

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra zpracování dřeva a biomateriálů**



**Bakalářská práce**

**Porovnání pružnostních a pevnostních charakteristik v ohybu  
dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské**

**Autor práce**

**Gubalová Tereza**

**Vedoucí práce**

**Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tereza Gubalová

Dřevařství

Název práce

**Porovnání pružnostních a pevnostních charakteristik v ohybu dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské**

Název anglicky

**Comparison of elasticity and strength bend characteristics of wood Silver fir and Grand fir**

### Cíle práce

Cílem práce je porovnání experimentálně stanovených modulů pružnosti (statického a dynamického) a pevnosti v ohybu dřeva jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) a jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) z lokalit České republiky, a to standardní normalizovanou metodikou a následné posouzení případných rozdílů mezi druhy z pohledu užitkových vlastností.

### Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o daných dřevinách a posuzovaných vlastnostech.
- 2) Odebrat reprezentativní vzorníky z vybraných lokalit a připravit zkušební tělesa.
- 3) Normalizovanými postupy stanovit moduly pružnosti a pevnost dřeva v ohybu.
- 4) Posoudit případné rozdíly mezi druhy z pohledu užitkových vlastností. Zhodnotit i zdroje variability těchto pružnostních a pevnostních charakteristik v rámci druhu, včetně vlivu hustoty.
- 5) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.

## **Doporučený rozsah práce**

40–50 stran

## **Klíčová slova**

dřevo, jedle bělokorá, jedle obrovská, moduly pružnosti, pevnost v ohybu, variabilita

---

## **Doporučené zdroje informací**

BUCUR, V. Acoustics of Wood, Springer Series in Wood Science, 2006. 393 s.

ČSN 49 0103: Dřevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach. ČSN 49 0108: Dřevo. Zisťovanie hustoty.

ČSN 49 0115: Dřevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe.

ČSN 49 0116: Dřevo. Metóda zisťovania modulu pružnosti pri statickom ohybe.

DINWOODIE, J. M. Timber: Its nature and behavior, Taylor & Francis New York, USA, 2000. 258 s.

FAKOPP Ultrasonic Timer user's guide (<http://fakopp.com/docs/products/ultrasonic/UltrasonicGuide.pdf>).

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.

ZOBEL, B. J., VAN BUITENEN, J. P. Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag. Berlin, 1989. 363 s.

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2020/21 LS – FLD

## **Vedoucí práce**

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

## **Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

## **Konzultant**

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 18. 2. 2020

---

**Ing. Radek Rinn**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2020

---

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Porovnání pružnostních a pevnostních charakteristik v ohybu dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10. 4. 2022

---



## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Vlastimilu Borůvkovi, PhD za veškerou pomoc při psaní této závěrečné práce. Dále bych chtěla poděkovat všem mým blízkým, kteří mě při studiu vysoké školy soustavně podporovali.

# Porovnání pružnostních a pevnostních charakteristik v ohybu dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské

## Abstrakt

Práce se zabývá pružnostními a pevnostními charakteristikami jedle bělokoré (*Abies alba*, Mill.) a jedle obrovské (*Abies grandis* Douglas/Lindl.). Ve stručné rešerši jsou oba tyto druhy popsány spolu se zkoumanými charakteristikami. V rámci praktické části práce byly zkoumány rozdíly mezi těmito druhy v hustotě, dynamickém modulu pružnosti, statickém modulu pružnosti a v mezi pevnosti v ohybu. Charakteristiky byly zjišťovány na 488 vzorcích ze 6 kmenů jedle bělokoré a na 220 vzorcích ze tří kmenů jedle obrovské. Stromy, ze kterých byly tyto vzorky získány pocházely z Kostelce nad Černými Lesy. Posouzeny také byly rozdíly ve vertikálních částech kmene u zkoumaných druhů a také to, zda existuje vztah mezi hustotou a studovanými pevnostními a pružnostními charakteristikami. Zkoumané vzorky jedle bělokoré dosáhly průměrné meze pevnosti ve statickém ohybu hodnoty 65,7 MPa, naproti tomu mez jedle obrovské byla 61,6 MPa. Tento rozdíl v mezi pevnosti byl statisticky průkazný. Také u dalších sledovaných charakteristik, byly dosažené hodnoty jedle bělokoré prokazatelně lepší.

**Klíčová slova:** dřevo, jedle bělokorá, jedle obrovská, moduly pružnosti, pevnost v ohybu, variabilita

# Comparison of elasticity and strength bend characteristics of wood Silver fir and Grand fir

## Abstract

The paper deals with elasticity and strength characteristics of European silver fir (*Abies alba*, Mill.) and Grand fir (*Abies grandis* Douglas/Lindl.). In a brief review, both species are described together with the characteristics investigated. In the practical part of the work, the differences between these species in density, dynamic Modulus of Elasticity, static Modulus of Elasticity and Bending Strength were investigated. The characteristics were investigated on 488 samples from six European silver fir trunks and 220 specimens from three Grand fir trunks. The trees from which these samples were obtained came from Kostelec nad Černými Lesy. Differences in the vertical parts of the trunk of the species studied were also assessed, as well as whether there was a relationship between density and the strength and elasticity characteristics studied. The studied European silver fir specimens reached an average static Bending Strength of 65.7 MPa, while the Grand fir reached 61.6 MPa. This difference in Bending Strength was statistically significant. Also for the other characteristics studied, the values obtained for European silver fir were demonstrably better.

**Keywords:** wood, European silver fir, Grand fir, Modulus of Elasticity, Bending Strength, variability

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Cíle práce</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Literární řešerše</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>Rod jedle</b> .....	<b>5</b>
3.1.1	Jedle bělokorá ( <i>Abies alba</i> Mill.) .....	5
3.1.2	Jedle obrovská ( <i>Abies grandis</i> Douglas/ Lindl.) .....	6
<b>3.2</b>	<b>Posuzované vlastnosti</b> .....	<b>8</b>
3.2.1	Hustota dřeva .....	8
3.2.2	Dynamický modul pružnosti .....	9
3.2.3	Statický modul pružnosti .....	9
3.2.4	Mez pevnosti v ohybu .....	10
<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>11</b>
<b>4.1</b>	<b>Zjišťování hustoty vzorků</b> .....	<b>11</b>
<b>4.2</b>	<b>Zkouška ultrazvukem</b> .....	<b>12</b>
4.2.1	Odhalení defektních vzorků.....	12
4.2.2	Dynamický modul pružnosti .....	13
<b>4.3</b>	<b>Statická zkouška ohybem</b> .....	<b>13</b>
4.3.1	Statický modul pružnosti .....	14
4.3.2	Mez pevnosti v ohybu .....	14
<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuze</b> .....	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>Odhalení defektních vzorků zkouškou ultrazvukem</b> .....	<b>16</b>
<b>5.2</b>	<b>Hustota dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské</b> .....	<b>18</b>
5.2.1	Porovnání hustoty jedle bělokoré a jedle obrovské.....	19
5.2.2	Hustota v různých částech stromu .....	20
<b>5.3</b>	<b>Dynamický modul pružnosti jedle bělokoré a jedle obrovské</b> .....	<b>22</b>
5.3.1	Porovnání dynamického modulu pružnosti jedle bělokoré a jedle obrovské .....	23
5.3.2	Dynamický modul pružnosti v různých částech stromu.....	24
<b>5.4</b>	<b>Statický modul pružnosti jedle bělokoré a jedle obrovské</b> .....	<b>26</b>
5.4.1	Porovnání statického modulu pružnosti jedle bělokoré a jedle obrovské .....	27
5.4.2	Statický modul pružnosti v různých částech stromu.....	28

<b>5.5</b>	<b>Mez pevnosti v ohybu jedle bělokoré a jedle obrovské .....</b>	<b>30</b>
5.5.1	Porovnání meze pevnosti jedle bělokoré a jedle obrovské .....	31
5.5.2	Mez pevnosti v různých částech stromu .....	32
<b>5.6</b>	<b>Vliv hustoty na pružnostní a pevnostní charakteristiky.....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>38</b>

# 1 Úvod

Sucho, které v Čechách nastalo v minulých letech a s tím související kalamity škůdců vedly k nedozírným hospodářským škodám v našich lesích, kde nejvíce pěstovanou dřevinou je smrk ztepilý (*Picea abies*). Za předpokladu, že tyto mimořádné podmínky budou nadále pokračovat, nebo hrozí, že tyto podmínky znovu nastanou, je vhodné, aby lesníci zkusili zavést pěstování zatím méně obvyklých druhů dřevin v těch lokalitách, kde pěstování smrku nebude nadále vhodné.

Protože má dřevo široké využití ve stavebnictví, jsou z hlediska užitných vlastností důležité zejména pružnostní a pevnostní charakteristiky. Právě z tohoto důvodu je nutné co nejpodrobněji prozkoumat mechanické vlastnosti těch dřevin, které mají potenciál nahradit smrk ztepilý v Čechách.

Jednou z dřevin, která dle ZEIDLER a kol. (2015) může z hlediska užitných vlastností nahradit smrk ztepilý je jedle obrovská (*Abies grandis*). Jedná se o dřevinu introdukovanou ze západního pobřeží Severní Ameriky, která se v Čechách již pěstuje přes 150 let, ale doposud vždy v omezené míře (MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2006).

Je otázka, jak moc se ve svých charakteristikách bude lišit jedle obrovská od jedle bělokoré (*Abies alba*), která je jediným domácím zástupcem rodu *Abies*. Jedle bělokorá, která roste pomaleji, než jedle obrovská byla dříve tím vůbec nejrozšířenějším jehličnanem v Čechách a téměř pětinu všech lesních porostů tvořily právě jedle. Dokonce se tento rod dostal do dvou názvů vegetačních stupňů podle ZLATNÍKA (1976) – jedlobukový a smrkojedlobukový. Protože je jedle náchylná na stabilitu podmínek a škůdce, byla cíleně nahrazena ekonomicky perspektivnějším, rychleji rostoucím smrkem ztepilým, a to zejména v průběhu posledních 200 let. To se pozvolna mění a v posledním století je jedle cíleně lesnický reintrodukovaná se snahou dosáhnout celkového zastoupení 4,4 %.

## 2 Cíle práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je porovnání hustoty, experimentálně stanoveného dynamického modulu pružnosti, statického modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu dřeva jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) a jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) pocházejících z Kostelce nad Černými lesy, a to standardními normalizovanými metodikami a následné posouzení případných rozdílů mezi druhy a jednotlivými částmi kmene z pohledu užitkových vlastností.

