

V posledních 200-300 letech dochází k poklesu zastoupení zaváděním borovice a smrku na místa původních doubrav (*Slavík, 1990*).

3.1.4 Dub Letní (*Quercus robur* L.)

Tento strom zaujme svou mohutností a specifickým vzrůstem. Zajímavostí je věk, kterého tyto stromy dosahují. Je jedním z nejdéle rostoucích listnáčů. Jeho růst může být delší než 1000 let. Tyto stromy bývají památkově chráněné a lze je využívat z historického hlediska, jako pamětníky. Z jejich letokruhů můžeme odhadovat stáří staveb a stavebních prvků, pro které byly v minulosti využívány.

Tento listnatý opadavý strom dosahuje výšek okolo 45m. Vysoká a široká koruna je kulovitě klenutá s široce rozpoloženými větvemi. Několikrát zakřivený kmen se zakroucenými větvemi kryje světle šedá vrásčitá borka. Listy má tento dub 10 cm dlouhé a 8 cm široké, obvejčité po obou stranách, vytváří 5-7 eliptických oblouků. Barva listů je matově zelená. Plodem je vejcovitý žalud 2 cm dlouhý po 3-4 kusech zrající na stopce. Textura dřeva je pruhovaná s nápaditými zrcátky (*Kremer, 1995, Větvíčka, 1999, Wagenführ, 2002*).



Obr. č 1 Habitus
Zdroj: (URL 2)



Obr. č 2 Listy
Zdroj: (URL 3)



Obr. č 3 Plody
Zdroj: (URL 4)

3.1.4.1 Rozšíření

Tato dřevina je rozšířena po celé Evropě, zejména v nížinách od Ruska až po Španělsko. Na východě sahá až po Ural a na severu do jižního Švédska. Nejčastěji se vyskytuje v místech s vlhkou půdou a dobře snáší klimatické extrémy. Roste převážně ve smíšených listnatých lesích popř. na volných prostranstvích (*Kremer, 1995*).

3.1.4.2 Význam a využití

V lesnictví patří tato dřevina mezi nejvýznamnější listnaté dřeviny českých lesů. Tato lesnický významná dřevina je vysazována zejména v nížinách, nejčastěji na hrázích rybníků (j. Čechy). Má i široké uplatnění při výrobě nábytku, sudů a především pro dýhárenské účely. Díky chemickému složení dobře odolává vlhkosti bez ztráty svých původních vlastností. V sadovnictví se vysazuje jako solitérní dřevina (*Slavík, 1990, Wagenführ, 2002*).

3.1.5 Dub Červený (*Quercus rubra* L.)

Statný strom, dosahující výšek okolo 35m. Mladší jedinci vytváří korunu ve tvaru kužele, a s přibývajícím věkem se postupně rozšiřuje. Kmen je nízko nad zemí rozdělen na silné větve, které jsou vztyčené nebo obloukovitě posazené. Kmen pokrývá hladká světle-šedá borka. U starších jedinců tmavne a dělí se na jednotlivé šupiny. Listy jsou oválné až obvejčité s okrajovým členěním do 3-5 laloků zasahujících do poloviny listu. Délka je 10-25 cm a šířka přibližně 10 cm. Barvy tmavě zelené. Plody toho stromu jsou vejcovité žaludy, zrající ve 2. roce a na podzim se zbarvují do červena. Také dřevo dubu červeného je charakterizováno zrcátkovou texturou na radiálním řezu (*Kremer, 1995, Větvicka, 1999, Wagenführ, 2002*).



Obr. č 4 Habitus
Zdroj: (URL 7)

Obr. č 5 Listy
Zdroj: (URL 1)

Obr. č 6 Plody
Zdroj: (URL 6)

3.1.5.1 Rozšíření

Jeho domovinou je Severní Amerika. Areál rozšíření sahá od Nového Skotska směrem na jih, až k Texasu. V Evropě zdomácněl před více než 200 lety a je vysazován jako okrasná dřevina v parcích. Je to polo světlomilná rostlina, méně náročná na světlo, nežli domácí duby (*Kremer, 1995, Wagenführ, 2002*).

3.1.5.2 Využití

V lesních porostech je dub červený zaváděn jako půdo-ochranná a meliorační dřevina. Za předpokladu kvalitní půdy a příznivého stanoviště roste rychleji než naše domácí duby, což má příznivý vliv na výtěž. Tato dřevina je vhodná k zalesňování a rekultivacím průmyslových oblastí. Má méně odolné dřevo, než naše domácí duby, ale lépe odolává exhalátům. V sadovnictví je ceněný pro své zbarvení v podzimních měsících. V průmyslu jej můžeme využít na výrobu nábytku, beden nebo pražců (*Slavík, 1990*).

3.2 Vlastnosti dřeva

Díky nenahraditelným vlastnostem dřeva ho můžeme zařadit mezi materiály se širokým uplatněním. Základní dělení těchto vlastností je na fyzikální a mechanické. Tyto vlastnosti upřednostňují dřevo před ostatními materiály, ale ne všechny jsou žádané. A proto při výběru dřeviny pro konkrétní využití musí být zohledněny její vlastnosti, aby bylo využití efektivní.

3.2.1 Fyzikální vlastnosti

Pro porozumění fyzikálním vlastnostem dřeva je třeba ovládat problematiku anatomie dřeva. Dřevo je materiál organického původu a řadíme ho do skupiny anizotropních materiálů. To znamená, že fyzikální vlastnosti závisí na směru, ve kterém jsou měřeny. Ze získaných informací je patrné, že dřevo je nehomogenní materiál a některé vady přímo ovlivňují fyzikální vlastnosti (*Horáček, 1998*).

3.2.1.1 Hustota

Hustota dřeva udává hmotnost jeho objemové jednotky. Nejčastější vyjádření je v kg/m^3 nebo g/cm^3 . Je to charakteristika, která ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Těžké dřevo je pevnější, tvrdší a odolnější proti opotřebením. Hustota je také ukazatelem vhodnosti použití, například tam, kde je kladen důraz na nízkou hmotnost. Hustota se dělí na hustotu dřevní substance, hustotu dřeva a redukovanou hustotu. Pro výpočty je nadále využita pouze hustota dřeva (Požgaj et al., 1997).

3.2.1.2 Hustota dřeva

Vyjadřuje hmotnost jednotkového objemu dřeva při určité vlhkosti. Hustota je určována při neznámé vlhkosti větší než 0 %, v suchém stavu, kdy je vlhkost rovna nule nebo při vlhkosti 12 %. Hustota při 12% vlhkosti je nejdůležitější z hlediska porovnávání. Je to hustota měřená za ustálených laboratorních podmínek (teplota 20°C, relativní vlhkost vzduchu 65 %).

Dřevinou s nejvyšší hustotou se udává dřevo gujaku o hustotě $\rho_w = 1363 \text{ kg/m}^3$. Naopak nejnižší hustotu má dřevo balzy $\rho_w = 130 \text{ kg/m}^3$. Průměrná hodnota hospodářsky nejvýznamnějších dřevin se pohybuje mezi 350-800 kg/m^3 (Šlezingerová et. al, 2009, Požgaj et al., 1997).

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad [\text{kg} / \text{m}^3]$$

Kde m_w je hmotnost dřeva dané vlhkosti, V_w je objem vlhkého dřeva. Dle platné normy ČSN 94 0108 se hustota dřeva v literatuře udává při vlhkosti 12 %.

Pro možnosti porovnání výsledků různých výpočtů uvažujeme hustotu dřeva v absolutně suchém stavu. Vypočítá se jako podíl hmotnosti a objemu při nulové vlhkosti.

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} \quad [\text{kg} / \text{m}^3]$$

Kde m_o je hmotnost vysušeného dřeva, V_o je objem o nulové vlhkosti (Požgaj et al., 1997).

3.2.2 Mechanické vlastnosti

I při nízké hmotnosti má dřevo velkou pevnost, což je základním předpokladem každého dobrého konstrukčního materiálu. Tyto vlastnosti hrají významnou úlohu při jeho technologickém zpracování. Proto je třeba znát chování dřeva při namáhání, aby se mohlo optimálně zpracovat. Dělí se na dvě skupiny, základní a odvozené. Základními vlastnostmi jsou: pevnost, pružnost, a houževnatost. Mezi odvozené patří tvrdost, odolnost proti trvalému zatížení a odolnost proti únavovému lomu.

Různorodost mechanických vlastností závisí stejně jako u fyzikálních na směru, tedy na anizotropii. Z experimentálních zkoušek vyplývá, že vlastnosti dřeva jsou odlišné zejména v příčném a podélném směru na vlákna. Tento rozdíl vyplývá z vazebných energií chemických složek dřeva.

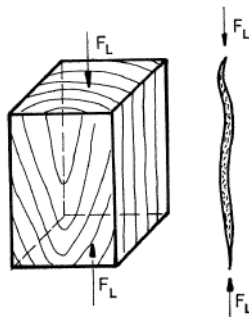
Mechanické namáhání dřeva je takový stav, při kterém na dřevo působí vnější mechanické síly, které ho deformují v závislosti na míře vnitřního odporu jeho struktury (Požgaj et al., 1997).

3.2.2.1 Pevnost v tlaku

Pevností dřeva se rozumí jeho odpor nebo odolnost proti trvalému porušení. Číselně se pevnost vyjádří jako napětí, při kterém dojde k porušení struktury.

Hodnoty pevnosti se získávají pomocí zkoušek, při kterých je potřeba dodržovat určitý metodický postup. Výsledné hodnoty tedy nejsou konstantami dřevin, ale závisí na metodice zkoušení.

Pevnost dřeva v tlaku lze dělit na pevnost ve směru vláken a pevnost v tlaku kolmo na vlákna v tangenciálním nebo radiálním směru (Požgaj et al., 1997).



Obr. č 7 působení sil pevnost v tlaku Zdroj: (Požgaj et al., 1997).

3.2.2.1.1 Pevnost v tlaku ve směru vláken

Pevnost v tlaku ve směru vláken je největší napětí, které snese dřevo při pomalém zatěžování (Novák et al., 1970).

Významnou pevností v tlaku v porovnání s ostatními je pevnost podél vláken. Pro vysokou pevnost má tlak rovnoběžně s vlákny široké uplatnění. Makroskopické porušení se projevuje různými druhy zlomů (Požgaj et al, 1997). Průměrná hodnota pevnosti u hospodářsky využívaných dřevin se pohybuje mezi 30-70 MPa. Nejvyšších hodnot nabývá dřevo akátu, habru a dubu. Nejnižší je pevnost topolu a olše.

Mez pevnosti se vypočítá ze vztahu:

$$\sigma_f = \frac{F_{\max}}{a.b} \quad [MPa]$$

Kde F_{\max} je síla na mezi pevnosti (N), a, b jsou příčné rozměry tělesa (mm) (Požgaj et al., 1997).

3.2.3 Vliv vybraných činitelů na pevnost dřeva v tlaku

3.2.3.1 Vliv vlhkosti

Velký vliv na pevnost dřeva v tlaku má kolísání vlhkosti. A to konkrétně vody vázané na strukturu dřeva. Molekuly vody obsažené ve dřevě snižují soudržnost dřeva, a to až do bodu nasycení vláken (BNV). Dřevo dosáhne maxima bobtnání a přitažlivé síly celulosových částic mají nejmenší hodnotu. Další vnikání vody již nemá vliv. Volná voda neovlivňuje mechanické vlastnosti (Lexa et al. 1952).

Konkrétně je pevnost ovlivněna vlhkostí v přepočtu na procenta takto. Stoupne-li vlhkost o 1 % pod bodem BNV, klesne pevnost dřeva ve směru vláken asi o 6 % (Lexa et al., 1952).

Při namočení přirozeně vysušeného dřeva klesá tlaková pevnost ve směru vláken o 64 %. V houževnatém a mokřím dřevě nenastanou často ani při velkých deformacích žádné trhliny a zkušební vzorky jsou jen nepravidelně a šikmo stlačeny (Lexa et al, 1952, Požgaj et al. 1997).

