

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra základního zpracování dřeva**



**Vliv pěstebních opatření na mechanické vlastnosti dřeva  
borovice lesní**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Ondřej Schönfelder**

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

© 2016 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Ondřej Schönfelder

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Vliv pěstebních opatření na mechanické vlastnosti dřeva borovice lesní**

Název anglicky

**Impact of Silvicultural Measures on Some Mechanical Wood Properties of Scots Pine**

---

### Cíle práce

Zhodnotit kvalitu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) z různých lokalit v České republice prostřednictvím vybraných mechanických vlastností. Posoudit především vliv pěstebních opatření, stanoviště a polohy v kmeni na posuzované vlastnosti.

### Metodika

- Zpracovat literární rešerši o zkoumané dřevině, hodnocených vlastnostech a o faktorech ovlivňujících jejich proměnlivost.
- Zajistit reprezentativní vzorky dřeva pro provedení zkoušek.
- Normalizovanými postupy na zkušebních tělesech stanovit především pevnost v tlaku, rázovou houževnatost, modul pružnosti v ohybu a ohybovou pevnost.
- Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.

## **Doporučený rozsah práce**

60 – 80 stran

## **Klíčová slova**

dřevo, mechanické vlastnosti, borovice lesní, pěstební opatření, variabilita

---

## **Doporučené zdroje informací**

- KOLLMANN, F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe – Erste Band. Berlin: Springer-Verlag, 1951. 1050 s.
- LEXA, J.- NEČESANÝ, V.- PACLT, J.- TESAŘOVÁ, M.- ŠTOFKO, J. Technologia dreva I. – Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.
- NOVÁK, V. Dřevařská technická příručka. Praha: SNTL, 1970. 748 s.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D, KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.
- TSOUMIS G. Science and technology of wood – structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall, 1991. 497 s.
- WAGENFÜHR, R. Holzatlas. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000. 707 s.
- ZOBEL, B. J., VAN BUITENEN, J. P. Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag. Berlin, 1989. 363 s.

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – FLD

## **Vedoucí práce**

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra základního zpracování dřeva

## **Konzultant**

Ing. Vlastimil Borůvka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2015

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

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2015

**prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 17. 04. 2016

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv pěstebních opatření na mechanické vlastnosti dřeva borovice lesní vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Zeidlera, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 19.4 2016

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za přínosné podněty, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vlastimilovi Borůvkovi, Ph.D. za pomoc při zpracování dat a vyhodnocování výsledků.

## Abstrakt

Smyslem této práce je posoudit vliv pěstebních opatření na vybrané mechanické vlastnosti borovice lesní z oblasti Doks a Plasy. Jednotlivé oblasti jsou charakterizovány porosty, které jsou typické pro danou lokalitu. Z oblasti Doks byly vybrány 3 porosty a z oblasti Plasy 2 porosty. Z každého porostu byly vybrány reprezentativní stromy, které byly skáceny, a byl z nich vyroben zkušební materiál. Na zkušebních vzorcích byla zjišťována hustota při 12% vlhkosti, mez pevnosti v ohybu, modul pružnosti v ohybu, rázová houževnatost v ohybu a mez pevnosti v tlaku ve směru vláken. Veškeré zkoušky probíhaly dle normalizovaných postupů. Pomocí statistických metod bylo zjištěno, že statisticky významné hodnoty v porovnání oblastí byly zjištěny pouze u hustoty. Zbylé zkoumané vlastnosti byly v rámci oblastí statisticky nevýznamné. Avšak při posouzení jednotlivých porostů analýzou rozptylu byl, ve většině posuzovaných vlastností shledán statisticky významný rozdíl. Z toho lze usuzovat, že vlastnosti dřeva borovice jsou závislé na stanovišti. Při posouzení vlastností v horizontální rovině kmene byly zjištěny výsledky statisticky významné, které se vyskytovaly u všech zkoušených vlastností. Z toho plyne, že poloha dřeva v kmeni má na mechanické vlastnosti vliv. Dále byly jednotlivé výsledky posuzovány z hlediska závislosti na hustotě dřeva. Ve většině případů se prokázala střední až vysoká závislost.

Klíčová slova: dřevo, mechanické vlastnosti, borovice lesní, pěstební opatření, variabilita

## **Abstract**

The purpose of this study is to assess the impact of silvicultural measures on selected mechanical properties of Scots pine of the area Doksy and Plasy. Each area is characterized by growths that are typical for the locality. From areas Doksy were selected 3 stands and 2 from Plasy region. For each crop were chosen representative of the trees that were cut down, and testing material was produced. On test samples was determined density at 12 % level moisture, modulus of rupture, modulus of elasticity, toughness and compression strength in the fiber direction. All tests were carried out by standardized procedures. Using statistical methods, it was found that a statistically significant value of compared areas were only in the density. The others properties which were examined in the areas are statistically insignificant. However, when assessing individual stands with ANOVA was generally for the most of properties found statistically significant difference. This suggests that the pine wood properties are dependent on location. In horizontal plane strain was found a statistical significance for all of the tested characteristics. That shows that the position of the wood in the stem has impact on the mechanical properties. Furthermore, the individual results were evaluated in terms of dependence on the density. Which resulted in the majority of cases middle to high dependency.

**Keywords** : wood, mechanical properties, Scots pine, silvicultural measures, variability

# 1 Obsah

<b>Seznam obrázků a grafů.....</b>	<b>11</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>14</b>
<b>Seznam použitých zkratk .....</b>	<b>16</b>
<b>2 Úvod .....</b>	<b>17</b>
<b>3 Cíl práce.....</b>	<b>18</b>
<b>4 Charakteristika borovice lesní – <i>Pinus sylvestris</i> .....</b>	<b>19</b>
4.1 Botanický popis.....	19
4.1.1 Rod: <i>Pinus</i> – borovice.....	19
4.1.2 Botanické zařazení borovice lesní .....	20
4.1.3 Borovice lesní (sosna) - <i>Pinus sylvestris</i> L.....	21
4.2 Dřevo borovice lesní .....	22
4.2.1 Charakteristika dřeva .....	22
4.2.2 Vlastnosti .....	23
4.2.3 Využití .....	23
4.2.4 Hustota.....	24
4.2.5 Pevnost v ohybu a modul pružnosti.....	25
4.2.6 Pevnost dřeva v tlaku podél vláken .....	26
4.2.7 Rázová houževnatost dřeva .....	27
4.2.9 Vliv prostředí na vlastnosti dřeva .....	29
<b>5 Metodika .....</b>	<b>30</b>
5.1 Charakteristika odběrových lokalit .....	30
5.2 Výroba zkušebních těles .....	33
5.2.1 Označení zkušebních vzorků .....	33
5.3 Zjišťování hustoty při dané vlhkosti .....	35
5.4 Zkouška rázové houževnatosti .....	36



5.5	Zkouška meze pevnosti ve statickém ohybu a modulu pružnosti .....	37
5.6	Zkoušení pevnosti dřeva ve směru vláken .....	39
5.7	Statistické analýzy.....	40
<b>6</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>41</b>
6.1	Hustota .....	41
6.1.1	Porovnání hustoty dřeva v daných oblastech.....	41
6.1.2	Porovnání hustoty dřeva v jednotlivých porostech.....	42
6.1.3	Porovnání hustoty dřeva v horizontální rovině kmenu v rámci oblastí ..	44
6.2	Mez pevnosti v ohybu .....	46
6.2.1	Porovnání daných oblastí z hlediska meze pevnosti v ohybu.....	46
6.2.2	Porovnání meze pevnosti mezi jednotlivými porosty.....	47
6.2.3	Porovnání meze pevnosti v ohybu v horizontální rovině kmenu v rámci oblastí .....	49
6.3	Modul pružnosti v ohybu .....	50
6.3.1	Porovnání modulu pružnosti v ohybu z hlediska daných oblastí.....	50
6.3.2	Porovnání modulu pružnosti mezi jednotlivými porosty.....	51
6.3.3	Porovnání hodnot modulu pružnosti v ohybu v horizontální rovině kmenu v rámci oblastí.....	53
6.4	Mez pevnosti v tlaku podél vláken.....	55
6.4.1	Porovnání meze pevnosti v tlaku v daných oblastech .....	55
6.4.2	Porovnání meze pevnosti v tlaku mezi jednotlivými porosty.....	56
6.4.1	Porovnání meze pevnost v tlaku ve směru vláken v horizontální rovině kmenu v rámci porostů .....	58
6.5	Rázová houževnatost v ohybu.....	59
6.5.1	Porovnání hodnot rázové houževnatosti v ohybu z hlediska oblastí .....	59
6.5.2	Porovnání hodnot rázové houževnatosti u jednotlivých porostů .....	60

6.5.3	Porovnání rázové houževnatosti v horizontální rovině kmenu v rámci porostů .....	62
6.6	Závislost vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva .....	64
6.6.1	Mez pevnosti v ohybu v závislosti na hustotě .....	64
6.6.2	Statický modul pružnosti v závislosti na ohybu .....	66
6.6.3	Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na hustotě .....	68
6.6.4	Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě.....	70
<b>7</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>73</b>
7.1	Hustota .....	73
7.2	Mez pevnosti v ohybu .....	74
7.3	Modul pružnosti v ohybu .....	74
7.4	Mez pevnosti v tlaku podél vláken.....	75
7.5	Rázová houževnatost.....	76
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Seznam zdrojů.....</b>	<b>78</b>
9.1	Literární zdroje.....	78
9.2	Internetové zdroje.....	79
9.3	Normy .....	80

## Seznam obrázků a grafů

Obrázek 1: Vlastnosti juvenilního dřeva .....	29
Obrázek 2: Geografická poloha těžebních oblastí .....	30
Obrázek 3: Procentuální zastoupení dřevin v PLO 18.....	31
Obrázek 4: Procentuální zastoupení dřevin v PLO 6.....	32
Obrázek 5: Označení vzorků.....	34
Obrázek 6: Označení vzorků.....	34
Obrázek 7: Přípravek pro zkoušku statické meze pevnosti v ohybu .....	37
Obrázek 8: ANOVA - porovnání hustoty v jednotlivých oblastech.....	42
Obrázek 9: ANOVA - porovnání hustoty v jednotlivých porostech - Doksy.....	42
Obrázek 10: ANOVA - porovnání hustoty v jednotlivých porostech - Plasy .....	43
Obrázek 11: ANOVA - porovnání hustoty v rámci poloměru kmene – Doksy .....	45
Obrázek 12: ANOVA - porovnání hustoty v rámci poloměru kmene – Plasy .....	45
Obrázek 13: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu v jednotlivých oblastech..	46
Obrázek 14: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu u jednotlivých porostů – oblast Doksy .....	47
Obrázek 15: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu u jednotlivých porostů – Plasy.....	48
Obrázek 16: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Doksy .....	49
Obrázek 17: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Plasy.....	50
Obrázek 18: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu dle jednotlivých oblastí .....	51
Obrázek 19: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu u jednotlivých porostů - oblast Doksy .....	52
Obrázek 20: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu u jednotlivých porostů - oblast Plasy .....	52
Obrázek 21: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Doksy .....	54
Obrázek 22: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Plasy .....	54

Obrázek 23: ANOVA - mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v jednotlivých oblastech .....	55
Obrázek 24: ANOVA - mez pevnosti v tlaku ve směru vláken mezi jednotlivými porosty - oblast Doksy .....	56
Obrázek 25: ANOVA - mez pevnosti v tlaku ve směru vláken mezi jednotlivými porosty - oblast Plasy .....	57
Obrázek 26: ANOVA - porovnání meze pevnosti v tlaku po poloměru kmene - oblast Doksy .....	58
Obrázek 27: ANOVA - porovnání meze pevnosti v tlaku po poloměru kmene – oblast Plasy .....	59
Obrázek 28: ANOVA - porovnání rázové houževnatosti v ohybu v jednotlivých oblastech .....	59
Obrázek 29: ANOVA - porovnání rázové houževnatosti mezi jednotlivými porosty – oblast Doksy .....	60
Obrázek 30: ANOVA - porovnání rázové houževnatosti mezi jednotlivými porosty - oblast 2 .....	61
Obrázek 31: ANOVA - porovnání rázové houževnatosti v ohybu po poloměru kmene – oblast Doksy .....	62
Obrázek 32: ANOVA - porovnání rázové houževnatosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Plasy .....	63
Obrázek 33: Závislost hustoty na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých oblastech ....	64
Obrázek 34: Závislost hustoty na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech – oblast .....	65
Obrázek 35: Závislost hustoty na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech – oblast Plasy .....	65
Obrázek 36: Závislost statického modulu pružnosti v ohybu na mezi pevnosti v ohybu – oblasti .....	66
Obrázek 37: Závislost statického modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech - oblast Doksy .....	67
Obrázek 38: Závislost statického modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech - oblast Plasy .....	68
Obrázek 39: Závislost meze pevnosti v tlaku na hustotě – oblasti .....	68

Obrázek 40: Závislost meze pevnosti v ohybu na hustotě v jednotlivých porostech - oblast Doksy .....	69
Obrázek 41: Závislost meze pevnosti v tlaku na hustě v jednotlivých porostech - oblast Plasy.....	70
Obrázek 42: Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě - oblasti.....	71
Obrázek 43: Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě v jednotlivých porostech - oblast Doksy.....	71
Obrázek 44: Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě v jednotlivých porostech - oblast Plasy .....	72

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Věkové zastoupení porostů v jednotlivých oblastech.....	32
Tabulka 2: Popisná statistika - porovnání hustoty v jednotlivých oblastech .....	41
Tabulka 3: Popisná statistika - porovnání hustoty v porostech .....	44
Tabulka 4: Popisná statistika - porovnání meze pevnosti v ohybu u jednotlivých oblastí .....	46
Tabulka 5: Popisná statistika - porovnání meze pevnosti mezi jednotlivými porosty..	48
Tabulka 6: Popisná statistika - porovnání modulu pružnosti v ohybu dle jednotlivých oblastí.....	51
Tabulka 7: Popisná statistika - porovnání modulu pružnosti v ohybu u jednotlivých porostů .....	53
Tabulka 8: Popisná statistika – porovnání meze pevnosti v tlaku mezi jednotlivými oblastmi.....	55
Tabulka 9: Popisná statistika - porovnání meze pevnosti v tlaku mezi jednotlivými porosty .....	57
Tabulka 10: Popisná statistika - porovnání rázové houževnatosti v jednotlivých oblastech .....	59
Tabulka 11: Popisná statistika - porovnání rázové houževnatosti mezi jednotlivými porosty .....	61
Tabulka 12: Rovnice regrese a korelační koeficient závislosti meze pevnosti v ohybu na hustotě - oblasti .....	64
Tabulka 13: Rovnice regrese a korelační koeficient závislosti mezi pevnosti v ohybu na hustotě – jednotlivé porosty .....	66
Tabulka 14: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti modulu pružnosti v ohybu na mezi pevnosti v ohybu - oblasti .....	66
Tabulka 15: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu – jednotlivé porosty .....	67
Tabulka 16: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti meze pevnosti v tlaku na hustotě - oblasti .....	69
Tabulka 17: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti meze pevnosti v tlaku na hustotě - jednotlivé porosty.....	70
Tabulka 18: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti rázové houževnatosti v ohybu na hustotě - oblasti .....	70

Tabulka 19: Regresní rovnice a korelační koeficienty závislosti rázové houževnatosti v ohybu na hustotě v jednotlivých porostech.....	72
---	----

## Seznam použitých zkratk

et al.	a kolektiv
tzv.	takzvaný
např.	například
tab.	tabulka
obr.	obrázek
PLO	přírodní lesnická oblast
m.n.m	metrů nad mořem
aj.	a jiné
SLT	soubor lesních typů



## 2 Úvod

Borovice lesní (*Pinus sylvestris*) je nejvíce rozšířený jehličnan severní části Evropy. Tato dřevina se vyskytuje ve všech členských státech Evropské unie, kde pokrývá přibližně 20 % z celkové plochy lesů, a proto je její dřevo ve zpracovatelském průmyslu velmi důležité, zejména v severských státech (Kask, 2015).

Pěstování lesa a kvalita dřeva jsou v České republice v současnosti chápány jako oddělené, samostatně stojící problematiky. V zahraničí je však situace naprosto odlišná. Problematika hodnocení vlivu pěstebních opatření na vlastnosti dřeva je nejen v Evropě stále aktuální, a to i v lesnický vyspělých zemích (Bílek, 2015). Hlavními problémy dřeva jako suroviny pro konečné využití jsou velké rozdíly ve vlastnostech, jako je hygroskopičnost a anizotropie dřevní hmoty. Borové dřevo má velké rozdíly v kvalitě a materiálových vlastnostech vztahujících se k pěstování lesů a růstové oblasti. Jak kvalitní materiál to je, lze popsat hlavně prostřednictvím vlastností dřeva, a proto je výzkum těchto specifických vlastností zcela evidentní. Nejdůležitější faktory ovlivňující vlastnosti dřeva jsou roční šířka letokruhů, hustota dřeva, podíl letního a jádrového dřeva, tlakového dřeva, obsah vlhkosti a přítomnost juvenilního dřeva, ale vady (suky, odklon vláken, trhliny ve dřevě atd.) jsou také důležité. Vlastnosti dřeva mají nezanedbatelný vliv na hmotnost, tvrdost, houževnatost a pevnost dřeva. Obecně lze říci, že bylo zjištěno, že vlastnosti dřeva jsou závislé na genetice, podmínkách pěstování a věku stromu. Kvalita rostoucích porostů nemůže být změněna přes jejich genotyp. Nicméně pěstební podmínky, jako je například prořezávání, hnojení stromů lze měnit, a to lze považovat za hlavní způsob pěstování lesů s cílem zlepšit růst a kvalitu jednotlivých porostů.

Tato práce vznikla za podpory Ministerstva zemědělství při programu „Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky“. Jejím cílem je posoudit vybrané mechanické vlastnosti borovice v závislosti na oblastech a porostech. Rozdíly vlastností dřeva jsou zkoumány mezi jednotlivými oblastmi a porosty, a to z hlediska mechanických vlastností v horizontální rovině kmene a zjištění významnosti severní a jižní strany kmene. Dále byla zkoumána závislost hustoty na posuzované mechanické vlastnosti.

### **3 Cíl práce**

1. Stanovit pevnost v tlaku, rázovou houževnatost, modul pružnosti v ohybu a ohybovou pevnost borovice lesní (*Pinus sylvestris*) v oblasti Doks a Plasy.
2. Porovnat výsledné hodnoty z hlediska jednotlivých oblastí.
3. Zhodnotit variabilitu výsledků mezi jednotlivými porosty v dané oblasti.
4. Stanovit zda orientace kmene vůči světovým stranám má vliv na mechanické vlastnosti dřeva.
5. Porovnat variabilitu výsledků v horizontální pozici kmene v závislosti na jednotlivých oblastech.

## 4 Charakteristika borovice lesní – *Pinus sylvestris*

### 4.1 Botanický popis

#### 4.1.1 Rod: *Pinus* – borovice

*Pinus* – rod jehličnatých dřevin z čeledi borovicovitých, jenž zahrnuje asi sto padesát druhů rostoucích převážně na severní polokouli. Borovice jsou stromy, zřídka keře s pravidelným přeslenitým větvením. Jsou světlomilné, adaptované na extrémní podmínky (skalní štěrbiny, přímořské písčné duny, vlhké těžší půdy, některé snášejí krátkodobé sežehnutí ohněm). Rostou od nížin vysoko do hor. Mají velmi dobře vyvinutý kořenový systém a dvojí typ větvení: prodloužené (auxiblasty) a zkrácené (brachyblasty) se svazečky jehlic. Listy jsou jehlicovité (vždyzelené) ve šroubovici, jednotlivé nebo ve svazečcích. Počet jehlic je nejčastěji po dvou, třech a pěti. Jehlice vytrvávají 3 - 6 let a obsahují pryskyřičné kanálky, které po rozemnutí ostře voní terpentýnem. Po opadnutí jehlic vznikají na větvích jizvy nebo vyniklé polštářky. Borovice jsou jednodomé, samčí a samičí šištice jsou na stejném jedinci, oddělené. Samčí šištice jsou postranní jednotlivé, nebo v přeslenech, samičí postranní, často přímo pod vrcholem. Po oplození vznikají šišky různého tvaru a velikosti, uzrávají většinou druhý rok. Zralé, dřevnaté a nerozpadavé šišky opadávají nebo vytrvávají suché na stromě po mnoho let. Semena jsou drobná, okřídlená, někdy velká a bezkřídlá (borovice limba - *Pinus cembra*). V ČR jsou původní dvojčetné borovice (dvě jehlice ve svazku), a to borovice lesní, nad horní hranicí lesa roste nízká borovice kleč (*Pinus mugo*), na rašeliništích borovice blatka (*Pinus rotundata*) (Abrahámová et. al. 1999; Čvančara et. al. 1997; Musil, 2003).

Z hlediska systematického rod dělíme do dvou podrodů:

1. ***Strobus*** – měkké borovice, jehlice převážně po 5 - má dvě sekce:
  - Sekce *Strobus* – jehlice na brachyblastech po pěti (*P. strobus*, *P. cembra*, *P. peuce*)
  - Sekce *Parrya* – kolísavý počet jehlic na brachyblastech (1-5) (*P. aristata*, *P. monophylla*)

2. ***Pinus*** – tvrdé, smolnaté borovice, jehlice na brachyblastech po dvou nebo třech, je složitější, dělí se na dvě sekce a deset podsekcí:

- Podsekcce *Sylvestris* - dvě jehlice na brachyblastu, v této podsekcce je zastoupeno nejvíc druhů (*P. sylvestris*, *P. mugo*, *P. nigra*)
- Podsekcce *Ponderosae* - má ve svazečku 3-5 jehlic (*P. ponderosa*, *P. jeffreyi*)
- Podsekcce *Pinea* - křídlo má redukováno na tenký lem

V lesích naší republiky jsou zastoupeny tři původní druhy: borovice lesní (*P. sylvestris*), borovice kleč (*P. mugo*) a borovice bahenní (*P. rotundata*), (Slávik, 2004).

