

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva



**Posouzení pevnosti v tlaku dřeva borovice Murrayovy  
z oblasti severočeských výsypek**

Bakalářská práce

Autor: Michal Novotný

Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Zeidler, Phd.

2015

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra základního zpracování dřeva

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Novotný

Dřevařství

Název práce

Posouzení pevnosti v tlaku dřeva borovice Murrayovy z oblasti severočeský výsypek

Název anglicky

Evaluation of compression strength of Murray pine wood from the North Bohemia mine dumps

---

### Cíle práce

- 1) Posoudit pevnost v tlaku 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 pevnosti v tlaku v rámci kmene i mezi jednotlivými stromy.

### Metodika

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

### Předběžný termín obhajoby

2014/06 (červen)

### Vedoucí práce

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 29. 7. 2013

**Ing. Milan Gaff, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 7. 2013

**prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 08. 04. 2015

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Posouzení pevnosti v tlaku dřeva borovice Murrayovy z oblasti severočeských výsypek“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Zeidlera, Phd. 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 20.4.2015

---

Michal Novotný

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat především doc. Ing. Alešovi Zeidlerovi, Phd. za jeho neskonalou trpělivost a vstřícný přístup při získávání a zpracovávání dat, za informace literaturu a rady, které poskytl. Chtěl bych také poděkovat Ing. Vlastimilu Borůvkovi za drobné konzultace a dále ještě Ing. Tomášovi Holečkovi za pomoc. Ještě bych chtěl moc poděkovat Bc. Janu Chvojkovi za cenné rady a za týmovou spolupráci při přípravě vzorků. Dále bych chtěl poděkovat rodině a svým blízkým, že se mnou měli trpělivost a umožnili mi tuto strastiplnou cestu vzdělání. Děkuji

## Abstrakt

Tato bakalářská práce má za úkol vyhodnocení výsledků z měření pevnosti v tlaku ve směru vláken dřeva borovice Murrayovy – *P. murrayana* z oblasti severočeských výsypek. Mým úkolem bylo data vyhodnotit v rámci kmene, podle pozice od dřene a výsledky porovnat s hodnotami našich domácích dřevin a s hodnotami v původních rozšířeních této dřeviny.

Výsledek vyhodnocení ukázal, že vzorky dosahují ve srovnání v rámci kmene různé hodnoty. Směrem od dřene k okraji kmene se pevnost do určité vzdálenosti zvyšuje, ale následně začne klesat.

Ve srovnání s našimi dřevinami dosahují zkoušené vzorky průměrných hodnot avšak nejbliže jsou výsledky vzorků testované borovice naší jedli.

Ve srovnání s údaji z původního rozšíření v USA vyplývá, že u nás dosahuje dřevina vyšších pevnostních hodnot.

Klíčová slova: dřevo, vlastnosti, pevnost v tlaku, borovice Murrayova, variabilita, výsyvky

## Abstract

This thesis aims evaluate the results of the measurement of compressive strength parallel to the grain of Murray pine wood – *P. murrayana* from the North Bohemian dumps. My task was evaluating the data within the tribe, according to the position of the marrow and the results compare with the tribe different values.

In the direction from the marrow to the edge of trunk strength increases, but then begins to decline. In comparison with trees reach our test samples, the average value and the average value of the tested pine reaches the same values as our fir.

In comparison with the data from original distribution in the USA shows that in our wood achieves higher strength values.

Keywords: wood, properties, compressive strength, Murray pine, variability

## Obsah

Obsah .....	6
10. Seznamy.....	7
10.1. Obrázky .....	7
10.2. Tabulky .....	8
2. Úvod.....	9
3. Cíle práce .....	9
4. Charakteristika zkoumané dřeviny.....	10
4.1. Borovice - <i>Pinus</i> .....	10
4.2. Botanické zařazení zkoumané dřeviny .....	11
4.3. Botanický popis zkoumané dřeviny .....	12
4.3.1. Obecný popis a výskyt .....	12
4.3.2. Vzhled .....	13
4.3.3. Šišťice .....	14
4.3.4. Letorosty a jehlice .....	14
4.3.5. Rozmnožování.....	15
4.3.6. Škůdci.....	16
4.3.6.1. Škůdci kmene.....	16
4.3.6.2. Škůdci dřeva.....	18
4.3.6.3. Škůdci pupenů a výhonů.....	19
4.3.6.4. Škůdci na jehlicích.....	19
4.3.7. Ekologie.....	22
4.3.8. Upotřebení.....	22
4.4. Anatomická stavba .....	22
5. Zjišťovaná vlastnost dřeviny.....	23
5.1. Pevnost v tlaku ve směru vláken .....	23
6. Metodika .....	25

6.1. Materiál a výroba zkušebních těles .....	25
6.2. Zjišťování pevnosti v tlaku ve směru vláken.....	27
6.2.1. Postup.....	27
6.2.2. Použité statistické ukazatele.....	28
7. Výsledky a diskuze .....	29
7.1. Vyhodnocení průměrné hodnoty pevnosti v tlaku ve směru vláken a dalších zjištěných statistických údajů.....	29
7.2. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na jedinci.....	30
7.3. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na pozici od dřene.....	31
7.4. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na hustotě.....	32
7.5. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální pozici .....	33
8. Závěr .....	34
9. Použité zdroje.....	35
9.1. Literatura .....	35
9.2. Normy.....	35
9.3. Webové stránky .....	36

## **1. Seznamy**

### **1.1. Obrázky**

Obrázek 1: Mapa rozšíření borovice Murrayovy na původním území.....	12
Obrázek 2: Habitus.....	13
Obrázek 3: Šišťice .....	14
Obrázek 4: Letorost .....	15
Obrázek 5: Obaleč prýtový .....	19
Obrázek 6: Hřebenule ryšavá.....	19
Obrázek 7: Píďalka tmavoskvrnáč.....	20
Obrázek 8: Můra sosnokaz .....	20
Obrázek 9: Bourec borový .....	21
Obrázek 10: Bejlomorka borová.....	21
Obrázek 11: Oddělení tracheid během namáhání ve složené lamele (smrk).....	23

Obrázek 12: Porušení dřeva v mikrostruktuře v tlaku ve směru vláken (smrk).....	23
Obrázek 13: Znázornění pozic těles od polohy dřeneš.....	25
Obrázek 14: Rozložení kmene pro přípravu těles.....	26
Obrázek 15: Zkušební těleso.....	26
Obrázek 16: Lýkohub menší.....	16
Obrázek 17 : Lýkohub sosnový.....	16
Obrázek 18 : Lýkožrout vrcholkový.....	17
Obrázek 19 : Krasec borový.....	17
Obrázek 20 : Smolák.....	18

## **1.2. Tabulky**

Tabulka 1 - Základní statistické údaje z měření .....	29
Tabulka 2 - Pevnosti v tlaku ve směru vláken jiných dřevin .....	29



## 2. Úvod

Dřevo je dnes jako materiál využíváno čím dál tím více a na základě dalších experimentů vnikají nové technologie na efektivnější zpracování této suroviny. Dnes se nacházíme v době, kdy i k nám pomalu přichází trend většího využití dřeva a usilujeme o jeho větší rozšíření.

Tato surovina přináší spoustu výhod: lehce opracovatelná, obnovitelná, skvělý poměr mezi hustotou (hmotností) a pevností, ale má také své nevýhody, které komplikují práci s tímto materiálem a to jsou především anizotropické a heterogenní faktory. S těmito faktory se člověk snaží vypořádat po svém a umožňují mu to nové možnosti zpracování suroviny do kompozitních materiálů a jiných technologií. Tím můžeme říci, že rozsah využití nemá zatím své hranice.

Důvodem, proč zkoumat pevnost v tlaku ve směru vláken je ten, že tato hodnota je velice důležitá pro výpočty v konstrukcích, kde by se mělo dané dřevo použít. Ze srovnání těchto hodnot lze poté určit, jaká dřevina se pro danou úlohu bude nejlépe hodit a to jak z důvodů konstrukční, tak i z ekonomických důvodů.

*„Každý potřebuje strom, od kolébky po rakev“ Mohamed*

## 3. Cíle práce

Cílem mojí bakalářské práce je porovnat pevnost v tlaku ve směru vláken dřeva borovice Murrayovy (*Pinus Murrayana*) z oblasti severočeských výsypek na území bývalého hnědouhelného dolu Antonín poblíž Sokolova s údaji dosahovanými v oblastech původního rozšíření. Dále pak srovnat hodnoty s hodnotami našich domácích jehličnatých dřevin a také posouzení pevnosti v tlaku ve směru vláken v rámci kmene – v závislosti na vzdálenosti od dřeně, v závislosti na vertikální pozici v kmeni, na hustotě i mezi jednotlivými stromy.

