

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Vliv stanoviště a pěstebních opatření na rázovou houževnatost  
dřeva borovice lesní**

Bakalářská práce

Autor: Kristýna Prokúpková

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

2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kristýna Prokúpková

Dřevařství  
Dřevařství

Název práce

**Vliv stanoviště a pěstebních opatření na rázovou houževnatost dřeva borovice lesní**

Název anglicky

**Impact of Site and Silvicultural Measures on the Impact Bending Strength of Scots Pine Wood**

---

### Cíle práce

Cílem práce je posoudit především vliv aplikovaných pěstebních postupů a stanoviště na rázovou houževnatost v ohybu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) z reprezentativních lokalit České republiky. Dále zhodnotit i případné další zdroje variability této pevnostní charakteristiky, včetně vlivu hustoty.

### Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o dané dřevině a posuzované vlastnosti.
- 2) Odebrat reprezentativní vzorníky z vybraných lokalit a připravit zkušební tělesa.
- 3) Normalizovanými postupy stanovit rázovou houževnatost v ohybu dřeva.
- 4) Zhodnotit vliv stanoviště, pěstebních postupů, pozice v kmenu a hustoty na zkoumanou vlastnost.
- 5) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.

### **Doporučený rozsah práce**

30 – 40 stran

### **Klíčová slova**

dřevo, borovice lesní, rázová houževnatost, variabilita

---

### **Doporučené zdroje informací**

- BARNETT, J. R., JERONIMIDIS, G. Wood Quality and its Biological Basis. Oxford: Blackwell Publishing, 2003. 226 s.
- DINWOODIE, J. M. Timber: Its Nature and Behaviour, 2nd ed. New York: Taylor & Francis, 2000 257 s.
- JOZSA, L. A., MIDDLETON, G. R. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Vancouver: Forintek Canada Corp., 1994. 42 s.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D, KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.
- TSOUMIS, G. Science and technology of wood–structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall, 1991. 497 s.
- ZOBEL, B. J., VAN BUITENEN, J. P. Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag: Berlin, 1989. 363 s.
- 

### **Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FLD

### **Vedoucí práce**

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

### **Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

### **Konzultant**

Ing. Vlastimil Borůvka, Ph.D.

---

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2019

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí ústavu

---

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 30. 05. 2020

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv stanoviště a pěstebních opatření na rázovou houževnatost dřeva borovice lesní“ vypracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Zeidlera, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V..... dne.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za profesionální vedení a vstřícnost při konzultacích. Další poděkování patří Ing. Ondřeji Schönfelderovi, za pomoc při orientaci v dané problematice. A v neposlední řadě děkuji své rodině a svým blízkým za celoživotní podporu.

## **Abstrakt**

Smyslem této práce je posoudit vliv stanoviště a pěstebních metod na rázovou houževnatost dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) z reprezentativních lokalit České republiky, konkrétně z oblastí Plasy a Třeboň. Každá z těchto oblastí byla charakterizována dvěma porosty. Součástí této práce bylo i zhodnocení dalších faktorů, které mohou ovlivnit variabilitu rázové houževnatosti dřeva, a to vertikální a horizontální poloha v kmeni, orientace světových stran a hustota. Stanovení rázové houževnatosti dřeva bylo provedeno standardizovanými postupy, a to při 12% vlhkosti. Bylo zjištěno, že takřka všechny hodnoty se shodují s dostupnou literaturou, dále bylo zjištěno, že vliv stanoviště je statisticky nevýznamný a vliv pěstebních opatření je statisticky významný alespoň u dvou porostů. Při posouzení vertikální i horizontální pozice v kmeni bylo zjištěno, že se jedná o statisticky významné hodnoty, a to u všech porostů. Vliv světové strany byl statisticky významný jen u jednoho porostu. Závislost rázové houževnatosti na hustotě byla vyhodnocena u jednoho porostu jako silná a u zbylých třech jako střední.

Klíčová slova: dřevo, rázová houževnatost, variabilita, borovice lesní, vlastnosti

## **Abstract**

The purpose of this work is to assess the influence of habitats and growing methods on the impact toughness of Scots pine wood (*Pinus sylvestris* L.) from representative localities in the Czech Republic, specifically from the areas of Plasy and Třeboň. Each of these areas was characterized by two stands. Part of this work was the evaluation of other factors that may affect the variability of impact strength of wood, such as vertical and horizontal position in the trunk, the orientation to cardinal directions and density. The impact strength of wood was determined by standardized procedures at 12% humidity. It was found that almost all values are consistent with the available literature, it was also found that the effect of habitat is statistically insignificant, and the effect of cultivation measures is statistically significant in at least two stands. When assessing the vertical and horizontal position in the trunk, it was found that these are statistically significant values, for all stands. The influence of the world side was statistically significant in only one stand. The dependence of impact toughness on density was evaluated as strong in one stand and as medium in the other three.

Key words: wood, impact toughness, variability, Scots pine, properties

## Obsah

1	Úvod.....	- 9 -
2	Cíl práce .....	- 10 -
3	Rozbor problematiky.....	- 11 -
3.1	Rod: borovice – <i>Pinus</i> L. ....	- 11 -
3.1.1	Botanický popis.....	- 11 -
3.1.2	Výskyt .....	- 11 -
3.2	Borovice lesní (sosna)- <i>Pinus sylvestris</i> L. ....	- 12 -
3.2.1	Botanický popis.....	- 12 -
3.2.2	Ekologie a rozšíření.....	- 13 -
3.2.3	Makroskopická stavba dřeva.....	- 14 -
3.2.4	Mikroskopická stavba dřeva .....	- 14 -
3.2.5	Vlastnosti dřeva.....	- 16 -
3.2.6	Význam a použití .....	- 18 -
3.3	Rázová houževnatost.....	- 19 -
3.3.1	Historický vývoj.....	- 19 -
3.3.2	Popis a kinematika stroje .....	- 20 -
3.3.1	Typy zlomu .....	- 20 -
3.4	Faktory ovlivňující vlastnosti dřeva.....	- 21 -
3.4.1	Hustota dřeva .....	- 21 -
3.4.2	Pozice v kmeni .....	- 22 -
3.4.3	Stanoviště .....	- 23 -
3.4.4	Pěstební opatření .....	- 23 -
4	Metodika .....	- 24 -
4.1	Charakteristika odběrových lokalit .....	- 24 -
4.2	Výroba a označení zkušebních těles .....	- 26 -
4.3	Zkouška rázové houževnatosti .....	- 27 -
4.4	Zpracování dat.....	- 28 -
5	Výsledky a diskuse.....	- 30 -
5.1	Vliv stanoviště.....	- 30 -
5.2	Vliv pěstebních opatření .....	- 30 -
5.3	Vliv hustoty .....	- 32 -
5.4	Vliv vertikální pozice .....	- 34 -
5.5	Vliv horizontální pozice.....	- 36 -
5.6	Vliv světových stran.....	- 37 -
6	Závěr .....	- 38 -
7	Seznam zdrojů.....	- 38 -

## Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1: Zástupci podrodu Pinus a Strobus .....	11 -
Obrázek 2: Zastoupení borovice lesní v ČR .....	13 -
Obrázek 3: Makroskopická stavba dřeva borovice .....	14 -
Obrázek 4: Mikroskopická stavba dřeva borovice .....	15 -
Obrázek 5: Charpyho kladivo .....	19 -
Obrázek 6: Kinematika Charpyho kladiva .....	20 -
Obrázek 7: Závislost mezi hustotou a mechanickými vlastnostmi smrkového dřeva .....	21 -
Obrázek 8: Změna objemové hustoty po poloměru kmene borovice .....	22 -
Obrázek 9: Rozložení hustoty dřeva po výšce kmene .....	22 -
Obrázek 10: Mapa ČR s vyznačením PLO 06 .....	24 -
Obrázek 11: Mapa ČR s vyznačením PLO 15 b .....	25 -
Obrázek 12: Rozložení a orientace vzorků v kmeni, rozměry a princip označování vzorků ..	26 -
Obrázek 13: Digitální váha, posuvné měřítko, klimatizační komora .....	28 -
Obrázek 14: Krabicový graf – vliv stanoviště na rázovou houževnatost .....	31 -
Obrázek 15: Lineární závislost rázové houževnatosti na hustotě .....	33 -
Obrázek 16: Krabicový graf – vliv vertikální pozice na rázovou houževnatost .....	35 -
Obrázek 17: Krabicový graf – vliv horizontální pozice na rázovou houževnatost .....	36 -
Tabulka 1: Taxonomické zařazení borovice lesní .....	12 -
Tabulka 2: Základní fyzikální vlastnosti dřeva borovice lesní .....	16 -
Tabulka 3: Základní mechanické vlastnosti dřeva borovice lesní .....	17 -
Tabulka 4: Odolnost a trvanlivost dřeva borovice lesní .....	17 -
Tabulka 5: Základní informace o porostech .....	26 -
Tabulka 6: Vliv stanoviště na rázovou houževnatost .....	30 -
Tabulka 7: Porovnání rázové houževnatosti mezi jednotlivými porosty .....	31 -
Tabulka 8: Porovnání hustoty mezi jednotlivými porosty .....	32 -
Tabulka 9: Rovnice regrese závislosti rázové houževnatosti na hustotě .....	33 -
Tabulka 10: Porovnání rázové houževnatosti vzhledem k vertikální pozici .....	34 -
Tabulka 11: Porovnání rázové houževnatosti vzhledem k světovým stranám .....	37 -



## 1 Úvod

Dřevo bylo a je jedním z nejdůležitějších přírodních a obnovitelných materiálů, se kterým se člověk odpradávná setkává. Denním kontaktem se dřevem se člověk naučil rozlišovat jednotlivé druhy dřeva a jeho vlastnosti. Přičemž právě pochopení struktury dřeva a jeho vlastností je základním kamenem pro jeho smysluplné využití. Navzdory pozitivních vlastností jako je obnovitelnost, lehká opracovatelnost a dostupnost je nutné se u dřeva vypořádat i s jeho nevýhodami, a to především s rozdílnými vlastnostmi v různých směrech (anizotropie), různorodostí (nehomogenita), či zvyšováním nebo snižováním obsahu vody ve dřevě (hygroskopicita) (Čundrlík, 2009).

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je po smrku naší druhou hospodářsky nejvyužívanější dřevinou, která našla své uplatnění především jako stavebně-truhlářský materiál. Díky svým vlastnostem je velice přizpůsobivá, není náročná na vodu, půdní podmínky ani klimatické vlivy (Slávik *et al.*, 2016). Na našem území se borovice přirozeně vyskytovala v zastoupení 3,4 %, lidským vlivem však byla násobně rozšířena přes svůj původní areál na současných 16,2 % (Mze, 2018).

Jak již bylo zmíněno, aby bylo možné lépe a výhodněji zpracovat a využít dřevo jako surovinu, je nezbytné znát jeho vlastnosti. Ty se obecně dělí na fyzikální a mechanické. Do druhé zmíněné skupiny patří i houževnatost, ta se charakterizuje tzv. rázovou houževnatostí. Rázová houževnatost udává relativní hodnoty, které není možné použít pro výpočty konstrukcí, ale používá se jako další srovnávací veličina kvality dřeva (Matovič, 1993).

Problematika vlastností dřeva v závislosti na stanovišti a aplikovaném pěstebním postupu je v České republice, na rozdíl od skandinávských zemí, kde se této problematice již léta věnují, mimo zájem lesního hospodářství. Zvýšení zisku z obhospodařování lesních porostů se upíná spíše ke kvantitativnímu hledisku, ačkoliv maximalizace zisku tkví především v porozumění podstaty růstu a obnovy lesních porostů a povědomí o kvalitě produkovaného dřeva a možnostech jejího ovlivnění. Pokud bude více času a výzkumů věnováno i této problematice, může se zvýšit nejen zisk lesních hospodářů, ale především bude produkována kvalitnější dřevní surovina (Bílek, 2018).

## 2 Cíl práce

Hlavním cílem práce je posoudit především vliv aplikovaných pěstebních postupů a stanoviště na rázovou houževnatost v ohybu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). Dále mezi sebou porovnat výsledky z reprezentativních lokalit České republiky, a to z oblastí Plasy a Třeboň, kdy z každé oblasti byly vybrány 2 porosty. Dalším z cílů je zhodnotit i případné další zdroje variability této pevnostní charakteristiky, a to vliv vertikální a horizontální pozice, světové strany, včetně vlivu hustoty. A v neposlední řadě porovnat získané výsledky s dostupnou literaturou.