#### **4.1.2 Botanické zařazení borovice lesní**

říše *Plantae* – rostliny

oddělení *Pinophyta* – jehličnany

třída *Pinopsida* – jehličnany

řád *Pinales* – borovicotvaré

čeleď *Pinaceae* - borovicovité

rod *Pinus* – borovice

druh *Pinus sylvestris* - borovice lesní

(www.biolib.cz, 2016)

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

V optimálních podmínkách dorůstá 40 m výšky a okolo 1 m výčetní tloušťky. Nízkého nebo keřovitého vzrůstu dosahuje na extrémních stanovištích. Pro borovice lesní v severní a severovýchodní části evropského areálu je typická štíhlá koruna s jemným větvením. Ve střední a jižní části kontinentu bývá často nesymetrická až deštníková, někdy pravidelně kuželovitá. Borovice horských a nížinných poloh mají nepravidelně utvářený kmen se silným větvením. Ve spodní oddenkové části je borka zpočátku šedá nebo šedohnědá, později šedorůžová a ve stáří rozčleněná do velkých desek, rozdělených hlubokými načernalými brázdami. V horní části se tenká borka, která dokáže odolávat i požárům odlupuje v tenkých rezavě červených až oranžových pásech. Letorosty jsou zprvu nazelenalé, hladké, lysé a málo lesklé, později šedohnědé. Pupy cca 1 cm dlouhé jsou protáhle vejčité, špičaté, obalené rezavými blanitými, většinou nesmolnatými šupinami. Jehlice jsou tuhé, vyrůstají po dvou na brachyblastu a jsou asi 1 – 8 cm dlouhé a 1 – 1,8 mm široké, špičaté, rovné nebo mírně stočené podél podélné osy. Na ploché břišní straně jsou šedozeleňé a na hřbetní vyklenuté straně tmavě zelené nebo namodrale šedozeleňé. Okraje jehlic jsou mírně pilovité (viditelné pouze lupou). Směrem ke konci letorostu jsou nahloučené a zpravidla opadávají po třech letech. Soliterní jedinci plodí od 15 let, v zápoji od 30-40 let. Semenné roky se opakují ve 3-4 letých intervalech a dokáže plodit až do 150 let. Dřevina kvete v květnu až počátkem června. Samčí šištice nejčastěji vyrůstají na krátkých bočních větvičkách v dolní části koruny. Samičí šištice vyrůstají na nejvitálnějších výhonech horní části koruny nebo na jejích osluněných částech. První se ukazují šištice samčí (oranžové), pak šištice samičí, karmínově zelené, 5-6 mm veliké. Samičí šištice po opylení do podzimu dorostou velikosti lískového ořechu, začátkem října druhého roku jsou semena zralá a vylétají zpravidla v předjaří třetího roku. Šiška se otevírá až z jara třetího roku, šišky jsou světle hnědé s vnitřní tmavší částí. Semeno je světle hnědé až černé, kulovitěho tvaru a je opatřeno kvalitním objímavým křídlem. Pro borovici je charakteristický mohutný kulový kořen sahající 1,5 – 3 m hluboko (v suchých, písčitých půdách ještě hlouběji), na podmáčených stanovištích jsou borovice zakořeněny pletce. Kořenový systém dobře ukotvuje

nadzemní část stromu, netrpí vývraty, a proto je považována za zpevňovací dřevinu (www.botany.cz, 2016).

Borovice lesní má mezi dřevinami nejrozšířenější areál výskytu na světě. Zabírá téměř celou Evropu a podstatnou lesnatou část Asie. Celková oblast rozšíření je 123° délkových a 30° šířkových, což odpovídá 1/3 severní polokoule. Jako původní dřevina chybí v Dánsku, severozápadní Francii, na Britských ostrovech se vyskytuje pouze ve Skotsku. Ve střední Evropě nemá zastoupení v maďarské nížině. Ostrůvkovité zastoupení má na Pyrenejském poloostrově, na Balkáně a v horstvech Malé Asie. Na východ zasahuje daleko na Sibiř. V České republice se původní borovice lesní vyskytuje pouze ostrůvkově zhruba na 5,4 % zalesněné plochy a její stávající výměra v lesním hospodářství je 17,6 % (Musil, 2003; www.botany.cz, 2016).

Řadí se mezi pionýrské dřeviny, je maximálně světlomilná a nedokáže tvořit zmlazení v zástínu. Je nenáročná na obsah humusu v půdě, a proto ji na úrodnějších půdách vytlačují dřeviny tolerantnější k zastínění. Dožívá se 300 let. Roste na chudých písčitých až kamenitých půdách. Na vodu není náročná, jelikož je ji schopna čerpat z poměrně velké hloubky. Pro svou silnou, ohni poměrně odolnou borku a schopnost klíčit a růst na půdě bez obsahu humusu je borovice první (pionýrskou) dřevinou objevující se po požárech. Dá se tedy říct, že požáry napomáhají šíření této dřeviny (Čvančara et. al., 1997; Kremer, 1995; Pokorný, 1990).

## **4.2 Dřevo borovice lesní**

### **4.2.1 Charakteristika dřeva**

Borovice lesní patří do skupiny dřevin jádrových. Na příčném řezu je jasně vidět světle žlutá běl (5 – 10 cm široká), která se střídá se žlutočerveným až červenohnědým jádrem, které na světle silně tmavne. Na příčném průřezu řezu kmene jsou jasně znatelné letokruhy a přechod mezi jarním a letním dřevem je postupný až náhlý. Jarní dřevo tvoří světlejší část letokruhu a je výrazně měkčí. Podíl jarního dřeva bývá vyšší. Letní dřevo, které tvoří tmavší část letokruhu, je výrazně tvrdší a má dvakrát až třikrát větší hustotu. Pryskeřičné kanálky jsou znatelné

v podobě bílých teček (větší než u smrku a modřínu). Na radiálním řezu je dřevo borovice výrazně pruhované a pryskyřičné kanálky jsou zde vidět jako jemné čárky. Tangenciální řez borovice se vyznačuje dekorativním fládrem a pryskyřičné kanálky jsou zde znázorněny též v podobě tenkých čárek (Wagenführ, 2002, Fellner et. al., 2007).

#### **4.2.2 Vlastnosti**

Borovice patří mezi středně těžké dřeviny (hmotnost sušiny  $510 \text{ kg.m}^{-3}$ ), borovice černá je o něco těžší ( $560 \text{ kg.m}^{-3}$ ). Má měkké až středně tvrdé dřevo. Borovice se rychle vyrovnává vlhkost dřeva s okolním klimatem. Podle Fellnera et.al. (2007) je bezsuké dřevo pevnější než smrk, ale vzhledem k nepravidelnému průběhu vláken a většímu počtu suků se tato výhoda v praxi neprojevuje. Dřevo borovice se snadno suší a opracovává, ale s ohledem na vysoký podíl pryskyřice často dochází k zanášení nástrojů. Po odstranění pryskyřice se dá dřevo dobře leštit a mořit. Trvanlivost jádra je střední až malá: běl je velmi náchylná k napadení houbami, které způsobují její zamodrávání, a proto je důležité borovici po jejím skácení rychle zpracovávat. Běl se nechá snadno impregnovat, jádro pak šatně až velmi špatně (Wagenführ, 2002; [www.old.vscht.cz](http://www.old.vscht.cz), 2016).

#### **4.2.3 Využití**

Po smrku je naší hospodářsky nejvyužívanější dřevinou, kterou lze používat rozmanitým způsobem, jako je stavební a konstrukční dřevo, vlákninu a k výrobě pražců a v neposlední řadě slouží truhlářům pro vybavení interiérů, pro výrobu nábytku a i pro výrobu dřevěných desek, lze z něj lepít stavební díly. Pro barevné rozdíly mezi jádrem a bělí, které se postupně s věkem zvětšují, a pro velký počet zarostlých suků se v interiérech používá pro navození rustikálního stylu. Z borovice se dosud těží pryskyřice na výrobu terpentýnu a kalafuny. Destilací se z ní připravuje dehet, loučový olej a silice. Spálením smolnatého dřeva pařezů a kořenů se získávají saze, které v minulosti sloužily k výrobě domácí tuše a tiskařské černi. Silice, jež obsahuje borovice, se využívají v medicíně, získávají se z pupenů a jehlic. Macerováním jehlic se v minulosti připravovalo tkanivo „sosnovka“, používané na výrobu pokrývek a kobereců. Nevýhodou borovice je dlouhodobé ronění pryskyřice u hotových výrobků. Impregnované dřevo borovice se často používá na stavbu dětských hřišť a výrobu sloupů. V podobě štěpek slouží jako energetické dřevo.

Piliny a hobliny se zpracovávají a slouží v podobě briket a pelet jako palivo. Na extrémních stanovištích zaujímá protierozní funkci. V sadovnictví se původní borovice vysazuje omezeně, a to jen ve vyšlechtěných ozdobných kultivarech (Musil, 2003; www.botany.cz, 2016; Fellner et.al., 2007).

#### 4.2.4 Hustota

Hustota dřeva udává hmotnost jeho objemové jednotky, přičemž se nejčastěji vyjadřuje  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  nebo  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (Požgaj, 1997). Gandelová et. al. (2002) uvádí, že množství vody v buněčných stěnách přímo ovlivňuje hustotu a tím i mechanické vlastnosti. Proto při sledování vlivu hustoty na pevnost vylučujeme vliv vody přepočtem na 12% nebo 0% vlhkost. Závislost mezi hustotou a mechanickými vlastnostmi dřeva je složitá, protože pevnost nezávisí pouze na množství dřevní substance v objemové jednotce, ale také na anatomické stavbě dřeva. Obecně platí, že se vzrůstající hustotou se pevnost dřeva zvyšuje. Tsoumis (1991) dokonce uvádí, že hustota může mechanické vlastnosti dřeva ovlivňovat ze 60 – 98%.

Hustota je dále ukazatelem vhodnosti použití dřeva pro takové účely, kde se vyžaduje například nízká hmotnost při vysoké pevnosti nebo pružnosti, při použití dřeva na výrobu hudebních nástrojů aj. Z uvedeného vyplývá, že poznatky o hustotě dřeva mají nejen teoretický, ale i praktický význam (Požgaj, 1997).

Dle Gandelové et. al. (2002) se dřevo borovice řadí mezi dřeviny s nízkou hustotou. Uvádí hustotu dřeva při 0% vlhkosti  $505\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a při 12% vlhkosti  $535\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Podle Wagenführa (2000) se hustota dřeva borovice lesní při 12% vlhkosti pohybuje od  $330 - 890\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  se střední hodnotou  $510\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , pro 0% vlhkosti uvádí hustotu v intervalu  $300 - 860\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  se střední hodnotou  $490\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Tsoumis (1991) uvádí hustotu při 0% vlhkosti  $410\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a při 10% vlhkosti hustotu  $432\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Dle Požgaje (1997) je hustota  $500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a dle Nováka (1970) dosahuje mokré dřevo borovice hustoty  $540\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a při 12% vlhkosti  $470\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Fellner et. al. (2007) uvádí hustotu  $510\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , Šimůnková (2000) v rozmezí  $470 - 500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .



#### 4.2.5 Pevnost v ohybu a modul pružnosti

Pevnost dřeva v ohybu je jednou z nejdůležitějších mechanických vlastností zohledňovaných zejména při navrhování dřevěných konstrukcí. Pevnost dřeva v ohybu kolmo na vlákna nachází v praxi široké uplatnění (nosníky, trámy, lamelové prvky apod.). Při zkoušení dřeva se zkušební tělesa orientují obvykle tak, aby zatěžující síla působila v tangenciálním směru. Rozdíly mezi pevnostmi dřeva v ohybu v radiálním a tangenciálním směru byly zjištěny jen u jehličnatých dřevin (pevnost v tangenciálním směru je o 10- 12 % větší než v radiálním směru) (Gandelová et. al., 2002).

Při ohybu ve dřevě vznikají dvě normálová napětí (tahová a tlaková napětí podél vláken) a tangenciální napětí (smykové napětí podél vláken). Normálová napětí dosahují maxima v krajních vláknech nejvíce vzdálených od středu a tangenciální napětí v neutrální zóně, která má probíhat středem tělesa (Perelygin, 1957). Vzhledem k tomu, že pevnost v tlaku podél vláken je mnohem menší než pevnost v tahu, začíná deformace tělesa v tlakové zóně vybočováním vláken. Konečné porušení tělesa probíhá v tahové zóně, kdy po překročení meze pevnosti dojde k odštěpení krajních vláken a následnému zlomení. Křehké dřevo má zlom téměř hladký. Dřevo houževnaté se vyznačuje zlomem vláknitým nebo třískovitým (Požgaj, 1997).

Mez pevnosti dřeva v ohybu kolmo na vlákna je větší než mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny a menší než tahová pevnost rovnoběžně s vlákny. Průměrná hodnota meze pevnosti v ohybu se pro domácí dřeviny uvádí v rozmezí 50 – 130 MPa, přičemž pokud je  $w = 12\%$  můžeme uvažovat s variabilitou 10 – 17%. Mez úměrnosti se pohybuje v rámci 1/2 až 1/3 z meze pevnosti (Gandelová et. al., 2002).

V ohybu se udává pouze modul pružnosti kolmo na vlákna a zkouší se jen v tangenciálním směru. Moduly pružnosti vyjadřují vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci. Čím je větší napětí tím, větší napětí je potřebné k vyvolání potřebné deformace (Požgaj, 1997).

Pevnost v ohybu se podle Wageföhra (2000) pohybuje v rozmezí 41 – 205 MPa se střední hodnotou 80 MPa. Dle Nováka (1970) je pevnost v ohybu při 12% vlhkosti 100 MPa a u mokrého dřeva 46 MPa. Gandelová et. al. (2000) uvádí pevnost

při 12% vlhkosti 86 MPa a při vlhkosti větší jak 30% 50 MPa. Dle Tsoumise (1991) je 98 MPa a Požgaj (1997) uvádí při 12% vlhkosti pevnost 100,1 MPa.

Podle Wagenführa (2000) je modul pružnosti v ohybu 12000 MPa a dle Požgaje (1997) je modul pružnosti v ohybu při 12% vlhkosti 10620 MPa.

#### **4.2.6 Pevnost dřeva v tlaku podél vláken**

Vanin (1949) charakterizuje pevnost v tlaku podél vláken jako nejvýznamnější v porovnání s ostatními směry zatížení. V praxi je zatížení podél vláken snadno proveditelné a ve spojení s poměrně vysokou pevností dřeva, má tlak rovnoběžně s vlákny široké uplatnění. Příkladem mohou být piloty, sloupy, důlní vzpěry, stavební nosníky atd. (Požgaj, 1997). Působením tlaku na těleso dojde k jeho deformaci, která se projevuje zkrácením jeho délky. Porušení většinou začíná vybočením jednotlivých vláken. Charakter a velikost deformace závisí na jakosti a stavbě dřeva. Velikost deformace u jehličnatých dřevin závisí především na spojení tracheid a jejich samotné pevnosti, především letních tracheid. Pevnost vláken převážně ovlivňuje střední vrstva S2 sekundární stěny. Důležitými faktory jsou především hustota a vlhkost dřeva. (Gandelová et. al., 2002; Perelygin, 1957).

U suchého dřeva s vysokou hustotou a tedy i s vysokou pevností vzniká zatížení porušením dřeva ve formě smyku. U dřeva vlhkého s nízkou hustotou a malou pevností dochází k odtlačení vláken na čelních plochách a k vybočení stěn zatěžovaných těles. Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny se u našich hospodářských dřevin pohybuje v rozpětí 30 -70 MPa. Největší průměrnou pevnost má akát, habr, případně dub a nejnižší topol a olše. Variabilita pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny kolísá v rozpětí 8 – 16% (Gandelová et. al., 2002; Požgaj, 1997).

Tsoumis (1991) uvádí pro pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken hodnotu 54 MPa, Wagenführ (2000) rozmezí 35 – 94 MPa se střední hodnotou 55 MPa a dle Gandelové et. al. (2002) je při 12% vlhkosti 48,5 MPa, při vlhkosti větší jak 30% 21 MPa. Podle Požgaje (1997) je pevnost 49,9 MPa a dle Nováka (1970) dřevo v mokřém stavu dosahuje pevnosti 25 MPa, při 12% vlhkosti 55 MPa.

#### 4.2.7 Rázová houževnatost dřeva

Houževnatost (nebo energie při dynamickém namáhání) se vyjadřuje jako odolnost dřeva proti náhlému zatížení na rozdíl od předchozích případů mechanických namáhání, kdy zatížení jsou statická nebo pomalu působící. Přerážecí práci charakterizuje schopnost dřeva odolávat rázovým zatížením a vyjadřuje spotřebovanou energii na přeražení dřeva definovaných rozměru. Cílem tohoto namáhání je zjistit velikost práce, která se spotřebovala na zlomení dřeva za daných podmínek. Spotřebovanou práci na přeražení dřeva vyjadřujeme na plochu tělesa tudíž ( $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ ). Pokud těleso rázové síle vzdoruje, mluvíme o tzv. houževnatosti dřeva (Babiak et. al., 2000; Perelygin, 1957; Požgaj, 1997).

Kvalitu dřeva můžeme posuzovat dle typu a tvaru zlomu po přeražení. Dřevo s vysokou houževnatostí vytváří vláknitý zlom. Dřevo s průměrnými vlastnostmi vytváří na tahové straně kratší vláknitý zlom. Křehké dřevo je typické svým tupým, nevláknitým až schodovitým zlomem. U křehkého dřeva vzniká malá deformace a zlom vzniká náhle (Gandelová et. al., 2002; Požgaj, 1997).

Na velikost rázové houževnatosti mají vliv různé faktory jako sklon vláken, vlhkost tělesa, teplota aj. Rázová houževnatost se stanovuje pro ohyb napříč vláken v tangenciálním směru. U dřevin s rozdílnou stavbou letokruhů (jehličnany a kruhovitě pórovité listnáče) se houževnatost stanovuje i v radiálním směru, kde bývá o 25 – 50% vyšší (Gandelová et. al., 2002).

Wagenführ (2000) uvádí rázovou houževnatost 1,5 – 13  $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$  se střední hodnotou 4  $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Dle Tsoumise (1991) je 6,9  $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$  a Gandelová et. al. (2000) uvádí při 12% vlhkosti 4,1  $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$  a při vlhkosti větší jak 30% 3,5  $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Dle Požgaje (1997) je rázová houževnatost při 12% 4,6  $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$  a dle Nováka (1970) je přerážecí práce 4  $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

#### 4.2.8 Juvenilní a vyztřelé dřevo

Juvenilní dřevo je obecně definována jako zóna dřeva vystupující ven od středu kmene, kde vlastnosti dřeva podstupují rychlé a progresivní změny. Během růstu se vlastnosti dřeva v každém letokruhu výrazně mění. Zralé dřevo se nachází v blízkosti kůry. Juvenilní dřevo se vytváří v prvních pěti až dvaceti letokruzích

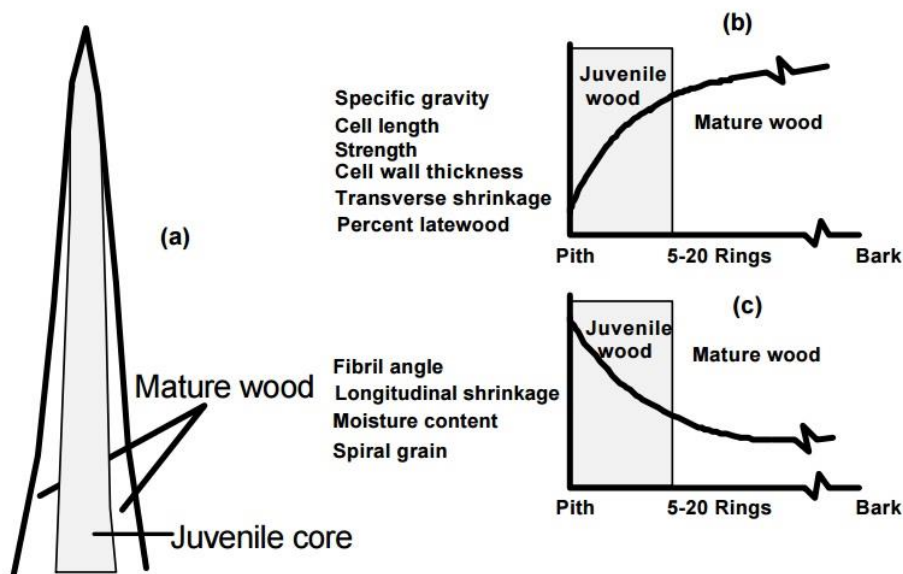
(www.prolignum.cz). Naproti tomu Larson (2001) tvrdí, že juvenilní dřevo u borovic je produkováno během prvního až třetího roku růstu. Poté se vytváří podobné, ale ne zcela identické dřevo v jádru kmene na všech výškových úrovních. Zobel a Sprague (1989) vysvětlují, že juvenilní dřevo není spjato pouze s růstem mladých stromů, ale nachází se také v blízkosti vrcholů starších stromů. Vztahuje se k počtu letokruhů od dřeně a není závislý na věku stromu.

Během přechodného období od pěti do dvaceti let se vlastnosti vyprodukovaného dřeva postupně zlepšují, až se stanou relativně konstantní. Tento materiál je známý jako zralé dřevo.

U jehličnanů má juvenilní dřevo ve srovnání se zralým dřevem:

- Nižší pevnost
- Vyšší podélné smrštění
- Vyšší podíl reakčního (tlakového) dřeva
- Nižší měrnou hmotnost
- Tenčí buněčné stěny a široký lumen
- Větší úhel firbil
- Kratší délku tracheid, které mohou být uloženy spirálově
- Vysoký obsah vlhkosti
- Nižší trvanlivost dřeva, než se začnou ukládat jádrové látky
- Nižší obsah celulozy
- Vyšší obsah ligninu
- Nižší procento letního dřeva

(Kretschmann et al., 1998)



**Obrázek 1: Vlastnosti juvenilního dřeva** (Kretschmann et al., 1998)

U juvenilního dřeva jsou tracheidy relativně krátké a tenkostěnné. Juvenilní dřevo proto vykazuje oproti normálnímu dřevu nižší hustotu, pevnost i tuhost a výrazně větší míru sesychání v podélném směru. Jádrové dřevo někdy pozůstává pouze z juvenilního dřeva, které vykazuje nízkou jakost s ohledem na mechanické vlastnosti. Proto u mladých, rychle rostoucích stromů s vysokým podílem juvenilního dřeva může jádrové dřevo vykazovat horší jakost než bělové dřevo. Juvenilní dřevo doposud nepředstavovalo pro dřevěné konstrukce žádný problém. S častějším používáním rychle rostoucích dřevin z plantáží s krátkými mýtními obdobími, budou problémy vyplývající z juvenilního dřeva narůstat ([www.prolignum.cz](http://www.prolignum.cz)).