## 4. Charakteristika zkoumané dřeviny

### 4.1. Borovice - *Pinus*

Podle starého latinského názvu některého druhu, asi dle borovice černé – *P. nigra* nebo pinie *P. pinea*. Anglicky: Pine, německy: Kiefer, rusky: Sosna.

Stromy, jen zřídka keře s přeslenitým větvením. Vždyzelené jehlice, nejčastěji po dvou, po třech nebo po pěti. Jen výjimečně jsou jehlice po jedné nebo ve větším počtu. Samčí šištice bývají nahlučeny ve spodní části prýtu. Samičí jsou postranní, někdy přímo pod vrcholem prýtu, a to jednotlivě nebo v přeslenech. U některých druhů výrazně převyšuje jedno pohlaví. Šišky mají šupiny na konci ztlustlé v tzv. štítek, který poskytuje výrazné rozlišovací znaky. Šišky dozrávají v druhém roce (výjimečně v třetím roce), opadávají po dozrání nebo také vytrvávají mnoho let.

Rod čítá 100-120 druhů rozšířených v Eurasii i v Severní Americe, z oblastí tajgy až do subtropů a tropů v Guatemale, severní Africe, Malajsi a Indonésii. Jediný druh překračuje rovník – *P. merkusii* v horách na Sumatře. V mnoha zemích představují různé druhy borovic důležité hospodářské dřeviny, ať už původní nebo vysazené. Ve Středomoří je významným druhem borovice černá - *P. nigra*, i u nás na vápencích lesnicky využívána. Zpustlá, suchá území ve Středomoří se hojně zalesňují borovicí alpskou – *P. halepensis*, která však nevydrží naše zimy. Významnou dřevinou sibiřské tajgy je borovice sibiřská – *P. sibirica* (sibiřská limba, kedr). Na lesní hranici v pohořích východní Asie a v tundře roste keřovitá příbuzná limby – *P. pumila*. Na západě Severní Ameriky jsou důležitými porostotvornými dřevinami borovice pokroucená – *P. contorta*, borovice těžká - *P. ponderosa*, borovice pohorská - *P. monticola* a borovice cukrová - *P. lambertiana*, dosahující největších rozměrů ze všech borovic. V horách jihozápadu USA roste pověstná borovice osinatá – *P. aristata* a *P. longaeva* dosahující nejvyššího známého věku (4500 let). Na východě severoamerického kontinentu se v hospodářských lesích hojně vyskytuje b. hedvábná vejmutovka – *P. strobu*, která i u nás v lesích našla širší uplatnění. Má zde areál také b. smolná – *P. resinosa*. Více na jihu roste tříjehličná b. tuhá – *P. rigida*, známá výmladky na kmeni. Nejvýznamnější kanadskou dřevinou je b. banksova – *P. banksiana*, používaná i u nás. Severoamerický subtropický druh, kalifornská b. paprscitá – *P. radiata* se jako rychlerostoucí dřevina vysazuje v suchých subtropech po celém světě. I jiné teplomilné borovice z jihu USA, střední Ameriky a ostrovů karibské oblasti našly uplatnění na plantážích tropů a subtropů (*P. oocarpa*, *P. elliotii*, *P. caribea* aj.), podobně jako *P. khasia* ze zadní Indie.

Některé druhy borovic jsou určujícím prvkem celých krajin, jako například ve Středomoří pinie *P. pinea* a b. přímořská - *P. maritima* nebo *P. tabulaeformis* v horských krajích Číny. Nápadným čínským druhem je tříjehličná *P. bungeana* s kůrou odlupující se v plátcích jako u tisu. Některé japonské druhy jsou známé jako bonsaje, např. b. hustokvětá - *P. densiflora* nebo b. drobnokvětá- *P. parviflora*. Jiným japonským druhem je *P. excelsa (walchiana)*. V Evropě máme dvě endemické borovice na Balkánském poloostrově – b. rumelská – *P. peuce* a b. hladkokorá – *P. leucodermis*. Znamá z horských poloh je také limba – *P. cembra*.

Na našem území rostou spontánně tři druhy rodu *Pinus*: b. lesní – *P. sylvestris*, kleč, kosodřevina – *P. mugo* a b. bažinná, blatka – *P. rotundata*. U nás je borovice lesní nejvýznamnějším jehličnanem hned po smrku. Je to důležitá hospodářská dřevina v mnoha zemích severní Evropy a na území Ruska. (Úřadníček, 1998)

#### 4.2. Botanické zařazení zkoumané dřeviny

Říše: *Plantae*

Podříše: *Trachebionta* (cévnaté rostliny)

Oddělení: *Gymnospermophyte* (nahosemenné)

Třída: *Pinopsida* (jehličnany)

Řád: *Pinales* (borovicotvaré)

Čeleď: *Pinaceae* (borovicovité)

Rod: *Pinus* (borovice)

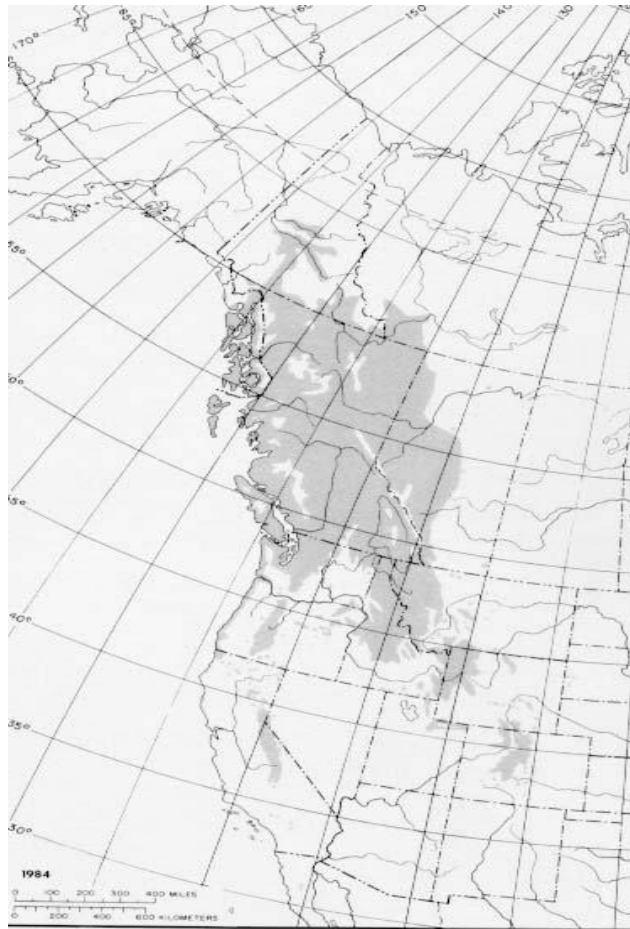
Podrod: *Pinus*

Botanický název: *Pinus murrayana*, také známá jako *Pinus concorta* (borovice pokroucená), (Musil 2003).