Při experimentálním zjišťování pevnosti dřeva se tělesa před zkouškou skladují v prostředí s relativní vlhkostí $\varphi = (65 \pm 5)\%$ a teplotou $t = (20 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Kvůli jednotné vlhkosti se hodnoty přepočítávají na 12% vlhkost dle vztahu:

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha_1 (w - 12)] \quad [\text{MPa}]$$

Kde α_1 je opravný součinitel, σ_w je pevnost o určité vlhkosti při měření (Požgaj et al. 1997).

3.2.3.2 Vliv směru vláken

Vliv směru vláken na pevnost je velmi důležitý. S úbytkem vlhkosti roste křehkost. Vlivem náhlých objemových změn mezi jednotlivými letokruhy dochází ke smykovým lomům bez předchozích deformací.

Čím je dřevo starší a stejnoměrněji rostlé, tím více mizí rozdíly v pevnostech podél a napříč vláken. U dubu je poměr příčné pevnosti k podélné 0,294. U kruhovitě pórovitých dřevin, jako je dub, může být dokonce příčná pevnost menší pevnost než při sklonu 45° (Lexa et al., 1952).

3.2.3.3 Vliv teploty

Všeobecně platí, že pevnost dřeva klesá s růstem teploty a roste s poklesem teploty. Pevnost dřeva s 12% vlhkostí v rozmezí teplot -15°C až $+65^\circ\text{C}$ se změní o 0,6-0,9 %. Při ochlazení (ohřátí) na teplotu 20°C se pevnost dřeva navrátí do původního stavu. Při vyšších teplotách, a to nad 82°C , ztrácí dřevo svou pevnost trvale a po ochlazení má pevnost menší. Působením teplot nad 200°C se dřevo stává křehčím a výrazně se snižuje jeho pevnost.

Při technologickém zpracování dřeva je také potřeba uvažovat s časem působení tepla. Dlouhodobé působení tepla ovlivňuje chemické složení dřeva a mění trvale strukturu dřeva. To má vliv i na jeho pevnost.

Nejmenší účinek na pevnost má ohřev horkým vzduchem. Také úbytky pevnosti jsou u listnatých dřevin větší než u jehličnatých (*Lexa et al., 1952, Požgaj et al., 1997*).

Při procesech přeměny dřeva na výrobek působením tepla je potřeba brát v úvahu i vliv vlhkosti. Interakce teploty a vlhkosti má mnohem výraznější vliv na změny mechanických vlastností, než jednotlivé působení uvedených faktorů (*Požgaj et al., 1997*).

3.2.3.4 Vliv hustoty

Aby voda umístěná ve stěnách buněk neovlivňovala mechanické vlastnosti, tak je při sledování vlivu hustoty na pevnost vylučována voda přepočtem na rovnoměrnou nebo 0% vlhkost. Závislost mezi hustotou a mechanickými vlastnostmi je složitější, protože pevnost nezávisí jen na množství dřevní hmoty v jednotce objemu, ale také na odlišnostech ve stavbě dřeva.

Tlaková pevnost dřeva podél vláken závisí na hustotě lineárně. Vztah mezi hustotou a pevností nemusí být vždy významný. Objemová hmotnost nezávisí jen na množství dřevní hmoty, ale také na struktuře, nehomogenosti a nepravidelnostech stavby dřeva (*Požgaj et al., 1997*).

3.2.4 Proměnlivost mechanických vlastností v závislosti na poloze

Z experimentálních výzkumů vyplývá, že zvýšený podíl letního dřeva zlepšuje mechanické vlastnosti. Tlustostěnné letní buňky zabezpečují pevnostní funkci při stavbě letních letokruhů.

Dřeviny jako dub, které mají úzkou běl, se z pohledu problematiky mechanických vlastností běli neřeší a při zpracování se běl odřezává. Důvodem proměnlivosti je funkce, kterou plní jednotlivé elementy. Jarní dřevo je po mechanické stránce slabší, protože zastává vodivou funkci. Například u smrku se zjistilo, že bělové dřevo má o 5 až 15 % vyšší hustotu, což je předpokladem, že běl bude mít větší pevnost nežli dřevo jádra. Z těchto údajů vyplývá, že hustota dřevin se mění po průřezu kmene (*Požgaj et al., 1997*).

Také šířka letokruhů může ovlivňovat mechanické vlastnosti. Výzkumy ukázaly, že pro každou dřevinu existuje minimální a maximální hranice počtu letokruhů

připadajících na 1 cm. Pokud počet letokruhů nezapadá do tohoto rozmezí, mechanické vlastnosti se snižují. Kruhově pórovitým dřevinám, jako je dub, se šířka letokruhů zvětšuje v souvislosti s lepším vývojem letního dřeva. Z toho vyplývá, že mechanické vlastnosti jsou větší, čím větší je roční přírůstek.

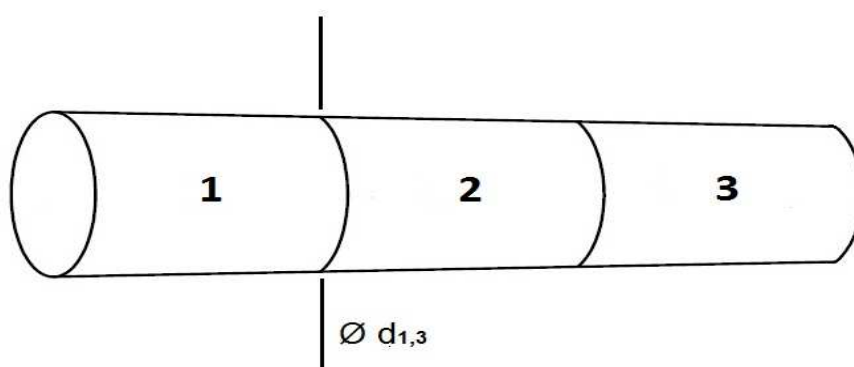
Hustota dřeva u kruhovitě pórovitých dřevin (dubu) stoupá se šířkou letokruhů v rozmezí 0,4-1,4 mm. Dále již šířka letokruhů nemá na hustotu vliv (Požgaj *et al.*, 1997).

4. Metodika

4.1 Materiál

Zkoumané vzorky dřeva pochází z výše popsané výsypky Větrák u Bíliny vzniklé po těžbě hnědého uhlí na Mostecku. Celkem bylo pokáceno 6 stromů, v období od 21.4.2010 do 28.4.2010. Pro pozdější zpracování údajů byly tyto stromy označeny čísly od 1 do 6. Konkrétně jde o 3 stromy dubu červeného o průměrech (1. strom 67 cm, 2. strom 78 cm, 3. strom 77 cm) a 3 stromy dubu letního o průměrech (4. strom 86 cm, 5. strom 73 cm, 6. strom 76 cm).

Oddenková část byla rozdělena na 3 sekce (Obr. č. 8) od oddenku směrem ke koruně (značeno 1-3). Pro účely zkoušky pevnosti v tlaku byla vybrána sekce 1. Průměrná délka sekcí činila 110-120cm.



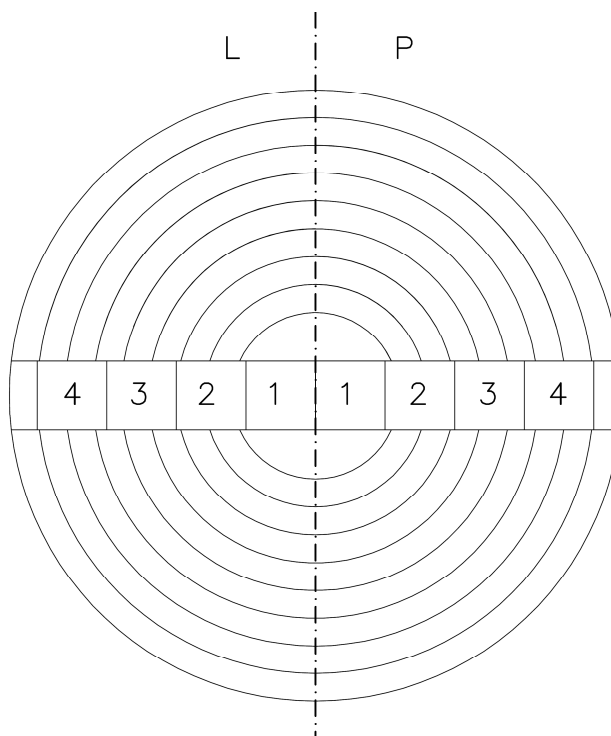
Obr. č 8 rozdělení kmene do sekcí dle výšky

4.1.1 Výroba vzorků

Další fází zpracování materiálu pro přípravu zkušebních vzorků bylo vyříznutí středové fošny z každého stromu vybrané sekce. Tento výřez byl rozdělen na dvě poloviny, které byly označeny písmeny P (pravá strana) a L (levá strana). Z těchto výřezů byly získány vzorky dle norem (ČSN 49 0108, ČSN 49 0100) rozměrech 20x20x30 mm.

Z těchto vzorků byly vyloučeny vzorky nesprávně vyříznuté, vzorky s makroskopickými vadami (suky, praskliny, apod.), popř. další nevhodné vzorky, které by mohly ovlivnit výsledky měření pevnosti v tlaku.

Po vyřazení nevhodných vzorků byly zbývající označeny a bylo vybráno 20 ks z každé části. Označení jednotlivých zkušebních těles obsahovalo: název vzorku, označení dřeviny, stromu, výřezu pravé nebo levé strany a označení polohy od dřeně ke krajům. Toto označení bylo 1-4, dle vzdálenosti od dřeně (viz. Obr. č. 9.).



Obr. č 9 rozdělení kmene dle vzdálenosti od dřeně

4.2 Výsypky

Výsypka je hromada sypkého materiálu (hlušiny), která vzniká jako odpad při těžbě nerostných surovin. Obsahuje nadzemní i podložní vrstvy zeminy vytěžené v lomech nebo hlubinných dolech. Slouží k dočasnému nebo trvalému uložení těchto skrývkových hmot. Tato nově vzniklá místa navrací po rekultivacích krajině původní vzhled a funkci.

Většina výsypek je dnes rekultivována tak, že po sesednutí výsypkového materiálu (asi po 8 letech) je pomocí těžké techniky zarovnán povrch výsypky do povlných tvarů. Na zarovnaný povrch se naváží organický materiál, štěpka nebo orniční horizonty skryté jinde před postupující těžbou. Do takto připraveného povrchu jsou sázeny dřeviny. Někde jsou prováděny zemědělské rekultivace podobně, jen připravený povrch je oset travní směsí (*Řehounek et al., 2010*).

4.2.1 Mostecké výsypky

Mostecká pánev je největší hnědouhelnou pánví v České republice. Zaujímá plochu o rozloze 140 000 ha. Bylo zde vytěženo přes 3,5 mld. tun uhlí a na výsypky bylo přesunuto více než 7 mld. m³ zeminy. V literatuře lze nalézt pouze málo informací o dlouhodobějším vývoji a růstu jednotlivých dřevin na těchto stanovištích. V současnosti dospívají nejstarší lesnické rekultivované porosty do stádia, kdy je možné hodnotit jejich vývoj (*Bažant, 2010*).

4.2.1.1 Výsypka Větrák

Tato výsypka navazuje na rostlý svah 2 km západně od města Bíliny. Sypání bylo ukončeno koncem 50 let minulého století. Rekultivace této výsypky započala v roce 1962 zalesňováním od jihovýchodních svahů až k východním. V porostu převládaly olše, topoly a jasany. Výsadba topolů byla neúspěšná, a proto byla v roce 1977 výsadba doplněna javorem klenem, dubem letním a dalšími listnatými dřevinami.

Půdotvorný substrát tvoří heterogenní substrát zemin terciárního i kvartérního původu. Petrograficky lze hodnotit substrát jako jílovce s převažujícím

zastoupením minerálu kaolinitu (55-68 %) a montmorillonitu (8-27 %). Substrát má velmi nízký obsah organických látek.

Půdotvorný proces ve věku 45 let charakterizuje zeminu nárůstem obsahu organických látek a pozitivní úprava infiltračních vlastností povrchu výsypky (Bažant, 2010).

