

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva

**Posouzení hustoty dřeva borovice Murrayovy z oblasti  
severočeských výsypek**

Bakalářská práce

Autor: Martin Jelen

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

PRAHA 2014

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra základního zpracování dřeva

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jelen Martin

Dřevarství

Název práce

**Posouzení hustoty dřeva borovice Murrayovy z oblasti severočeský výsypek**

Anglický název

**Evaluation of wood density of Murray pine from the North Bohemia mine dumps**

### Cíle práce

- 1) Stanovit hustotu dřeva borovice Murrayovy z oblasti severočeských výsypek.
- 2) Srovnat zjištěné hodnoty s údaji dosahovanými v oblastech původního rozšíření.
- 3) Dosažené hodnoty porovnat s domácími jehličnatými dřevinami.
- 4) Zhodnotit variabilitu hustoty v rámci kmene i mezi jednotlivými stromy.

### Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o dřevině a posuzované vlastnosti.
- 2) Normalizovanými postupy stanovit hustou dřeva.
- 3) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.

### Harmonogram zpracování

duben až srpen 2013 - výroba zkušebních těles, zpracování literární rešerše

září až prosinec 2013 - měření vlastností a zpracování dat

leden až březen 2014 - tvorba vlastní práce

## Rozsah textové části

30 - 40 stran textu

## Klíčová slova

dřevo, vlastnosti, hustota, borovice Murrayova, variabilita, výsypky

---

## Doporučené zdroje informací

- ČSN 49 0108. Zistovanie hustoty pri fyzikálnych a mechanických skúškach. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993. 5 s.
  - POŽGAJ A., CHOVANEC D., KURJATKO S., BABIAK M. 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., NEČESANÝ V., PACLT J., TESAŘOVÁ M., ŠTOFKO J. Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.
  - WAGENFÜHR R. Holzatlas. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000. 707 s.
  - NOVÁK V. Dřevořádková technická příručka. Praha: SNTL, 1970. 748 s.
- 

## Vedoucí práce

Zeidler Aleš, doc. Ing., Ph.D.

## Termín odevzdání

duben 2014

---

Elektronicky schváleno dne 29.7.2013

**prof. Ing. Štefan Barčík, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30.7.2013

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan fakulty

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma posouzení hustoty dřeva borovice Murrayovy z oblasti severočeských výsypek vypracoval samostatně pod vedením doc. 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 20. 4. 2014

.....

## **Poděkování:**

Chtěl bych touto formou poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D.

Dále bych chtěl poděkovat Sokolovské uhelné a.s. za poskytnutý materiál, a také děkuji za podporu svým blízkým.

## Abstrakt:

Tato práce se zabývá stanovením hustoty dřeva borovice Murrayovy (*Pinus Murrayana*) z oblasti severočeských výsypek. Hustota dřeva byla stanovena podle normy ČSN 49 0108 při vlhkosti 12 %. Naměřená průměrná hodnota hustoty byla  $493 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Liší se od hodnot, jakých dřevo dosahuje v původním areálu rozšíření. V přirozeném areálu dosahuje dřevo hustoty menší, než jaké hodnoty hustoty byly naměřeny v oblasti severočeských výsypek. V porovnání hustoty dřeva borovice Murrayovy s domácimi dřevinami byly zjištěny rozdílné hustoty. Borovice Murrayova s porovnání se smrkem ztepilým a jedlí bělokorou dosahuje vyšší hustoty. Při porovnání s borovicí lesní borovice Murrayova dosahuje hustoty nižší. Bylo zjištěno, že se hustota dřeva mění v závislosti na vertikální a horizontální poloze v kmeni. Ve vertikální poloze v kmeni hustota dřeva klesá s rostoucí výškou v kmeni. V horizontální poloze v kmeni hustota dřeva klesá s rostoucí vzdáleností od dřevě kmene.

Klíčová slova: dřevo, vlastnosti, hustota, borovice Murrayova, variabilita

This work deals with the determination of wood density Murray pine (*Pinus Murrayana*) from north Bohemian dumps. Wood density was determined according to ČSN 49 0108 at 12% moisture. The measured average density was  $493 \text{ kg m}^{-3}$ . They differ from the values, which in the original timber reaches of the range. The natural range reaches wood density less than the density values were measured in north dumps. Compared pine wood density Murray with native species were identified different densities. Pine Murray s compared to Norway spruce and silver fir achieves higher density. When compared with Scots pine pine Murrayova achieves lower density. It was found that the density of the wood varies depending on the vertical and horizontal position in the trunk. In a vertical position in the stem wood density decreases with increasing height in the trunk. In the horizontal position in the stem wood density decreases with increasing distance from the marrow stem.

Keywords: wood, properties, density, pine Murray, variability

## Obsah

1. ÚVOD .....	9
2. CÍLE.....	10
3. Literární přehled.....	11
3.1 Rod borovice .....	11
3.2 Borovice pokroucená ( <i>Pinus contorta</i> ) .....	11
3.3 Poddruhy borovice pokroucené.....	13
3.4 Introdukce borovice pokroucené do ČR.....	14
3.5 Dřevo borovice pokroucené .....	15
3.6 Výsypka Antonín u Sokolova.....	17
3.7 Hustota dřeva.....	18
3.8 Rozdělení hustoty .....	19
3.9 Proměnlivost hustoty a vliv polohy v kmeni na hustotu dřeva. ....	21
3.10 Popis metody pro měření hustoty .....	21
3.11 Vlhkost.....	22
3.12 Metody stanovení vlhkosti.....	23
4. Metodická část .....	23
4.1 Popis lokality .....	23
4.2 Příprava vzorků. ....	24
4.3 Vybírání vzorků.....	24
4.4 Kódovací systém .....	24
4.5 Postup měření .....	25
4.6 Statistické vyhodnocení.....	26
5. Výsledky .....	27
6. Diskuze.....	29
7. Závěr .....	31
8. Literatura: .....	33

9. Přílohy:.....	36
10. Seznam tabulek, obrázků a grafů.....	38



## 1. ÚVOD

Dřevo je jeden z nejdůležitějších přírodních materiálů, který hraje už od nepaměti důležitou roli v našem životě. Už od pravěku ho lidé používali na jednoduché nástroje a také při objevu ohně hrálo důležitou úlohu. Dřevo je pevný lehký materiál, proto se využívá častěji než jiné další stavební materiály, které jsou mnohonásobně těžší. Je ceněno z mnoha důvodů, hlavně pro řadu dobrých vlastností. Mezi výhody dřeva patří, nízká hustota, dobrá opracovatelnost, dokáže snášet velké mechanické zatížení (Čunderlík, 2009). Díky svojí struktuře má dobré izolační vlastnosti. Ceněné je také pro dobré dekorační vlastnosti. Pro výborné rezonanční vlastnosti se využívá v hudebním průmyslu pro výrobu hudebních nástrojů. Jak už to bývá, tak i dřevo má své nedostatky, na které se musí při práci s ním brát ohled. Jedná se o anizotropii, rozměrové změny (dány obsahem vody ve dřevě), heterogenitu, hygroskopii a malou odolnost dřeva proti napadení škůdci. Některým nedostatkům dřeva lze předejít. Nyní je dřevo důležitým stavebním materiálem, používá se na stavbu nízkoenergetických dřevostaveb, především se využívá ve stavebnictví a dalších průmyslových odvětví. Už v historii patřilo dřevo mezi hlavní stavební materiály, především na stavbu obydlí (Požgaj et al., 1997). Dřevo se dělí na dřevo jehličnatých a listnatých dřevin. Na území České republiky zaujímají lesy přes jednu třetinu celkové rozlohy. Zastoupení listnatých dřeviny v České republice činí 22 %, jehličnaté dřeviny pokrývají 78 % území (Podrázský, 2009).

Domácí jehličnaté dřeviny jsou v ČR více zastoupeny než listnaté dřeviny, proto se více využívají v dřevařském průmyslu. Mezi nejvíce využívané dřeviny patří např. smrk ztepilý a borovice lesní. Tyto dřeviny jsou méně odolné vůči emisím. Proto k nám byly dovezeny jiné nepůvodní dřeviny, které jsou vůči emisím odolné.

Díky výsypkám, kde jsou tyto dřeviny pěstovány, máme nyní možnost porovnat nepůvodní dřeviny s dřevinami domácími. Na výsypce Antonín u Sokolova se pěstuje borovice Murrayova, díky Sokolovské uhelné, která poskytla tyto stromy ČZU se mi dostává možnost porovnat hustoty dřeva, jakých je dosahováno na této výsypce. Dále se mi dostává příležitost porovnat introdukované dřeviny s hustotou dřeva, jakých dosahují domácí dřeviny.

## **2. CÍLE**

Cílem této práce je zjistit normovaným postupem hustotu borovice Murrayovy v oblasti severočeských výsypek. Dalším cílem práce je porovnání naměřených hodnot s hodnotami v oblastech původního rozšíření a dále pak porovnat hodnoty s domácimi jehličnatými dřevinami. Součástí práce je zjistit, jaké variability hustoty dřeva borovice Murrayovy dosahuje v závislosti na vertikální a horizontální poloze v kmeni.

### 3. Literární přehled

#### 3.1 Rod borovice

Jsou to zelené stromy, méně často keře, s přeslenitým větvením. Jehlice vyrůstají ve svazečku na brachyblastech obvykle po 2, 3 a 5 jehlicích, spirálově postavené. Šišťice se vytváří na letorostech samčí v dolní části koruny a samičí pod koncovým pupenem.

Rod je nejpočetnější rodem nahosemenných rostlin. Popsáno je zhruba kolem 100 druhů borovic, které rostou jen na severní polokouli a vyskytují se ve všech nadmořských výškách, až do 4000 m n. m. 2/3 druhů borovic rostou v Americe, zbytek roste v Euroasii. V Evropě je původních 12 druhů. V České republice jsou původní tři druhy borovice, jedná se o borovici lesní, borovice blatka a borovice kleč (Musil Hamerník, 2007).