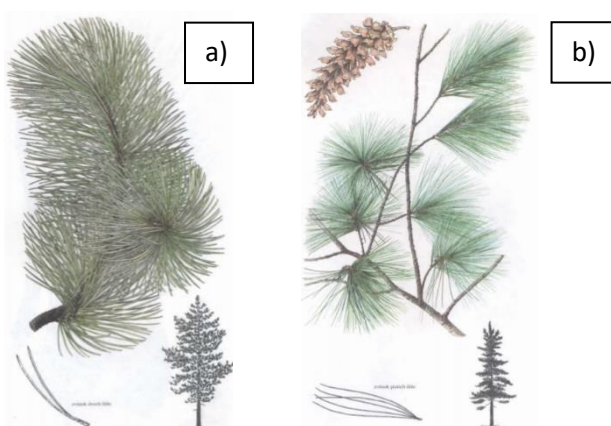
### 3 Rozbor problematiky

#### 3.1 Rod: borovice – *Pinus* L.

##### 3.1.1 Botanický popis

Název rodu, *Pinus*, pochází pravděpodobně z latinského slova *picnus*, což v přibližném překladu znamená „pryskyřici poskytující“. Jedná se o jeden z nejvýznamnějších rodů jehličnatých dřevin. Tento rod zahrnuje stálezelené stromy, méně často keře s přeslenitým větvením. Jehlice borovic vyrůstají na brachyblastech (=drobné zkrácené výhony) obvykle po 2, 3, 5 výjimečně i po 1, 4, 6-8. Šišťice se vytváří na letorostech a to tak, že samčí obvykle v dolní části koruny a samičí v osvětlené, tedy převážně horní části. Dozrálé šišky se až na výjimku šišek borovic řazených mezi limby hydrokopicky otevírají.

Rod *Pinus* se obvykle dělí na 2 podrody a to: *Pinus* „tvrdé borovice“ a *Strobus* „měkké borovice“ (obr. 1 a) a b)). *Pinus* se vyznačuje 2-3 jehlicemi na brachyblastu a náhlým přechodem mezi jarním a letním dřevem. Rod *Strobus* se pyšní převážně 5 jehlicemi na brachyblastu, a naopak pozvolným přechodem mezi jarním a letním dřevem (Musil a Hamerník, 2007; Slávik *et al.*, 2016).



Obrázek 1: a) borovice černá – zástupce podrodu *Pinus* b) borovice vejmutovka – zástupce podrodu *Strobus* (web2.mendelu.cz)

##### 3.1.2 Výskyt

Rod *Pinus* jakožto nejpočetnější rod rostlin nahosemenných čítá na 100 až 120 druhů borovic rostoucích prakticky pouze na severní polokouli od tropů až po subarktickou oblast, a to do 4000 m n. m. Z hlediska výskytu v Evropě, původních druhů se zde nachází 12-13 (např.: b. lesní, b. černá, b. pyrenejská, b. limba aj.). V České republice autochtonně rostou jen 3 druhy: *P. sylvestris*, *P. rotundata*, *P. mugo*, + hybrid posledních dvou (Musil a Hamerník, 2007; Slávik *et al.*, 2016).

## 3.2 Borovice lesní (sosna)- *Pinus sylvestris* L.

### 3.2.1 Botanický popis

Borovice lesní se řadí mezi stromy středních rozměrů s výškou až 45 m a průměrem kmene do 100 cm. Charakteristickým znakem je oranžově zbarvená tence odlupčivá borka, nacházející se na mladších částech kmene. Borovice lesní se dožívá stáří až 300 let, v extrémních případech až 500 let.

V mládí se chlubí pravidelnou kuželovitou korunou, která ve stáří začíná působit nesymetricky a dosahuje kopulovitého až deštníkovitého tvaru. Na drobných brachyblastech, po dvou ve svazečkách, se nachází šedozeleně zbarvené jehlice, které jsou 3-8 cm dlouhé. Jehlice jsou tuhé, tudíž neohebné. Po 2-3 letech opadávají. Při dobrých světelných podmínkách plodí borovice lesní každým rokem, šišky dozrávají však až rokem druhým, první rok vyrostou šišky pouze do velikosti lískového oříšku. Štítky mají vždy matné a naředlé, jinak jsou šišky borovice lesní velmi proměnlivé.

Díky kořenu, který je kúlového tvaru, netrpí borovice vývraty, tedy pokud není vysazena na bažinaté půdě, kde je zakořeněna mělce. Dřevo borovice je křehké, tudíž dochází lehce k vrcholovým zlomům, například pod tíhou sněhu a jinovatky. Borovice lesní není schopna tvořit výmladky ani nekořenuje z řízků. Kvůli absenci rezervních spících pupenů není schopna nahradit vylámané nebo zvěří okousané pupeny (Úradníček *et al.*, 2009; Slávik *et al.*, 2016; Coombes, 2004). Taxonomické zařazení borovice lesní je uvedeno v tabulce 1.

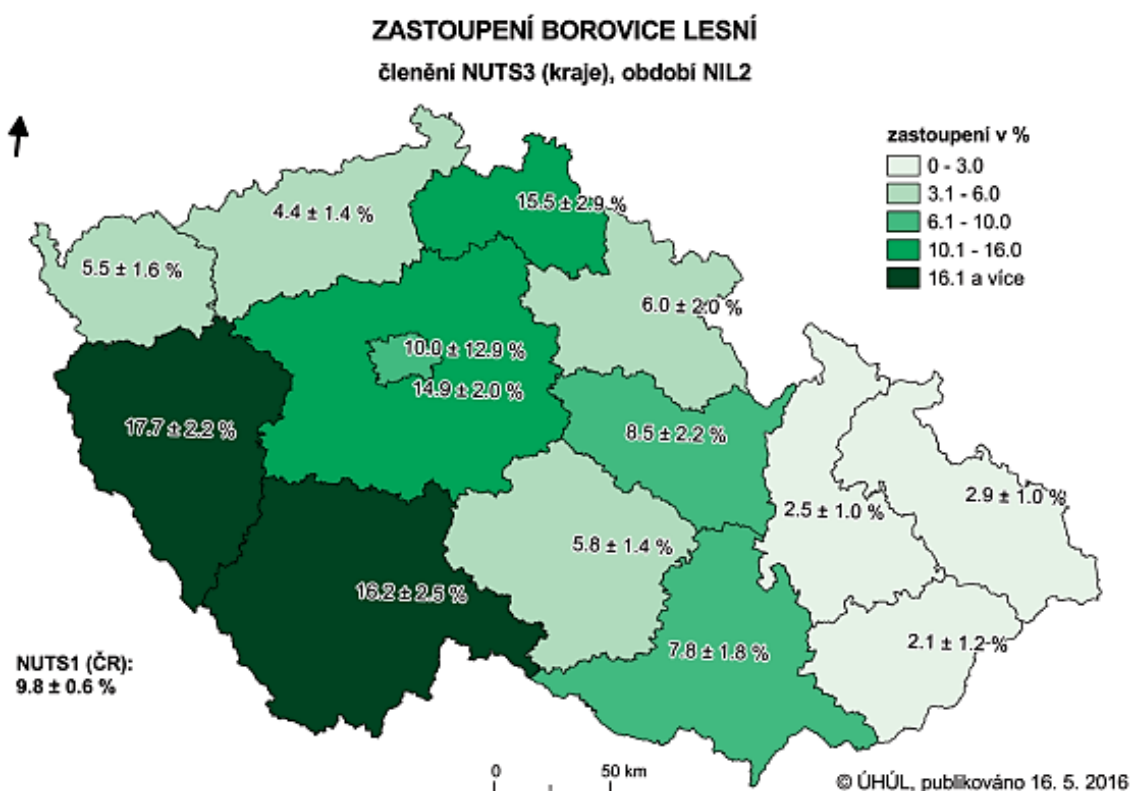
Tabulka 1: Taxonomické zařazení borovice lesní (www.biolib.cz, 2020)

Zařazení	Latinský název	Český název
říše	<i>Plantae</i>	rostliny
oddělení	<i>Pinophyta</i>	jehličnany
třída	<i>Pinopsida</i>	jehličnany
řád	<i>Pinales</i>	borovicotvaré
čeleď	<i>Pinaceae</i>	borovicovité
rod	<i>Pinus</i>	borovice
podsekce	<i>Pinus</i>	borovice
druh	<i>Pinus sylvestris</i>	borovice lesní

### 3.2.2 Ekologie a rozšíření

V případě borovice lesní se jedná o výrazně světlomilnou dřevinu, charakterizuje se mimo jiné jako pionýrská dřevina volných ploch. Není schopná růstu v semknutých porostech. Její předností je schopnost absorbovat vodu z mnohem větší hloubky než jiné dřeviny. Vyskytuje se tedy jak na extrémně suchých, tak i na velmi podmáčených stanovištích. Dokáže vyklíčit i ve štěrbinách holých skal, na suchých píscích, dunách, šterku, kamenitých sutí, jakož i na rašelinných podkladech.

Česká republika se nachází uvnitř euroasijského areálu borovice – ekotypu hercynského. Takzvané reliktní bory najdeme v České republice mimo jiné na hadcích Slavkovského lesa, na pískovcových skalách severovýchodních Čech, na chudých píscích v Polabí nebo na skalnatých výspách Českomoravské vrchoviny. Díky lidskému vlivu byla borovice lesní rozšířena daleko přes svůj areál a vznikly rozlehlé hospodářské porosty (obr. 2) (Úradníček *et al.*, 2009).



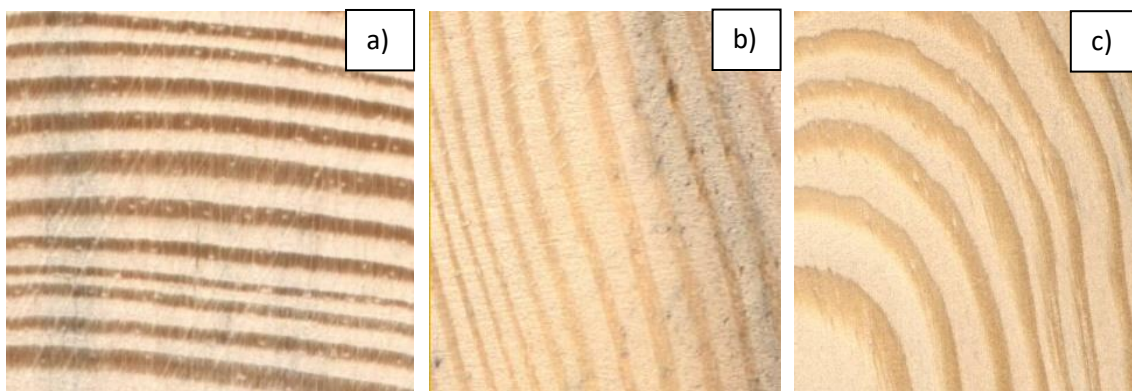
Obrázek 2: Zastoupení borovice lesní v ČR (www.nil.uhul.cz)

### 3.2.3 Makroskopická stavba dřeva

Jakožto jehličnatá dřevina má borovice výrazný a viditelný přechod mezi jarním a letním dřevem, který je poměrně náhlý. Jedná se o jádrovou dřevinu, kdy jádro je užší, červenohnědě zbarvené, načež běl je široká a nažloutlá. Jádro, pokud je v čerstvém stavu, se jeví jako málo zřetelné, poněvadž tmavne až po čase. V čerstvém stavu je také možné cítit lehký nádech pryskyřice.

Dřevokazné houby mohou na borovici vlivem svého působení způsobit zamodránění běle. Dřevo se před vniknutím parazitů do struktury dřeva chrání tzv. prosmolem, což se děje v případě poranění stromu a jedná se o vyplnění postiženého místa pryskyřicí. Pryskyřičné kanálky jsou charakteristickým znakem borovice, lze je dobře vidět na všech řezech, a to mnohem lépe než u smrku nebo modřínu. Makroskopická stavba borovice lesní je zobrazena na obrázku 3 (Zeidler a Borůvka, 2016; Čundrlík, 2009).

Ve velkém množství lze na borovici pozorovat suky, které, ačkoliv se jedná o přirozenou vlastnost dřeva mohou být nežádoucí a považují se za vadu. Jako vadu lze suky chápat například u konstrukčního dřeva, kde mohou výrazně snižovat kvalitu. Naopak v nábytkářství mohou svou přítomností podpořit texturu dřeva (Požgaj *at al.*, 1997).