4.3 Stanovení fyzikálních a mechanických vlastností

4.3.1 Fyzikální zkoušky

4.3.1.1 Určení hustoty

Toto měření bylo provedeno na 780 zkušebních vzorcích. Pro určení objemové hmotnosti bylo třeba znát objem zkušebních těles. Pomocí posuvného měřítka byly změřeny rozměry hranolu zkušebního tělesa, předem daných normou (ČSN 490108), se základnou 20x20 mm a délkou podél vláken 25±5 mm s přesností na 0,01 mm. Dalším zjišťovaným parametrem byla hmotnost, která byla určována na laboratorních váhách s přesností na 0,01 g. Samotná hustota zkoušených vzorků při vlhkosti dané podmínkami laboratoře byla vypočtena dle vzorce:

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} \cdot 10^6 \quad [kg / m^3]$$

Kde m_w je hmotnost tělesa při vlhkosti W , a_w , b_w , l_w jsou rozměry tělesa při vlhkosti W .

Pro stanovení hustoty při 12% vlhkosti, bylo třeba určit aktuální vlhkost vzorků. Proto byl vybrán každý desátý vzorek, celkem 78 zkušebních těles, které byly vloženy do sušárny a při teplotě cca 103± 2°C vysoušeny, dokud vlhkost nedosáhla 0 %. Po vyjmutí byla zkušební tělesa převážena a následně vypočtena absolutní vlhkost.

Vypočtená hustota se přepočítala na hustotu při 12% vlhkosti dle vzorce:

$$\rho_{12} = \rho_w \left[1 - \frac{(1 - K)(W - 12)}{100} \right] \quad [kg / m^3]$$

Kde ρ_w je hustota tělesa při vlhkosti W, K je koeficient objemového sesychání (K=0,085) (ČSN 49 0108)

4.3.2 Mechanické zkoušky

4.3.2.1 Pevnost v tlaku

Pro zjišťování pevnosti v tlaku byla použita stejná zkušební tělesa jako pro určení hustoty, tedy na 780 vzorcích o rozměrech 20x20x30 mm, jak vyžaduje norma. Vzorky byly změřeny posuvným měřítkem s přesností na 0,01 mm. Cílem této zkušební metody bylo zjištění maximálního zatížení porušujícího zkušební těleso v tlaku a následný výpočet pevnosti při tomto zatížení.

Tyto vzorky byly postupně vkládány do přípravku, který umožňuje rovnoměrné zatěžování při konstantní rychlosti. Nastavená rychlost musela být taková, aby k porušení zkušebních těles došlo za (1±0,5) min od počátku zatěžování. Samotný proces zatěžování a vyhodnocení dat byl řízen pomocí PC.

Ze zaznamenaných hodnot byla vypočtena pevnost v tlaku při vlhkosti v době zkoušky dle vzorce:

$$\sigma_f = \frac{F_{\max}}{a.b} \quad [MPa]$$

kde F_{\max} je síla na mezi pevnosti (N), a,b jsou příčné rozměry tělesa (mm)

Pro naše potřeby bylo nutno přepočítat mez pevnosti pro 12% vlhkost dle vzorce:

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha_1 (w - 12)] \quad [MPa]$$

Kde α_1 je opravný součinitel (pro všechny dřeviny $\alpha_1 = 0,04$), σ_w je pevnost o vlhkosti v okamžiku měření, w -vlhkost v % (Požgaj et al., 1997, ČSN 49 0110).

4.4 Zpracování a vyhodnocení dat

Hodnoty naměřené při jednotlivých zkouškách, byly zaznamenávány a zpracovávány dle platných norem ČSN. Naměřená data byla rozdělena do několika sekcí dle označení vzorků. Naměřené hodnoty byly rozděleny podle druhu dřeviny, jednotlivých stromů, určitých sekcí, vybraných částí kmene vztažených k poloze od dřeně.

Pro vyhodnocení dat byly použity základní matematicko-statistické metody. Tyto metody nám pomohou posoudit kvalitu souboru, popřípadě porovnat a zhodnotit zkoumané vlastnosti (Doležal, 1973).

Hodnoty, které se extrémně lišily od průměru, byly ze statistického vyhodnocení vyloučeny. Tyto hodnoty mohli vzniknout chybami při měření. Vypočítané hodnoty byly pomocí softwaru převedeny do tabulek. Výsledky jsou zpracovány do dvou typů grafů.

Závislost pevnosti na hustotě je zanesena do grafu lineární regrese, kde je na ose x vynesena hustota a na ose y pevnost v tlaku. Graf je proložen spojnicí trendu a obsahuje hodnotu spolehlivosti.

Závislost pevnosti na druhu dřeviny, stromu popř. poloze v kmeni zobrazuje krabicový graf. Na ose y je vynesena hodnota pevnosti a na ose x označení původu zkušebního tělesa. Graf zobrazuje výsledné hodnoty takto:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Průměr | - zobrazuje průměrnou hodnotu |
| <input type="checkbox"/> Průměr ± SmOdch | - průměr ± směrodatná odchylka |
| <input type="checkbox"/> Průměr ± 1,96*SmOdch | - průměr ± 1,96*směrodatná odchylka |

4.4.1 Statistické zpracování dat

- Průměr souboru

Je definován jako průměrná hodnota vlastností výrobku (souboru). Hodnotu souboru nelze určit přesně, z důvodu chyb při měření. Vypočítá se dle vzorce:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

Kde N je rozsah souboru, μ průměrná hodnota souboru (*Doležal, 1973*).

- Minimum- min

Je nejmenší položka z výběrových hodnot, značí se: x_{\min} (*Doležal, 1973*).

- Maximum- max

Je největší položka z výběrových hodnot, značí se: x_{\max} (*Doležal, 1973*).

- Medián

Hodnota, která dělí celek na dvě stejně početné poloviny. Značí se \tilde{x} (*Doležal, 1973*).

- Směrodatná odchylka-s (σ)

Určuje, jak moc se liší soubory naměřených hodnot od průměru. Je to druhá odmocnina hodnoty rozptylu. Má velký význam při hodnocení souboru. Vypočítá se dle vzorce:

$$s = \sqrt{s^2}$$

(*Doležal, 1973*).

- Variační koeficient

Je relativní mírou rozptýlení hodnot stanovený v procentech. Vypočítá se dle vzorce:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Kde s je směrodatná odchylka souboru, \bar{x} je celkový průměr

Variabilita vlastností materiálů bývá konstantní. U dřevin se variační koeficient pohybuje pro objemovou hmotnost: okolo 6-9 % (*Doležal, 1973*).

- Regresní přímka

Přímka, která vyjadřuje závislost dvou na sobě závislých výběrů (x, y).

Vyjadřuje ji rovnice:

$$Y = mx + b$$

Kde m je regresní koeficient, b je geometricky prahová hodnota Y pro $x=0$ (*Doležal, 1973*).

- Korelační koeficient- r (R)

Je používán v případech, jde-li o lineární závislost.

Čím blíže se nacházejí body k regresní přímce, tím více se blíží hodnoty korelačního koeficientu -1 nebo $+1$ a tím je závislost významnější. Naopak pokud se hodnoty pohybují kolem nuly, je vztah definován jako nezávislý (*Doležal, 1973*).

4.4.2 Použitý software

Textové části bakalářské práce byly zpracovány v textovém editoru Microsoft Word 2010. Naměřené hodnoty byly zaznamenávány pomocí tabulkového editoru Microsoft Excel 2010, kde byla vytvořena část grafů a tabulek.

Po rozklíčování zaznamenaných dat byly provedeny výpočty statistických veličin a znázornění hodnot do jednotlivých grafů programem Statistica 10 od firmy StatSoft.

5. Výsledky

V závěrečné části práce jsou zaznamenána všechna měření provedená na zkušebních tělesech dubu letního a dubu červeného získaných z mostecké výsypky Větrák. Statistické veličiny jsou zde shrnuty v tabulkách, doplněné o grafy znázorňující závislosti měřených fyzikálních a mechanických veličin.

5.1 Fyzikální vlastnosti

Z výpočtů byly vyřazeny 2 vzorky, protože došlo k chybě při měření a následně by byly ovlivněny výsledky zkoušek.

5.1.1 Hustota dřeva

Hustota dřeva byla přepočtena na hustotu o 12% vlhkosti z důvodu porovnání naměřených hodnot.

Měření proběhlo na několika úrovních. První skupinou byla hustota jednotlivých druhů dřevin. Druhou skupinou hodnot byla odlišnost stromů dřevin dubu letního a dubu červeného a třetí skupinou bylo porovnání závislosti hustoty na poloze vzorků od dřeně u obou dřevin. V tabulkách a grafech je možno vidět porovnání těchto skupin vzorků a jejich odlišnosti.

5.1.1.1 Hustota dřeva dubu letního a dubu červeného

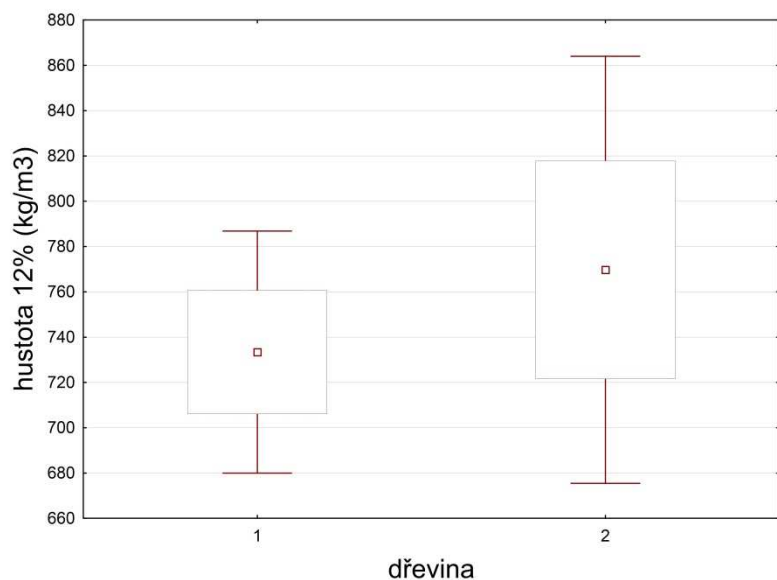
Vyhodnocení naměřených hodnot hustoty při 12% vlhkosti dřeva pro dub červený a dub letní je uvedeno v Tab. č. 1. Tyto vzorky byly nadále použity pro určení pevnosti v tlaku ve směru vláken.

Průměrná hodnota hustoty dřeva dubu červeného je $733,37 \text{ kg/m}^3$. Dub letní dosahoval průměrných hodnot hustoty $770,8 \text{ kg/m}^3$. Naměřená hustota dřeva dubu červeného je o $38,9 \text{ kg/m}^3$ menší, než hustota dubu letního.

Názorné zobrazení rozdílných hodnot je patrné z krabicového grafu č.1.

Tabulka č. 1 Hodnoty hustoty při 12 % vlhkosti obou dřevin

Dřevina	Počet [ks]	Průměr [kg/m ³]	Medián [kg/m ³]	Min [kg/m ³]	Max [kg/m ³]	s [kg/m ³]	v [%]
dub červený	399	733,37	731,75	634,41	820,03	27,26	3,72
dub letní	379	770,80	767,50	673,29	980,17	50,19	6,51



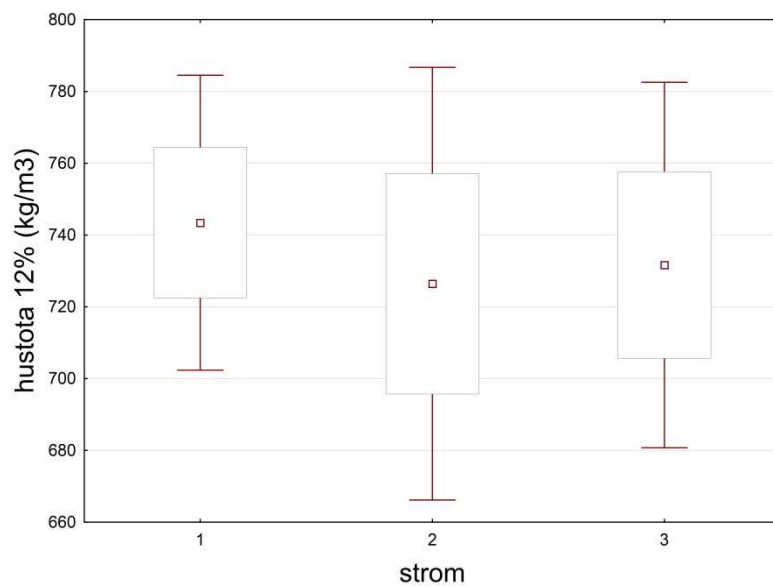
Graf č. 1 Hustota dřeva při 12% vlhkosti dubu červeného (1) a dubu letního (2)

V tab. č. 2 a tab. 3 je zaznamenán souhrn hodnot jednotlivých stromů dubu červeného a dubu letního. Graf č. 2 zobrazuje, že hodnoty hustoty jednotlivých stromů dubu červeného si jsou velice podobné. Naopak průměrná hustota stromů dubu letního zobrazená v grafu č. 3 se liší v případě 5. a 6. stromu o 86,12 kg/ m³, což není zanedbatelný rozdíl.