#### 4.2.9 Vliv prostředí na vlastnosti dřeva

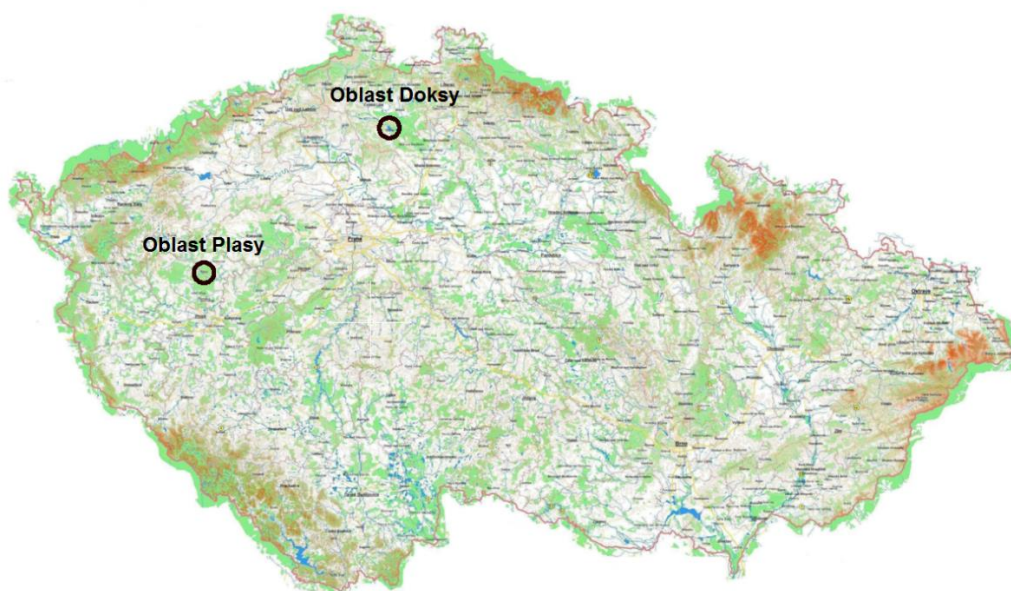
Nejvýznamnější faktory, jež ovlivňují stavbu dřeva, jsou vnější vlivy a vlivy životního prostředí. Vnější vlivy v podobě větru vyvolávají mechanické zatížení, které má vliv na strukturální vlastnosti dřeva, jako je například tloušťka buněčné stěny. Avšak faktory životního prostředí ovlivňují strukturu dřeva stromu mnoha jinými způsoby. Prostor zahrnuje velkou různorodost faktorů, které působí na strom, jako je například půdní systém (vlhkost a živiny v půdě) nebo nad světlo a teplota. Tyto faktory vytvoří mikroprostředí, ve kterém každý jednotlivý strom roste. Mikroprostředí není po celou dobu životnosti stromu stejné, ale může se měnit a tím přispívá k různému vývoji struktury dřeva při jeho růstu. Pomocí pěstebních opatření

(vzdálenost výsadby jednotlivých stromů, prořezávání, hnojení, atd.) lze toto prostředí měnit. Výsledkem je, že se sousední stromy mohou výrazně lišit v rámci šířky letokruhu a tím i velikostí podílu letního dřeva. Bylo zjištěno, že stromy s vyšším podílem letního dřeva mají lepší mechanické vlastnosti a vyšší hustotu dřeva (Tsoumis, 1991).

## 5 Metodika

### 5.1 Charakteristika odběrových lokalit

V roce 2015 proběhl výběr a těžba reprezentativních stromů borovice lesní ve dvou přírodních lesních oblastech a to v PLO 18 - Severočeská pískovcová plošina a Český ráj a v PLO 6 – Západočeská pahorkatina.



**Obrázek 2: Geografická poloha těžebních oblastí**

První těžba se uskutečnila v porostech PLO 18 v majetku Městských lesů Doksy. Těžba proběhla ve třech porostech reprezentujících odlišné způsoby obnovy, pěstební výchovy či stanoviště. Celkem bylo skáceno ze tří porostů 21 reprezentativních jedinců charakterizujících oblast. PLO 18 se nachází v nadmořské výšce 450 m.n.m., kde průměrný úhrn srážek je 550 mm a průměrná roční teplota se pohybuje v rozmezí 7-8°C. Mateční horninou jsou kvartérní pískovce s nedostatkem živin (Novák & Slodičák, & David Dušek, 2011).



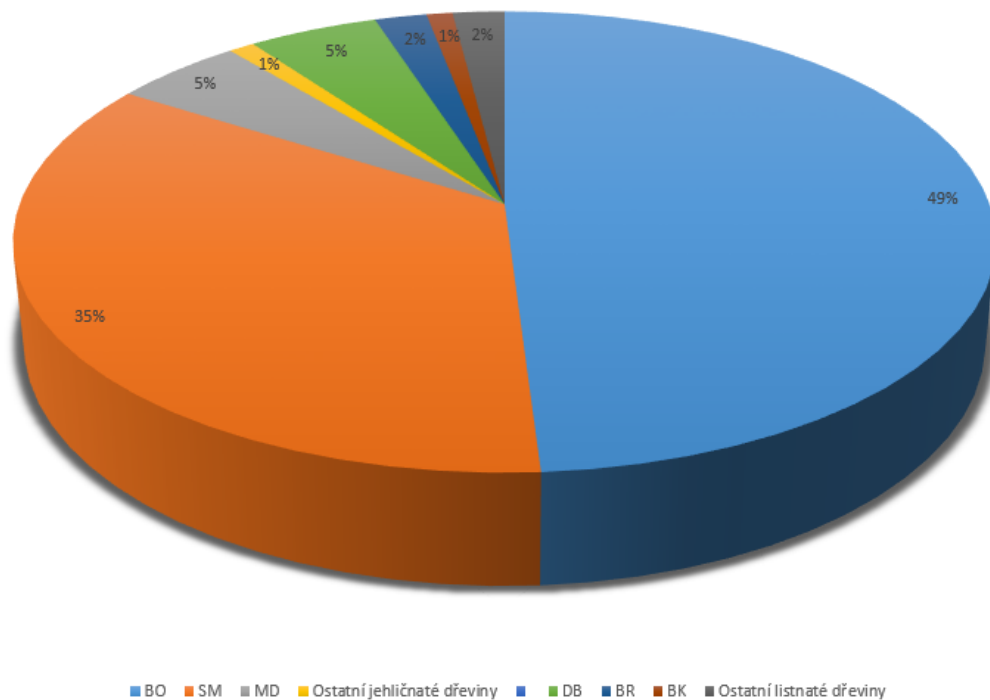
**Obrázek 3: Procentuální zastoupení dřevin v PLO 18**

V PLO 6 proběhla druhá těžba v porostech majetku LČR, s.p., lesní správy Plasy. Opět se jednalo o tři porosty reprezentující tři odlišné způsoby obnovy v minulosti. Celkem bylo skáceno ze dvou porostů 14 reprezentativních jedinců charakterizujících oblast. PLO 6 se nachází v oblasti s nadmořskou výškou 420 m.n.m., s úhrnem ročních srážek okolo 491 mm. Průměrná roční teplota se pohybuje v rozmezí 7,4°C. Oblast se geologicky řadí mezi karbonské pískovce, které jsou na živiny chudé až velmi chudé.

Doksy	Věk	STL	Pěstební postup	Plasy	Věk	STL	Pěstební postup
Porost 1	25	OK4	Podroštní	Porost 1	36	4Q1	Podroštní
Porost 2	49	OK4	Holosečný	Porost 2	25	4Q1	Holosečný
Porost 3	47	2K5	Holosečný				

**Tabulka 1: Věkové zastoupení porostů v jednotlivých oblastech**

**Zastoupení dřevin v oblasti PLO 6**



**Obrázek 4: Procentuální zastoupení dřevin v PLO 6**

Ze dvou oblastí bylo celkem vytěženo 35 stromů, přičemž 21 stromů pocházelo z oblasti Doks a zbytek z oblasti Plasy. Před skácením jednotlivých stromů byl na borce reflexním sprejem označen sever. Po skácení stromů byl celý kmen odvětvěn. Ze surových kmenů byl odříznut oddenek o délce 1,5 m. V případě, že čepová část dosahovala v 1/3 délky kmene minimálně průměru 150 mm, pak byl odříznut i výřez ze středové části kmene. Jednotlivé výřezy byly popsány identifikačním kódem – číslo stromu, druh výřezu a na borce se označil sever. Veškeré výřezy se shromáždily na manipulační místo. Z jednotlivých výřezů byly vyrobeny středové fošny o tloušťce 60mm. Přířezy byly označeny identifikačním kódem – číslo stromu a druh



výřezu. Takto označené fošny byly převezeny do Roudnice nad Labem, kde se složily do hraně a nechaly tři měsíce přirozeně proschnout.

## **5.2 Výroba zkušebních těles**

Po vyschnutí řeziva po požadovanou vlhkost cca 15% byly fošny převezeny do truhlárny. Řezivo se nejprve orovnalo na srovnávací frézce a identifikační kód se přepsal na ohoblovanou plochu. Následně se na tloušťkovací frézce jednotlivé fošny skalibrovaly na požadovanou tloušťku 20 mm. Na formátovací pile se připravený materiál podélně rozřízl. Řez byl veden přes dřev, aby se oddělila jižní a severní část. Následně se obě půlky popsaly kódem – sever/jih, číslo stromu a druh výřezu. Formátovací pilou byly jednotlivé půlky rozřezány na laťky o požadovaném průřezu 20x20 mm. Vyrobené laťky byly opět popsány a v identifikačním kódu přibyl popis vzdálenosti vzorku od dřevě. Následně se jednotlivé laťky krátily dle požadované délky a popisovaly kódem. Po nařezání byly jednotlivé vzorky roztříděny. Zkušební tělesa, která svojí kvalitou splňovala normu, byla převezena do laboratoře, aby byla dle normalizovaných postupů odzkoušena. V laboratoři byla tělesa klimatizována na rovnovážnou vlhkost 12%.

Ze všech 48 přířezů byly vyrobeny zkušební vzorky, jejichž rozměry odpovídají normám pro jednotlivé zkoušky. Tělesa pro zkoušku hustoty, a pevnosti v tlaku mají rozměr 20 x 20 x 30 mm. Zkušební vzorky pro rázovou houževnatost a pevnost v ohybu mají rozměr 20 x 20 x 300 mm a svojí dimenzí splňují normu ČSN 49 0012. Dále byla vyrobena tělesa pro fyzikální zkoušky, která nebyla smyslem této práce.

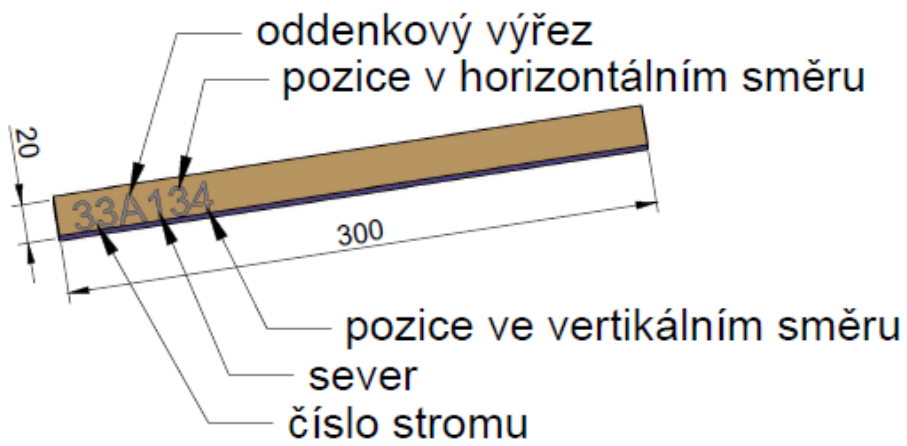
Celkem bylo vyrobeno 1629 zkušebních těles pro tlak a hustotu, 350 vzorků pro rázovou houževnatost a pro pevnost v ohybu 435 těles.

### **5.2.1 Označení zkušebních vzorků**

Veškeré zkušební vzorky byly v průběhu výroby označeny pětimístným identifikačním kódem tak, aby se mohla zpětně po naměření všech hodnot určit poloha vzorku v kmeni. Postup výroby zkušebních těles probíhal směrem od dřevě ke kambiu.



Obrázek 5: Označení vzorků



Obrázek 6: Označení vzorků

### 5.3 Zjišťování hustoty při dané vlhkosti

#### Příprava zkušebních těles:

Celkem bylo připraveno 993 těles z borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Tvar těles byl pravouhlý hranol o velikosti základny 20 x 20 mm a délce ve směru vláken 300 mm.

#### Postup zkoušky: Dle normy ČSN 49 0108

- 1) Pro zjištění hustoty byla při zkoušce použita tělesa pro bobtnání.
- 2) U těchto vzorků přeměříme digitálním posuvným měřítkem půdorysné rozměry a výšku s přesností 0,01mm. Z naměřených rozměrů spočítáme objem těles.
- 3) Zkušební vzorky převážíme na digitálních vahách s přesností 0,001g.
- 4) Pomocí objemu a váhy spočítáme hustoty daných vzorků při vlhkosti  $w$  podle následujícího vzorce:

$$\rho_w = \frac{m}{V}$$

- 5) Tělesa, která neměla počáteční vlhkost 12%, přepočítáme na hustotu při vlhkosti 12 % podle vzorce:

$$\rho_{12} = \rho_w \left[ 1 - \frac{(1-K) \cdot (w-12)}{100} \right] , K = 0,00085 \cdot \rho_w$$

## 5.4 Zkouška rázové houževnatosti

### Příprava zkušebních těles:

Celkem bylo připraveno 350 těles z borovice lesní (*Pinus sylvestris.*). Tvar těles byl pravoúhlý hranol o velikosti základny 20 x 20 mm a délce ve směru vláken 300 mm. Jedna strana musí být radiální a jedna tangenciální.

### Zkušební zařízení:

Charpyho kladivo (50 J) se vzdáleností podpěr pro uložení zkušebního tělesa  $240 \pm 1$  mm, výškou podpěr minimálně 20 mm a poloměrem zaoblení obou podpěr a beranu 15 mm.

**Postup zkoušky:** Postupujeme dle normy ČSN 49 0117

- 1) Na zkoušeném tělese narýsujeme ve středu tangenciální plochy kolmici na nejdelší hranu tělesa. Pomocí digitálního posuvného měřítka změříme rozměry základny v místě narýsované čáry. Poznamenejme si zvláště délky v radiálním a tangenciálním směru. Dále pomocí pravítka změříme délku nejdelší strany zkušebního tělesa. Na digitálních vahách těleso zvážíme.
- 2) Zkušební těleso vložíme mezi podpěry v Charpyho kladivu tak, aby námi narýsovaná ryska byla naproti vrcholu beranu kladiva. Zdvihneme beran do horní úvratě, až ho zachytí západka. Ujistíme se, že je ručička určující hodnotu energie v základní poloze. Spustíme beran uvolněním západky a po přeražení tělesa odečteme hodnotu energie.
- 3) V další části určujeme vlhkost zkušebního tělesa v době zkoušky. V této části jsme se odchýlili od normy tím, že jsme použili vlhkost těles určených pro zkoušku hustoty. Tato tělesa byla vystavena stejným podmínkám, a tudíž předpokládáme, že vlhkost je shodná.
- 4) Veškerá výše uvedená měření provádíme u všech 350 zkoušených těles.
- 5) Po dosazení do následujícího vzorce vypočteme rázovou houževnatost:

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

kde  $A_w$  [ $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ ] je rázová houževnatost,  $Q$  [J] je práce vynaložená na porušení zkušební tělesa a  $b$ ,  $h$  [mm] jsou rozměry v radiálním a tangenciálním směru.

6) Dále pokračujeme přepočtem rázové houževnatosti na 12 % vlhkost.

$$A_{12} = A_w(1 + \alpha(w - 12))$$

kde  $A_{12}$  [ $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ ] je rázová houževnatost při 12 % vlhkosti,  $\alpha$  opravný koeficient (pro všechny dřeviny 0,02),  $w$  vlhkost vzorku v době měření v procentech.

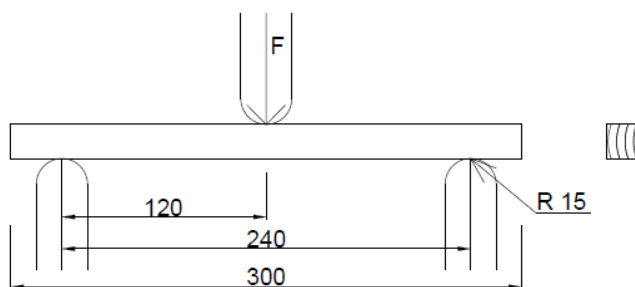
## 5.5 Zkouška meze pevnosti ve statickém ohybu a modulu pružnosti

### Příprava zkušebních těles:

Celkem bylo připraveno 435 těles z borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Tvar těles byl pravoúhlý hranol o velikosti základny 20 x 20 mm a délce ve směru vláken 300 mm.

### Zkušební zařízení:

Zkouška byla provedena na univerzálním trhacím stroji. Stroj byl osazen přípravkem skládajícím se ze dvou podpěr a zatěžovacího trnu dle obr. 7.



Obrázek 7: Přípravek pro zkoušku statické meze pevnosti v ohybu

**Postup zkoušky:** Postupujeme dle normy ČSN 49 0116

- 1) Na zkoušeném tělese narýsujeme ve středu tangenciální plochy kolmici na nejdelší hranu tělesa. Pomocí digitálního posuvného měřítka změříme rozměry základny v místě narýsované čáry. Poznamenanáme si zvláště tloušťky v radiálním a tangenciálním směru. Dále pomocí pravítka změříme délku nejdelší strany zkušební tělesa a na digitálních vahách zvážíme těleso.
- 2) Zkušební těleso vložíme mezi podpěry přípravku v trhacím stroji tak, aby námi narýsovaná čára byla v ose zatěžovacího trnu, jako je tomu na obrázku 7. Trn působí na radiální plochu. Zkontrolujeme, jestli je trn trhacího stroje v nulové pozici a uvedeme stroj do chodu. Stroj spouští trn proti podpěrám konstantní rychlostí až do doby, kdy je porušena pevnost vzorku. Tuto skutečnost poznáme tak, že se zkoušené těleso přelomí nebo poklesne zatěžovací síla o 10% a trn stroje se automaticky vrátí zpět do nulové pozice. V počítačovém programu TIRA se nám objeví  $F_{max}$ , jež dále využijeme pro výpočet napětí. Celková doba zatěžování musí být maximálně  $(1 \pm 0,5)$  min.
- 3) Dále určujeme vlhkost zkušební tělesa v době zkoušky. V této části jsme se odchýlili od normy tím, že jsme použili vlhkost těles určených pro bobtání. Tato tělesa byla vystavena stejným podmínkám, a tudíž jsme usoudili, že vlhkost bude shodná.
- 4) Veškerá výše uvedená měření provádíme u všech 435 zkoušených těles.
- 5) Dosadíme do následujícího vzorce a dopočteme hodnotu statické meze pevnosti v ohybu za vlhkosti v momentu zkoušky  $\sigma_w$ .

$$\sigma_{ohw} = \frac{3 \cdot F \cdot l_o}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

kde  $\sigma_w$  [MPa] je mez pevnosti v ohybu,  $F$  [N] maximální hodnota zatížení,  $l_o$  [mm] vzdálenost středů podpěr,  $b$  [mm] šířka zkušební tělesa (šířka radiální plochy),  $h$  [mm] výška zkušební tělesa (šířka tangenciální plochy).

Dále pokračujeme přepočtem na mez pevnosti při 12 % vlhkosti:

$$\sigma_{12} = \sigma_w(1 + \alpha(w - 12))$$

kde  $\sigma_{12}$  [MPa] je mez pevnosti v ohybu při 12 % vlhkosti,  $\alpha$  opravný koeficient (0,04),  $w$  vlhkost vzorku v době měření v %.

Dále zjišťujeme modul pružnosti v ohybu při dané vlhkosti:

$$E_{ohw} = \frac{\Delta F \cdot l_o^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \Delta y}$$

kde  $\Delta F$  [N] je rozdíl zatížení při 40% a 10%,  $\Delta y$  je rozdíl velikosti průhybů (deformace) při 40% a 10% zatížení.

Následně pokračujeme přepočtem modulu pružnosti při 12% vlhkosti:

$$E_{oh12} = \frac{E_{ohw}}{1 - \alpha(w - 12)}$$

kde  $\alpha$  je opravný koeficient (0,01),  $w$  vlhkost vzorku v době měření v %.

## 5.6 Zkoušení pevnosti dřeva ve směru vláken

### Příprava zkušebních těles:

Celkem bylo připraveno 636 těles z borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Tvar těles byl pravoúhlý hranol o velikosti základny 20 x 20 mm a délce ve směru vláken 30 mm.

### Podstata zkoušky

Podstatou této zkoušky je zjištění maximálního zatížení vzorku při zatížení tlakem a následný výpočet napětí při daném zatížení.

**Postup zkoušky:** Dle normy ČSN 490110

- 1) V polovině tělesa změříme jeho půdorysné rozměry.
- 2) Vzorek se vloží do univerzálního trhačího stroje, kde je rovnoměrně zatěžován. Zatěžování musí mít konstantní rychlost. Rychlost stroje musí být taková, aby se těleso porušilo za  $60 \pm 30$ s od začátku zatěžování.

- 3) Stroj spouští trn proti podpěrám konstantní rychlostí až do doby, kdy je porušena pevnost vzorku. Tuto skutečnost poznáme tak, že se zkoušené těleso poruší nebo poklesne zatěžovací síla o 10% a tlaková deska stroje se vrátí zpět do nulové pozice. V počítačovém programu TIRA se nám objeví  $F_{max}$ , jež dále využijeme pro výpočet napětí při dané vlhkosti.
- 4) Z naměřených údajů můžeme vypočítat mez pevnosti v tlaku podél vláken při vlhkosti v okamžiku zkoušky podle vzorce:

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

kde  $F_{max}$  [kN] je maximální zatěžovací síla,  $\sigma_w$  [MPa] je napětí vzniklé zatížením a  $a \cdot b$  [mm] jsou rozměry v radiálním a tangenciálním směru.

- 5) Mez pevnosti  $\sigma_w$  přepočítáme na mez pevnosti při vlhkosti 12 % podle vzorce:

$$\sigma_{12} = \sigma_w(1 + \alpha(w - 12))$$

kde  $\alpha$  je opravný vlhkostní koeficient  $\alpha = 0,04$

## 5.7 Statistické analýzy

Pro vyhodnocení statistického významu jednotlivých vlivů byla použita jedno faktorová ANOVA (Fisherův F – test). Pro zjištění závislosti zkoumaných vlastností na hustotě a modulu pružnosti byla použita lineární korelace. Pro všechny analýzy byla použita stejná hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Dalšími použitými statistickými veličinami jsou variační koeficient, směrodatná odchylka, rozptyl, aritmetický průměr, minimum a maximum, rozdíl minima a maxima.