Obrázek 3: Makroskopická stavba dřeva borovice: a) příčný řez b) radiální řez c) tangenciální řez  
([www.ldf.mendelu.cz](http://www.ldf.mendelu.cz))

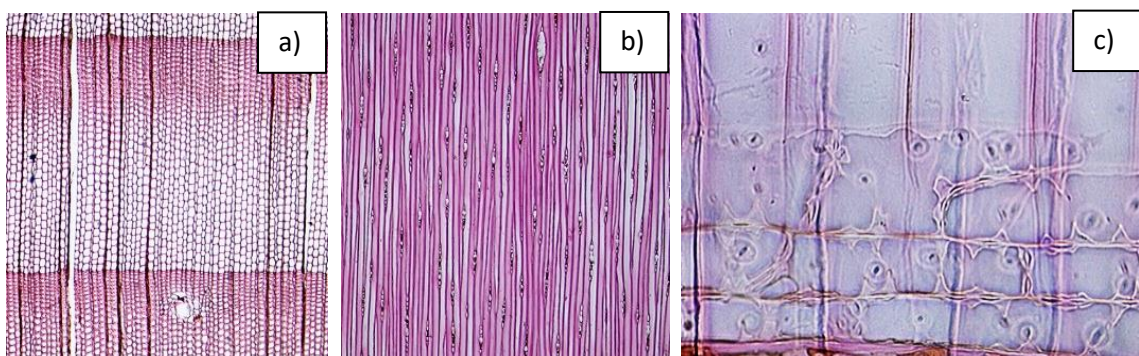
### 3.2.4 Mikroskopická stavba dřeva

Borovice, stejně jako ostatní jehličnaté dřeviny má mnohem jednodušší stavbu než dřeviny listnaté. Z více jak 90 % je tvořena tracheidami, zbytek jsou parenchymatické buňky. Tracheidy se rozlišují letní a jarní. Jarní tracheidy mají vodivou funkci, jsou kratší, tenkostěnné, mají zaoblené konce a na radiální stěně lze pozorovat velké dvojtečky. Oproti tomu letní tracheidy mají mechanickou funkci, jsou delší, tlustostěnné, mají

zašpicatělé konce a pouze štěrbinovité dvojtečky, a to v malém množství. Příčné (ležaté) tracheidy, které jsou součástí dřevných paprsků jsou výrazně menší a kratší než podélné tracheidy, mají menší dvojtečky a je u nich možná přítomnost ztluštěnin, např. zubatých, které se pak stávají jedním z hlavních diagnostických znaků borovice.

Parenchymatické buňky, jsou buňky obdélníkového tvaru. Typickými ztenčeninami parenchymatických buněk jsou jednoduché ztenčeniny neboli tečky. Parenchymatické buňky se rozdělují podle uložení na radiální a axiální. Radiálně uložené parenchymatické buňky tvoří dřevové paprsky. Axiálně uložené parenchymatické buňky tvoří podélný dřevní parenchym, který má funkci zásobní. U některých jehličnanů (včetně borovice) se vyskytují navíc pryskyřičné kanálky, které tvoří síť vertikálních a horizontálních kanálků. Pro dřevo borovice lesní a borovice vejmutovky jsou typické pryskyřičné kanálky tvořené 4-5 tenkostěnnými epitelovými buňkami.

Dřevové paprsky, ačkoliv jsou obecně u jehličnatých dřevin zastoupeny velmi málo, mohou být v rámci mikroskopické stavby velice zajímavé. Mají funkci vodící a slouží k ukládání zásobních látek. V případě borovice se jedná o heterocelulární dřevové paprsky, které jsou tvořeny parenchymatickými buňkami a ležatými tracheidami. Na radiálním řezu v místech, kde se dřevové paprsky setkávají s tracheidami kolmo na sebe vzniká tzv. křížové pole. V tomto poli lze pozorovat ztenčeniny oknového typu. Mikroskopická stavba borovice lesní je zobrazena na obrázku 4 (Čunderlík, 2009; [www.ldf.mendelu.cz](http://www.ldf.mendelu.cz)).



Obrázek 4: Mikroskopická stavba dřeva borovice: a) příčný řez b) radiální řez c) tangenciální řez ([www.ldf.mendelu.cz](http://www.ldf.mendelu.cz))



### 3.2.5 Vlastnosti dřeva

Základní vlastnosti dřeva souvisí jak s chemickou, tak anatomickou stavbou. Ze stavby dřeva lze vyčíst jeho základní charakteristiky a to anizotropii, pórovitost, hygroskopicitu a nehomogenitu. Všechny tyto výše zmíněné charakteristiky dřeva předurčují a limitují jeho fyzikální a mechanické vlastnosti (Gandelová *et al.*, 2002).

#### Fyzikální vlastnosti

Jsou vlastnosti, které popisují dřevo z hlediska jeho základních vnějších a vnitřních vlastností v reakci na různé fyzikální jevy (vlhkost, teplo, zvuk, elektřina atd.). Řadí se mezi ně vlhkostní vlastnosti, hustota, tepelné, elektro-fyzikální, akustické a v neposlední řadě povrchové a optické vlastnosti jako barva, lesk, geometrie, drsnost, textura atd. Některé hodnoty těchto vlastností pro borovici jsou uvedeny v tabulce 2. (Požgaj *at al.*, 1997).

Tabulka 2: Základní fyzikální vlastnosti dřeva borovice lesní (Zeidler a Borůvka, 2016)

Veličina	Hodnota	Jednotka
$\rho$	0,543	$\text{g.cm}^{-3}$
$\beta_L$ ; $\beta_R$ ; $\beta_T$ ; $\beta_V$	0,4; 4,0; 7,7; 12,1	%
$\alpha_L$ ; $\alpha_R$ ; $\alpha_T$	-; 0,14; 0,14	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
$c_{  }$ ; $c_{\perp}$	4760; 932	$\text{m.s}^{-1}$

$\rho$  – hustota

$\beta_L$  – sesychání v podélném směru

$\beta_R$  – sesychání v radiálním směru

$\beta_T$  – sesychání v tangenciálním směru

$\beta_V$  – objemové sesychání

$\alpha_L$  – koeficient tepelné vodivosti v podélném směru

$\alpha_R$  – koeficient tepelné vodivosti v radiálním směru

$\alpha_T$  – koeficient tepelné vodivosti v tangen. směru

$c_{||}$  – rychlost zvuku ve směru vláken

$c_{\perp}$  – rychlost zvuku kolmo na vlákna

#### Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti dřeva se charakterizují jako schopnost dřeva odolávat účinku vnějších sil. Dělí se do 3 skupin: základní, odvozené a technologické. Mezi základní vlastnosti se řadí pružnost, pevnost, plastičnost a houževnatost dřeva. Do odvozených vlastností patří tvrdost, odolnost proti tečení, odolnost proti trvalému zatížení. Mezi technologické vlastnosti se zařazuje štípatelnost, opotřebovatelnost, impregnovatelnost nebo ohýbatelnost. U mechanických vlastností se také projevuje anizotropní charakter dřeva, kdy tvar a uspořádání základních stavebních elementů tyto vlastnosti významně ovlivňuje.

Takzvané mechanické namáhání je charakterizováno jako děj, při kterém dochází k interakci působících mechanických sil a dřeva. Výsledkem tohoto děje jsou dočasné,



případně trvalé změny tvaru tělesa. Mezi základní druhy mechanického namáhání patří tah, tlak, smyk, ohyb a kroucení. V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty některých mechanických vlastností dřeva borovice lesní (Požgaj *et al.*, 1997).

Tabulka 3: Základní mechanické vlastnosti dřeva borovice lesní (Zeidler a Borůvka, 2016)

Veličina	Hodnota	Jednotka
$E_{tIL}$ $E_{tIR}$ $E_{tIT}$	16300; 1100; 570	MPa
$E_{ohL}$	10620	MPa
$G_{LR}$ $G_{LT}$ $G_{RT}$	1160; 680; 66	Mpa
$A_R$ $A_T$	4,6; 4,6	J.cm <sup>-2</sup>
$H_{RT}$ $H_{LT}$ $H_{LR}$	39,0; 18,0; 18,0	MPa

$E_{tIL}$  – modul pružnosti v tlaku v podélné rovině

$E_{tIR}$  – modul pružnosti v tlaku v radiální rovině

$E_{tIT}$  – modul pružnosti v tlaku v tangenciální rovině

$E_{ohL}$  – modul pružnosti v ohybu

$G_{LR}$  – smykový modul v tangenciální rovině

$G_{LT}$  – smykový modul v radiální rovině

$G_{RT}$  – smykový modul v čelní rovině

$A_R$  – přerážecí práce radiální ráz

$A_T$  – přerážecí práce tangenciální ráz

$H_{RT}$  – tvrdost podle Brinella v čelní rovině

$H_{LT}$  – tvrdost podle Brinella v radiální rovině

$H_{LR}$  – tvrdost podle Brinella v tangenciální rovině

### Odolnost a trvanlivost

Dřevo jakožto biopolymer rostlinného původu může být přirozeně degradováno, a to jak biotickými, tak abiotickými činiteli. Aby mohlo být dřevo jako surovina maximálně ekonomicky a ekologicky využito, musí se před těmito činiteli chránit, respektive je třeba minimalizovat vliv těchto činitelů. To se může dít mnoha způsoby, souhrnně nazýváno ochrana dřeva.

Přirozenou trvanlivost dřeva ovlivňuje především jeho struktura, kterou lze pozorovat na několika úrovních (geometrická, morfologická, anatomická, molekulární). Velmi důležitým aspektem při odolnosti dřeva vůči biotickým činitelům je například podíl extraktivních látek. (Reiprecht *et al.*, 2016). Hodnoty pro odolnost a trvanlivost dřeva borovice lesní jsou vedeny v tabulce 4.

Tabulka 4: Odolnost a trvanlivost dřeva borovice lesní (Reiprecht *et al.*, 2016)

Borovice lesní (borovice)		
Třídy přirozené trvanlivosti (pouze u jádrového dřeva, bělové dřevo považováno za netrvanlivé)	Houby	3–4 – středně – slabě trvanlivé
	Tesařík	S – náchylné
	Červotoč	S – náchylné
Třída impregnovatelnosti	Běl	1 – lehce impregnovatelné
	Jádro	4 – extrémně těžko impregnovatelné

### 3.2.6 Význam a použití

Po smrku je borovice druhým hospodářsky nejvýznamnějším jehličnanem. Dřevo borovice se skládá z jádra a běli, přičemž podíl jádra a běli může být různý. Využívá se především jako stavebně-truhlářský materiál, ačkoliv s ohledem na mechanické vlastnosti nemá tak velký podíl v průmyslovém zpracování jako dřevo smrkové z důvodu většího obsahu suků a vyššího podílu pryskyřice. Pro stavební účely složí borovice ke zhotovování pomocných, ale i fixních konstrukcí, či při výrobě rámových konstrukcí panelových dřevostaveb. Své uplatnění nachází i v původním válcovitém tvaru při stavbě srubových staveb (Slávik *et al.*, 2016).

Méně kvalitní řezivo se využívá při výrobě obalových materiál, beden, palet apod. Dřevo borovice je taktéž tradičním materiálem v interiéru, a to nejen při výrobě konstrukčních dých a překližek, ale i u dekoračních dých, které se používají na výrobu interiérových obkladů. Méně kvalitní sortimenty se používají jako surovina pro výrobu takřka všech druhů aglomerovaných materiálů. Tenká kulatina se pak využívá jako báňské a vinohradské dřevo, či telegrafní tyče (Úradníček *et al.*, 2009; Slávik *et al.*, 2016.)

Lze zpracovat i chemicky, a to především díky obsahu pryskyřic, své uplatnění našla borovice při výrobě terpentýnu, kalafun, resp. laků, leštidel. Nejednu domácnost zdobí přes vánoční svátky právě borovice. V lidovém léčitelství se používá nálev z pupenů, který při bronchiálních katarrech podporuje odhlehování, mimo jiné působí taktéž močopudně a zlepšuje prokrvení (Úradníček *et al.*, 2009; Bitner, 2012).

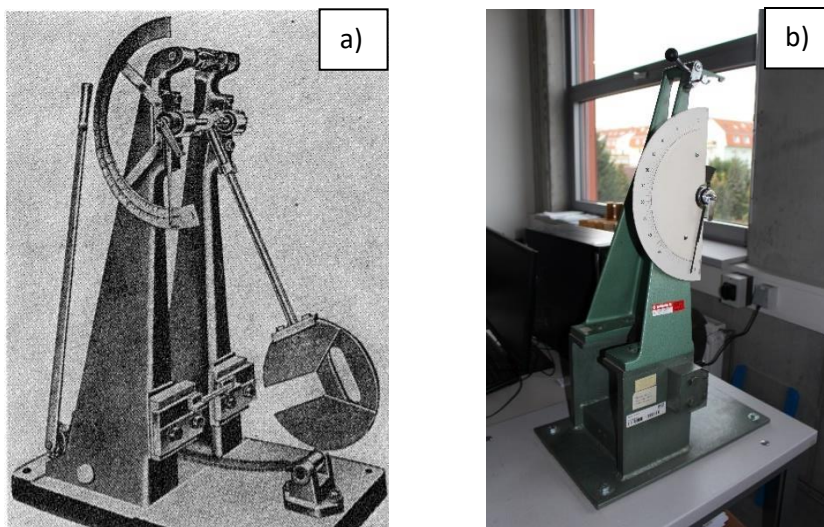
### 3.3 Rázová houževnatost

Rázová houževnatost je schopnost dřeva odolávat rázovým zatížením, vyjadřuje se jako energie spotřebovaná na přerážení dřeva za daných podmínek. Práce spotřebovaná na tuto činnost se vztahuje k ploše, tudíž jednotkou rázové houževnatosti je  $J/cm^2$ . Vzdoruje-li dřevo rázové síle, je označováno za houževnaté (Požgaj *et al.*, 1997; Matovič, 1993).