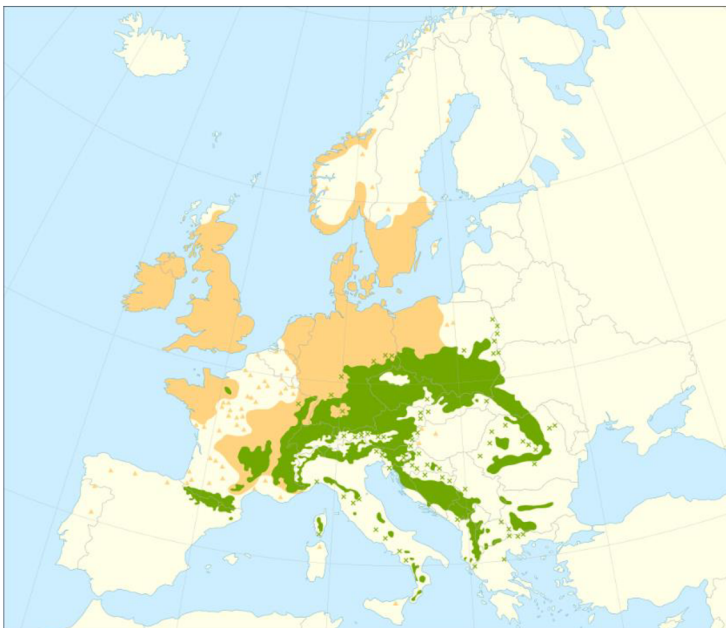
## 3 Literární rešerše

### 3.1 Rod jedle

Rod *Abies* spadá do řádu borovicotvaré (*Pinales*), kam spadají i všechny ostatní jehličnany, které rostou běžně v lesích ČR. Následně spadá do čeledi borovicovité (*Pinales*), stejně jako ostatní běžné české jehličnany vyjma rodů jalovec (čeleď cypřišovité) a tis (čeleď tisovité). Do podčeledi jedlové (*Abietoideae*) spadá kromě rodu jedle a rodu jedlovec také například rod cedr (*Cedrus*).

#### 3.1.1 Jedle bělokorá (*Abies alba* Mill.)

Jedle bělokorá má jádro svého přirozeného výskytu převážně na území Střední Evropy a okrajově se vyskytuje i v sousedních oblastech Západní, Jižní a Jihovýchodní Evropy, ale introdukovaná byla i do Evropy Severní, jak je vidět na obrázku 1. Původně byla jedle v lesích Střední Evropy vůbec nejzastoupenější jehličnatou dřevinou se zastoupením kolem 19 %, ale dnes její zastoupení činí pouhých 1,1 %. Toto nízké zastoupení je kromě upřednostňování smrku a borovice v osevnických postupech způsobeno také náchylností vůči škůdcům, znečištění ovzduší a klimatickým změnám. Při snaze zajistit přirozenější skladbu lesa je dnes cílová hodnota 4.4 % z celkové skladby (ČERNÝ, 2016). Jedle může žít 500–800 let (ZEIDLER a kol., 2015).



Obrázek 1 Výskyt jedle bělokoré v Evropě  
(Wikimedia Foundation)



Obrázek 2 habitus jedle bělokoré  
(databaze.dendrologie.cz)



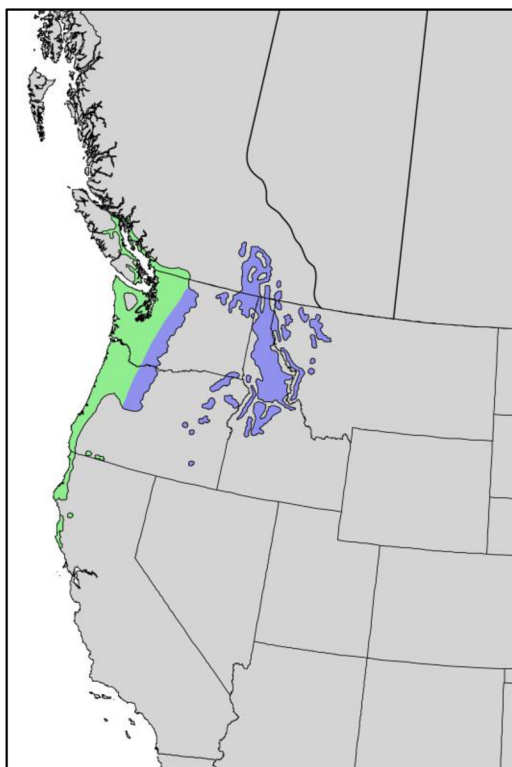
Koruna dle DIVÍŠEK a kol. (2010) má pravidelný kuželovitý tvar (viz obrázek 2), který se později mění do tvaru válce a dosahuje výšky až kolem 60 m (dle ZEIDLER a kol., 2015, dorůstá do 50 m výšky). Válcovitý tvar má i kmen s průměrem do 2 m (dle ZEIDLER a kol. 2015, bývá průměr 1 m). Borka je bělošedá, hladká a v pozdějším věku má tendenci rozpukat v podélném směru (DIVÍŠEK a kol., 2010).

Dřevo jedle bělokoré patří mezi měkká a lehká dřeva. Barva dřeva je nažloutle bělavá a také má šedý až nafialovělý nádech. Hranice mezi letokruhy je zřetelná. Povrch dřeva jedle bělokoré se neleskne a hranice jádrového dřeva je stěží rozlišitelná od bělové části. Jedle nemá pryskyřičné kanálky, ale ty se mohou v případě poranění u tohoto stromu vytvořit. Kvůli tomu, že jedle bělokorá má vyšší vlhkost jádrového dřeva, než běle, tak dochází občas ke vzniku mokrého jádra (ZEIDLER, 2012).

Dřevo jedle má podobné technické vlastnosti jako smrk. Oproti smrkovému dřevu ale nemá tak vysoký lesk a časem dochází k jeho zešednutí. Dřevo tohoto druhu stromu se používalo více ve stavebnictví než jako řezivo. Díky tomu, že vydává charakteristický zvuk, který varuje před zlomením, bylo využíváno na výrobu vzpěr v dolech. Jedle také bývá tradičně užívána jako vánoční stromek. Jelikož má větší odolnost pod vodou než na souši, bývá také jedlové dřevo využíváno na vodních stavbách (MUSIL a kol., 2003).

### **3.1.2 Jedle obrovská (*Abies grandis* Douglas/ Lindl.)**

Na obrázku 3 je vidět přirozený areál výskytu na severozápadě USA (sever Kalifornie, Oregon, Washington, Montana, Idaho) a na jihu Britské Kolumbie v Kanadě převážně v horských oblastech (ALDEN, 1997). Tato rychle rostoucí jehličnatá dřevina upřednostňuje vlhčí půdy (MUSIL a kol., 2003). Do Čech byla poprvé introdukována v druhé polovině 19. století a dnes pokrývá 916,23 ha, což je přibližně 0,04 % z celkové porostní plochy (MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2006). Jejím rozšíření brání i nízká odolnost vůči houbám václavkám.



Obrázek 3 Původní výskyt jedle Obrovské  
(USGS.gov)



Obrázek 4 Habitus Jedle obrovské  
(databaze.dendrologie.cz)

V ALDEN (1997) je uvedeno, že běžně dosahuje výšky 140 stop (cca 42,67 m), ale může dosáhnout až 250 stop (76,2 m), což z ní činí nejvyšší druh jedle vůbec. Průměr kmene bývá běžně 4 stopy (1,22 m), ale může dosáhnout až pěti stop. Podle stejného zdroje může být odstín dřeva, od takřka bílé (nearly white) do červenohnědé (reddish brown). Jádrová část není odlišitelná od běle (ALDEN, 1997). Kmen tohoto stromu má válcovitý tvar a koruna je kuželovitá, jak je vidět na obrázku 4, v dospělosti kopulovitá. Borka je tmavohnědá a ve stáří rozpuká (KRÜSSMANN, 1978).

Spolu s pěti dalšími druhy jedlí (*A. amabilis*, *A. concolor*, *A. lasiocarpa*, *A. magnifica*, *A. procera*) patří do skupiny bílých jedlí. Dřevo těchto jedlí se totiž běžně v Severní Americe ve dřevařském průmyslu netřídí podle konkrétního druhu, ale prodává se dohromady jako „white fir“, což je možné díky podobným vlastnostem a vzhledu dřeva těchto jedlí (MARKSTROM, 1975, ROSS, 2010).

Dřevo těchto jedlí, které je snadno opracovatelné se používá ve stavebnictví, ve výrobě krabic, dveří, výrobků vzniklých hoblováním a frézováním. Dřevo nejvyšší kvality je možno využít pro interiérové výrobky, lišty, obklady anebo dokonce při výrobě letadel (ROSS, 2010). Také se využívá k výrobě překližek, trámů, sloupků, částí nábytku, forem na beton, nebo třeba

na výrobu buničiny. Snadno se lepí, je bez pryskyřičných kanálek, ale obtížně se impregnuje. (ALDEN, 1997). Tento druh stromu má potenciál stát se velmi významným pro lesnictví Střední Evropy a ZEIDLER a kol. (2015) dokonce uvádí, že může svými vlastnostmi (zejména pevností v ohybu) nahradit i smrk ztepilý (*Picea abies*).

## 3.2 Posuzované vlastnosti

### 3.2.1 Hustota dřeva

Hustota dřeva (případně též měrná hmotnost), udávaná obvykle buď v  $\text{kg/m}^3$  v  $\text{g/cm}^3$ , nebo v anglosaské literatuře případně  $\text{lbs/ft}^3$  je jednou z nejdůležitějších fyzikálních vlastností dřeva, protože silně ovlivňuje hodnoty vlastností mechanických. Stanovením hustoty dřeva se zabývá norma ČSN 49 0108. Dřevo s vyšší hustotou bývá pevnější, tvrdší i odolnější vůči opotřebování, než dřevo lehké (POŽGAJ a kol., 1997). Vzorec pro výpočet hustoty tělesa je:

$$\rho = \frac{m}{V} \cdot 10^6 = \frac{m}{l \cdot b \cdot h} \cdot 10^6 \text{ [kg/m}^3\text{]},$$

kde  $m$  je hmotnost tělesa [g] a  $l, b, h$  jsou jeho rozměry [mm].