### 4.3. Botanický popis zkoumané dřeviny

#### 4.3.1. Obecný popis a výskyt

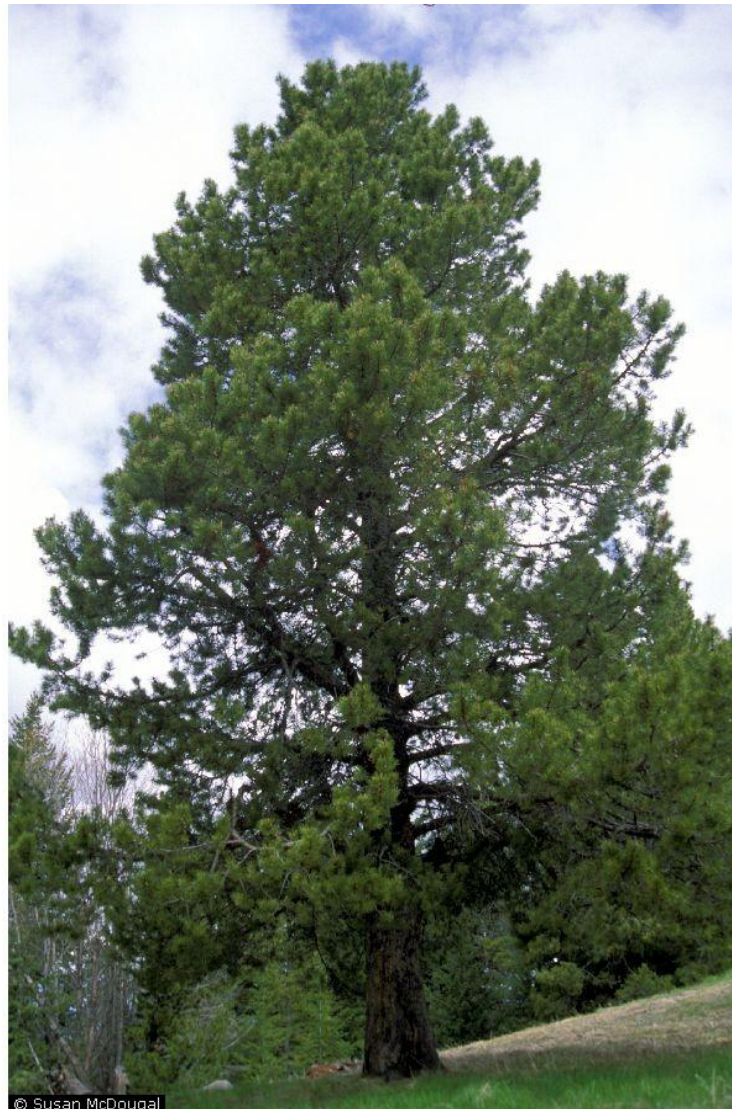
Borovice Murrayova je jednou ze 4 subspecií borovice pokroucené – *P. contorta*. Borovice Murrayova je jehličnatá dřevina o výšce 25-30m a průměru cca 45cm. Jedinci rostoucí blízko hranice lesa jsou spíše keřovité formy. Borovice Murrayova je velice trvanlivá, některé stromy se dožily i více než 600 let. Ryzí domovinou této dřeviny je Sierra Nevada v Severní Americe, kde je známá pod názvem Sierra Lodgepole pine nebo Tamarack pine. Borovice Murrayova je všudypřítomný druh s širokou ekologickou amplitudou. Roste po celých Rocky Mountain a americkém pobřeží Tichého oceánu. Její rozšíření sahá od severu v Yukonu až na jih v Baja California a ze západu na východ od Tichého oceánu k Black Hills v Jižní Dakotě. Varianty borovice pokroucené – *P. contorta* pokrývají v západní části USA téměř 6 milionů hektarů lesa a téměř 20 milionů hektarů v Kanadě. (URL7)



Obrázek 1: Mapa výskytu borovice Murrayovy, ([www.na.fs.fed.us](http://www.na.fs.fed.us))

### 4.3.2. Vzhled

Borka tenká a hladká, v dospělosti tmavě červenohnědá, rozpraskávající se v šupiny. Letorosty zelené, lysé, během jednoho roku vytváří často 2 přesleny. Pupeny podlouhle vejčité, 12 mm, červenohnědé, pryskyřičnaté. Šišky serotinní (otevírají se obvykle mnoho let po dozrání např. při požáru) i neserotinní, krátce stopkaté, jednotlivé nebo po několika pohromadě, značně asymetrické, 2-6 x 2-3 cm, se štítky kosočtverečnými, s malým pupkem a ostrými tenkými hroty. Semena velmi drobná, černavě hnědá. (URL8)



Obrázek 2: Habitus, ([www.plants.usda.gov](http://www.plants.usda.gov))

### 4.3.3. Šišťice

Šišťice o velikosti 3-7cm a mají ostny a musejí být vystaveny vysokým teplotám, aby se otevřely a uvolnily svá semena (například teplo z lesních požárů) – u dalších tří variací borovice pokroucené. V případě borovice Murrayovy se otevírají, jakmile jsou zralé. (URL12)



Obrázek 3: Šišťice, ([www.biolib.cz](http://www.biolib.cz))

### 4.3.4. Letorosty a jehlice

Pupeny jsou vejčitého tvaru o velikosti 20-30mm a jsou červeno-hnědé. Jsou krátké a špičaté, mírně se otáčejí a jsou velmi pryskyřičnaté. Jarní přírůst začíná v dubnu a letní přírůst končí v červenci.

Jehlice jsou lesklé a špičaté 4-8cm dlouhé a 0,9-2mm široké. Hrana jehel je slabá a jasně zoubkovaná. Jehlice rostou ve dvojici na krátkém výrůstku a otáčí se kolem podélné osy. Jehlice žijí v průměru 4-6 let maximálně však 13 let. (URL9)



Obrázek 4: Letorost, ([www.plants.usda.gov](http://www.plants.usda.gov))

#### 4.3.5. Rozmnožování

Borovice Murrayova je hojná na tvorbu semen a plodí každý 1 až 3 roky. První šištice se objevují ve věku od 4-8 let. Procento životaschopných semen je vysoké. Studie klíčivosti ukázaly, že životaschopnost semen je mezi 75-77%. Semena jsou rozptylována větrem na vzdálenost okolo 60m od zdroje. Životaschopná semena vydrží až 17 let v chladném skladu. Aby mohla semena vyklíčit, potřebují alespoň 20% plného slunečního světla. Holé minerální půdy bez hustého zalesnění má nejvyšší míru klíčivosti semen.

V regionu Cascade v Severní Americe způsobují významné ztráty na šišticích veverka. Nicméně ztráta semen pro ptáky a hlodavce nijak zásadně neovlivňuje reprodukci a to z důvodu tak vysoké klíčivosti semen. Nijak zásadně neovlivňují

úmrtnost sazenic v tomto regionu ani hojně migrace losů a jelenů, ale jejich pastva může mít za následek určitou ztrátu, stejně jako spásání semenáčků různými hlodavci. (URL4)

#### 4.3.6. Škůdci

##### 4.3.6.1. Škůdci kmene

**Lýkohub menší** – Vyvívá se v horních partiích kmenů, popřípadě i silných větvích- matečné chodby „letící vrána“+úživný žír ve výhonech. V teplých polohách i dvojité pokolení. (URL11)



Obrázek 16: Lýkohub menší (URL11)

**Lýkohub sosnový** – Požerky na spodní části kmene mají jednoramennou matečnou chodbu rovnoběžnou s osou kmene + úživný žír na letorostech. (URL11)



Obrázek 17: Lýkohub sosnový (URL11)

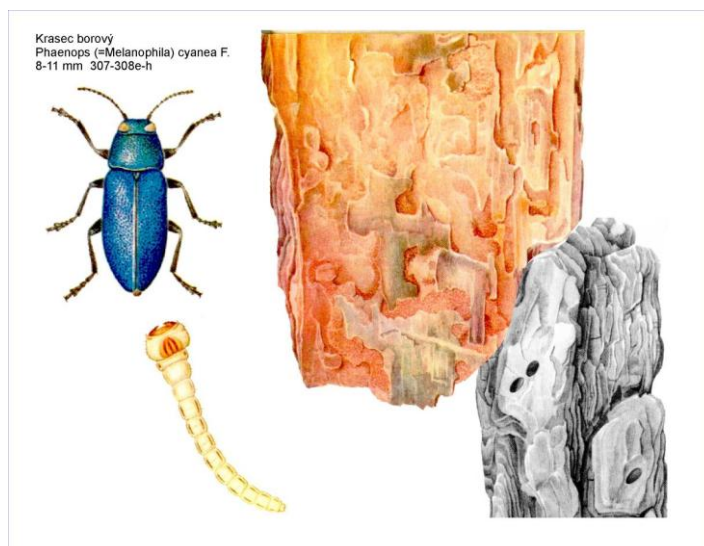


**Lýkožrout vrcholkový** - Hvězdčovitý požerak se vyskytuje pod tenkou kůrou vrcholků a větví. (URL11)



Obrázek 18: Lýkožrout vrcholkový (URL11)

**Krasec borový** – Vyhledává především silnější kmeny na suchých stanovištích a okrajích porostů. Generace je dvouletá. (URL11)



Obrázek 19: Krasec borový (URL11)

**Smoláci (znamenavý, borový)** – Nosatcovití brouci o velikosti 5-10mm ). Napadají mladé oslabené stromky (3-15let). Larvy vyžírají kmínky a kuklí se ve dřevě. Způsobují výrony pryskyřice a reznutí jehlic. (URL11)



*Obrázek 20: Smolák (URL11)*

#### **4.3.6.2. Škůdci dřeva**

Obdobní škůdci jako u smrku: Dřevokaz čárkovaný, pilořitky, tesařici a kozlíci. Způsobují hloubkové poškození dřeva. (URL11)