#### 3.3.1 Historický vývoj

Zkouška rázové houževnatosti pro dřevo je odvozená od původní zkoušky vrubové houževnatosti pro kovové materiály (od roku 2017, ČSN EN ISO 148-1 Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy – Část 1: Zkušební metoda). K stanovení rázové houževnatosti se používají tzv. přerážecí kladiva (Charpyho kladivo).

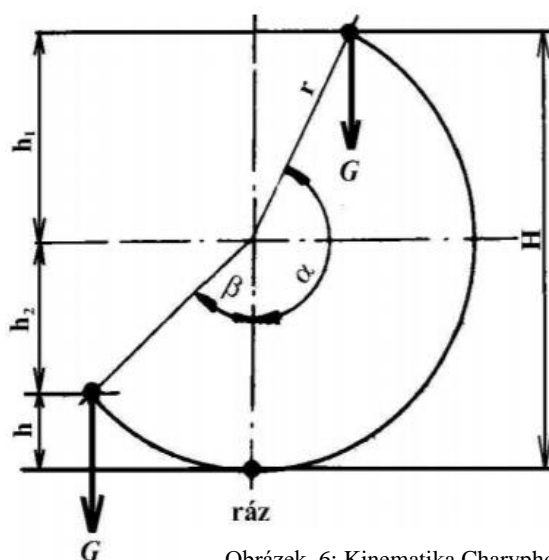
Charpyho kladivo vynalezl počátkem 20. století francouzský vědec Augustin Georges Albert Charpy (1865-1945). Již v roce 1901 prezentoval své poznatky na sjedu mezinárodního svazu pro technické zkoušení materiálu konaném v Budapešti. Během následujících let se vyvíjela nejen konstrukce samotného stroje, ale především velikost zkušebního tělesa a geometrie vrubu. Normování Charpyho zkoušky bylo doporučeno na V. kongresu konaném v roce 1909 v Kodani, poté se norma ujala téměř po celé Evropě. G. Charpy však nebyl jediný, kdo se zabýval houževnatostí kovových materiálů, v důsledku toho vznikly odlišné způsoby provedení zkoušky. To a další faktory způsobily na dlouhá léta chaos a neucelení mezinárodních norem (Tóth *at al.*, 2002).



Obrázek 5: a) Charpyho kladivo (Walla, 1961) b) Charpyho kladivo (autor)

### 3.3.2 Popis a kinematika stroje

Při pracovním postupu je u Charpyho kladiva a zkoušky rázové houževnatosti postupováno následovně: v první řadě je kladivo vyzdviženo do výšky  $H$  (úhel  $\alpha$ ), čímž mu je dodána takzvaná potenciální energie o velikosti  $W_{p1}$ , následuje kontrola, jestli kladivo zachytila západka. Poté se uvolní pojistka, jistící západku, což způsobí pád kladiva směrem dolů. To zapříčiní, že se začne potenciální energie měnit na energii kinetickou (obr. 6). Nárazem do zkušebního vzorku dojde k částečné spotřebě této kinetické energie (tzv. nárazová práce  $K$ ) a pomocí zbylé energie (potenciální energie  $W_{p2}$ ) se kladivo dostane do výška  $h$  (úhel  $\beta$ ). Z tohoto principu vychází vztah:  $K = W_{p1} - W_{p2}$  (Dubovský *et al.*, 1992).



- $H$  – výchozí výška kladiva
- $h$  – konečná výška kladiva
- $\alpha$  – výchozí úhel kladiva
- $\beta$  – konečný úhel kladiva
- $r$  – poloměr kyvu břitu
- $G$  – tíhová síla

Obrázek 6: Kinematika Charpyho kladiva (Skálová *et al.*, 200)

Velice důležitým faktorem při určování rázové houževnatosti jsou rozměry tělesa, a především vzdálenost podpěr, kdy se dodržuje poměr délky podpěr k výšce zkušebního tělesa  $\frac{l_0}{h} \geq 12$ . Dalším zásadním faktorem je směr, ve kterém se těleso zkouší. Rozdíl mezi rázovou houževnatostí v radiálním a tangenciálním směru může ničit až 50 % (u dřeva *Picea abies* L.) ve prospěch radiálního směru, a to především u dřevin s výrazným jádrem a letním dřevem. (Matovič, 1993, 1997; Gandelová *et al.*, 2002).

### 3.3.1 Typy zlomu

Jedním z ukazatelů kvality dřeva je typ a tvar zlomu po přeražení. Je-li zlom vláknitý, jedná se o dřevo s vysokou houževnatostí, naopak pokud zlom tvoří nevláknitý schodový vzhled, považuje se dřevo za křehké. U křehkého dřeva přichází zlom náhle a mohou se pozorovat poměrně malé deformace. (Požgaj *et al.*, 1997; Gandelová *et al.*, 2002).

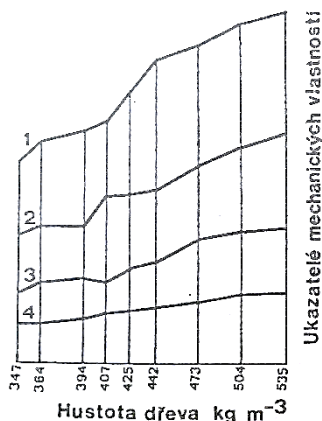
### 3.4 Faktory ovlivňující vlastnosti dřeva

Dřevo, jak už bylo zmíněno výše, se vyznačuje přirozenou proměnlivostí svých vlastností. Toto se děje v důsledku vlivu několika faktorů, které působí nejen při jeho namáhání, ale již během jeho tvorby v živém stromě. Rozdíly ve struktuře dřeva a vlastnostech lze pozorovat nejen mezi jednotlivými druhy, ale i v rámci jedné dřeviny, mezi konkrétními jedinci. Ba dokonce v rámci jednoho stromu se dají najít rozdílné vlastnosti v závislosti na poloze v kmeni. Zúročení těchto faktorů se odráží především na hustotě dřeva, která je úzce spjata s většinou fyzikálních a mechanických vlastností. Ačkoliv i u hustoty lze pozorovat určitou variabilitu, považuje se hustota za poměrně komplexní a přesný ukazatel kvality dřeva. Jsou-li tedy známy zákonitosti týkající se hustoty dřeva, lze je beze zbytku interpretovat i pro další fyzikální a mechanické vlastnosti. (Požgaj *et al.*, 1997; Gandelová *et al.*, 2002)

#### 3.4.1 Hustota dřeva

Hustota dřeva je charakterizována jako podíl hmotnosti dřeva a jeho objemu. Uvádí se v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  nebo  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Hustota dřeva se pohybuje v širokém intervalu od  $130 \text{ kg/m}^3$  (balza) až do  $1360 \text{ kg/m}^3$  (guajak). Určení hustoty dřeva je vzhledem k hygroskopicitě obtížnější než u jiných materiálů.

Vliv hustoty se nejvíce projevuje u dřeva suchého, nad mezí hygroskopicity je vliv vlhkosti již nevýrazný. Pevnost dřeva se obecně s rostoucí hustotou zvyšuje, tento vztah však nemusí být významný. Mezi hustotou dřeva a většinou mechanických vlastností je křivočará závislost (obr 7.). K jasnějším vztahům mezi strukturou, hustotou a mechanickými vlastnostmi lze dojít skrz analýzu makroskopické stavby letokruhů. (Matovič, 1993; Gandelová *et al.*, 2002)

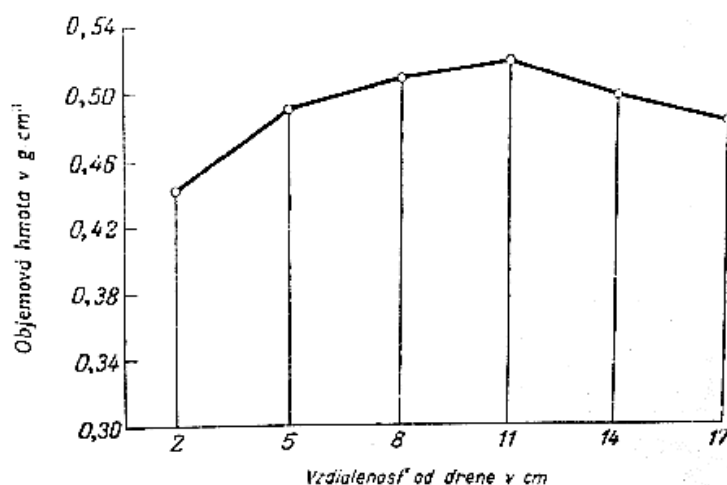


- 1- mez ohybové pevnosti
- 2- mez tlakové pevnosti
- 3- čelní tvrdost
- 4- modul pružnosti v ohybu

Obrázek 7: Závislost mezi hustotou a mechanickými vlastnostmi smrkového dřeva (podle Perelygina, 1965) (Matovič 1993)

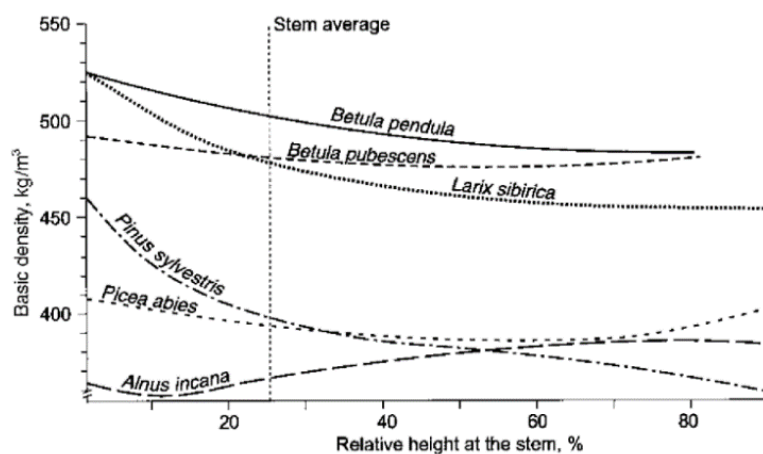
### 3.4.2 Pozice v kmeni

Proměnlivost vlastností vzhledem k pozici v kmeni úzce souvisí s věkem stromu. Pro všechny druhy dřevin lze teoreticky říct, že se hustota v důsledku vývinu jedince směrem k obvodu kmene postupně zvyšuje, ale následně po několika desítkách let, kdy dosáhne svého maxima, se začne stabilně snižovat (obr 8.). Jelikož lze najít ve skutečnosti mnoho odlišností, ustálil se fakt, že se hustota jehličnatých dřev od dřeně k obvodu zvyšuje, u listnatých – kruhovitě pórovitých snižuje a u listnatých – roztroušeně pórovitých závisí na druhu dřeviny. Je zřejmé, že u rozdílu hustoty po poloměru kmene panuje velká variabilita, a to dle literatury kolem 5 až 20 %.



Obrázek 8: Změna objemové hustoty po poloměru kmene borovice (Perelygin, 1965)

Po výšce stromu se hustota dřeva snižuje, a to od paty směrem k vrcholu zároveň bývá zpravidla vyšší než po poloměru stromu. (Požgaj *et al.*, 1997; Gandelová *et al.*, 2002).



Obrázek 9: Rozložení hustoty dřeva po výšce kmene (Barnett a Jeronimidis, 2003)

### **3.4.3 Stanoviště**

Pod pojmem stanoviště stromu si lze představit místo, kde se střetávají abiotické faktory prostředí jako půda, vlhkost, teplo, vítr aj. s růstem a tvorbou dřevní hmoty. Tyto abiotické faktory se projevují například v rychlosti růstu, tloušťce buněčných stěn, na podílu letního a jarního dřeva, a tudíž i na hustotě dřeva. Tyto všechny faktory je důležité brát jako celek, a to z důvodu že si jsou vzájemně podmíněny. To znamená, že jeden faktor může z hlediska hustoty působit například na šířku letokruhu pozitivně, druhý naopak negativně. Každý strom pak může na tyto faktory reagovat různě. Okolní vlivy jsou děleny a nazývány následovně: půda, podnebí, počasí, poloha, svah a mechanické síly jako vítr a sníh.