## 6 Výsledky

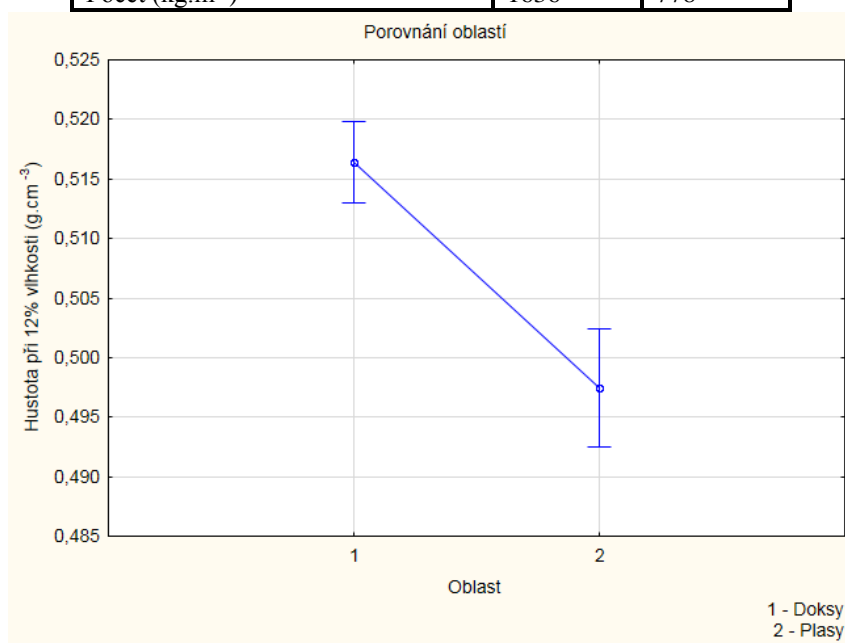
### 6.1 Hustota

#### 6.1.1 Porovnání hustoty dřeva v daných oblastech

Při šetření jednofaktorovou ANOVOU bylo zjištěno, že existuje významný statistický rozdíl mezi jednotlivými oblastmi v hustotě dřeva (obr. 8). Pro oblast Doksy je střední hodnota hustoty ( $517 \text{ kg.m}^{-3}$ ). Hodnoty mediánu v porovnání s aritmetickým průměrem jsou rozdílné a data mají mírné pravostranné rozdělení. Oblast Plasy vykazuje nižší střední hodnoty hustoty ( $497 \text{ kg.m}^{-3}$ ) a při porovnání s mediánem mají data levostranné rozdělení. Nízké hodnoty variačního koeficientu ukazují rovnoměrné rozložení hodnot hustot v rámci oblastí (tab. 2). Vliv světových stran (sever, jih) na hustotu dřeva v jednotlivých oblastech byl prokázán jako statisticky významný.

Tabulka 2: Popisná statistika - porovnání hustoty v jednotlivých oblastech

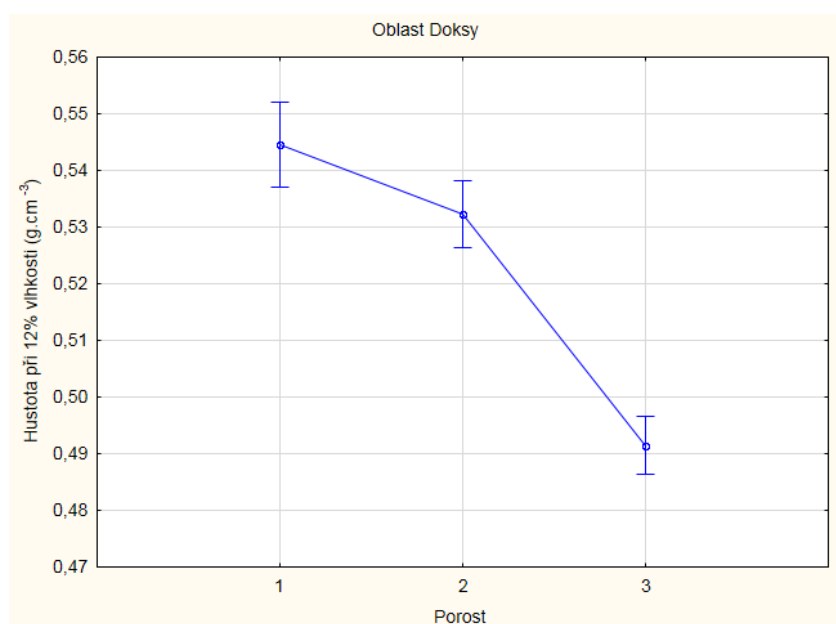
	Hustota	
	Doksy	Plasy
Aritmetický průměr ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	516	497
Medián ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	516,9	488
Směrodatná odchylka ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	75,0	61,6
Rozptyl ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	5629,2	3799,3
Variační koeficient (%)	14,5	12,4
Minimum ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	347,2	371,1
Maximum ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	796,9	824,1
Rozdíl max. – min. ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	449,7	453,0
Počet ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	1636	778



## Obrázek 8: ANOVA - porovnání hustoty v jednotlivých oblastech

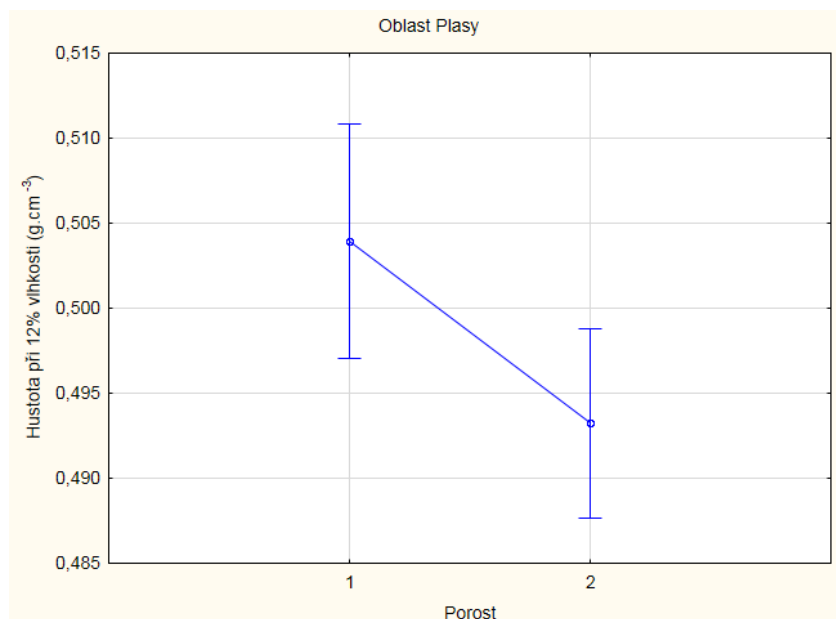
### 6.1.2 Porovnání hustoty dřeva v jednotlivých porostech

Při šetření jednofaktorovou ANOVOU (obr. 9 a obr. 10) bylo zjištěno, že mezi jednotlivými porosty v oblasti Doks a oblasti Plas existují statisticky významné rozdíly v hustotě. Průměrná hodnota hustoty v porostech se pohybuje okolo 510 kg.m<sup>-3</sup>. Z grafů statistické významnosti je patrné, že hodnoty hustoty mají sestupnou tendenci. Dle popisné statistiky (tab. 3) dosahuje nejvyšší hodnoty hustoty v Doksech porost 1 (545 kg.m<sup>-3</sup>), naopak nejnižší hodnoty dosahuje porost 3 (491 kg.m<sup>-3</sup>) a porost 2 má průměrnou hustotu (532 kg.m<sup>-3</sup>).



Obrázek 9: ANOVA - porovnání hustoty v jednotlivých porostech - Doksy

V Plasech dosahuje nejvyšší střední hodnoty porost 1 (504 kg.m<sup>-3</sup>) a nejnižší hodnoty dosahuje porost 2 (493 kg.m<sup>-3</sup>).



**Obrázek 10: ANOVA - porovnání hustoty v jednotlivých porostech - Plasy**

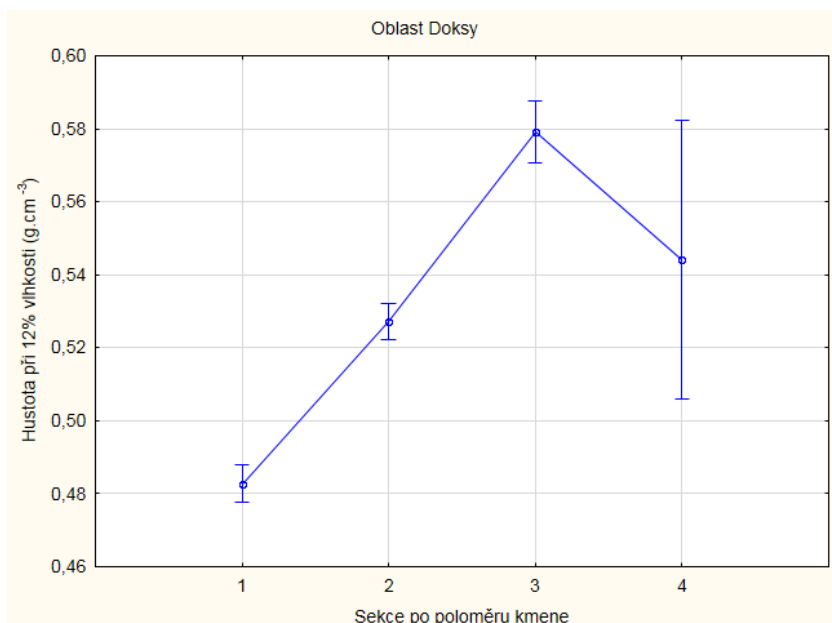
Pomocí popisné statistiky v tab. 3 bylo zjištěno, že u většiny porostů medián nevykazuje s aritmetickým průměrem velké odchylky. Variační koeficienty se pohybují v rozmezí (8,8% – 13,8%) a tyto porosty vykazují rovnoměrné rozložení hustoty s výjimkou porostu 3 v Doksech, který má nesouměrné rozložení hustoty a variační koeficient 17,6%.

**Tabulka 3: Popisná statistika - porovnání hustoty v porostech**

		Hustota	
		Doksy	Plasy
Porost 1	Aritmetický průměr (kg.m <sup>-3</sup> )	545	504
	Medián (kg.m <sup>-3</sup> )	542,8	501,7
	Směrodatná odchylka (kg.m <sup>-3</sup> )	47,7	49,3
	Rozptyl (kg <sup>2</sup> .m <sup>-6</sup> )	2276,1	2434,9
	Variační koeficient (%)	8,8	9,8
	Minimum (kg.m <sup>-3</sup> )	444,5	386,1
	Maximum (kg.m <sup>-3</sup> )	726,9	661,2
	Rozdíl max. – min. (kg.m <sup>-3</sup> )	282,4	275,1
	Počet (ks)	342	306
Porost 2	Aritmetický průměr (kg.m <sup>-3</sup> )	532	493
	Medián (kg.m <sup>-3</sup> )	532,7	480,6
	Směrodatná odchylka (kg.m <sup>-3</sup> )	60,2	68,2
	Rozptyl (kg <sup>2</sup> .m <sup>-6</sup> )	3627,4	4646,2
	Variační koeficient (%)	11,3	13,8
	Minimum (kg.m <sup>-3</sup> )	374,3	371,1
	Maximum (kg.m <sup>-3</sup> )	776,9	824,1
	Rozdíl max. – min. (kg.m <sup>-3</sup> )	402,6	453,0
	Počet (ks)	556	472
Porost 3	Aritmetický průměr (kg.m <sup>-3</sup> )	491	
	Medián (kg.m <sup>-3</sup> )	479,2	
	Směrodatná odchylka (kg.m <sup>-3</sup> )	86,7	
	Rozptyl (kg <sup>2</sup> .m <sup>-6</sup> )	7522,4	
	Variační koeficient (%)	17,6	
	Minimum (kg.m <sup>-3</sup> )	347,2	
	Maximum (kg.m <sup>-3</sup> )	796,9	
	Rozdíl max. – min. (kg.m <sup>-3</sup> )	449,7	
	Počet (ks)	738	

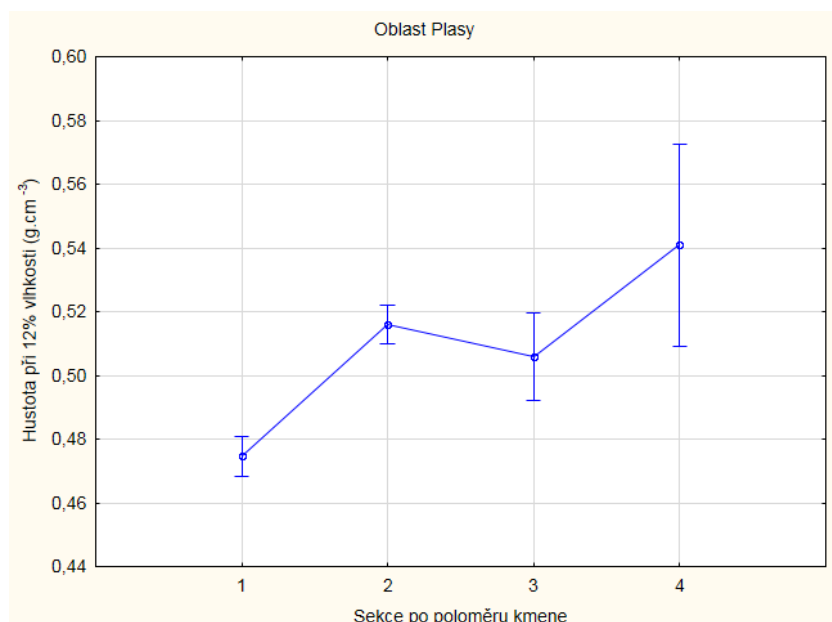
### 6.1.3 Porovnání hustoty dřeva v horizontální rovině kmenu v rámci oblastí

Při zkoumání hustoty dřeva v horizontální rovině kmenu v oblasti Doksy bylo zjištěno, že existuje statisticky významný rozdíl hustoty (obr. 11). V sekcích 1-3 dochází ke stoupání hustoty až do sekce 3, kdy hustota dosáhne maxima a následně dochází k poklesu hustoty do sekce 4.



**Obrázek 11: ANOVA - porovnání hustoty v rámci poloměru kmene – Doksy**

Naproti tomu oblast Plasy vykazuje také statisticky významný rozdíl hodnot v hustotě, ale s jiným trendem stoupání (obr. 12). Mezi sekcí 1 až 2 dochází k nárůstu hustoty, do sekce 3 má hustota klesající tendenci a do sekce 4 opět hustota stoupá, kde dosahuje svého maxima.

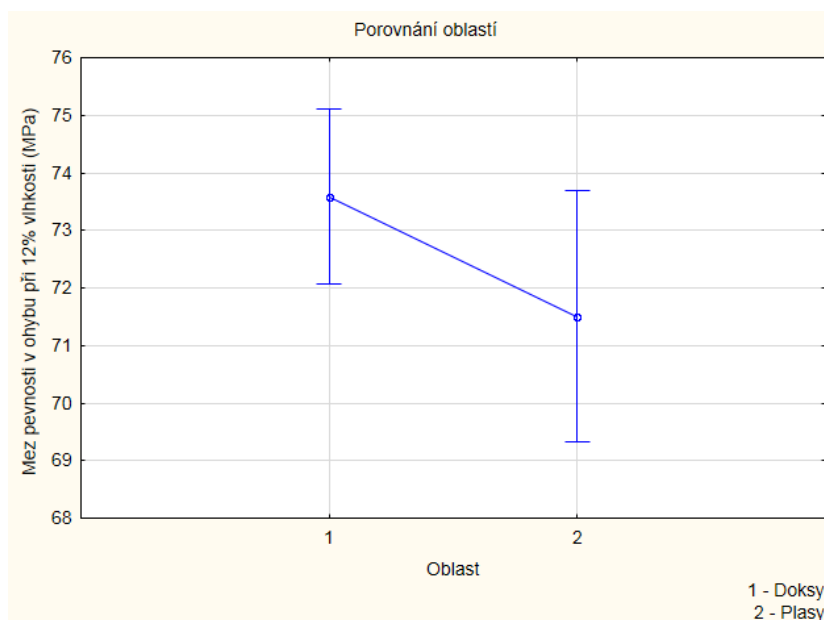


**Obrázek 12: ANOVA - porovnání hustoty v rámci poloměru kmene – Plasy**

## 6.2 Mez pevnosti v ohybu

### 6.2.1 Porovnání daných oblastí z hlediska meze pevnosti v ohybu

Při šetření jednofaktorovou ANOVOU bylo zjištěno, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi zkoumanými oblastmi v mezi pevnosti v ohybu (obr. 13). Oblast Doksy má střední hodnotu meze pevnosti vyšší (73,6 MPa) než oblast Plasy (71,5 MPa). Z tab. 4 je patrné, že medián s aritmetickým průměrem mají téměř shodné hodnoty a rozdělení dat je mírně levostranné. Variační koeficient je v rozmezí 15,9% – 19,1% a vypovídá o rovnoměrném rozložení dat. Pomocí jednofaktorové ANOVY se statisticky významný vliv světových stran (sever, jih) na ohybovou pevnost v jednotlivých oblastech prokázal.



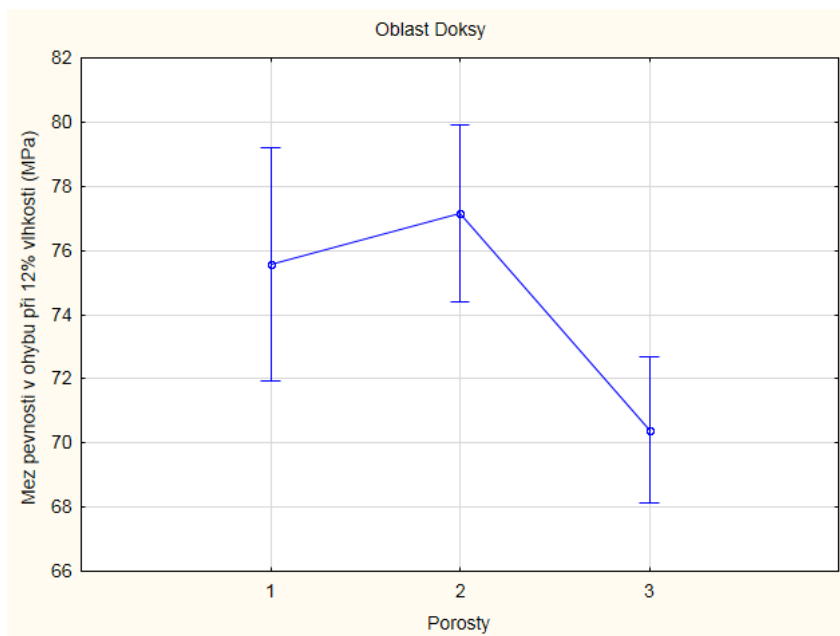
Obrázek 13: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu v jednotlivých oblastech

Tabulka 4: Popisná statistika - porovnání meze pevnosti v ohybu u jednotlivých oblastí

	Pevnost v ohybu	
	Doksy	Plasy
Aritmetický průměr (MPa)	73,6	71,5
Medián (MPa)	72,3	70,8
Směrodatná odchylka (MPa)	14,0	11,4
Rozptyl (-)	197,2	129,2
Variační koeficient (%)	19,1	15,9
Minimum (MPa)	40,2	36,5
Maximum (MPa)	120,5	104,4
Rozdíl max. – min. (MPa)	80,3	67,9
Počet (ks)	293	142

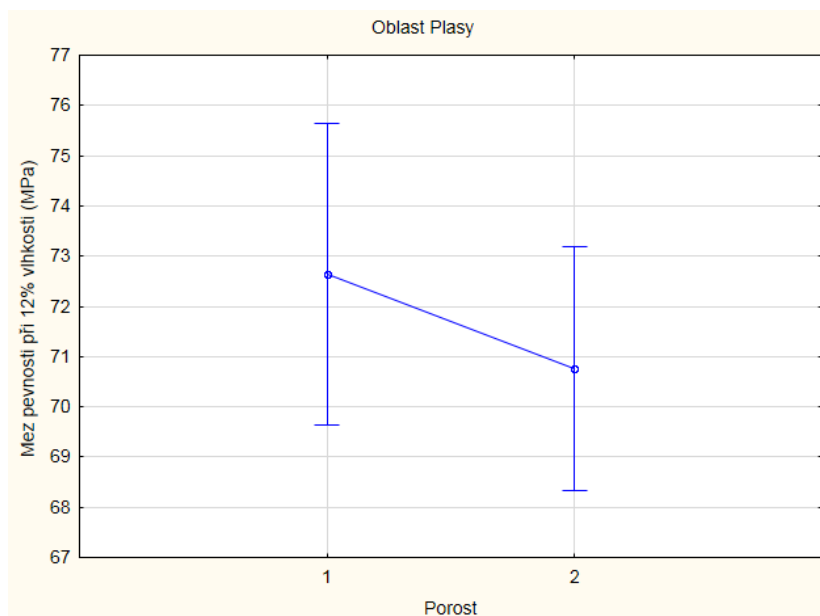
### 6.2.2 Porovnání meze pevnosti mezi jednotlivými porosty

Při porovnání dat ANOVOU (obr. 14) byl zjištěn statisticky významný rozdíl v mezi pevnosti mezi jednotlivými porosty v oblasti Doks. U porostů v oblasti Plas statisticky významný rozdíl hodnot nebyl zjištěn (obr. 15). Průměrná hodnota meze pevnosti v ohybu se pohybuje okolo 73 MPa. Největší pevnost v ohybu dosahuje porost 2 z oblasti Doks (77,2 MPa). Naopak nejmenší pevnost v oblasti Doksy vykazuje porost 3 (70,4 MPa). Hodnoty mediánu v porovnání s aritmetickým průměrem jsou rozdílné a data mají mírné levostranné rozdělení.



Obrázek 14: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu u jednotlivých porostů – oblast Doksy

Dle popisné statistiky (tab. 5) má v Plasech nejvyšší pevnost v ohybu porost 1 (72,6 MPa). V oblasti Plasy má porost 1 mírně pravostranné rozložení dat a porost 2 má levostranné rozdělení dat. Variační koeficient je ve všech porostech v rozmezí 12,7% – 22,7 % a vypovídá o nízké variabilitě dat.