#### 4.3.6.3. Škůdci pupenů a výhonů

**Obaleč prýtový** – Drobný noční motýl. Samička klade v červenci vajíčka k bázi jehlic. Housenky nejdříve ožírají jehlice a následně se zavrtávají do postranních pupenů, v nichž přezimují. Zjara se žírem pokračují a vyžírají terminální a boční pupeny a rašící výhony, které se deformují. Podobné škody způsobují i další podobné druhy. (URL10)



Obrázek 5: Obaleč prýtový, ([cs.wikipedia.org](https://cs.wikipedia.org))

#### 4.3.6.4. Škůdci na jehlicích

**Hřebenule ryšavá** – Blanokřídlý hmyz příbuzný pilatkám a ploskohřebtkám. Housenice hromadně ožírají v borovicových mlazinách, ale také v porostech kleče, především mladší jehlice v blízkosti vrcholových pupenů. Ochranou jsou chemické postřiky. (URL10)



Obrázek 6: Hřebenule ryšavá, ([www.melodiae.com](http://www.melodiae.com))

**Píd'alka tmavoskvrnáč** – Noční motýl střední velikosti, samička i sameček jsou okřídlení. K přemnožení dochází přibližně jednou za 10 let v porostech ve věku 20-70 let na písčitých, suchých stanovištích. Housenky ožírají od srpna do listopadu ohraje

jehlic. Střední žebro jehlice je ponecháno, ale tento zbytek jehlice usychá. Na podzim se housenky spouštějí po vlákněch ze stromu a kuklí se v hrabance. Chránit můžeme strom chemickými prostředky – kontaktní insekticidy nebo aplikací biopreparátu (bakterie) – šetrné k jinému hmyzu. (URL10)



Obrázek 7: Píd'alka tmavoskvrnáč, ([www.melodiae.com](http://www.melodiae.com))

**Můra sosnokaz** – Noční motýl, k jehož přemnožení dochází v obdobných podmínkách jako u píd'alky tmavoskvrnáče. Housenky vyžírají pupeny, jehlice popřípadě i kůru. (URL10)



Obrázek 8: Můra sosnokaz, ([www.melodiae.com](http://www.melodiae.com))

**Bourec borový** – Rezavohnědý noční motýl s rozpětím křídel 60-80mm. Chlupaté housenky dorůstají až 9cm a od července do října ožírají jehlice a po přezimování v hrabance se zjara vracejí do korun. Přemnožuje se zřídka ve stejnověkových, stejnorodých starých borech na chudých a teplých stanovištích. (URL10)



Obrázek 9: *Bourec borový*, ([www.zebry.cz](http://www.zebry.cz))

**Bejlmorka borová** – Drobný komár z rodu dvoukřídli. Samičky kladou vajíčka zjara mezi mladé borové jehlice pod ochranné šupiny. Larvy sají při spodu jehlic a vytvářejí hlízkovité hálky. Dorostlá larva se kuklí v hrabance. Jehlice žloutnou, krouť se a opadávají. V současné době se vyskytuje především na borovici kleči, na borovici lesní nyní neškodí. (URL10)



Obrázek 10: *Bejlmorka borová* ([www.naturfoto.cz](http://www.naturfoto.cz))

#### **4.3.7. Ekologie**

Borovice Murrayova je velmi adaptivní strom, který může růst v nejrůznějších prostředích, z podmáčených řašelinišť až po suché písčité půdy. Tento typ borovice je jednou z prvních dřevin, které najdeme na místě zasaženými lesními požáry.

Borovice Murrayova se může objevit jako jediný strom v husté, velice pomalu rostoucí skupině stromů.

#### **4.3.8. Upotřebení**

Mnoho prvních národů v Britské Kolumbii používalo dřevo z této borovice pro různé účely, včetně tyčí pro chaty, domy nebo budovy. Pyskyřici používalo jako základ pro mnoho léků. Pyskyřice se vařila a mísila s živočišným tukem a používala se jako obklad pro revmatické bolesti a pro všechny jiné typy bolestí svalů a kloubů. Dříve se pyskyřice i žvýkala kvůli redukci bolesti v dutině ústní.

Dnes se tato borovice pěstuje pro vynikající řezivo, překližky a obložení. Používá se k výrobě oken, dveří a obložení, stejně jako pražce, plotové sloupky nebo zpevňující materiál důlních chodeb. (URL12)

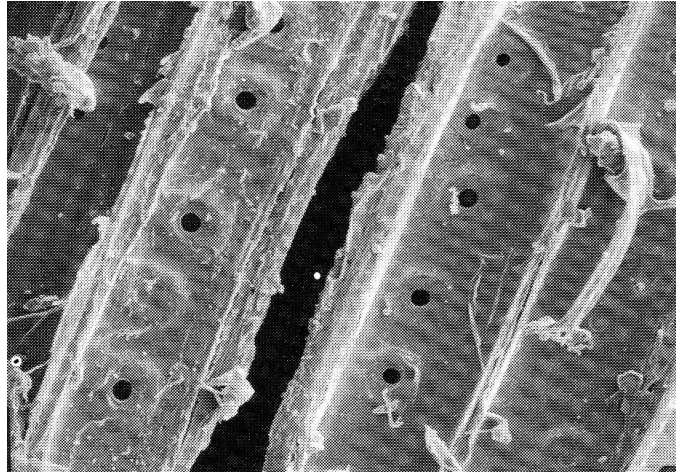
#### **4.4. Anatomická stavba**

Jedná se o jádrovou dřevinu s nažloutlou bělí a červenohnědým jádrem, které postupem času mění barvu do tmava. Dřevina je to měkká až středně těžká s náhlých přechodem mezi jarním a letním dřevem a s dobře viditelnými pyskyřičnými kanálky na příčném i podélném řezu, které jsou mnohem lépe viditelné než například u smrku nebo modřínu. Dalšími znaky jsou dobře rozlišitelné hranice letokruhů, v čerstvém stavu voní po pyskyřici. Běl často zamodrává působením dřevozbarvujících hub a je možný i výskyt prosmolu. (6)

## 5. Zjišťovaná vlastnost dřeva

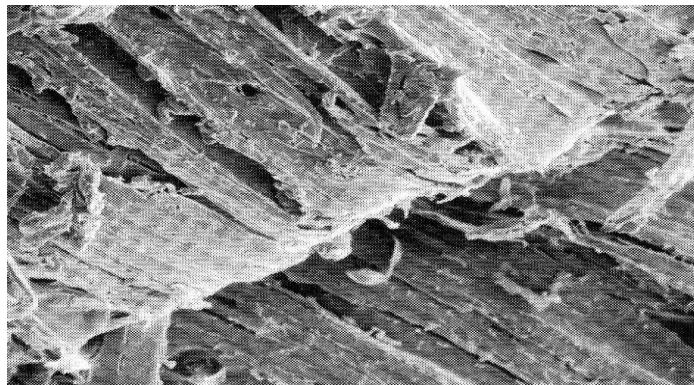
### 5.1. Pevnost v tlaku ve směru vláken

Nejvýznamnější a nejcharakterističtější tlakovou pevností v porovnání s ostatními směry zatížení je pevnost ve směru vláken. Pro jednoduchost zatížení a poměrně vysokou pevnost má tlak rovnoběžně s vlákny široké uplatnění (kůly, piloty, různé části nosníkových prvků atd).



Obrázek 11: Oddělení tracheid během namáhání ve složené střední lamele (smrk),  
(Požgaj, 1997)

Pevnost dřeva ve směru vláken, ale i velikost deformace u jehličnatých dřevin závisí především od vzájemného spojení tracheid (OBR). Kromě vzájemného spojení vláken je rozhodující i pevnost samotných elementů, především letních tracheid a u listnatých dřevin spojení libriformních vláken. Pevnost vláken převážně ovlivňuje střední vrstva  $S_2$  sekundární stěny. Nemůžeme vyloučit ani možnost, že pevnost a stabilita vláken se mění s jejich tloušťkou a tvarem.



Obrázek 12: Porušení dřeva v mikrostruktuře v tlaku ve směru vláken (smrk),  
(Požgaj, 1997)

Zjednodušený model dřeva zatíženého rovnoběžně s vlákny si můžeme představit jako konstrukci skládající se ze svazků trubek, které jsou vzájemně spojené mezibuňčnou stěnou. U jehličnatých a kruhovitě pórovitých dřevin to jsou pravidelně se střídající vrstvy trubek s tenčími a hrubšími stěnami různých průměrů. U roztroušeně pórovitých dřevin mají trubky větší průměry a tenčí stěny, které jsou rovnoměrněji rozmístěné mezi hrubostěnné trubky. Kompaktnost takového systému narušují příčně probíhající útvary s vřetenovitými průřezy – dřevné paprsky. Můžeme předpokládat, že napětí vznikající působením vnějších sil ve větší míře přenášejí dřevní elementy s hrubšími stěnami (u jehličnatých dřevin letní tracheidy a u listnatých dřevin libriformní vlákna).