Dalším pojmem, který vstupuje v potaz je takzvaná kvalita stanoviště. V tomto ohledu je pro jehličnaté dřeviny známo, že u stanoviště, kde panují lepší podmínky se vyskytuje lehčí dřevo. (Lexa *et al.*, 1952).

### **3.4.4 Pěstební opatření**

Znalost pěstebních opatření je velmi důležitá pro úspěšné pěstování lesů. Cílem pěstebních opatření je usměrnění vlastností struktury lesního porostu, za účelem dosažení určitého požadovaného stavu.

Pěstební a ochranná opatření začínají již od založení, popř. zajištění porostu až po jeho obnovu. Příslušná opatření vždy odpovídají jednotlivým růstovým fázím. U nejmladších porostů se jedná o ošetřování, ochranu, doplňování nárostů, pročistky nárostů atd. V mlazinách se uskutečňují z velké části prořezávky a čistky. Tyčkovin a tyčovin se týkají probírky, popř. zpevňovací seče. Péče o nastávající kmenoviny zahrnuje zpočátku probírky, později prosvětlování. Na péči o porosty navazuje obnova kmenovin. Do celého procesu pěstební péče se promítají potřebná opatření ochrany lesa proti abiotickým a biotickým činitelům (Kantor, 2001; [www.ldf.mendelu.cz](http://www.ldf.mendelu.cz)).

## 4 Metodika

V této části je prezentován postup práce od vybrání vhodných stromů z příslušných lokalit přes zhotovení zkušebních vzorků až po stanovení hustoty a provedení normované zkoušky rázové houževnatosti.

### 4.1 Charakteristika odběrových lokalit

Vzorky, které jsou součástí této práce pocházejí ze dvou lesních správ České republiky (dále jen „LS“), kde se vyskytuje borovice lesní, a to z LS Plas a LS Třeboň.

LS Plasy spadají do PLO 6 (přírodní lesní oblast č. 6- Západočeská pahorkatina). Celá PLO 06 se nachází v povodí řeky Mže a Berounky (obr 10.). Dle geomorfologie se tato oblast typově řadí do: pahorkatina s přechody do vrchoviny.

Západočeská pahorkatina se rozkládá na závětrné straně Šumavy, Českého lesa a částečně i Karlovarské vrchoviny. Výše uvedené rozložení PLO má podstatný vliv na klimatické poměry této oblasti, jelikož se nachází v dešťovém stínu pohraničních hor. Geologickým poměrům zcela dominují spíše chudší kyselé půdy, na obvodu se nacházejí chudé písčitojílovité půdy. Z živin se na kyselých půdách projevuje velmi nízká zásoba vápníku, hořčíku a fosforu, pouze zásoba draslíku je příznivější. Roční úhrn srážek je velmi nízký (v průměru 500-650 mm), průměrná roční teplota činí mezi 7–8 °C. Významným a zajímavým faktorem je rovněž kolísání průměrných ročních teplot a ročních srážkových úhrnů v jednotlivých letech ( $\pm 2\text{ °C}$  a  $\pm 400\text{ mm}$ ) ([www.uhul.cz](http://www.uhul.cz)).

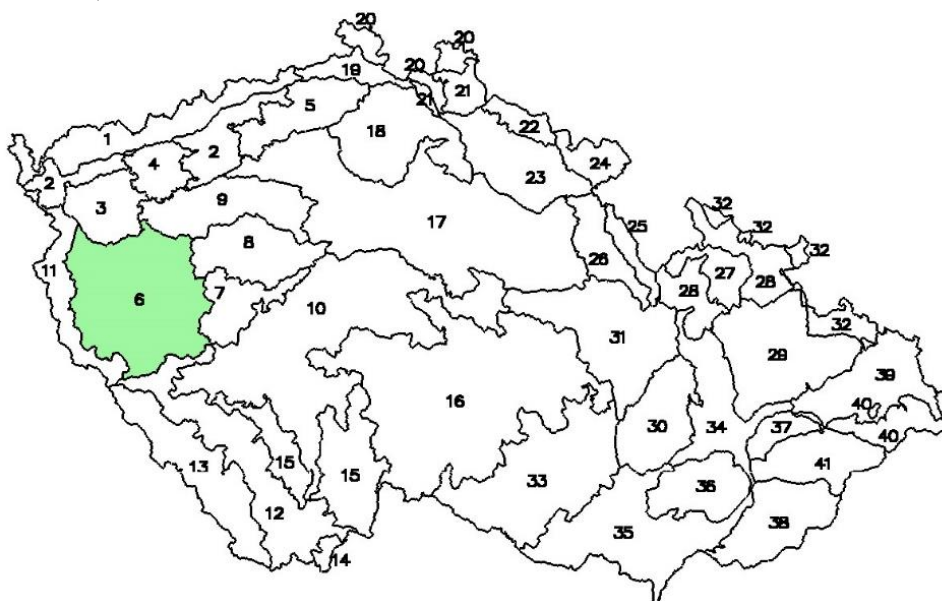


Obrázek 10: Mapa ČR s vyznačením PLO 06 ([www.uhul.cz](http://www.uhul.cz))



LS Třeboň spadá do PLO 15 b – Jihočeská pánev – část třeboňská pánev (obr. 11). Třeboňská pánev se dělí na dvě podélná pásma. Západní pásmo se nachází ve výškách od 440 do 490 m n.m. a skládá se z jezerních usazenin, které tvoří tzv. Lužnickou rovinu. Východní pásmo, tvoří průměrně o 30 až 50 vyšší stupeň nízkých vyvýšenin starých hornin a mělkých sníženin s jezerními usazeninami nazývanými se Kardašovicko-strážská pahorkatina.

Pro Třeboňskou pánev jsou charakteristická rašeliniště a díky nim i bohatá fauna a flóra. Lesnatost této oblasti činí 36,5 %. Průměrná roční teplota zde kolísá od 6,8 do 7,8 °C. Projevuje se zde závislost na nadmořské výšce, tudíž výše položené stanice na okraji pánve mívají zpravidla nižší průměrnou teplotu. Průměrný roční úhrn srážek vzrůstá jak od západu k východu, tak ve směru od severu k jihu. Na většině území Třeboňské pánve převyšuje roční úhrn srážek hranici 600 mm. Nedostatek vody tudíž není výrazným omezujícím činitelem růstu dřevin (kromě severní a zejména severozápadní části) ([www.uhul.cz](http://www.uhul.cz)).



Obrázek 11: Mapa ČR s vyznačením PLO 15 b ([www.uhul.cz](http://www.uhul.cz))

V těchto dvou lokalitách bylo vybráno 6 reprezentativních jedinců ze dvou porostů (z každého porostu 3) v mýtním věku (tab.5), tudíž bylo možné odebrat více sekci z jednoho kmene, což umožnilo posoudit změnu vlastností ve vertikálním směru. Pokud to průměr kmene dovozoval, byly odebrány 3 části, bazální sekce – A, druhá v 1/3 výšky stromu – B a třetí ve 2/3 výšky stromu – C. Všechny sekce byly 120 cm dlouhé. Současně byl v místě odběru vyříznut kotouč, který posloužil na další měření, a to letokruhovou analýzu.

Všechny sekce byly odvezeny k pořezu na pásové pile, vzniklé fošny byly následně uskladněny a ponechány přirozenému vysychání. Cílem bylo vyříznout fošny středové tak, aby sloužily nejen k posouzení rozložení vlastností po průměru kmene, ale aby bylo možné zkoumat i vliv světových stran.

Tabulka 5: Základní informace o porostech

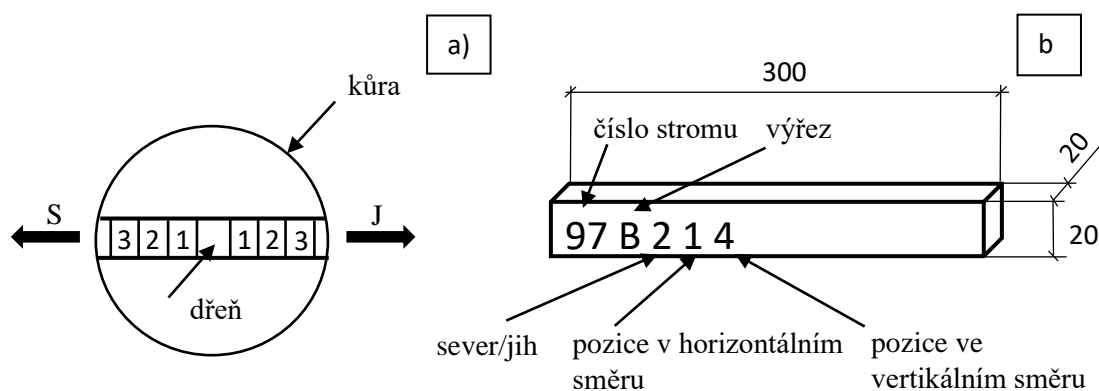
Plasy	Výška stromu (m)	Průměr kmene $D_{1,3}$ (mm)	SLT	Třeboň	Výška stromu (m)	Průměr kmene $D_{1,3}$ (mm)	SLT
Porost 1	23,6	402	4Q	Porost 1	23	264	3K
Porost 2	22,1	313	2K	Porost 2	21,3	279	0K

SLT – soubor lesních typů

## 4.2 Výroba a označení zkušebních těles

Poté co řezivo vyschlo na požadovanou vlhkost (přibližně 15 %), bylo převezeno do truhlárny, kde se v prvé řadě na zkracovací pile nakrátilo na rozměry vhodné k další manipulaci. Takto nakráčené fošny se následně omítali na formátovací pile, kde byly v návaznosti rozřezány na hranoly. Poté se hranoly orovnali na srovnávací frézce, především za účelem vzniku pravého úhlu. Následovalo opět rozřezání na formátovací pile, tentokrát na menší hranoly, které byly stále s nadmírou pro finální opracování.

Takto vzniklé hranoly se egalizovali na tloušťkovací frézce, výsledkem tohoto procesu se staly hranoly o požadovaných rozměrech 20 x 20 mm. Na závěr následovalo krácení na formátovací pile, z důvodu dosažení požadované délky vzorků. Konečný rozměr vzorků, dle normy, činil 20 x 20 x 300 mm. Všechny vzorky byly pečlivě označeny jedinečným kódem (obr. 9 b)), kterým lze přesně dohledat polohu vzorků v původním kmeni (obr. 9 a)).



Obrázek 12: a) Rozložení a orientace vzorků v kmeni (autor) b) Rozměry a princip označování vzorků (autor)

### 4.3 Zkouška rázové houževnatosti

Po zhotovení zkušebních těles následovalo stabilizování jejich vlhkosti v klimatizační komoře (obr. 13 c)) na požadovanou rovnovážnou vlhkost 12 % (relativní vlhkost vzduchu 65 % ( $\pm 5$  %) a teplota vzduchu 20 °C ( $\pm 2$  °C)). Samotná zkouška probíhala podle normy ČSN 49 0117- Drevo. Rázová houževnatost' v ohybe.

Postup zkoušky:

1. Zkušebnímu tělesu o požadovaném tvaru, rozměrech (pravoúhlý hranol, 20 x 20 x 300 mm, vlákna po délce vzorku) a vlhkosti 12 % změříme jeho příčné rozměry v místě následovného přerážení (tedy ve středu délky vzorku) pomocí posuvného měřítka (obr 13 b)) s přesností 0,1mm, a to jak v radiálním, tak tangenciálním směru, přičemž je velmi důležité tyto dvě hodnoty rozlišovat.
2. Následně symetricky umístíme zkušební těleso na podpěry Charpyho kladiva a to tak, aby náraz byl na radiální plochu. Po umístění tělesa zdviháme beran do horní úvratě, až do chvíle, než ho uchytí západka. Následuje kontrola umístění vzorku a „vynulování“ stupnice.
3. Spustíme beran kladiva a po přerážení tělesa odečteme hodnotu ze stupnice, ze vzorků je nadále možné vyhodnotit typ lomu nebo je můžeme zachovat pro další využití.
4. Tento postup provedeme u všech vzorků.
5. Následuje výpočet dle vzorce:

$$A_w = \frac{Q}{b \cdot h},$$

kde  $A_w$  – je rázová houževnatost v J/cm<sup>2</sup>,

$Q$  – je práce, vynaložené na přerážení zkušebního tělesa v J,

$b, h$  – rozměry zkušebního tělesa v radiálním a tangenciálním směru v cm.

Výsledky se zaokrouhlují na 0,1 J/cm<sup>2</sup>.



