

**Mendelova univerzita v Brně**

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě

**Srovnání stavby a vybraných vlastností  
sibiřského modřínu a borovice lesní**

Bakalářská práce

**Brno 2017**

**Petr Kopecký**

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Srovnání stavby a vybraných vlastností sibiřského modřínu a borovice lesní vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 1. 5. 2017

Podpis

## **Poděkování:**

Tímto bych chtěl především poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladimíru Grycovi, Ph.D. za výborný přístup, ochotu a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Baarovi, Ph.D. a Ing. Martinu Brabcovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při jednotlivých zkouškách.

# Abstrakt

Petr Kopecký

Srovnání stavby a vybraných vlastností sibiřského modřínu a borovice lesní

Cílem této bakalářské práce bylo provést srovnání makroskopické i mikroskopické stavby a některých mechanických a fyzikálních vlastností mezi dřevem borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) a modřínem sibiřským (*Larix sibirica* Ledeb.). Ze získaných dřev byly následně vyrobeny vzorky o rozměru 20×20×30 mm a použity pro měření jednotlivých vlastností. Z vybraných vlastností byla zjišťována hustota při vlhkosti 0 % a 12 %, průměrná šířka letokruhů, průměrná šířka letního dřeva a % zastoupení letního dřeva, mez hygroskopicity, maximální vlhkost, celkové bobtnání pro všechny tři základní směry a celkové objemové bobtnání, koeficient bobtnání a pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken a modul pružnosti. Průměrná šířka letokruhů u borovice lesní byla 2,7 mm a u modřínu sibiřského 1,3 mm. Hustota při 12 % vlhkosti u borovice lesní byla stanovena na 482 kg·m<sup>-3</sup> a u modřínu sibiřského na 611 kg·m<sup>-3</sup>. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken u borovice lesní byla 44,6 MPa a u modřínu sibiřského 56,3 MPa.

Klíčová slova: modřín sibiřský, borovice lesní, bobtnání, pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, hustota

# Abstrakt

Petr Kopecký

Comparison of structure and selected properties of the Siberian larch and the Scots pine

The aim of this bachelor thesis was to compare the macroscopic and microscopic structure and some mechanical and physical properties of the wood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.). The wood was used to make samples with dimensions of 20×20×30 mm and they were used for the measurements of individual properties. The properties selected for establishment were density at a moisture content of 0% and 12%, the average tree-ring width, the average latewood width and percentage, the fibre saturation point, the maximum moisture, total swelling in all three basic directions and the total volumetric swelling, the swelling coefficient, and the compression strength parallel to the grain as well as the modulus of elasticity. The average tree-ring width of the Scots pine and the Siberian larch was 2.7 mm and 1.3 mm, respectively. Density at 12% moisture was established as 482 kg·m<sup>-3</sup> and 611 kg·m<sup>-3</sup> in the Scots pine and the Siberian larch, respectively. The compression strength parallel to the grain was 44,6 MPa and 56,3 MPa in the Scots pine and the Siberian larch, respectively.

Keywords: Siberian larch, Scots pine, swelling, compression strength parallel to the grain, density

# Obsah

1	Úvod .....	8
2	Literární přehled .....	9
2.1	Dendrologická charakteristika a areál výskytu .....	9
2.1.1	Dendrologická charakteristika a areál výskytu borovice lesní .....	9
2.1.2	Dendrologická charakteristika a areál výskytu modřínu sibiřského .....	10
2.2	Makroskopická stavba jehličnatého dřeva .....	11
2.2.1	Makroskopická stavba borovice lesní .....	13
2.2.2	Makroskopická stavba modřínu Sibiřského .....	14
2.3	Mikroskopická stavba jehličnatého dřeva .....	14
2.3.1	Mikroskopická stavba borovice lesní .....	15
2.3.2	Mikroskopická stavba modřínu sibiřského .....	16
2.4	Hustota dřeva .....	16
2.4.1	Hustota dřeva borovice lesní .....	17
2.4.2	Hustota dřeva modřínu sibiřského .....	17
2.4.3	Mez hygroskopicity a maximální vlhkost dřeva .....	18
2.5	Bobtnání dřeva .....	18
2.5.1	Bobtnání dřeva borovice lesní .....	20
2.5.2	Bobtnání dřeva modřínu sibiřského .....	20
2.6	Pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny a modul pružnosti .....	21
2.6.1	Pevnost dřeva borovice lesní v tlaku rovnoběžně s vlákny .....	22
2.6.2	Pevnost dřeva modřínu sibiřského v tlaku rovnoběžně s vlákny .....	22
2.7	Využití dřeva .....	23
2.7.1	Využití dřeva borovice lesní .....	23
2.7.2	Využití dřeva modřínu sibiřského .....	25
3	Cíl práce .....	30
4	Materiál a metodika .....	31
4.1	Materiál na přípravu zkušebních vzorků .....	31
4.2	Výroba zkušebních vzorků .....	31
4.3	Makroskopická stavba – letokruhová analýza .....	32
4.4	Hustota dřeva .....	33
4.5	Bobtnání dřeva .....	34
4.6	Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken a modul pružnosti .....	36

5	Výsledky.....	39
5.1	Makroskopická stavba dřeva – letokruhová analýza .....	39
5.2	Hustota dřeva .....	41
5.3	Bobtnání dřeva .....	44
5.3.1	Mez hygroskopicity a maximální vlhkost dřeva.....	49
5.4	Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken a modul pružnosti .....	52
6	Diskuze.....	56
6.1	Letokruhová analýza .....	56
6.2	Hustota dřeva .....	57
6.3	Bobtnání dřeva .....	58
6.4	Pevnost v tlaku ve směru vláken a modul pružnosti .....	60
7	Závěr.....	62
8	Summary.....	63
9	Literatura .....	64

# 1 Úvod

Dřevo se již od pradávna využívalo jako stavební materiál. Používalo se na stavbu obydlí, dopravních prostředků, výrobu náradí a sloužilo také jako zdroj energie. Dříve se dřevo využívalo takřka na vše. S postupným nárůstem průmyslu a moderních technologií se začaly používat jiné „modernější“ materiály (keramické výrobky, beton, plast, ocel) a dřevo se dostalo do ústraní. Při výrobě a zpracování těchto materiálů ovšem dochází k velké spotřebě energie, většímu znečištění ovzduší a tyto materiály jsou jen těžko recyklovatelné. Proto se v dnešní době opět využívá dřevo, které je výborným stavebním materiálem, když pomineme mechanické, tepelně izolační a hygienické vlastnosti, tak je navíc obnovitelnou surovinou a je recyklovatelné. Zejména pro přísnější hygienické a ekologické normy se dá do budoucna předpokládat, že bude dřevo jako stavební materiál využíváno stále více. V dnešní době se dřevo využívá zejména jako stavební řezivo, na výrobu vrstvených a aglomerovaných materiálů, na výrobu nábytku a stavebně truhlářských výrobků (okna, dveře) a v neposlední řadě na výrobu dřevostaveb. Dříve se jako základní stavební řezivo používalo dřevo smrku (jedle), ale s postupně se měnícími klimatickými podmínkami a náročnějšími zákazníky se k nám začalo dřevo stále častěji dovážet. Tato skutečnost je dána především tím, že dřevo našich dřevin nemá v porovnání s některými zahraničními dřevinami tak dobré mechanické a fyzikální vlastnosti, tak velkou odolnost vůči biotickým a abiotickým vlivům a není svou texturou tak atraktivní jako dřevo ze zahraničí. Tropické importované dřevo se dováží převážně z tropických a subtropických oblastí a také ze států mimo Evropskou unii. Z Evropských států je to především dřevo modřínu sibiřského dovážené z Ruska, Běloruska, Ukrajiny a dalších států bývalého Sovětského svazu z důvodu lepších mechanických vlastností a lepší trvanlivosti. Faktem je, že informací o tomto dřevu zatím není mnoho a z tohoto důvodu jsem se rozhodl srovnat dřevo dovážené z bývalého Sovětského svazu (modřín sibiřský – *Larix sibirica* Ledeb.) se dřevem, které se používá pro stavební účely a roste na území České republiky (borovice lesní – *Pinus sylvestris* L.).

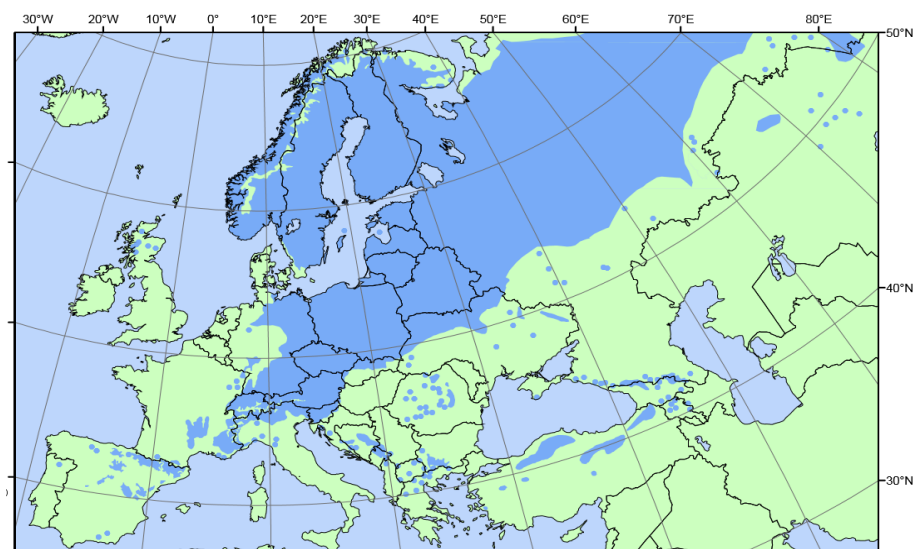


## 2 Literární přehled

### 2.1 Dendrologická charakteristika a areál výskytu

#### 2.1.1 Dendrologická charakteristika a areál výskytu borovice lesní

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) dorůstá výšky až 40 metrů, na extrémních stanovištích může být ale podstatně nižší, někdy dokonce jen keřovitého vzrůstu (například hranice tundry). Dosažitelný věk je běžně 300 let (někdy až 500 let). Borovice lesní je výrazně světlomilnou dřevinou, intolerantní k zastínění. Roste na sušších, mělkých, chudých písčitých až kamenitých půdách, vzniklých na horninách silikátových (vápencích). Vyskytuje se rovněž na půdách bažinných a rašelinných, avšak zde roste obvykle hůře, mnohdy zakrsle. Z doprovodných dřevin, které rostou společně s borovicí, jsou to u nás především dub, lípa, habr, javor a bříza bělokorá. Borovice lesní má mezi borovicemi největší areál výskytu. Je rozšířená od Atlantiku, prochází Evropou přes celou Sibiř až téměř k Pacifiku (Musil 2003). Roubal (2009) udává, že toto běžné komerční dřevo se vyskytuje od Sierry Nevady v Andalusii a pohoří západního Španělska přes Přímořské Alpy, Pyreneje, Kavkaz a Transylvánské Alpy až po západní Sibiř. Skilling (1990) udává, že borovice pokrývá území od Španělska na západě, až po dálný východ Ruska.



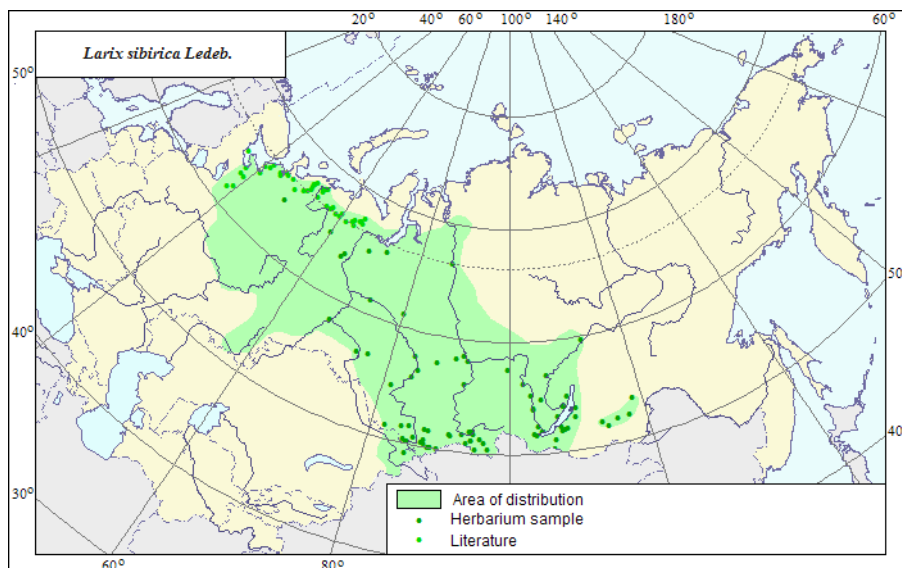
**Obr. 1. Rozšíření borovice lesní**

([http://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Documents/Maps/PDF/Pinus\\_sylvestris.pdf](http://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Documents/Maps/PDF/Pinus_sylvestris.pdf))

Pokud jde o zeměpisnou šířku, roste borovice lesní od severní Skandinávie (70° N), až po hory Sierra Nevada v jižním Španělsku (37° N). Co se týká nadmořské výšky, borovice se vyskytuje od nadmořské výšky hladiny moře, až po Kavkaz (2 600 m. n. m.). Dále je rozšířená téměř po celých Spojených státech. V severní Evropě je borovice lesní převládajícím lesním druhem, jdoucím na sever dále než smrk (na Sibiři však zasahuje smrk sibiřský severněji). V evropské části Ruska roste borovice lesní na značně rozsáhlém území, od tundry na severu, po stepi na jihu. Největší rozlohu zaujímá ovšem na Sibiři, kde se vyskytuje od nížin až po dolní části hor (v Altaji až po 1570 m. n. m.) (Musil 2003). V Evropě borovicové lesy zaujímají více než 28 mil. hektarů, což je asi 20 % všech lesů v Evropě (Mason a Alia 2009). Borovice lesní roste hlavně v nížinách, na chudých, písčitých podkladech dostatečně zásobených vláhou, případně až v bažinatých, převážně rozlehlých porostech v pásmu smrku ztepilého (Musil 2003).

### **2.1.2 Dendrologická charakteristika a areál výskytu modřínu sibiřského**

Modřín sibiřský (*Larix sibirica* Ledeb.) průměrně dosahuje výšky až 40 metrů, je poměrně rychle rostoucí a může dosahovat věku až 400 let. Modřín sibiřský je v pojetí sibiřských dendrologů světломilný, středně přizpůsobený suchému podnebí a snáší chudé půdy. Modřín snadno snáší nízkou relativní vlhkost (až po 35 %). Porosty sibiřských modřínů bývají buďto nesmíšené, nebo jsou modřiny příměsí v porostech smrku, jedle, borovice, bříz, někdy i dubů. Nejrozšířenějšími jehličnatými lesy na světě jsou lesy modřínové a nejvýznamnějším druhem světlé jehličnaté tajgy je modřín sibiřský (Musil 2003). Modřín sibiřský zaujímá celou západní a střední Sibiř a zasahuje do evropské části Ruska před Ural (Svoboda 1953). Farjon (1990) udává, že modřín sibiřský má svůj přirozený areál rozšíření v severní části Ruska a Asie, mezi pohořím Ural a řekou Ob. Mimo vlastní rozšíření se modřín sibiřský vyskytuje i na ostrůvkových plochách. Například plochy čistých modřínových lesů v horách Saura a Tarbogataya jsou odděleny od modřínových lesů v Altaji pásem suchých stepí. Také lesy v jižní části mongolského Altaje a východní oblasti Tien Shan jsou lesy od hlavní oblasti výskytu odděleny stovkami km stepí a pouští.



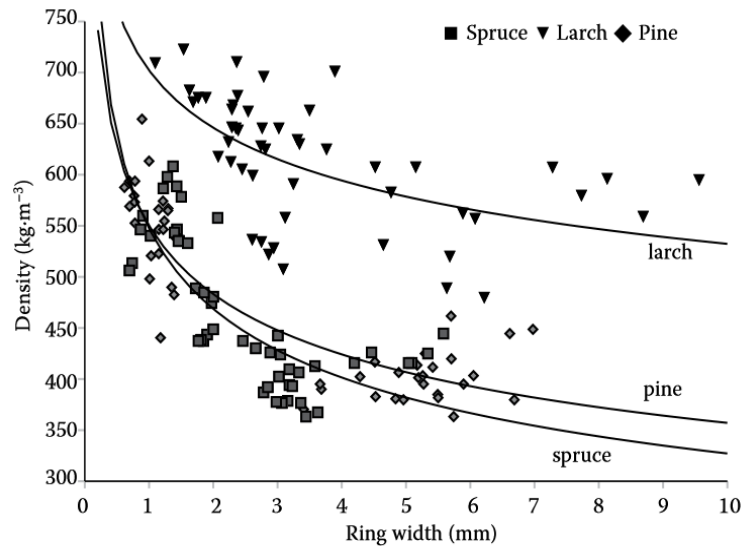
**Obr. 2. Rozšíření modřínu sibiřského na světě (Sokolov et al. 1977)**

Celkově se modřín sibiřský rozprostírá na areálu okolo 3,3 mil. km<sup>2</sup>. Tvoří buď smíšené nebo čistě modřínové porosty (Koropachinskiy a Vstovskaya 2002). Musil (2003) také udává, že modřín sibiřský zaujímá plochu 3,3 mil. km<sup>2</sup>. Modřín sibiřský je silně světlomilný, mrazuvzdorný, na sibiřské poměry středně přizpůsobený k suchu a roste i na chudých půdách (Musil 2003).