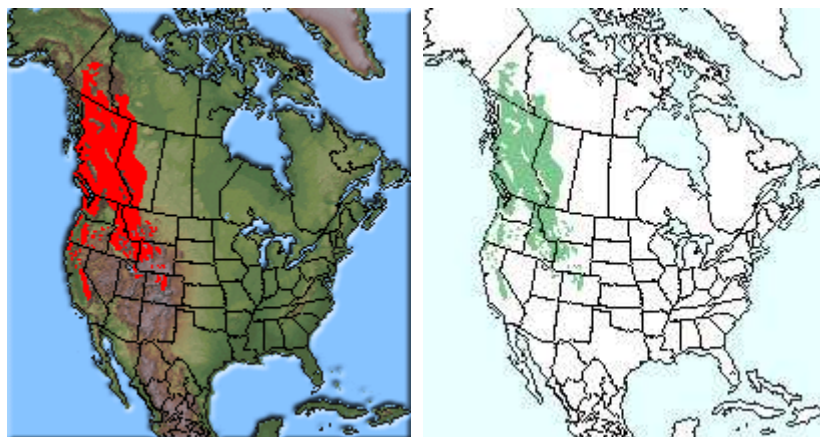
#### 3.2 Borovice pokroucená (*Pinus contorta*)

Strom menší až střední velikosti, dosahuje výšky v rozmezí od 10 do 25 m a v některých případech i nad 30 m. Na chudých stanovištích dosahuje výšky jen 5 m. Průměr kmene se pohybuje okolo 0,3 m maximálně do 0,5 m. Stromy se dožívají 200 – 500 let. Kmen je rovný válcovitý, štíhlý, s tenkou borkou a štíhlou korunou. Jehlice jsou ve svazečku po dvou, délka jehlic od 3 do 5 cm, jsou zkroucené kolem osy. Šišky dosahují velikost 3 až 6 cm, jsou vejčité, asymetrické a zakřivené (Musil Hamerník, 2007).

Z ekologického hlediska patří borovice pokroucená mezi světlomilné dřeviny, které netolerují zástiní a ani ostatní konkurenční vegetaci. Borovice pokroucená roste na chudých kamenitých půdách. Roste jak na mírných svazích, tak i na horských hřebenech (Musil a Hamerník, 2007).

Její přirozený areál se nachází v Severní Americe, viz obrázek 1, (Kaňák, 2004). Pokrývá oblasti podél pobřeží Pacifiku a Rocky Mountain, rozprostírá se od severního konce jihovýchodní Aljašky přes Yukon (31°– 64° s.š) až po jihozápadní Mackenzie. Odtud se rozprostírá dále na jih přes Britskou Kolumbii a Washington podél pobřeží Tichého oceánu do severní Kalifornie (Alden, 1997). Konkrétně pak

borovice pokroucená *Pinus contorta* prochází přes tyto státy Colorado, Wyoming, Oregon, Idaho, Utah, Kalifornie, Washington, Aljaška a Nevada (Anonymus, 1984).



Obrázek 1 Přirozený areál rozšíření borovice pokroucené (*Pinus contorta*) (Peterson et. al., 2010)

Především se jedná o oblasti s vulkanickou činností. Borovice se zde musely přizpůsobit tomuto typu prostředí a zdejším klimatickým podmínkám. Z tohoto důvodu jsou nyní odolné vůči imisím. Tyto borovice se řadí mezi dřeviny rané sukcese právě ve vulkanických pohořích, kde vytváří počáteční základ lesních ekosystémů. Jedná se tedy o pionýrskou dřevinu vykazující se vitalitou, proto se využívá k eliminaci extrémů a k ochraně proti půdní erozi (Kaňák, 2004).

Borovice pokroucená se dále dělí na 4 samostatné poddruhy (subspecie), které se od sebe liší. A především se liší v rychlosti růstu a jinými vlastnostmi, které závisí na podmínkách v dané lokalitě. Například stromy, které se nacházejí v oblasti Rocky Mountains dosahují výšky okolo 25 m a šířky s průměrem okolo 0,3 m, dále stromy z hor Oregon mohou dosáhnout i výšky 23 m s průměrem 0,3 m, dále stromy z pohoří Sierra Nevada mohou dosáhnout výšky 31 m s průměrem 0,43 m a oproti svým příbuzným mohou stromy z pobřežních oblastí dosáhnout pouze výšky 12 m s průměrem 0,5 m (Alden, 1997).

### 3.3 Poddruhy borovice pokroucené

Borovice pokroucená byla rozdělena na 4 poddruhy a to *Pinus contorta ssp. Contorta*, *Pinus contorta ssp. var. Contorta*, *Pinus contorta ssp. Bolanderi* a *Pinus contorta ssp. Murrayana*.

*Pinus contorta ssp. Contorta* se vyskytuje v pobřežních horských oblastech od mysu Mendocino až po Aljašku. Řadí se mezi nízké stromy s maximální výškou mezi 10–14 m. Jejich habitat působí netvárně a jejich koruna má deštníkovitý tvar. Jehlice jsou krátké a úzké s množstvím průduchů. Šišky jsou zpětně postavené na větvích a otvírají se po dozrání (Musil a Hamerník, 2007).

*Pinus contorta ssp. Bolanderi* má malý ostrovní výskyt na křídových útesech u Mendocina v Kalifornii. Vyznačuje se extrémní produkcí pylu a její šišky jsou asymetrické, velké, boulovité a serotinní. Na jehlicích jí chybí pryskyřičné kanálky (Musil a Hamerník, 2007).

*Pinus ssp. latifolia Engelm* borovice tyčová. Patří mezi agresivní pionýrské dřeviny na požářištích a lávových polích. Tato borovice je intolerantní sukcesní typ. Její šišky jsou tvrdé a těžké, a apofýzy jsou vypouklé (Kaňák, 2004). Areál rozšíření je největší z podruhů *Pinus contorta*. Nachází se po celém pásmu Skalistých hor od Aljašky až po Colorado a na západ až do Britské Kolumbie (Krugman a Jenkinson, 1974). Její dlouhé jehlice jsou střední tloušťky a šišky jsou těžké, asymetrické a serotinní. Dosahuje výšky okolo 15–22 m a na některých lokalitách i 30–35 m, maximálně však 48 m. Její dřevo se využívá na výrobu pražců, telegrafních sloupů, pilotů či v lodním průmyslu (Kaňák, 2004).

*Pinus ssp. Murrayana* je dřevina pomalejšího růstu, díky jejímu vysokohorskému výskytu. Její jehlice jsou široké a šišky jsou odstálé, dozadu směřující, symetrické a otevírají se po dozrání (Kaňák, 2004). Areál rozšíření se nachází na oregonském Kaskádovém pohoří, v oblasti Sierra Nevada, ve východní části pohoří Siskiyou a její izolované populace se nacházejí i v horách jižní Kalifornie a Baja California v Mexiku (Krugman a Jenkinson, 1974). Nachází se do nadmořských výšek 2 400–2 900 metrů nad mořem (Munz, 1973). *Pinus ssp. Murrayana* je strom malé, až střední výšky zřídka přesahuje výšku 24–28 metrů (Munz, 1973). *Pinus Murrayana* roste ve vlhkých, suchých a kamenitých místech (Musil a Hamerník, 2007). Někteří badatelé považují tuto dřevinu jako samostatný

druh a označují ji jako *Pinus Murrayana*. Zatímco jiní ji považují za poddruh *Pinus contorta* (Wagenführ, 2000).

### 3.4 Introdukce borovice pokroucené do ČR

Původním přirozeným areálem borovice pokroucené (*Pinus contorta*) jsou rozsáhlé oblasti v horách v západní části severní Ameriky (Musil a Hamerník, 2007). Konkrétně poddruh *Murrayana* (Balf.) Critchf se přirozeně vyskytuje především v oblastech s vulkanickou činností (Despain, 2001). Cascade Range v dosahu jižního Washingtonu, Oregonu a Kalifornii (Krugman a Jenkinson, 1974). Dále se pak vyskytuje v pohoří Sierra Nevada a Klamath Mountains (James W., 1983).

Introdukce rodu *Pinus* do České republiky začala už před více než 200 lety. Nejprve byla introdukována jako okrasná dřevina do zahrad a parků, později kvůli snaze zvýšit hospodářskou produkci. Na počátku 20. století vzrostla introdukce druhů rodu *Pinus*, kdy propukla kalamita a mnoho našich domácích borovic hromadně uhynulo. Díky tomuto důsledku byla snaha nahradit borovici lesní jinými druhy borovic, které jsou odolné vůči onemocněním sypavkami jako například borovice vejmutovka (*Pinus strobus*), borovice banksovka (*Pinus banksiana*), místy i borovice tuhá (*Pinus rigida*) a z evropských druhů pak především borovice černá (*Pinus nigra*) a borovice rumelská (*Pinus peuce*). Další výrazný nárůst introdukovaných dřevin byl v ČR spojený se zhoršujícím se zdravotním stavem lesních porostů vlivem imisí. Z této doby pochází většina tuzemských výsadeb především borovice pokroucené (*Pinus contorta*), v menší míře i borovice rumelské (*Pinus peuce*) a částečně borovice limby (*Pinus cembra*) (Kaňák, 2004).

Z rodu *Pinus* mají největší perspektivu introdukované druhy s pionýrskou povahou, a především odolné vůči imisím (Musil a Hamerník, 2007). Při rekultivacích se již osvědčila borovice pokroucená a dále u nás již zdomácnělá borovice černá. Borovice rumelská také bez problému může růst v oblastech zatížených imisemi. V souvislosti s problémy v imisních oblastech a s rostoucí potřebou zalesňování rekultivačních ploch a bývalých zemědělských půd mají introdukované druhy velkou perspektivu (Kaňák, 2004).