Hodnota směrodatné odchylky dubu letního (viz. Tab. č. 1) dokazuje mnohem větší proměnlivost hustoty oproti dubu červenému.

Tabulka č. 2 Hodnoty hustoty při 12 % vlhkosti jednotlivých stromů dubu červeného

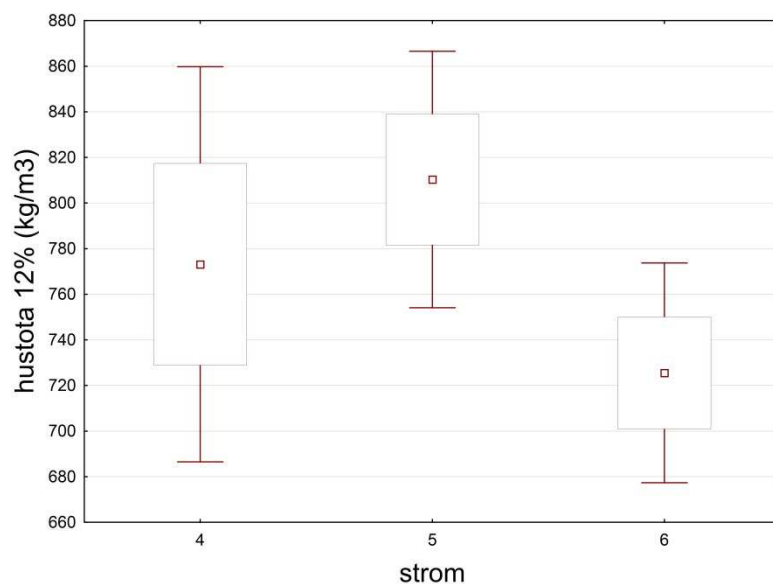
Strom	Počet [ks]	Průměr [kg/m ³]	Medián [kg/m ³]	Min [kg/m ³]	Max [kg/m ³]	s [kg/m ³]	v [%]
1	120	743,43	742,79	692,51	791,91	20,97	2,82
2	139	726,43	727,30	666,83	820,03	30,73	4,23
3	140	731,64	729,07	634,41	798,37	25,97	3,55



Graf č. 2 Hustota dřeva jednotlivých stromů dubu červeného při 12% vlhkosti

Tabulka č. 3 Hodnoty hustoty při 12 % vlhkosti jednotlivých stromů dubu letního

Strom	Počet [ks]	Průměr [kg/m ³]	Medián [kg/m ³]	Min [kg/m ³]	Max [kg/m ³]	s[kg/m ³]	v [%]
4	139	774,62	768,18	677,64	980,17	47,42	6,12
5	120	811,64	814,70	731,92	967,99	31,99	3,94
6	120	725,52	723,89	673,29	802,56	24,57	3,39



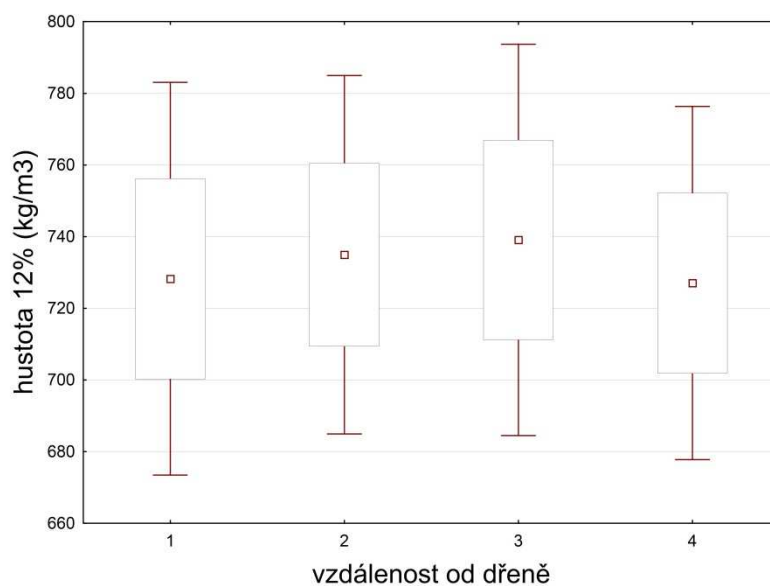
Graf č. 3 Hustota dřeva jednotlivých stromů dubu letního při 12% vlhkosti

5.1.1.2 Proměnlivost hustoty dubu letního a dubu červeného

Proměnlivost hustoty v závislosti na poloze od dřene pro dub červený je znázorněna v Grafu č. 4. Na první pohled je patrné, že hustota směrem od dřene nejprve roste a v poslední sekci nejdále od dřene dojde k poklesu. V pozici (1), tedy nejbliž dřeni má dub červený hustotu 728,25 kg/m³ a v místě nejdále od dřene (4) je hustota 727,02 kg/m³ (Tab č. 4).

Tabulka č. 4 Hodnoty hustoty při 12 % vlhkosti dubu červeného dle vzdálenosti od dřene

Pozice	Počet [ks]	Průměr [kg/m ³]	Medián [kg/m ³]	Min [kg/m ³]	Max [kg/m ³]	s [kg/m ³]	v[%]
1	120	728,25	727,45	634,41	808,65	27,95	3,84
2	120	734,94	737,05	671,73	805,77	25,51	3,47
3	119	739,09	735,49	669,73	820,03	27,86	3,77
4	40	727,02	730,30	676,73	773,73	25,14	3,46

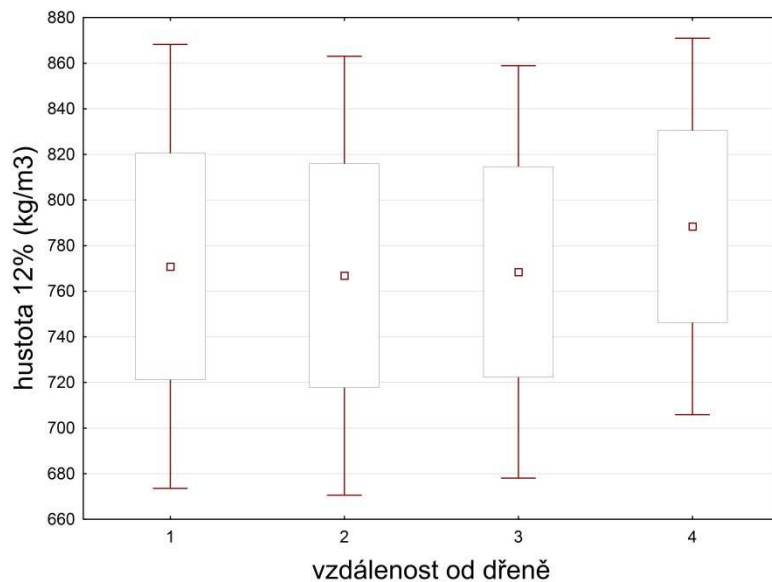


Graf č. 4 Proměnlivost hustoty dubu červeného při vlhkosti 12% dle vzdálenosti od dřene

V případě dubu letního můžeme vidět v grafu č. 5 opačnou závislost proměnlivosti hustoty, než jakou vykazuje dub červený. Hodnota hustoty v prvních dvou částech klesá a ve druhé polovině hustota stoupá. Nejbližší dřeni nabývá hodnoty 772,51 kg/m³ a nejdále od dřene 788,42 kg/m³.

Tabulka č. 5 Hodnoty hustoty při 12 % vlhkosti dubu letního dle vzdálenosti od dřene

Pozice	Počet [ks]	Průměr [kg/m ³]	Medián [kg/m ³]	Min [kg/m ³]	Max [kg/m ³]	s [kg/m ³]	v [%]
1	120	772,51	763,92	681,90	967,99	52,62	6,81
2	120	766,83	763,59	673,29	865,44	49,10	6,40
3	120	770,26	765,40	676,29	980,17	49,85	6,47
4	19	788,42	785,59	708,38	886,78	42,12	5,34



Graf č. 5 Proměnlivost hustoty dubu letního při vlhkosti 12% dle vzdálenosti od dřene

5.2 Mechanické vlastnosti

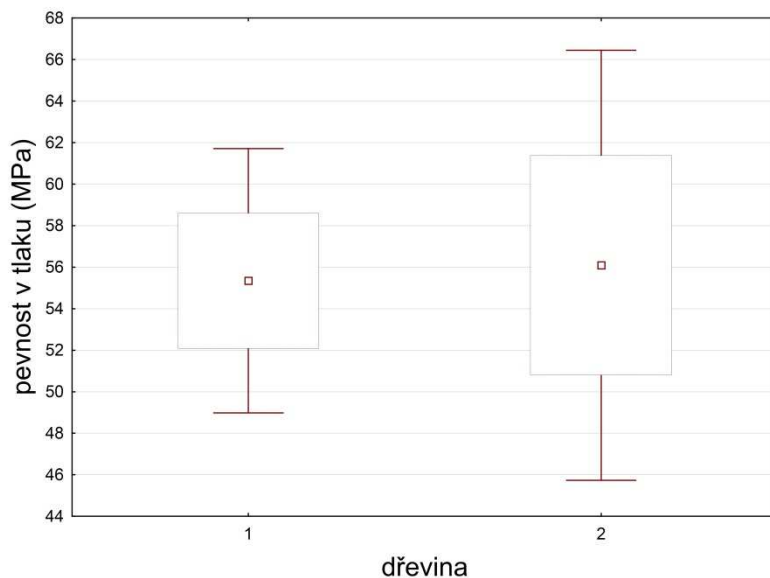
5.2.1 Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

5.2.1.1 Pevnost v tlaku dubu letního a dubu červeného

Výsledné hodnoty pevnosti a údaje popisné statistiky charakterizující obě dřeviny jsou uvedeny v tabulce č. 6. Průměrné hodnoty jsou velice podobné. U dubu červeného byla zjištěna pevnost v tlaku 55,29 MPa a u dubu letního 56,18 MPa. Hodnoty, kterých nabývají jednotlivé dřeviny, jsou zobrazeny v krabicovém grafu č. 6.