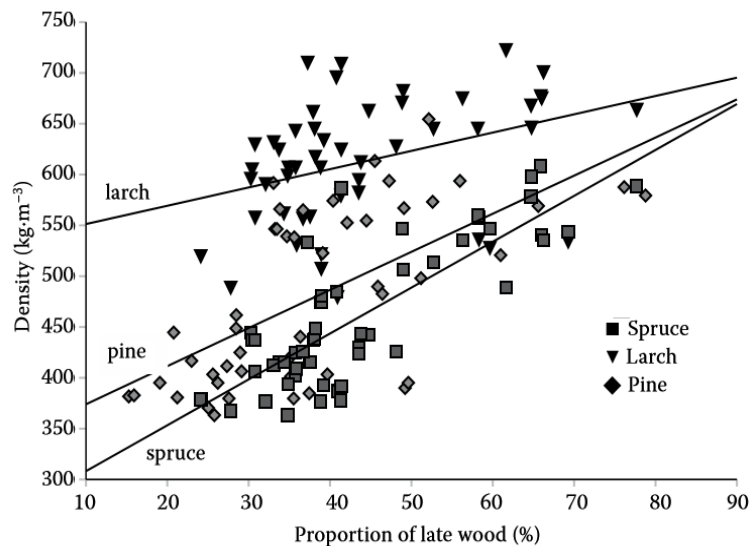
## 2.2 Makroskopická stavba jehličnatého dřeva

Makroskopická struktura definuje vnější vzhled dřeva. Makroskopickou strukturou dřeva se rozumí soubor morfologických znaků tvořících kresbu (texturu) na povrchu dřeva. Kresba je charakteristická pro konkrétní dřevinu, což umožňuje praktické určení příslušného druhu (botanicky rodu) dřeva. Makroskopické znaky lze pozorovat pouhým okem nebo lupou. K základním strukturálním makroskopickým znakům jehličnatého dřeva patří: letokruhy (podíl jarního a letního dřeva), dřevné paprsky, pryskyřičné kanálky a suky (Gandelová a Šlezingerová 2002). Letokruh je vrstva dřeva, která byla vytvořena v intervalu jednoho roku. Je tvořen jarním a letním dřevem. Jehličnaté dřeviny mají výraznou vrstvu letního dřeva a nejvýraznější rozdíl mezi jarním a letním dřevem, takže jejich letokruhy jsou pozorovatelné nejzřetelněji. Jarní dřevo je světlejší a zřetelně měkké. Letní dřevo je tmavší, výrazně tvrdší, s dva až třikrát větší hustotou. U jehličnatých dřevin se zvyšující se šířkou letokruhu snižuje podíl letního dřeva (Požgaj et al. 1997). Graf závislosti mezi hustotou a šířkou letokruhu zobrazuje obr. 3. Letní dřevo má převážně mechanickou funkci, proto procento jeho zastoupení zásadně ovlivňuje kvalitu

a pevnost dřeva (Lexa 1952). Graf závislosti mezi hustotou a % zastoupení letního dřeva vidíme na obr. 4. Horizontální pohyb především organických látek v kmeni zabezpečují dřevové paprsky. Na příčném řezu jsou to světlejší čáry směřující od poloměru ke středu kmene. Na radiálních řezech vytvářejí různě vysoké lesklé pásy, které probíhají napříč letokruhy a na tangenciálním řezu vytvářejí úzké tmavší pásy. Co se týká dřevových paprsků u jehličnatých dřevin, tak nejsou okem pozorovatelné na žádném řezu. Co se týká pryskyřičných kanálek, tak z našich jehličnatých dřevin je má dřevo smrku, borovice, modřínu a douglasky. Pryskyřičné kanálky jsou horizontální a vertikální. Horizontální pryskyřičné kanálky přecházejí přes střed některých dřevových paprsků a jejich rozměry jsou pod hranicí viditelnosti lidského oka. Vertikální pryskyřičné kanálky jsou uloženy svisle mezi vertikálně orientovanými buňkami dřeva. Vyskytují se převážně v letním dřevě a můžeme je pozorovat i pouhým okem jako jemné tečky až výrazné čárky na podélných řezech. Podíl pryskyřičných kanálek je velmi malý (do 1 %). Podíl vertikálních pryskyřičných kanálek je 6krát větší než podíl horizontálních pryskyřičných kanálek. Vertikální a horizontální pryskyřičné kanálky jsou navzájem spojené a vytvářejí soustavu, z které se při poranění kůry roní pryskyřice. Pryskyřice má pro strom ochrannou funkci (při poranění) i impregnační funkci (zvyšuje odolnost dřeva proti houbám) (Požgaj et al. 1997). Texturu dřeva mohou zvýraznit některé zvláštnosti struktury dřeva, jako jsou kořenice, svalovitost, očka, lískovcové a reakční dřevo. Dále jsou to znaky, které doplňují povrchové a vzhledové vlastnosti dřeva, jako je barva, lesk, vůně. S barvou souvisí kategorie – běl, jádro, vyzrálé dřevo. Doplňující jsou některé fyzikální (hustota) a mechanické vlastnosti (tvrdost) dřeva. Výše uvedené makroskopické znaky vytvářejí na základních řezech dřevem odlišnou kresbu charakteristickou pro určitou dřevinu. Jednotlivé makroskopické znaky nemusí být pozorovatelné u všech druhů dřev příslušných dřevin (Gandelová a Šlezingerová 2002). Většina znaků se projevuje rozdílně na jednotlivých řezech (Požgaj et al. 1997).



Obr. 3. závislost hustoty dřeva na šířce letokruhu (Gryc et al. 2011)



Obr. 4. závislost hustoty dřeva na % zastoupení letního dřeva (Gryc et al. 2011)

### 2.2.1 Makroskopická stavba borovice lesní

Dřevo borovice lesní patří mezi jehličnaté druhy (Musil 2003). Má četné a zřetelné pryskyřičné kanálky a má vylišeno jádro a běl. Běl je široká, nažloutlá (narůžovělá) s šedomodrými až šedočernými skvrnami z pohledu čela kulatiny. Jádro je zpočátku u čerstvě pokáceného dříví světlehnědé, později na vzduchu tmavne až na červenohnědé. Letokruhy jsou zřetelné. V rámci letokruhu je letní dřevo ostře ohraničeno od jarního dřeva. Jádrové dřevo je oproti běli trvanlivé a odolné (Šlezingerová a Gandelová 1999). U borovice lesní je podíl jádrového dřeva obvykle méně než 40 % (Björklund 1999).

Borovice má dřevo měkké, ale tvrdší než smrk, lehké až středně těžké, křehčí a málo pružné. Má vysoký obsah pryskyřice, proto je velmi trvanlivá i ve vlhku, zejména pak ve vodě. Pryskyřice však není v dřevní hmotě rozložena rovnoměrně, proto je borovicové dřevo náchylné k jejím výronům (Kolář a Reiterman 2012). Pryskyřičné kanálky jsou viditelné na všech řezech (Roubal 2009). Čerstvě poražené dřevo je bělavé, nažloutlé nebo narůžovělé. Později se působením světla a vzduchu rozlišuje jádro a běl. Lesk je na všech řezech nepatrný, daleko menší než u jedle a smrku. Vůně je pryskyřičná. Jeden m<sup>3</sup> dřeva obsahuje 18–20 kg pryskyřice (Němec et al. 2005). Požgaj et al. (1997) uvádí, že tloušťka pryskyřičných kanálků u dřeva borovice je 0,1 mm.

### **2.2.2 Makroskopická stavba modřínu Sibiřského**

Dřevo modřínu sibiřského patří mezi jehličnaté druhy (Musil 2003). Podíl jádrového dřeva sibiřského modřínu je tím větší, čím starší je strom. Strom ve věku 50 let, má zhruba 50 % podíl jádrového dřeva a strom ve věku 160 let zhruba 85 %. Dále bylo zjištěno, že čím je podíl jádrového dřeva větší, tím rychleji strom rostl (Hakkila a Winter 1973). Iijima (1983) uvádí, že průměrná hodnota šířky letokruhů pro modřínové dřevo dovážené z Ruské federace je 2,1 mm.

### **2.3 Mikroskopická stavba jehličnatého dřeva**

Dřevo se skládá z protáhlých buněk, z nichž většina je orientována v podélném směru dřeva. Tyto buňky jsou navzájem spojeny přes otvory, označované jako ztenčeniny. Tyto buňky se liší svým tvarem podle toho, jaké mají funkce ve dřevě (Tsoumis 1991). Roubal (2009) také uvádí, že rozdílný vzhled buněk ve dřevě je dán rozdílnou funkcí těchto buněk. Jehličnaté dřeviny jsou vývojově starší než listnaté dřeviny. Jejich dřevo se vyznačuje jednoduchou a pravidelnou stavbou, na níž se podílejí jen dva typy anatomických elementů, tracheidy (cévice) a parenchymatické buňky (Gandelová a Šlezingerová 2002). Tracheidy tvoří více než 90 % dřeva jehličnanů. Ostatní buňky pletiva (parenchymatické buňky) tvoří méně než 10 % dřeva jehličnanů (Tsoumis 1991). Tracheidy fungují jako cévní buňky i jako buňky podpůrné. Jsou tenké a mají tupé zakončení. Navzájem se překrývají, takže lumény sousedících tracheid se spojují, čímž umožňují, aby jimi protékala voda s rozpuštěnými minerálními látkami. Tracheidy v jarním dřevě mají tenčí stěny, větší vnitřní lumény a také více ztenčenin pro lepší vedení vody. Letní tracheidy mají silnější stěny, menší ztenčeniny a ve stěnách velmi malé

lumeny. Jejich funkcí je spíš než vedení vody zajištění pevné opory. U všech druhů jehličnatého dřeva je vedení vody úkolem jarního dřeva a zajištění opory úkolem letního dřeva (Roubal 2009). Pod mikroskopem lze pozorovat, že tracheidy mají strukturu včelího plástu a jejich délka se pohybuje okolo 3 mm (Roubal 2009). Zásobní funkci plní u jehličnatého dřeva tenké buňky cihlového tvaru tzv. parenchymatické buňky tvořící měkké pletivo tzv. parenchym, který vytváří dřeňové paprsky, jež jsou orientovány kolmo k vertikální ose stromu a kolmo k letokruhům (Roubal 2009). Parenchymatické buňky tvoří dřeňové paprsky, podélný neboli axiální dřevní parenchym a podílejí se na stavbě pryskyřičných kanálků (Gandelová a Šlezingerová 2002). Dřeňové paprsky vznikají v kambiu a směřují ke dřeni, která se nachází uprostřed kmene – což je de facto dřevo, které vzniklo v prvním roce života stromu. Tyto paprsky se vyskytují v mnoha podobách od velmi úzkých až po široké (Roubal 2009). Některým jehličnatým dřevinám (například borovici) se na horním a spodním okraji dřeňového paprsku vyskytují tzv. příčné tracheidy. Jsou podstatně kratší než podélné jarní a letní tracheidy (Požgaj et al. 1997). Existuje množství různých skupin axiálního parenchymu, a to v jaké podobě se vyskytuje, případně nevyskytuje, jakého je typu a jak je rozložen, jsou důležité diagnostické znaky pro identifikaci dřeva. Mnohá dřeva jehličnatých dřevin mají pryskyřičné kanálky obklopené sekrečními parenchymatickými buňkami, které vylučují pryskyřici (Roubal 2009). Mikroskopická stavba dřeva jehličnanů, obdobně jako makroskopická stavba, je popisována na třech základních řezech dřevem – příčném, radiálním a tangenciálním (Gandelová a Šlezingerová 2002).

### **2.3.1 Mikroskopická stavba borovice lesní**

Hranice letokruhů je zřetelná, pozvolná až středně ostrá. Pryskyřičné kanálky jsou přítomné ve dřevě borovice. Eptelové buňky pryskyřičných kanálků jsou tenkostěnné a jejich počet je 4–6. Dřevní parenchym ve dřevě chybí. Dřeňové paprsky jsou u dřeva borovice heterocelulární. Stavba buněčných stěn příčných tracheid je tenká a je zubatě ztloustlá. Dřevo borovice má oknový typ teček v křížovém poli a jejich počet se pohybuje okolo 1 až 2 (Šlezingerová a Gandelová 1999).

### 2.3.2 Mikroskopická stavba modřínu sibiřského

Ve dřevě rodu modřín (*Larix*) se vyskytují dřevné paprsky heterocelulární, složené z parenchymatických buněk a ležatých tracheid. Na stěnách jarních tracheid má dřevo modřínu drobné a hojné dvojtečky vyskytující se nejčastěji po dvou vedle sebe, tzv. párové dvojtečky (Balabán 1955). U dřevin rostoucích v chladných a mrazivých oblastech (*Larix sibirica* Ledeb.) jsou velmi častá poškození listů, jehličí i samotného dřeva. Uvnitř dřeva se mohou tvořit ledové krystaly, které ve dřevě (xylému) vytvoří napětí. Tyto faktory vyvolávají tvorbu tzv. mrazových letokruhů, které se vyznačují oblastí zhroucených buněk a ohnutých či prasklých dřevných paprsků (Schweingruber et al. 2006). Průměrná délka tracheid u modřínu sibiřského je 3,6 mm pro stromy 100 až 160 let staré z oblasti blízko Krasnojarsk (Krauk et al. 1998).

## 2.4 Hustota dřeva

Hustota (měrná hmotnost, specifická hmotnost) je definována jako hmotnost objemové jednotky látky. V případě hustoty počítáme s tzv. objemem vlastní látky (tedy bez dutin, pórů a mezer), v případě objemové hmotnosti, s objemem celé látky (včetně dutin, pórů a mezer) (Kolář a Reiterman 2012). Hustota dřeva udává hmotnost jednotkového objemu dřeva při určité vlhkosti. Vypočítá se z podílu hmotnosti a objemu, přičemž hmotnost a objem jsou při určité vlhkosti. Pro možnost porovnávání výsledků a při různých teoretických výpočtech se uvažuje s hustotou dřeva v absolutně suchém stavu, kdy je hmotnost a objem dřeva při nulové vlhkosti. Podle dosud platné normy ČSN 49 0108 se hustota dřeva udává při vlhkosti 12 % (Požgaj et al. 1997). Kolář a Reiterman (2012) uvádí, že hustota závisí na druhu dřeva a na jeho vlhkosti a že s rostoucí vlhkostí vzrůstá. Jestliže dřevo přijímá vodu (buď ve formě tekuté, nebo plynné) dochází ke zvyšování jeho hmotnosti. Zvyšování hmotnosti příjmem vody do meze hygroskopicity se řídí jinou závislostí než nad mezí hygroskopicity. Do meze hygroskopicity dřevo přijímá do buněčných stěn vodu vázanou a současně zvyšuje svůj objem (bobtná). Velikost změny hustoty tedy závisí na hmotnosti přijaté vody a na hodnotě zvýšení objemu dřeva (Matovič 1993). Hustota dřeva úzce souvisí se všemi mechanickými vlastnostmi dřeva a do značné míry určuje kvalitu a použitelnost dřeva (Haygreen a Bowyer 1996). Hmotnost a hustota dřeva se liší podle jednotlivých druhů dřev a obecně je hlavním kvalitativním měřítkem dřeva (Stamm 1964). Hustotu dřeva ovlivňuje především vlhkost, šířka letokruhů a podíl letního dřeva, poloha v kmeni a věk



stromu. Dále se hustota dřeva liší v reakčním dřevě, větvích a kořenech (Požgaj et al. 1997).

### 2.4.1 Hustota dřeva borovice lesní

Hustota dřeva borovice lesní se pohybuje v rozmezí od 500–535 kg·m<sup>-3</sup>, přičemž průměrná hustota při vlhkosti dřeva 8 % je 520 kg·m<sup>-3</sup>. Podrobnější informace viz tab. 1. Požgaj et al. (1997) dále uvádí, že hustota dřevní substance borovice lesní je u jádrového dřeva 1 535 kg·m<sup>-3</sup>, hustota bělového dřeva je 1 550 kg·m<sup>-3</sup>.

Druh dřeva	Hustota (kg·m <sup>-3</sup> )		Autor	Poznámka
	ρ <sub>0</sub>	ρ <sub>12</sub>		
Borovice lesní	510		Roubal (2009)	
	500		Požgaj et al. (1997)	
	505	535	Šlezingerová a Gandelová (2002)	
	522	552	Gryc et al. (2011)	vyzrálé dřevo
	370	391	Gryc et al. (2011)	juvenilní dřevo

Tabulka 1 Průměrná hustota dřeva borovice lesní

### 2.4.2 Hustota dřeva modřínu sibiřského

Při porovnávání různých vlastností sibiřského dřeva a jiných druhů dřevin, zejména jehličnanů, má dřevo sibiřského modřínu vysokou hustotu, střední tvrdost a jeho pevnost je poměrně vysoká. Hustota má hlavní vliv na mechanické vlastnosti sibiřského dřeva (Koizumi et al. 2003). Côté et al. (1989) uvádí, že zvýšená hustota jádrového dřeva u modřínu sibiřského může být dána existencí arabinogalaktanů. Sibiřský modřín může obsahovat až 20 % extrahovatelných látek (zejména arabinogalaktan) v jádrovém dřevě, a proto je nutné před určením hustoty ošetřit vzorky horkou vodou, aby se odstranily extrakty (Megraw 1985). Hustotu sibiřského modřínu zobrazuje tab. 2.

Druh dřeva	Hustota ρ <sub>12</sub> (kg·m <sup>-3</sup> )	Autor
Modřín sibiřský	610	Iijima (1983)
	500	Lars et al. (2005)
	490–560	Sairanen (1982)

Tab. 2 Průměrná hustota dřeva modřínu sibiřského

### 2.4.3 Mez hygroscopicity a maximální vlhkost dřeva

Z hlediska uložení ve dřevě můžeme vodu rozdělit na: chemicky vázanou, vázanou – hyroskopickou a volnou – kapilární. Voda chemicky vázaná je součástí chemických sloučenin. Nelze ji ze dřeva odstranit sušením, ale pouze spálením. Její celkové množství ve dřevě je 1–2 % sušiny dřeva. Při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností nemá žádný význam. Voda vázaná – hyroskopická se nachází v buněčných stěnách a je vázána vodíkovými můstky na hydroxylové skupiny –OH amorfni celulózy a hemicelulózy. Voda vázaná se ve dřevě vyskytuje při vlhkostech 0–30 %. Při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností má největší a zásadní význam. Voda volná – kapilární vyplňuje ve dřevě lumény buněk a mezibuněčné prostory. Při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností má podstatně menší roli než voda vázaná. Hranici mezi vodou vázanou a volnou stanovujeme na základě meze hygroscopicity (Horáček 2008). Mezi hygroscopicity (MH) se nazývá rovnovážná vlhkost, kterou dosáhne suché dřevo dostatečně dlouho vystavené na vzduchu, jehož stav se blíží absolutnímu nasycení ( $\varphi = 0,995$ ) (Požgaj et al. 1997). Horáček (2008) udává, že u meze hygroscopicity je voda ve skupenství plynném a s rostoucí teplotou klesá. Pro jádrové dřevo borovice lesní, modřínu opadavého a douglasky tisolisté se udává hodnota MH 26–28 % (Matovič 1993). Maximální vlhkost dřeva je dána maximálním množstvím jak vody vázané, tak vody volné (Požgaj et al. 1997). Horáček (2008) udává, že pokud je mikrokapilární i makrokapilární systém plně nasycen vodou, hovoříme o maximální vlhkosti dřeva. Běžně se hodnota maximální vlhkosti u našich dřev pohybuje v rozmezí 80–400 %. Maximální vlhkost u borovice lesní je 178 % (Ugolev 1986).

### 2.5 Bobtnání dřeva

Dřevo je dnes velmi používaným materiálem. Ve srovnání s jinými konkurenčními materiály nabízí mnoho výhod – dřevo je obnovitelný zdroj energie, vzhledem k váze poskytuje velmi vysokou pevnost a pružnost, má dobré tepelně izolační vlastnosti, může být snadno tvarovatelné, je ekologicky recyklovatelné a v neposlední řadě má své nesporné estetické kvality. Dřevo má ale i některé nevýhody. Jednou z nich je hygroscopicita, která vyvolává změny rozměru dřeva (bobtnání, sesychání). Poznatky o bobtnání dřeva nám umožňují uplatnit tyto informace v efektivnějších procesech hydrotermické úpravy dřeva, impregnaci dřeva, lepení, dýchování a v mnoha dalších procesech úpravy dřeva. Bobtnání dřeva se vysvětluje tím, že voda vázaná se dostává do

amorfních oblastí celulózových fibril, které rozevívá, což vyvolává zvětšení buněčných stěn jednotlivých elementů a dřeva jako celku. Dřevo bobtná při pohlcování vody i vodní páry do BNV. Další zvyšování obsahu vody bobtnání již nevyvolává, protože voda volná vyplňuje pouze lumény, nebo mezibuněčné prostory (Požgaj et al. 1997). Rozhodujícím faktorem pro bobtnání dřeva je orientace fibril v  $S_2$  vrstvě buněčné stěny. V  $S_2$  vrstvě běžného dřeva je úhel fibril velmi malý (10–15%), což vysvětluje nízkou míru bobtnání v podélném směru – molekuly vody nemůžou proniknout mezi fibrily do celulózového řetězce v podélném směru (Perstorper et al. 2001). Rozměrové změny v podélném směru jsou 0,1 – 0,4 %. V příčném směru bobtná dřevo daleko výrazněji, v radiálním směru o 3–6 %, v tangenciálním směru o 6–12 %. Bobtnání v jednotlivých anatomických směrech může být vyjádřeno následujícím poměrem  $\alpha_t : \alpha_r : \alpha_l = 20 : 10 : 1$  (Niemz et al. 1993). Stamm (1964) zjistil, že dřevo s vysokým obsahem ve vodě rozpustných extraktů bude bobtnat méně. Pro praktické účely se používá koeficient bobtnání  $K_a$ , který udává, o kolik % se změní rozměr (plocha, objem) prvku, jestliže se změní vlhkost o 1 %. Výpočet a použití koeficientu bobtnání předpokládá, že změny rozměrů těles pod mezí hygroskopicity jsou lineárně úměrné změnám vlhkosti. Tento předpoklad není zcela přesný, ale jeho použití pro praxi je dostačující (Horáček 1998). Rozdíly v bobtnání v radiálním a tangenciálním směru můžeme vysvětlit vlivem dřevných paprsků, které bobtnají více do šířky, což je v tangenciálním směru než do délky. Z hlediska submikroskopické struktury se tyto rozdíly vysvětlují menším úhlem sklonu mikrofibril od podélné osy buňky v radiálních než v tangenciálních stěnách buněk. Rozdíly u jehličnatých dřevin mohou způsobovat také ztenčeniny, kterých je vyšší počet na radiálních stěnách. Ztenčeniny narušují uspořádání struktury dřeva, přičemž větší porušení v uspořádání fibril vzniká v radiálních stěnách. Proto se bobtnání více projevuje v tangenciálních než v radiálních stěnách. Pokud hovoříme o diferenciálním bobtnání, tak to nám vyjadřuje poměr mezi tangenciálním a radiálním bobtnáním. Tato hodnota je měřítkem pro posouzení vhodnosti dřeva na konkrétní použití. Diferenciální bobtnání se se stoupající hustotou zmenšuje, protože se zmenšuje i rozdíl mezi bobtnáním v radiálním a tangenciálním směru (Požgaj et al. 1997). Horáček (1998) dodává, že průměrná hodnota se udává kolem 2, běžně se však pohybuje v intervalu od 1 do 3,5. Rozeznáváme různé typy bobtnání: lineární (napříč vláken: ve směru radiálním, tangenciálním a ve směru vláken), plošné (změna plochy tělesa) a objemové bobtnání (změna objemu tělesa) (Matovič 1993). Bobtnání patří k negativním vlastnostem dřeva, pouze v některých případech má pozitivní vliv (např. při používání sudů, škopků, necek, dřevěných potrubí,

apod.). Většinou však bobtnání dřeva způsobuje vážné těžkosti při jeho zpracovávání a využívání (Matovič 1993).