### 3.5 Dřevo borovice pokroucené

Jedná se o dřevo jehličnatých dřevin, které je starší než listnaté dřevo.

Z hlediska makroskopické struktury dřeva se borovicové dřevo dělí na jádrovou a bělovou část. Bělové dřevo je nažloutlé barvy a někdy je zbarveno až do běla. Jádrové dřevo je světle žluté až nažloutle hnědé (Meier, 1999). Bělovou a jádrovou část se může pozorovat na příčném řezu a nejsou vždy snadno od sebe rozlišitelné, bělová část je větší než část jádrová. Borové dřevo má charakteristickou vůni po pryskyřici. Řadí se mezi středně lehké až středně těžké dřevo má střední pevnost a tvrdost. Dřevo je měkké a vyznačuje se malou odolností vůči nárazům (Alden, 1997). Hodnoty vlastností dřeva borovice pokroucené viz tabulka 1.

Tabulka 1 Vlastnosti borovice pokroucené (Meier, 1999).

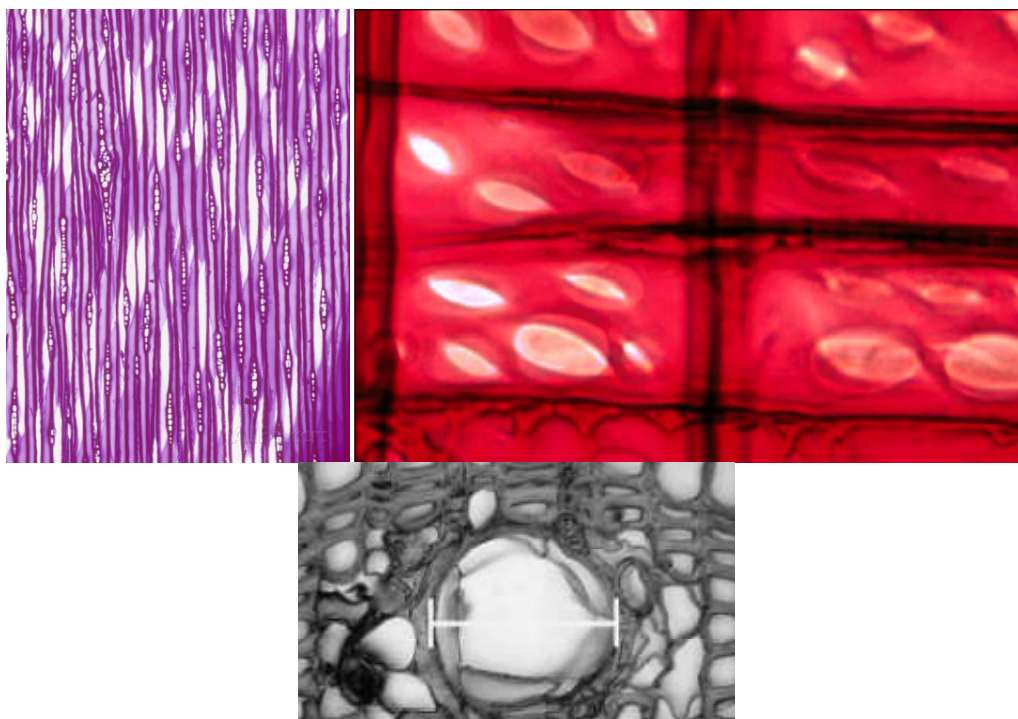
Hustota	465 kg / m <sup>3</sup>
Tvrdost	2140 N
Pevnost v ohybu	64,8 MPa
Modul pružnosti	9,24 GPa
Pevnost v tlaku	37,0 MPa
Bobtnání	4,3%, tangenciální: 6,7% Objemová: 11,1%, T /R

Na příčném řezu kmene lze vidět letokruhy ze světlého dřeva jarního a tmavšího dřeva letního, viz obrázek 2. Přechod mezi jarním a letním dřevem je náhlý. Dále můžeme pozorovat pryskyřičné kanálky, které se jeví na příčném řezu jako tečky a na podélném řezu jako svislé pásy. Pryskyřičné kanálky jsou středně velké a rovnoměrně rozmístěny (Meier, 1999).



Obrázek 2 Makroskopická stavba dřeva borovice pokroucená, základní řezy dřevem: 1. Příčný řez, 2. Podélný řez, 3. Tangenciální řez (Peterson a Seiler, 2010; David Clark, 2010)

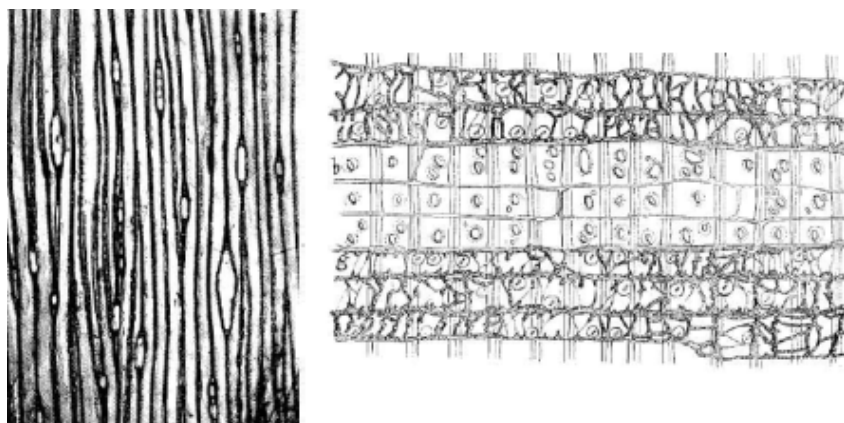
Rod *Pinus* lze na mikroskopické úrovni snadno rozlišit od ostatních jehličnanů díky pryskyřičným kanálkům, které mají tenkostěnné epitelální buňky. U borovice pokroucené lze pozorovat přítomnost silnostěnných epitelových buněk, dále můžeme pozorovat, že tracheidy jsou zubatý, křížové pole obsahuje 1–6 pinoid (typ ztenčenin) viz obrázek č. 3, přechod mezi jarním a letním dřevem je náhlý (Kukachka, 1960).



Obrázek 3 Řez borovicí pokroucenou 1- tangenciální, 2 – křížové pole, 3 – silnostěnná epitelová buňka (Dillhoff, 2001; Kukachka, 1960).



V porovnání borovice pokroucené a borovice Murrayovy z hlediska mikroskopické struktury dřeva se na průřezu od sebe výrazněji neliší, viz obrázek č. 4. Borovice Murrayova má však na tangenciálním řezu patrné rozdíly od borovice pokroucené. Borovice Murrayova má na průřezu jiný tvar buněk než má borovice pokroucená. Dále se u borovice Murrayovy vyskytují ve velkém množství příčné tracheidy (Waganführ, 2000).



Obrázek 4 Mikroskopická stavba dřeva borovice Murrayovy, tangenciální řez a detail křížového pole (Waganführ, 2000).

V historii se dřevo borovice pokroucené používalo na pražce, důlní trámy, domy a hrubé stavby. Nyní se používá na obložení a podlahy, k výrobě dých, překližky a vlákniny. Své uplatnění nachází ve vodohospodářském, krajinářském a v dřevo výrobním průmyslu (Musil a Hamerník, 2007). Pokroucená borovice se používá jako truhlářské dřevo na nábytek, okna, dveře, obložení, dále se využívá pro telefonní sloupy, plotové sloupky, důlní trámy, pražce a palivo. Se dřevem se dá poměrně dobře pracovat, má dobré obráběcí vlastnosti. Lze snadno brousit na hladký povrch.

### 3.6 Výsypka Antonín u Sokolova

Na Sokolovsku se od roku 1860 těží hnědé uhlí. Těžba uhelné sloje a nové recentní útvary v krajině (výsypky, elektrárny), které na počátku své existence málo účinným odsířením produkovaly vysoké množství emisí. Ty se staly hlavním kritériem při hledání nových netradičních vědecko-výzkumných řešení problematiky obnovy přízemní a zejména vzrostlé vegetace nových lesů. Tyto hlavní důvody vedly

k založení rekultivačního lesnického arboreta na výsypce Antonín o rozloze 165 ha. (Dimitrovský et. al., 1999).

### 3.7 Hustota dřeva

Hustota je fyzikální vlastnost dřeva. Hustota dřeva je dána podílem hmotnosti dřeva a jeho objemu, viz vzorec č. 1, a označuje se v jednotkách  $\text{kg.m}^{-3}$  či  $\text{g.cm}^{-3}$ . Někdy se označuje jako objemová hmotnost (Horáček, 2001).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [1]$$

kde  $\rho$  je hustota,  $m$  je hmotnost a  $V$  je objem (Požgaj et al., 1997).

Zjišťování hustoty dřeva je obtížné, protože hustota je velmi variabilní a to díky své hygroskopicitě. Hustota je přímo závislá i na vlhkosti dřeva (Požgaj et al., 1997). Proto se hustota dřeva stanovuje k určité vlhkosti, většinou se jedná o tyto tři vlhkosti. A to hustotu dřeva v suchém stavu ( $w = 0 \%$ ), hustotu dřeva vlhkého ( $w > 0 \%$ ) a hustotu dřeva při vlhkosti 12 %. Hustota dřeva se přepočítává na vlhkosti 12 %. Protože dřevo dosahuje při dlouhodobějším působení vlhkosti vzduchu 65 % a teplotě 20 °C 12 % vlhkosti. Hustota dřeva při 12 % vlhkosti nám umožňuje lepší porovnatelnost výsledků. Hustota dřeva našich domácích dřevin se pohybuje v širokém intervalu. U dřeva rozeznáváme tři třídy hustoty a to dřevo s nízkou hustotou ( $\rho_{12} < 540 \text{ kg.m}^{-3}$ ), dřevo se střední hustotou ( $\rho_{12} < 540\text{--}750 \text{ kg.m}^{-3}$ ) a dřevo s vysokou hustotou ( $\rho_{12} > 750 \text{ kg.m}^{-3}$ ). Exotické dřeviny nabývají extrémních hodnot hustoty. Za nejlehčí dřevo na naší planetě se pokládá balza (*Ochroma lagopus*), která má v absolutně suchém stavu hodnotu hustoty  $\rho_0 = 130 \text{ kg.m}^{-3}$ , naopak za nejtěžší dřevo se považuje s hustotou v absolutně suchém stavu  $\rho_0 = 1360 \text{ kg.m}^{-3}$  guajak (*Gaiacum officinale*) (Horáček, 2001).