Tabulka č. 6 Hodnoty pevnosti v tlaku při 12 % vlhkosti obou dřevin

Dřevina	Počet [ks]	Průměr [MPa]	Medián [MPa]	Min [MPa]	Max [MPa]	s [MPa]	v [%]
dub červený	400	55,29	55,09	33,49	63,75	3,42	6,19
dub letní	379	56,18	56,40	41,19	75,02	5,40	9,61

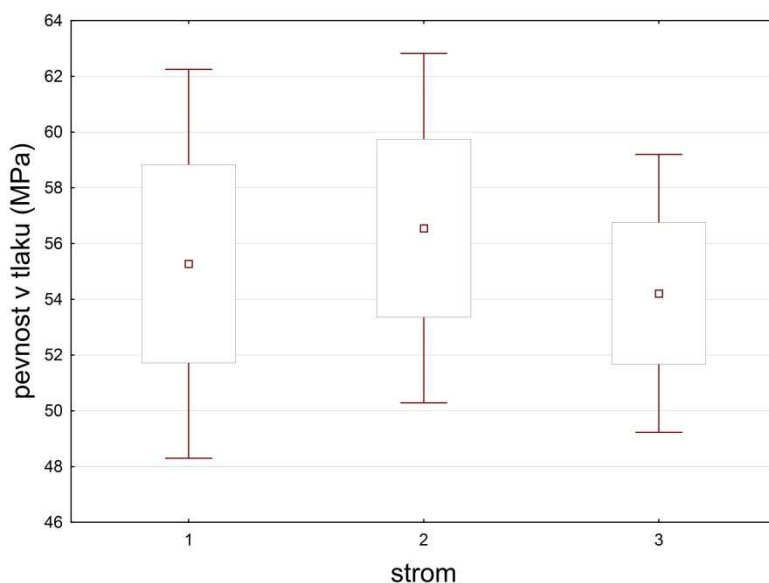


Graf č. 6 Pevnost v tlaku při 12% vlhkosti dubu červeného (1) a dubu letního (2)

Hodnoty pevnosti v tlaku s ostatními údaji popisné statistiky dubu červeného jsou zaznamenány v tabulce č. 7 a zobrazeny v grafu č. 7. Průměrné hodnoty pevnosti jednotlivých stromů se liší s minimálně. Naopak mezní hodnoty se odlišují nejvýrazněji u stromu č. 2. Maximální pevnost je 63,75 MPa a minimální 33,49 MPa. Směrodatná odchylka je 3,73 MPa což znamená, že hodnota minimální pevnosti je spíše výjimečná.

Tabulka č. 7 Hodnoty pevnosti v tlaku při 12 % vlhkosti stromů dubu červeného

Strom	Počet [ks]	Průměr [MPa]	Medián [MPa]	Min [MPa]	Max [MPa]	s [MPa]	v [%]
1	120	55,28	54,80	49,20	63,12	3,56	6,44
2	140	56,39	56,43	33,49	63,75	3,73	6,62
3	140	54,21	54,22	48,42	60,09	2,54	4,69

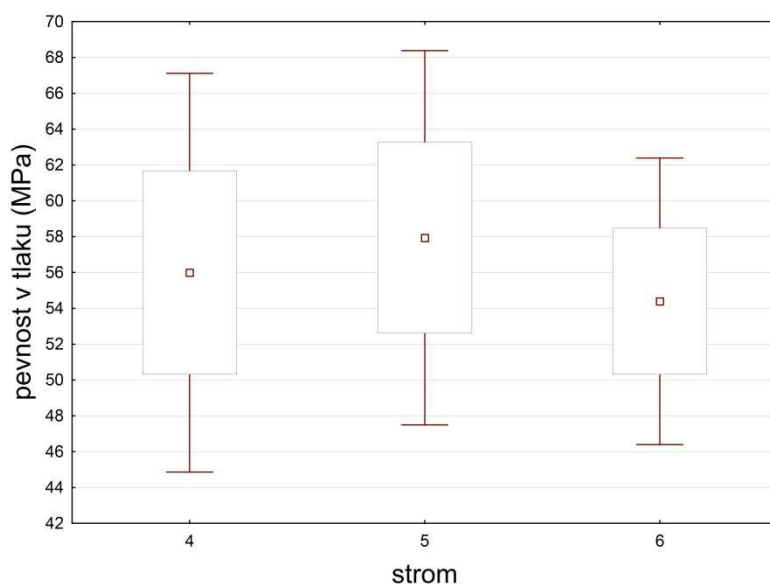


Graf č. 7 Pevnost v tlaku jednotlivých stromů dubu červeného při 12% vlhkosti

Z měření byly vyřazeny dva vzorky dubu letního z důvodu nepřesnosti při měření. Výsledky zkoušky jsou zpracovány v tabulce č. 8. Z grafu č. 8 je zřejmé, že průměrná pevnost v tlaku kolísá mezi stromy v rozmezí 58,02 MPa (strom č. 5) a 54,39 MPa (strom č. 6). Maximum těchto stromů se liší o 4,28 MPa.

Tabulka č. 8 Hodnoty pevnosti v tlaku při 12 % vlhkosti jednotlivých stromů dubu letního

Strom	Počet [ks]	Průměr [MPa]	Medián [MPa]	Min [MPa]	Max [MPa]	s [MPa]	v [%]
4	138	55,99	56,65	42,79	66,96	5,68	10,14
5	120	58,02	57,84	41,35	68,24	5,39	9,29
6	120	54,39	54,06	41,19	62,68	4,08	7,50



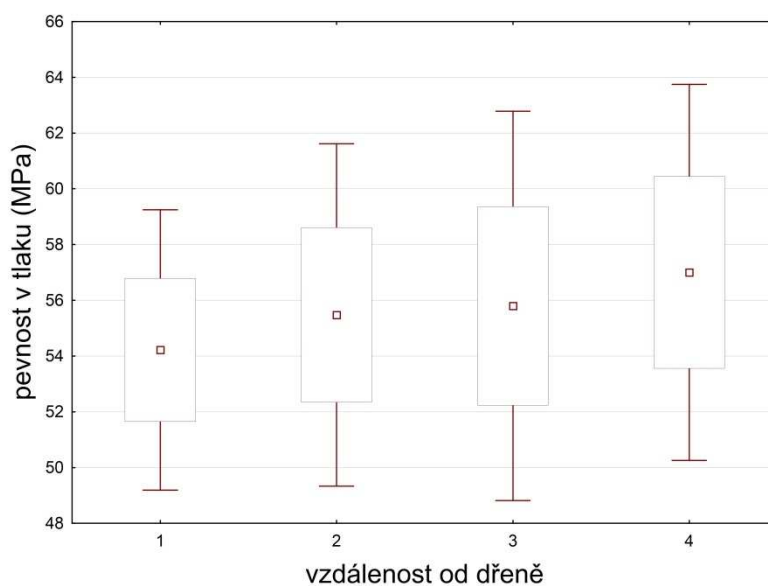
Graf č. 8 Pevnost v tlaku jednotlivých stromů dubu letního při 12% vlhkosti

5.2.1.2 Proměnlivost pevnosti v tlaku dubu letního a dubu červeného

Proměnlivost pevnosti v závislosti na poloze od dřevě dubu červeného je vyhodnocena v tabulce č. 9. Nejnižší pevnost v tlaku je v blízkosti dřevě - 54,22 MPa. Poté pevnost stoupá rovnoměrně směrem ke kambiu, kde má nejvyšší hodnotu z celého průřezu a to 57 MPa.

Tabulka č. 9 Hodnoty pevnosti v tlaku při 12 % vlhkosti jednotlivých stromů dubu červeného

Pozice	Počet [ks]	Průměr [MPa]	Medián [MPa]	Min [MPa]	Max [MPa]	s [MPa]	v [%]
1	120	54,22	54,00	48,42	61,80	2,56	4,73
2	120	55,48	55,33	48,89	63,69	3,13	5,65
3	120	55,61	55,67	33,49	63,75	4,09	7,36
4	40	57,00	57,20	50,28	63,43	3,44	6,04



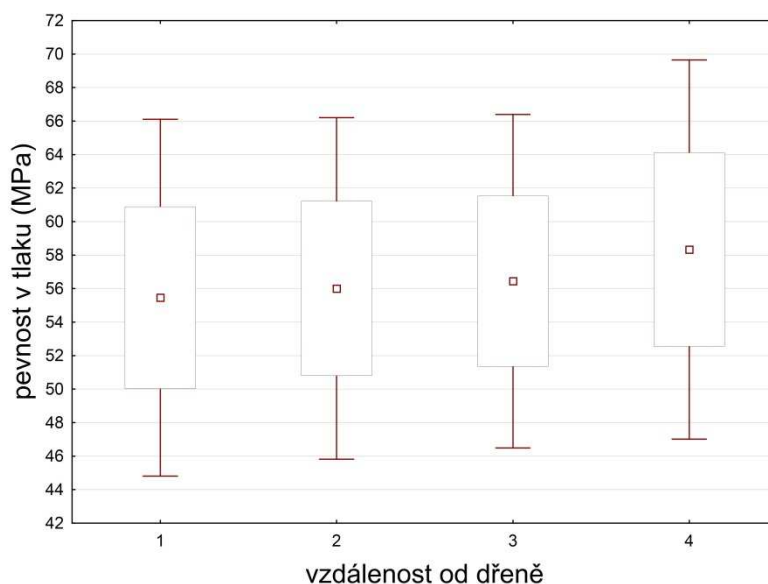
Graf č. 9 Proměnlivost pevnosti v tlaku dubu červeného při vlhkosti 12% dle vzdálenosti od dřevě.

Vypočítané hodnoty závislosti pevnosti na poloze jsou v tabulce č. 10. V grafu č. 10 je opět vidět, že nejnižší pevnost má dub letní v blízkosti dřeně. Hodnota pevnosti je v tomto místě 55,57 MPa. Směrem od dřeně, je v prostřední části hodnota pevnosti skoro stejná a v okrajové část je pevnost nejvyšší.

Proměnlivost pevnosti v závislosti na poloze od dřeně dubu červeného je vyhodnocena v tabulce č. 9. Nejnižší pevnost v tlaku je v blízkosti dřeně- 54,22 MPa. Poté pevnost stoupá rovnoměrně směrem ke kambiu, kde má nejvyšší hodnotu z celého průřezu a to 57 MPa.

Tabulka č. 10 Hodnoty pevnosti v tlaku při 12 % vlhkosti stromů dubu letního

Pozice	Počet [ks]	Průměr [MPa]	Medián [MPa]	Min [MPa]	Max [MPa]	s [MPa]	v [%]
1	120	55,57	55,36	41,19	68,24	5,53	9,96
2	120	56,01	56,04	44,81	66,96	5,20	9,29
3	120	56,60	56,98	41,35	75,02	5,33	9,42
4	19	58,34	57,48	47,71	65,81	5,77	9,90



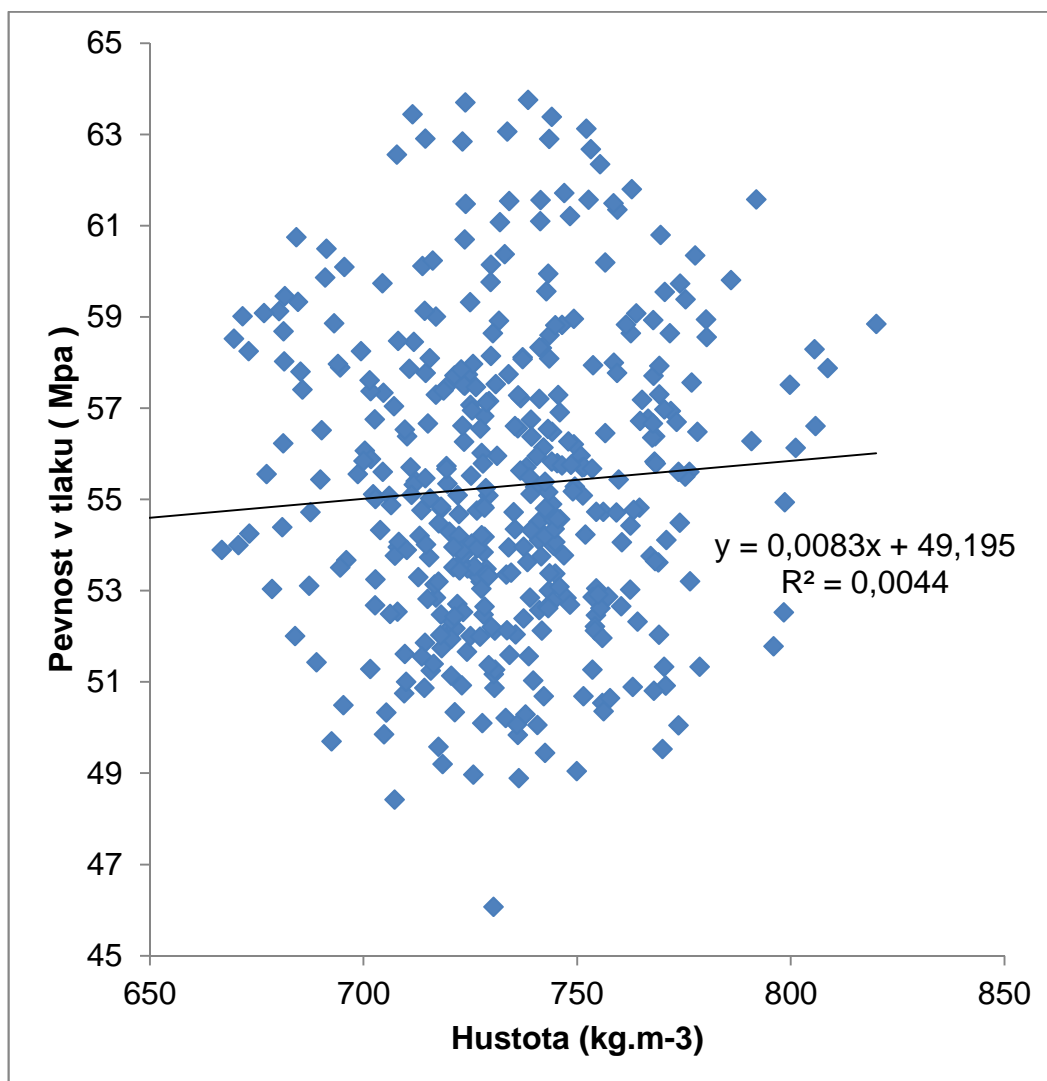
Graf č. 10 Pevnost v tlaku dubu letního při vlhkosti 12% dle vzdálenosti od dřeně.