Obrázek 15: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu u jednotlivých porostů – Plasy

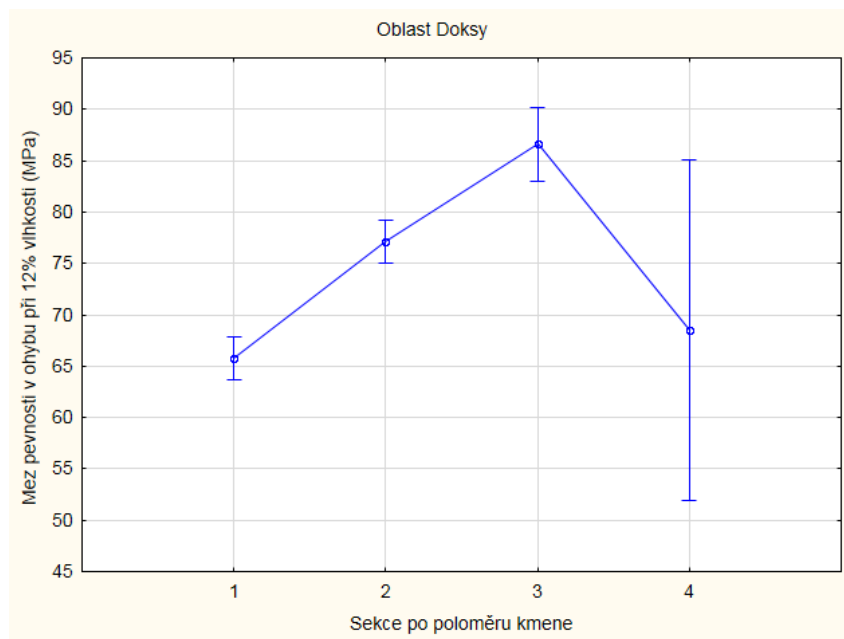
Tabulka 5: Popisná statistika - porovnání meze pevnosti mezi jednotlivými porosty

		Pevnost v ohybu	
		Doksy	Plasy
Porost 1	Aritmetický průměr (MPa)	75,6	72,6
	Medián (MPa)	74,5	72,9
	Směrodatná odchylka (MPa)	9,6	9,7
	Rozptyl (-)	93,8	95,6
	Variační koeficient (%)	12,7	13,4
	Minimum (MPa)	46,1	51,9
	Maximum (MPa)	93,6	91,2
	Rozdíl max. – min. (MPa)	47,5	39,3
	Počet (ks)	55	56
	Porost 2	Aritmetický průměr (MPa)	77,2
Medián (MPa)		76,2	69,7
Směrodatná odchylka (MPa)		12,0	12,3
Rozptyl (-)		144,6	151,7
Variační koeficient (%)		15,6	17,4
Minimum (MPa)		54,2	36,5
Maximum (MPa)		110,4	104,4
Rozdíl max. – min. (MPa)		56,2	67,9
Počet (ks)		96	86
Porost 3		Aritmetický průměr (MPa)	70,4
	Medián (MPa)	67,7	
	Směrodatná odchylka (MPa)	15,9	
	Rozptyl (-)	254,5	
	Variační koeficient (%)	22,7	
	Minimum (MPa)	40,2	
	Maximum (MPa)	120,5	
	Rozdíl max. – min. (MPa)	80,3	
	Počet (ks)	142	



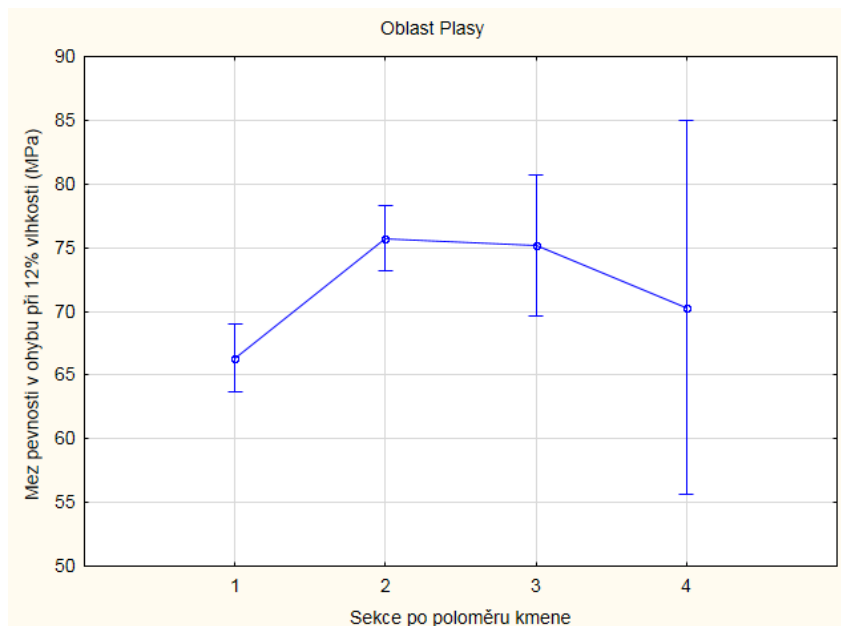
### 6.2.3 Porovnání meze pevnosti v ohybu v horizontální rovině kmene v rámci oblastí

Při šetření jednofaktorovou ANOVOU (obr. 16) bylo prokázáno, že existuje statisticky významný rozdíl v mezích pevnosti v ohybu po poloměru kmene v oblasti Doks. Z obrázku je patrné, že pevnost směrem od dřeně roste a nejvyšší hodnotu má v sekci 3, poté dochází k poklesu pevnosti.



Obrázek 16: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Doksy

V oblasti Plasy byl také zjištěn statisticky významný rozdíl v mezích pevnosti v ohybu mezi jednotlivými sekcemi. Dle obr. 17 nejvyšší pevnosti dosahuje sekce 2 a nejnižších hodnot dosahuje sekce 1, která je nejbližší ke dření.

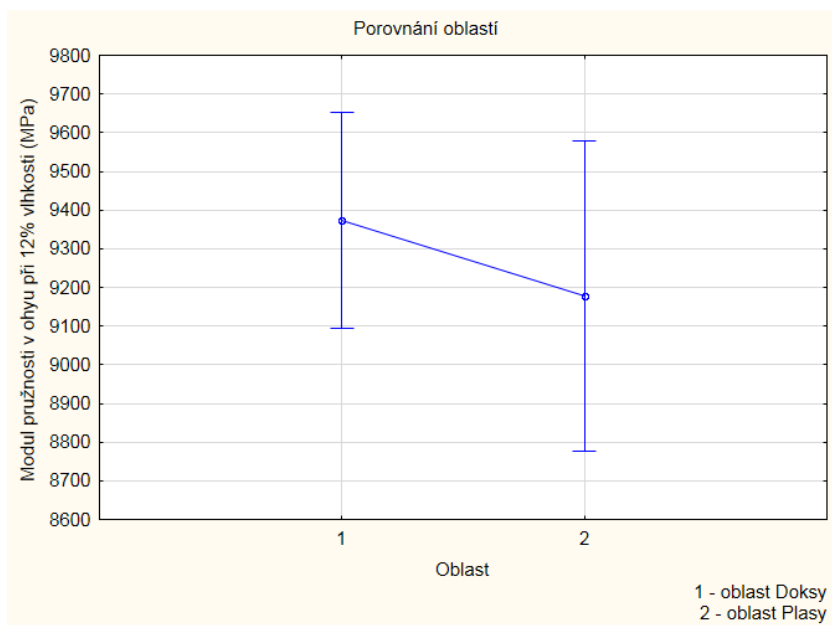


Obrázek 17: ANOVA - porovnání meze pevnosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Plasy

## 6.3 Modul pružnosti v ohybu

### 6.3.1 Porovnání modulu pružnosti v ohybu z hlediska daných oblastí

Průměrný modul pružnosti z oblasti Doks je 9374 MPa a je vyšší než v oblasti Plasy, kde aritmetický průměr modulu pružnosti je 9178 MPa (tab. 6). Obě dvě hodnoty v porovnání s mediánem mají levostranné rozdělení. Šetřením ANOVOU bylo zjištěno, že mezi jednotlivými oblastmi neexistuje statisticky významný rozdíl v hodnotách modulu pružnosti (obr. 18). Bylo provedeno šetření závislosti modulu pružnosti na orientaci sever - jih. Bylo zjištěno, že porosty v oblasti Doks nemají statisticky významné rozdíly hodnot modulu pružnosti na severní straně kmene, ale jižní strana má statisticky významné rozdíly hodnot modulu pružnosti v ohybu. Porosty v oblasti Plasy nevykazují statisticky významné rozdíly hodnot modulu pružnosti.



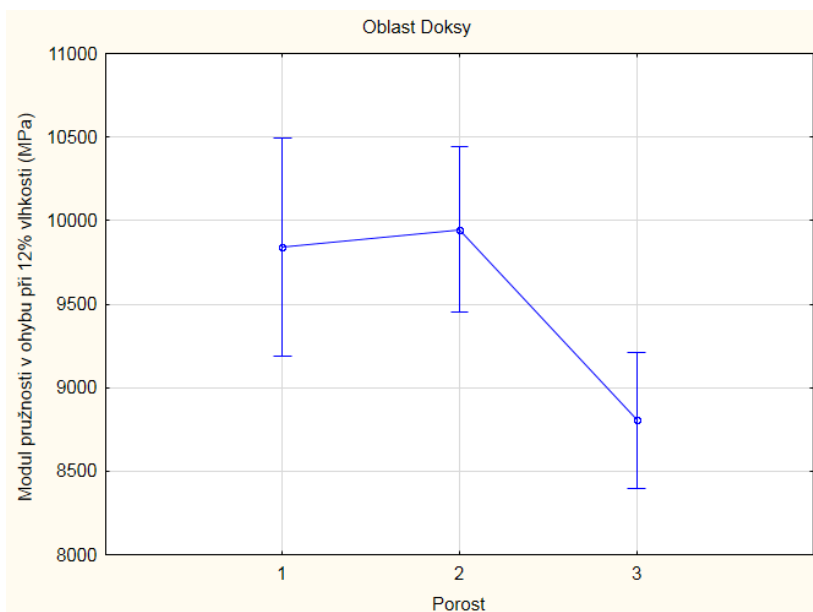
**Obrázek 18: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu dle jednotlivých oblastí**

**Tabulka 6: Popisná statistika - porovnání modulu pružnosti v ohybu dle jednotlivých oblastí**

	Modul pružnosti v ohybu	
	Doksy	Plasy
Aritmetický průměr (MPa)	9374	9178
Medián (MPa)	9163	9056
Směrodatná odchylka (MPa)	2516	2258
Rozptyl (-)	63315	5098181
Variační koeficient (%)	26,9	24,6
Minimum (MPa)	3582	5095
Maximum (MPa)	16562	15476
Rozdíl max. – min. (MPa)	12980	10381
Počet (ks)	293	142

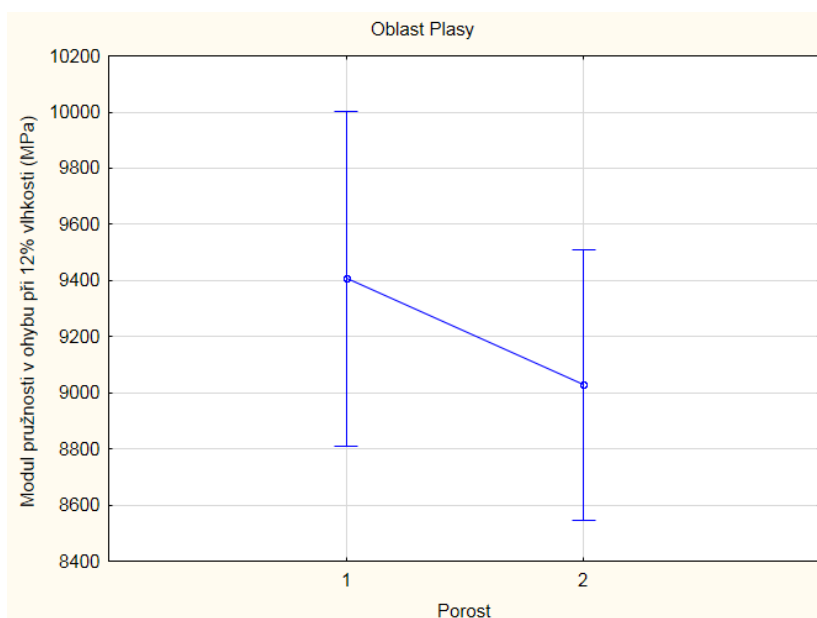
### 6.3.2 Porovnání modulu pružnosti mezi jednotlivými porosty

V oblasti Doks má největší střední hodnotu modul pružnosti v porostu 2 (9947 MPa) s mírně pravostranným rozdělením. Následuje porost 1 (9842 MPa) a porost 3 (8805 MPa) má nejnižší střední hodnotu modulu pružnosti. Průměrné hodnoty modulu pružnosti u porostů 1 a 3 mají v porovnání s mediánem levostranné rozdělení (tab 7). Šetřením pomocí ANOVY bylo ujištěno, že alespoň mezi dvěma porosty existuje statisticky významný rozdíl v hodnotách modulu pružnosti v ohybu.



**Obrázek 19: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu u jednotlivých porostů - oblast Doksy**

V Plasech nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v hodnotách modulu pružnosti (obr. 20). Z obrázku je patrné, že vyšší hodnoty vykazuje porost 1 (9408 MPa) a porost 2 má střední hodnoty modulu pružnosti nižší (9028 MPa). Oba porosty vykazují levostranné rozdělení dat. Nízké hodnoty variačních koeficientů všech porostů poukazují na nízkou variabilitu dat.



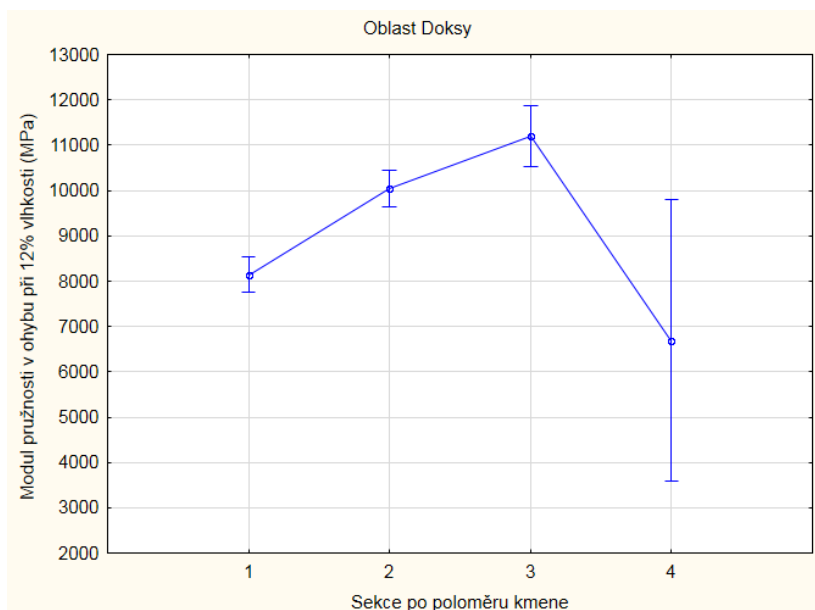
**Obrázek 20: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu u jednotlivých porostů - oblast Plasy**

**Tabulka 7: Popisná statistika - porovnání modulu pružnosti v ohybu u jednotlivých porostů**

		Modul pružnosti v ohybu	
		Doksy	Plasy
Porost 1	Aritmetický průměr (MPa)	9842	9408
	Medián (MPa)	9609	9136
	Směrodatná odchylka (MPa)	2153,	2144
	Rozptyl (-)	4636602	4596998
	Variační koeficient (%)	21,9	22,8
	Minimum (MPa)	5344	5677
	Maximum (MPa)	14308	13948
	Rozdíl max. – min. (MPa)	8964	8271
	Počet (ks)	55	56
	Porost 2	Aritmetický průměr (MPa)	9947
Medián (MPa)		10293	9026
Směrodatná odchylka (MPa)		2462	2329
Rozptyl (-)		6063441	5425100
Variační koeficient (%)		24,8	25,8
Minimum (MPa)		5198	5095
Maximum (MPa)		16044	15476
Rozdíl max. – min. (MPa)		10846	10381
Počet (ks)		96	86
Porost 3		Aritmetický průměr (MPa)	8805
	Medián (MPa)	8515	
	Směrodatná odchylka (MPa)	2572	
	Rozptyl (-)	6616394	
	Variační koeficient (%)	29,2	
	Minimum (MPa)	3582	
	Maximum (MPa)	16562	
	Rozdíl max. – min. (MPa)	12980	
	Počet (ks)	142	

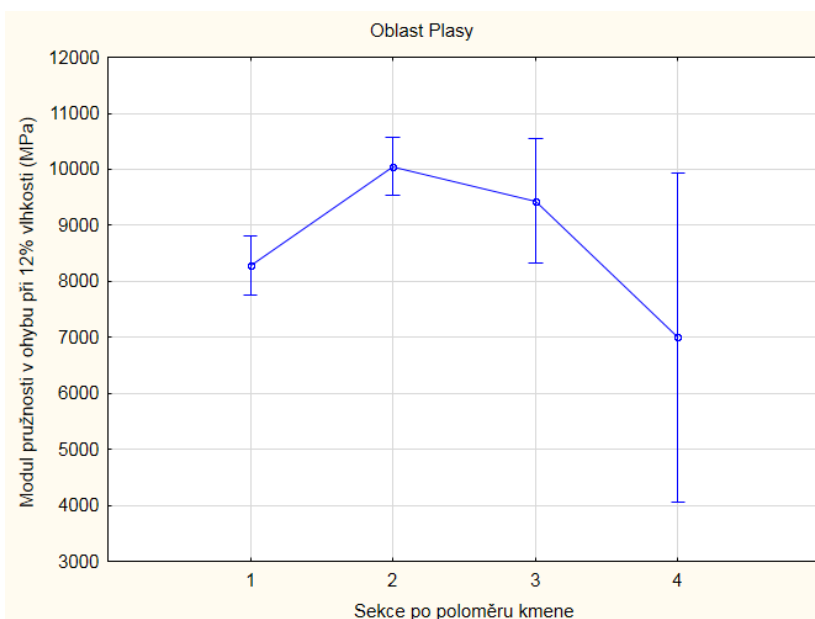
### 6.3.3 Porovnání hodnot modulu pružnosti v ohybu v horizontální rovině kmenu v rámci oblastí

Z obr. 21 je patrné, že alespoň mezi dvěma sekcemi existuje statisticky významný rozdíl hodnot modulu pružnosti v oblasti Doks. Maximální hodnoty dosahuje sekce 3 a nejnižších hodnot dosahuje sekce 4.



**Obrázek 21: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Doksy**

Oblast Plasy vykazuje statisticky významné rozdíly hodnot modulů pružnosti alespoň mezi dvěma sekcemi. Obr. 22 ukazuje stoupání hodnot modulu pružnosti do sekce 2 a poté pokles hodnot až do sekce 4.



**Obrázek 22: ANOVA - porovnání modulu pružnosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Plasy**

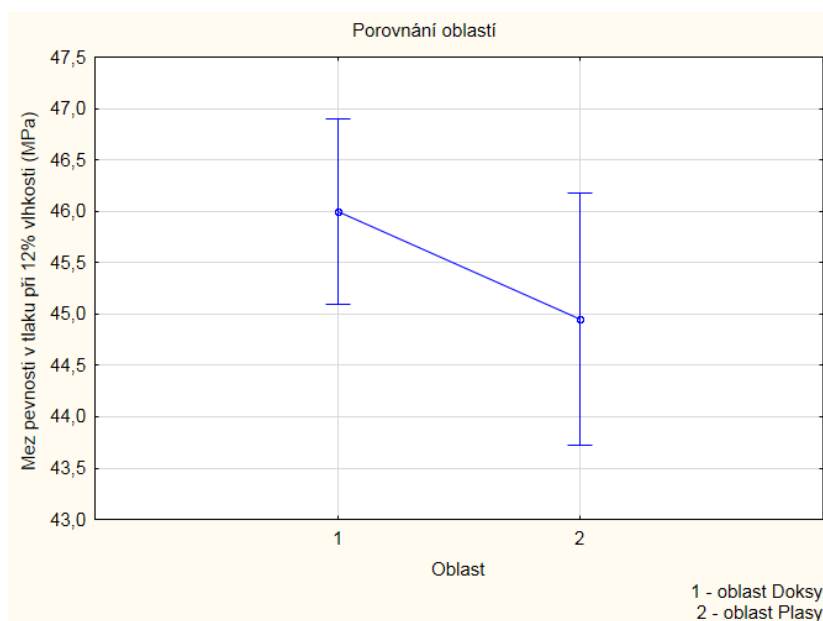
## 6.4 Mez pevnosti v tlaku podél vláken

### 6.4.1 Porovnání meze pevnosti v tlaku v daných oblastech

Vyšší střední hodnotu (tab. 8) meze pevnosti v tlaku dosahuje oblast Doksy (46,0 MPa). Data mají mírné pravostranné rozdělení. Mez pevnosti v tlaku je v Plasech nižší s levostranným rozdělením dat. Při šetření ANOVOU nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl hodnotách meze pevnosti v tlaku podél vláken z hlediska oblastí (obr. 23). Při zkoumání významnosti světových stran byla zjištěna v Doksech statistická významnost v mezi pevnosti dřeva v tlaku. Porosty v oblasti Plas vykazují statistickou významnost u jižní strany porostu, ale severní strana při šetření jednofaktorovou ANOVOU byla statisticky nevýznamná.