Hustota dřeva má vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Při stanovení dalších vlastností dřeva je téměř nezbytným ukazatelem, a proto je hustota považována za důležitou vlastnost (Horáček, 2001).

Dřevo je porézní materiál, který je dán objemem pórů v jednotkovém objemu dřeva. Objem pórů (lumeny buněk a mezibuněčné prostory) často u dřeva převyšuje objem buněčných stěn. Póry vytvářejí ve dřevě průchodný kapilární systém, který

může být zcela zaplněný tekutinou, např. vodou. U mnoha dřevin je ovšem kapilární pórovitost redukována v důsledku přítomnosti doprovodných vyluhovatelných látek nebo thyl. Pórovitost dřeva tedy ovlivňuje výslednou hustotu dřeva. Tato vlastnost vyjadřuje snahu porézního materiálu absorbovat a přepravovat vodu působením kapilarity (Horáček, 2001).

Hustota dřeva je pro nás důležitá při zpracování dřeva. Ať už při mechanickém tak i chemickém zpracování. Kde často potřebujeme vědět, kolik dřevní hmoty obsahuje konkrétní objemová jednotka (Požgaj et al., 1997).

### 3.8 Rozdělení hustoty

Hustota se rozděluje na hustotu dřevní substance, hustotu konvenční dále pak rozlišuje hustota v suchém stavu a ve stavu mokrém (Požgaj et al., 1997).

Hustotou dřevní substance se rozumí hmota buněčných stěn bez submikroskopických dutin, mezibuněčných prostor a lumenů. Hustota dřevní substance je vyjádřena poměrem hmotnosti dřevní substance a příslušného objemu, viz vzorec č. 2, (Horáček, 2001).

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad [2]$$

kde  $\rho_s$  je hustota dřevní substance,  $m$  vyjadřuje hmotnost dřevní substance a  $V$  značí objem dřevní substance (Požgaj et al., 1997).

Hustota dřevní substance kolísá v rozmezí 1440–1550 kg.m<sup>-3</sup> v závislosti na chemickém složení dřeva (Požgaj et al., 1997). Dřeviny mají odlišný podíl chemických sloučenin a především zastoupení ligninu kolísá v rozmezí od 15 do 35 %. Základními stavebními látkami buněčné stěny je celulóza (1560 kg.m<sup>-3</sup>), hemicelulóza (1500 kg.m<sup>-3</sup>) a lignin (1350 kg.m<sup>-3</sup>) mají rozdíly v hustotě dřevní substance. Podíl těchto stavebních látek je u různých dřevin podobný, proto hustota dřevní substance nezávisí na druhu dřeviny. Průměrná hodnota hustoty dřevní substance pro všechny dřeviny se uvádí 1530 kg.m<sup>-3</sup> (Horáček, 2001).

Konvenční hustota dřeva udává, kolik dřevní hmoty se nachází v maximálně nasáklém dřevě, viz vzorec č. 3, (Horáček, 2001).

$$\rho_k = \frac{m_0}{V_{max}} \quad [3]$$

kde  $\rho_k$  je konvenční hustota,  $m_0$  značí hmotnost dřeva při vlhkosti 0 % a  $V_{\max}$  pro objem dřeva při maximálním nasycení buněčných stěn. 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 mez hygroskopicity) v objemových jednotkách na hmotnost sušiny a naopak, což nalézá uplatnění zejména při váhové přejímce dříví. V anglické literatuře odpovídá konvenční hustotě pojem basic specific gravity (Horáček, 2001).

Hustotu dřeva v suchém stavu používáme pro porovnání výsledků, které můžeme následně přepočítat na hustotu dřeva o 12 % vlhkosti. Pod absolutně suchým stavem rozumíme 0% vlhkost dřeva, kterou spočítáme podle vzorce č. 4. Hustota dřeva v suchém stavu  $\rho_0$  je menší než hustota dřevní substance  $\rho_s$  (Horáček, 2001).

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad [4]$$

kde  $\rho_0$  je hustota v suchém stavu,  $m_0$  je hmotnost suchého dřeva a  $V_0$  značí objem suchého dřeva (Horáček, 2001).

Hustota dřeva v mokrému stavu (vlhké dřevo)

Vlhkost dřeva tedy ovlivňuje konečnou hustotu dřeva. Hustota dřeva při určité vlhkosti je počítána podle vzorce č. 5 (Horáček, 2001).

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad [5]$$

kde  $\rho_w$  je hustota při vlhkosti  $w$ ,  $m_w$  je hmotnost při vlhkosti  $w$  a  $V_w$  značí objem při vlhkosti dřeva  $w$  (Horáček, 2001).

Hustota dřeva se s vlhkostí zvyšuje. Hmotnost dřeva a jeho objem však nerostou stejným způsobem (Horáček, 2001). Zatímco hmotnost dřeva roste se zvyšující se vlhkostí až do maximálního nasycení (maximální vlhkosti dřeva), objem se zvyšuje pouze do meze nasycení buněčných stěn (Kollmann, 1951).

### **3.9 Proměnlivost hustoty a vliv polohy v kmeni na hustotu dřeva.**

Hustota dřeva je ovlivněna celou řadou faktorů. Mezi nejdůležitější faktory patří chemické složení dřeva, stavba dřeva, vlhkost dřeva, poloha ve kmeni, stanovištní podmínky a pěstební opatření (Horáček, 2001). Dále hustotu dřeva ovlivňuje šířka letokruhů, podíl letního dřeva a věk stromu. Proto hustota dosahuje různých hodnot v rámci jednoho stromu, kdy se liší hustota reakčního dřeva, dřeva větví i dřeva kořenového systému (Požgaj et al., 1997).

Hustota dřeva se mění v závislosti na poloze v kmeni v rámci jedné dřeviny (Kuba, 2006). S výškou kmene je při rovnoměrné šířce letokruhů menší podíl letního dřeva než v jeho nižších polohách, což se projeví nižší hustotou ve vyšších částech kmene (Požgaj et al., 1997). Je zjištěno, že hustota dřeva klesá od centrální osy k obvodové části (Šlezingerová et al., 1998).

Vliv šířky letokruhu na hustotu dřeva, je rozdílná pro listnaté a jehličnaté dřevo. Hustota dřeva borovice stoupá s poklesem šířky letokruhu, v důsledku vyššího podílu letního dřeva (Požgaj et al., 1997).

Hustota dřeva je ovlivněna vlhkostí, při zvýšení vlhkosti se zvýší i hustota dřeva (Horáček, 2001). Hmotnost dřeva roste se zvyšující se vlhkostí až do maximálního nasycení (maximální vlhkosti dřeva), zatím co objem se zvyšuje pouze do meze nasycení buněčných stěn (Požgaj et al., 1997).

Hustotu ovlivňuje také druh dřeviny, jednotlivé druhy mají různé hustoty. Hustota tlakového reakčního dřeva je téměř 1,5 x vyšší než hustota nereakčního dřeva. Hustota tahového reakčního dřeva je jen o málo vyšší než hustota nereakčního dřeva (Horáček, 2001).

Hustotu dřeva ovlivňuje i stáří stromu. U většiny dřevin s rostoucím věkem klesá hustota (Požgaj et al., 1997).

### **3.10 Popis metody pro měření hustoty**

Hustotu dřeva se může stanovit experimentální zjišťování a to několika způsoby. Buď se hustota dřeva stanovuje podle normovaných vzorků, které jsou podrobně popsány v normě. Dalším způsobem stanovení hustoty dřeva je pomocí

vrtu do stromů a následné odebrání vzorku. Dále lze použít metodu pomocí průřezových kotoučů jednotlivých částí stromu (Požgaj et al., 1997).

U experimentálního zjišťování hustoty dřeva se zjišťuje hmotnost vážením a objem nejčastěji pomocí posuvného měřítka, pokud se jedná o tvary zkušební tělesa, které jsou nepravidelné, stanovuje se jejich objem pomocí metody vytlačení vody. Při této zkoušce se zkušební vzorek umístí do kádinky s vodou, která byla nejprve zvážena na digitálních vahách. Při umístění vzorku do kádinky s vodou, se zkušební těleso nesmí dotýkat stěn nádoby a musí být zcela potopené, toho stavu se dosáhne pomocí tenké jehly. Poté odečteme na vahách hmotnost vytlačené vody, která se rovná objemu vzorku (Chave, 2006).

ČSN 49 0108 je norma popisující, jak experimentálně zjistit hustotu dřeva. Dále je v normě uvedeno jaký tvar mají mít zkušební tělesa a jak postupovat při stanovení hustoty vzorku. Zkušební tělesa mají mít tvar pravoúhlého hranolu se čtvercovou základnou o rozměrech 20 mm x 20 mm a délka hranolu má být  $20 \pm 5$  mm. Norma udává, že by zkušební těleso mělo obsahovat pět ročních letokruhů. Norma popisuje jak zjistit hustotu zkušebních vzorků při dané vlhkosti a v suchém stavu. Dále popisuje jak zjistit konvekční hustotu při dané vlhkosti a při maximálním objemu.