5.3 Závislost pevnosti na hustotě dřeva

5.3.1 Závislost pevnosti na hustotě dřeva dubu červeného

K výpočtu bylo použito 400 zkušebních těles, ze kterých byl jeden vzorek vyloučen z důvodu chybného měření.

Závislost pevnosti na hustotě je vynesena v grafu lineární regrese č. 11. Proložení bodů regresní přímkou dokazuje, že s rostoucí hustotou roste pevnost přímo úměrně, ale pouze v omezené míře.

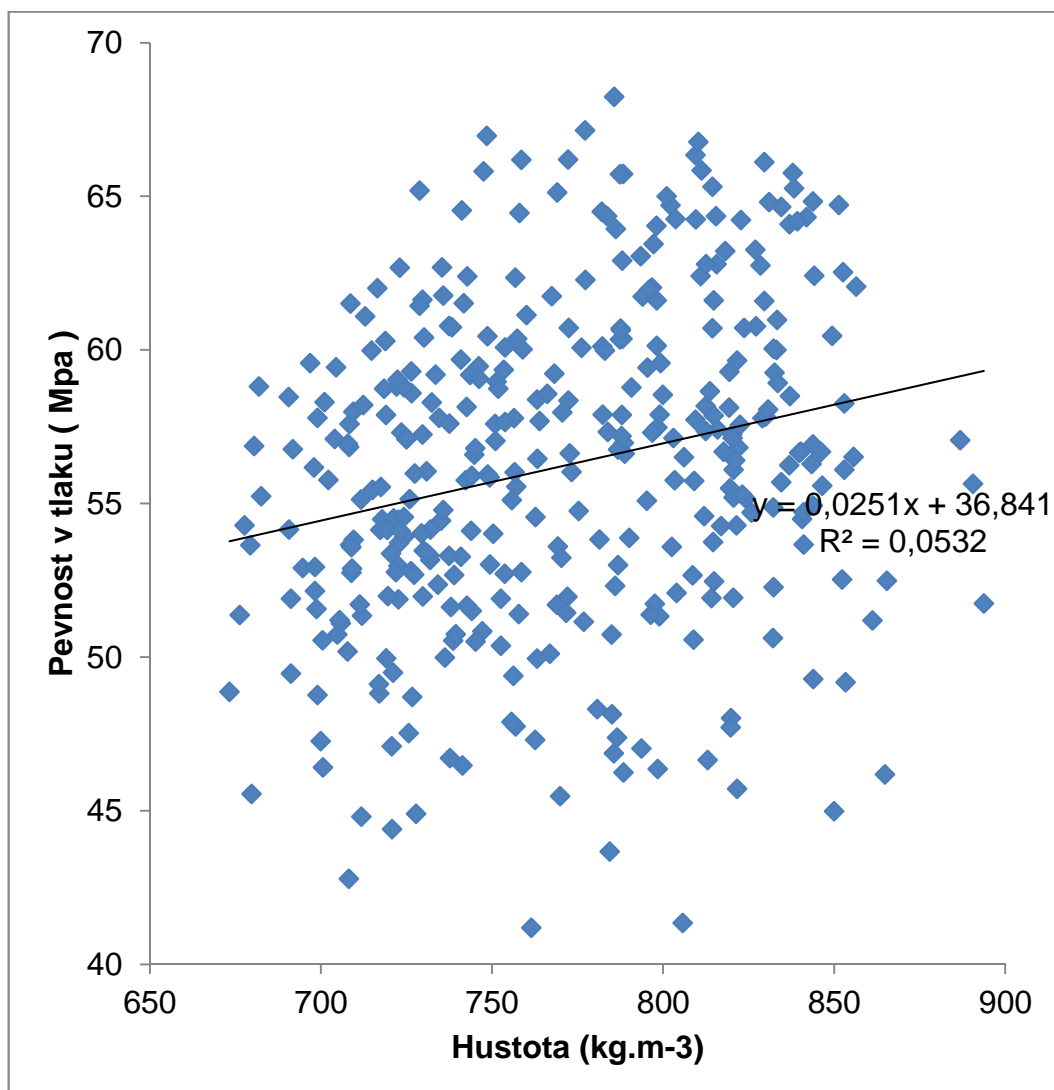


Graf č. 11 Pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro dub červený

Závislosti jednotlivých stromů jsou znázorněny v příloze. U dvou ze tří stromů červeného se projevilo, že hustota a pevnost jsou nepřímo úměrné.

5.3.2 Závislost pevnosti na hustotě dřeva dubu letního

Pro výpočet bylo v případě dubu letního použito 380 vzorků, ze kterých byly 2 vyloučeny. Závislost pevnosti a hustoty zobrazuje graf č. 12. U dubu letního je závislost porovnávaných veličin mnohem větší, než u dubu červeného. S rostoucí hustotou stoupá i pevnost v tlaku. To dokazuje i koeficient spolehlivosti R.



Graf č. 12 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro dub letní

Závislosti jednotlivých stromů jsou součástí přílohy. U všech stromů je závislost hustoty a pevnosti přímo úměrná.

6. Diskuse

6.1 Hustota dřeva dubu letního a dubu červeného

Vypočítaná průměrná hodnota hustoty dřeva dubu červeného je $733,37 \text{ kg/m}^3$ s velice nízkým variačním koeficientem 3,72 %. Lexa (1952) uvádí hustotu dřeva 690 kg/m^3 , Kollmann uvádí hodnotu v rozmezí 640-680 kg/m^3 a Novák (1970) hustotu dřeva 690 kg/m^3 . Všechny hodnoty uvedené v literatuře jsou nižší, nežli naměřené. Až na jeden zdroj autora Tsoumise (1991), který uvádí hustotu dřeva při 10% vlhkosti 836 kg/m^3 .

Tato hodnota je oproti ostatním mnohem větší, ale dokazuje, že je naše měření správné.

Dub letní dosáhl ještě větší průměrné hustoty - 770 kg/m^3 . Variační koeficient s hodnotou 6,51 % poukazuje na větší proměnlivost naměřených hodnot. V literatuře uvádí Novák (1970) rozmezí od 420 do 960 kg/m^3 . V tomto případě naměřená hodnota odpovídá rozmezí, uváděnému v literatuře.

Proměnlivost hustoty v příčném profilu v závislosti na poloze od dřeně se mění nepravidelně.

6.2 Porovnání pevnosti v tlaku dubu letního a dubu červeného

Jedním z nejhlavnějších výpočtů této práce byla pevnost v tlaku souběžně s vlákny při 12% vlhkosti. Při porovnání výsledků zjistíme, že dub letní dosáhl průměrné hodnoty pevnosti v tlaku 56,18 MPa a dub červený 55,29 MPa. To činí rozdíl 0,98 MPa. Dub letní dosáhl sice větší maximální pevnosti (75,02 MPa), ale hodnota variačního koeficientu 9,61 % vypovídá o větší proměnlivosti pevnosti, než u dubu červeného. Větší rozdíly hodnot jsou vidět mezi jednotlivými stromy obou dřevin.

6.3 Průběh pevnosti po průřezu kmene od dřene ke kambiu

Tato zkouška ukazuje, jak se mění pevnost v tlaku v závislosti na vzdálenosti od dřene. Výsledky (viz. Tab. č. 9) u dubu červeného dokazují, že hustota roste pozvolně od dřene směrem ke kambiu. Rozdíl mezi středem a vzorky z blízkosti kambia je 2,78 MPa což je nárůst pevnosti o 4,88 %. Uprostřed průřezu zůstávají hodnoty pevnosti stejné. Rozdíl u dubu červeného je skoro stejný - 2,77 MPa.

Tyto hodnoty vypovídají o tom, že pevnost v závislosti na poloze se mezi dubem letním a dubem červeným neliší.

6.4 Porovnání pevnosti v tlaku zkoumaných dřevin s literaturou

Při porovnání průměrných hodnot pevnosti dubu letního (56,18 MPa) i dubu červeného (55,29 MPa), bylo zjištěno, že jsou skoro stejné.

Při porovnání hodnot s ostatními autory, např. Perelygin (1971), který uvádí hodnotu hustoty pro dub 57,5 MPa, vyplývá minimální odlišnost mezi měřením a literaturou. Novák (1970) uvádí pevnost dubu letního 61 MPa, Lexa (1952) pevnost dubu červeného 39 MPa a dubu letního 46-57 MPa. Jedna zahraniční studie od autora Kretschmanna (URL8) uvádí hodnotu dubu červeného 45 MPa.

6.5 Závislost pevnosti na hustotě

Při porovnání pevnosti v tlaku podél vláken s hustotou dřeva měřenou při 12% vlhkosti dubu červeného vyšlo najevo, že i když se jedná o přímo úměrně závislé veličiny, jsou body grafu rozmístěny poměrně daleko od regresní přímky a korelační koeficient $R^2=0,0044$ se blíží spíše 0, můžeme dle Doležala (1973) považovat závislost méně významnou. Závislost u dubu letního je dle korelačního koeficientu $R^2=0,0532$ o trochu výraznější, ale nelze jí považovat za významnou.

Požgaj (1997) ve své knize uvádí, že ne vždy musí být závislost pevnosti na hustotě významná, protože ji ovlivňuje nejen hustota dřevní hmoty, ale i stavba dřeva.

7. Závěr

V této bakalářské práci byla zjišťována pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny při vlhkosti 12%. Měření proběhlo celkem na 780 vzorcích dubu letního a dubu červeného. Označené vzorky byly rozděleny do několika částí. Dle dřeviny, na jednotlivé stromy a dle polohy od dřeně.

Po zaznamenání hmotnosti a rozměrů zkušebních těles byla stanovena hustota dřeva pro jednotlivé segmenty vzorků. Dub červený měl průměrnou hustotu $733,37 \text{ kg/m}^3$ a dub letní $770,8 \text{ kg/m}^3$. Při porovnání hodnot mezi sebou jsme zjistili, že dub červený má hustotu vyšší. Celkově při porovnání s údaji v literatuře, dosahují vyšších hodnot.

Dále byly zkušební vzorky podrobeny destruktivní zkoušce, měření pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny. Po zkoušce byly vzorky vysušeny, zváženy a změřená pevnost byla přepočtena na pevnost v tlaku při 12 % vlhkosti. Pevnost v tlaku dubu červeného byla $55,29 \text{ MPa}$ a průměrná pevnost dubu letního $56,1 \text{ MPa}$. Po porovnání dřevin bylo zjištěno, že dub letní má o 1 MPa větší pevnost v tlaku. Následně byly vypočtené hodnoty porovnány s literaturou a výsledkem je zjištění, že naměřené hodnoty jsou nadprůměrné. Z tohoto srovnání hustoty dřeva a pevnosti v tlaku vyplývá, že místo původu (výsypka Větrák) nijak neovlivnilo růst ani vlastnosti dřevin. Do budoucna můžou mít tyto poznatky vliv na zalesňování výsypek.