### 2.5.1 Bobtnání dřeva borovice lesní

Bobtnání v jednotlivých směrech u borovice lesní znázorňuje tab. 3. Hodnota objemového bobtnání podle Wagenführa (2000) je 11,2–13,4 %.

Druh dřeva	Bobtnání (%)	
Borovice lesní	podélné $\alpha_L$	0,2–0,4
	radiální $\alpha_R$	3,3–4,5
	tangenciální $\alpha_T$	7,5–8,7
	objemové $\alpha_V$	11,2–13,4

Tab. 3. Průměrné hodnoty bobtnání borovice lesní podle Wagenführa (2000)

Koeficienty bobtnání u borovice lesní znázorňuje tab. 4:

Druh dřeva	Koeficient bobtnání (%/1%)	
Borovice lesní	radiální $\alpha_R$	0,18
	tangenciální $\alpha_T$	0,31
	objemové $\alpha_V$	0,51

Tab. 4. Průměrné hodnoty koeficientů bobtnání borovice lesní podle Ugoleva (1986)

### 2.5.2 Bobtnání dřeva modřínu sibiřského

Bobtnání v jednotlivých směrech u modřínu sibiřského znázorňuje tab. 5. Hodnota objemového bobtnání podle Sairanena (1982) je 18,3 %.

Druh dřeva	Bobtnání (%)	
Modřín sibiřský	radiální $\alpha_R$	6
	tangenciální $\alpha_T$	11,7
	objemové $\alpha_V$	18,3

Tab. 5. Průměrné hodnoty bobtnání modřínu sibiřského podle Sairanena (1982)

## 2.6 Pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny a modul pružnosti

Nejvýznamnější tlakovou pevností v porovnání s ostatními směry je pevnost dřeva podél vláken. Pro jednoduchost zatížení a poměrně vysokou pevnost má tlak rovnoběžně s vlákny široké uplatnění (kůly, piloty, různé části nosníků atd.). Pevnost dřeva podél vláken, ale i velikost deformace u jehličnatých dřevin závisí především na vzájemném spojení tracheid. Pevnost vláken převážně ovlivňuje střední vrstva  $S_2$  sekundární stěny. Napětí ve stěnách buněk přenášejí makromolekuly celulózy přes krystalická a amorfní místa. V takto vytvořené celulózové kostrě jsou ještě uloženy hemicelulózy a lignin, které tuto kostru stmelují. Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny se pro naše hospodářsky využívaná dřeva pohybuje v rozpětí od 30 do 70 MPa (Požgaj et al. 1997). Mez úměrnosti v tlaku ve směru vláken pro jehličnatá dřeva se udává 78 % meze pevnosti (Matovič 1993). Se stoupající hustotou dřeva se zvyšuje i pevnost v tlaku. Tlaková pevnost dřeva ve směru vláken klesá s odklonem vláken od podélného směru k  $90^\circ$ . Odklon vláken o  $15^\circ$  může způsobit pokles pevnosti v tlaku až o 20 %. Zvýšený počet suků a zvětšení jejich rozměrů obvykle pevnost v tlaku ve směru vláken snižuje (Matovič 1993). Důležité faktory, které ovlivňují pevnost dřeva v tlaku, jsou: hustota, druh dřeva, vady dřeva (suky, trhlíny), obsah vlhkosti a okolní teplota. Hustota dřeva ovlivňuje pevnost dřeva v tlaku přímo úměrně. Pokud navýšíme hustotu dřeva, dojde k navýšení i k jeho pevnosti v tlaku. Kromě hustoty ovlivňuje pevnost dřeva v tlaku také mikroskopická a chemická stavba dřeva – délka tracheid, procentuální podíl ligninu, množství vyzrálého dřeva atd. S rostoucí vlhkostí dřeva (od 0 % do MNBS) pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny klesá (Niemz et al. 1993). Kollmann (1951) uvádí, že pokud dojde k zvýšení vlhkosti o 1 %, sníží se pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny přibližně o 4 %. S pevností v tlaku úzce souvisí také modul pružnosti. Modul pružnosti je definován jako poměr napětí k poměrné deformaci (Kolář a Reiterman 2012). Timell (1986) udává, že čím vyšší je modul pružnosti, tím vyšší je tuhost materiálu. U dřeva můžeme rozlišit 2 typy modulů pružnosti – dynamický a statický. Dynamický modul pružnosti se zjišťuje při nedestruktivních zkouškách (ultrazvuk, vibrace), zatímco statický modul pružnosti je zkoumán při destruktivních zkouškách (Urgela 1999). Modul pružnosti se v rámci našich důležitých hospodářských dřevin pohybuje v rozmezí 7 000–15 000 MPa při absolutní vlhkosti 12 % (Požgaj et al. 1997). Modul pružnosti ve dřevě ovlivňují: druh dřeva, hustota, vlhkost,

odklon vláken a teplota (Gidl 2002). Požgaj et al. (1997) udává, že mezi modulem pružnosti a hustotou platí kladný lineární vztah.

### 2.6.1 Pevnost dřeva borovice lesní v tlaku rovnoběžně s vlákny

Podle Ugoleva (1986) je mez pevnosti u borovice lesní při vlhkosti 12 % – 48,5 MPa a při vlhkosti 30 % – 21 MPa. Hodnoty meze pevnosti v tlaku ve směru vláken jsou znázorněny v tab. 6.

Druh dřeva	Mez pevnosti (MPa)	Autor
Borovice lesní	48,5	Ugolev (1986)
	48	Grekin (2006)

Tab. 6. Průměrné hodnoty meze pevnosti v tlaku podél vláken u borovice lesní

Moduly pružnosti v tlaku ve směru vláken se v rámci našich důležitých hospodářských dřev pohybují v rozmezí od 7 000–15 000 MPa při průměrné vlhkosti dřeva 12 % (Požgaj et al. 1997).

### 2.6.2 Pevnost dřeva modřínu sibiřského v tlaku rovnoběžně s vlákny

Při porovnání mechanických vlastností mezi dřevem sibiřského modřínu a ostatními jehličnany je dřevo sibiřského modřínu tvrdší, hustější a má větší pevnost (Koizumi et al. 2003). Konkrétní hodnoty meze pevnosti v tlaku podél vláken zobrazuje tab. 7.

Druh dřeva	Mez pevnosti (MP a)	Autor
Modřín sibiřský	49	Iijima (1983)
	47–61	Sairanen (1982)

Tab. 7. Průměrné hodnoty meze pevnosti v tlaku podél vláken u modřínu sibiřského

Modul pružnosti u dřeva modřínu sibiřského se pohybuje v rozmezí 12 700–13 100 MPa (Juvonen et al. 1986). Iijima (1983) uvádí, že průměrná hodnota modulu pružnosti tlaku rovnoběžně s vlákny pro modřínového dřeva dovážené z Ruské federace je 10 400 MPa.

## 2.7 Využití dřeva

### 2.7.1 Využití dřeva borovice lesní

Dřevo borovice lesní (*Pinus sylvestris L.*) je jedním z nejvíce využívaných druhů dřev (Praciak et al. 2013), zejména pak v severských zemích (Mason a Alia 2009). Dřevo borovice je trvanlivé ve vodě, ale poněkud méně na suchu. Zpracovává se podobně jako smrk na vlákninu a pilařskou kulatinu. Speciálním využitím je smolaření – těžba pryskyřice na terpentýn, kalafunu apod. (Musil 2003). Nejlepší borové dřevo se používá na nábytek, v interiérové truhlářině, v soustružení a na konstrukce vozidel. Dřevo o něco nižší kvality se používá na hrubé stavby. Impregnované borové dřevo je vhodné na železniční pražce, telegrafní sloupy, podpěry a důlní stojky. Kmeny se loupají na překližku a krájí na dekorativní dýhy. Využívá se také v chemickém zpracování dřevní buničiny (Roubal 2009). Farjon (2010) uvádí, že dřevo borovice se používá zejména na dřevěné stavby a stavební řezivo, ale také na výrobu nábytku, celulózy a papíru. Dřevo borovice je pro svou zvláštní texturu s častými suký velmi ceněna mezi architekty (obr. 7.). Proto bývá často použita v interiérech na obklady (obr. 6., tab. 9.) nebo nábytek (Kolář a Reiterman 2012). Eckenwalder (2009) udává, že borovice je také často využívána v dendrochronologii, protože má poměrně dlouhou životnost a má značnou trvanlivost v prostředí, kde je malé kolísání teploty nebo vlhkosti. V USA je borovice preferovanou dřevinou pro výrobu vánočních stromků na plantážích. Její podíl na celkové produkci činí cca 30 %. Vysazuje se ve sponu 2 x 2 m a sklízí v 8–15 letech (Musil 2003).

Terasové profily ze dřeva borovice lesní zobrazuje obr. 5.



**Obr. 5. Terasové profily z borovice lesní**  
<http://terasova-prkna.cz/>

Cenové srovnání terasových prken z borovice lesní od různých prodejců v rámci České republiky zobrazuje tab. 8. Průměrná cena borovicových terasových prken formátu 26×146 mm je 457 Kč za 1 m<sup>2</sup>.

Cenové srovnání borovicových terasových prken od různých prodejců v rámci ČR			
Formát (mm)	Cena s DPH za m <sup>2</sup> (Kč)	Sídlo	Firma
26×146	339	Hradiště	Impregnace dřeva s.r.o.
26×146	473	Uherské Hradiště	DEOKORK s.r.o.
26×146	543	Jihlava	Palubky Koten s.r.o.
26×146	473	Praha	ASKO a.s.
27×146	350	Praha	Dřevodiskont s.r.o.
26×124	411	Fryšták	DŘEVO SP s.r.o.
25×130	368	Plzeň	Weyland Holz

**Tab. 8. Cenové srovnání terasových prken z borovice**  
Viz. Internetové zdroje

Používaný profil obkladových palubek ze dřeva borovice lesní vidíme na obr. 6.



**Obr. 6. Obkladový profil palubky z borovice lesní**

[https://www.artisan.cz/obkladove-palubky-16x121x4000-kp-kratke-pero-kvalita-a-b?utm\\_source=seznam&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Artisan+Shopping&utm\\_content=Drevomaterial](https://www.artisan.cz/obkladove-palubky-16x121x4000-kp-kratke-pero-kvalita-a-b?utm_source=seznam&utm_medium=cpc&utm_campaign=Artisan+Shopping&utm_content=Drevomaterial)

Cenové srovnání obkladových palubek ze dřeva borovice lesní od různých prodejců v rámci České republiky zobrazuje tab. 9. Průměrná cena borovicových obkladových palubek formátu 12×96 mm je 177 Kč za 1 m<sup>2</sup> včetně DPH. Naopak u formátu 12,5×96 mm je průměrná cena za 1 m<sup>2</sup> – 186 Kč včetně DPH.



Cenové srovnání borovicových obkladových palubek od různých prodejců v rámci ČR			
Formát (mm)	Cena s DPH za m <sup>2</sup> (Kč)	Sídlo	Firma
12×96	184	Jihlava	Palubky Koten s.r.o.
12×96	192	Praha	Palubky Karban
12×96	156	Týniště nad Orlicí	Vencl & Banha s.r.o.
12,5×96	186	Borohrádek	Serafin Campestrini s.r.o.
12,5×96	160	Brno	AZ WOOD a.s.
12,5×96	212	Mladá boleslav	Dřevoobchod Doležal s.r.o.

**Tab. 9. Cenové srovnání obkladových palubek z borovice**  
**Viz. Internetové zdroje**

Na obr. 7 vidíme konstrukci dřevěné fasády u rodinného domu a administrativní budovy. Konstrukce dřevěné fasády je z fasádních profilů z borovice lesní.



**Obr. 7. Fasáda z borovicových palubek**  
<http://www.dum-zahrada.net/thermowood/venkovni-obkladove-profilu/>

## 2.7.2 Využití dřeva modřínu sibiřského

Dřevo modřínu sibiřského (*Larix sibirica* Ledeb.) patří k nejcennějším mezi jehličnatými druhy. Je důležitou surovinou ruského lesního průmyslu, jehož význam stále stoupá. V pionýrských dobách ruské kozácké kolonizace Sibíře (počínaje 17. stoletím) bylo velmi trvanlivé modřínové dřevo používáno místo kamene na základy budované v promrzlé půdě – permafrostu, na nich pak pokračovala dřevěná, obvykle sosnová stavba tradičních sibiřských domů (Musil 2003). Puu ry (2007) uvádí, že tradiční využití modřínového dřeva bylo – výroba lodí, okenních rámců, dveří a schodišť. V bývalém Sovětském svazu bylo používáno dřevo sibiřského modřínu na dřevěné domy, sudy, nábytek, parkety i železniční pražce (Sairanen 1982). Dřevo sibiřského modřínu se

používá ve stavebnictví (obr. 9, 11), pro rodinné domy a průmyslové účely (Bajaj 1991, Stern 2003). Dále se uvádí, že modřínové dřevo je používáno v dřevařském a zpracovatelském průmyslu na plovoucí podlahy, nábytkové dílce, venkovní použití (obr. 8, tab. 10.) a bednění (Chauret a Zhang 2002). Verkasalo (2001) uvádí, že modřínové dřevo je krásné a vhodné zejména pro dekorační použití. Dřevo sibiřského modřínu je známé také pro svou odolnost vůči hnilobě. Tento předpoklad je hlavním důvodem, proč se doporučuje, a je stále více využíváné (zvláště venkovní prostředí). Současný trend životního prostředí klade důraz na toto doporučení. Přirozeně odolné druhy jsou jednou z možností pro použití v méně náročných a poměrně snadno opravitelných venkovních místech. V průběhu několika posledních desetiletí byl modřín sibiřský často použit v kontaktu se zemí. Nicméně, v evropských standardech je jádrové dřevo sibiřského modřínu hodnoceno jako mírně trvanlivé – mírně trvanlivé (třídy 3 až 4) (Finnforest Thermowood 2003). Tyto třídy trvanlivosti jsou určeny pro venkovní použití. Dřevo sibiřského modřínu se také používalo na výrobu terpentýnu a získávala se z něj pryskyřice (Bukštinov 1981). Podle Viitanenna et al. (2001) má dřevo sibiřského modřínu velké množství vysoce hořlavých extraktů, což zhoršuje požární odolnost dřeva. Hlavním faktorem omezujícím primární použití modřínového dřeva ve střední Evropě je dostupnost modřínového dřeva. Dále jsou limitujícími faktory ronění pryskyřice, velké deformace (zejména kroucením), obtížné sušení a vysoká cena (Pelz et al. 1999). Svoboda (1976) uvádí, že první dovoz sibiřského modřínu do Evropy byl v roce 1806. Dále uvádí, že do Čech, konkrétně do Průhonic, byl dovezen v roce 1936.

Terasové profily ze sibiřského modřínu jsou zobrazena na obr. 8.



**Obr. 8. Terasové profily z modřínu sibiřského**

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=8mAu3JO7&id=C524CAF1DF8AC16332517519135D7EBC0DF7A8C1&q=terasov%20a9+prkno+mod%20c5%99%20adn+sibi%20c5%99sk%20bd&simid=608039346161516647&selectedindex>

Cenové srovnání terasových prken z modřínu sibiřského od různých prodejců v rámci České republiky zobrazuje tab. 10.

Cenové srovnání modřínových terasových prken od různých prodejců v rámci ČR			
Formát (mm)	Cena s DPH za m <sup>2</sup> (Kč)	Sídlo	Firma
27×143	664	Liberec	Artisan s.r.o.
27×143	702	Hradiště	Impregnace dřeva s.r.o.
27×143	599	Brno	AZ WOOD a.s.
27×143	714	Praha	Wood store
24×143	817	Praha	Pechar s.r.o.
24×140	696	Dobříš	Bios s.r.o.
24×140	696	Borohrádek	Serafin Campestrini s.r.o.
26×140	629	Tábor	Hora s.r.o.
27×145	676	Jihlava	Palubky Koten s.r.o.
28×145	713	Praha	Sibiřský modřín s.r.o.

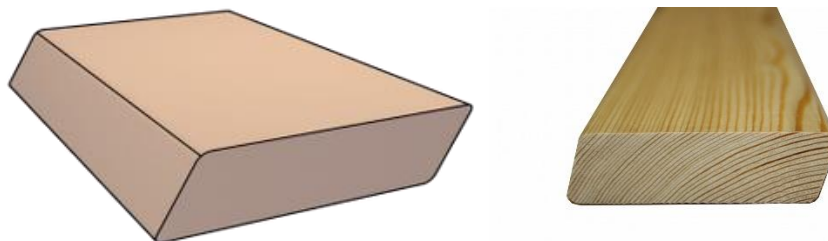
**Tab. 10. Cenové srovnání terasových prken z modřínu sibiřského**  
**Viz. Internetové zdroje**

Postup montáže a pokládky terasy z terasových prken sibiřského modřínu zobrazuje obr. 9.



**Obr. 9. Postup montáže a pokládky terasových prken z modřínu sibiřského**  
<https://stavoblog.cz/terasa-ze-sibirskeho-modrinu-navod/>

Na obr. 10 vidíme fasádní profil Rhombus z modřínu sibiřského. Profil Rhombus je jedním z nejpoužívanějších terasových profilů na konstrukci dřevěných fasád. Tento profil je vhodný především pro odvětrávané fasády.



**Obr. 10. Fasádní profily Rhombus z modřínu sibiřského**  
<https://samycy.eu/fasadni-profily>

Cenové srovnání fasádních profilů Rhombus z modřínu sibiřského od různých prodejců v rámci České republiky zobrazuje tab. 11. Průměrná cena modřínových fasádních profilů formátu 19×95 mm je 578 Kč za 1 m<sup>2</sup> včetně DPH. U formátu 20×96 mm je průměrná cena 591 Kč za 1 m<sup>2</sup> včetně DPH.