### **3.11 Vlhkost**

Dřevo je materiál, který je schopen přijímat nebo odevzdávat vodu s okolním prostředím ve formě kapalné nebo plynné. Přítomnost vody ve dřevě může negativně ovlivnit některé vlastnosti dřeva. Ovlivňuje jak fyzikální vlastnosti (barva, akustické vlastnosti, tepelná vodivost), tak i mechanické vlastnosti, např. modul pružnosti. S vyšším obsahem vody ve dřevě stoupá riziko napadení dřevokaznými houbami, plísněmi nebo dřevokazným hmyzem. Vlhkost dřeva lze vyjádřit absolutní vlhkostí, nebo relativní vlhkostí. Absolutní vlhkost dřeva je podíl hmotnosti vody obsaženém ve dřevě k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu viz vzorec č. 6. (Horáček, 2001).

$$w_{abs} = \left( \frac{m_w - m_o}{m_o} \right) \cdot 100 \quad [6]$$

kde  $w_{abs}$  je absolutní vlhkost,  $m_o$  pro hmotnost suchého dřeva,  $m_w$  je hmotnost dřeva o neznámé vlhkosti (Horáček, 2001).

### 3.12 Metody stanovení vlhkosti

Metody stanovení vlhkosti dělíme na přímé a nepřímé. Podle přímých metod stanovujeme skutečný obsah vody ve dřevě. Jedná se převážně o metody destilační a váhové. Metodami nepřímými určujeme obsah vody prostřednictvím jiných veličin, jejíž hodnota závisí na obsahu vody ve dřevě. Nepřímé metody rozeznáváme elektrofyzikální, radiometrické, akustické a termofyzikální (Horáček, 2001).

Další metody stanovení vlhkosti dřeva určujeme sušením v sušárně při teplotě 101 až 105 ° C, použití vlhkoměru, který měří elektrické vlastnosti dřeva, které jsou ovlivněny obsahem vlhkosti. Chemické metody, zejména Karl Fischer titrace. Hygrometric metody (Harrison, 1974).

Vlhkost dřeva můžeme stanovit pomocí vlhkoměru. Nejpoužívanější metoda stanovení vlhkosti, která se používá v dřevařském průmyslu, je pomocí vlhkoměru. Tato metoda se uplatňuje na reprezentativní vzorky, metoda je přesná a snadno dostupná (Hartley a Marchant, 1995).

Vlhkost dřeva nejčastěji stanovíme váhovou metodou.

Při této metodě stanovujeme vlhkost vysušeného dřeva vážením. Nejprve zvážíme na vahách vzorky o neznámé vlhkosti, poté vzorky sušíme. K sušení dochází v sušárně při teplotě 103°C, kde se nechá vysušit na nulovou vlhkost. Tuto zkoušku upravuje norma (Požgaj et al., 1997). Vlhkost se počítá podle vzorce č. 6.

## 4. Metodická část

### 4.1 Popis lokality

Stromy borovice Murrayovy pocházejí z výsypky Antonín u Sokolova o GPS souřadnicích 50°10'17.116"N, 12°37'40.218"E. Na této výsypce vzniklo rekultivační arboretum, kde vznikla rozmanitá dendro-flóra tvořená lesem s velkou pestrou skladbou.

## 4.2 Příprava vzorků.

Na pozemku školy byly umístěny v hraních prkna ze stromů borovice pokroucené, která pochází z oblasti severočeských výsypek. Z hraní jsem si vybral středové fošny na výrobu zkušebních těles. Zkušební vzorky těles byly vyrobeny podle normy ČSN.

Ze středových prken jsem sestavil jednotlivé stromy, které jsem popsal a rozdělil na vrchní a spodní sekci. Popsaná prkna byla nejprve upravena na délku, která činila přibližně dva metry. Následně byla prkna rozříznuta v dřeni pomocí univerzální kotoučové pily na dvě části, která byla následně označena. Tyto části se dále rozřezaly podél vláken na úzké proužky v různé vzdálenosti od dřene viz obrázek 5.

Hranoly se pomocí tloušťkovací frézy tloušťkově legalizovaly na rozměr 20 x 20 mm. Poté byla zkušební tělesa na formátovací pile délkově nařezána na rozměr 30 mm. Zkušební tělesa měla konečný rozměr 20 x 20 x 30 mm (radiální, tangenciální, podél vláken), jak udává norma.

## 4.3 Vybírání vzorků

V následujícím kroku jsem si vybral vhodná tělesa pro danou zkoušku. Když jsem měl připravené vzorky podle normy, vybral jsem si reprezentativní zkušební tělesa. Vzorky jsem vybíral podle průběhu vláken a množství vad, které obsahovaly. Také jsem bral v úvahu kvalitu zkušebních těles. Ze všech vzorků jsem vybral 3 297 těles. Vzorky byly opatřeny kódem a rozděleny na dvě části.

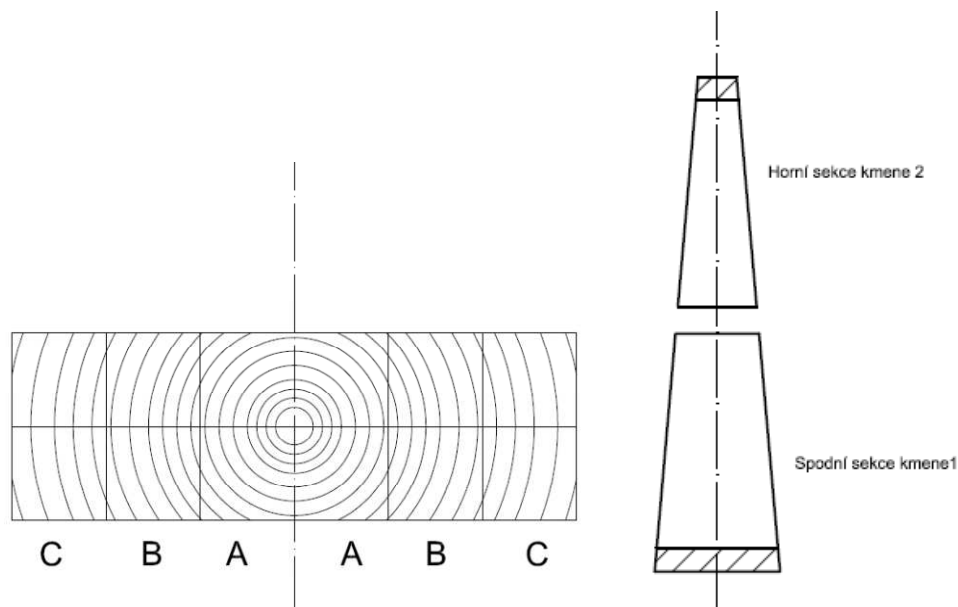
## 4.4 Kódovací systém

Kódovací systém byl vymyšlen pro lepší orientaci a snadnější zpracování dat. Každý vzorek byl opatřen jedinečným kódem. Kód byl zvolen jako pětimístné číslo, podle něhož je možné určit, odkud vzorek pochází. Podle kódu se dá určit, o jaký strom se jedná a jaká je poloha v kmeni, ať už se jedná o horizontální nebo vertikální polohu.

První číslo kódu označuje, o jaký strom se jedná, druhé číslo kódovacího systému označuje, o kterou vertikální část se jedná, jde-li o spodní část kmene, je označena číslem 1, jde-li o vrchní část kmene označena číslem 2. Třetí číslo označuje



díly, na které byla fošna rozdělena. Čtvrté číslo označuje horizontální polohu od dřene. Poslední páté číslo nás informuje o čísle vzorku, viz obrázek 5.



Obrázek 5 Kódování vzorků, 1. poloha od kmene 2. poloha ve vertikální poloze v kmene

#### 4.5 Postup měření

Normovaným postupem jsem stanovil hustotu borovice Murrayovy z oblasti severočeských výsypek.

Zkušební tělesa jsem rozdělil na dvě části.

U první části zkušebních vzorků jsem určoval hustotu dřeva při neznámé vlhkosti. Tyto vzorky jsem nejprve zvažil při neznámé vlhkosti na digitálních vahách s přesností na 0,01 g. Poté jsem digitálním posuvným měřítkem zjistil rozměry vždy uprostřed zkušebních vzorků, a to v podélném, tangenciálním a radiálním směru. Následně jsem vypočítal objem o neznámé vlhkosti. Pomocí objemu a hmotnosti jsem spočítal hustoty vzorků při vlhkosti  $w$  podle vzorce č. 7.

$$\rho_w = \frac{m}{V} \quad [7]$$

Poté co jsem naměřil hustoty vzorků při neznámé vlhkosti, umístil jsem každé třetí těleso do sušárny. V sušárně jsem nechal tělesa při teplotě 103 °C vysušit na nulovou vlhkost. Sušení v sušárně probíhalo pozvolna, aby se zamezilo vzniku trhlin, vzorky byly umístěny v sušárně po dobu minimálně tří dnů. Když byly vzorky zcela

vysušené na nulovou vlhkost, zvažil jsem je na digitálních vahách  $m_0$ . Tělesa jsem vyndával postupně po malém množství ze sušárny, aby se zamezilo přijímání vlhkosti z okolního prostředí, které by mohlo ovlivnit měření. Následně jsem stanovil vlhkost vzorků, viz vzorec č. 5. Vlhkost všech vzorků jsem stanovil na 10,423%.

U druhé části vzorku jsem zjišťoval hustotu dřeva tak, že jsem vzorky nejdříve umístil do sušárny, kde jsem je nechal při teplotě 103 °C vysušit na nulovou vlhkost. Vzorky jsem kontroloval, aby byly zcela vysušené. Následně jsem stanovil hustotu vzorku v suchém stavu, viz vzorec č. 4.