Obrázek 13: a) digitální váha b) posuvné měřítko c) klimatizační komora (autor)

Vzhledem k postupu zkoušky rázové houževnatosti, bylo možné vyhodnotit i hustotu vzorků, díky čemuž je možné porovnat nejen závislost rázové houževnatosti na hustotě, ale také porovnat, jestli faktory, které ovlivňují rázovou houževnatost, podobně ovlivňují i hustotu. Pro vyhodnocení hustoty byla použita norma ČSN 49 0108. Hustota byla vyhodnocena při 12% vlhkosti dle vzorce:

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}},$$

kde  $\rho_{12}$ - je hustota tělesa při 12% vlhkosti v g/cm<sup>3</sup>,

$m_{12}$ - je hmotnost tělesa při 12% vlhkosti v g,

$V_{12}$ - je objem tělese při 12% vlhkosti v cm<sup>3</sup>.

Výsledky se zaokrouhlují na 0,001 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4.4 Zpracování dat

Po provedení zkoušky u všech vzorků následovalo zpracování získaných dat. U všech dat byla na základě výše zmíněné metodiky vyhodnocena rázová houževnatost a hustota. Následně se výsledky vyhodnotily v závislosti na zkoumaném vlivu a byly porovnány mezi jednotlivými porosty. Vyhodnocen mezi porosty byl vliv stanoviště, pěstebního opatření, hustoty, vertikální a horizontální pozice a světových stran na rázovou houževnatost v ohybu.

Hlavní část, tj. popisná statistika zahrnovala tyto ukazovatele: průměr, medián, směrodatnou odchylku, rozptyl, variační koeficient, minimum, maximum, počet vzorků.

Tabulky vycházející z popisné statistiky byly zpracovány v programu MS Excel 2016. Grafy byly vytvořeny v programu STATISTICA 13. Krabicové grafy slouží především k přehlednější orientaci ve výsledných hodnotách. Pro porovnání závislosti rázové houževnatosti na hustotě byly použity grafy lineární regrese, které jsou doplněny o rovnici přímky ( $y$ ), korelační koeficient ( $r$ ) a koeficient determinace ( $r^2$ ). Pro statistické analýzy, analýzu rozptylu, byla použita hladina významnosti  $\alpha = 0,05$  %. Síla korelace se dá vyjádřit i verbálně, pro absolutní hodnotu  $r$  (Evans, 1996):

- 0,00 - 0,19 „velmi slabá“
- 0,20 - 0,39 „slabá“
- 0,40 - 0,59 „střední“
- 0,60 - 0,79 „silná“
- 0,80 - 1,00 „velmi silná“

## 5 Výsledky a diskuse

### 5.1 Vliv stanoviště

Z tabulky 6 je zjevné, že obě sledované oblasti dosáhly takřka stejných hodnot rázové houževnatosti. O 0,01 J/cm<sup>2</sup> vyšší hodnoty dosáhla oblast Plasy, kde byla naměřena i vyšší maximální hodnota 9,7 J/cm<sup>2</sup>. Při šetření jednofaktorovou ANOVOU bylo zjištěno, že vliv stanoviště na rázovou houževnatost je statisticky nevýznamný.

Tabulka 6: Vliv stanoviště na rázovou houževnatost

Rázová houževnatost	Plasy	Třeboň
Průměr (J/cm <sup>2</sup> )	4,2	4,1
Medián (J/cm <sup>2</sup> )	4,0	4,0
Směrodatná odchylka (J/cm <sup>2</sup> )	1,9	1,8
Rozptyl (J/cm <sup>2</sup> )	3,7	3,4
Variační koeficient (%)	46,0	45,1
Minimum (J/cm <sup>2</sup> )	0,3	0,3
Maximum (J/cm <sup>2</sup> )	9,7	8,0
Počet (ks)	539	398

Výsledky pro obě oblasti se shodují s dostupnou literaturou. Wagenführ (2002) uvádí, že se rázová houževnatost pohybuje v rozmezí od 1,5 do 13 J/cm<sup>2</sup>, jako střední hodnotu uvádí 4 J/cm<sup>2</sup>. Požgaj *et al.* (1997) uvádí pro rázovou houževnatost dřeva borovice lesní průměrnou hodnotu při 12% vlhkosti 4,6 J/cm<sup>2</sup>. Gandelová *et al.* (2002) a Matovič (1993) uvádějí hodnotu obecně jen pro borovici při 12% vlhkosti, a to 4,1 J/cm<sup>2</sup>. Gandelová *et al.* (2002) dodává, že při vlhkosti vyšší jak 30 % je rázová houževnatost 3,5 J/cm<sup>2</sup>. Novák (1997) uvádí hodnotu přerážecí práce 4 J/cm<sup>2</sup>.

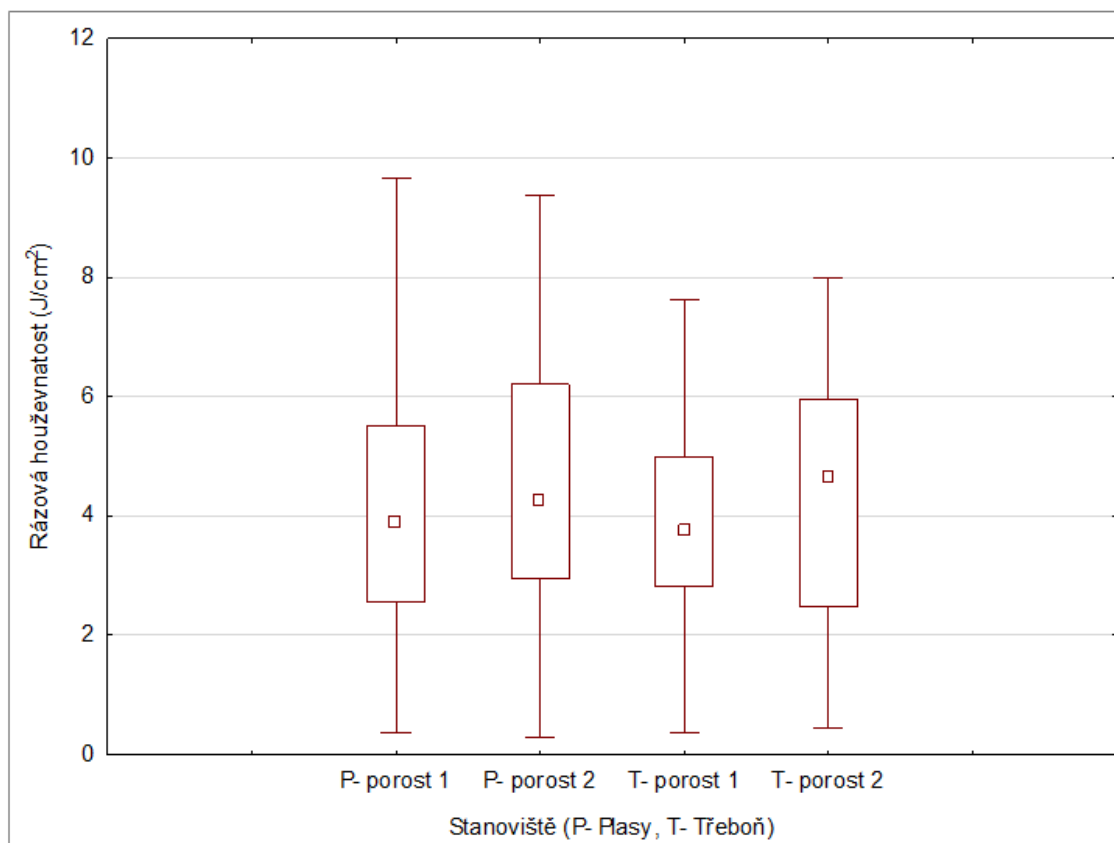
### 5.2 Vliv pěstebních opatření

Z tabulky (tab. 8) i krabicového grafu (obr. 13) je zřejmé, že nejvyšší rázové houževnatosti bylo dosaženo u porostu Plasy-2. Naopak nejnižší rázové houževnatosti dosáhl porost Třeboň-1. U všech porovnávaných porostů se setkáváme s poměrně velkou hodnotou variačního koeficientu a to od 42–46 %.

Tabulka 7: Popisná statistika – porovnání rázové houževnatosti mezi jednotlivými porosty

Rázová houževnatost	Plasy		Třeboň	
	Porost 1	Porost 2	Porost 1	Porost 2
Průměr (J/cm <sup>2</sup> )	4,0	4,5	3,9	4,2
Medián (J/cm <sup>2</sup> )	3,9	4,3	3,8	4,6
Směrodatná odchylka (J/cm <sup>2</sup> )	1,9	2,0	1,7	2,0
Rozptyl (J/cm <sup>2</sup> )	3,4	4,0	2,7	3,9
Variační koeficient (%)	46,3	44,9	42,3	46,6
Minimum (J/cm <sup>2</sup> )	0,3	0,4	0,4	0,4
Maximum (J/cm <sup>2</sup> )	9,4	9,7	7,6	8,0
Počet (ks)	302	237	176	222

Při zkoumání významnosti vlivu pěstebních opatření na rázovou houževnatost byl zjištěn statisticky významný vliv alespoň mezi dvěma porosty. V oblasti Plasy je tento vliv taktéž statisticky významný, ačkoliv v oblasti Třeboň tento vliv prokázán nebyl.



Obrázek 14: Krabicový graf – vliv stanoviště na rázovou houževnatost

### 5.3 Vliv hustoty

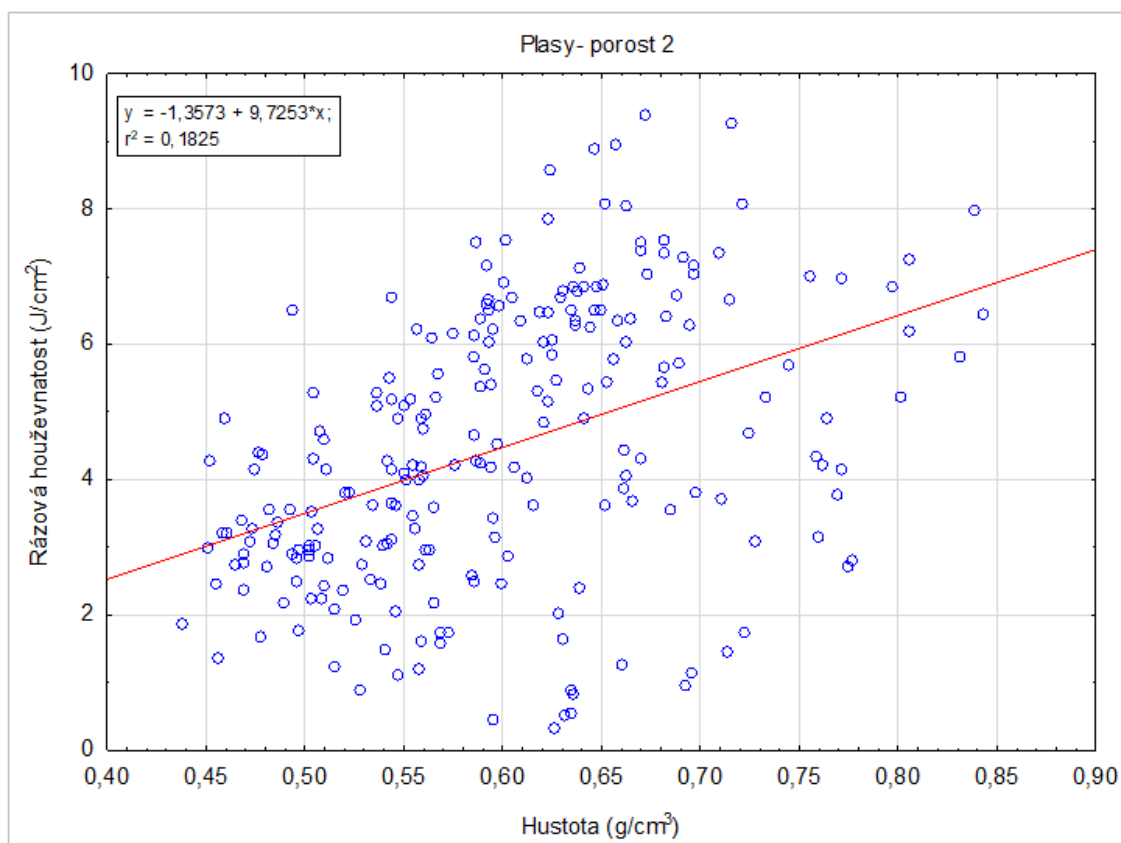
Z výsledků popisné statistiky je patrné, že největší hustoty bylo dosaženo u porostu Plasy – 2. Největší variační koeficient, vykazuje porost Plasy – 1 a nejnižší variabilitu Třeboň-porost 1 (tab. 8).