Samotnou hustotu dřeva zásadně ovlivňuje jeho vlhkost. S přibývajícím vlhkostí neroste pouze hmotnost dřeva, ale mění se i jeho rozměry (objem), které rostou až do nasycení buněčných stěn vodou. Proto existuje více různých druhů hustot dřeva, z nichž každá může mít při zpracování svůj význam. Nejčastěji udávanou hustotou je hustota při vlhkosti 12 % (v MEIER udávaná i jako Average Dried Weight), což je přibližná hodnota vlhkosti při dlouhodobém vystavení dřeva 65% vlhkosti vzduchu a 20 °C, což jsou přibližně podmínky v interiérech budov. Relativní vlhkost dřeva požaduje pro měření hustoty dřeva i norma ČSN 49 0108. Mechanické vlastnosti jednotlivých dřevin jsou obvykle udávány právě pro dřevo o relativní vlhkosti 12 %, což umožňuje porovnávat měřené hodnoty v celosvětovém měřítku. Někdy se také udává hustota dřeva v absolutně suchém stavu, tedy při relativní vlhkosti 0 % (POŽGAJ a kol., 1997). Hustotu dřeva o určité vlhkosti je možné přepočítat na hustotu při 12 % vlhkosti podle vzorce z normy ČSN 49 0108 takto:

$$\rho_{12} = \rho_w \cdot \left[ 1 - \frac{(1-K) \cdot (W-12)}{100} \right] \text{ [kg/m}^3\text{]},$$

kde  $\rho_w$  je hustota vzorku [ $\text{kg/m}^3$ ] o známé vlhkosti  $W$  [%] a  $K$  je koeficient objemového bobtnání při změně vlhkosti 1 % [-].

### 3.2.2 Dynamický modul pružnosti

Dynamický modul pružnosti je důležitou charakteristikou při zjišťování akustických vlastností dřeva, která má vztah k hustotě dřeva, rychlosti průchodu zvuku dřevem, akustickému vlnovému odporu a akustické konstantě. Dynamický modul pružnosti se liší ve směru vláken a napříč vláken, což platí i pro šíření zvukové vlny ve dřevě. Modul pružnosti napříč vláken bývá 10 x nebo i víckrát menší než podél vláken (POŽGAJ a kol., 1997).

Vzorec pro výpočet dynamického modulu pružnosti vychází ze vzorce pro výpočet rychlosti průchodu zvuku dřevem:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = L \cdot f \text{ [m/s]},$$

kde  $E$  je modul pružnosti [MPa],  $\rho$  je hustota vzorku [ $\text{kg/m}^3$ ],  $L$  je délka měřeného vzorku [mm] a  $f$  je frekvence první harmonické složky kmitání [Hz]. Dynamický modul pružnosti z tohoto vzorce byl odvozen například v LAGAŇA, ROHANOVÁ (2014), nebo HENYCH (2020). V ERIKSON a kol. (2000), nebo v FRANÇA a kol. (2020) je pro výpočet dynamického modulu pružnosti použita frekvence první složky harmonického kmitání. Naproti tomu v POŽGAJ a kol. (1997) je tento modul pružnosti označen jako Youngův modul pružnosti a místo toho je jako dynamický modul pružnosti označen modul ze vzorce pro výpočet akustické konstanty:

$$K_A = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}} [-],$$

kde  $E$  je modul pružnosti [MPa],  $\rho$  je hustota vzorku [ $\text{kg/m}^3$ ]. Z tabulek přiložených v POŽGAJ a kol. (1997) k daným vzorcům je jasné, že oba tyto moduly dosahují různých hodnot pro stejné dřeviny.

### 3.2.3 Statický modul pružnosti

Statický modul pružnosti se v anglicky psané odborné literatuře značí MOE (Modulus of Elasticity). Jedná se o podíl napětí působícího na dřevo a deformace, kterou vykazuje dřevo po své délce. Čím je modul vyšší, tím je potřeba vyššího napětí, aby došlo k určité deformaci. Může být vyjadřován v MPa, GPa a v anglosaské literatuře také v  $\text{lbf/in}^2$  (MEIER). Moduly pružnosti pro dřevo o 12% vlhkosti by se měly nacházet v intervalu 7–16 GPa (POŽGAJ a kol.,

1997). Statický modul pružnosti se určuje často v rámci destruktivních zkoušek, například současně při zjišťování meze pevnosti v ohybu, ale je ho také možné zjistit nedestruktivně na základě akustických charakteristik, například na základě dynamického modulu pružnosti, čímž se zabýval například LAGAŇA, ROHANOVÁ (2014), nebo DIVÓS, TANAKA (2015).

### **3.2.4 Mez pevnosti v ohybu**

Mez pevnosti udává takové mechanické napětí ohýbáním, při kterém dochází k porušení tělesa a jedná se tak o jednu z nejdůležitějších a nejposuzovanějších mechanických vlastností dřeva. Mez pevnosti v ohybu se v odborné anglicky psané literatuře značí MOR (Modulus of Rupture), nebo „Bending Strength“ (MEIER, ZEIDLER a kol., 2015). Meze pevnosti v ohybu ve směru vláken dosahují jen 5-10 % z meze pevnosti napříč vlákny. Z tohoto důvodu se zatěžování ve směru vláken příliš nevyužívá a běžně se stanovuje mez pevnosti kolmo na vlákna. Nejvyšší napětí je při ohybu na povrchu tělesa a nejnižší v ose tělesa (neutrální osa). V horní části dochází k tlakovému napětí a v dolní k tahovému. Také dochází ke smykovému napětí, které je nejvyšší právě v ose tělesa. Hodnoty meze pevnosti se pro naše dřeviny pohybují v intervalu 50-130 MPa při vlhkosti dřeva 12 % (POŽGAJ a kol. 1997, LUKÁŠEK, 2012).

## 4 Metodika

Celkem bylo změřeno 708 vzorků. Z toho bylo 488 vzorků jedle bělokoré (*Abies alba*) z celkem 6 stromů a 220 vzorků jedle obrovské (*Abies grandis*) ze tří stromů z lokality Kostelec nad Černými Lesy. Vzorky byly před měřením dlouhodobě umístěny v klimatizační komoře, ve které byly udržována 65% vlhkost vzduchu a teplota 20 °C, takže předpokládána relativní vlhkost vzorků při měření je kolem hodnoty 12 %. Všechny vzorky byly nařezány na standartní rozměry tělesa (20 · 20 · 30), ale i tak bylo potřeba přeměřit míry kvůli odchylkám. Vzorky jedle bělokoré (JD) pocházely ze tří částí kmene: spodní (JD\_spod), střední (JD\_stred) a horní (JD\_horni). Naopak vzorky jedle obrovské pocházely jen ze 2 částí a to spodní (JDO\_spod) a střední (JDO\_stred).

Prostřednictvím měření a výsledků zkoušek byly zjišťovány fyzikální (hustota) i mechanické vlastnosti (dynamický modul pružnosti, statický modul pružnosti v ohybu, mez pevnosti v ohybu) vzorků. Z těchto vzorků byly následně vytvořeny výběry podle druhu (JD, JDO), podle části ve kmeni z hlediska vertikálního členění (JD\_spod, JD\_stred, JD\_horni, JDO\_spod, JDO\_stred). Pro tyto výběry byly v softwaru R Studio zjištěny souhrnné statistiky (kvartily, průměry a mediány...) a následně bylo ověřeno, zda vzorky mají normální rozdělení nebo ne pomocí Shapirova testu. Poté byly výběry mezi sebou opět v R Studiu porovnány parametrickými testy (t-test – pro dva výběry, ANOVA – pro více výběrů) i neparametrickými testy (Wilcoxonův test – pro dva výběry, Kruskalův test – pro více výběrů). Pokud všechny výběry měly normální rozdělení, mají větší váhu testy parametrické, pokud ne, tak jsou více vypovídající testy neparametrické (BOŘIL 2015). Hladina  $\alpha$  byla stanovena jako 0,05. Pokud platí alternativní hypotéza (mezi výběry existuje rozdíl), tak byla daná hodnota zvýrazněná červenou barvou. Při porovnání jednotlivých dvojic výběrů (Tukeyův test a Wilcoxonův test) byly modrým rámečkem odlišeny ty výsledky, kdy byly porovnávány oba druhy mezi sebou. Pokud byly mezi sebou porovnávány různé výběry stejného druhu jedle, tak kolem těchto hodnot není žádný rámeček.

### 4.1 Zjišťování hustoty vzorků

Z naměřených hmotností a rozměrů vzorků byla zjištěna hustota vzorků podle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{l \cdot b \cdot h} \cdot 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]},$$

kde  $m$  je hmotnost v [g],  $l$  je délka vzorku [mm],  $b$  je šířka zkoumaného vzorku [mm],  $h$  je výška zkoumaného vzorku [mm].

## 4.2 Zkouška ultrazvukem

Zkouška ultrazvukem je nedestruktivní, což znamená, že neporušuje tvar, ani vlastnosti dřeva. Spočívá v měření času průchodu ultrazvuku dřevem. Používá se u defektoskopie a stanovení dynamického modulu pružnosti.

Ke zkoušce byl použit přístroj Fakopp UltraSonic Timer (viz obrázek 5). Zkouška probíhala tak, že pro daný úsek, jehož střed vždy ležel ve středu délky vzorku (15 cm od konce vzorku) se změřila doba průchodu zvukové vlny (v  $\mu\text{s}$ ). Úseků bylo na každém tělísku pět, a to ve vzdálenostech 60, 120, 140, 180 a 240 mm. Na hranice každého úseku se přiložily piezoelektrické sondy, z nichž jedna vysílala impuls a druhá ho přijímala. Konkrétněji jedna vygenerovala krátký ultrasonický impuls a aktivovala stopky, druhá sonda stopky deaktivovala poté co impuls přijala. Konce vzorků byly položeny na molitanových podkladech.



Obrázek 5: Fakopp UltraSonic Timer před měřením  
(David Novák)

### 4.2.1 Odhalení defektních vzorků

Za předpokladu, že jsou vzorky dostatečně homogenní, měl by ve všech jejich částech procházet impuls stejnou rychlostí. Vzdálenost, jakou signál prochází dřevem by měla být přímo úměrná času, který uplynul od chvíle kdy signál přešel do dřeva. Určitý čas trvá, než se

signál dostane ze sondy do dřeva nebo než je sondou zaznamenán. Aby tedy platila přímá úměra (za 0  $\mu$ s byla uražena vzdálenost 0 mm), je nutné od naměřených časů průchodu signálu vzorkem odečíst korekci, kterou představuje právě čas, který signál strávil v sondách. Tato korekce je konstantou z rovnice přímky lineární regrese, kterou je možné vypočítat z jednotlivých časů a vzdáleností k těmto časům náležejícím. Rychlost signálu se vypočítá podle vzorce z FAKOPP ENTERPRISE BT.:

$$v = \frac{d \cdot 1000}{t_{140} - k} \text{ [m/s]},$$

kde  $d$  je vzdálenost úseku [mm], na kterém byl měřen čas průchodu signálu, v této práci bylo počítáno se vzdáleností úseku 140 mm,  $t_{140}$  představuje čas, který trvá vzorku projít měřenou vzdálenost [mm],  $k$  představuje čas, který signál strávil v sondách [ $\mu$ m].