Nyní jsem u všech vzorků stanovil hustotu dřeva při 12 % vlhkost, viz vzorec č. 8

$$\rho_{12} = \rho_w \left[ 1 - \frac{(1-K) \cdot (w-12)}{100} \right] \quad [8]$$

kde  $\rho_{12}$  je hustota při 12 % vlhkosti,  $\rho_w$  je hustota při vlhkosti  $w$ , kdy  $w$  je vlhkost dřeva.  $K = 0,00085 \cdot \rho_w$ .

#### 4.6 Statistické vyhodnocení

Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány. Výsledky jsem zpracoval pomocí statistického programu.

Z jednotlivých souborů dat byly zjištěny maximální a minimální hodnoty, směrodatná odchylka, aritmetický průměr, medián, variační koeficient. V tabulce 2 jsou zpracovány hodnoty pro hustotu při 12 % vlhkosti všech měřených stromů.

Směrodatná odchylka určuje, jak jsou hodnoty rozptýleny či odchýleny od průměru hodnot. Směrodatná odchylka je rovna odmocnině z rozptylu (Hendl, 2004).

Aritmetickým průměrem charakterizujeme hodnotu, okolo níž kolísají jednotlivé prvky souboru. Je to soubor všech hodnot souboru, podělený jejich počtem (Hendl, 2004).

Medián je hodnota, která se nachází přesně uprostřed všech hodnot seřazených do neklesající posloupnosti (Hendl, 2004).

Variační koeficient charakterizujeme jako podíl směrodatné odchylky a aritmetického průměru, vyjádřený v procentech (Hendl, 2004).

## 5. Výsledky

Naměřené hodnoty hustoty jsem porovnal s hodnotami v oblastech původního rozšíření. V původním areálu rozšíření je hodnota hustoty  $465 \text{ kg.m}^{-3}$  (Alden, 1997). Naměřené hodnoty hustoty borovice Murrayovy jsou dány aritmetickým průměrem  $493 \text{ kg.m}^{-3}$  a mediánem je  $458 \text{ kg.m}^{-3}$ . Popisná statistika je uvedena v tabulce 2. Borovice Murrayova pěstovaná v severočeských výsypkách má větší hodnotu hustoty než v původním areálu rozšíření.

Tabulka 2 Statistické vyhodnocení hustoty dřeva borovice Murrayovy

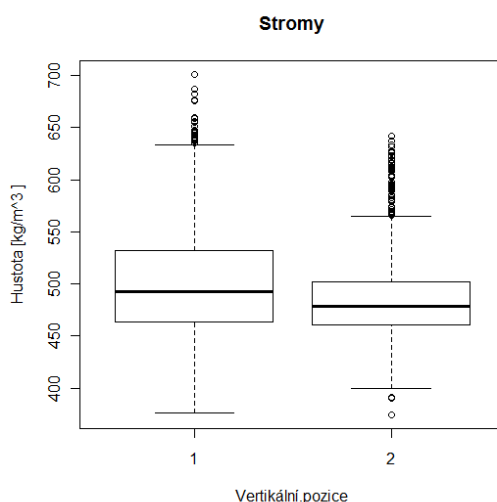
Hustota dřeva v $\text{kg.m}^{-3}$	
Aritmetický průměr	493
Medián	485
Směrodatná odchylka	48,41
Minimum	374
Maximum	700
Rozpětí	326
Rozptyl	2344
Variační koeficient	9,8 %

Dále jsem porovnával naměřené hodnoty hustoty s domácími jehličnatými dřevinami. K porovnání jsem si vybral dřeviny, které jsou typické pro ČR. Borovice lesní dosahuje hustoty  $535 \text{ kg.m}^{-3}$  což je větší hustota, než která byla naměřena u borovice Murrayovy. Při porovnání se smrkem ztepilým, který dosahuje průměrné hustoty  $450 \text{ kg.m}^{-3}$ , byla hustota dřeva borovice Murrayovy větší. Dále byla hustota dřeva borovice Murrayovy porovnána s jedlí bělokorou, která dosahuje menší hustoty dřeva  $435 \text{ kg.m}^{-3}$ . Bylo zjištěno, že borovice Murrayova má vyšší hustotu než smrk ztepilý a jedle bělokorá, ale menší než borovice lesní (Horáček, 2001). Další hodnoty hustoty udávané pro tyto domácí dřeviny dle starších publikací a jiných autorů jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 Hustota domácích dřevin od různých autorů

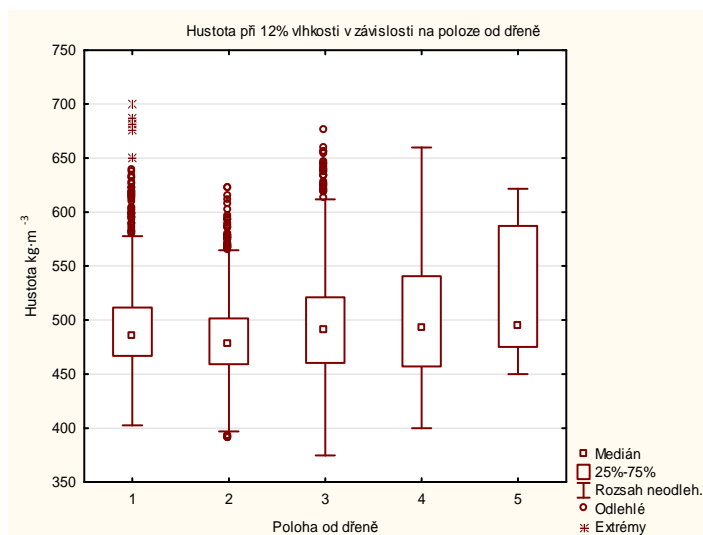
Hustota domácích dřevin $\text{kg.m}^{-3}$			
	smrk ztepilý	jedle bělokorá	borovice lesí
Horáček, 2001	435	450	535
Adamíček, 1999	461	-	490
Šlezingerová et. al., 1998	435	450	535
Požgaj et. al., 1997	400 - 500	400 - 500	500

Stanovil jsem variabilitu hustoty v závislosti na poloze v kmeni. Ve vertikální poloze v kmeni se hustota mění s výškou stromu. Zjistil jsem, že v dolní sekci je průměrná hustota  $499 \text{ kg.m}^{-3}$ , kdyžto v horní sekci hodnota hustoty je  $483 \text{ kg.m}^{-3}$ . Z naměřených hodnot vyplývá, že hustota ve spodní sekci je větší než hustota dřeva v horní sekci kmene. Průměrné hodnoty hustoty ve vertikální poloze v kmeni jsou znázorněny v grafu 1.



Graf 1 Průměrná hustota při 12% vlhkosti, z devíti měřených stromů, v závislosti na vertikální poloze v kmeni. 1- dolní část kmene, 2- horní část kmene

V horizontální poloze v kmeni se mění hustota se vzdáleností od dřevě. Naměřil jsem průměrnou hustotu v dřevě, která je  $494 \text{ kg.m}^{-3}$  a průměrnou hustotu nejdále od dřevě ta je  $516 \text{ kg.m}^{-3}$ . Z naměřených hodnot vyplývá, že hustota ve dřevě je menší, a že se hodnota hustoty zvyšuje se vzdáleností od dřevě. Průměrné hodnoty hustoty v horizontální poloze v kmeni jsou znázorněny v grafu 2.



Graf 2 Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na horizontální poloze v kmeni. 1 – prochází dřeví, 5 – nejdále od dřevě (na obvodu kmene)

Dále jsem stanovil variabilitu hustoty mezi jednotlivými stromy. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4, ze které je patrné, že hustota dřeva se mění v rámci více stromů.

Tabulka 4 Hustota dřeva borovice Murrayovy v jednotlivých stromech

	$\bar{x}$	$\tilde{x}$	sd	min	max	R	$S^2$	Var.Koef
Strom 1	543.77	548.58	48.26	441.63	659.76	218,13	2343.38	0.088
Strom 2	499.00	500.01	38.52	433.97	588.34	154,37	1484.04	0.077
Strom 3	464.50	456.95	40.95	399.94	621.43	221,49	1676.90	0.088
Strom 4	449.04	440.25	35.81	376.11	596.10	219,99	1282.32	0.079
Strom 5	518.15	506.28	44.67	425.72	700.80	275,08	1995.43	0.086
Strom 6	481.13	475.56	30.06	374.58	639.37	264,79	903.72	0.062
Strom 7	520.19	505.55	43.23	439.85	675.78	235,93	1868.86	0.083
Strom 8	486.86	480.57	22.64	439.62	581.75	142,13	512.37	0.046
Strom 9	463.89	465.00	20.99	410.69	532.17	121,48	440.83	0.045
Celkem	493,15	485,15	48,41	374,58	700,79	326,21	2343,69	0,098

kde  $\bar{x}$  - aritmetický průměr,  $\tilde{x}$  - medián, sd – směrodatná odchylka, min – minimální hodnota, max – maximální hodnota, R – rozsah,  $S^2$  – rozptyl a var. koef. – variační koeficient.

## 6. Diskuze

Zjištěná průměrná hustota dřeva borovice Murrayovy je  $493 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Literatura udává hustotu borovice pokroucené v původním areálu rozšíření při vlhkosti 12%  $465 \text{ kg.m}^{-3}$  (Alden, 1997). Zjištěná průměrná hustota borovice Murrayovy činí  $493 \text{ kg.m}^{-3}$ . Tato hustota je větší o  $28 \text{ kg.m}^{-3}$  než v původním areálu rozšíření.

Při porovnání borovice Murrayovy s domácími dřevinami jsem zjistil, že zjištěné hodnoty hustoty nedosahují tak velkých hodnot jako je hustota borovice lesní. Borovice lesní má průměrnou hustotu vyšší než borovice Murrayova o  $42 \text{ kg.m}^{-3}$ . Smrk ztepilý má menší hustotu o  $43 \text{ kg.m}^{-3}$  než je naměřená hustota borovice Murrayovy. Jedle bělokorá má nižší hustotu o  $58 \text{ kg.m}^{-3}$  než je hustota borovice Murrayovy.