Tabulka 8: Popisná statistika – porovnání hustoty mezi jednotlivými porosty

Hustota	Plasy		Třeboň	
	Porost 1	Porost 2	Porost 1	Porost 2
Průměr (g/cm <sup>3</sup> )	0,526	0,599	0,553	0,564
Medián (g/cm <sup>3</sup> )	0,516	0,593	0,559	0,566
Směrodatná odchylka (g/cm <sup>3</sup> )	0,0808	0,0881	0,0693	0,0865
Rozptyl (g/cm <sup>3</sup> )	0,007	0,008	0,005	0,007
Variační koeficient (%)	15,4	14,7	12,5	15,3
Minimum (g/cm <sup>3</sup> )	0,376	0,439	0,418	0,401
Maximum (g/cm <sup>3</sup> )	0,944	0,844	0,726	0,902
Počet (ks)	302	237	176	222

Na obrázku (obr.15) je znázorněna lineární závislost rázové houževnatosti na hustotě u porostu Plasy- 2. Kde korelační koeficient (r) dosáhl hodnoty 0,4286, což značí střední závislost. Velmi podobné hodnoty bylo dosaženo i u porostu Třeboň- 1. Vyšších hodnot, avšak stále střední závislosti dosáhl porost Plasy- 1 (r= 0,5549). Nejvyšší korelační koeficient vykázal porost Třeboň-2 a to 0,7376, zde se jedná o silnou závislost. Ačkoliv se jedná oproti prvním dvou zmíněným hodnotám a o výrazně vyšší hodnotu, ani o jednom porostu nelze prohlásit, že by rázová houževnatost byla velmi silně závislá na hustotě (tab. 9).





Obrázek 15: Lineární závislost rázové houževnatosti na hustotě

Z obrázku 15 je patrné, že se s rostoucí hustotou zvyšuje i rázová houževnatost. Schönfelder (2017) zkoumal taktéž rázovou houževnatost borovice lesní v oblasti Plasy, avšak u mladších stromů (věk 39 a 25 let). Pro oba jeho porosty mu vyšla silná a střední závislost rázové houževnatosti na hustotě ( $r = 0,6777$ ,  $r = 0,4368$ ). Požgaj *et al.* (1997) uvádí, že dřeva dosahující vysokých hodnot hustoty a pevnosti, se mohou při zkoušce rázové houževnatosti projevit jako křehká.

Tabulka 9: Rovnice regrese závislosti rázové houževnatosti na hustotě

Plasy		Třeboň	
Porost 1	Porost 2	Porost 1	Porost 2
$y = -2,7356 + 0,0128x$	$y = -1,3573 + 9,7253x$	$y = -1,8089 + 10,339x$	$y = -5,2862 + 16,893x$
$r = 0,5549$	$r = 0,4286$	$r = 0,4265$	$r = 0,7376$
$r^2 = 0,312$	$r^2 = 0,1825$	$r^2 = 0,1879$	$r^2 = 0,5441$

## 5.4 Vliv vertikální pozice

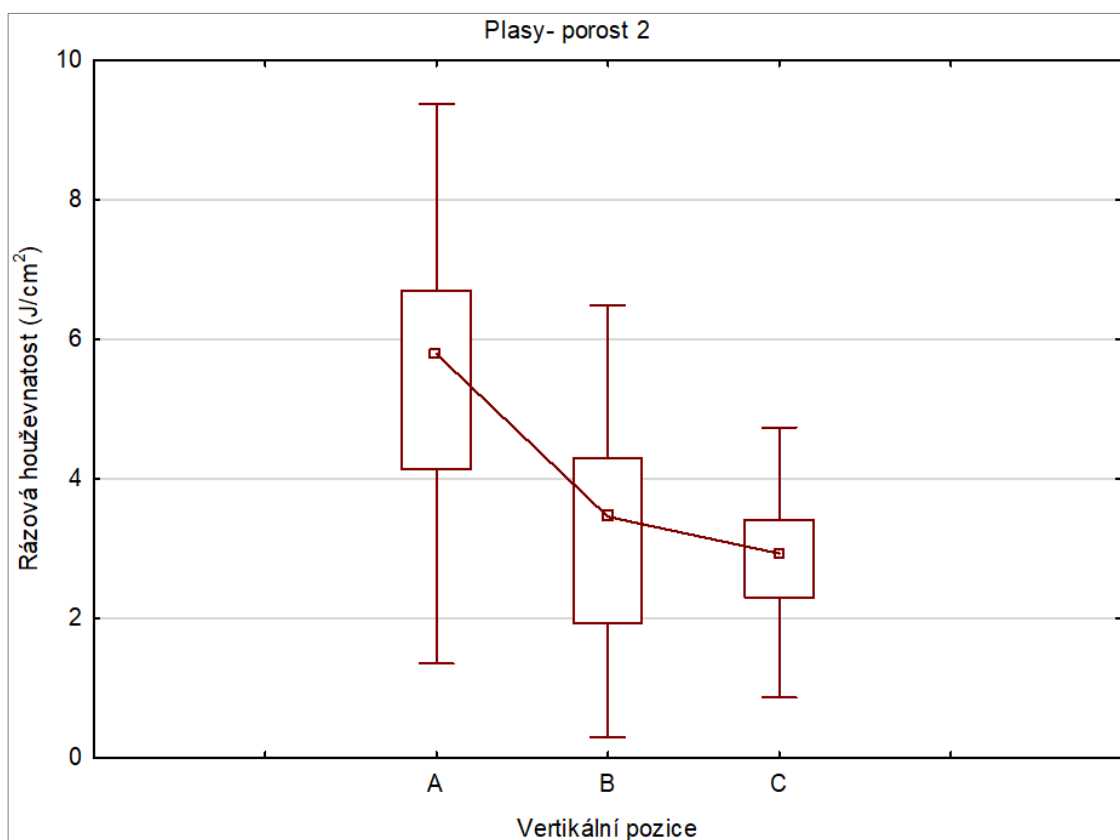
Při posuzování vlivu vertikální pozice v kmeni bylo u všech porostů dosaženo stejného trendu, a to takového, že hodnoty rázové houževnatosti byly nejvyšší u oddenkové části kmene – A, nižší u středové části – B a nejnižší ve 2/3 výšky stromu- C. Zároveň docházelo k vysoké míře variability napříč všemi porosty, kdy především u třetí sekce – C byl k dispozici menší počet vzorků, proto je nutné brát tento fakt v potaz. V tabulce 10 jsou uvedeny naměřené hodnoty rázové houževnatosti pro každý z porostů.

Tabulka 10: Popisná statistika – porovnání rázové houževnatosti vzhledem k vertikální pozici

Rázová houževnatost		Plasy		Třeboň	
		Porost 1	Porost 2	Porost 1	Porost 2
A	Průměr (J/cm <sup>2</sup> )	4,9	5,5	4,4	5,2
	Medián (J/cm <sup>2</sup> )	5,4	5,8	4,3	5,8
	Směrodatná odchylka (J/cm <sup>2</sup> )	1,9	1,8	1,6	1,7
	Rozptyl (J/cm <sup>2</sup> )	3,7	3,2	2,7	3,1
	Variační koeficient (%)	38,8	32,7	36,4	32,7
	Minimum (J/cm <sup>2</sup> )	0,6	1,4	0,6	1,0
	Maximum (J/cm <sup>2</sup> )	9,7	9,4	7,6	8,0
	Počet (ks)	155	139	114	129
B	Průměr (J/cm <sup>2</sup> )	3,1	3,2	3,2	3,4
	Medián (J/cm <sup>2</sup> )	3,2	3,5	3,3	3,3
	Směrodatná odchylka (J/cm <sup>2</sup> )	1,2	1,6	1,3	1,6
	Rozptyl (J/cm <sup>2</sup> )	1,4	2,6	1,6	2,5
	Variační koeficient (%)	38,7	50,0	40,6	47,1
	Minimum (J/cm <sup>2</sup> )	0,4	0,3	0,4	0,4
	Maximum (J/cm <sup>2</sup> )	5,6	6,5	5,3	6,5
	Počet (ks)	125	54	52	52
C	Průměr (J/cm <sup>2</sup> )	2,8	2,9	2,3	2,3
	Medián (J/cm <sup>2</sup> )	2,6	2,9	2,2	2,3
	Směrodatná odchylka (J/cm <sup>2</sup> )	1,2	0,9	1,3	0,9
	Rozptyl (J/cm <sup>2</sup> )	1,4	0,9	1,6	0,8
	Variační koeficient (%)	42,9	31,0	56,5	39,1
	Minimum (J/cm <sup>2</sup> )	0,6	0,9	0,4	0,6
	Maximum (J/cm <sup>2</sup> )	4,7	4,7	4,3	4,7
	Počet (ks)	22	44	10	41

U všech porostů bylo jednofaktorovou ANOVOU prokázán statisticky významný vliv vertikální pozice na rázovou houževnatost v ohybu.

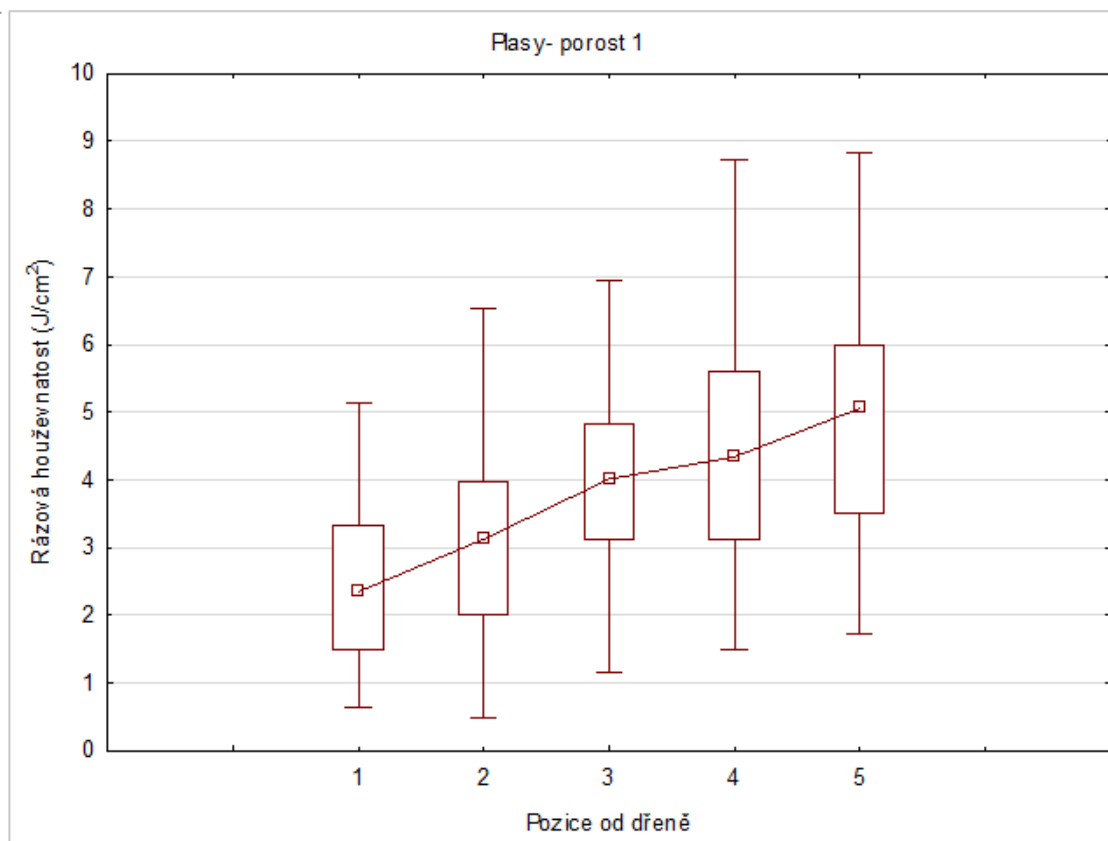
Z obrázku 16 je patrné, že se rázová houževnatost po výšce stromu snižuje. Zde se potvrdil fakt, že hustota dřeva se odráží u všech ostatních vlastností, a lze ji považovat za porovnávací faktor. Gandelová *et al.* (2002), uvádí, že po výšce stromu se hustota dřeva snižuje, což se potvrdilo i u těchto dat. Vojtěchovský (2018) zkoumal hustotu borovice lesní z oblasti Doksy, kde jeho naměřené hodnoty v závislosti na vertikální pozici v kmeni dosáhly stejného klesajícího trendu po výšce stromu.



Obrázek 16: Krabicový graf – vliv vertikální pozice na rázovou houževnatost

## 5.5 Vliv horizontální pozice

Z krabicového grafu (obr. 17) je patrné, že se rázová houževnatost směrem od dřeně k obvodu zvyšuje. Při zkoumání statistické významnosti vzdálenosti dřeva od dřeně při rázové houževnatosti byla u všech porostů zjištěna statistická významnost alespoň mezi dvěma sekcemi.