Vzorky, u kterých průchod signálu trvá znatelně delší dobu než u jiných lze považovat za defektní. Ze získaných časů a jejich náležícím vzdálenostem se dá získat i Pearsonův korelační koeficient, který vyjadřuje sílu lineární závislosti naměřených dat. Pokud je tento koeficient příliš nízký (lineární korelace není silná), jedná se o důvod vzorek vyřadit.

#### 4.2.2 Dynamický modul pružnosti

Dynamický modul pružnosti je možné zjistit ze zkoušky ultrazvukem. Z rychlosti signálu průchodu vzorkem a hustoty vzorku je možné vypočítat dynamický modul pružnosti podle vzorce uvedeného ve FAKOPP ULTRASONIC TIMER:

$$E_{dyn} = \rho^2 \cdot v \text{ [Pa]},$$

kde  $\rho$  je hustota vzorku [ $\text{kg/m}^3$ ],  $v$  je rychlost průchodu signálu vzorkem [m/s].

#### 4.3 Statická zkouška ohybem

Při této destruktivní zkoušce na přístroji TIRA test 2850S byl zjišťován statický modul pružnosti a mez pevnosti v ohybu, což je vidět na obrázku 6. Zkušební těleso bylo položeno na podpěry ve vzdálenosti 240 mm a v radiálním směru (kolmo na vlákna) bylo postupně zvětšováno zatížení do té chvíle, než tlak překonal hodnotu meze pevnosti v ohybu a vzorek byl poškozen. Stroj průběžně zaznamenává velikost průhybu současně se silou, která v danou chvíli na vzorek působí.





Obrázek 6: TIRA test 2850S při statické zkoušce ohybem  
(David Novák)

#### 4.3.1 Statický modul pružnosti

Norma ČSN 49 0116 uvádí vzorec pro výpočet statického modulu pružnosti pro čtyř bodový ohyb. V této práci byl ale na vzorky aplikován trojbodový ohyb s odvozeným vzorcem:

$$E_{oh} = \frac{\Delta F \cdot l_o^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta y} \text{ [MPa]},$$

kde  $\Delta F$  představuje rozdíl síly mezi 10 % a 40 % meze namáhání [N],  $l_o$  je vzdálenost mezi podpěrami [mm], což je 240 mm,  $b$  je šířka zkoumaného vzorku [mm],  $h$  je výška zkoumaného vzorku [mm] a  $\Delta y$  rozdíl průhybu mezi 10 % a 40 % meze namáhání [mm]. Tento postup byl zvolený například v práci HENYCH, 2020. Statický modul pružnosti by se měl podle normy ČSN 49 0116 zaokrouhlovat na hodnotu 0,1 GPa.

#### 4.3.2 Mez pevnosti v ohybu

Mez pevnosti v ohybu se dle ČSN 49 0115 vypočítá podle vzorce:

$$\sigma_w = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_o}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ [MPa]},$$

kde  $F_{max}$  představuje maximální zatížení [N],  $l_o$  je vzdálenost mezi podpěrami [mm],  $b$  je šířka zkoumaného vzorku [mm],  $h$  je výška zkoumaného vzorku [mm].

## 5 Výsledky a diskuze

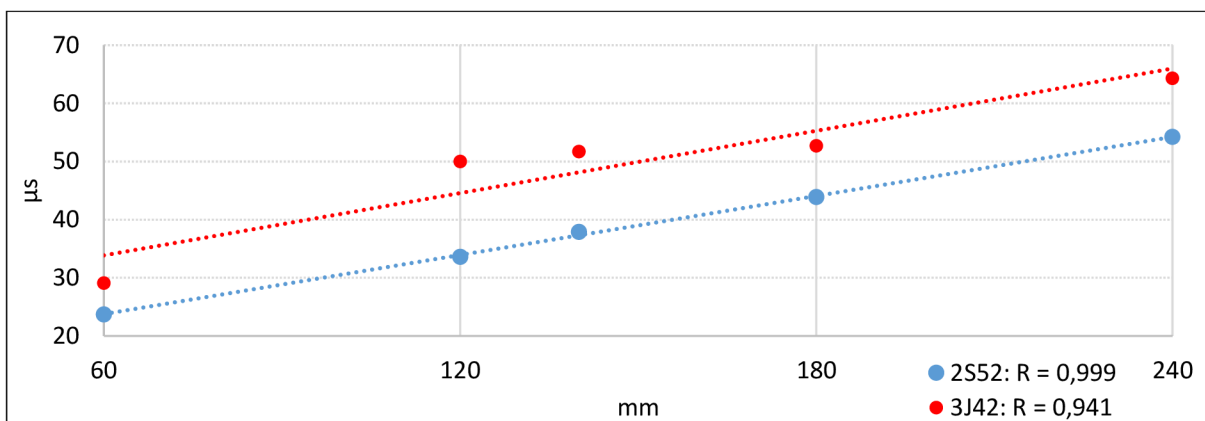
V tabulce 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty pružnostních a pevnostních charakteristik jedle bělokoré, jedle obrovské a jejich jednotlivých částí kmene. Statické moduly pružnosti vychází přibližně o 20–30 % níž, než jsou moduly dynamické. Při srovnání těchto hodnot se zahraniční literaturou je nutné pamatovat na to, že hodnoty ze zahraniční literatury mohou být zjišťovány na základě jiných metodik, než jak je stanoveno v českých normách.

Tabulka 1 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik se směrodatnými odchylkami

dřevina	část	Počet	$\rho_{w12\%}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_{dyn}$ [MPa]	$E_{oh}$ [MPa]	$\sigma_w$ [MPa]
JD	vše	471	463,0 ± 49,2	10 860 ± 2905	7720 ± 1826	65,7 ± 17,4
	spodní	202	480,9 ± 45,5	10 567 ± 2876	8032 ± 1776	72,0 ± 16,1
	Střední	189	441,3 ± 48,4	11 018 ± 2994	7488 ± 1896	60,8 ± 17,0
	Horní	80	469,1 ± 38,6	11 226 ± 2693	7487 ± 1652	61,0 ± 15,7
JDO	Vše	216	446,0 ± 57,5	8137 ± 3254	6492 ± 2266	61,6 ± 16,6
	spodní	135	465,5 ± 47,2	7086 ± 2888	5928 ± 2438	62,5 ± 16,7
	Střední	81	413,2 ± 58,5	9912 ± 2961	7443 ± 1929	60,2 ± 16,1

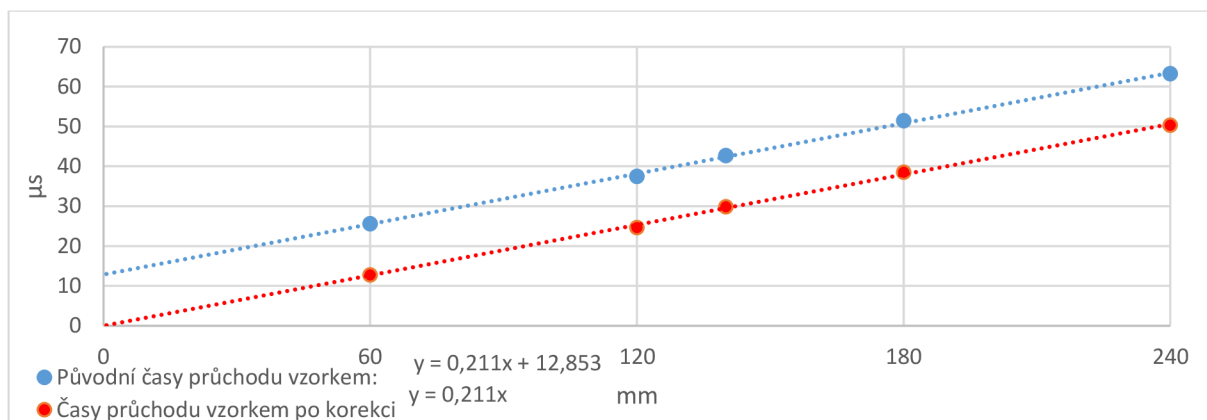
### 5.1 Odhalení defektních vzorků zkouškou ultrazvukem

Vzorky, u nichž Pearsonův korelační koeficient dosahoval hodnot pod 0,95 jsme vyřadily z výběru. Výpočet proběhl z délky měřeného úseku a času průchodu signálu úsekem. Na obrázku 7 je vizualizována závislost času průchodu zvuku pro dané vzdálenosti. Zatímco u vzorku 2S52 je výše korelačního koeficientu dostatečná a z vynesných hodnot se zdá, že se jedná o homogenní vzorek, tak u vzorku 3J42 je vidět, že naměřené hodnoty (body) příliš k regresní přímce nepřiléhají. Tento vzorek byl proto z výběru vyřazen. Celkem takto bylo vyřazeno 15 vzorků, z toho 13 vzorků náleželo jedli bělokoré a 2 vzorky jedli obrovské.



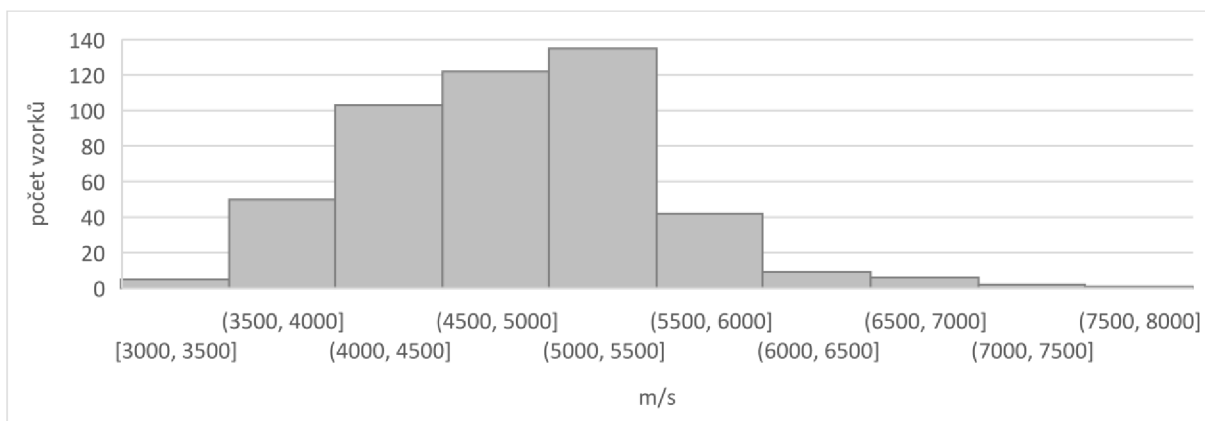
Obrázek 7 Závislost vzdálenosti a času průchodu vzorkem

Pro každý vzorek byla na základě časů průchodu zvuku určitými vzdálenostmi vypočítána konstanta z lineárního vztahu v softwaru Excel. Tato konstanta (korekce) byla použita k opravě všech příslušných měření. Na obrázku 8 jsou vizualizovány časy průchodu vzorkem 1J32 před korekcí a po korekci. Z obrázku je zřejmé, že korekce pro tento vzorek činila 12,853  $\mu\text{s}$ .