Cenové srovnání fasádních profilů RHOMBUS od různých prodejců v rámci ČR			
Formát (mm)	Cena s DPH za m <sup>2</sup> (Kč)	Sídlo	Firma
19×95	551	Dobříš	Bios s.r.o.
19×95	604	České Budějovice	WOODS spol. s.r.o.
20×95	647	Praha	Sibirske drevo s.r.o.
20×95	535	Praha	Sibiřský modřín s.r.o.
22×145	534	Praha	Siberian Larch s.r.o.
22×70	540	Lípa	Puidukoda cz s.r.o.

**Tab. 11. Cenové srovnání fasádních profilů Rhombus z modřínu sibiřského**  
**Viz. Internetové zdroje**

Konstrukci dřevěné fasády z profilů Rhombus ze dřeva modřínu sibiřského u rodinného domu nám zobrazuje obr. 11.



**Obr. 11. Fasáda z profilů Rhombus z modřínu sibiřského**  
<http://www.palubky-seca.cz/stranky/poradna/navody/drevene-fasady---rady-a-tipy.htm>

### 3 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je stanovit a porovnat hodnoty vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) a modřínu sibiřského (*Larix sibirica* Ledeb.). Zjištěné výsledky budou porovnány s různými literárními zdroji. Tato bakalářská práce byla rozdělena do několika částí:

1. Vyhledat literární zdroje týkající se stavby a vlastností sibiřského modřínu a borovice lesní.
2. Provést odběr vzorků z vybraných dřev a vyrobit zkušební vzorky.
3. Srovnat makroskopickou a mikroskopickou stavbu dřeva modřínu sibiřského a borovice lesní.
4. Provést letokruhovou analýzu a porovnat hustotu a bobtnání dřeva modřínu sibiřského a borovice lesní. Zjistit vliv makroskopické stavby dřeva na tyto vlastnosti. Dále stanovit maximální vlhkost a mez hygroskopicity u modřínu sibiřského a borovice lesní.
5. Zjistit mez pevnosti v tlaku ve směru vláken a modul pružnosti u modřínu sibiřského a borovice lesní. Zjistit vliv makroskopické stavby dřeva na tyto vlastnosti.
6. Zjištěné výsledky statisticky vyhodnotit a srovnat s literaturou.

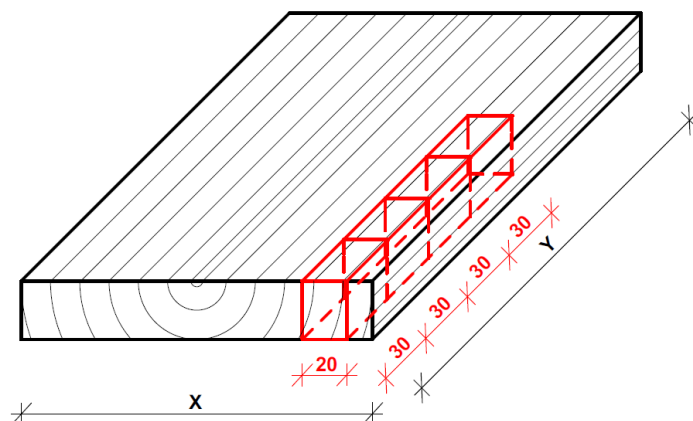
## **4 Materiál a metodika**

### **4.1 Materiál na přípravu zkušebních vzorků**

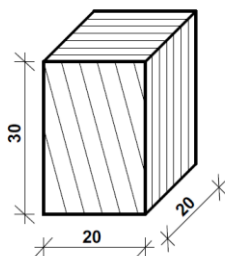
Materiál na výrobu zkušebních vzorků tvořily různé odpadní zbytky, odřezky z výroby, zbytky prken, desek, hranolů a jiného stavebního řeziva. Hlavním cílem bylo sehnat co nejvíce malých kousků z různých stromů z důvodu co největší variability. Co se týká materiálu ze sibiřského modřínu, ten nám poskytla firma Pechar s. r. o., která se zabývá dovozem tropického dřeva a sídlí v Praze. Firma nám dodala zbytky stavebního řeziva z výroby. Co se týká dřeva borovice lesní, to nám poskytl Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny ve formě vysušených fošen.

### **4.2 Výroba zkušebních vzorků**

Poté, co jsme obdrželi materiál, přesunuli jsme se do školních dílen, kde jsme pomocí kotoučové pily nařezali vzorky na potřebné rozměry. Vzhledem k velkým nepřesnostem získaného materiálu (nepravoúhlost, sbíhavost, drsnost povrchu) jsme některé desky a hranoly nejprve museli srovnat na hoblovcé. Vzhledem k tomu, že bylo třeba zhotovit vzorky speciálně ortotropní, což znamená s téměř nulovým odklonem vláken a letokruhů, byla výroba velice zdlouhavá. Konkrétní rozměry zkušebních tělísek byly 20×20×30 mm (obr. 13.). Z každého prkna, desky nebo hranolu bylo možné vyřezat maximálně 4 vzorky, vzhledem k dodržení potřebné variability měřených vlastností. Přitom bylo třeba dbát na to, aby zkušební tělíska byla speciálně ortotropní, kvůli čemuž jsme nemohli využít všechnen materiál (obr. 12.). Co se týká celkového počtu zkušebních tělísek, tak pro každý druh bylo nařezáno 200 kusů.



**Obr. 12. Postup vyřezávání zkušebních tělísek**



**Obr. 13. Rozměry zkušebního tělíska**

### 4.3 Makroskopická stavba – letokruhová analýza

Letokruhová analýza zjišťuje šířky letokruhů a také šířky jarního a letního dřeva v rámci letokruhu. Měření jsme prováděli na příčném řezu na připravených vzorcích dřeva borovice lesní a modřínu sibiřského. Rozměry tělísek byly 20×20×30 mm. Některá tělíska (zvláště modřín sibiřský) bylo nutné před vlastním měřením na příčném řezu potřít vodou, nebo přebrousit brusným papírem, aby se zvýraznily hranice mezi jarním a letním dřevem. Samotné měření bylo prováděno na standardním měřícím stole s inkrementálním snímačem. Měřené tělísko bylo vloženo pod stereolupu Nikon a na speciální posuvné podložce se zaostřovalo podle potřeby. Měřené tělísko bylo pomocí ovládacího šroubu podložky posouváno v radiálním směru vždy od středu směrem k okraji, přičemž se zaznamenávaly hranice mezi jarním a letním dřevem pomocí programu PAST 32, který byl nainstalovaný v počítači. Z hlediska přesnosti měření byla měřena pouze kolmá vzdálenost mezi tečnami zón jarního a letního dřeva. Měření bylo prováděno na přesnost 0,01 mm. Po ukončení vlastního měření byl soubor s naměřenými daty exportován do



programu Microsoft Excel, kde byla naměřená data analyzována a statisticky vyhodnocena.

Pro výpočet % zastoupení letního dřeva v rámci letokruhu byl použit vzorec:

$$\%ldř = \frac{\mathit{\textit{šldř}}}{\mathit{\textit{šl}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Kde:

$\% \mathit{\textit{ldř}}$  = podíl letního dřeva [%]

$\mathit{\textit{šl}}$  = šířka letokruhu [mm]

$\mathit{\textit{šldř}}$  = šířka letního dřeva [mm]

#### 4.4 Hustota dřeva

Od začátku byla zkušební tělíska rozdělena na 2 skupiny. První skupina byla tělíska na zjišťování bobtnání dřeva, maximální vlhkosti, meze hydroskopicity a druhá skupina byla tělíska na měření pevnosti v tlaku a letokruhovou analýzu. Tělíska z první skupiny byla uložena do laboratorní horkovzdušné sušárny Sanyo MOV 112 při teplotě  $103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  dle normy. Po vysušení tělísek na 0 % vlhkost byla zkušební tělíska postupně vyndávána ze sušárny a po maximálně 5 kusech vkládána do exikátoru, aby se zabránilo absorbování vzdušné vlhkosti. Poté byla tělíska postupně vážena na laboratorní váze Scaltec SBC 41 s přesností na 0,01 g. Po zvážení tělísek následovalo měření rozměrů. Na vlastní měření bylo použito digitální posuvné měřidlo Jiangsu S. Ltd. Tělíska se měřila ve všech směrech (R–radiální, T–tangenciální, L–podélný). U měření digitálním měřidlem bylo nutné měřit po úhlopříčce v daném směru z důvodu přesnosti měření. Měřilo se s přesností na 0,01 mm. Všechna data byla postupně zaznamenávána do editoru programu Microsoft Excel, kde byla ukládána a následně analyzována a zpracována.

Pro výpočet hustoty při 0 % vlhkosti byl použit vzorec:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{R_0 \cdot T_0 \cdot L_0} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Kde:

$m_0$  = hmotnost tělíska při 0 % vlhkosti [kg]

$R_{12}$  = radiální rozměr tělíska při 0 % vlhkosti [m]

$T_{12}$  = tangenciální rozměr tělíska při 0 % vlhkosti [m]

$L_{12}$  = podélný rozměr tělíska při 0 % vlhkosti [m]

Dále byla zjišťována hustota při 12 % vlhkosti u druhé skupiny zkušebních tělísek. Tělíska z druhé skupiny byla na 3 měsíce přesunuta do temperované místnosti s konstantní teplotou 20 °C a relativní vlhkostí vzduchu 60 % v klimatizovaném skladu v Útěchově. Zkušební tělíska už nebylo nutné přesouvat do exikátoru, protože v měřené místnosti byly totožné podmínky ( $t = 20$  °C,  $\varphi = 60$  %). Měření a vážení zkušebních tělísek tudíž proběhlo jako v předešlém případě. Naměřené hodnoty byly poté opět vloženy do editoru programu Microsoft Excel, kde byly ukládány a následně analyzovány.

Pro výpočet hustoty při 12 % vlhkosti byl použit vzorec:

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{R_{12} \cdot T_{12} \cdot L_{12}} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Kde:

$m_{12}$  = hmotnost tělíska při 12 % vlhkosti [kg]

$R_{12}$  = radiální rozměr tělíska při 12 % vlhkosti [m]

$T_{12}$  = tangenciální rozměr tělíska při 12 % vlhkosti [m]

$L_{12}$  = podélný rozměr tělíska při 12 % vlhkosti [m]

## 4.5 Bobtnání dřeva

Bobtnání dřeva se stanoví podle ČSN 490126. Podstatou metody je zjištění změn délkových rozměrů nebo objemu zkušebních těles při normalizované vlhkosti. Zkušební tělíska borovice lesní i modřínu sibiřského byla ponořena do kádě s vodou a zatěžkána. Tělíska se nechala v kádi do doby, než už se u tělísek neměnily jejich rozměry, tedy do maximálního nasycení tělísek vodou vázanou (meze hygroskopicity). Potom byla tělíska

pomocí digitálního posuvného měřidla změřena standardním způsobem (L, R, T). Následně pomocí těchto hodnot byl spočítán objem zkušebních tělísek. Hustota dřeva, která byla potřebná k finálním výpočtům, byla použita při nulové vlhkosti. Pro zjištění maximální vlhkosti byla použita stejná tělíska jako u bobtnání, akorát se nechala ponořená v kádí do doby, než se jejich hmotnost během 24 h nezměnila o více než 0,1 % předešlé hmotnosti. Potom byla tělíska zvážena na laboratorní váze s přesností 0,01 g. Pro zjištění meze hydroskopicity u borovice lesní a modřínu sibiřského byla další skupina tělísek vložena do exikátoru, ve kterém byla nainstalována podložka, ve které byly otvory. Na podložku byla umístěna tělíska obou druhů dřev a pod podložku byla nalita destilovaná voda. V průběhu času byla tělíska kontrolně měřena. Po posledním měření, kdy už tělíska během 24 h nezměnila svoji hmotnost o více než 0,1 %, byla tělíska vyndána a zvážena na laboratorní váze s přesností 0,01 g.

Pro výpočet bobtnání v různých směrech (L, R, T) byl použit vzorec:

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

Kde:

$\alpha$  = rozměr tělíska v určitém směru [m]

$i$  = index udávající určitý směr

$w_1$  = počáteční vlhkost [%]

$w_2$  = konečná vlhkost [%]

Pro výpočet objemového bobtnání byl použit vzorec:

$$\alpha_v = \frac{a_i - a_0}{a_i} \cdot 100 \quad [\%]$$

Kde:

$a_i$  = objem tělíska při počáteční vlhkosti [m<sup>3</sup>]

$a_0$  = objem tělíska při konečné vlhkosti [m<sup>3</sup>]

Pro výpočet maximální vlhkosti byl použit vzorec:

$$w_{Max} = \frac{m_{Max} - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

Kde:

$m_{Max}$  = hmotnost tělíska při maximální vlhkosti [g]

$m_0$  = hmotnost tělíska při 0 % vlhkosti [g]

Pro výpočet meze hydroskopicity byl použit vzorec:

$$MH = \frac{m_{MH} - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

Kde:

$m_{MH}$  = hmotnost tělíska na mezi hydroskopicity [g]

$m_0$  = hmotnost tělíska při 0 % vlhkosti [g]

Pro výpočet koeficientu bobtnání byl použit vzorec:

$$K_{ai} = \frac{\alpha_{Max}}{MH} = \quad [\%/1\%w]$$

Kde:

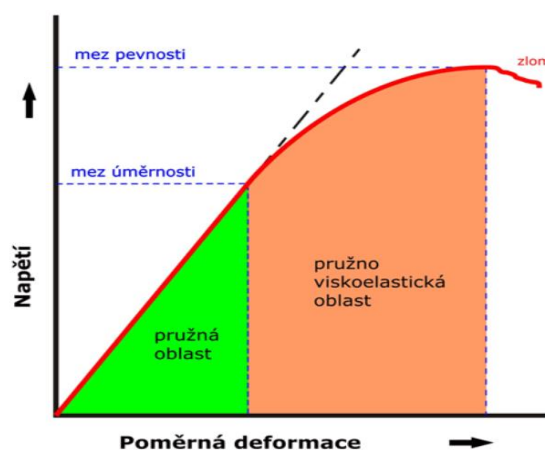
$\alpha_{Max}$  = celkové bobtnání v určitém směru, objemové bobtnání [%]

$MH$  = mez hydroskopicity [%]

## 4.6 Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken a modul pružnosti

Zjišťování tlakové pevnosti dřeva ve směru vláken se provádí podle ČSN 490110. Zkušební tělesa mají tvar pravoúhlých hranolů (příčné rozměry 20×20 mm, délka ve směru vláken 30 mm), jejich zhotovení a počet musí odpovídat ČSN 490101, 490123, vlhkost těles se zjišťuje podle ČSN 490103. K vlastnímu měření byly použity jak vzorky dřeva modřínu sibiřského, tak vzorky dřeva borovice lesní. Vlastní měření bylo

prováděno na universálním trhacím stroji ZWICK Z 050 podle vlastního návodu. Naměřené hodnoty byly automaticky ukládány do software ZWICK Test expert V 11.02 a po ukončení měření byly následně převedeny do programu Microsoft Excel. V programu Microsoft Excel byly tyto hodnoty následně analyzovány a statisticky vyhodnoceny. Trhací stroj z jednoho naměřeného tělíska zjistil maximální pevnost tělíska v tlaku, deformaci při maximální síle a Youngův modul pružnosti. Zjišťování rozměrů jednotlivých tělísek bylo prováděno pomocí digitálního posuvného měřidla, které bylo napojené datovým kabelem do počítače. Naměřené hodnoty jsme tedy nemuseli přepisovat do editoru. U tohoto měření nebylo třeba rozlišovat radiální a tangenciální směr. Hmotnost tělísek byla měřena pomocí digitální váhy s přesností na 0,01 g. Zkušební tělíska byla před vlastním měřením uložena v temperované místnosti o vlhkosti 12 %. Hodnoty zjištěné z digitálního posuvného měřidla a digitální váhy byly automaticky vyplněny nebo ručně zadány do dialogového okna softwaru i s označením měřeného tělíska. Poté bylo tělísko uloženo na podstavec trhacího stroje, vycentrováno a po potvrzení předzatíženo. Po následném vyzvání softwaru byly přiloženy k tělísku extensometry otočným šroubovým mechanismem pro posouzení deformace. Po dalším potvrzení začala samotná zkouška. V průběhu zkoušky byla v softwaru postupně vykreslována křivka závislosti tlaku (MPa) na aktuální procentuální délkové deformaci (%). Jinak se tato křivka nazývá pracovní diagram (obr. 14.). V průběhu zkoušky bylo tělísko postupně zatěžováno zvyšující se silou, kdy křivka měla stoupající tendenci až do meze pevnosti dřeva. Po dosažení meze pevnosti začne křivka postupně klesat a zkouška je automaticky nebo manuálně ukončena.



Obr. 14. Pracovní diagram dřeva při zkoušce na tlak podél vláken

Po ukončení zkoušky dojde k odejmutí extensometrů, čelist trhacího stroje se vrátí do původní polohy. Následuje odebrání tělíska z podstavce a trhací stroj je připraven k měření dalšího tělíska. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken zkušebních těles při zjištěné vlhkosti v době zkoušky ( $\sigma_w$ ) se vypočte ze vztahu:

$$\sigma_w = \frac{F_{MAX}}{a \cdot b} \quad [\text{MPa}]$$

Kde:

$F_{MAX}$  – maximální zatížení (N)  
 $a, b$  – příčné rozměry těles (mm)

Modul pružnosti v tlaku ve směru vláken zkušebních těles při zjištěné vlhkosti v době zkoušky ( $E$ ) se vypočte ze vztahu:

$$E = \frac{\sigma_w}{\varepsilon} \quad [\text{MPa}]$$

Kde:

$\sigma_w$  – mez pevnosti v tlaku ve směru vláken (MPa)  
 $\varepsilon$  – poměrná deformace na mezi pevnosti (mm)

## 5 Výsledky

### 5.1 Makroskopická stavba dřeva – letokruhová analýza

Výsledky letokruhové analýzy jsou znázorněny v tabulce 12. Tabulka 12. zobrazuje šířku letokruhů a šířku letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského. Dále obsahuje statistické vyhodnocení jednotlivých výsledků. Průměrná šířka letokruhů u borovice lesní byla 2,70 mm, zatímco u modřínu sibiřského pouze 1,28 mm, což je téměř 2krát méně než u dřeva borovice. Šířka letního dřeva u borovice lesní byla 0,61 mm, zatímco u modřínu sibiřského téměř o polovinu menší 0,35 mm. Variační koeficienty u modřínů byly zhruba 2krát až 3krát větší než u dřeva borovice, lze tedy konstatovat, že u modřínů byly rozdíly v jednotlivých šířkách docela vysoké. Co se týká hodnot rozptylů, lze konstatovat že u všech šířek byly minimální. Maximální hodnota naměřené šířky letokruhu u borovice lesní činí 5,50 mm.

Druh dřeva	borovice lesní		modřín sibiřský	
	šířka letokruhu (mm)	šířka let. dřeva (mm)	šířka letokruhu (mm)	šířka let. dřeva (mm)
N (Ks)	30	30	33	33
Arit. průměr (mm)	2,70	0,61	1,28	0,35
Směr. odchylka (mm)	1,00	0,13	0,78	0,22
Var. koeficient (%)	37,09	21,65	60,93	63,92
Rozptyl	1,00	0,02	0,60	0,05
Median (mm)	2,56	0,59	1,12	0,33
Max. (mm)	5,50	0,90	3,05	0,79
Min. (mm)	1,54	0,34	0,30	0,06

Tab. 12. Šířka letokruhu, šířka letního dřeva, u borovice lesní a modřínu sibiřského

Testování šířek letokruhů u borovice lesní a modřínu sibiřského zobrazuje tab. 13. Pomocí f–testu byla prokázána rovnost rozptylů u obou druhů dřev. K testování nulové hypotézy o rovnosti středních hodnot u šířek letokruhů mezi dřevem modřínu sibiřského a borovice lesní byl použit t–test s rovností rozptylů. T–test nulovou hypotézu zamítl, existuje tedy statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami u šířek letokruhů u obou druhů dřev.