Tabulka 8: Popisná statistika – porovnání meze pevnosti v tlaku mezi jednotlivými oblastmi

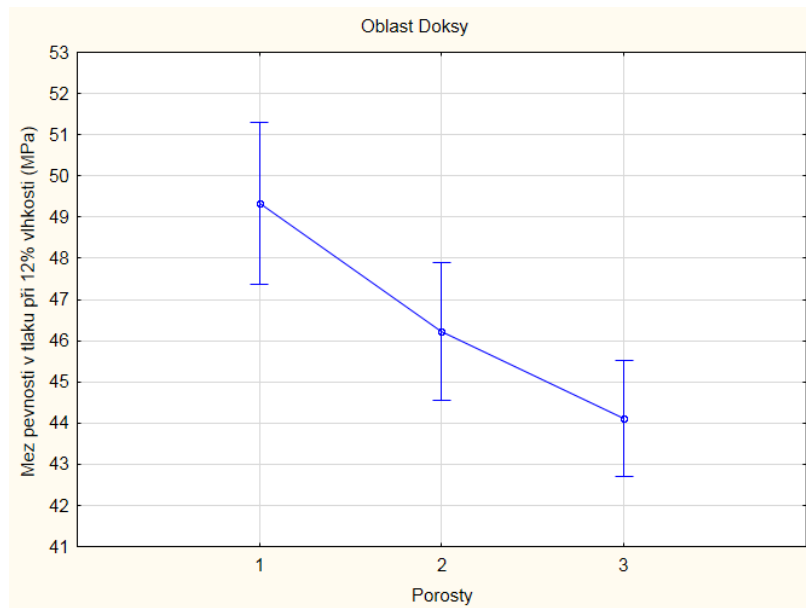
	Pevnost v tlaku	
	Doksy	Plasy
Aritmetický průměr (MPa)	46,0	45,0
Medián (MPa)	46,0	44,4
Směrodatná odchylka (MPa)	9,9	8,0
Rozptyl (-)	99,0	64,4
Variační koeficient (%)	21,6	17,9
Minimum (MPa)	26,5	28,1
Maximum (MPa)	77,8	71,8
Rozdíl max. – min. (MPa)	51,3	43,7
Počet (ks)	413	223



Obrázek 23: ANOVA - mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v jednotlivých oblastech

#### 6.4.2 Porovnání meze pevnosti v tlaku mezi jednotlivými porosty

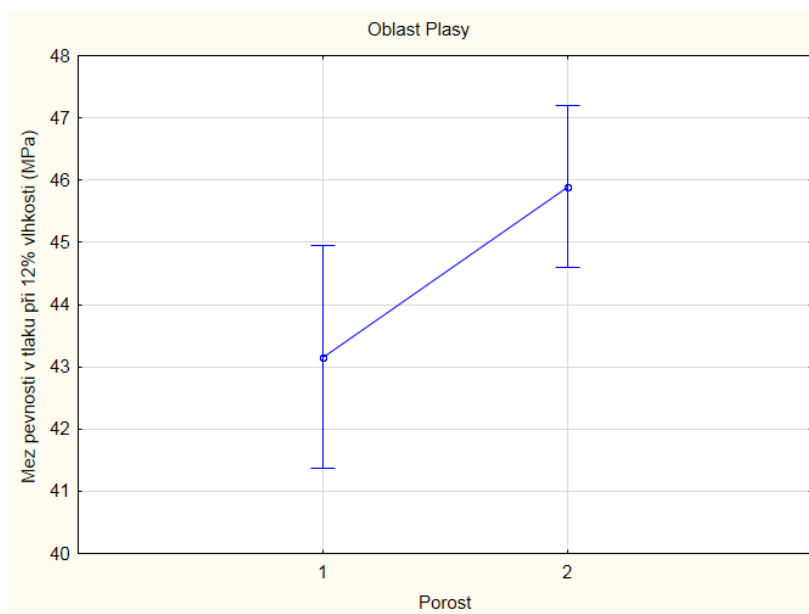
Hodnoty meze pevnosti v tlaku nám zobrazuje tab. 9 s popisnou statistikou jednotlivých porostů. Z obr. 24 je patrné, že nejvyšší pevnost v oblasti Doks má porost 1 se střední hodnotou pevnosti 49,3 MPa s mírně pravostranným rozdělením. Nejnižší hodnoty dosahuje porost 3 (44,1 MPa). Při porovnání aritmetického průměru s mediánem mají data porostu 2 a 3 levostranné rozdělení.



**Obrázek 24:** ANOVA - mez pevnosti v tlaku ve směru vláken mezi jednotlivými porosty - oblast Doksy

V oblasti Plasy má nejvyšší střední hodnotu pevnosti porost 2 (45,9) a jeho data mají levostranné rozdělení (obr. 25). Nízké variační koeficienty porostů v Plasech ukazují na rovnoměrné rozložení dat. Statisticky významný rozdíl byl zjištěn jak u porostů v oblasti Doks, tak u porostů z oblasti Plasy.





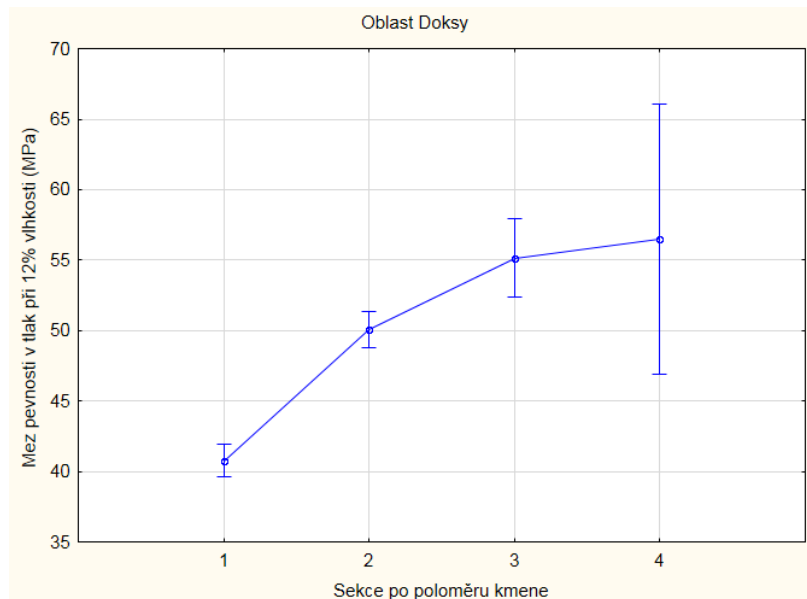
**Obrázek 25: ANOVA - mez pevnosti v tlaku ve směru vláken mezi jednotlivými porosty - oblast Plasy**

**Tabulka 9: Popisná statistika - porovnání meze pevnosti v tlaku mezi jednotlivými porosty**

		Pevnost v tlaku	
		Doksy	Plasy
Porost 1	Aritmetický průměr (MPa)	49,3	43,2
	Medián (MPa)	49,4	43,6
	Směrodatná odchylka (MPa)	5,8	7,1
	Rozptyl (-)	33,1	50,7
	Variační koeficient (%)	11,7	16,5
	Minimum (MPa)	35,2	28,1
	Maximum (MPa)	68,3	57,3
	Rozdíl max. – min. (MPa)	33,1	29,2
	Počet (ks)	96	77
Porost 2	Aritmetický průměr (MPa)	46,2	45,9
	Medián (MPa)	44,9	44,9
	Směrodatná odchylka (MPa)	10,2	8,3
	Rozptyl (-)	103,7	69,4
	Variační koeficient (%)	22,0	18,2
	Minimum (MPa)	26,5	31,4
	Maximum (MPa)	72,2	71,8
	Rozdíl max. – min. (MPa)	45,7	40,4
	Počet (ks)	132	146
Porost 3	Aritmetický průměr (MPa)	44,1	
	Medián (MPa)	43,3	
	Směrodatná odchylka (MPa)	11,0	
	Rozptyl (-)	121,4	
	Variační koeficient (%)	24,9	
	Minimum (MPa)	27,8	
	Maximum (MPa)	77,8	
	Rozdíl max. – min. (MPa)	50,00	
	Počet (ks)	185	

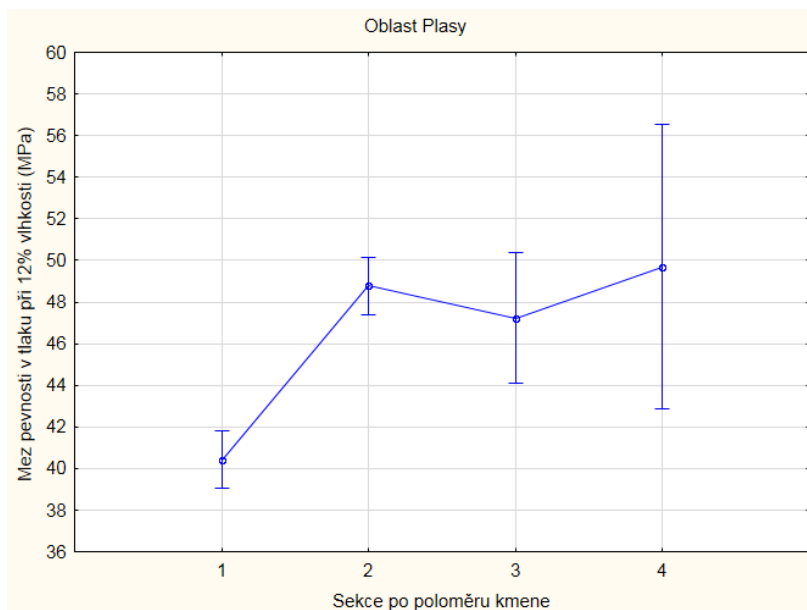
#### 6.4.1 Porovnání meze pevnost v tlaku ve směru vláken v horizontální rovině kmenu v rámci porostů

V Doksech byla zjištěna statistická významnost pevnosti v tlaku ve směru vláken mezi jednotlivými sekcemi po poloměru kmene. Mez pevnosti má po poloměru kmene stoupající tendenci. Z obr. 26 je patrné, že nejvyšší hodnoty dosahuje sekce 4 a nejnižší sekce 1.



Obrázek 26: ANOVA - porovnání meze pevnosti v tlaku po poloměru kmene - oblast Doksy

Pomocí ANOVY bylo zjištěno, že v oblasti Plasy existuje alespoň mezi dvěma sekcemi statistická významnost (obr. 27). Nejvyšší hodnoty meze pevnosti dosahuje sekce 4 a nejnižší sekce 1.

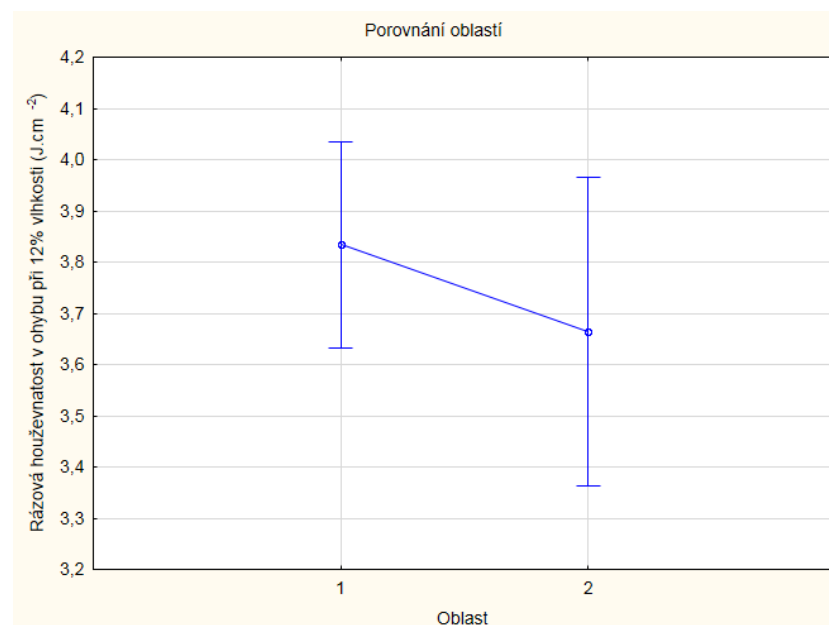


Obrázek 27: ANOVA - porovnání meze pevnosti v tlaku po poloměru kmene – oblast Plasy

## 6.5 Rázová houževnatost v ohybu

### 6.5.1 Porovnání hodnot rázové houževnatosti v ohybu z hlediska oblastí

Průměrné hodnoty rázové houževnatosti jsou v oblasti Doks  $3,8 \text{ J.cm}^{-2}$  a v oblasti Plasy  $3,7 \text{ J.cm}^{-2}$ . Z tab. 10 je patrný minimální rozdíl aritmetického průměru a mediánu a data vykazují mírné levostranné rozdělení. Vyšších hodnot rázové houževnatosti dosahuje oblast Doks (obr. 28). Zkoumáním významnosti severní a jižní strany kmene v jednotlivých oblastech byla prokázána statistická nevýznamnost severní strany v Doksech a zároveň statistická významnost jižní strany v této oblasti. Oblast Plasy v porostech vykazovala opačnou tendenci (severní strana je statisticky významná a jižní statisticky nevýznamná).



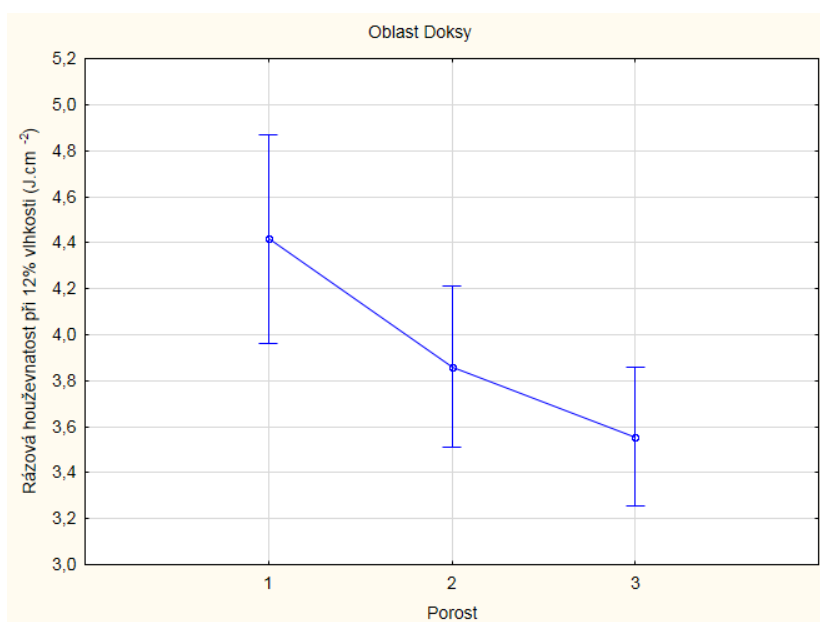
Obrázek 28: ANOVA - porovnání rázové houževnatosti v ohybu v jednotlivých oblastech

Tabulka 10: Popisná statistika - porovnání rázové houževnatosti v jednotlivých oblastech

	Rázová houževnatost	
	Doksy	Plasy
Aritmetický průměr (J.cm <sup>2</sup> )	3,8	3,7
Medián (J.cm <sup>2</sup> )	3,6	3,4
Směrodatná odchylka (J.cm <sup>2</sup> )	1,6	1,4
Rozptyl (-)	2,7	2,1
Variační koeficient (%)	42,8	39,8
Minimum (J.cm <sup>2</sup> )	1,0	0,9
Maximum (J.cm <sup>2</sup> )	8,3	9,1
Rozdíl max. – min. (J.cm <sup>2</sup> )	7,3	8,2
Počet (ks)	243	107

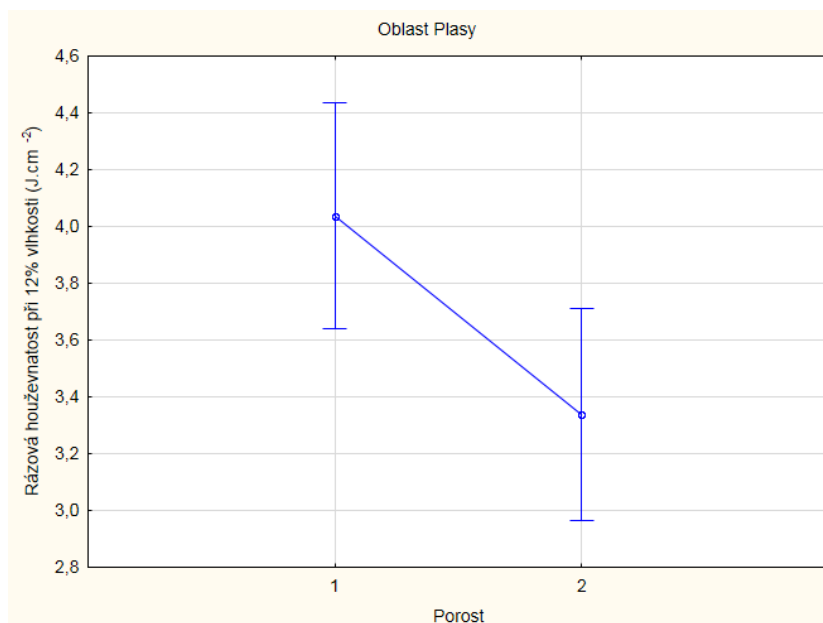
### 6.5.2 Porovnání hodnot rázové houževnatosti u jednotlivých porostů

Při šetření jednofaktorovou ANOVOU byl zjištěn statisticky významný rozdíl alespoň mezi dvěma porosty (obr. 29). Nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosahuje porost 1 ( $4,4 \text{ J.cm}^{-2}$  s pravostranným rozdělením dat), následuje porost 2 ( $3,9 \text{ J.cm}^{-2}$ ) a nejnižší hodnoty má porost 3 ( $3,6 \text{ J.cm}^{-2}$ ). Porosty 2 a 3 mají mírně levostranné rozdělení dat (tab. 11).



**Obrázek 29:** ANOVA - porovnání rázové houževnatosti mezi jednotlivými porosty – oblast Doksy

V oblasti Plasy existuje mezi jednotlivými porosty statisticky významný rozdíl v hodnotách rázové houževnatosti (obr. 30). Vyšších hodnot dosahuje porost 1 ( $4,1 \text{ J.cm}^{-2}$ ). Veškeré porosty mají aritmetický průměr téměř shodný s mediánem a jejich data mají mírné levostranné rozdělení kromě porostu 1 v Doksech, ten má pravostranné rozdělení dat (tab. 11).



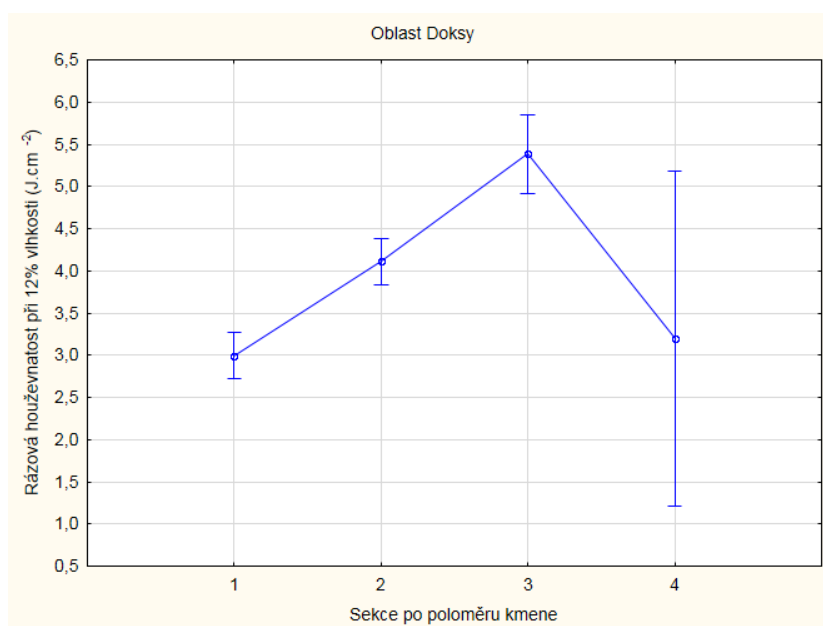
**Obrázek 30: ANOVA - porovnání rázové houževnatosti mezi jednotlivými porosty - oblast 2**

**Tabulka 11: Popisná statistika - porovnání rázové houževnatosti mezi jednotlivými porosty**

		Rázová houževnatost	
		Doksy	Plasy
Porost 1	Aritmetický průměr (J.cm <sup>2</sup> )	4,4	4,1
	Medián (J.cm <sup>2</sup> )	4,5	4,0
	Směrodatná odchylka (J.cm <sup>2</sup> )	1,3	1,4
	Rozptyl (-)	1,6	2,0
	Variační koeficient (%)	28,7	34,7
	Minimum (J.cm <sup>2</sup> )	1,9	1,3
	Maximum (J.cm <sup>2</sup> )	7,6	9,1
	Rozdíl max. – min. (J.cm <sup>2</sup> )	5,7	7,8
	Počet (ks)	49	50
Porost 2	Aritmetický průměr (J.cm <sup>2</sup> )	3,9	3,3
	Medián (J.cm <sup>2</sup> )	3,8	3,0
	Směrodatná odchylka (J.cm <sup>2</sup> )	1,5	1,4
	Rozptyl (-)	2,2	2,1
	Variační koeficient (%)	38,7	43,2
	Minimum (J.cm <sup>2</sup> )	1,0	0,9
	Maximum (J.cm <sup>2</sup> )	8,3	8,5
	Rozdíl max. – min. (J.cm <sup>2</sup> )	7,3	7,6
	Počet (ks)	83	57
Porost 3	Aritmetický průměr (J.cm <sup>2</sup> )	3,6	
	Medián (J.cm <sup>2</sup> )	3,2	
	Směrodatná odchylka (J.cm <sup>2</sup> )	1,8	
	Rozptyl (-)	3,3	
	Variační koeficient (%)	51,3	
	Minimum (J.cm <sup>2</sup> )	1,0	
	Maximum (J.cm <sup>2</sup> )	8,3	
	Rozdíl max. – min. (J.cm <sup>2</sup> )	7,3	
	Počet (ks)	111	

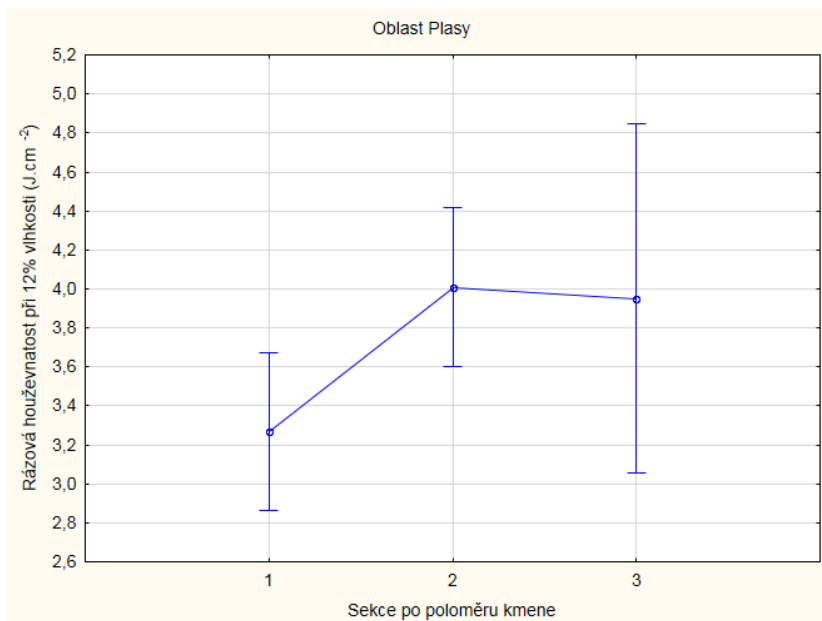
### 6.5.3 Porovnání rázové houževnatosti v horizontální rovině kmenu v rámci porostů

Při zkoumání statistické významnosti vzdálenosti dřeva od dřeně při rázové houževnatosti byla zjištěna statistická významnost alespoň mezi dvěma sekcemi obr. 31. Nejvyšších hodnot dosahují vzorky ze sekce 3 a nejnižší pevnosti dosahuje sekce 1.



Obrázek 31: ANOVA - porovnání rázové houževnatosti v ohybu po poloměru kmene – oblast Doksy

V Plasech byla zjištěna rovněž statistická významnost (Obr. 32). Sekce 2 a 3 dosahuje přibližně stejné pevnosti a sekce 1 má pevnost výrazně nižší.