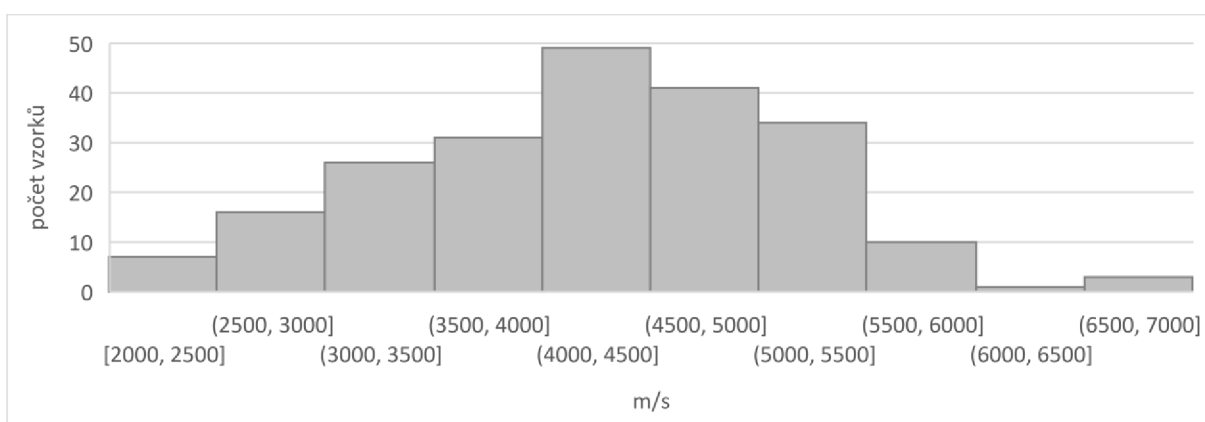


Obrázek 8 Čas průchodu vzorkem 1J32

Poté co byl čas opraven bylo možné vypočítat rychlost průchodu signálu pro všechny vzorky. Rychlosti průchodu signálu těmito vzorky jsou vizualizovány na obrázku 9 a 10. Vzorky, které mají vyšší hustotu by měly mít vyšší rychlost průchodu signálu. Naopak vzorky s nižší hustotou by měly mít rychlost průchodu nižší. Z vizualizovaných histogramů se vybraly intervaly odlehlých hodnot, které nebudou vstupovat do dalších výpočtů. U jedle bělokoré byly vyřazeny ty vzorky, kterými signál prošel rychleji než 7000 m/s (3 vzorky), jelikož se jedná o hodnoty nejvíce vzdálené od středních hodnot. U jedle obrovské byly vyřazeny ty vzorky, u kterých je rychlost nad 6500 m/s (3 vzorky).



Obrázek 9 Histogramy jedle bělokoré



Obrázek 10 Histogramy jedle obrovské

Celkově bylo z 488 vzorků jedle bělokoré 16 vzorků vyřazeno (13 na základě Pearsonova korelačního koeficientu a 3 na základě analýzy histogramu) a z 220 vzorků jedle obrovské byly vyřazeno 5 (2 na základě Pearsonova koeficientu a 3 na základě analýzy histogramu). Celkově tak bylo vyřazeno 2,97 % všech vzorků.

## 5.2 Hustota dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské

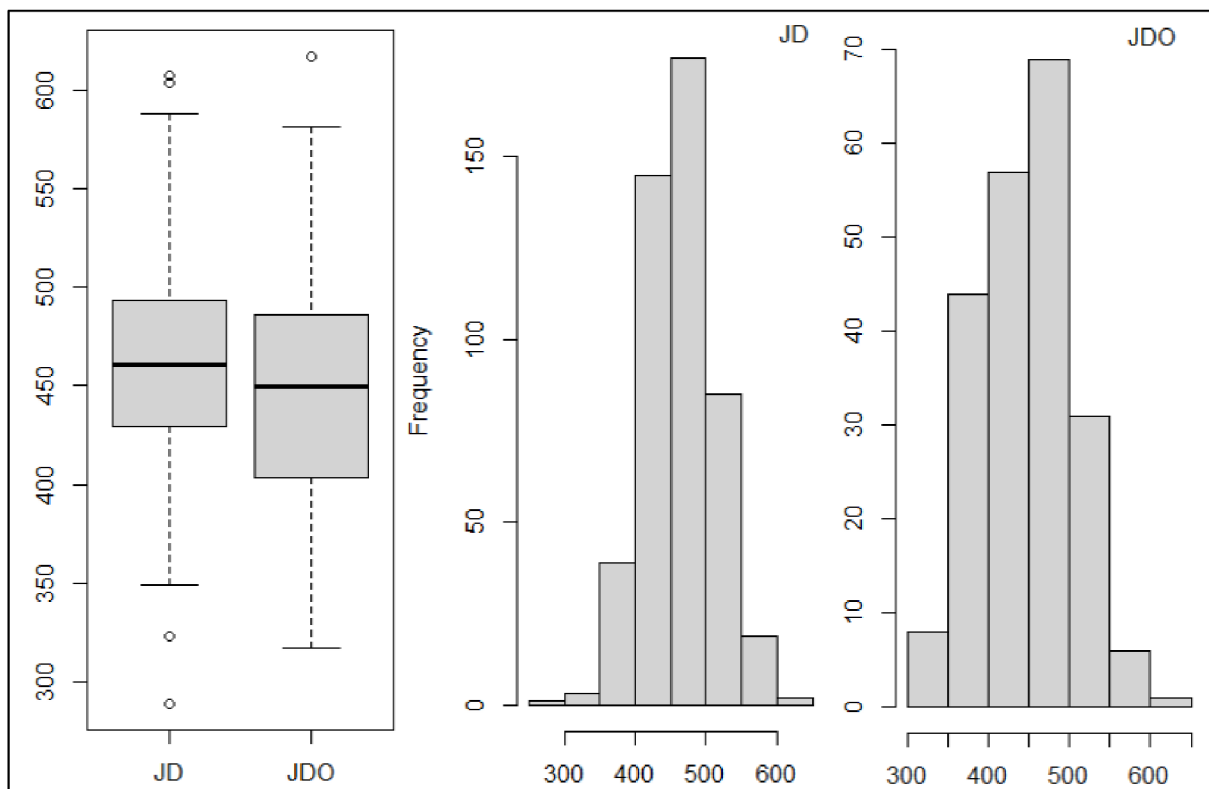
V tabulce 2 jsou vidět, zjištěné průměrné hustoty vypočtené z naměřených vzorků. Průměrná hustota jedle bělokoré vychází trochu vyšší než u jedle obrovské, ale ve zdroji MEIER to vychází naopak. Hustota při vlhkosti 12 % u jedle obrovské odpovídá dostupným zdrojům. Nejvíce se se zjištěnou hustotou rozchází SLÁDEK (2021), ale i ten se vejde do intervalu vymezeného průměrnou hodnotou a směrodatnou odchylkou.

Tabulka 2 Porovnání  $\rho_{w12\%}$  [kg/m<sup>3</sup>] dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské s literaturou

Dřevina	Zjištěná	Literatura
JD	463,0 ± 49,2	415 (MEIER); 350-750 (ALDEN 1997); 450 (WAGENFÜHR, SCHEIBER, 2007)
JDO	446,0 ± 57,5	405 (LUKÁŠEK, 2012); 449 (ALDEN, 1997); 450 (MEIER); 465,5 ± 43,2 (SLÁDEK, 2021); 410,3 (ZEIDLER a kol., 2015); 430 (WAGENFÜHR, SCHEIBER, 2007)

### 5.2.1 Porovnání hustoty jedle bělokoré a jedle obrovské

Z obrázku 11 je možné vyčíst, že hustota jedle bělokoré je vyšší než u jedle obrovské, protože u krabicového grafu jsou všechny kvartily jedle bělokoré vyšší než u jedle obrovské. Z hlediska histogramu působí vzorky jedle bělokoré více jako normální rozdělení než u jedle obrovské, protože působí symetričtěji.



Obrázek 11 Krabicové grafy a histogramy  $\rho_{w12\%}$  [kg/m<sup>3</sup>] jedle bělokoré a jedle obrovské

V tabulce 3 lze vyčíst, že průměrná hustota jedle bělokoré je větší přibližně o 17 kg/m<sup>3</sup> než hustota jedle obrovské. Přesto byl naměřen nejhustší vzorek u jedle obrovské (617,1 kg/m<sup>3</sup>).

Jak je ale vidět na obrázku 11, jedná se o odlehlou hodnotu. Z hlediska Shapirova testu je možné oba výběry považovat za normální rozdělení.

Tabulka 3 Souhrnné statistiky  $\rho_{w12\%}$  [kg/m<sup>3</sup>] jedle bělokoré a jedle obrovské

Dřevina	Min	I. kvartil	medián	Průměr	III. kvartil	Max	Shapiro (p)
JD	288,8	429,1	460,7	463,0	493,3	607,6	0,949
JDO	317,0	403,6	449,6	446,0	485,6	617,1	0,180

Vzhledem k tomu, že oba výběry mají normální rozdělení, má v tabulce 4 vyšší vypovídající hodnotu t-test. Wilcoxonův test i t-test se shodly v tom, že jsou oba výběry rozdílné. Jelikož p hodnota je nižší než hladina  $\alpha$ . Tudíž opravdu platí, že dřevo jedle bělokoré má vyšší hustotu než dřevo jedle obrovské.