Napětí ve stěnách buněk přenášejí makromolekuly celulózy přes krystalické a amorfni místa. V takto vytvořené celulózové kostře jsou ještě uloženy hemicelulózy a lignin, které tuto kostru stmelují. Na pevnosti v tlaku ve směru vláken má svůj významný podíl amorfni výplň a to především lignin.

V buněčných stěnách jsou nejslabší amorfni místa. Při zatížení vnějšími silami se tyto místa pravděpodobně nejvíce deformují a to nejen mechanickými silami, ale i vodou během sorpčních procesů.

Pevnost v tlaku ve směru vláken se u našich hospodářsky využitelných dřevin pohybuje v rozpětí od 30 až 70 MPa. Nejvyšší průměrnou pevnost v tlaku ve směru vláken má dřevo akátu, habru, případně dubu a nejnižší dřevo topolu a olše. Variabilita pevnosti ve směru vláken kolísá v rozpětí od 8 do 16%. Mez úměrnosti v tlaku ve směru vláken z meze pevnosti je u jehličnatých dřevin asi  $\frac{1}{2} \cdot \sigma_p$ . S tímto jistým podílem můžeme počítat i u listnatých dřevin. Při podrobnějších analýzách podílu meze úměrnosti a meze pevnosti se ukazuje, že vyšší mez úměrnosti mají jehličnaté dřeviny. Toto je možné vysvětlit jejich pravidelnější stavbou oproti listnatým dřevinám. Nejnižší mez pevnosti mají tvrdé listnaté dřeviny (kruhovitě pórovité a roztroušeně pórovité), což souvisí s mnohem méně pravidelnou strukturou dřeva. Měkké roztroušeně pórovité listnaté dřeviny zabírají místo mezi jehličnatými a tvrdými listnatými dřevinami. Mez pevnosti se vypočítá podle vztahu (Požgaj, 1997)

kde  $F_{\max}$  je síla na mezi pevnosti,  
a  $a, b$  jsou příčné rozměry tělesa.

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{a \cdot b}$$

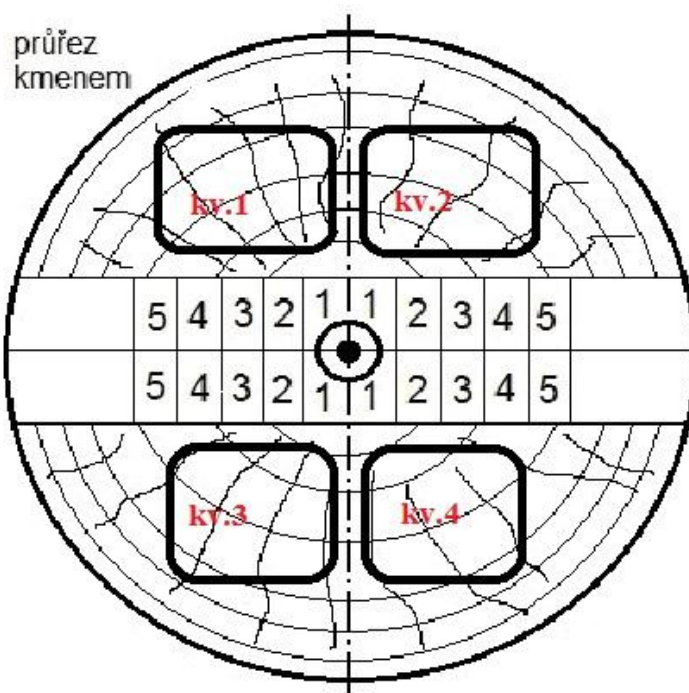


## 6. Metodika

### 6.1. Materiál a výroba zkušebních těles

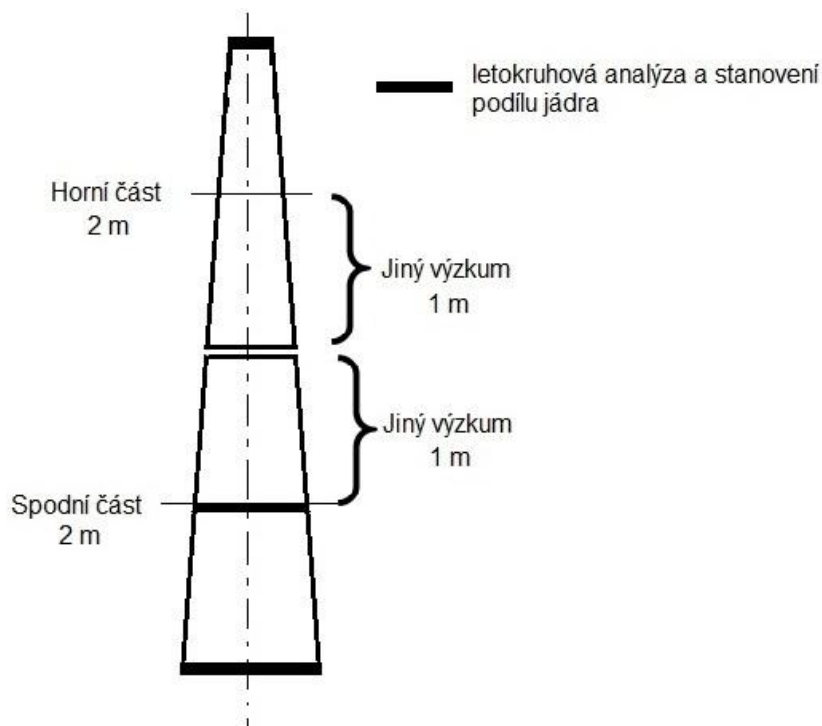
Vzorky byly vyrobeny z materiálu dovezeného z rekultivované severočeské výsypky na území bývalého hnědouhelného dolu Antonín u Sokolova. Následně byl uskladněn v hráni na pozemku České zemědělské univerzity v Praze a předminulý rok bylo rozhodnuto, že bude zpracován na zkušební tělesa pro několik výzkumných prací.

Všech devět stromů bylo rozděleno do dvou výškových sekcí, tedy spodní a vrchní část kmene o délce přibližně dva metry Obrázek 14. Středové fošny byly tvořeny vždy dvěma prkny, tato prkna se podélně rozdělily na dvě části Obrázek 13. Na tomto obrázku je znázorněno také značení vzorků od polohy dřeně.



Obrázek 13: Znázornění pozice těles od polohy dřeně, Chvojka 2014

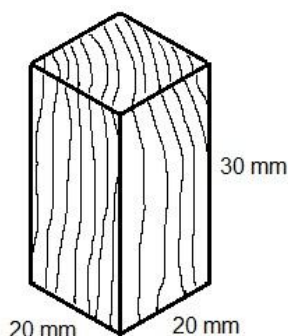
Z každé části byl odříznut asi jeden metr, který byl zpracován za jiným účelem. Ze zbylých horních částí kmenů bylo na jednom konci a u spodních částí kmenů na obou koncích odříznuty kraje za účelem letokruhové analýzy a stanovení podílu jádra. (Chvojka 2014)



Obrázek 14: Rozložení kmene pro přípravu zkušebních těles; neoznačené části jsou použity v této práci, Chvojka 2014

Fošny rozdělené podél osy kmene, se dále ve směru osy nařezaly v požadovaném rozměru na pět hranolků směrem od dřene, každý z těchto hranolků se dále nařezal na několik těles požadované délky. (Chvojka 2014)

Podle normy ČSN 49 0110 mají mít zkušební tělesa pro zjišťování pevnosti v tlaku ve směru vláken tvar pravoúhlého hranolu o základně 20x20 mm a výškou 30 mm. Zkušební tělesa, která byla zkoumána zde, byla vyrobena o rozměru 20x20x30 mm.



Obrázek 15: Zkušební těleso, Chvojka 2014

## 6.2. Zjišťování pevnosti v tlaku ve směru vláken

- Digitální váha
- Digitální posuvné měřítko
- Měřicí stroj UTS 50/01113066
- Software na zpracování vstupních dat z UTS 50/01113066
- SW Statistica

### 6.2.1. Postup

Jako první úloha se řešila hustota při neznámé vlhkosti. Všechny vzorky se zvážily s přesností na 0,01g a pomocí digitálního posuvného měřítka se přeměřily rozměry zkušebních těles a vypočetl se objem těles. Z těchto hodnot se vypočetla hodnota hustoty při neznámé vlhkosti  $\rho_x$  a to podílem hmotnosti a objemu.

$$\begin{array}{l} m = \text{hmotnost} \\ V = \text{objem} \end{array} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Následně jsem pokračoval k úloze zjistit pevnost v tlaku ve směru vláken. Postupoval jsem tedy přesně podle normy ČSN 49 0110.