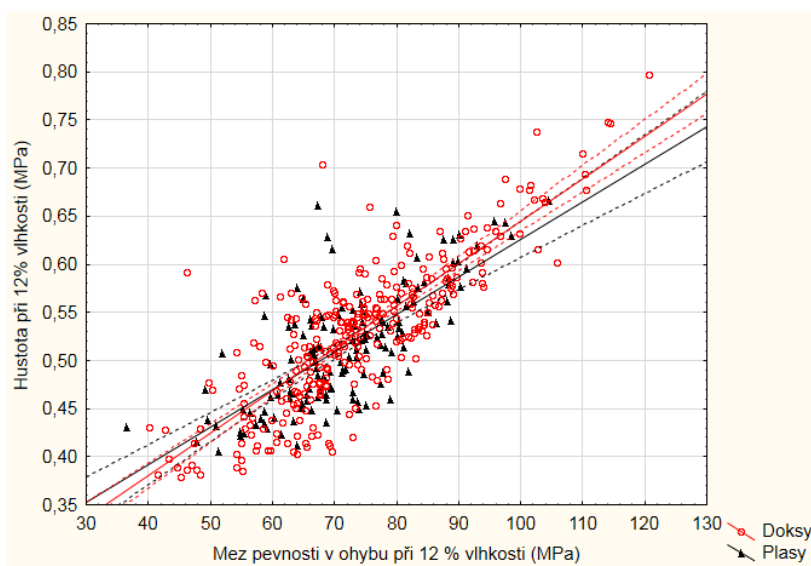


**Obrázek 32: ANOVA - porovnání rázové houževnatosti v ohybu po poloměru kmene - oblast Plasy**

## 6.6 Závislost vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva

### 6.6.1 Mez pevnosti v ohybu v závislosti na hustotě

Z obr. 33 vyplývá, že s rostoucí hustotou stoupá i mez pevnosti v ohybu a naopak. Tab. 12 nám znázorňuje rovnici regrese a korelační koeficient. Z hlediska velikosti korelačního koeficientu  $r$  nám vyplývá vysoká závislost meze pevnosti v ohybu na hustotě v obou oblastech.

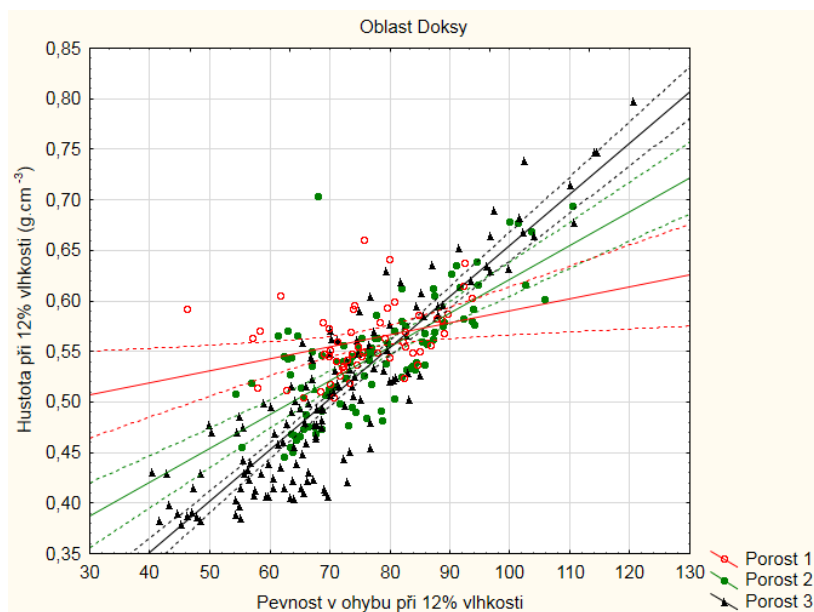


Obrázek 33: Závislost hustoty na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých oblastech

Tabulka 12: Rovnice regrese a korelační koeficient závislosti meze pevnosti v ohybu na hustotě - oblasti

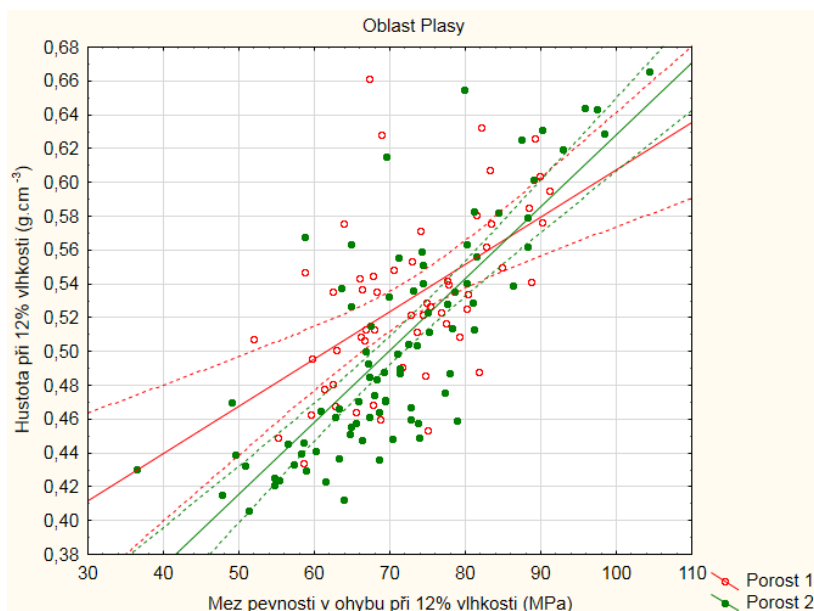
	Rovnice regrese	Korelační koeficient
Doksy	$y = 0,2039 + 0,0044x$	$r = 0,8169$
Plasy	$y = 0,2354 + 0,0039x$	$r = 0,7260$





**Obrázek 34: Závislost hustoty na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech – oblast Doksy**

Z grafů závislosti je patrné, že se stoupající hustotou stoupá i pevnost v ohybu u jednotlivých porostů (obr. 34 a 35). Z tab. 13 je patrné, že nejnižší korelační koeficient dosahuje porost 1 v Doksech, kde míra závislosti pevnosti v ohybu na hustotě je střední. Střední závislost platí i v porostu 1 z oblasti Plas. Zbylé porosty vykazují dle korelačních koeficientů  $r$  vysokou závislost.



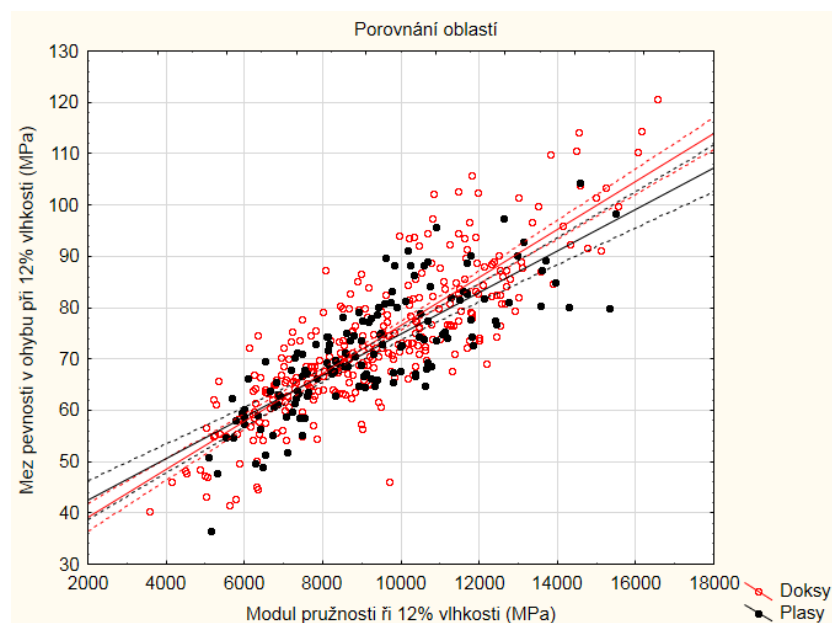
**Obrázek 35: Závislost hustoty na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech – oblast Plasy**

**Tabulka 13: Rovnice regrese a korelační koeficient závislosti mezi pevností v ohybu na hustotě – jednotlivé porosty**

		Doksy	Plasy
Porost 1	Rovnice regrese	$y = 0,2875 + 0,0033x$	$y = 0,3282 + 0,0028x$
	Korelační koeficient	$r = 0,333$	$r = 0,5426$
Porost 2	Rovnice regrese	$y = 0,2875 + 0,0033 x$	$y = 0,2029 + 0,0028x$
	Korelační koeficient	$r = 0,7192$	$r = 0,8007$
Porost 3	Rovnice regrese	$y = 0,148 + 0,0051x$	
	Korelační koeficient	$r = 0,8947$	

### 6.6.2 Statický modul pružnosti v závislosti na ohybu

Z obr. 36 je patrné, že se stoupající mezi pevností v ohybu zároveň stoupá i statický modul pružnosti. Tab. 14 nám zobrazuje rovnice regrese a korelační koeficient. Korelační koeficient  $r$  vykazuje vysokou závislost modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu v obou oblastech.

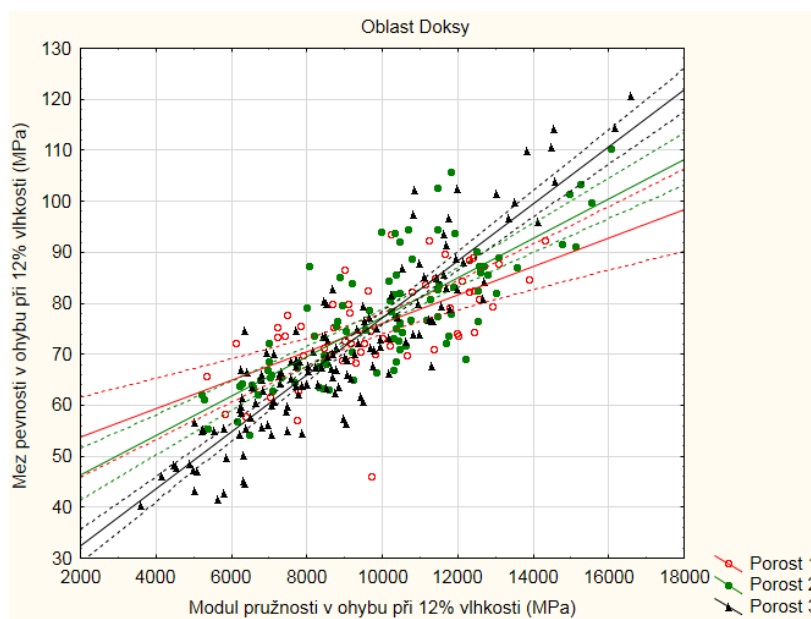


**Obrázek 36: Závislost statického modulu pružnosti v ohybu na mezi pevnosti v ohybu – oblasti**

**Tabulka 14: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti modulu pružnosti v ohybu na mezi pevnosti v ohybu - oblasti**

	Rovnice regrese	Korelační koeficient
Doksy	$y = 29,7667 + 0,0047x$	$r = 0,8381$

Plasy	$y = 34,4188 + 0,004x$	$r = 0,8026$
-------	------------------------	--------------

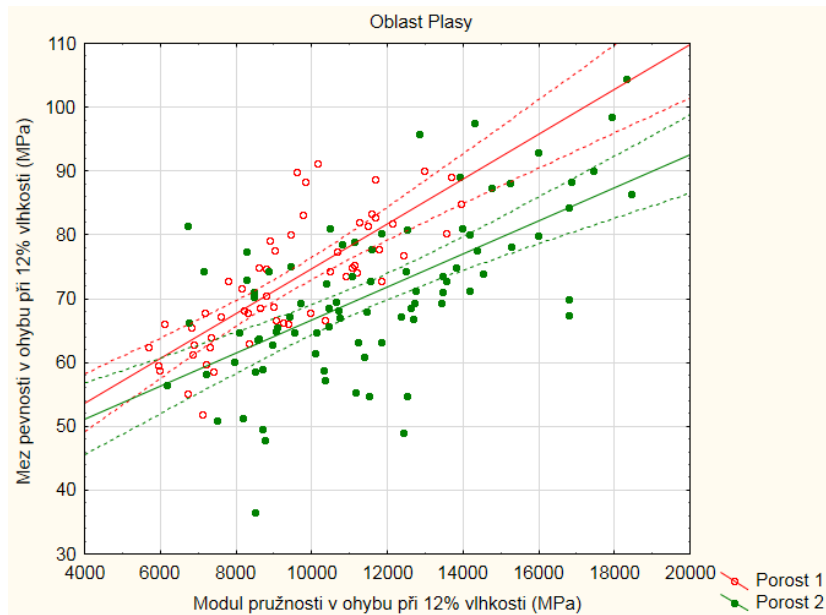


**Obrázek 37: Závislost statického modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech - oblast Doksy**

Závislost statického modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech je znázorněna na obr. 37 a 38. Z obou grafů je patrná stoupající tendence závislosti statického modulu pružnosti na pevnosti v ohybu. V tab. 15 jsou uvedeny korelační koeficienty a regresní rovnice. Z korelačních koeficientů  $r$  lze usuzovat u porostu 1 v Doksech a porostu 2 v Plasech střední závislost. Ostatní porosty vykazují vysokou závislosti modulu pružnosti na pevnosti v ohybu.

**Tabulka 15: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu – jednotlivé porosty**

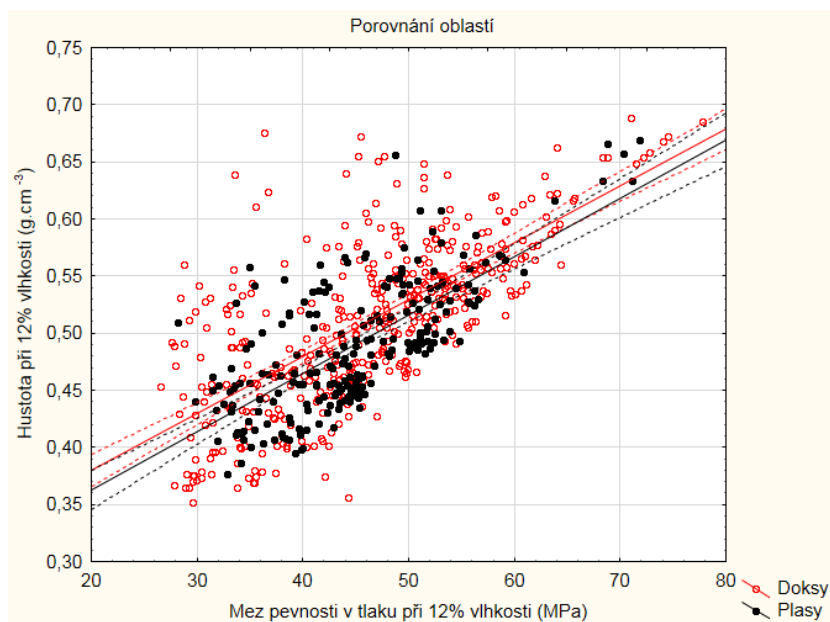
		Doksy	Plasy
Porost 1	Rovnice regrese	$y = 48,138 + 0,0028x$	$y = 39,6066 + 0,0035x$
	Korelační koeficient	$r = 0,6225$	$r = 0,7747$
Porost 2	Rovnice regrese	$y = 38,7063 + 0,0039x$	$y = 40,7767 + 0,0026x$
	Korelační koeficient	$r = 0,7916$	$r = 0,6305$
Porost 3	Rovnice regrese	$y = 21,19 + 0,0056x$	
	Korelační koeficient	$r = 0,9012$	



**Obrázek 38: Závislost statického modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech - oblast Plasy**

### 6.6.3 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na hustotě

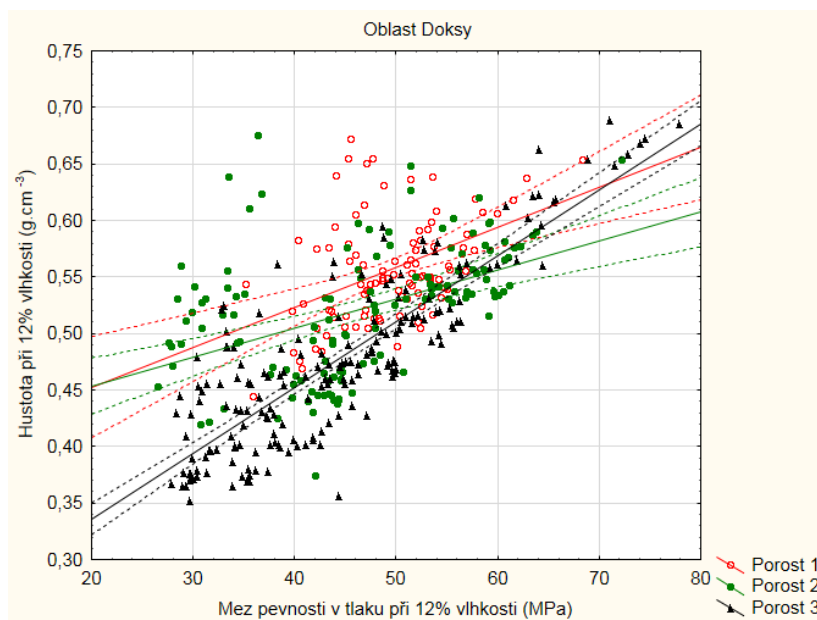
Obr. 39 znázorňuje závislost meze pevnosti v tlaku na hustotě. Z obrázku je patrné, že se stoupající hustotou stoupá i mez pevnosti v ohybu a naopak. V tab. 16 je uvedena rovnice regrese a korelační koeficient. Z velikosti korelačního koeficientu  $r$  je patrná střední hodnota závislosti hustoty na mezi pevnosti v tlaku v oblasti Doks. Oblast Plasy vykazuje vysokou závislost.



**Obrázek 39: Závislost meze pevnosti v tlaku na hustotě – oblasti**

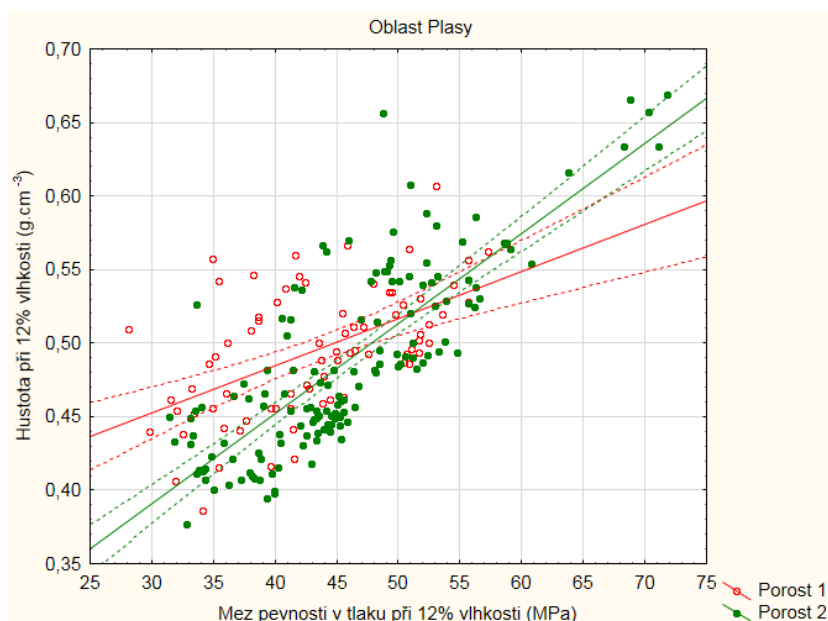
**Tabulka 16: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti meze pevnosti v tlaku na hustotě - oblasti**

	Rovnice regrese	Korelační koeficient
Doksy	$y = 0,2801 + 0,005x$	$r = 0,6889$
Plasy	$y = 0,2606 + 0,0051x$	$r = 0,7191$



**Obrázek 40: Závislost meze pevnosti v ohybu na hustotě v jednotlivých porostech - oblast Doksy**

Z obr. 40 a 41 vyplývá stoupající závislost meze pevnosti v tlaku na hustotě a naopak. Z tab. 17, která porovnává regresní rovnice a korelační koeficienty  $r$  je patrné, že nejnižší závislost je u porostu 1 v oblasti Doks (vykazuje střední závislost). Střední korelační koeficienty vykazuje i porost 2 v Doksech a porost 1 v Plasech. Porost 3 v Doksech a porost 2 v Plasech vykazuje vysokou závislost pevnosti v tlaku na hustotě.



Obrázek 41: Závislost meze pevnosti v tlaku na hustě v jednotlivých porostech - oblast Plasy

Tabulka 17: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti meze pevnosti v tlaku na hustotě - jednotlivé porosty

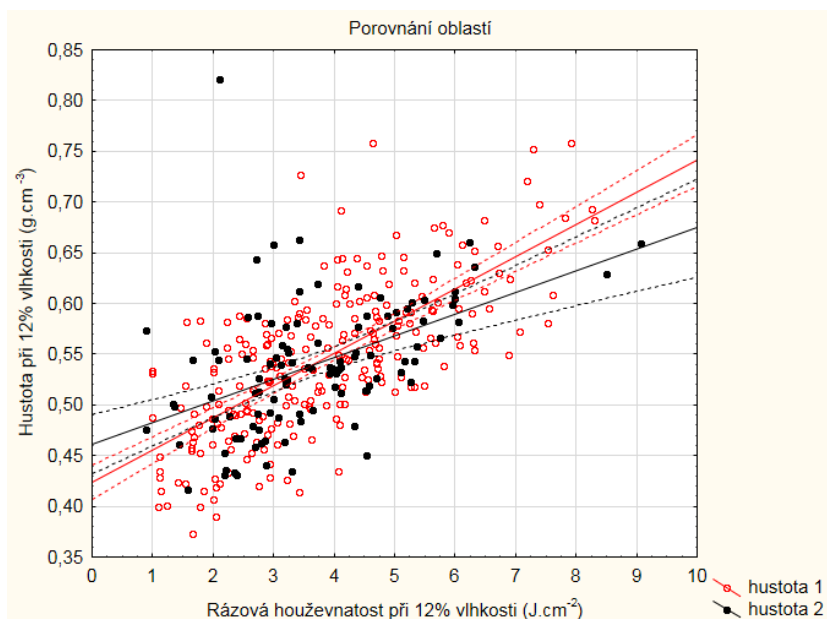
		Doksy	Plasy
Porost 1	Rovnice regrese	$y = 0,3819 + 0,0035x$	$y = 0,3567 + 0,0032x$
	Korelační koeficient	$r = 0,4346$	$r = 0,5311$
Porost 2	Rovnice regrese	$y = 0,4022 + 0,0026x$	$y = 0,2067 + 0,0061x$
	Korelační koeficient	$r = 0,4524$	$r = 0,8071$
Porost 3	Rovnice regrese	$y = 0,219 + 0,0058x$	
	Korelační koeficient	$r = 0,8476$	

#### 6.6.4 Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě

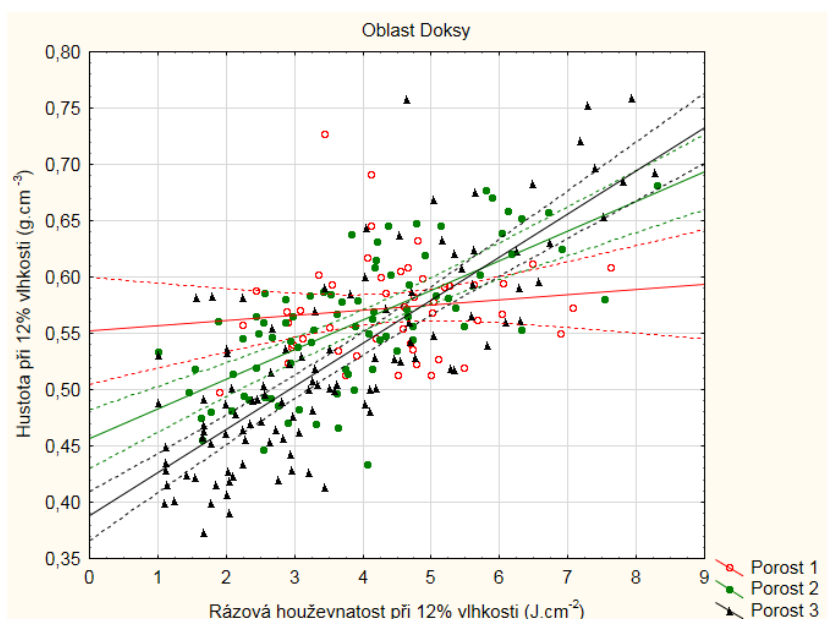
Závislost rázové houževnatosti na hustotě je znázorněna na obr. 42. Z obrázku je patrná stoupající tendence rázové houževnatosti v závislosti na hustotě. Rovnice regrese a korelační koeficient obsahuje tab. 18. Korelační koeficient  $r$  vykazuje střední hodnotu závislosti rázové houževnatosti na hustotě v oblasti Doks. V oblasti Plas je vykazována střední korelace.