F–test			T–test s rovností rozptylů		
	BO.	MD. SIB.		BO	MD. SIB.
Stř. hodnota	2,699906638	1,275753784	Stř. hodnota	2,699906638	1,275753784
Rozptyl	1,037431878	0,623093462	Rozptyl	1,037431878	0,623093462
Pozorování	30	33	Pozorování	30	33
Rozdíl	29	32	Společ. rozptyl	0,82007402	
F	1,664969931		rozdíl stř. hod.	0	
P(F<=f) (1)	0,080924067		Rozdíl	61	
F krit (1)	1,823251944		t Stat	6,23415219	
			P(T<=t) (1)	2,3532E-08	
			t krit (1)	1,670219484	
			P(T<=t) (2)	4,7064E-08	
			t krit (2)	1,999623585	

Tab. 13. Dvouvýběrový F–test pro rozptyl, dvouvýběrový T–test s rovností rozptylů

% zastoupení letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského zobrazuje tab. 14. U borovice lesní je průměrná hodnota % zastoupení letního dřeva 25,84 %, u modřínu sibiřského téměř totožná 25,88 %. Variační koeficient u dřeva borovice lesní je vyšší než 30 %, což nám ukazuje na větší rozdíly v % zastoupení letního dřeva u jednotlivých vzorků. Co se týká hodnot aritmetického průměru a mediánu, tak u modřínu sibiřského jsou hodnoty téměř totožné, u borovice lesní je hodnota mediánu mírně vyšší. U dřeva borovice lesní je hodnota rozptylu téměř 2,5krát větší než u modřínu sibiřského, což poukazuje na větší rozdíly hodnot u jednotlivých vzorků.

% zastoupení letního dřeva (%)		
Druh dřeva	borovice lesní	modřín sibiřský
N (Ks)	30	33
Arit. průměr (%)	25,84	25,88
Směr. odchylka (%)	8,69	5,08
Var. koeficient (%)	33,62	19,64
Rozptyl	75,50	25,83
Median (%)	27,53	25,77
Max. (%)	41,67	40,40
Min. (%)	9,69	19,34

Tab. 14. % zastoupení letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského



## 5.2 Hustota dřeva

Hodnoty hustot u modřínu sibiřského a borovice lesní můžeme vidět v tab. 15. Tab. 15. nám ukazuje hustotu dřeva absolutně suchého a hustotu dřeva při vlhkosti 12 %. Průměrná hustota absolutně suchého dřeva u borovice lesní činí  $451,37 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a u modřínu sibiřského  $580,69 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Hodnota hustoty při vlhkosti 12 % u borovice lesní vzrostla na  $482 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a u modřínu sibiřského na  $611 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . U všech těchto hustot se hodnota variačního koeficientu pohybovala okolo 10–12 %, z čehož můžeme usoudit, že šlo o relativně ucelenou množinu hodnot měření bez větších výkyvů. U hustoty při nulové vlhkosti došlo k většímu rozdílu mezi hodnotou mediánu a aritmetického průměru, než u hustoty při vlhkosti 12 %, což značí že u hustoty při nulové vlhkosti byly větší odchylky hodnot než u hustoty při 12 % vlhkosti.

Druh dřeva	borovice lesní		modřín sibiřský	
	$\rho_0 \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3})$	$\rho_{12} \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3})$	$\rho_0 \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3})$	$\rho_{12} \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3})$
N (Ks)	30	30	34	32
Arit. průměr ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	451,37	482,00	580,69	611,00
Směr. odchylka ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	53,41	55,00	66,03	66,00
Var. koeficient (%)	11,83	11,43	11,37	10,87
Rozptyl ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	2852,70	3036,00	4359,53	4411,00
Median ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	444,03	479,00	596,04	608,00
Max. ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	587,55	623,00	748,12	785,00
Min. ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	361,02	375,00	439,97	514,00

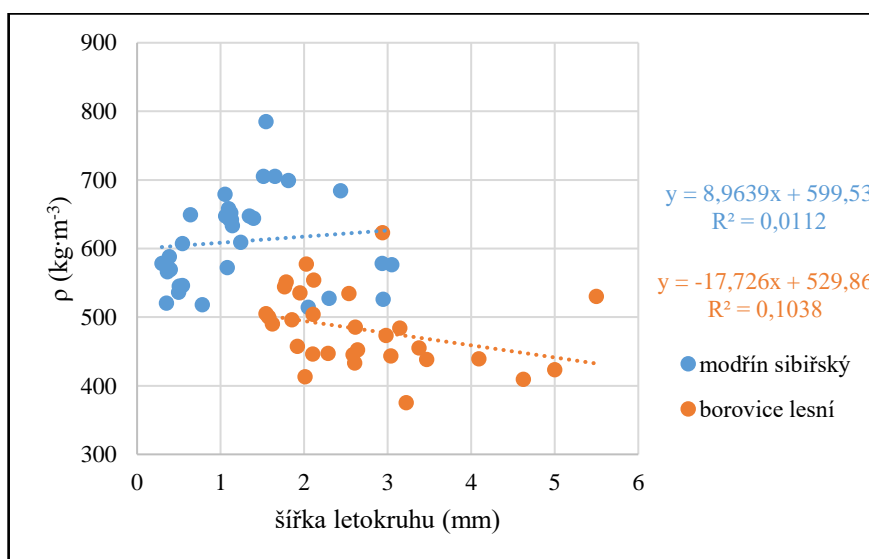
Tab. 15. Hustota dřeva při vlhkosti 0 % a hustota při vlhkosti 12 % u borovice lesní a modřínu sibiřského

Testování hustoty dřeva při 12 % vlhkosti u borovice lesní a modřínu sibiřského zobrazuje tab. 16. Pomocí f–testu byla zjištěna rovnost rozptylů u borovice lesní i modřínu sibiřského. K testování nulové hypotézy o rovnosti středních hodnot u hustoty dřeva mezi modřínem sibiřským a borovicí lesní byl použit t–test s rovností rozptylů. T–test nulovou hypotézu zamítl, existuje tedy statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami hustoty dřeva u obou druhů dřev.

F–test			T–test s rovností rozptylů		
	MD. SIB.	BO.		MD. SIB.	BO.
Stř. hodnota	611,9354839	484,3793103	Stř. hodnota	611,9354839	484,3793103
Rozptyl	4663,395699	3076,743842	Rozptyl	4663,395699	3076,743842
Pozorování	31	29	Pozorování	31	29
Rozdíl	30	28	Společ. rozptyl	3897,425837	
F	1,515691893		rozdíl stř. hod.	0	
P(F<=f) (1)	0,135953424		Rozdíl	58	
F krit (1)	1,868709158		t Stat	7,908912548	
			P(T<=t) (1)	4,35294E-11	
			t krit (1)	1,671552762	
			P(T<=t) (2)	8,70589E-11	
			t krit (2)	2,001717484	

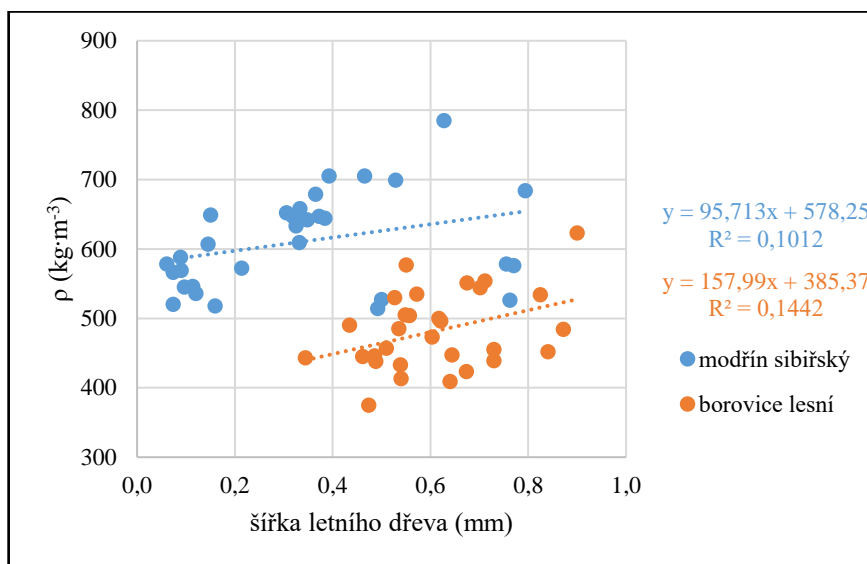
Tab. 16. Dvouvýběrový F–test pro rozptyl, dvouvýběrový T–test s rovností rozptylů

Na grafu 1. vidíme závislost hustoty při vlhkosti 12 % na průměrné šířce letokruhů u dřeva borovice lesní a modřínu sibiřského. U modřínu sibiřského nelze stanovit závislost mezi oběma veličinami vzhledem k nízkému součiniteli determinace, u borovice lesní jde o klesající trend, který má ale koeficient determinace pouze 0,1.



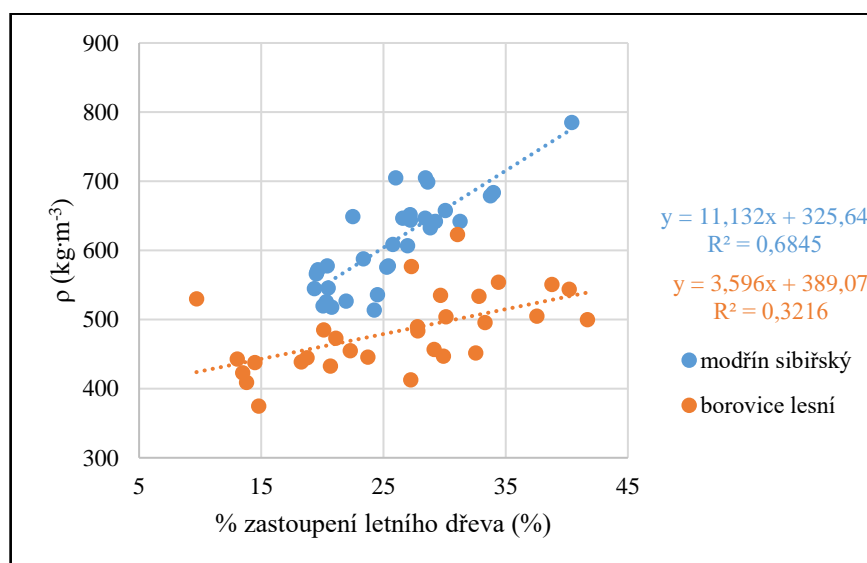
Graf 1. Závislost hustoty dřeva na šířce letokruhů u borovice lesní a modřínu sibiřského

Na grafu 2. vidíme závislost hustoty dřeva při vlhkosti 12 % na šířce letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského. Na tomto grafu vidíme jak u borovice lesní, tak u modřínu sibiřského nízké koeficienty determinace, které se pohybují kolem 0,1. Nelze tedy stanovit závislost obou veličin na sobě. Z proložených přímků můžeme usoudit, že zřejmě půjde o rostoucí závislost hustoty dřeva na šířce letokruhů u obou dřev.



**Graf 2. Závislost hustoty na šířce letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského**

Závislost hustoty dřeva při vlhkosti 12 % na % zastoupení letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského vidíme na grafu 3. Z grafu je patrné, že čím je větší procentuální zastoupení letního dřeva, tím je větší hustota dřeva u obou druhů dřev. U dřeva modřínu sibiřského je koeficient determinace zhruba 2krát větší.



**Graf 3. Závislost hustoty na % zastoupení letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského**

### 5.3 Bobtnání dřeva

Výsledky bobtnání u borovice lesní a modřínu sibiřského uvádí tab. 17. U borovice lesní byla zjištěna hodnota radiálního bobtnání 4,19 % a tangenciálního bobtnání 8,72 % tedy zhruba 2krát větší. Objemové bobtnání bylo 13,45 %. Pro doplnění bylo provedeno i bobtnání podélné, jehož hodnota u borovice činila 0,54 %. Hodnota variačních koeficientů se pohybovala v rozmezí od 15 % do 32 % což svědčí o středně ucelené množině hodnot měření bez větších výkyvů. Pouze u podélného bobtnání se hodnota variačního koeficientu vyšplhala na hodnotu 60,17 %, což značí velkou variabilitu bobtnání v podélném směru. Co se týká rozdílných hodnot u aritmetického průměru a mediánu, tak hodnoty byly odlišné pouze nepatrně. U modřínu sibiřského byla hodnota radiálního bobtnání 4,82 %, tangenciálního bobtnání 10,74 %, objemového bobtnání 16,00 % a podélného bobtnání 0,44 %. Vidíme, že u všech druhů bobtnání jsou hodnoty větší než v případě předešlé borovice. U variačních koeficientů platí totéž, co u borovice lesní, to samé se dá říci také o hodnotách mediánu.

Druh dřeva	borovice lesní				modřín sibiřský			
	$\alpha_L$	$\alpha_R$	$\alpha_T$	$\alpha_V$	$\alpha_L$	$\alpha_R$	$\alpha_T$	$\alpha_V$
Jednotka (%)								
N (Ks)	30	30	30	30	34	34	34	34
Arit. průměr (%)	0,54	4,19	8,72	13,45	0,44	4,82	10,74	16,00
Směr. odchylka (%)	0,32	1,31	2,17	2,80	0,44	1,25	1,62	2,58
Var. koeficient (%)	60,17	31,28	24,89	20,79	99,56	26,00	15,13	16,12
Rozptyl	0,11	1,72	4,71	7,81	0,20	1,57	2,64	6,65
Median (%)	0,47	4,38	9,14	14,18	0,30	4,79	11,00	16,61
Max. (%)	1,21	7,13	12,99	17,61	2,21	7,61	13,81	21,30
Min. (%)	0,03	1,46	4,78	7,45	0,07	3,03	7,62	11,14

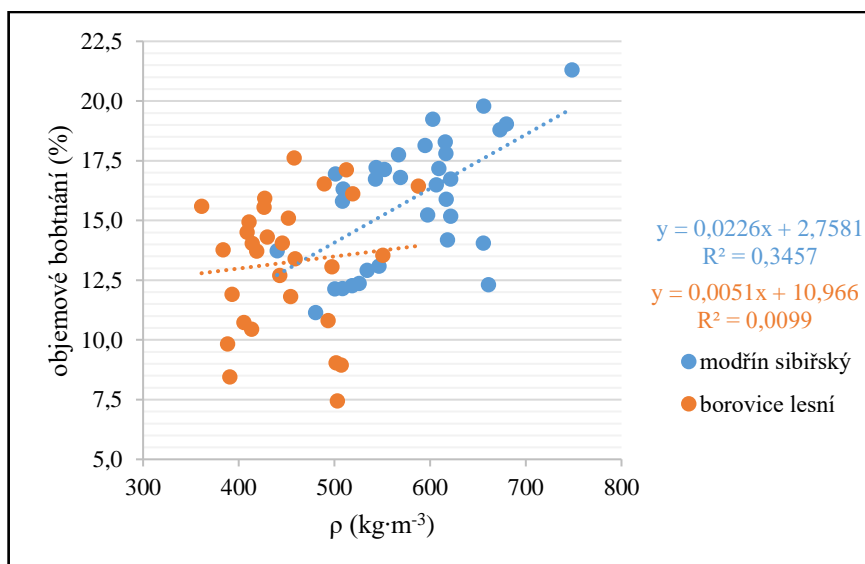
Tab. 17. Bobtnání v podélném, radiálním, tangenciálním směru a objemové bobtnání u borovice lesní a modřínu sibiřského

Na tab. 18. vidíme testování objemového bobtnání u borovice lesní a modřínu sibiřského. Pomocí f–testu byla prokázána rovnost rozptylů u obou druhů dřev. K testování nulové hypotézy o rovnosti středních hodnot u objemového bobtnání mezi oběma druhy dřev byl použit t–test s rovností rozptylů. T–test nulovou hypotézu zamítl, existuje tedy statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami objemového bobtnání u obou druhů dřev.

F–test			T–test s rovností rozptylů		
	BO.	MD. SIB.		BO.	MD. SIB.
Stř. hodnota	13,4456938	16,00416975	Stř. hodnota	13,4456938	16,00416975
Rozptyl	8,083536829	6,856016802	Rozptyl	8,083536829	6,856016802
Pozorování	30	34	Pozorování	30	34
Rozdíl	29	33	Společ. rozptyl	7,430179395	
F	1,179042739		rozdíl stř. hod.	0	
P(F<=f) (1)	0,321968263		Rozdíl	62	
F krit (1)	1,812296314		t Stat	-3,747069852	
			P(T<=t) (1)	0,000197439	
			t krit (1)	1,669804163	
			P(T<=t) (2)	0,000394878	
			t krit (2)	1,998971517	

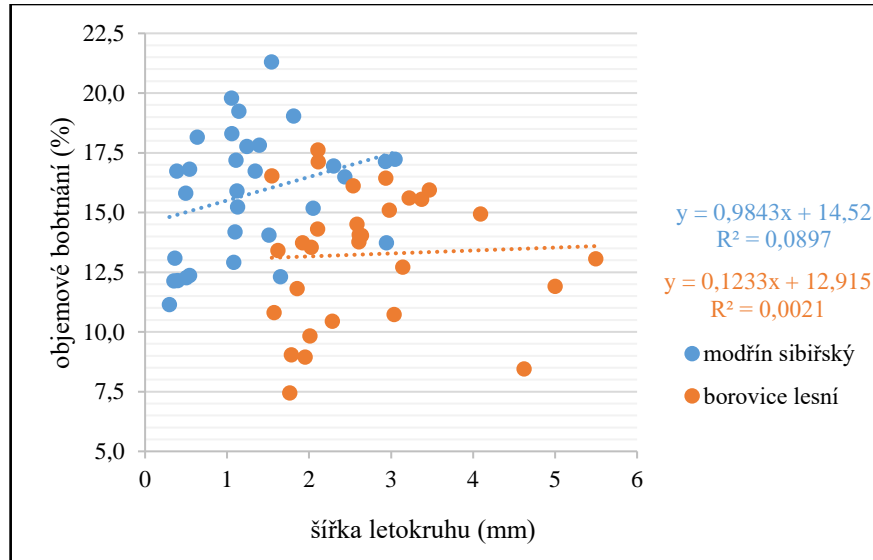
Tab. 18. Dvouvýběrový F–test pro rozptyl, dvouvýběrový T–test s rovností rozptylů

Závislost objemového bobtnání na hustotě dřeva při 0 % vlhkosti u borovice lesní a modřínu sibiřského vidíme na grafu 4. U borovice lesní nebyla prokázána žádná závislost vzhledem k zanedbatelnému koeficientu determinace. U modřínu sibiřského se s rostoucí hustotou zvyšovalo i objemové bobtnání. Koeficient determinace u modřínu sibiřského byl 0,35.



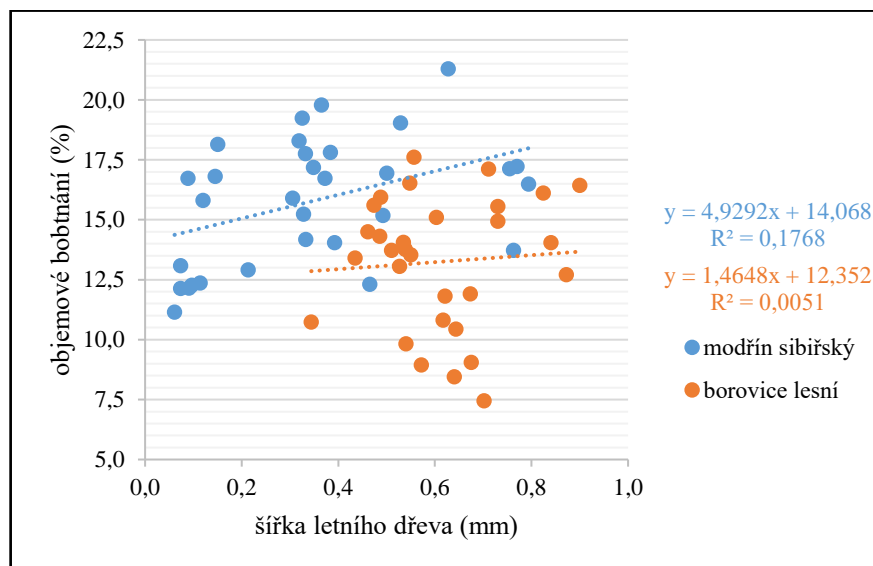
Graf 4. Závislost objemového bobtnání na hustotě dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského

Graf 5. zobrazuje závislost objemového bobtnání na šířce letokruhů u borovice lesní a modřínu sibiřského. Z grafu vzhledem k malým koeficientům determinace nelze určit závislost obou veličin na sobě.