V polovině výšky zkušebních těles se s přesností 0,1mm změřil přířez  $a$ ,  $b$ . Zkušební těleso se uložilo do přípravku na rovnoměrné zatížení a zatěžovalo se přes lisovník. Zkušební těleso se podle normy muselo zatěžovat rovnoměrně za konstantní rychlosti namáhání anebo za konstantní rychlosti pohybu zatěžovací hlavičky stroje. Rychlost musí být taková, aby se zkušební těleso porušilo za  $(1,0 \pm 0,5)$  min. od začátku zatěžování. Maximální zatížení  $F_{\max}$  se měřilo s přesností 1%.

Pro testování vzorků jsem použil školní zkušební zařízení UTS 50/01113066 a za pomoci příslušného softwaru, který hodnoty počítal podle vzorce v kapitole 4.1. Pevnost v tlaku ve směru vláken, vyexpedoval výsledky testu do programu Statistica a výsledky dál zpracoval.

### 6.2.2. Použité statistické ukazatele

**Aritmetický průměr hodnot** - je statistická veličina, která v jistém smyslu vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot, daná vzorcem:

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

kde: N – počet hodnot;  $x_i$  – zjištěné hodnoty

**Medián** – je hodnota, jež dělí řadu vzestupně seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny-

$$\tilde{x}$$

**Maximum** – je matematická funkce, jejíž funkční hodnota představuje nejvyšší hodnotu ze všech vstupních parametrů

**Minimum** – je matematická funkce, jejíž funkční hodnota představuje nejnižší hodnotu ze všech vstupních parametrů

**Směrodatná odchylka** – Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru

**Variační koeficient** – Variační koeficient udává, z kolika procent se podílí směrodatná odchylka na aritmetickém průměru

s – směrodatná odchylka,  $\mu$  – aritmetický průměr

$$V = \frac{s}{\mu} \cdot 100$$

## 7. Výsledky a diskuze

### 7.1. Vyhodnocení průměrné hodnoty pevnosti v tlaku ve směru vláken a dalších zjištěných statistických údajů

Tabulka 1: Základní statistické údaje z měření (autor)

<b>Počet stromů</b>	<b>9</b>
<b>Počet vzorků</b>	<b>1170</b>
<b>Průměr</b>	<b>46,68029174</b>
<b>Maximum</b>	<b>69,17221994</b>
<b>Minimum</b>	<b>22,76834162</b>
<b>Medián</b>	<b>46,10743041</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>	<b>11,91423548</b>
<b>Variační koeficient</b>	<b>25,5%</b>

K dispozici na měření jsem obdržel fošny z celkem 9ti stromů borovice Murrayovy z oblasti severočeských výsypek na území bývalého hnědouhelného dolu Antonín poblíž města Sokolov. Z fošen se podařilo získat pro tuto zkoušku pevnosti v tlaku ve směru vláken celkem 1170 vzorků.

Tabulka 2: Pevnosti v tlaku ve směru vláken jiných dřevin, (Wagenführ R., 2000)

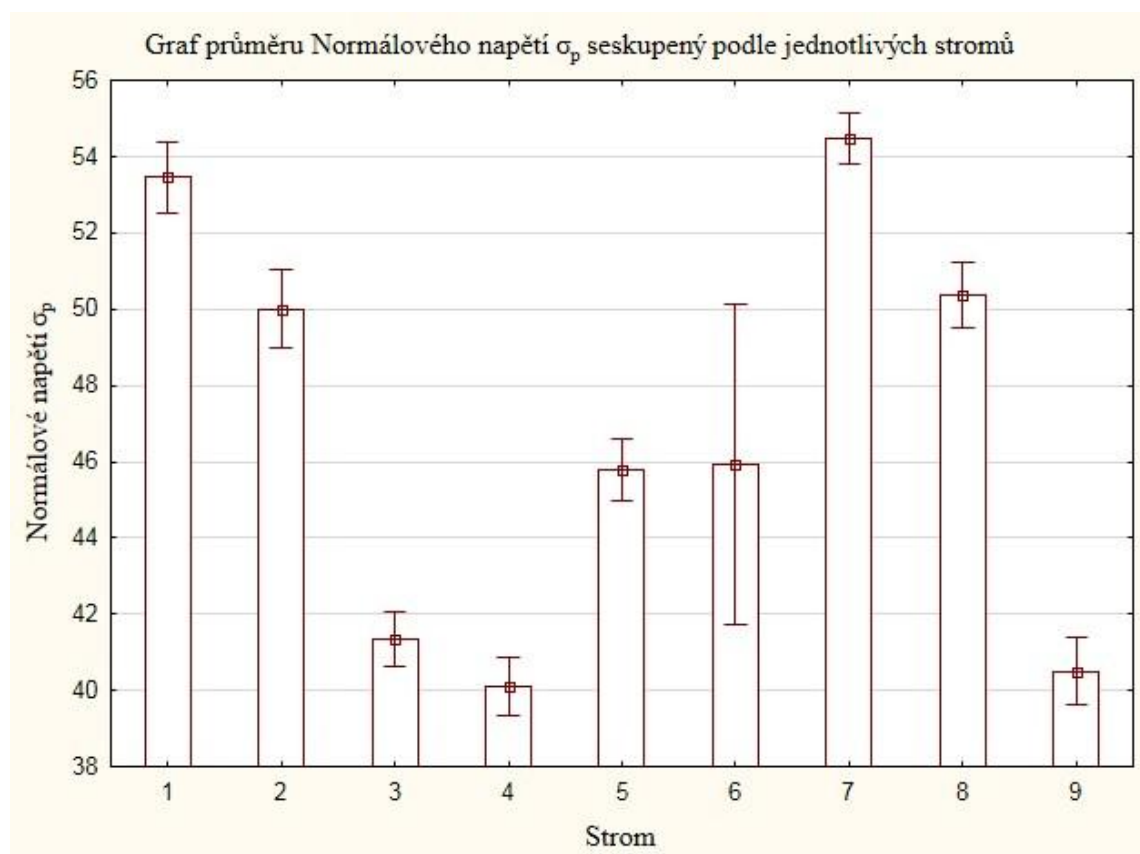
<b>Pevnosti v tlaku jiných dřevin</b>			
<b>Dřevina</b>	<b>Minimum</b>	<b>Průměr</b>	<b>Maximum</b>
Smrk	33	50	79
Borovice	35	55	94
Jedle	31	47	59
Modřín	41	55	81
<b>Borovice Murrayova</b>	<b>22</b>	<b>46</b>	<b>69</b>

Dosažená průměrná hodnota 46,68MPa je lehce pod průměrem hodnot, kterých dosahují i naše dřeviny (smrk, modřín, jedle, borovice). Stejnou průměrnou pevností v tlaku ve směru vláken má jedle. Ovšem další hodnoty se liší s většími odchylkami. Naměřená minimální hodnota je cca o 30-50% nižší, než jí dosahují naše dřeviny. Maximum je lehce pod průměrem maximálních hodnot, které mají smrk, modřín, jedle a

borovice. Směrodatná odchylka ukazuje, o kolik se v průměru hodnoty odchýlily od celkového průměru hodnot.

Dalším mým úkolem bylo srovnat dosaženou hodnotu pevnosti v tlaku ve směru vláken, která byla naměřená ze zkoumaných vzorků, s hodnotami, které borovice Murrayova dosahuje na území svého původního rozšíření, tj. Severní Amerika. V publikaci *The Encyclopedia of wood* (U.S. Department of Agriculture, 2011) jsem našel, že v oblasti svého původního rozšíření dosahuje borovice Murrayova průměrné hodnoty 37MPa. To znamená, že borovice Murrayova z oblasti severočeských výsypek dosahuje vyšší pevnosti v tlaku ve směru než borovice z původního rozšíření v Severní Americe.