Tabulka 4 Porovnání středních hodnot  $\rho_{w12\%}$  u jedle bělokoré a jedle obrovské

Počet vzorků		Wilcoxonův test		t-test (ANOVA)		
JD	JDO	W	P	T	Df	P
472	215	59 204	<b>0,001</b>	3,712	364,6	<b>0,000</b>

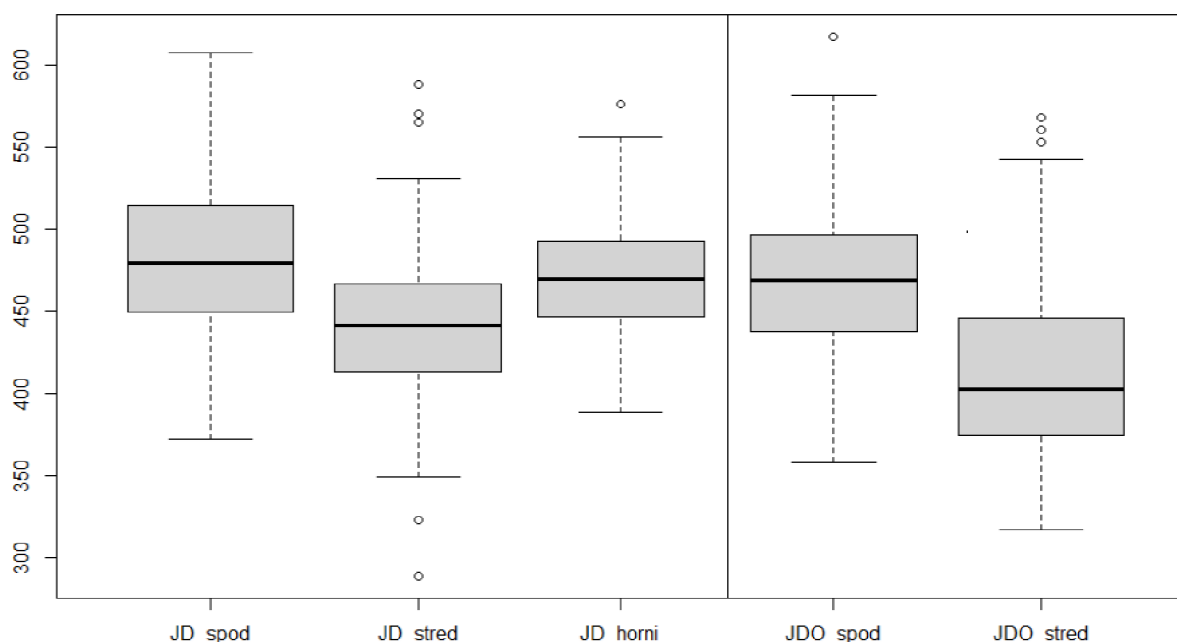
### 5.2.2 Hustota v různých částech stromu

V HAPLA a kol. (2013) je uvedeno, že hustota dřeva v jedli obrovské klesá směrem po kmeni. Hodnoty uvedené v HAPLA a kol. (2013) byly získány ze vzorků z německého Sauerlandu z celkem 12 stromů starých 50 a 64 let. Vzorky byly vysušeny na nulovou vlhkost. Spodní část kmene byla vymezena jako úsek od 1,5 do 7,5 m výšky kmene. Střední část byla vymezena jako část kmene v intervalu 7,5 až 13,5 m. Aby bylo možné tyto údaje z literatury porovnat s údaji zjištěnými v této práci, bylo potřeba je převést na hodnoty o vlhkosti 12 %, podle vzorce uvedeného v podkapitole 2.2.1 a za hodnotu K, byla dosazena hodnota 0,85 (stejně jako v RYNEŠ, 2021). Tyto hodnoty jsou po přepočtení na relativní vlhkost 12 % nižší než hodnoty zjištěné v této práci, jak je vidět v tabulce 5. Hodnoty hustoty jedle obrovské lépe odpovídají údajům z RYNEŠ (2021), které jsou naopak o něco vyšší než v případě této práce. Vzorky jedle obrovské v RYNEŠ (2021) byly počítány ze vzorků, které byly pořízeny ze stejných tří stromů jako vzorky pro tuto práci. Naopak hodnoty hustoty dřeva jedle bělokoré jsou podle téže publikace dosti odlišné od hodnoty zjištěné v rámci této práce.

Tabulka 5: Porovnání  $\rho_{w12\%}$  [kg/m<sup>3</sup>] různých částí kmene jedle obrovské a bělokoré s literaturou

Dřevina	Část kmene	Zjištěná	Literatura
JD	spodní	480,9 ± 45,5	401 (RYNEŠ, 2021)
	střední	441,3 ± 48,4	441 (RYNEŠ, 2021)
	Horní	469,1 ± 38,6	466 (RYNEŠ, 2021)
JDO	spodní	465,5 ± 47,2	386,8 (HAPLA a kol., 2013); 480 (RYNEŠ, 2021)
	střední	413,2 ± 58,5	352,2 (HAPLA a kol., 2013); 449 (RYNEŠ, 2021)

V obrázku 12 vidíme krabicové grafy pro hustotu dřeva ve vzorcích jedle bělokoré a jedle obrovské rozdělené podle pozice v kmene. Jak lze vyčíst, vzorky ze spodní části kmene mají vyšší hustotu než vzorky z vyšších částí. Poněkud překvapivě mají vzorky jedle bělokoré z horní části kmene vyšší hustotu než ze střední části.



Obrázek 12 Krabicové grafy  $\rho_{w12\%}$  [kg/m<sup>3</sup>] JD a JDO v různých částech kmene

Nejmenší hustotu u jedle bělokoré i jedle obrovské mají dle průměru i mediánu z tabulky 6 vzorky ze středního kmene. Všechny výběry splňují podmínky pro normální rozdělení, kromě vzorků jedle obrovské ze střední části.



Tabulka 6 Souhrnné statistiky  $\rho_{w12\%}$  [kg/m<sup>3</sup>] JD a JDO v různých částech kmene

Dřevina a část	Min	I. kvartil	Medián	Průměr	III. kvartil	Max	Shapiro (p)
JD_spod	372,2	449,6	479,6	480,9	514,3	607,6	0,723
JD_stred	288,8	413,4	441,1	441,3	466,3	588,2	0,251
JD_horni	388,6	448,0	469,8	469,1	492,4	576,2	0,727
JDO_spod	358,0	437,5	469,1	465,5	496,6	617,1	0,198
JDO_stred	317,0	374,5	403,0	413,2	445,7	568,1	<b>0,001</b>

Podle tabulky 7 existují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými výběry.

Tabulka 7 Porovnání středních hodnot  $\rho_{w12\%}$  u JDO a JD v různých částech kmene

Počet JD			Počet JDO		Kruskalův test		ANOVA	
Spod	stred	Horni	Spod	stred	X <sup>2</sup>	P	F	P
202	190	80	135	80	119,24	<b>0,000</b>	36,7	<b>0,000</b>

Z tabulky 8 je možné vyčíst, že hustota vzorků z horní části jedle bělokoré se neliší od hustoty vzorků ze spodní části kmene. Dřevo ze střední části kmene u jedle bělokoré se liší od ostatních částí kmene. Stejně tak se liší hustota dřeva u jedle obrovské ze střední a spodní části kmene. Tam kde byly porovnávány mezi sebou hodnoty jedle bělokoré a jedle obrovské byl vždy prokázán rozdíl s výjimkou porovnání jedle bělokoré horní část s jedlí obrovskou spodní část.

Tabulka 8 Porovnání středních hodnot  $\rho_{w12\%}$  výběrů JD a JDO z různých částí kmene

Dřevina a část kmene	Wilcoxonův test				Tukeyův test			
	JD_horni	JD_spod	JD_stred	JDO_spod	JD_horni	JD_spod	JD_stred	JDO_spod
JD_spod	0,118	-	-	-	0,331	-	-	-
JD_stred	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-
JDO_spod	0,733	<b>0,025</b>	<b>0,000</b>	-	0,983	<b>0,030</b>	<b>0,000</b>	-
JDO_stred	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

### 5.3 Dynamický modul pružnosti jedle bělokoré a jedle obrovské

V tabulce 9 jsou vidět zjištěné průměrné hodnoty dynamického modulu pružnosti vypočtené z naměřených vzorků. Dynamický modul pružnosti jedle bělokoré se od hodnoty nalezené v literatuře liší jen minimálně. Hodnota v POŽGAJ a kol. (1997) není přiřazena ke konkrétnímu

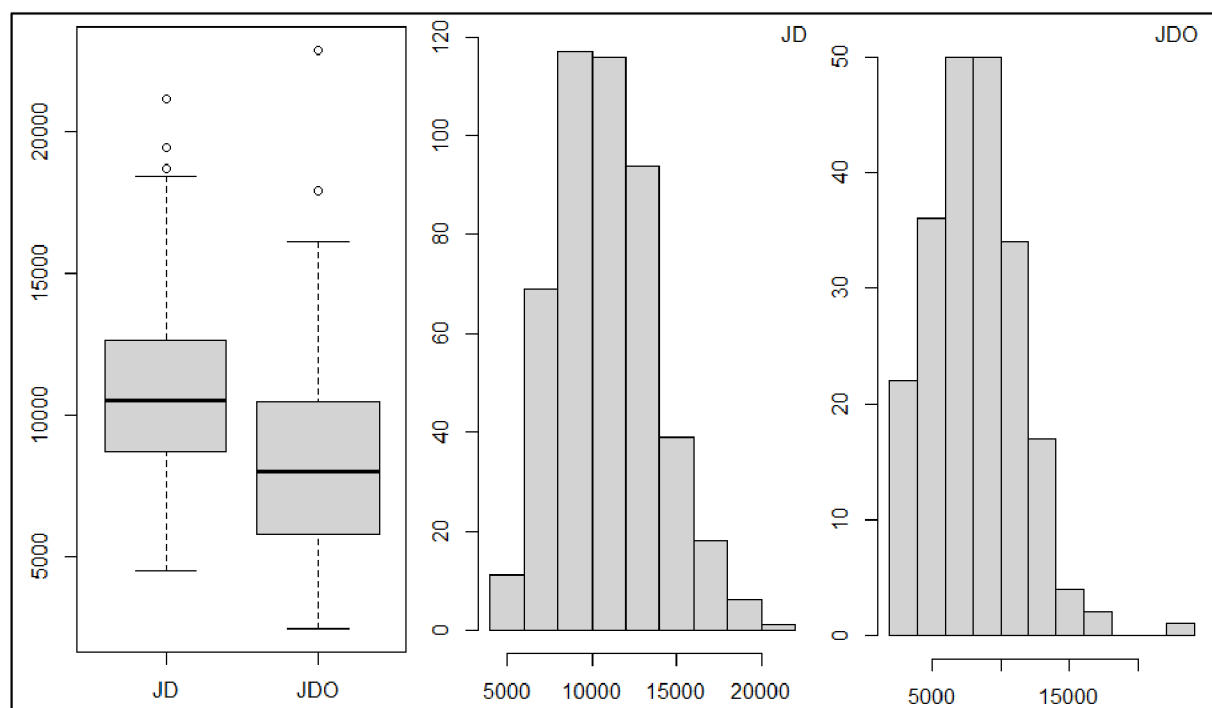
druhu jedle, ale vzhledem k tomu, že se jedná o knihu ze Slovenska, dá se předpokládat, že daná hodnota je vztažena právě k jedli bělokoré. Větší rozdíl je u zjištěné hodnoty dynamického modulu pružnosti jedle obrovské a u hodnoty zjištěné z ERIKSON a kol. (2000). Aby byly hodnoty z ERIKSON a kol. (2000) porovnatelné s výsledky z této práce, bylo potřeba hodnoty dynamického modulu pružnosti přepočítat váženým průměrem podle počtu vzorků v jednotlivých částech, pro které byl dynamický modul pružnosti vyhodnocován. Zároveň bylo potřeba převést průměrnou hodnotu z psi (libra síly na čtverečný palec) na MPa.