Při porovnání hustoty s domácími dřevinami bylo zjištěno, že se hustota borovice Murrayovy nachází mezi borovicí lesní a smrkem ztepilým. Borovice Murrayova se řadí mezi měkké dřeviny, kam také patří smrk ztepilý, jedle bělokorá a borovice lesní.

Literatura udává, že se hustota mění v závislosti na vertikální poloze v kmeni, kde s větší výškou kmene klesá hustota dřeva (Požgaj et al., 1997). Zjištěné výsledky ve vertikální poloze v kmeni nám tento fakt dokázaly. Rozdíl hodnot mezi horní a dolní sekcí kmene je  $17 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Literatura také udává, že se hustota mění v závislosti na horizontální poloze v kmeni. U smrku hustota dřeva od středu k obvodu kmene stoupá. U buku hodnota hustoty stoupá do určité vzdálenosti od dřeně, pak hustota dřeva klesá (Požgaj et al., 1997). V našem případě bylo zjištěno, že hustota dřeva borovice Murrayovy stoupá od středu k obvodu kmene. Rozdíl mezi středovou a obvodovou částí kmene je  $22 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Dále jsem stanovil variabilitu hustoty mezi jednotlivými stromy. Při srovnání aritmetického průměru jednotlivých stromů s hustotou, kterou stromy dosahují v původním areálu rozšíření. Zjistil jsem, že stromy číslo 3 a 9 se nejvíce přiblížily těmto hodnotám.

K hustotě dřeva borovice lesní se přiblížil nejvíce strom borovice pokroucené číslo 1.

K hustotě dřeva smrku ztepilého se nejvíce přiblížil strom číslo 4.

Největší zjištěná hustota byla naměřena u stromu č. 1. hustota stromu zde má hodnotu  $544 \text{ kg.m}^{-3}$ . Nejnižší hustota byla naměřena u stromu č. 4 a to  $449 \text{ kg.m}^{-3}$ .

V příloze č. 1 je znázorněna hustota devíti stromů borovice Murrayovy. Z tohoto grafu vidíme, že je hustota v každém stromě jiná. Porovnal jsem hustotu devíti stromů při vlhkosti 12% v závislosti na vertikální poloze v kmeni. Z přílohy č. 2 vyplývá, že hustota mezi jednotlivými stromy je velmi variabilní. U většiny měřených stromů jsem dospěl k výsledkům, že spodní část kmene (oddenková část) má větší průměrnou hustotu než je průměrná hustota v horní části kmene. Toho výsledku jsem dosáhl u osmi měřených stromů. U zbylého jednoho stromu mi vyšlo, že hustota v horní části kmene je větší než v dolní části (viz strom č. 9). V příloze č. 3 je znázorněna hustota borovice Murrayovy na horizontální poloze v kmeni. V pěti případech mi vyšlo, že hustota je nižší, když je blíže u dřeně, hustota roste se vzdáleností od dřeně (viz stromy číslo 1, 2, 7, 8, 9). V jednom případě mi vyšlo, že je hustota dřeva největší přímo ve dřeni (viz strom 4). Ve dvou případech vyšlo, že hustota je nejnižší mezi středem a obvodem kmene. A v jednom případě je hustota stromu přibližně stejná v celé horizontální poloze (viz strom č. 6).

## 7. Závěr

V této práci jsem stanovil hustotu dřeva borovice Murrayovy z oblasti severočeských výsypek. Průměrná hustota borovice Murrayovy na severočeské výsypce je  $493 \text{ kg.m}^{-3}$  při 12% vlhkosti.

Tuto hustotu jsem porovnal s hodnotami, které dosahuje v původním areálu rozšíření. Borovice Murrayova u nás dosahuje vyšších hodnot hustoty dřeva než v původním areálu rozšíření. Dále jsem zjištěnou hustotu porovnal s domácími dřevinami. Zjistil jsem, že hustota dřeva borovice Murrayovy se nachází mezi hustotou borovice lesní a smrkem ztepilým.

Dále jsem zjistil, že se variabilita hustoty dřeva borovice Murrayovy mění v závislosti na poloze v kmeni. Ve vertikální poloze hustota dřeva dosahovala větších hodnot v dolní sekci než v horní sekci kmene. V horizontální poloze se hustota dřeva měnila v závislosti na vzdálenosti od dřeně, kde menší hustoty dosahovala ve středu kmene a vyšších hodnot pak na obvodu kmene.

Z práce vyplývá, že hustota dřeva je velmi variabilní. Přesto při porovnání hustoty s domácími dřevinami by mohla najít své uplatnění i v našem dřevařském průmyslu. Hustota dřeva je ovlivněna řadou faktorů, mezi hlavní faktory patří podmínky na stanovišti. Dále musíme brát v úvahu vertikální a horizontální polohu v kmeni, kde dosahuje hustota různých hodnot. Uvedené faktory ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti.



## 8. Literatura:

- Adamíček R. *Charakteristiky dřevin* [online]. 1999 citováno 2014 – 4 - 18]. Dostupné z <http://drevo.celyden.cz/>
- Alden, H. A. *Softwoods of North America. General Technical Report-Forest Products Laboratory, USDA Forest Service* 1997 (FPL-GTR-102).
- Clark D. *Hobbit House exotic wood site* [online]. 2010 [citováno 2014 – 4 - 18]. Dostupné z <http://hobbithouseinc.com/personal/woodpics/>
- ČSN 49 0108. *Zjišťování hustoty při fyzikálních a mechanických skúškach*. Praha:Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993. 5s
- Čunderlík I.: *Štruktúra dreva. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen* 2009, 135 s. ISBN 978-80-228-2061-5
- Dillhoff R, Dillhoff T. *Evolvingearth* [online]. 2001 [citováno 2014 – 4 - 18]. Dostupné z <http://www.evolvingearth.org/mcabee/fossilwoods/part3glossary.pdf>
- Dimitrovský K., Modrá B., Prokopová D. *Unikátní rekultivační lesnické arboretum na Sokolovsku* 03/2010 [online]. 1999 [citováno 2014 – 4 - 12]. Dostupné z [http://www.zahrada-park-krajina.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=212:unikatni-rekultivani-lesnicke-arboretum-na-sokolovsku-konstantin-dimitrovsky-dana-prokopova-barbora-modra&catid=70:032010&Itemid=144](http://www.zahrada-park-krajina.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=212:unikatni-rekultivani-lesnicke-arboretum-na-sokolovsku-konstantin-dimitrovsky-dana-prokopova-barbora-modra&catid=70:032010&Itemid=144)
- Hartley J., Marchant J. *Methods of determining the moisture content of wood. State Forests of New South Wales. Research Division. Tech. Pap*, 1995 (41), 54. Harrison, J. W. *Methods of determining the moisture content of wood* 1974.
- Hendl J. *Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat*. 2004 Praha. 583 s. ISBN 80-7178-820-1
- Horáček P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 2001 Brno: MZLU, 128 s. ISBN 80-7157-347-7
- Kaňák J., Kaňák, K. *Genetika a šlechtění rodu Pinus, minulost, současnost a další perspektivy* [online]. Nepublikováno [citováno 2014 – 4 - 20]. Dostupné z [http://www.sofronka.cz/dokumenty/Vysledky\\_prace\\_Arsof.pdf](http://www.sofronka.cz/dokumenty/Vysledky_prace_Arsof.pdf)

Kaňák, J. *Zkušenosti s introdukovanými druhy borovic v arboretu Sofronka a jejich použití v imisních oblastech Krušných hor* [online]. Nепublikováno 2004 [citováno 2014 – 4 - 20]. Dostupné z [http://www.sofronka.cz/dokumenty/JK\\_Kostelec\\_XI\\_04\\_Introdukce.pdf](http://www.sofronka.cz/dokumenty/JK_Kostelec_XI_04_Introdukce.pdf)

Kollmann F. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe* 1951 (Vol. 1). Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer.

Kukachka B. F. Identification of coniferous woods. *Tappi*, 1960, 43(11), 887-896.

Krugman S. L., Jenkinson, J. L. Pinus L. pine. *Seeds of woody plants in the United States*, 1974, 598-638.

Lowery D. P., *Forest An American Wood*. Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 1984. Lodgepole pine.

Meier E. *The Wood Database* [online]. 1999 [citováno 2014 – 4 - 8]. Dostupné z <http://www.wood-database.com/lumber-identification/softwoods/lodgepole-pine/>

Munz P. A. *A California flora*. Univ of California Press 1959. London 1973, 1905 s. ISBN: 0-520-02405-2

Musil I., Hamerník J. *Jehličnaté dřeviny*. Vydání 1. 2007 Praha. 352 s. ISBN 978-80-200-1567-9

Peterson J., Seiler J.. *Forest Biology and Dendrology Education* [online]. 2010 [citováno 2014 – 4 - 18]. Dostupné z <http://dendro.cnre.vt.edu/>

Podrázský V.: Lesnictví na rozcestí nebo na scestí. *Vesmír*, 88 (139), 2009, č. 10, s. 630–633.

Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., Babiak, M.. *Štrúktura a vlastnosti dreva* . 2. vydání Bratislava, 1997: Príroda, 488 s. ISBN 80–07–00960–4

R Core Team (2012): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

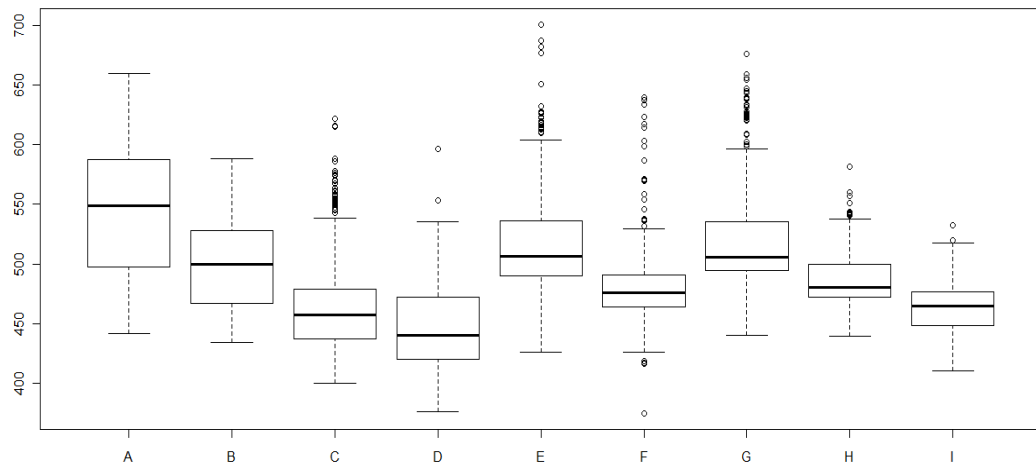
Šlezingerová J., Gandelová L., Horáček P. *Nauka o dřevě*. 2. vydání. Brno 1998: MZLU, 184 s. ISBN 80-7157-577-1

Vavrčík H. *Výuka anatomické stavby dřeva, Makroskopická stavba dřeva* [online]. Brno 2002 [citováno 2014 - 2 - 19]. Dostupné z [http://thuja.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba\\_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=bo](http://thuja.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=bo)

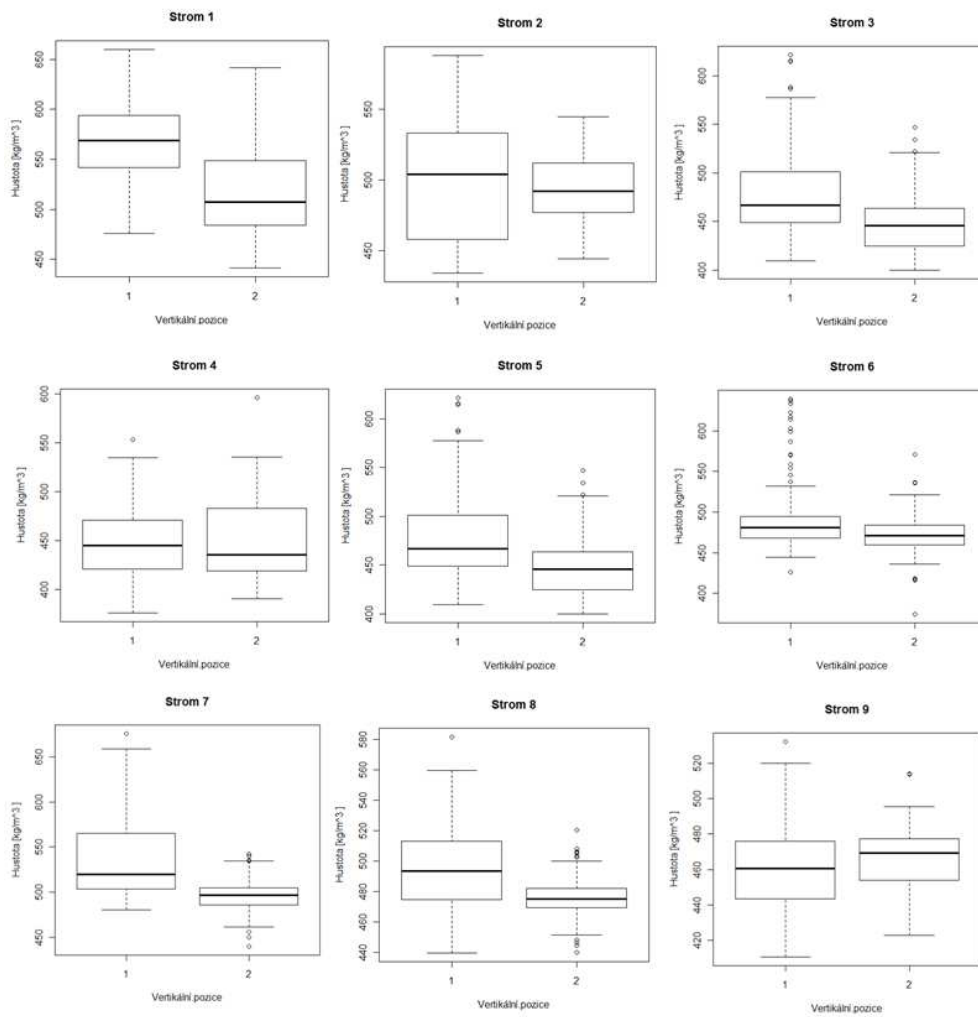
Wagenführ R. *Holzatlas. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000. 707 s.*

## 9. Přílohy:

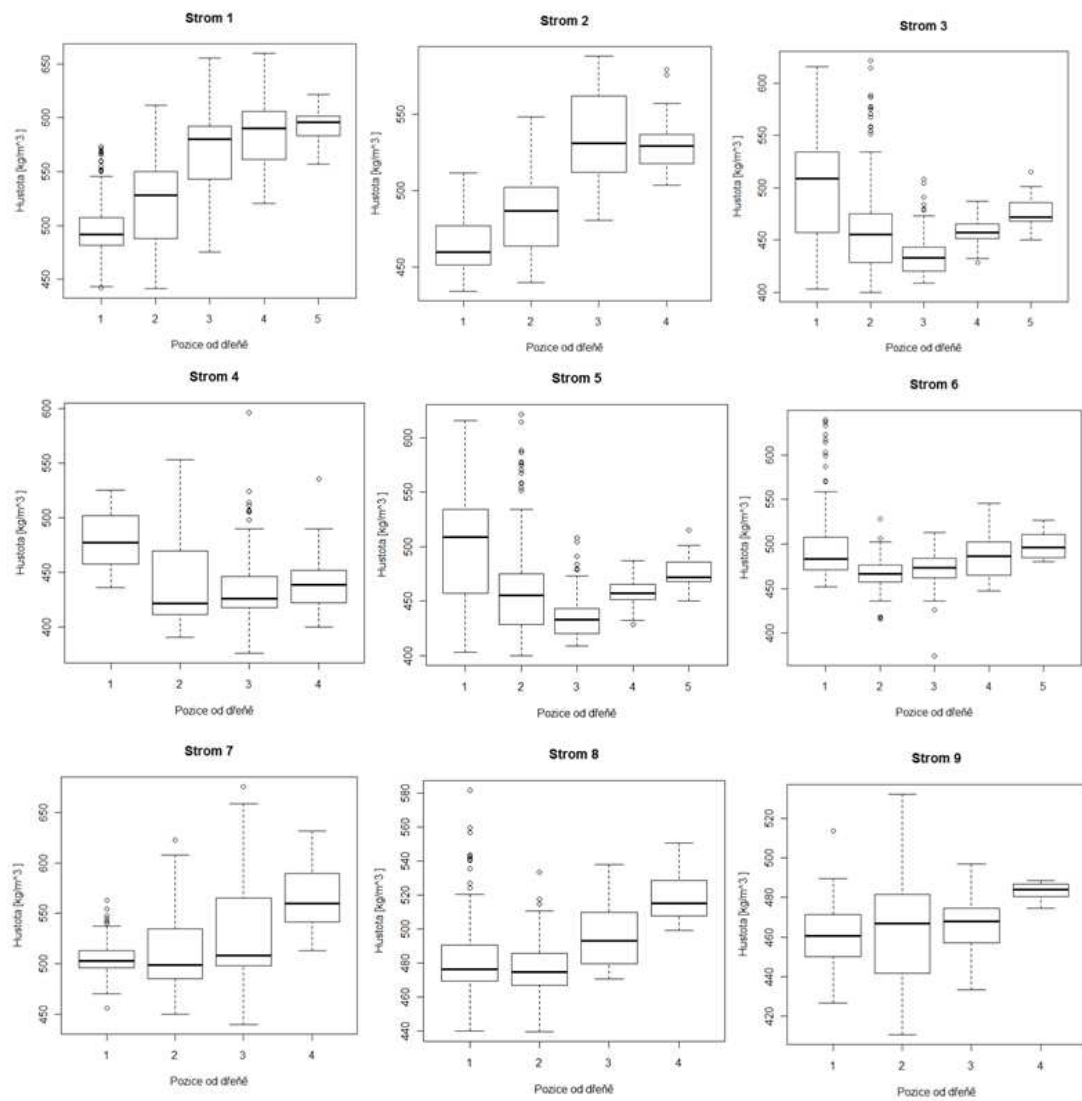
Příloha 1 Hustota devíti stromů borovice Murrayova



Příloha 2 Hustota stromů v závislosti na vertikální poloze v kmeni



Příloha 3 Hustota jednotlivých stromů borovice Murrayovy v závislosti na horizontální poloze v kmeni



## 10. Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tabulka 1 Vlastnosti borovice pokroucené.....	15
Tabulka 2 Statistické vyhodnocení hustoty dřeva borovice Murrayovy.....	27
Tabulka 3 Hustota domácích dřevin od různých autorů .....	28
Tabulka 4 Hustota dřeva borovice Murrayovy v jednotlivých stromech.....	29
Obrázek 1 Přirozený areál rozšíření borovice pokroucené .....	12
Obrázek 2 Makroskopická stavba dřeva borovice pokroucená.....	16
Obrázek 3 Řez borovicí pokroucenou.....	16
Obrázek 4 Mikroskopická stavba dřeva borovice Murrayovy.....	17
Obrázek 5 Kódování vzorků .....	25
Graf 1 Průměrná hustota při 12% vlhkosti, z devíti měřených stromů, v závislosti na vertikální poloze v kmeni .....	28
Graf 2 Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na horizontální poloze v kmeni .....	29