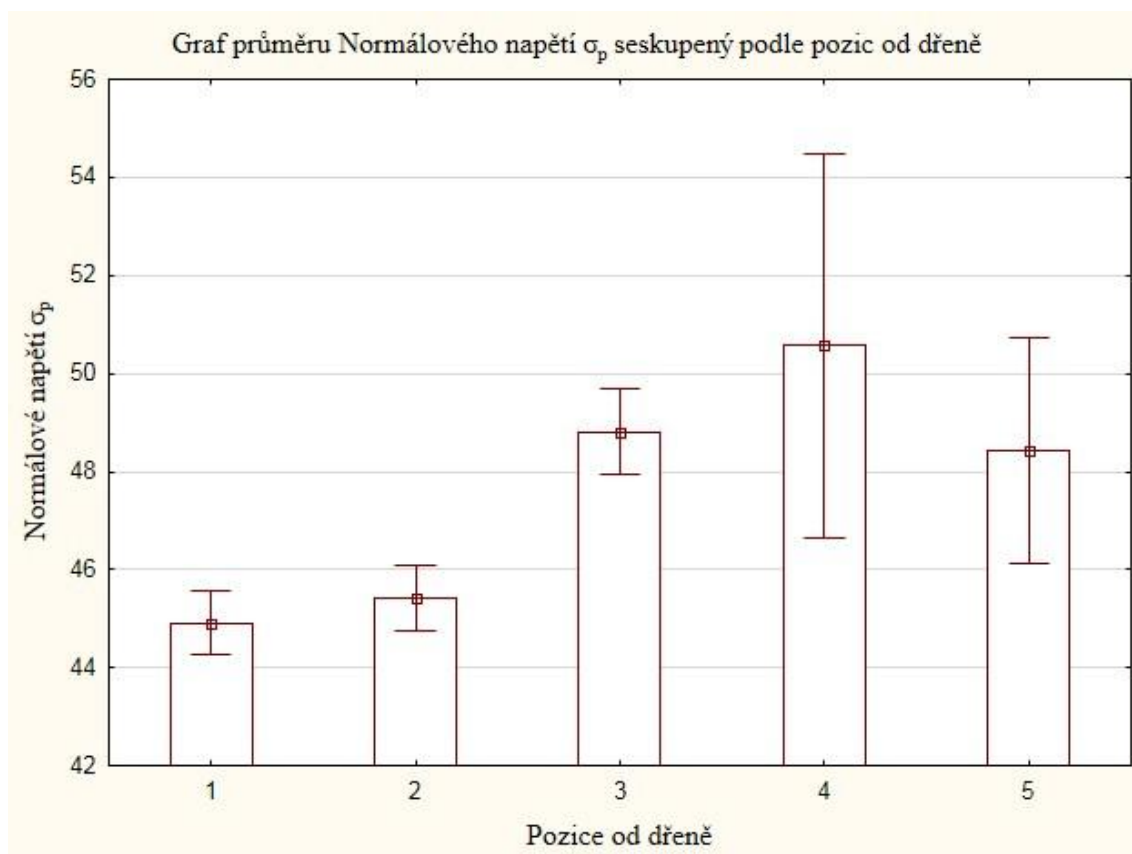
## 7.2. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na jedinci



Graf 1: Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na jedinci (autor)

Graf průměru z normálového napětí (pevnost v tlaku ve směru vláken) seskupený podle jednotlivých stromů, kterých bylo celkem devět, ukazuje velkou rozmanitost výsledků. Dalo by se konstatovat, že při tomto počtu vzorků (1170) je tento rozsah hodnot příliš vysoký. Pro potvrzení této teze by bylo potřeba provést testování na větším počtu vzorků ze stejné lokality.

### 7.3. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na pozici od dřene

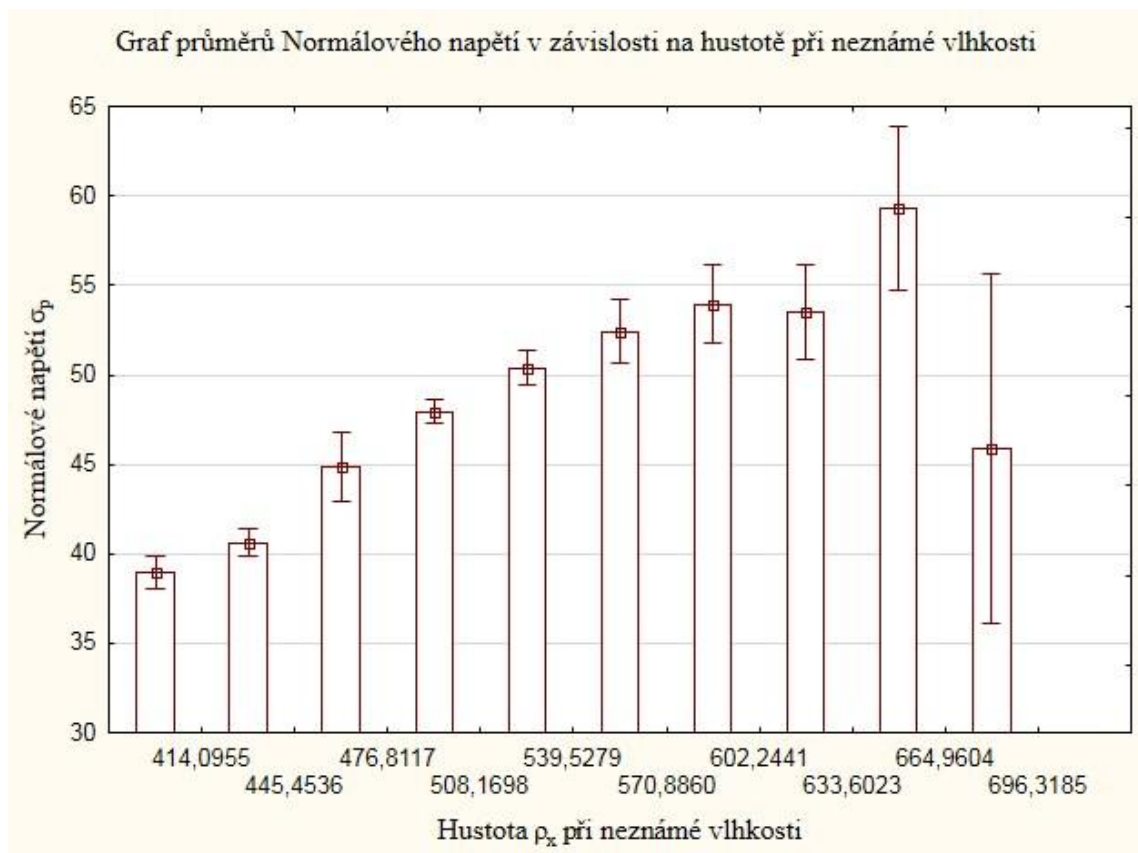


*Graf 2: Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na pozici od dřene  
(autor)*

Podle těchto výsledků se dá lehce určit, která část stromu je nejodolnější vůči tomuto typu namáhání, tedy namáhání tlakem ve směru vláken. Podle schématu na *Obrázek 13: Znárodnění pozice těles od polohy dřene, Chvojka 2014*, je jasné, že mez pevnosti se směrem od dřene k okraji zvyšuje, ale zároveň dochází ke zlomu, kdy se od určitého místa v kmeni začne opět snižovat. Nejhuře vychází pozice č.1, tedy nejbliže

ke dřeni a naopak nejlépe pozice č.4. Musíme brát v potaz také rozsah naměřených hodnot v daných pozicích. Je prokázáno, že byť pozice č.4 má nejvyšší pevnost, tak má ale také největší rozsah naměřených hodnot. Téměř 20% vzorků z této pozice bylo v celkově průměrných hodnotách.