Tabulka 9 Porovnání  $E_{dyn}$  [MPa] dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské s literaturou.

Dřevina	zjištěná	Literatura
JD	10 861 ± 2905	10 600 (STRAŽE a kol., 2018), 11 000 (POŽGAJ a kol. 1997)
JDO	8137 ± 3254	9795 (ERIKSON a kol., 2000)

### 5.3.1 Porovnání dynamického modulu pružnosti jedle bělokoré a jedle obrovské

Z obrázku 13 je zřejmé, že jedle bělokorá má větší dynamický modul pružnosti než jedle obrovská. Medián dynamického modulu pružnosti u jedle obrovské je níž než první kvartil jedle bělokoré. Histogramy dynamického modulu pružnosti u obou druhů jedlí připomínají spíše rozdělení chí kvadrát než normální rozdělení, a to zejména díky tomu že pravá část grafu pomaleji klesá než část levá.



Obrázek 13 Krabicové grafy a histogramy  $E_{dyn}$  [MPa] jedle bělokoré a jedle obrovské

Průměr a medián dynamického modulu pružnosti jedle bělokoré i jedle obrovské z tabulky 10 se liší jen minimálně, což je předpoklad pro normální rozdělení. Přesto podle Shapirova testu nemají vzorky jedle bělokoré normální rozdělení.

Tabulka 10 Souhrnné statistiky  $E_{dyn}$  [MPa] jedle bělokoré a jedle obrovské

Dřevina	Min	I. kvartil	medián	Průměr	III. kvartil	Max	Shapiro (p)
JD	4496	8719	10 488	10 860	12 632	21 151	<b>0,000</b>
JDO	2453	5774	8007	8137	10 448	22 877	0,117

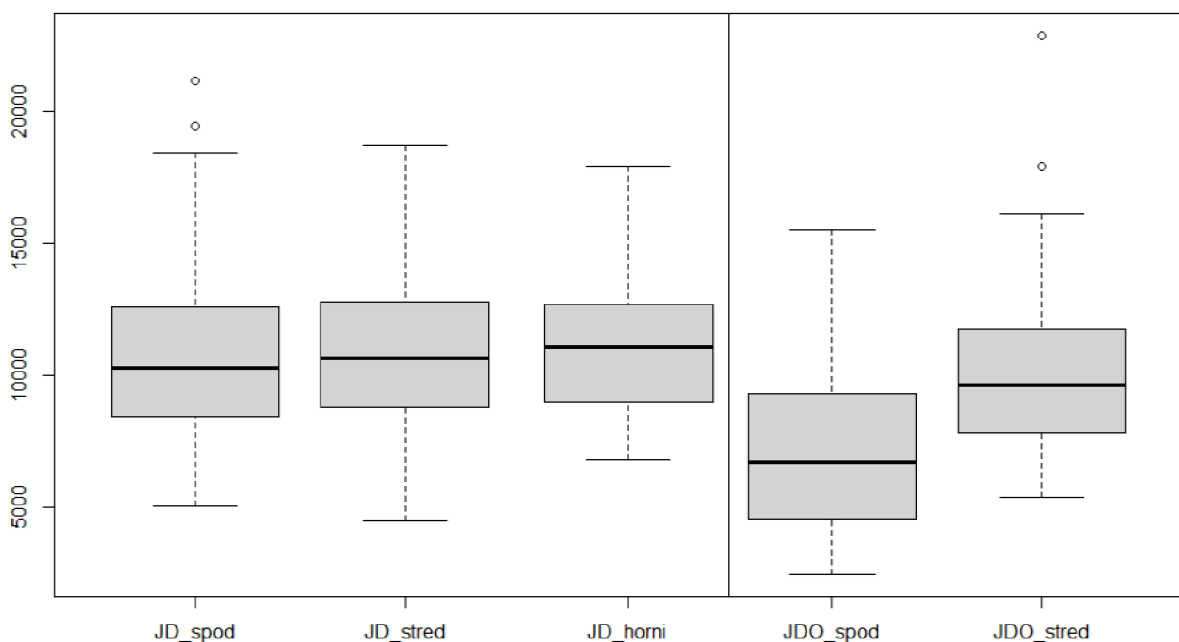
Jak u parametrického, tak u neparametrického testu vychází alternativní hypotéza, tedy že je statisticky významný rozdíl mezi dynamickým modulem pružnosti u jedle bělokoré a jedle obrovské, což je možno vyčíst z tabulky 11.

Tabulka 11 Porovnání středních hodnot  $E_{dyn}$  u jedle bělokoré a jedle obrovské

Počet vzorků		Wilcoxonův test		t-test (ANOVA)		
JD	JDO	W	P	T	df	P
472	215	75 106	<b>0,000</b>	10,74	352,15	<b>0,000</b>

### 5.3.2 Dynamický modul pružnosti v různých částech stromu

Na obrázku 14 je vidět, že dynamický modul pružnosti se v jednotlivých částech jedle bělokoré neliší. Naopak u jedle obrovské je poměrně velký rozdíl mezi dynamickým modulem pružnosti ve spodní části kmene a střední částí kmene.



Obrázek 14 Krabicové grafy  $E_{dyn}$  [MPa] JD a JDO v různých částech kmene

V tabulce 12 čteme, že dynamický modul pružnosti je nižší u spodní části kmene jedle obrovské než u střední části. U všech výběrů, kromě jedle bělokoré ze střední části kmene není podle Shapirova testu normální rozdělení, tudíž větší vypovídající hodnotu má neparametrické testování.

Tabulka 12 Souhrnné statistiky  $E_{dyn}$  [MPa] JD a JDO v různých částech kmene

Druh a část	Min	I. kvartil	Medián	Průměr	III. kvartil	Max	Shapiro (p)
JD_spod	5051	8446	10 290	10 567	12 551	21 151	<b>0,004</b>
JD_stred	4496	8808	10 636	11 018	12 782	18 714	0,190
JD_horni	6815	9016	11 067	11 226	12 654	17 904	<b>0,043</b>
JDO_spod	2453	4557	6733	7086	9292	15 489	<b>0,020</b>
JDO_stred	5386	7825	9644	9913	11 751	22 877	<b>0,029</b>

Z tabulky 13 je zřejmé, že mezi jednotlivými výběry existují statisticky významné rozdíly.

Tabulka 13 Porovnání středních hodnot  $E_{dyn}$  výběrů z různých částí kmene JD a JDO

Počet vzorků JD			Počet vzorků JDO		Kruskalův test		ANOVA	
Spod	Stred	Horni	spod	Stred	X <sup>2</sup>	p	F	p
202	190	80	135	80	13 227	<b>0,000</b>	44,39	<b>0,000</b>

V tabulce 14 jsou prokázány rozdíly již popsané v předchozích tabulkách a obrázcích. Mezi dynamickými moduly pružnosti jedle bělokoré v různých částech kmene nejsou prokazatelné rozdíly ve střední hodnotě. Naopak pokud je porovnávána spodní část kmene jedle obrovskou se střední částí kmene jedle obrovské je rozdíl mezi výběry prokazatelný. Dynamický modul pružnosti ze střední části kmene jedle obrovské není od spodní části kmene jedle bělokoré odlišný. Pokud se porovnává dynamický modul pružnosti jedle obrovské ze střední části kmene se zbývajícími částmi kmene jedle bělokoré, tak je výsledek na hranici průkaznosti.

Tabulka 14 Porovnání středních hodnot  $E_{dyn}$  dvojic výběrů z různých částí kmene JD a JDO

Dřevina a část kmene	Wilcoxonův test				Tukeyův test			
	JD_horni	JD_spod	JD_stred	JDO_spod	JD_horni	JD_spod	JD_stred	JDO_spod
JD_spod	0,284	-	-	-	0,424	-	-	-
JD_stred	0,530	0,465	-	-	0,936	0,744	-	-
JDO_spod	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-
JDO_stred	<b>0,038</b>	0,465	0,085	<b>0,000</b>	0,085	0,687	0,174	<b>0,000</b>

#### 5.4 Statický modul pružnosti jedle bělokoré a jedle obrovské

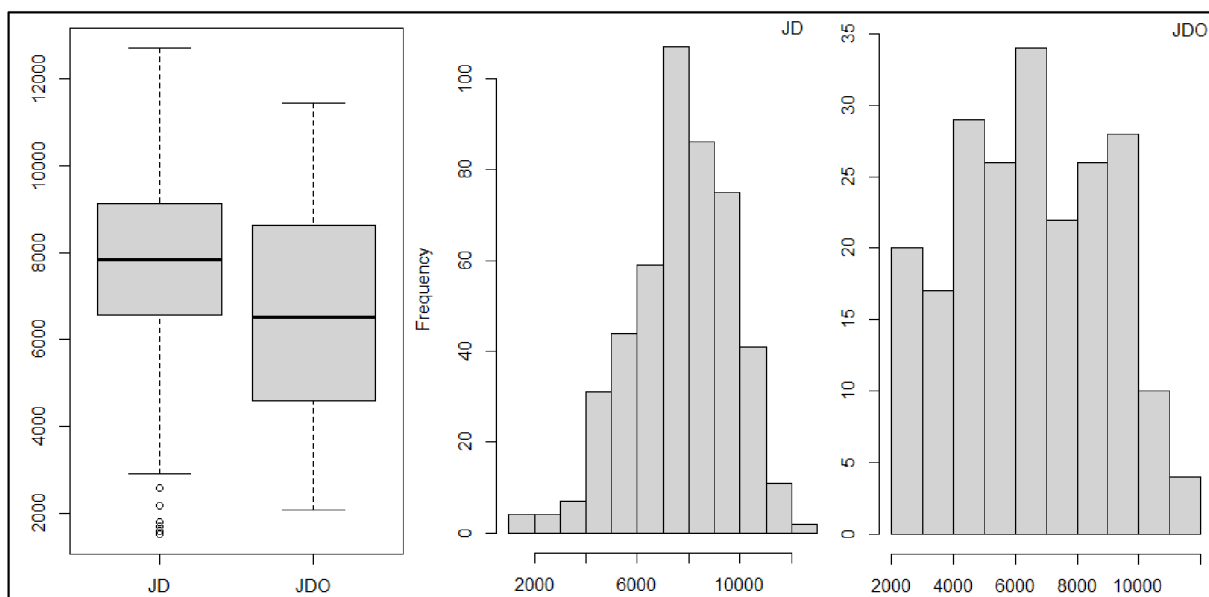
V tabulce 15 jsou vidět, zjištěné průměrné hodnoty statického modulu pružnosti vypočtené z naměřených vzorků. Zjištěný průměrný statický modul pružnosti jedle obrovské se rozchází s literaturou a je přibližně o 3 500 MPa nižší, než jak je uváděno v ALDEN (1997), ROSS (2010), MEIER. Na druhou stranu, ještě větší rozdíl je mezi těmito třemi zdroji a hodnotou zjištěnou ve SLÁDEK (2021), cca o 6 000 MPa. Nejblíže naměřeným hodnotám byla hodnota zjištěná z ERIKSON a kol. (2000).