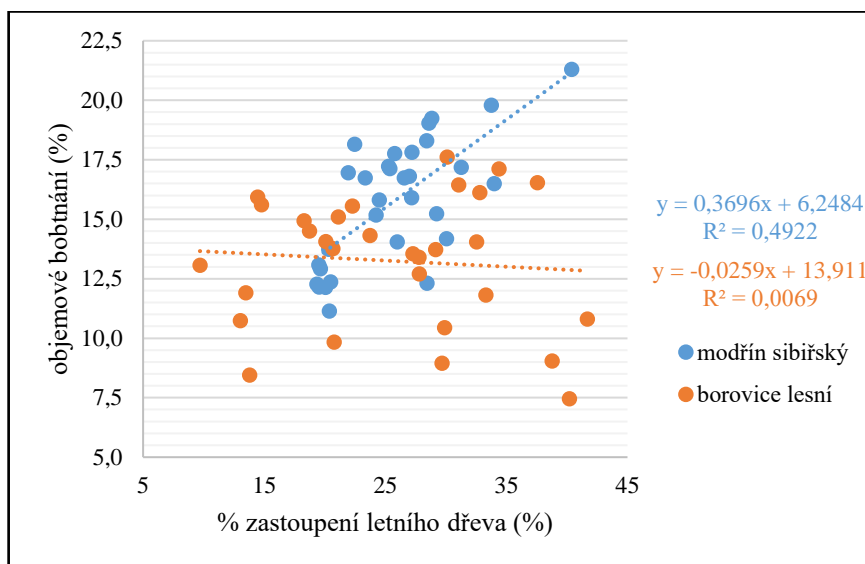
Graf 5. Závislost objemového bobtnání na šířce letokruhu u borovice lesní a modřínu sibiřského

Graf 6. zobrazuje závislost objemového bobtnání na šířce letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského. U borovice lesní opět nelze stanovit žádnou závislost vzhledem k malému koeficientu determinace, u modřínu sibiřského je koeficient determinace 0,1768 lze se tedy domnívat, že u modřínu sibiřského půjde o rostoucí trend, což také potvrzuje proložená přímka.



Graf 6. Závislost objemového bobtnání na šířce letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského

Závislost objemového bobtnání na % zastoupení letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského vidíme na grafu 7. Z grafu je patrné, že u modřínu sibiřského s rostoucím % zastoupením letního dřeva poroste také objemové bobtnání. U borovice lesní vzhledem k nízkému koeficientu determinace nelze stanovit závislost obou veličin na sobě.



Graf 7. Závislost objemového bobtnání na % zastoupení letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského

Dále byly zjišťovány koeficienty bobtnání. U borovice lesní byl zjištěn objemový koeficient bobtnání 0,52 %/1%, a u modřínu sibiřského 0,59 %/1%. Podrobné hodnoty pro různé směry zobrazuje tab. 19. Variační koeficienty u borovice lesní jsou ve všech případech nad 35 %, což značí velkou variabilitu u jednotlivých vzorků. U modřínu sibiřského jsou variační koeficienty ve srovnání s borovicí menší, kromě variačního koeficientu v podélném směru, který je 94,04 %. Ve všech případech šlo o velmi malé hodnoty rozptylu, což značí malé extrémní hodnoty v jednotlivých vzorcích. Co se týká odchylky aritmetického průměru a mediánu u borovice lesní i modřínu sibiřského lze konstatovat, že jsou odchylky minimální.

Druh dřeva	borovice lesní				modřín sibiřský			
Jednotka (%/1%)	$K\alpha_L$	$K\alpha_R$	$K\alpha_T$	$K\alpha_V$	$K\alpha_L$	$K\alpha_R$	$K\alpha_T$	$K\alpha_V$
N (Ks)	30	30	30	30	33	33	33	33
Arit. průměr (%/1%)	0,02	0,17	0,34	0,52	0,02	0,18	0,40	0,59
Směr. odchylka (%/1%)	0,01	0,08	0,12	0,19	0,02	0,05	0,07	0,11
Var. koeficient (%/1%)	57,22	49,95	35,32	35,56	94,04	27,10	17,73	17,99
Rozptyl	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01
Median (%/1%)	0,02	0,16	0,33	0,53	0,01	0,17	0,40	0,60
Max. (%/1%)	0,04	0,53	0,77	1,32	0,07	0,30	0,50	0,78
Min. (%/1%)	0,00	0,05	0,16	0,24	0,00	0,11	0,27	0,39

Tab. 19. Koeficienty bobtnání v podélném, radiálním, tangenciálním směru a koeficient objemového bobtnání u borovice lesní a modřínu sibiřského

Testování objemového koeficientu bobtnání u borovice lesní a modřínu sibiřského zobrazuje tab. 20. Pomocí f–testu nebyla zjištěna rovnost rozptylů u obou druhů dřev. K testování nulové hypotézy o rovnosti středních hodnot u objemového koeficientu bobtnání mezi oběma druhy dřev byl tedy použit t–test s nerovností rozptylů. T–test nulovou hypotézu nezamítl, neexistuje tedy statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami objemových koeficientů bobtnání u borovice lesní a modřínu sibiřského.

F–test			T–test s nerovností rozptylů		
	BO.	MD. SIB.		BO.	MD. SIB.
Stř. hodnota	0,522987362	0,588429669	Stř. hodnota	0,522987362	0,588429669
Rozptyl	0,035773129	0,011550605	Rozptyl	0,035773129	0,011550605
Pozorování	30	33	Pozorování	30	33
Rozdíl	29	32	rozdíl stř. hod.	0	
F	3,097078512		Rozdíl	45	
P(F<=f) (1)	0,001150237		t Stat	-1,666296221	
F krit (1)	1,823251944		P(T<=t) (1)	0,051300688	
			t krit (1)	1,679427393	
			P(T<=t) (2)	0,102601376	
			t krit (2)	2,014103389	

Tab. 20. Dvouvýběrový F–test pro rozptyl, dvouvýběrový T–test s nerovností rozptylů

Diferenciální bobtnání u borovice lesní a modřínu sibiřského nám zobrazuje tab. 21. U borovice lesní je průměrná hodnota diferenciálního bobtnání 2,28 % a u modřínu sibiřského 2,33 %. Variační koeficient u borovice lesní je téměř 2krát větší než u modřínu sibiřského. Rozdíly v hodnotách aritmetického průměru a mediánu jsou zanedbatelné.



U borovice lesní je zajímavá maximální hodnota u jednotlivého vzorku, která činí téměř 5,87 %. U modřínu sibiřského je maximální hodnota u jednotlivého vzorku 3,30 %.

diferenciální bobtnání (%)		
Druh dřeva	borovice lesní	modřín sibiřský
N (Ks)	30	33
Arit. průměr (%)	2,28	2,33
Směr. odchylka (%)	0,91	0,46
Var. koeficient (%)	39,86	19,62
Rozptyl	0,82	0,21
Median (%)	2,21	2,34
Max. (%)	5,87	3,30
Min. (%)	1,03	1,44

Tab. 21. Diferenciální bobtnání u borovice lesní a modřínu sibiřského

### 5.3.1 Mez hygroskopicity a maximální vlhkost dřeva

Mez hygroskopicity a maximální vlhkost u borovice lesní a modřínu sibiřského nám zobrazuje tab. 22. Mez hygroskopicity u borovice lesní je 26,67 % a u modřínu sibiřského 27,10 %. Maximální vlhkost u borovice lesní je 170 % a u modřínu sibiřského pouze 125,9 %. U borovice lesní je maximální hodnota mez hygroskopicity u jednotlivého vzorku téměř 35 %, proto je také hodnota rozptylu u borovice lesní téměř 4krát vyšší než u modřínu sibiřského.

Druh dřeva	borovice lesní		modřín sibiřský	
	MH (%)	W <sub>MAX</sub> (%)	MH (%)	W <sub>MAX</sub> (%)
N (Ks)	30	30	33	34
Arit. průměr (%)	26,67	170,00	27,10	125,90
Směr. odchylka (%)	3,56	30,39	1,58	20,00
Var. koeficient (%)	13,37	17,88	5,82	15,89
Rozptyl	12,71	923,50	2,56	400,19
Median (%)	27,25	177,64	27,39	122,21
Max. (%)	34,83	222,10	30,50	181,41
Min. (%)	13,39	113,72	23,44	89,69

Tab. 22. Mez hygroskopicity a maximální vlhkost u borovice lesní a modřínu sibiřského

Statistické vyhodnocení meze hygroskopicity pomocí f–testu nám zobrazuje tab. 23. Pomocí f–testu nebyla zjištěna rovnost rozptylů mezi oběma druhy dřev. K testování nulové hypotézy o rovnosti středních hodnot mezi dřevem modřínu sibiřského a borovice lesní byl tedy použit t–test s nerovností rozptylů. T–test nulovou hypotézu nezamítl, neexistuje tedy statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy dřev.

F–test			T–test s nerovností rozptylů		
	BO.	MD. SIB.		BO.	MD. SIB.
Stř. hodnota	26,67138249	27,09384748	Stř. hodnota	26,67138249	27,09384748
Rozptyl	13,14719629	2,562381113	Rozptyl	13,14719629	2,562381113
Pozorování	30	34	Pozorování	30	34
Rozdíl	29	33	rozdíl stř. hod.	0	
F	5,130851232		Rozdíl	39	
P(F<=f) (1)	6,38086E-06		t Stat	-0,589490101	
F krit (1)	1,812296314		P(T<=t) (1)	0,279466147	
			t krit (1)	1,684875122	
			P(T<=t) (2)	0,558932295	
			t krit (2)	2,02269092	

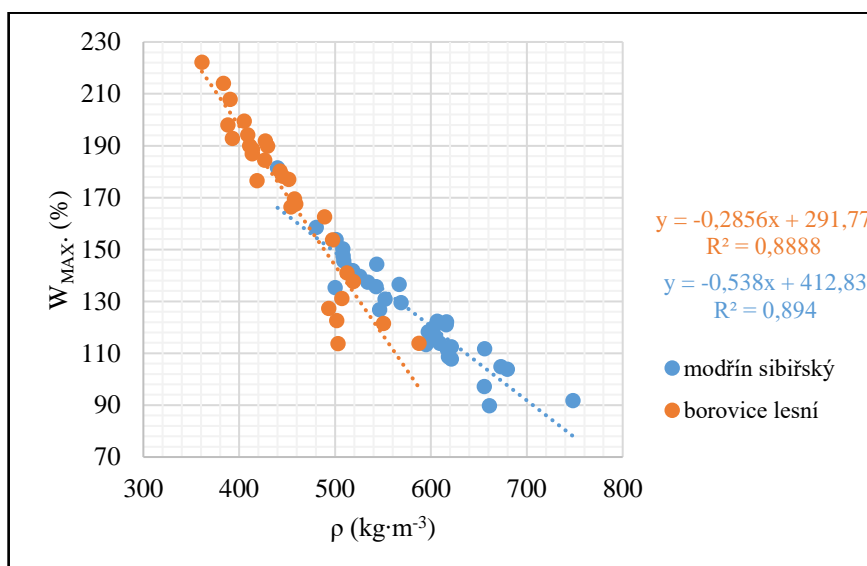
Tab. 23. Dvouvýběrový F–test pro rozptyl, dvouvýběrový T–test s nerovností rozptylů

Testování maximální vlhkosti u borovice lesní a modřínu sibiřského zobrazuje tab. 24. Pomocí f–testu nebyla zjištěna rovnost rozptylů u obou druhů dřev. K testování nulové hypotézy o rovnosti středních hodnot u maximální vlhkosti mezi modřínem sibiřským a borovicí lesní byl použit t–test s nerovností rozptylů. T–test nulovou hypotézu zamítl, existuje tedy statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami u obou druhů dřev.

F–test			T–test s nerovností rozptylů		
	BO.	MD. SIB.		BO.	MD. SIB.
Stř. hodnota	169,9992427	125,8982468	Stř. hodnota	169,9992427	125,8982468
Rozptyl	955,342928	412,3148605	Rozptyl	955,342928	412,3148605
Pozorování	30	34	Pozorování	30	34
Rozdíl	29	33	rozdíl stř. hod.	0	
F	2,317022789		Rozdíl	49	
P(F<=f) (1)	0,010418362		t Stat	6,650616539	
F krit (1)	1,812296314		P(T<=t) (1)	1,15382E-08	
			t krit (1)	1,676550893	
			P(T<=t) (2)	2,30763E-08	
			t krit (2)	2,009575237	

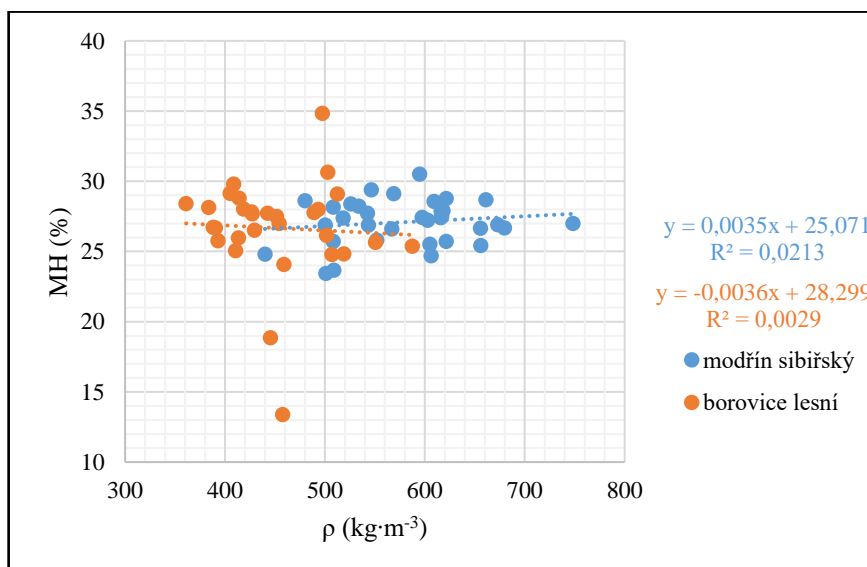
Tab. 24. Dvouvýběrový F–test pro rozptyl, dvouvýběrový T–test s nerovností rozptylů

Závislost maximální vlhkosti na hustotě dřeva při 0 % vlhkosti u borovice lesní a modřínu sibiřského vidíme na grafu 8. Koeficienty determinace u obou dřev se blíží hodnotě 0,9, což značí že mezi oběma veličinami je silná závislost. Z grafu je patrné, že čím má dřevo větší hustotu, tím menší má maximální vlhkost.



Graf 8. Závislost maximální vlhkosti na hustotě dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského

Graf 9. zobrazuje závislost meze hygroskopicity na hustotě dřeva při 0 % vlhkosti u borovice lesní a modřínu sibiřského. Vzhledem k velmi malým koeficientům determinace nelze určit závislost obou veličin na sobě. U borovice lesní si lze všimnout většího množství extrémních hodnot než u modřínu sibiřského.



Graf 9. Závislost MH na hustotě dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského

## 5.4 Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken a modul pružnosti

Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken a modul pružnosti v tlaku ve směru vláken u borovice lesní a modřínu sibiřského nám udává tab. 25. Průměrná hodnota meze pevnosti v tlaku u borovice lesní činí 44,61 MPa, u modřínu sibiřského 56,33 MPa. U obou hodnot se variační koeficienty pohybují do 20 %, což ukazuje o malé variabilitě souboru. Modul pružnosti u borovice lesní činí 12 903 MPa a u modřínu sibiřského 18 227 MPa. U těchto hodnot se variační koeficient pohybuje naopak nad 20 %, což nám ukazuje větší variabilitu než u hodnot mezí pevnosti v tlaku ve směru vláken. U modulů pružnosti dochází k obrovským hodnotám rozptylů, což je dáno velkými rozmezím naměřených modulů pružnosti u jednotlivých vzorků. Odchylka mezi aritmetickým průměrem a mediánem je u všech zjištěných hodnot zanedbatelná.

Druh dřeva	borovice lesní		modřín sibiřský	
	$\sigma_P$ (MPa)	E (MPa)	$\sigma_P$ (MPa)	E (MPa)
N (Ks)	30	30	32	32
Arit. průměr (MPa)	44,61	12903	56,33	18227
Směr. odchylka (MPa)	5,91	4280	9,41	4461
Var. koeficient (%)	13,26	33,17	16,71	24,48
Rozptyl	34,98	18322048	88,53	19903968
Median (MPa)	44,91	12403	56,83	18184
Max. (MPa)	55,66	22661	79,29	28229
Min. (MPa)	32,63	4958	36,89	6068

Tab. 25. Mez pevnosti v tlaku a modul pružnosti u borovice lesní a modřínu sibiřského

Testování meze pevnosti v tlaku u borovice lesní a modřínu sibiřského zobrazuje tab. 26. Pomocí f–testu nebyla zjištěna rovnost rozptylů u obou druhů dřev. K testování nulové hypotézy o rovnosti středních hodnot u meze pevnosti v tlaku mezi modřínem sibiřským a borovicí lesní byl tedy použit t–test s nerovností rozptylů. T–test nulovou hypotézu zamítl, existuje tedy statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami meze pevnosti v tlaku u borovice lesní a modřínu sibiřského.

F–test			T–test s nerovností rozptylů		
	MD. SIB.	BO.		MD. SIB.	BO.
Stř. hodnota	56,325275	44,60712	Stř. hodnota	56,325275	44,60712
Rozptyl	91,3883059	36,18174726	Rozptyl	91,3883059	36,18174726
Pozorování	32	30	Pozorování	32	30
Rozdíl	31	29	rozdíl stř. hod.	0	
F	2,525812401		Rozdíl	53	
P(F<=f) (1)	0,007016903		t Stat	5,814231725	
F krit (1)	1,848151714		P(T<=t) (1)	1,78531E-07	
			t krit (1)	1,674116237	
			P(T<=t) (2)	3,57061E-07	
			t krit (2)	2,005745995	

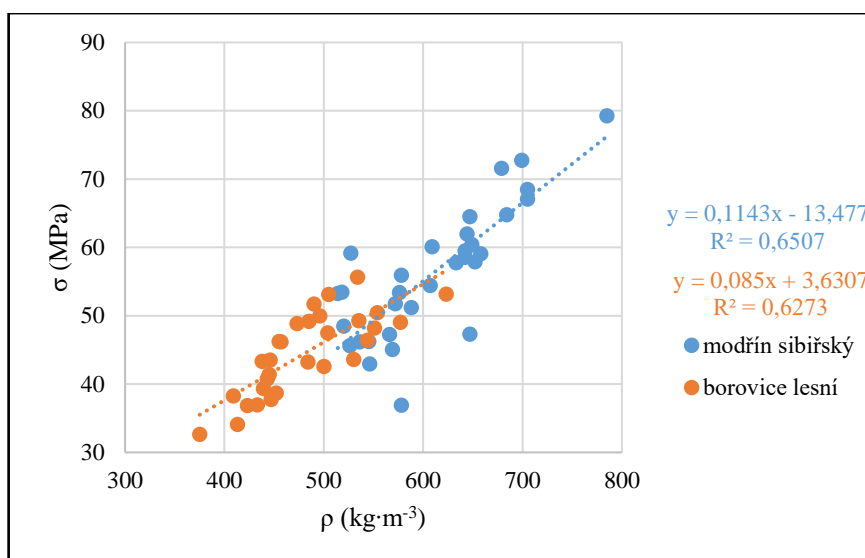
Tab. 26. Dvouvýběrový F–test pro rozptyl, dvouvýběrový T–test s nerovností rozptylů

Tab. 27. zobrazuje testování modulu pružnosti u borovice lesní a modřínu sibiřského. Pomocí f–testu byla prokázána rovnost rozptylů u obou druhů dřev. K testování nulové hypotézy o rovnosti středních hodnot u modulu pružnosti mezi dřevem modřínu sibiřského a borovice lesní byl použit t–test s rovností rozptylů. T–test nulovou hypotézu zamítl, existuje tedy statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami modulu pružnosti u obou druhů dřev.