Také byla porovnávána závislost hustoty na poloze od dřeně. U dubu červeného byla určena nejnižší pevnost $54,22 \text{ MPa}$ v blízkosti dřeně a poté postupně stoupala až ke kambiu, kde byla naměřena hodnota 57 MPa . Podobný vývoj se projevil i u vzorků z dubu letního, jen s tím rozdílem, že v prostředních dvou sekcích byla pevnost skoro stejná.

Poslední zjišťovanou závislostí byla závislost pevnosti v tlaku na hustotě dřeva. U dubu červeného, se závislost pevnosti na hustotě neprojevila jako statisticky významná. Dokonce u dvou stromů byla závislost nepřímá. U dubu letního byla zjištěná závislost o něco větší, ale ani u této dřeviny nelze považovat závislost za významnou.

Všechny tyto zkoumané veličiny a závislosti využijeme při výběru dřeva pro konstrukční účely.

8. Seznam literatury a použitých zdrojů

Literatura:

1. BAŽANT, Václav. *Disertační práce, Růstové vlastnosti dřevin na výsypkových stanovištích Mostecké*. Praha, 2010.
2. DOLEŽAL, J.: *Matematickostatistické metody v dřevařském průmyslu*. Praha: SNTL, 1973. 204 s.
3. KOLLMANN Franz; WILFRED. A.Coté. *Principles of Wood Science and Technology: Solid Wood*. 2. vydání. Berlin: Springer-Verlag, 1968, 592s.
4. KREMER, Bruno P. *Stromy: v Evropě zdomácnělé a zavedené druhy*. Praha: Ikar, 1995, 287 s. ISBN 80-717-6184-2
5. LEXA, Jaroslav. et al. *Mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva*. Bratislava: Roh, 1952. 432s.
6. NOVÁK, Vladimír et al. *Dřevařská technická příručka*. Praha: SNTL, 1970. 748 s. ISBN 80-247-0346-7
7. POŽGAJ, Alexander; CHOVANEC Dušan; KURJATKO, Stanislav a BABIAK, Marián. *Štruktúra a vlastnosti dřeva*. Bratislava: Príroda a.s.,1997. 485s. ISBN 80-07-00960-4.
8. ŘEHOUNEK, Jiří; ŘEHOUNKOVÁ. Klára a PRACH Karel.*Ekologická obnova území narušených těžbou surovin a průmyslovými deponiemi*. České Budějovice: Protisk. SNTL, 2010. 172 s. ISBN 978-80-87267-09-9
9. ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila; GANDELOVÁ, Libuše; a Petr HORÁČEK. *Nauka o dřevě*. 2., nezměn. vyd. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002 c 1996, 176 s. ISBN 978-80- 7157-577-12008.
10. TSOUMIS, George. *Science and technology of wood: Structure, Properties, Utilization*. New York: Capman and Hall, 1991. 494 s. ISBN 0-412-07851-1
11. VĚTVIČKA, Václav. *Evropské stromy*. 2. vydání. Praha: Polygrafia, 1999, 216 s. ISBN 80-7151-182-x
12. WAGENFÜHER, Rudi. *Dřevo: obrazový lexikon*. Praha: Grada Publishing a. s., 2002. 348 s. ISBN 80-247-0346-7

13. PERELYGIN, L. ; UGOLEV, B.N.. *Woodscience*. Moscow. Lesnaja Promischlenost. 1971. 288s.

Normy:

1. ČSN 49 0108. Drevo: Zisťovanie hustoty. Praha: ÚNM,1993. 5 s
2. ČSN 49 0110.Drevo: Medza pevnosti v tlaku v smere vlákien. Praha: ÚNM,1980. 3 s.

Webové stránky:

1. URL1:Plantes at design (online) [cit. 2013.04.15], dostupné z <<http://www.plantes-et-design.com/Quercus-rubra--arbre-9.html> >
2. URL2:Památné stromy (online) [cit. 2013.04.10], dostupné z <<http://www.krusnohorsky.cz/2009/05/23/pamatne-stromy-ustecka/>>
3. URL3: Dendrologie (online) [cit. 2013.04.10], dostupné z <<http://databaze.dendrologie.cz/obrazek.php?obrazek=16135>>
4. URL4: Herbář (online) [cit. 2013.04.10], dostupné z <http://www.e-herbar.net/main.php?g2_itemId=18890>
5. URL5: ZipcodeZoom (online) [cit. 2013.04.10], dostupné z <http://zipcodezoo.com/Plants/Q/Quercus_rubra/>
6. URL6: Zahrada-sk (online) [cit. 2013.04.10], dostupné z <<http://www.zahrada-sk.com/foto/sk/27557/>>
7. URL7: Florum (online) [cit. 2013.04.10], dostupné z <<http://www.florum.fr/img/Q/6/5/1616-Quercus-rubra.jpg>>
8. URL8: KRETSCHMANN, Dave.Mechanical Properties of Wood (online) [cit. 2013.04.25], dostupné z <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr190/chapter_05.pdf>

8.1 Seznam obrázků, grafů, tabulek

Seznam obrázků:

Obr. č 1 Habitus (URL 2).....	12
Obr. č 2 Listy (URL 3).....	12
Obr. č 3 Plody URL 4).....	12
Obr. č 4 Habitus (URL 7).....	13
Obr. č 5 Listy (URL 1).....	13
Obr. č 6 Plody (URL 6).....	13
Obr. č 7 působení sil pevnost v tlaku (Požgaj et al., 1997).....	16
Obr. č 8 rozdělení kmene do sekcí dle výšky (Brich).....	20
Obr. č 9 rozdělení kmene dle vzdálenosti od dřeně (Brich).....	21

Seznam tabulek:

Tabulka č. 1 Hodnoty hustoty obou dřevin.....	29
Tabulka č. 2 Hodnoty hustoty jednotlivých stromů dubu červeného	29
Tabulka č. 3 Hodnoty hustoty jednotlivých stromů dubu letního.....	30
Tabulka č. 4 Hodnoty hustoty dubu červeného dle vzdálenosti od dřeně	31
Tabulka č. 5 Hodnoty hustoty dubu letního dle vzdálenosti od dřeně	32
Tabulka č. 6 Hodnoty pevnosti v tlaku při obou dřevin	33
Tabulka č. 7 Hodnoty pevnosti v tlaku jednotlivých stromů dubu červeného	34
Tabulka č. 8 Hodnoty pevnosti v tlaku jednotlivých stromů dubu letního	35
Tabulka č. 9 Hodnoty pevnosti v tlaku jednotlivých stromů dubu červeného	36
Tabulka č. 10 Hodnoty pevnosti v tlaku jednotlivých stromů dubu letního	37

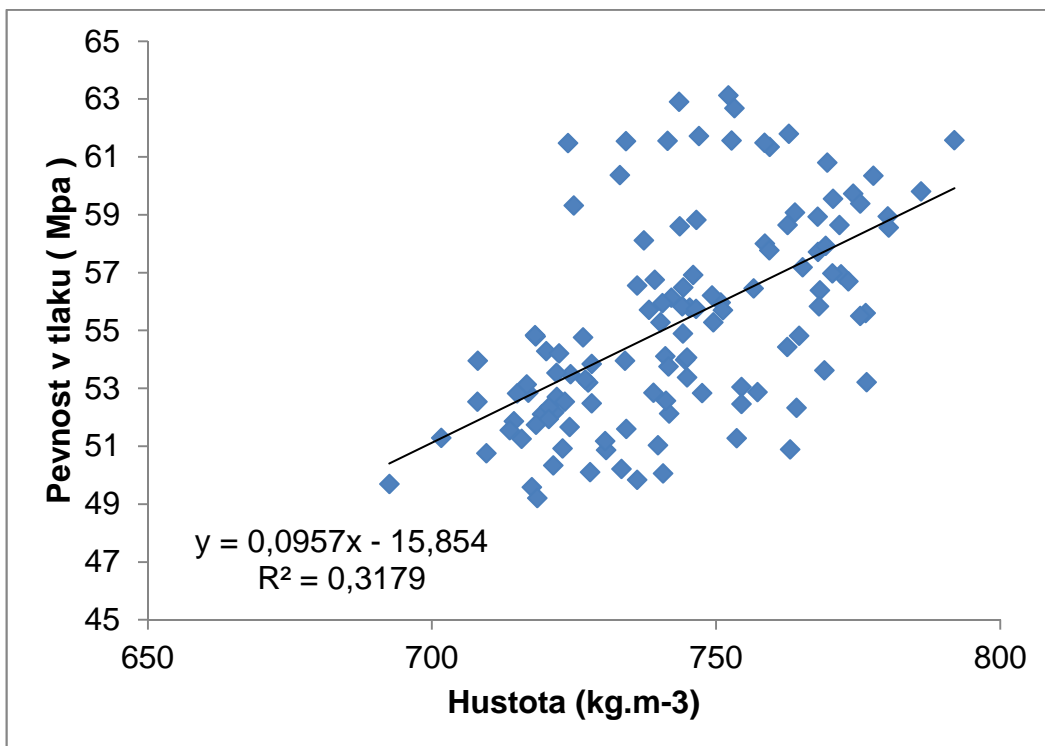
Seznam grafů:

Graf č. 1 Hustota dřeva dubu červeného (1) a dubu letního (2)	29
Graf č. 2 Hustota dřeva jednotlivých stromů dubu červeného	30
Graf č. 3 Hustota dřeva jednotlivých stromů dubu letního	30
Graf č. 4 Proměnlivost hustoty dubu červeného dle vzdálenosti od dřeně.....	31
Graf č. 5 Proměnlivost hustoty dubu letního dle vzdálenosti od dřeně.....	32
Graf č. 6 Pevnost v tlaku dubu červeného (1) a dubu letního (2)	33
Graf č. 7 Pevnost v tlaku jednotlivých stromů dubu červeného	34
Graf č. 8 Pevnost v tlaku jednotlivých stromů dubu letního	35
Graf č. 9 Proměnlivost pevnosti v tlaku dubu červeného dle vzdálenosti od dřeně.	36
Graf č. 10 Pevnost v tlaku dubu letního při vlhkosti 12% dle vzdálenosti od dřeně.	37
Graf č. 11 Pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro dub červený	38
Graf č. 12 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro dub letní.....	39

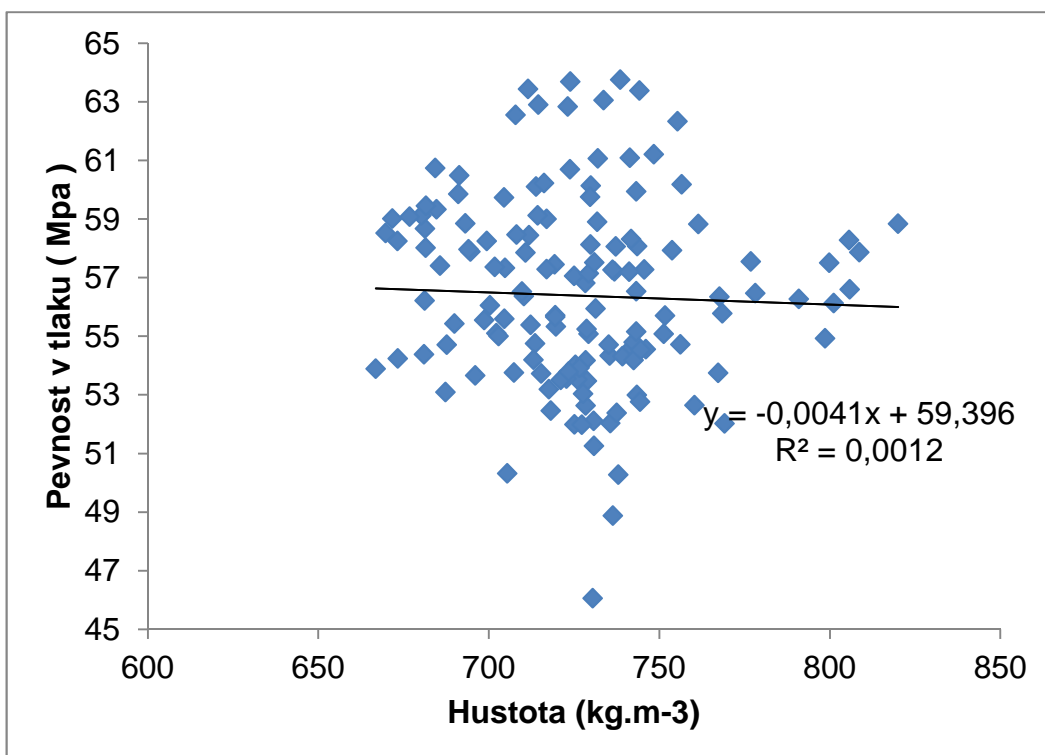
9. Přílohy

Seznam příloh:

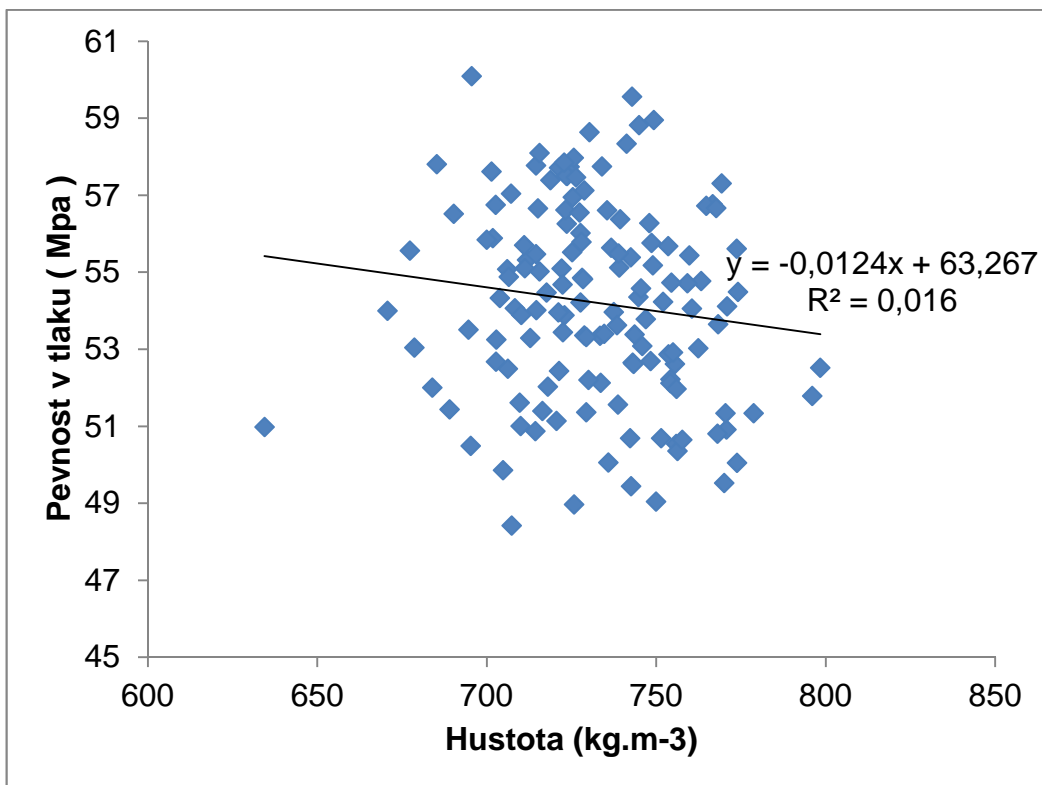
Graf č 1 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 1. strom.....	47
Graf č 2 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 2. strom.....	47
Graf č 3 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 3. strom.....	48
Graf č 4 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 4. strom.....	48
Graf č 5 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 5. Strom	49
Graf č 6 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 6. strom.....	49



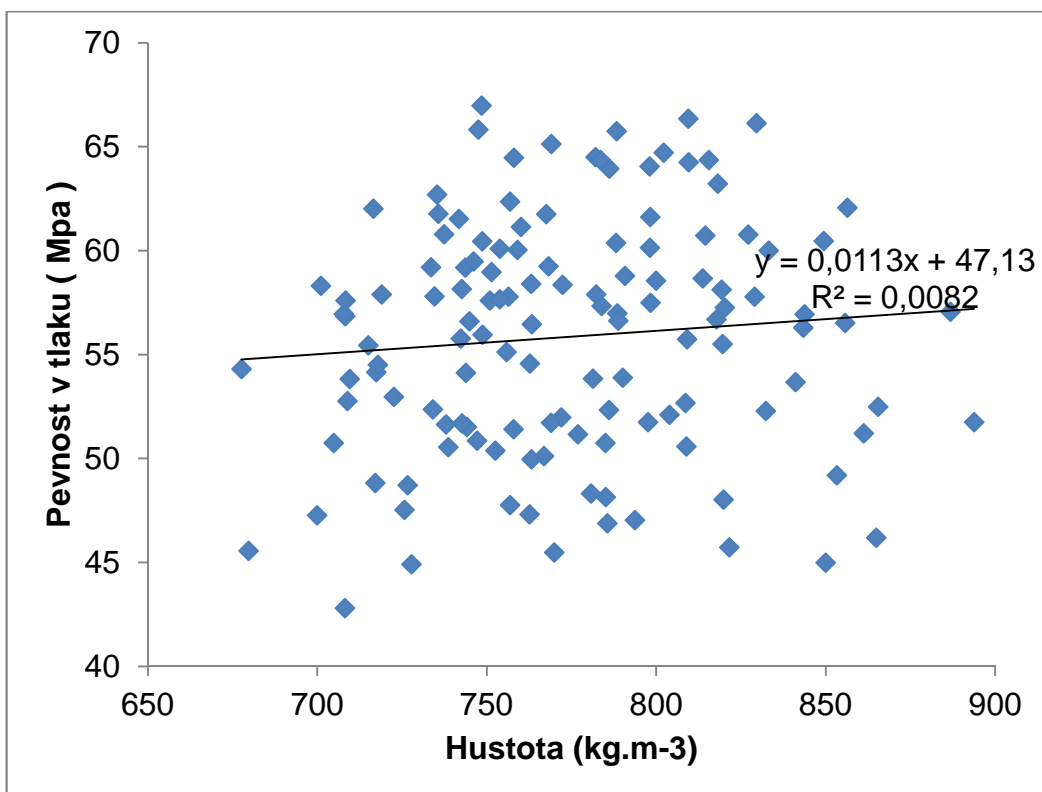
Graf č 1 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 1. strom



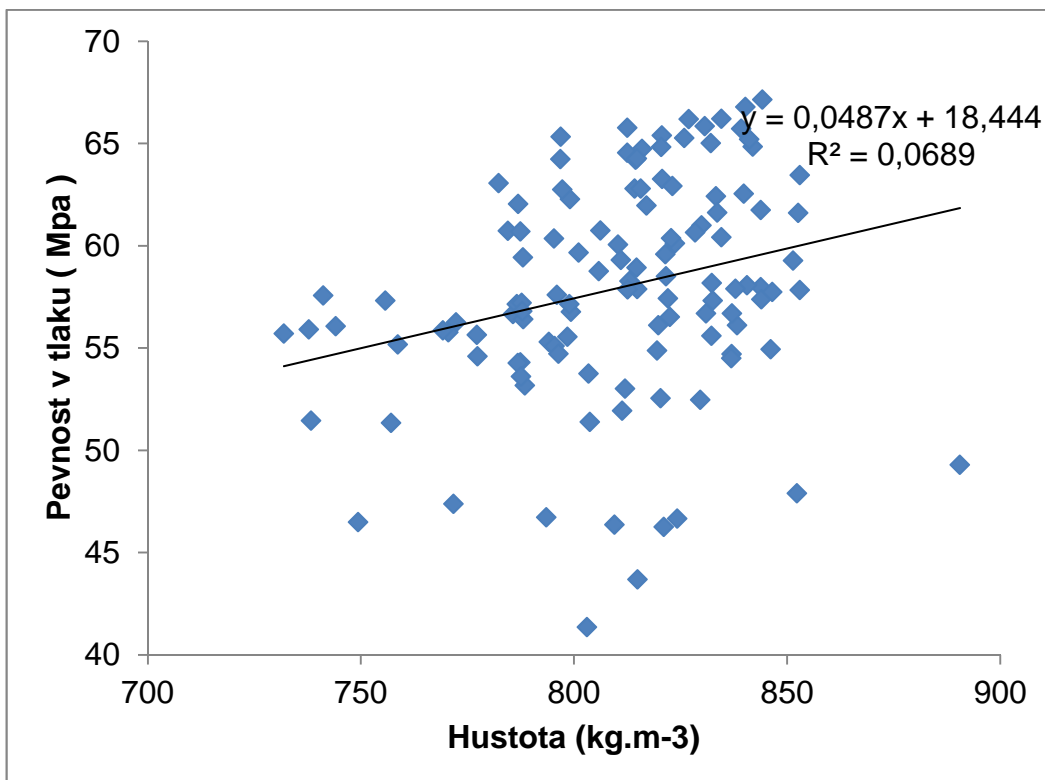
Graf č 2 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 2. strom



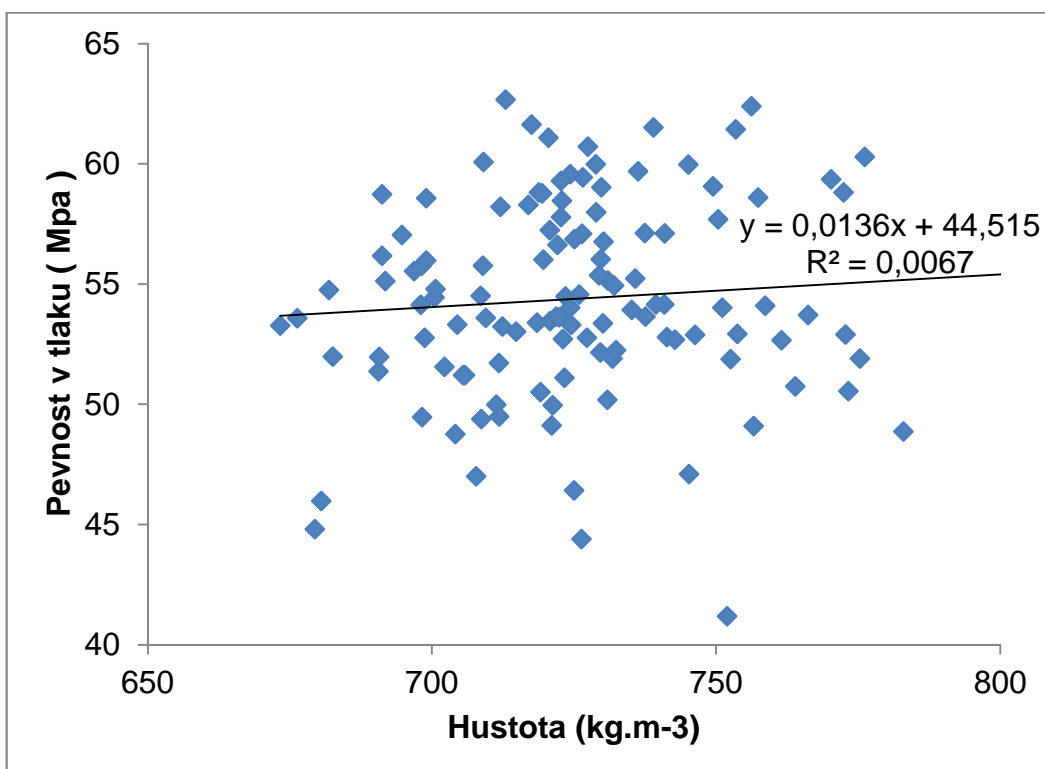
Graf č 3 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 3. strom



Graf č 4 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 4. strom



Graf č 5 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 5. Strom



Graf č 6 pevnost v tlaku v závislosti na hustotě pro 6. strom