Obrázek 17: Krabicový graf – vliv horizontální pozice na rázovou houževnatost

Opět je zde patrná podobnost s hustotou, kdy se hustota u jehličnatých dřevin obecně od dřeně směrem k obvodu zvyšuje (Gandelové *et al.*, 2002). Vojtěchovský (2018) taktéž zaznamenal u obou porostů mezi pozicemi 1-3 téměř dokonalý lineární charakter. Dále od dřeně se však začala projevovat velká variabilita a u jednoho z porostů došlo ke klesajícímu trendu hustoty a u druhého naopak ke stoupajícímu.

## 5.6 Vliv světových stran

S výjimkou porostu Plasy- 1 je zřejmá větší rázová houževnatost na severní straně (tab. 10). Největšího rozdílu rázové houževnatosti mezi severní a jižní stranu bylo dosaženo u porostu Třeboň-1, a to o 0,5 J/cm<sup>2</sup> u tohoto porostu je zároveň nejnižší variační koeficient (39,3 %). Při zkoumání statistické významnosti bylo zjištěno, že u kromě porostu Třeboň-1 není vliv světových stran na rázovou houževnatost v ohybu statisticky významný. U porostu Třeboň- 1 byla prokázána statistická významnost.

Tabulka 11: Popisná statistika – porovnání rázové houževnatosti vzhledem k světovým stranám

Rázová houževnatost		Plasy		Třeboň	
		Porost 1	Porost 2	Porost 1	Porost 2
Sever	Průměr (J/cm <sup>2</sup> )	3,9	4,6	4,2	4,3
	Medián (J/cm <sup>2</sup> )	3,7	4,4	4,3	4,4
	Směrodatná odchylka (J/cm <sup>2</sup> )	1,9	2,0	1,8	1,9
	Rozptyl (J/cm <sup>2</sup> )	3,6	4,1	3,3	3,8
	Variační koeficient (%)	48,5	43,7	43,7	45,0
	Minimum (J/cm <sup>2</sup> )	0,6	0,5	0,4	0,6
	Maximum (J/cm <sup>2</sup> )	8,8	9,4	7,6	7,5
	Počet (ks)	137	117	85	116
Jih	Průměr (J/cm <sup>2</sup> )	4,1	4,3	3,7	4,2
	Medián (J/cm <sup>2</sup> )	3,7	4,4	4,3	4,4
	Směrodatná odchylka (J/cm <sup>2</sup> )	1,8	2,0	1,4	2,0
	Rozptyl (J/cm <sup>2</sup> )	3,3	3,9	2,1	4,1
	Variační koeficient (%)	44,5	45,9	39,3	48,6
	Minimum (J/cm <sup>2</sup> )	0,4	0,3	0,4	0,4
	Maximum (J/cm <sup>2</sup> )	9,7	8,9	7,2	8,0
	Počet (ks)	165	120	91	106

Lysý a Jírů (1954) uvádějí, že na severní straně je větší hustota dřeva. I v tomto případě by se dalo říct, že rázová houževnatost, až na výjimku porostu Plasy-1, kopíruje trend hustoty. K této problematice se bohužel zatím nevztahuje více dostupné literatury, obecně je však bráno, že vliv světových stran není z hlediska vlivu na vlastnosti dřeva statisticky významný.

## 6 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo posouzení vlivu aplikovaných pěstebních postupů a stanoviště na rázovou houževnatost v ohybu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.), a to ze dvou reprezentativních lokalit České republiky, Plasy a Třeboň, kdy z každé této oblasti byly vybrány 2 porosty. Při porovnávání vlivu stanoviště bylo prokázáno, že vyšší průměrné hodnoty rázové houževnatosti bylo dosaženo v oblasti Plasy a to 4,2 J/cm<sup>2</sup>. Oblast Třeboň dosáhla hodnoty 4,1 J/cm<sup>2</sup>. Vliv stanoviště byl vyhodnocen jako statistický nevýznamný.

Při zkoumání významnosti vlivu pěstebních opatření na rázovou houževnatost byl zjištěn statisticky významný vliv alespoň mezi dvěma porosty. Nejvyšší průměrná hodnota rázové houževnatosti byla naměřena u porostu Plasy – 2, a to 4,5 J/cm<sup>2</sup>. Porost Plasy-1 dosáhl hodnoty 4,0 J/cm<sup>2</sup> a porost Třeboň 2 hodnoty 4,2 J/cm<sup>2</sup>. Nejnižší hodnota byla zjištěna u porostu Třeboň – 1, a to 3,9 J/cm<sup>2</sup>. Naměřené hodnoty se shodují s dostupnou literaturou.

Kromě vlivu stanoviště byly posuzovány i další zdroje variability této pevnosti charakteristiky, a to vliv vertikální a horizontální pozice, světové strany, včetně vlivu hustoty. Tyto faktory byly vyhodnoceny pro každý porost zvlášť.

Výsledky posouzení vlivu hustoty na rázovou houževnatost potvrdily lineární závislost rázové houževnatosti na hustotě. Nejvyšší korelační koeficient vykázal porost Třeboň-2 a to 0,7376, což značí silnou závislost. U zbylých porostů byla vyhodnocena závislost rázové houževnatosti na hustotě jako střední. Výsledky vlivu vertikální pozice prokázaly, že se rázová houževnatost, stejně jako hustota po výšce stromu snižuje. Tento trend vykazovaly všechny zkoumané porosty. U vlivu horizontální pozice bylo zjištěno, že rázová houževnatost se směrem od dřeně k obvodu zvyšuje, ačkoliv dále od dřeně dochází k velké variabilitě výsledků. Tento zmíněný charakter opět vykázaly všechny porosty. Vliv vertikální i horizontální pozice se statisticky projevil jako nejednoznačný. Vliv světových stran, severní a jižní strany, na rázovou houževnatost se podle zkoumání v jednotlivých porostech liší, nebyl zde však nalezen žádný společný faktor těchto změn.

Jak je z výsledků patrné, některé faktory mohou mít výrazný vliv na rázovou houževnatost dřeva borovice lesní. Je důležité s těmito faktory v dřevařské praxi počítat, jelikož z nich lze vyvodit, v jaké části kmene se nachází dřevo s vyšší rázovou houževnatostí.

## 7 Seznam zdrojů

BARNETT, John R.; JERONIMIDIS G. *Wood Quality and its Biological Basis* [online]. Oxford: Blackwell Publishing, 2003 [cit. 2020-05-20]. ISBN 1-84127-319-8. Dostupné z:

<https://books.google.cz/books?id=NhwSMryGzY0C&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>

BITNER, Richard L. *Jehličnany: kapesní atlas*. Praha: Knižní klub, 2012. ISBN 978-80-242-3139-6.

BÍLEK, L. 2018. *Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky.*, 133 s.

COOMBES, A. *Trees*. Londýn: Dorling Kindersley Limited 80 Strand, 2004. 224 s. ISBN 978-80-7391-631-2.

ČSN 49 01 08. *Drevo: zisťovanie hustoty*. Praha: Český normalizační institut. 1993. 5 s.

ČSN 49 01 17. *Drevo: rázová húževnatost v ohybe*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 3 s.

ČUNDERLÍK, I. *Štruktúra dreva*. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-229-2061-5.

Doplňkový učební text: Pěstování lesa. In: *MENDELU: Lesnická a dřevařská fakulta* [online]. Brno: Ústav zakládání a pěstění lesů, 2001 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [http://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani\\_v\\_heslech/](http://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani_v_heslech/)

DUBOVSKÝ, J.; ČUNDERLÍK, I.; BABIAK, M. *Textúra, štruktúra a úžitkové vlastnosti dreva: návody na cvičenia pre 1. ročník Priemyselného designu nábytku*. Zvolen: Technická univerzita, 1992. ISBN 80-228-0221-2.

EVANS, James D., 1996. *Straightforward statistics for the behavioral sciences* [online]. Pacific Grove: Brooks/Cole Pub. Co [cit. 2020-05-5]. Dostupné z: <https://www.worldcat.org/title/straightforward-statistics-for-the-behavioral-sciences/oclc/32465263#borrow>

GANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P.; ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. Brno: MZLU Brno, 2002. 184 s.

KANTOR, P.; VRŠKA T.; DOBROVOLNÝ, L. NOVÁK, J. *Učební text: Pěstění lesů* [online]. Brno: Mendelu, 2014 [cit. 2020-03-05]. Dostupné z: [https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/Pesteni\\_skripta.pdf](https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/Pesteni_skripta.pdf)

LEXA, J.; NEČESANÝ, V.; PACLT, J.; TESAŘOVÁ, M.; ŠTOFKO, J. *Technologiadřeva I. – Mechanické a fyzikálne vlastnosti dřeva*. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.

LYSÝ, F.; JÍRŮ, P. *Nauka o dřevě*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1954. 758 s.

MATOVIČ, A. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993. ISBN 80-7157-086-9.

Ministerstvo zemědělství. *Výroční zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, [2019] [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/640937/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2018.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/640937/Zprava_o_stavu_lesa_2018.pdf)

Multimediální výukový materiál: Lexikon dřev. In: *MENDELU: Lesnická a dřevařská fakulta* [online]. Brno: Ústav nauky o dřevě, 2002 [cit. 2020-03-05]. Dostupné z: [http://ldf.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba\\_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=bo](http://ldf.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=bo)

MUSIL, I.; HAMERNÍK, J. *Jehličnaté dřeviny*. Vydání 1. Praha: Academia, 2007. 352 s. ISBN 978-80-200-1567-9.

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

Oblastní plán rozvoje lesů: *Přírodní lesní oblast – 6. Západočeská pánev*. In: UHUL [online]. Plzeň: ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ BRANDÝS NAD LABEM, 2001–2020 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [http://www.uhul.cz/images/ke\\_stazeni/oprl\\_oblasti/OPRL-LO06-Zapadoceska\\_pahorkatina.pdf](http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/oprl_oblasti/OPRL-LO06-Zapadoceska_pahorkatina.pdf)

Oblastní plán rozvoje lesů: *Přírodní lesní oblast – 15 b. Třeboňská pánev*. In: UHUL [online]. České Budějovice: ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ BRANDÝS NAD LABEM, 2001–2020 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [http://www.uhul.cz/images/ke\\_stazeni/oprl\\_oblasti/OPRL-LO15B-Trebonska\\_panev.pdf](http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/oprl_oblasti/OPRL-LO15B-Trebonska_panev.pdf)

PERELYGIN, L. M. *Nauka o dreve: L. M. Perelygin*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1965. 444 s.



POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydání Bratislava: Príroda, 1997: 485 s. ISBN 80-07-00960-4.

Profil taxonu: Borovice lesní. *BioLib* [online]. BioLib, 2019 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id2312/>

REINPRECHT, L.; PÁNEK, M.; PÁNEK, L. *Trvanlivost a ochrana dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. 133 s. ISBN 978-80-213-2660-6.

SKÁLOVÁ, J.; KOVAŘÍK, R.; BENEDIKT, V.; *Základní zkoušky kovových materiálů*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-623-1.

SLÁVIK, M; BAŽANT, M; BAŽANT V. *Dřevařská dendrologie I*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2622-4.

TÓTH, L.; ROSSMANITH, H.P.; SIEWERT, T. A. *Historical background and development of the Charpy test* [online]. [cit. 2020-03-04] Dostupné z WWW: [https://books.google.cz/books?id=Tg23LBRz4cMC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cz/books?id=Tg23LBRz4cMC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Učební text předmětu: Systematická botanika. In: *MENDELU: Lesnická a dřevařská fakulta* [online]. Brno: Ústav biologie rostlin, 2006 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_211\\_multitext/systematika/ucebni\\_text/system/nahosemenne/nahosemenne1.pdf](http://web2.mendelu.cz/af_211_multitext/systematika/ucebni_text/system/nahosemenne/nahosemenne1.pdf)

ÚRADNÍČEK, L.; MADĚRA, P.; TICHÁ, S.; KOBLÍŽEK, J. *Dřeviny České republiky*. Brno: Lesnické práce, s.r.o., 2009. 368 s. ISBN 978-80-87154-62-5.

VOJTĚCHOVSKÝ, F. *Vliv stanoviště na hustotu borovice lesní*. Praha, 2018. 41 s. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra základního zpracování dřeva. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Zeidler, PhD.

Výstupy národní inventarizace lesů: Zastoupení dřevin. In: *Národní inventarizace lesů* [online]. UHUL, 2015 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: [http://nil.uhul.cz/downloads/vysledky\\_projektu\\_nil2/zastoupeni\\_drevin\\_lp\\_cerven\\_2016.pdf](http://nil.uhul.cz/downloads/vysledky_projektu_nil2/zastoupeni_drevin_lp_cerven_2016.pdf)

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

WALLA, W. *Kurs technických znalostí: Zkoušení materiálu*. Státní nakladatelství technické literatury, 1961, (53), 112 s.

ZEIDLER, A.; BORŮVKA, V. *Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin – podklady pro cvičení*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2674-3.