F–test			T–test s rovností rozptylů		
	MD. SIB.	BO.		MD. SIB.	BO.
Stř. hodnota	18226,7295	12902,93984	Stř. hodnota	18226,7295	12902,93984
Rozptyl	20546031,73	18953842,54	Rozptyl	20546031,73	18953842,54
Pozorování	32	30	Pozorování	32	30
Rozdíl	31	29	Společ. rozptyl	19776473,62	
F	1,084003505		rozdíl stř. hod.	0	
P(F<=f) (1)	0,414985727		Rozdíl	60	
F krit (1)	1,848151714		t Stat	4,710708524	
			P(T<=t) (1)	7,53232E-06	
			t krit (1)	1,670648865	
			P(T<=t) (2)	1,50646E-05	
			t krit (2)	2,000297822	

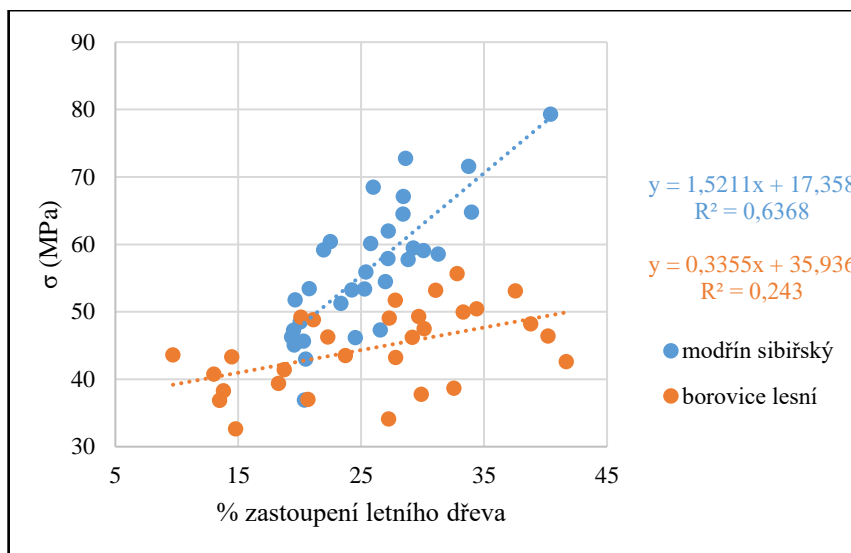
Tab. 27. Dvouvýběrový F–test pro rozptyl, dvouvýběrový T–test s rovností rozptylů

Na grafu 10. vidíme závislost meze pevnosti v tlaku ve směru vláken na hustotě dřeva při vlhkosti 12 % u borovice lesní a modřínu sibiřského. Z grafu lze konstatovat, že u obou druhů dřev s rostoucí hustotou roste i mez pevnosti v tlaku. Hodnoty koeficientu determinace u obou druhů dřev se ohybují okolo hodnoty 0,6 což vypovídá o střední závislosti jednotlivých veličin na sobě. Z grafu lze stanovit, že pokud se zvýší hustota dřeva o  $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , vzroste mez pevnosti v tlaku ve směru vláken zhruba o 10 MPa.



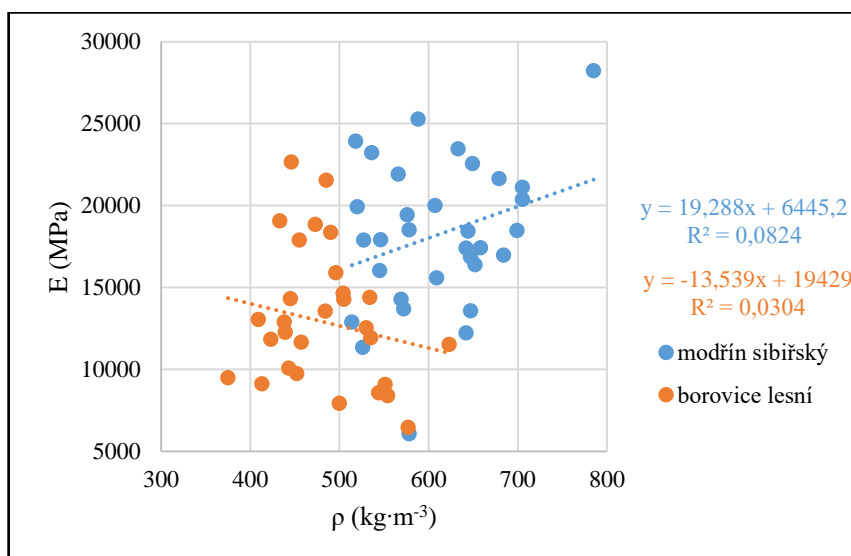
**Graf 10. Závislost meze pevnosti v tlaku na hustotě dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského**

Závislost meze pevnosti v tlaku ve směru vláken na % zastoupení letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského vidíme na grafu 11. Z grafu 11. lze konstatovat, že čím větší je % zastoupení letního dřeva, tím větší je mez pevnosti v tlaku ve směru vláken. U dřeva borovice lesní jde o menší nárůst s koeficientem determinace 0,24, naopak u dřeva modřínu sibiřského je tato závislost větší s koeficientem determinace 0,63.



**Graf 11. Závislost meze pevnosti v tlaku na % zastoupení letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského**

Graf 12. zobrazuje závislost modulu pružnosti v tlaku ve směru vláken na hustotě dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského. Z grafu nelze určit závislost obou veličin na sobě, vzhledem k velmi malým koeficientům determinace jak u borovice lesní, tak u modřínu sibiřského.



**Graf 12. Závislost modulu pružnosti na hustotě dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského**

## 6 Diskuze

### 6.1 Letokruhová analýza

Vzhledem k tomu, že anatomická stavba dřeva výrazně ovlivňuje vlastnosti dřeva, byla provedena letokruhová analýza u dřeva borovice lesní a modřínu sibiřského. Průměrná hodnota šířky letokruhů u borovice lesní byla 2,70 mm. Iijima (1983) uvádí, že průměrná hodnota šířky letokruhů pro modřínové dřevo dovážené z Ruské federace je 2,1 mm. Naše naměřená hodnota pro modřín sibiřský byla 1,28 mm. Odlišnost v šířce letokruhů u našeho měření a literatury mohla být dána tím, že získané vzorky měly malou variabilitu v šířkách letokruhů, proto mohla být tato hodnota zkreslená. Vysvětlení, proč mělo dřevo borovice téměř 2krát větší šířku letokruhů než dřevo modřínu sibiřského, můžeme hledat u Šlezingerové a Gandelové (2002) a Požgaje et al. (1997), kteří říkají, že růst buněk ovlivňují především klimatické faktory (teplota, srážky) a také krátké vegetační období. Proto se lze domnívat, že dřevo ze Sibíře bude mít menší přírůst buněk vzhledem k nepříznivým klimatickým podmínkám, které na Sibíři panují. Za další faktor, který ovlivňuje šířku letokruhů lze považovat variabilitu šířek letokruhů po výšce a poloměru kmene. S rostoucí výškou stromu se průměrná šířka letokruhů u jehličnanů zvyšuje. Proto se lze domnívat, že vzorky dřeva borovice lesní byly odebrány z vyšší části stromu. U rozložení šířek letokruhů od středu k obvodu kmene platí, že od středu směrem k obvodu stromu se šířka letokruhů zvyšuje (Šlezingerová a Gandelová 2002). Jako poslední faktor v odlišnosti šířek letokruhů u dřeva borovice lesní a modřínu sibiřského lze zmínit přítomnost juvenilního dřeva. Juvenilní dřevo se objevuje obvykle v prvních 5 až 20 letokruzích. Obecně se udává, že juvenilní dřevo má oproti dřevu zralému širší letokruhy a nižší podíl letního dřeva. Co se týká průměrné šířky letního dřeva u borovice lesní, byla zjištěna hodnota 0,61 mm a u modřínu sibiřského 0,35 mm. Vysvětlení menšího zastoupení letního dřeva u modřínu sibiřského můžeme najít opět u Šlezingerové a Gandelové (2002), které říkají, že stavbu buněčné stěny ovlivňuje především teplota. Z tohoto pohledu Sibír patří k nejchladnějším oblastem v Rusku, kde i průměrná teplota v červenci nepřesahuje 16 °C. Proto se lze domnívat, že dřevo sibiřského modřínu bude mít tenčí buněčnou stěnu letních tracheid, tudíž i výsledná šířka letního dřeva bude nižší. Co se týká % zastoupení letního dřeva, obecně se udává, že průměrné zastoupení letního dřeva u jehličnatých dřevin je 30 %. U borovice lesní i modřínu sibiřského byla zjištěná



hodnota % zastoupení letního dřeva 26 %. Malou odchylku můžeme přisoudit opět menší variabilitě u měřených vzorků, nebo přítomností juvenilního dřeva u měřených vzorků.

## 6.2 Hustota dřeva

Hustota dřeva patří ke klíčovým parametrům při určování kvality dřeva. Toto tvrzení potvrzuje i Stamm (1964), který konstatuje, že obecně je hustota hlavním kvalitativním měřítkem dřeva. U borovice lesní byla průměrná hodnota hustoty při vlhkosti 0 % zjištěna na  $451,37 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a u vlhkosti 12 % na  $482 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Literární zdroje uvádějí hodnoty vyšší [při 0 % vlhkosti Šlezingerová a Gandelová (2002) uvádí  $505 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , Požgaj et al. (1997) uvádí  $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , Roubal (2009) uvádí  $510 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a při 12 % vlhkosti Gryc et al. (2011) uvádí  $552 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  pro vyzrálé dřevo a Šlezingerová a Gandelová (2002) uvádějí  $535 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]. Naše naměřená hustota se liší od literatury zřejmě proto, že naše vzorky borovice neměly pokrytou celou škálu hustot, ve které se dřevo borovice vyskytuje, nebo byly vzorky převážně z juvenilního dřeva, které má proti dřevu zralému daleko nižší hustotu, z důvodu širokých letokruhů. U modřínu sibiřského byla průměrná hodnota hustoty při vlhkosti 0 % stanovena na  $580,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a u vlhkosti 12 % na  $611 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Hustota sibiřského modřínu při 12 % podle Sairanena (1982) je v rozmezí 490–560  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Naše zjištěná hustota se nenachází v tomto rozmezí, ale o rok později zjistil Iijima (1983) hustotu sibiřského modřínu  $610 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , se kterou se naše zjištěná hustota již téměř ztotožňuje. Důvod, proč je hustota sibiřského modřínu větší, než u borovice lesní vysvětluje například Côté et al. (1989), který uvádí, že zvýšená hustota jádrového dřeva u modřínu sibiřského může být dána větším zastoupením extraktivních látek (zejména arabinogalaktanů). Megrav (1985) uvádí, že množství arabinogalaktanů u sibiřského modřínu může být až 20 %. Dalším důvodem zřejmě budou také nepříznivé klimatické podmínky, které zpomalují růst dřevních buněk u letního dřeva a dřevo sibiřského modřínu tak roste pomaleji. Větší hustota sibiřského modřínu může být dána také poměrem zastoupení jádra a bělí. Zatímco Björklund (1999) uvádí, že podíl mezi jádrem a bělí není u borovice lesní více jak 40 %, tak Hakkila a Winter (1973) uvádějí, že podíl jádrového dřeva sibiřského modřínu ve věku 50 let je zhruba 50 % a u stromu ve věku 160 let až 85 % jádrového dřeva. Z toho vyplývá, že hustota u modřínu sibiřského bude větší než u borovice lesní. Pro srovnání s našimi nejběžnějšími dřevinami Požgaj et al. (1997) uvádí hodnotu hustoty v absolutně suchém stavu pro dřevo smrku  $370 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,

Pro dřevo buku  $680 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a pro dřevo modřínu opadavého  $550 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Lze konstatovat, že hustota modřínu sibiřského při vlhkosti 0 %, má zhruba o  $30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  větší hustotu než dřevo našeho modřínu opadavého. Závislost šířek letokruhů na hustotě dřeva nám zobrazuje graf 1. U modřínu sibiřského vzhledem k téměř nulovému koeficientu determinace nelze potvrdit závislost obou veličin na sobě. U borovice lesní je koeficient determinace také malý, ale po proložení přímkou se lze domnívat, že závislost bude klesající. To nám potvrzuje výrok Gryce et al. (2001), kteří na obrázku 3. uvádí, že s rostoucí šířkou letokruhů u jehličnatých dřevin se hustota dřeva snižuje. Důvodem nízkých závislostí u obou druhů dřev zřejmě mohl být malý počet vzorků, které jsme měřili a také malý rozptyl v jednotlivých šířkách letokruhů u daných vzorků. Pokles hustoty s přibývajícím šířkou letokruhů u jehličnanů je dán snižujícím se podílem letního dřeva u jehličnatých dřev (Požgaj et al. 1997). Toto tvrzení si lze vysvětlit menší tloušťkou buněčných stěn jarních tracheid, které mají převážně vodivou funkci oproti tracheidám letním, které mají mechanickou funkci. Závislost hustoty na šířce letního dřeva ukazuje graf 2. U obou druhů dřev vidíme nízký koeficient determinace kolem 0,1. Po proložení přímkou vidíme, že s rostoucí šířkou letního dřeva roste také hustota dřeva. Tento fakt potvrzuje Požgaj et al. (1997), který uvádí, že letní dřevo je výrazně tvrdší a má dva až 3krát větší hustotu než jarní dřevo. Tracheidy letního dřeva mají z důvodu mechanické funkce ve dřevě větší tloušťku buněčných stěn. Co se týká závislosti hustoty na % zastoupení letního dřeva, tak Gryc et al. (2011) uvádí na obrázku 4., že s rostoucím % zastoupením letního dřeva roste i hustota u jehličnanů. Tato skutečnost je dána tím, že letní dřevo má větší hustotu než dřevo jarní. Graf 3. nám tuto skutečnost potvrzuje, přičemž vidíme, že u modřínu sibiřského jde o prudší nárůst než u borovice lesní. Co se týká praktického využití zjištěných hodnot, mohou být prospěšné například pro zhotovitele dřevěných fasád, kde rozdílné hodnoty hustoty mezi modřínem sibiřským a borovicí lesní předurčují různou pevnost kotvících prostředků pro jednotlivé druhy dřev.

### 6.3 Bobtnání dřeva

Bobtnání negativně ovlivňuje použití dřeva v dřevěných konstrukcích. Zjištěné hodnoty bobtnání u borovice lesní byly následující: radiální 4,19 %, tangenciální 8,72 %, objemové 13,45 %, a podélné bobtnání 0,54 %. Všechny hodnoty se ztotožňují i s hodnotami od Wagenführa (2000), kromě podélného bobtnání. U Wagenführa (2000) je hodnota podélného bobtnání od 0,2–0,4 %. Možnou odchylku lze odůvodnit tím, že u

měřeného podélného bobtnání byla hodnota variačního koeficientu 60 %, tudíž hovoříme o velmi vysoké variabilitě souboru podélného bobtnání. Zjištěné hodnoty bobtnání u modřínu sibiřského byly následující: radiální 4,82 %, tangenciální 10,74 %, objemové 16 %. Sairanen (1982) udává pro sibiřský modřín tyto hodnoty: radiální 6 %, tangenciální 11,7 % a objemové 18,3 %. Z uvedených hodnot lze konstatovat, že zjištěné hodnoty byly u všech druhů bobtnání nižší. Nutno podotknout, že odchylka mohla být způsobená malým počtem měřených vzorků modřínu sibiřského. Pro úplnost byla stanovena také hodnota podélného bobtnání 0,44 %, kterou ale nebylo možno srovnat s literaturou, protože informace o podélném bobtnání u modřínu sibiřského nebyly nalezeny. Vzhledem k tomu, že variační koeficient byl téměř 100 %, nelze brát tuto hodnotu za průkaznou. Pokud srovnáme bobtnání mezi borovicí lesní a modřínem sibiřským, můžeme říci, že platí závislost čím větší hustota, tím větší bobtnání. Vysvětlení nám poskytuje Horáček (1998), který udává, že ovlivnění hustotou dřeva souvisí s větším zastoupením chemických konstituent v jednotkovém objemu hustšího dřeva, tedy s vyšším počtem potencionálních sorpčních míst v tlustších buněčných stěnách elementů dřeva. Toto tvrzení se potvrdilo u modřínu sibiřského v grafu 4. U borovice lesní nebyla nalezena žádná závislost, zřejmě z důvodu malého počtu a rozptylu měřených vzorků. Závislost bobtnání na šířce letního dřeva a % zastoupení dřeva je uvedena na grafech 6., 7. Opět u sibiřského modřínu lze potvrdit vzrůstající závislost, která je daná větší hustotou letního dřeva. U borovice opět vzhledem k malým koeficientům determinace nelze stanovit závislost obou veličin na sobě. Tab.18. zobrazuje koeficienty bobtnání. U borovice lesní byl stanoven koeficient bobtnání v podélném směru 0,02 %/1%, v radiálním 0,17 %/1%, v tangenciálním 0,34 %/1% a koeficient objemový 0,52 %/1%. U modřínu sibiřského byly hodnoty koeficientů následující: podélný 0,02 %/1%, radiální 0,18 %/1%, tangenciální 0,40 %/1%, a objemový 0,59 %/1%. Nutno podotknout, že koeficienty mezi oběma druhy dřev jsou dost podobné. Pro srovnání Ugolev (1986) uvádí následující koeficienty bobtnání pro borovici lesní: radiální 0,18 %/1%, tangenciální 0,31 %/1%, objemové 0,51 %/1%. Lze konstatovat, že zjištěné hodnoty jsou totožné s hodnotami z literatury. U koeficientů bobtnání by měly platit stejné závislosti jako u bobtnání. Dále byla zjišťována maximální vlhkost dřeva. U borovice lesní byla průměrná hodnota 170 % a u modřínu sibiřského pouze 125,9 %. Pro srovnání s literaturou Ugolev (1986) uvádí maximální vlhkost pro borovici lesní 178 %. Pro porovnání závislosti maximální vlhkosti na hustotě byl sestaven graf 8., na kterém je možné konstatovat se spolehlivostí téměř 0,9, že existuje silná korelace mezi těmito veličinami u obou druhů

dřev. Byl tedy potvrzen výrok Tsoumise (1991), že se zvyšující se hustotou klesá maximální vlhkost. Jako poslední byla zjišťována MH. U borovice lesní byla hodnota 26,67 % a u modřínu sibiřského 27,10 %. Matovič (1993) dodává, že dřevo jehličnanů s nižším obsahem pryskyřice (borovice, modřín) má MH 26–28 %. Důvod, proč se liší MH modřínu sibiřského od borovice odůvodnit tím, že MH ovlivňuje především chemické složení dřeva, konkrétně u dřeva borovice je to například vyšší obsah pryskyřice. Pro ujasnění závislosti byl proveden graf závislosti MH na hustotě dřeva, který žádnou závislost nestanovil. Lze se tedy domnívat, že hustota dřeva MH neovlivňuje. Co se týká praktického využití, zjištěné hodnoty mohou být prospěšné například pro konstrukce dřevěných fasád, nebo dřevěných teras, kde rozdílné výsledky bobtnání udávají rozdílnou velikost mezery u fasádních, nebo terasových profilů mezi dřevem modřínu sibiřského a borovicí lesní.