Tabulka 18: Regresní rovnice a korelační koeficient závislosti rázové houževnatosti v ohybu na hustotě - oblastí

	Rovnice regrese	Korelační koeficient
Doksy	$Y = 0,4237 + 0,0317x$	$R = 0,7060$
Plasy	$Y = 0,4612 + 0,0213x$	$R = 0,4824$



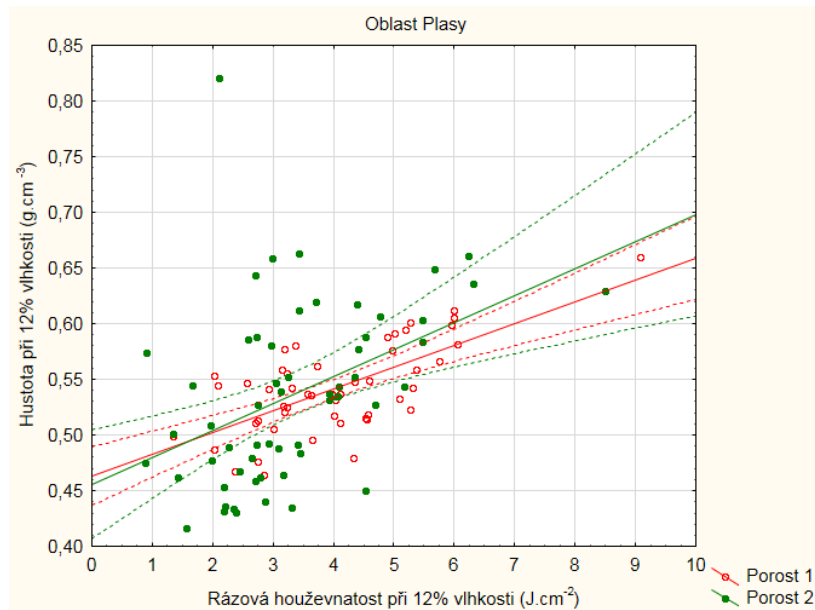
**Obrázek 42: Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě - oblasti**



**Obrázek 43: Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě v jednotlivých porostech - oblast Doksy**

Závislost rázové houževnatosti na hustotě je zobrazena na obr. 43 a 44. Z grafů je patrné, že s rostoucí hustotou se zvyšuje i pevnost rázové houževnatosti. Pouze u porostu 1 v Doksech je patrná mírná tendence růstu rázové houževnatosti při zvyšující se hustotě. Při posouzení korelačního koeficientu v porostu 1 je vidět nízká závislost mezi hustotou a rázovou houževnatostí (tab. 19). Porosty v oblasti Plasy dosahují střední hodnoty korelačního koeficientu a střední korelaci vykazuje i porost

2 v Doksech. V oblasti Doks má porost 3 vysokou závislost rázové houževnatosti na hustotě.



**Obrázek 44: Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě v jednotlivých porostech - oblast Plasy**

**Tabulka 19: Regresní rovnice a korelační koeficienty závislosti rázové houževnatosti v ohybu na hustotě v jednotlivých porostech**

		Doksy	Plasy
Porost 1	Rovnice regrese	$y = 0,5523 + 0,0046x$	$y = 0,4632 + 0,0196x$
	Korelační koeficient	$r = 0,1292$	$r = 0,6777$
Porost 2	Rovnice regrese	$y = 0,4562 + 0,0264x$	$y = 0,4558 + 0,0243x$
	Korelační koeficient	$r = 0,6792$	$r = 0,4368$
Porost 3	Rovnice regrese	$y = 0,3878 + 0,0383x$	
	Korelační koeficient	$r = 0,7978$	



## 7 Diskuze

### 7.1 Hustota

Porovnáme-li hustotu dřeva borovice v Doksech a Plasech, zjistíme, že dřevo borovice v Doksech dosahuje o  $18,863 \text{ kg.m}^{-3}$  vyšší hustoty. Vyšší hustoty dřeva bylo v Doksech dosaženo pěstebními opatřeními a stanovištěm, ve kterém strom rostl. Sledované vlastnosti hustoty dosahovaly v oblasti Plas menší variabilitu dat, což mohlo být ovlivněno pěstebními opatřeními v dané lokalitě, jiná varianta je dána rozdílným počtem vzorků z jednotlivých oblastí. Oblast Doks vykazuje hodnotu hustoty  $516,409 \text{ kg.m}^{-3}$ , oblast Plas  $497,446 \text{ kg.m}^{-3}$ . Porovnáním hodnot hustoty, které uvádí Tsoumis (1991), je průměrná hustota u obou stanovišť vyšší. V porovnání s Wagenführem (2000) se obě hodnoty do intervalu hustoty zařadí. Dle Gandelové et. al. (2002) je hustota při 12% vlhkosti v obou stanovištích nižší. V porovnání s Požgajem (1997) lze hodnotu v oblasti Plas označit za shodnou, ale oblast Doks vykazuje hustotu vyšší. Při srovnání zjištěné hustoty obou porostů s hodnotami, které uvádí Novák (1970), lze konstatovat, že obě stanoviště vykazují vyšší hodnoty, než je uváděno v literatuře. Hodnota hustoty v Plasech je shodná s intervalem, který uvádí Šimůnková (2000), ale Doksy vykazují hodnotu vyšší.

Sledováním rozdílů mezi jednotlivými porosty si lze povšimnout, že v Doksech dosahuje nejvyšší hustoty porost 1, který je nejmladší (jeho hustota je  $544,488 \text{ kg.m}^{-3}$ ). Tento fakt může být spojen s pěstebními opatřeními v dané lokalitě a růstovými podmínkami stanoviště. Porovnáním hustoty mezi jednotlivými porosty lze pozorovat sestupnou tendenci. Porost 3 se nachází v jiném stanovišti a oproti porostu 1 a 2 vykazuje výrazně nižší hodnoty hustoty. Oblast Plasy vykazuje také sestupnou tendenci hustoty v rámci porostů.

Při pozorování hustoty v horizontální poloze napříč kmenem v jednotlivých oblastech se prokázalo, že juvenilní dřevo má nejnižší hustotu. Dále hustota dřeva směrem od dřeně k obvodu kmene roste a následně klesá. Tento vývoj se shoduje i s údaji v literatuře. Požgaj (1997) uvádí, že hustota dřeva klesá zhruba už od padesátého roku stáří. Popisovaný jev byl pozorován pouze v oblasti Doks. V oblasti Plasy došlo k nárůstu hustoty dřeva nejbliže k obvodu stromu, což může být způsobeno zmenšením tloušťky letokruhu.

## 7.2 Mez pevnosti v ohybu

Při sledování hodnot meze pevnosti v ohybu bylo zjištěno, že oblast Doksy vykazuje vyšší hodnoty než Plasy. Rozdíl mezi oblastmi činil 2,09 MPa a analýzou rozptylu nebyl shledán jako statisticky významný. Dle Gandelové et. al.(2002) jsou mechanické vlastnosti dřeva závislé na hustotě, a proto lze předpokládat i vyšší pevnost v ohybu dřeva v oblasti Doks. To prokázaly i zjišťované závislosti hustoty na mezi pevnosti v ohybu. Mez pevnosti v ohybu v Doksech činí 73,59MPa, v Plasech 71,50. Tyto hodnoty jsou v intervalu, které uvádí Wagenführ (2000). Při porovnání s hodnotami, které uvádí další literatura Novák (1970), Gandelová et. al. (2002), Požgaj (1997), Tsoumis (1991), lze konstatovat, že obě stanoviště vykazují hodnoty meze pevnosti nižší, než uvádí zmiňovaní autoři.

Porovnáním hustoty dřeva s mezí pevnosti v ohybu v jednotlivých porostech lze konstatovat, že očekávaný jev vyšších hodnot porostu 1 v Doksech nebyl prokázán. Při zkoumání závislosti byla zjištěna nízká závislost pevnosti v ohybu na hustotě v daném porostu. Dle Gandelové (2002) mechanické vlastnosti závisí na hustotě, ale také jsou závislé na anatomické stavbě dřeva. Porost 3 stejně jako u hustoty dosahuje nízkých hodnot. Oblast Plasy má mez pevnosti v ohybu v porovnání s hustotou stejný trend.

Při zkoumání meze pevnosti po poloměru kmene lze v oblasti Doks konstatovat stejný průběh grafu jako u hustoty. Plasy vykazují oproti hustotě ve 4 sekci klesající tendenci pevnosti.

## 7.3 Modul pružnosti v ohybu

Modul pružnosti v ohybu je charakterizovaný střední hodnotou v oblasti Doks (9373,75 MPa) a oblast Plas (9177,7 MPa). V porovnání s Požgajem (1997), který uvádí modul pružnosti v ohybu při 12% vlhkosti 10620 MPa, jsou zjištěné hodnoty z obou stanovišť nižší.

V oblasti Doks byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi porostem 2 a 3. Povšimněme si, že modul pružnosti ohybu má stejný průběh jako mez pevnosti v ohybu ve všech porostech. Což se ze středních až vysokých korelačních koeficientů závislosti dá předpokládat.

Při zkoumání modulu pružnosti v horizontální rovině kmene si lze povšimnout, že průběh grafů je podobný jako u meze pevnosti v ohybu.

#### **7.4 Mez pevnosti v tlaku podél vláken**

Porovnáním hodnot meze pevnosti v tlaku mezi jednotlivými stanovišti zjistíme, že oblast Doks vykazuje lepší vlastnosti než Plasy, avšak tyto hodnoty jsou statisticky nevýznamné. Z vysokých korelačních koeficientů je patrné, že hustota ovlivňuje mechanické vlastnosti. Pevnost v tlaku má v oblasti Doks hodnotu 45,99 MPa, v oblasti Plas 44,95 MPa. Do intervalu hodnot, jež uvádí Wagenführ (2000) se obě oblasti spolehlivě vejdu, ale pokud porovnáme střední hodnotu u zmiňovaného autora s naměřenými výsledky, pak obě oblasti vykazují nižší pevnost. Při porovnání hodnot pevnosti v tlaku podél vláken s další literaturou Tsoumis (1991), Gandelová et. al. (2002), Požgaj (1997), Novák (1970), lze ve zkoumaných oblastech konstatovat nižší pevnost.

Porovnáním pevnosti dřeva v tlaku mezi jednotlivými porosty v oblasti Doks byl zjištěn stejný klesající trend jako u hustoty. V jednotlivých porostech Plas byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými porosty a ve srovnání s hustotou porost 2 vykazuje vyšší pevnost v tlaku podél vláken. Při stejných podmínkách růstu bylo v porostu 2 pěstebními opatřeními dosaženo zvýšení pevnosti v tlaku. Následným sledování závislosti hustoty na pevnosti v tlaku ve směru vláken v jednotlivých porostech, lze konstatovat, že pevnost v tlaku v porost 2 prokazuje silnou závislost na hustotě oproti porostu 1.

Kretschmann et al., (1998) uvádí nejmenší pevnost v oblasti juvenilního dřeva. Déle pevnost dřeva stoupá, až pomalu dosáhne maxima. Tento jev potvrzuje zkoumání pevnosti v tlaku v oblasti Doks. Oblast Plasy vykazuje podobný trend pevnosti v tlaku jako u hustoty.

## 7.5 Rázová houževnatost

Při porovnání jednotlivých oblastí mezi sebou si lze povšimnout, že stejný trend mají všechny zmiňované vlastnosti a to, že oblast Doks vykazuje vyšší hodnoty než oblast Plas. Průměrná hodnota oblastí Doks je  $3,83 \text{ J.cm}^{-2}$ , Plas  $3,66 \text{ J.cm}^{-2}$ . Analýzou rozptylu byl tento rozdíl shledán statisticky nevýznamný. Wangenführ (2000) uvádí střední hodnotu  $4 \text{ J.cm}^{-2}$ , námi naměřené hodnoty jsou nižší. Při porovnání hodnot s Tsoumisem (1991) a Požgajem (1997) obě oblasti vykazují nižší hodnoty.

Sledováním rozdílu mezi jednotlivými porosty si lze povšimnout, že nejvyšší pevnost rázové houževnatosti dosahuje porost 1 v oblasti Doks. Následně hodnoty pevnosti rázové houževnatosti klesají. Tento fakt je shodný i s průběhem hustoty v daných porostech. Z toho lze usuzovat, že hustota má vliv na pevnost dřeva. Oblast Plasy má pevnost rázové houževnatosti v porovnání s hustotou stejný trend.

Při pozorování rázové houževnatosti v horizontální poloze napříč kmenem v jednotlivých oblastech se prokázalo, že juvenilní dřevo má nejnižší pevnost. Dále pevnost dřeva směrem od dřeně k obvodu kmene roste a následně klesá. Tento jev se shoduje s průběhem hustoty v oblasti Doks a Plas.

## 8 Závěr

Cílem této práce bylo posoudit vliv pěstebních opatření na vybrané mechanické vlastnosti borovice lesní (*Pinus sylvestris*) z oblasti Doks a Plas. Jednotlivé oblasti byly charakterizovány porosty. Při porovnání výsledných hodnot rázové houževnatosti, meze pevnosti v tlaku, meze pevnosti v ohybu a modulu pružnosti s literaturou vychází hodnoty pevností ve většině případů nižší. Do intervalu hodnot pevností, jež uvádí Wagenführ (2000) výsledné hodnoty spadají. Výsledné hodnoty hustoty lze považovat za shodné s literaturou.

Při provedení analýzy rozptylu byl shledán statisticky významný rozdíl mezi oblastmi pouze u hustoty. Zbylé zkoumané mechanické vlastnosti byly v rámci oblastí statisticky nevýznamné. Oblast Doks vykazuje v porovnání s oblastí Plasy vyšší hodnoty hustoty a zkoumaných pevností. Při zkoumání závislosti modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu byla shledána vysoká závislost. Závislost hustoty na zkoumané mechanické vlastnosti byla zjištěna jako střední až vysoká. Oblast Doks vykazuje vyšší závislost fyzikálních vlastností na zkoumané mechanické vlastnosti.

Porovnáním všech porostů lze konstatovat, že většina porostů v oblasti Doks vykazuje lepší mechanické vlastnosti než porosty v Plasech. Nejvyšší hodnoty hustoty, meze pevnosti v tlaku a rázové houževnatosti vykazuje porost 1 v oblasti Doks. Oproti tomu nejvyšších hodnoty meze pevnosti v ohybu a modul pružnosti v ohybu jsou v porostu 2 v oblasti Doks. Mezi jednotlivými porosty byl statisticky významný rozdíl u většiny mechanických vlastností prokázán, a to dokazuje, že mikroklima a stanoviště, ve kterém strom roste, mechanické vlastnosti ovlivňují. U většiny zkoumaných vlastností byla mezi hustotou a zkoumanou vlastností v rámci porostů shledána střední až vysoká závislost. Závislost statického modulu pružnosti na mez pevnosti v ohybu je střední až vysoká.

Zkoumané vzorky odebrané z horizontální roviny kmene prokázaly statistickou významnost při všech zkouškách s tím, že vzorky odebrané nejbliže u dřeně vykazují nejmenší hodnoty. Dále hodnoty vlastností dřeva ve většině případech směrem od dřeně k obvodu kmene rostou a následně klesají. Vliv orientace dřeva směrem na sever či jih, na mechanické vlastnosti, se podle zkoumání v jednotlivých oblastech liší, ale nebyl zde nalezen žádný společný faktor těchto změn.

## 9 Seznam zdrojů

### 9.1 Literární zdroje

- ABRAHÁMOVÁ ET. AL., J. 1999. *Všeobecná encyklopedie*. I. svazek. Praha: DIDEROT. 518 s. ISBN 80-902555-3-1.
- BABIAK, M.; DUBOVSKÝ, J. 2000. *Problémy z mechanických vlastností dřeva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 69 s. ISBN 80-228-1076-2.
- BÍLEK, L. 2015. *Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky*. , 45 s.
- ČVANČARA ET. AL., A. 1997. *Květena ČESKÉ REPUBLIKY*. I. Praha: Academia. 557 s. ISBN 80-200-0643-5.
- FELLNER, J.; TEISCHINGER, A.; ZSCHOKKE, W. 2007. *Spektrum dřevin: vyobrazení, popis a srovnávací údaje*. Vídeň: proHolz Austria. 111 s. ISBN 978-3-902320-44-5.
- GANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P.; ŠLEZINGEROVÁ, J. 2002. *Nauka o dřevě*. Brno: MZLU Brno. 184 s. ISBN 80-7157-577-1.
- HORÁČEK, P. 1998. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. Brno: Mendelova zemědělská univerzita v Brně. 128 s. ISBN 80-7157-347-7.
- KASK, R. 2015. *The influence of growth conditions on physico-mechanical properties of Scots pine (Pinus sylvestris L.) wood in Estonia*, 164 s. ISBN: 978-9949-536-80-1. Dostupné také z: [https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/1916/Regino\\_Kask\\_PhD\\_Thesis\\_2015fin.pdf?sequence=1](https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/1916/Regino_Kask_PhD_Thesis_2015fin.pdf?sequence=1)
- KREMER, B. P. 1995. *Stromy*. Praha: Ikar. 287 s. ISBN 80-85830-92-2.
- KRETSCHMANN ET. AL., D. E. 1998. *Techline - Properties and Use of Wood, Composites, and Fiber Products* [online]. In: . [cit. 2016-01-30]. 1 s. Dostupné z: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/techline/properties-of-juvenile-wood.pdf>
- MUSIL, I. 2003. *Lesnická dendrologie 1 - jehličnaté dřeviny*. Praha: Česká zemědělská univerzita. 285 s. ISBN 80-213-0992.

- NOVÁK, J., SLODIČÁK, M.; DUŠEK, D. 2011. *Hospodaření na obecním majetku s vysokou rekreační funkcí, využívání přírodních procesů v borových a smrkových porostech nižších poloh*. Doksy: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., Výzkumná stanice Opočno. 64 s. ISBN 978-80-7417-042-3.
- NOVÁK, V. 1970. *Dřevařská technická příručka*. Praha: SNTL. 748 s. ISBN 04-821-70.
- PERELYGIN, L.M. 1957. *Náuka o dreve*. Moskva: Sovetskaja Nauka. 444 s. ISBN 63-552-65.
- POKORNÝ, J.; MATOUŠOVÁ, V.; KONEČNÁ, K. 1990. *Stromy*. Praha: Aventinum. 222 s. ISBN 80-7151-045-9.
- POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: PRIRODA a.s. 485 s. ISBN 80-07-00600-1.
- SLÁVIK, M. 2004. *Lesnická dendrologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 215 s.
- ŠIMŮNKOVÁ, E.; KUČEROVÁ, I. 2000. *Dřevo*. Vydání první. Praha: Tiskárna Unitisk. 134 s. ISBN 80-9002668-4-3.
- TSOUMIS, G. 1991. *SCIENCE AND TECHNOLOGY OF WOOD: Structure, Properties, Utilization*. New York: Chapman and Hall. 497 s. ISBN 0-412-07851-1.
- VANIN, S.I. 1949. *Nauka o dřevě*. Moskva: Goslesbušizdat. 428 s.
- WAGENFÜHR, R. 2002. *Dřevo - obrázkový lexikon*. Praha: Grada Publishing a.s. 348 s. ISBN 80-247-0346-7.
- WAGENFÜHR, R. 2000. *Holzatlas*. 5. vydání. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. 707 s. ISBN 3-446-21390-2.

## 9.2 Internetové zdroje

[www.biolib.cz](http://www.biolib.cz) [online]. [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/taxon/id2319/>

*www.prolignum.cz: Dřevo jako stavební materiál* [online]. [cit. 2016-03-20].  
Dostupné z:

[http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/Holzbaukurs/Kapitel\\_1-  
PK.pdf](http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/Holzbaukurs/Kapitel_1-PK.pdf)

*Www.botany.cz* [online]. [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/pinus-sylvestris/>

*Www.old.vscht.cz: Makroskopická stavba dřeva – teoretická část* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z:

[http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res\\_makroskopicka\\_stavba\\_dreva/teorie.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_makroskopicka_stavba_dreva/teorie.htm)

### **9.3 Normy**

ČSN 49 00 12. Dřevo : fyzikální a mechanické skůsky. Praha : Český normalizační institut, 1974. 5 s.

ČSN 49 01 03. Zjišťovanie vlhkosti při fyzikálních a mechanických skůskach. Praha : Český normalizační institut, 1979. 5 s.

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

ČSN 49 01 10. Dřevo : medza pevnosti v tlaku v smere vlákien. Praha : Úradu pre normalizáciu a meranie, 1979. 4 s.

ČSN 49 01 16. Dřevo : Metóda zisťovania modulu pružnosti při statickom ohybe. Praha: Úradu pre normalizáciu a meranie 1980. 7 s.

ČSN 49 01 16. Dřevo : Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe. Praha : Úradu pre normalizáciu a meranie 1980. 7 s.

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