#### 7.4. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na hustotě při neznámé vlhkosti

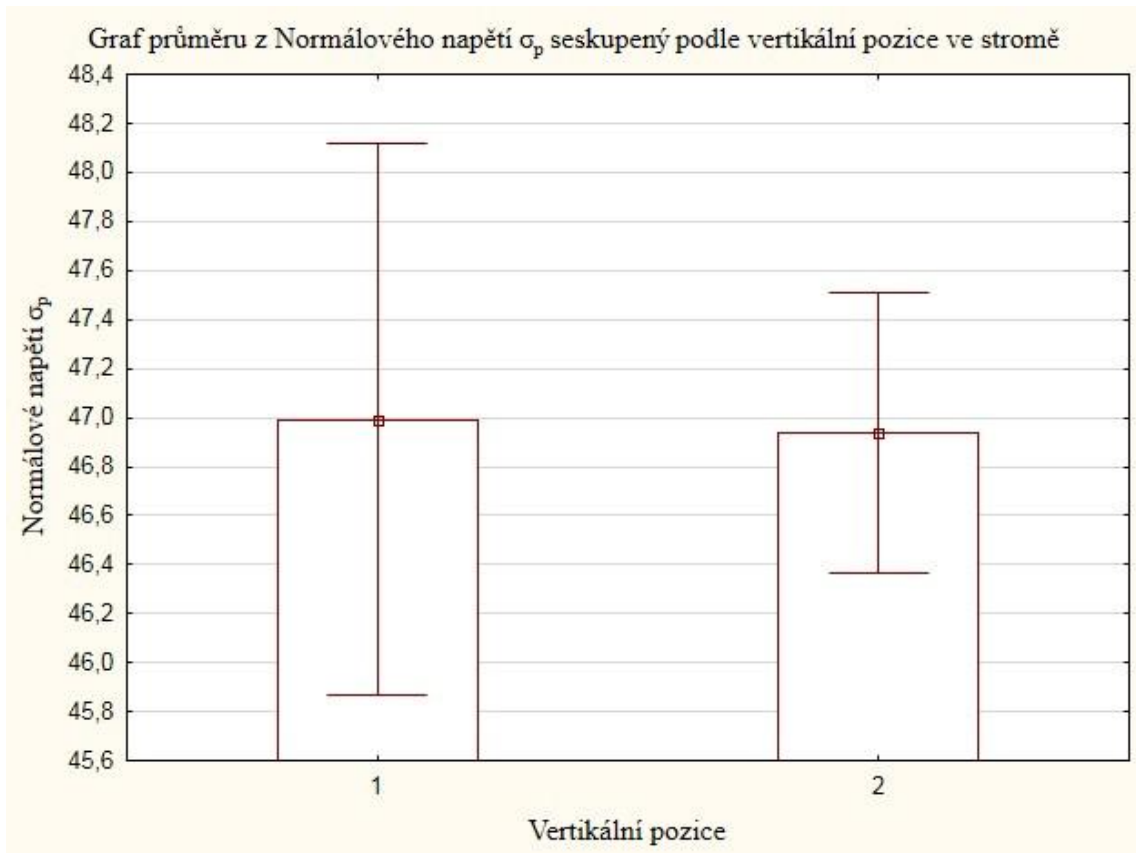


Graf 3: Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na hustotě při neznámé vlhkosti (autor)

Z grafu, který ukazuje závislost normálového napětí na hustotě je vidět, že s rostoucí hustotou se mění hodnota pevnosti v tlaku ve směru vláken. Nejdříve roste a při překročení určité hodnoty hustoty začne klesat.



## 7.5. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální pozici



Graf 4: Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální pozici (autor)

Toto statistické srovnání neukázalo žádný převratný objev. Výsledek ukazuje, že hodnoty naměřené na vzorcích se v závislosti na vertikální pozici v kmene nikterak zásadně neliší. Malá odchylka zde sice je, ale nijak zásadního rozměru. Odlišné byly pouze rozsahy hodnot v těchto pozicích, kdy spodní část kmene dosahuje většího rozsahu hodnot než část vrchní, ale také to nejsou velké rozdíly.

## 8. Závěr

Cílem mojí bakalářské práce bylo posoudit pevnost v tlaku ve směru vláken dřeva borovice Murrayovy (*P. Murrayana*), která je jednou s variant borovice pokroucené (*P. contorta*), z oblasti severočeských výsypek na území bývalého hnědouhelného dolu Antonín poblíž města Sokolov. Výsledky měření jsem měl porovnat s hodnotami našich domácích dřevin, s hodnotami na území původního rozšíření a také porovnat výsledky v rámci kmene v závislosti na vertikální pozici, pozici od dřeně.

Variabilita výsledků pevnosti v tlaku ve směru vláken, ze srovnání mezi jednotlivými stromy, je celkem vysoká. Pro větší přesnost měření by bylo zapotřebí odebrat více vzorků a provést další měření. Závislost pevnosti v tlaku ve směru vláken a pozice od dřeně ukázala, že směrem od dřeně se pevnost v tlaku ve směru vláken zvyšuje, ale následně se s přiblížením k okraji kmene začne snižovat. Stejným trendem se projevila i závislost pevnosti v tlaku ve směru vláken a hustoty při neznámé vlhkosti. S rostoucí hodnotou hustoty, rostla i pevnost. Po dosažení určité vyšší hodnoty hustoty se pevnost opět snížila. Srovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální pozici v kmeni ukázalo minimální rozdíl pevnosti v tlaku ve směru vláken. Tedy z tohoto srovnání vyplývá, že na vertikální pozici v kmeni až tolik nezáleží.

Srovnání s našimi běžnými dřevinami ukázalo, že borovice Murrayova průměrnou hodnotou pevnosti v tlaku ve směru vláken dosahuje stejné hodnoty, kterou uvádí Wagenführ v Holzatlas (2000) pro jedli. Oproti jiným dřevinám (smrk, modřín) dosahuje hodnot o několik procent nižších.

V krajinách původního rozšíření se borovice Murrayova využívá běžně na stavební účely a je za tímto účelem vysazována. V našich podmínkách dosahuje podle mého měření hodnot vyšších. Dalo by se usoudit, že i tato dřevina se i u nás dá používat na běžné stavební účely.

## 9. Použité zdroje

### 9.1. Literatura

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.

Musil I.: Lesnická dendrologie 1 - jehličnaté dřeviny., 3. vyd. v Praze: Česká zemědělská univerzita, 2003, 177 str.

NOVÁK V. Dřevařská technická příručka. Praha: SNTL, 1970. 748 s.

Perelygin L. M.: *Náuka s dřevě.*, Bratislava, 1965, 444 str.

Požgaj A.: Metódy zisťovanie mechanických vlastností dreva a drevných veľkoplošných kompozitných materiálov., Zvolen, 1987, 170 str.

POŽGAJ A., CHOVANEC D, KURJATKO S., BABIAK M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vyd. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.

Šlezingerová J., Gandelová L.: *Stavba dřeva.*, 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005, 187 str.

U.S. Department of Agriculture, The Encyclopedia of wood, 2011, Skyhorse Publishing, 496 stran, ISBN 9781626366718

Úředníček L., Chmelař J.: *Dendrologie lesnická - 1. část Jehličnany.*, 2. vyd., Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998, 246 str.

Wagenführ R., *Anatomie des Holzes.*, Leipzig, 1999, 188 str.

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

### 9.2. Normy

ČSN 49 0110. Drevo: Medza pevnosti v tlaku v smere vláken

### 9.3. Webové stránky

- URL1: <http://www.garten.cz> – 14.4.2015
- URL2: <http://zahrady-rostliny.cz> - 14.4.2015
- URL3: <http://www.biolib.cz/cz/taxon/id125528/> - 14.4.2015
- URL4: <http://www.discoverlife.org/20/q?search=Pinus+contorta> - 14.4.2015
- URL5: [www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fpl\\_rp639.pdf](http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fpl_rp639.pdf) - 14.4.2015
- URL6: [http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon\\_dreva/lexikon\\_dreva.pdf](http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_dreva/lexikon_dreva.pdf) - 14.4.2015
- URL7: [http://www.na.fs.fed.us/pubs/silvics\\_manual/Volume\\_1/pinus/contorta.htm](http://www.na.fs.fed.us/pubs/silvics_manual/Volume_1/pinus/contorta.htm)  
- 14.4.2015
- URL8: <http://referaty-seminarky.cz/borovice-pokroucena/> - 14.4.2015
- URL9: [http://en.wikipedia.org/wiki/Pinus\\_contorta](http://en.wikipedia.org/wiki/Pinus_contorta) - 14.4.2015
- URL10: [http://www.jirifranc.estranky.cz/file/1009/004\\_hmyzi\\_skudci\\_borovice\\_jehlice\\_vyhony.pdf](http://www.jirifranc.estranky.cz/file/1009/004_hmyzi_skudci_borovice_jehlice_vyhony.pdf)
- URL11: [http://www.jirifranc.estranky.cz/file/1010/005\\_hmyzi\\_skudci\\_borovice\\_kmen.pdf](http://www.jirifranc.estranky.cz/file/1010/005_hmyzi_skudci_borovice_kmen.pdf)
- URL12: [https://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/documents/TREEBOOK/lodgepole\\_pine.htm](https://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/documents/TREEBOOK/lodgepole_pine.htm)  
[www.plants.usda.gov](http://www.plants.usda.gov) - 14.4.2015  
[www.naturfoto.cz](http://www.naturfoto.cz) - 14.4.2015  
[www.melodiae.com](http://www.melodiae.com) - 14.4.2015  
[www.zebry.cz](http://www.zebry.cz) - 14.4.2015