## **6.4 Pevnost v tlaku ve směru vláken a modul pružnosti**

Pevnost v tlaku ve směru vláken patří k nejběžnějším mechanickým vlastnostem dřeva. S pevností v tlaku ve směru vláken se můžeme setkat například v rámových dřevostavbách u nosných sloupků, nebo u skeletových dřevostaveb. Požgaj et al. (1997) udává rozpětí pevnosti v tlaku ve směru vláken od 30 do 70 MPa pro naše hospodářsky využívaná dřeva. U dřeva borovice lesní byla zjištěna při vlhkosti 12 % průměrná hodnota meze pevnosti 44,61 MPa. Ugolev (1986) udává hodnotu meze pevnosti při 12 % vlhkosti 48,5 MPa a Grekin (2006) udává hodnotu 48 MPa. Lze tedy konstatovat, že zjištěná hodnota se téměř shoduje s literaturou, menší odchylky mohly být dány obecnou variabilitou dřeva, nebo že některé vzorky nebyly zcela speciálně ortotropní. Odklon vláken o 15° může totiž způsobit pokles pevnosti v tlaku až o 20 % (Matovič 1993). U dřeva modřínu sibiřského byla zjištěna při vlhkosti 12 % průměrná hodnota meze pevnosti 56,33 MPa. Koizumi et al. (2003) uvádí, že při porovnání mechanických vlastností mezi dřevem sibiřského modřínu a ostatními jehličnany vykazovalo dřevo sibiřského modřínu větší hustotu, tvrdost a také pevnost. Sairanen (1982) udává rozmezí meze pevnosti u sibiřského dřeva od 47 do 61 MPa. Zjištěná hodnota se tedy shoduje s tímto rozpětím. Rozdíl mezi pevností ve směru vláken u borovice lesní a modřínu sibiřského udává Požgaj et al. (1997), který konstatuje, že s rostoucí hustotou roste také mez pevnosti ve směru vláken. Graf 10. zobrazuje závislost

meze pevnosti v tlaku ve směru vláken na hustotě u obou druhů dřev. Z grafu je patrné, že s přibývajícím hustotou přibývá také mez pevnosti. Oba druhy dřev mají koeficienty determinace kolem 0,6, což značí dostačující závislost obou veličin. Z grafu lze zjistit, že pokud se zvýší hustota dřeva o  $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , zvýší se mez pevnosti v tlaku ve směru vláken téměř o 10 MPa u obou dřev. Závislost meze pevnosti v tlaku ve směru vláken na % zastoupení letního dřeva u obou dřev vidíme na grafu 11. Z grafu lze konstatovat, že s přibývajícím % zastoupením letního dřeva roste také mez pevnosti v tlaku. U modřínu sibiřského je tato závislost větší než u borovice lesní. S touto závislostí se ztotožňuje i Lexa (1952), který uvádí, že letní dřevo má převážně mechanickou funkci, proto procento jeho zastoupení zásadně ovlivňuje kvalitu a pevnost dřeva. Vyšší závislost u modřínu sibiřského lze vysvětlit tím, že dřevo borovice lesní mělo téměř 3krát větší rozptyl v % zastoupení letního dřeva než dřevo modřínu sibiřského. Co se týká zjištěných hodnot modulu pružnosti v tlaku ve směru vláken, tak u borovice lesní byla zjištěná hodnota 12 903 MPa. Vzhledem k tomu, že Požgaj et al. (1997) udává pro naše významné hospodářské dřeviny rozpětí modulu pružnosti od 7 000 do 15 000 MPa, lze konstatovat, že se shodujeme s literaturou. U modřínu sibiřského byla stanovena hodnota modulu pružnosti 18 227 MPa. Juvonen et al. (1986) například uvádí, že modul pružnosti u sibiřského dřeva je 12 700–13 100 MPa, už ale neuvádí, při jaké vlhkosti. Rozdíl mezi naměřenou hodnotou a literaturou lze odůvodnit tím, že v literatuře nebyla stanovena vlhkost, ke které se modul pružnosti vztahuje, nebo byla zřejmě použita jiná metoda měření modulu pružnosti (vzhledem ke staršímu datu se lze domnívat, že hodnota modulu pružnosti byla zjišťována z příčnicku). V grafu 12. se nám nepotvrdil výrok Požgaje et al. (1997) který konstatoval, že mezi hustotou a modulem pružnosti platí lineární vztah. Z grafu nebylo možno stanovit žádnou závislost, vzhledem k velmi malým koeficientům determinace u borovice lesní i modřínu sibiřského. Nízké koeficienty determinace si lze vysvětlit velkou variabilitou modulů pružnosti u jednotlivých vzorků a také malým počtem měřených vzorků.

## 7 Závěr

Důvodem této bakalářské práce bylo zjistit makroskopickou stavbu a srovnat vybrané vlastnosti modřínu sibiřského (*Larix decidua* Ledeb.) a borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). Z letokruhové analýzy vyplynulo, že průměrná šířka letokruhů u borovice lesní byla zhruba 2krát větší než u modřínu sibiřského. Po provedení f–testu byla prokázána rovnost rozptylů u šířek letokruhů mezi oběma druhy dřev. Po následném provedení t–testu, byla shoda středních hodnot zamítnuta. Hustota dřeva u borovice lesní při 12 % vlhkosti byla  $482 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a u modřínu sibiřského  $611 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . U modřínu sibiřského se zjištěná hodnota shoduje s literaturou. Po provedení f–testu byla prokázána shoda rozptylů u hustoty mezi oběma druhy dřev a u t–testu byla shoda o středních hodnotách zamítnuta. Nebyla potvrzena závislost hustoty dřeva na průměrné šířce letokruhů, ale byla potvrzena rostoucí závislost hustoty dřeva na % zastoupení letního dřeva u borovice lesní a modřínu sibiřského. U borovice lesní byla zjištěna hodnota radiálního bobtnání 4,19 %, tangenciálního 8,72 % a objemového 13,45 %. Tyto hodnoty byly shodné s literaturou. U modřínu sibiřského byla zjištěna hodnota radiálního bobtnání 4,82 %, tangenciálního 10,74 % a objemového 16 %. Nutno podotknout, že literatura uvádí hodnoty mírně nižší. U objemového bobtnání byl proveden f–test, který potvrdil rovnost rozptylů mezi oběma druhy dřev. Stoupající závislost objemového bobtnání na hustotě dřeva byla potvrzena pomocí grafu u modřínu sibiřského, nikoli u borovice lesní. Dále byly v této bakalářské práci zjišťovány koeficienty bobtnání u obou druhů dřev, které jsou uvedeny v kapitole výsledky. Dále byla potvrzena klesající závislost maximální vlhkosti na hustotě dřeva. Pro oba druhy dřev vyšel velký koeficient determinace, téměř 0,9. U borovice lesní byla hodnota maximální vlhkosti 170 % a u modřínu sibiřského pouze 125 %. Průměrná mez hygroskopicity jak u borovice lesní, tak u modřínu sibiřského byla zhruba 27 %. Po provedení f–testu pro meze hygroskopicity byla rovnost rozptylů zamítnuta, byl tedy proveden t–test s nerovností rozptylů, který ovšem rovnost středních hodnot u borovice lesní a modřínu sibiřského nezamítl. Pro ujasnění závislostí byla provedena závislost meze hygroskopicity na hustotě dřeva, která žádnou závislost neprokázala. Jako poslední byly zjištěny veličiny mechanického namáhání dřeva. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12 % vlhkosti u borovice lesní byla 44,61 MPa a u modřínu sibiřského 56,33 MPa. Z grafu bylo zjištěno, že pokud se zvýší hustota dřeva o  $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , zvýší se mez pevnosti v tlaku ve směru vláken téměř o 10 MPa. Jako poslední byly zjištěny hodnoty modulů pružnosti u obou dřev, které jsou uvedeny v kapitole výsledky.

## 8 Summary

The aim of this bachelor thesis was to compare the structure and selected properties of the wood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.). The properties detected included tree-ring analysis, density, swelling, and compression strength parallel to the grain. Test specimens sized 20×20×30 mm were made for the measurement of these properties. After the tree-ring analysis, the average tree-ring width was established as 2.70 mm for the Scots pine; it was nearly twice lower in the Siberian larch - 1.28 mm. The obtained values of wood density at 12% moisture were 482 kg·m<sup>-3</sup> and 611 kg·m<sup>-3</sup> for the Scots pine and the Siberian larch, respectively. No dependence on the tree-ring width was demonstrated; however, we proved an increasing dependence on the percentage of latewood. The values of swelling of the Scots pine were the following: longitudinal 0.54%, radial 4.19%, tangential 8.72%, and volumetric 13.45%. The values of the Siberian larch were: longitudinal swelling 0.44%, radial 4.82%, tangential 10.74%, and volumetric 16.00%. We can notice that the total volumetric swelling is greater for Siberian larch, which is also confirmed by the dependence graph of volumetric swelling on the density. The last established property was the compression strength parallel to the grain - the resulting breaking strength for Scots pine was 44.61 MPa and for Siberian larch 56.33 MPa. It was found that with increasing density the compression strength parallel to the grain increased both in Scots pine and Siberian larch. Additionally, a growing dependence of the breaking strength on the latewood proportion was found in the Siberian larch. Accompanying properties were established during the individual tests as well. They were e.g. the maximum moisture content, fibre saturation point, or modulus of elasticity. All of these findings are published in the Results chapter. The conclusions of the values found and dependencies were not surprising and corresponded with literature to a high degree.

## 9 Literatura

BAJAJ, Y. P. S., 1991. *Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 16, Trees III*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 608 s. ISBN 978-3-642-08226-9

BALABÁN, K., 1995. *Anatomie dřeva, 1. část*. Státní zemědělské nakladatelství v Praze, Praha, 216 s.

BJÖRKLUND, L., 1999. *Identifying heartwood-rich stand systems of Pinus sylvestris by using inventory data*. Silva Fennica, 33. 119–129.

BUKŠTINOV, A. D., 1981. *Prirora mira. Lesa Izdatelstvo "Mysl"*. Moskva, 312 s.

CÔTÉ, W. A., DAY, A. C., SIMSON, B. W., TIMELL, T. E., 1989. *Studies on larch arabinogalactan (I)*. Holzforschung 20, 178–192.

ECKENWALDER, J. E., 2009. *Conifers of the World: The Complete Reference*. Timber Press, 720 s. ISBN 10-0881929743.

FARJON, A., 2010. *A handbook of the world's conifers*. Brill, 1111 s. ISBN 10-9004177183.

FARJON, A., 1990. *Pinaceae. Drawings and descriptions of the genera Abies, Cedrus, Pseudolarix, Keteleeria, Nothotsuga, Tsuga, Cathaya, Pseudotsuga, Larix and Picea*. Koeltz scientific books. Oberreifenberg, 330 s. ISSN 0080-0694.

GANDELOVÁ, L., ŠLEZINGEROVÁ, J., 2002. *Stavba dřeva*. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 187 s. ISBN 978-80-7375-966-7.

GINDL, W., 2002. *Comparing Mechanical Properties of Normal Compression Wood in Norway Spruce: The Role of Lignin in Compression Parallel to the Grain*. Holz and Roh und Werkstoff, 295–401.

GREKIN, M., 2006. *Nordic Scots Pine vs. selected competing species and non-wood substitute materials in mechanical wood products*. Literature survey. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 36. 1–66.



GRYC, V., VAVRČIK, H., HORN, K., 2011. *Density of juvenile and mature wood of selected coniferous species*. Journal of forest science. 57, 123–130.

HAKKILA, P., WINTER, A., 1973. *On the properties of larch wood in Finland*. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 79. Helsinki, 44 s. ISBN 951-40-0085-4.

HORÁČEK, P., 2008. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 124 s. ISBN 978-80-7375-169-2.

HAYGREEN, J. G., BOWYER, J. L., 1996. *Forest products and wood science: An introduction*. Iowa State University Press, Ames, USA, 539 s. ISBN 10–0813820367.

CHAURET, G., ZHANG, T., 2002. *Wood Characteristics and End-Use Potential of Two Fast-Growing Exotic Larch Species (Larix gmelinii and Larix sibirica) Grown in Ontario*, Forintek Canada. Eastern Division, Quebec.

IJIMA, Y., 1983. *The mechanical properties of the Siberian larch wood*. Bulletin Toyama Wood Products Research Institute No.1, 1–39.

JUVONEN, R., SIPI, M., KOTILAHTY, T., LAHTI, J., 1986. *Lehtikuusen tuotanto- ja käyttöominaisuudet mekaanisessa metsäteollisuudessa. Esikokeita lehtikuusen soveltuvuudesta sahatavaran valmistukseen ja jatkojalostukseen*. Helsinki University of Technology, Department of Forest Products. Laboratory of Mechanical Wood Technology, Otaniemi, 42 s. ISBN 951-753989-4.

KARLMAN, L., MÖRLING, T., MARTINSSON, O., 2005. *Wood Density, Annual Ring Width and Latewood Content in Larch and Scot Pine*. European Journal Forest Research 8. Umeå, 91–96.

KOIZUMI, A., TAKATA, K., YAMASHITA, K., NAKADA, R., 2003. *Anatomical characteristics and mechanical properties of Larix sibirica grown in South Central Siberia*. IAWA Journal 24. 355–370.

KOLÁŘ, K., REITERMAN, P., 2012, *Stavební materiály pro SPŠ stavební*, Grada Publishing, a. s. Praha 7, 208 s. ISBN 978-80-247-4070-6.

KOLLMANN, F., 1951. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer Verlag. 1050 s. ISBN 978-3-642-52947-4.

KOROPACHINSKIY, I. Y., VSTOVSKAYA T. N., 2002. *Woody plants of the Asian part of Russia*. Novosibirsk. Publishing House of SB RAS. Branch, 707 s.

KRAUK, E.V., KOVRIGIN, G. S., KULIKOVA, N. S., 1998. *Peculiarities of microscopic structure of siberian larch wood (Larix sibirica)*. Abstracts Larix-98, 46-47.

LEXA, J., 1952. *Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva: Technologie dreva. I. sväzok*. Práca. Bratislava, 432 s.

MASON, W. L., ALIA, R., 2009. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 317 s. ISSN 1131-7965.

MATOVIČ, A., 1993. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. Učební text LDF VŠZ Brno, Brno, 212 s.

MEGRAW, R. A., 1985. *Wood Quality Factors in Loblolly Pine*. Tappi Press. Atlanta, Georgia, 88 s.

MUSIL, I., 2002. *Lesnická dendrologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 177 s. ISBN 80-213-0992-X.

NĚMEC J., JANDÁČEK V., HURDA B., 2005. *dřevo-historický lexikon*. Grada publishing, a.s. U průhonu 22, Praha, 78 s.

NIEMZ, P., GUZIK, M., LÜHMANN, A., 1993. *Einfluß von Strukturfehlern auf das Quell- und Schwindverhalten von Holz. Teil 1: Einfluß von Druckholz der Fichte*. *Holz-forschung und Holzverwertung*, 45, 36–37.

PELZ, S. K., HIRSCHNER, R., SCHMUTZ, I., 1999. *Key properties and quality of Larch (Larix sp.) concerning end-used requirements*. *Equipe de Recherches sur la Qualité des Bois*. INRA Nancy, 356–362.

PERSTORPER, M., JOHANSSON, M., KLIGER, R., JOHANSSON, G., 2001. *Disortion of Norway spruce timber. Part I. Variation of relevant wood properties*. *Holzals Roh- und Werkstoff*, 59, 94–103.

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydání. *Příroda a.s.* Bratislava, 485 s.

PRACIAK, A., PASIECZNIK, N., SHEIL, D., VAN HEIST, M., SASSEN, M., CORREIA, S., DIXON, C., FYSON, G., RUSHFORD, K., TEELING, C., 2013. *The CABI encyclopedia of forest trees*. CABI publishing. Oxfordshire, UK., ISBN 978–1780642369.

PUU RY, P., 2007. *Lehtikuusi*. [online] citováno 24. března 2017. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.puuproffa.fi/arkisto/lehtikuusi.php>>

ROUBAL, J., 2009. *Dřevo Velká encyklopedie*. Grada publishing, a.s. U průhonu 22, Praha, 192 s. ISBN 978–80–247–2858–2.

SAIRANEN, P., 1982. *Lehtikuusen ominaisuudet ja käyttö Neuvostoliiton mekaanisessa metsäteollisuudessa*. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 72, 25 s. ISSN 0358-4283.

SCHWEUNGRUBER, F. H., BÖRNER, A., SCHULZE, E. D., 2006. *Atlas of woody Plant Stems*. Springer-Verlag, Berlin, 229 s. ISBN 10–3–540–32523–9.

SKILLING, D. D., 1990. *Pinus sylvestris (Scotch Pine)*. *Agriculture Handbook 654 U.S.* Department of Agriculture. Forest Service, Washington, 1000–1017.

SOKOLOV, S. I., SVJASEVA, O. A., KUBLI, V. A., 1977. *Ranges of trees and shrubs of the USSR*. Nauka. Leningrad, 240 s.

STAMM, A. J., 1964. *Wood and cellulose science*. Ronald Press. New York, USA, 549 s.

STERN, M. L., 2003. *Aspects of Hybrid Larch (*Larix × eurolepis* Henry) as a Potential Tree Species in Southern Swedish forestry*. Swedish University of Agricultural Sciences Alnarp. Växjö, 28 s. ISBN 91–576–6296–7.

SVOBODA, A. M., 1976. *Introdukce okrasných jehličnatých dřevin. Studie ČSAV*, Academia Praha. Praha, 5, 1–123.

SVOBODA P., 1953. *Lesní dřeviny a jejich porosty, část I*. Knihtiskem Brázda, tiskařské závody. Praha, 411 s.

ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L., *Stavba dřeva–cvičení*, 1999. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 132 s. ISBN 80–7157–400–7.

TIMELL, T. E., 1986. *Compression wood in gymnosperms: Occurrence of stem, branch, and root compression woods. Volume 2*. Springer Verlag. Berlin, 708 s. ISBN 0–387–15715–8.

TSOUMIS, G., 1991. *Science and technology of wood: structure, properties, utilization*. Vol. 115. Van Nostrand Reinhold. New York, 52 s. ISBN 978–3–941300–22–4.

UGOLEV, V. N., 1986. *Drevesinovedenje s osnovami lesnovo tovarovedenija*. Moskva, 365 s.

URGELA, S., 1999. *Holografická interferometria při nedeštruktivnom testování dosak*. I. vyd. Zvolen, 77 s. ISBN 80–968057–3–8.

VARKASALO, E., 2001. *Leh-ikuusi puusepänteollisuuden raaka-aineena. Yhteistutkimushankkeen loppu-julkaisu.* Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja, 809 s. 5–14. ISBN 951–40–1782–X.

VIITANEN, H., PAAJANEN, L., SARANPÄÄ, P., VIITANIEMI, P. 1997. *Durability of larch (Larix spp) wood against brown-rot fungi.* The International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, IRG/WP 97-10228.

WA NGENFÜHR, R., 2000. *Holzatlas. 5. vyd.* Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. München, 707 s. ISBN 3–446–21390–2.

ČSN: 49 0110 Drevo – Medza pevnosti v tlaku v smere vlákien, 1980.

ČSN: 49 0123 Drevo – Štatistická metóda odberu vzoriek, 1980.

ČSN: 49 0101 Drevo – Všeobecné požiadavky na fyzikálne a mechanické skúšky, 1980.

ČSN: 49 0108 Drevo – Zisťovanie hustoty, 1993.

ČSN: 49 0103 Drevo – Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach, 1979.

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