Tabulka 15 Porovnání zjištěné  $E_{oh}$  [MPa] dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské s literaturou

Dřevina	Zjištěná	Literatura
JD	7720 ± 1826	8280 (MEIER)
JDO	6492 ± 2266	9677 (ERIKSON a kol., 2000); 10 800 (ALDEN, 1997, ROSS 2010); 10 550 (MEIER); 16 172 ± 1 966 (SLÁDEK, 2021)

#### 5.4.1 Porovnání statického modulu pružnosti jedle bělokoré a jedle obrovské

Na obrázku 15 je vidět, že jedle bělokorá má větší statické moduly pružnosti než jedle obrovská. Na druhou stranu je ve vzorcích jedle bělokoré hodně odlehlých hodnot, které snižují průměrnou hodnotu statického modulu pružnosti. Některé tyto odlehlé hodnoty jsou dokonce nižší než minimální hodnota u jedle obrovské. Histogram jedle bělokoré působí na normální rozdělení poněkud špičatě a histogram jedle obrovské působí, že představuje rovnoměrné rozdělení.



Obrázek 15 Krabicové grafy a histogramy  $E_{oh}$  [MPa] jedle bělokoré a jedle obrovské

Průměrná velikost statického modulu pružnosti jedle bělokoré dle tabulky 16 je bezmála 7700 MPa, což je přibližně o 1200 více než statický modul pružnosti jedle obrovské. Vzorky jedle obrovské, ani vzorky jedle bělokoré nemají podle Shapirova testu normální rozdělení.

Tabulka 16 Souhrnné statistiky  $E_{oh}$  [MPa] jedle bělokoré a jedle obrovské

Dřevina	Min	I. kvartil	medián	Průměr	III. kvartil	Max	Shapiro (p)
JD	1528	6562	7848	7720	9116	12 704	<b>0,000</b>
JDO	2077	4601	6508	6492	8610	11 441	<b>0,001</b>

Vzhledem k tomu, že u vzorků neplatí normalita dat, měl by mít větší vypovídající hodnotu Wilcoxonův test, p hodnota tohoto testu se ale nijak neliší od výsledku t-testu. Podle tabulky 17 platí alternativní hypotéza, tedy že existuje rozdíl mezi středními hodnotami statických modulů pružnosti.

Tabulka 17 Porovnání středních hodnot  $E_{oh}$  u jedle bělokoré a jedle obrovské

Počet vzorků		Wilcoxonův test		t-test (ANOVA)		
JD	JDO	W	P	T	Df	P
472	215	66 082	<b>0,000</b>	6,667	351,5	<b>0,000</b>

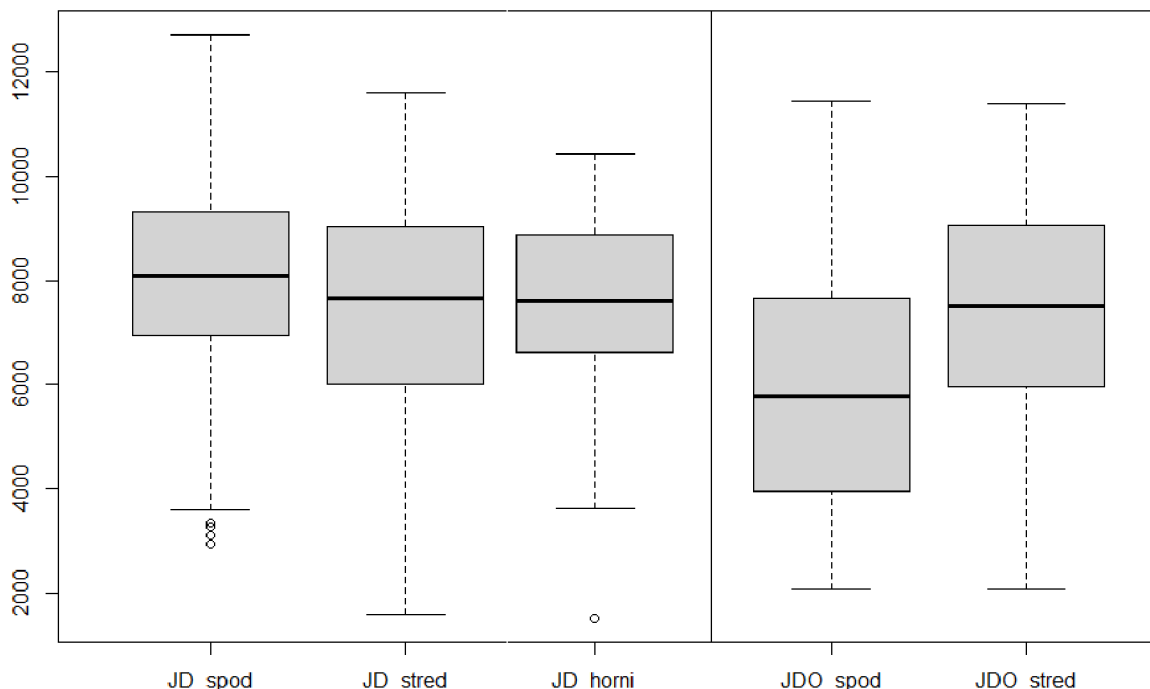
#### 5.4.2 Statický modul pružnosti v různých částech stromu

V LUNDSTRÖM a kol. (2008) je uvedeno, že statický modul pružnosti je nejvyšší ve spodní části kmene a postupně klesá směrem nahoru. Jak je vidět v tabulce 18, bylo to ověřeno jen z části, protože vzorky jedle bělokoré z horní části mají statický modul jen nepatrně nižší, než ho mají vzorky z části střední. Hodnoty zjištěné v této práci příliš neodpovídají hodnotám z LUNDSTRÖM a kol. (2008) a jsou nižší. Hodnoty pro LUNDSTRÖM a kol. (2008) byly zjištěny ze tří stromů jedle bělokoré rostoucích na Švýcarské plošině. Hodnoty uvedené pro tyto tři stromy byly zprůměrovány a zapsány do tabulky 18. Střed spodní části kmene byl umístěn přibližně v 19 % celkové výšky stromu. Střed střední části kmene ležel ve 42 % z celkové výšky stromu a střed horní části kmene ležel v 56 % celkové výšky stromu. Hodnoty z LUNDSTRÖM a kol. (2008) jsou sice vyšší, ale byly zjišťovány pomocí zkoušky čtyřbodovým ohybem.

Tabulka 18 Porovnání  $E_{oh}$  [MPa] částí kmene jedle bělokoré s literaturou

Část kmene	Zjištěná	Literatura
Spodní	8032 ± 1776	11 877 (LUNDSTRÖM a kol., 2008)
Střední	7488 ± 1896	11 167 (LUNDSTRÖM a kol., 2008)
Horní	7487 ± 1652	11 033 (LUNDSTRÖM a kol., 2008)

Na obrázku 16 vidíme, že největší statický modul pružnosti mají vzorky ze spodní části kmene jedle bělokoré, naopak nejnižší statický modul pružnosti je ve vzorcích ze spodní části kmene jedle obrovské.



Obrázek 16 Krabicové grafy  $E_{oh}$  [MPa] v různých částech kmene JD a JDO

Z tabulky 19 vyčteme, že průměrné hodnoty statického modulu pružnosti se takřka neliší u výběrů jedle bělokoré střední část, jedle bělokoré horní část a jedle obrovské střední část, pohybují se kolem hodnoty 7488 MPa. Jednoznačně nejvyšší hodnoty statického modulu pružnosti má dřevo jedle bělokoré ve spodní části. Naopak nejnižší hodnoty byly získány ze spodní části kmene u dřeva jedle obrovské.

Tabulka 19 Souhrnné statistiky  $E_{oh}$  [MPa] v různých částech kmene JD a JDO

Druh a část	Min	I. kvartil	Median	Průměr	III. kvartil	Max	Shapiro (p)
JD_spod	2946	6945	8093	8032	9307	12 704	0,074
JD_stred	1599	5999	7646	7488	9032	11 576	<b>0,008</b>
JD_horni	1528	6658	7599	7487	8865	10 420	<b>0,033</b>
JDO_spod	2080	3948	5792	5928	7667	11 441	<b>0,001</b>
JDO_stred	2077	5968	7516	7464	9048	11 391	<b>0,034</b>



Z tabulky 20 je zřejmé, že mezi jednotlivými výběry existují statisticky významné rozdíly.

Tabulka 20 Porovnání středních hodnot  $E_{oh}$  v různých částech kmene JD a JDO

Počet JD			Počet JDO		Kruskalův test		ANOVA	
Spod	stred	Horni	spod	Stred	X <sup>2</sup>	P	F	p
202	190	80	135	80	67,43	<b>0,000</b>	24.37	<b>0,000</b>

Z tabulky 21 je zřejmé, že se všechny výběry liší od statického modulu pružnosti jedle obrovské ve spodní části kmene. Blízko statistické významnosti ( $p < 0,05$ ) je i rozdíl u jedle bělokoré střední části a jedle bělokoré spodní části.

Tabulka 21 Porovnání středních hodnot  $E_{oh}$  dvojic výběrů z různých částí kmene JD a JDO

Dřevina a část kmene	Wilcoxonův test				Tukeyův test			
	JD_horni	JD_spod	JD_stred	JDO_spod	JD_horni	JD_spod	JD_stred	JDO_spod
JD_spod	0,145	-	-	-	0,259	-	-	-
JD_stred	1,000	0,067	-	-	1,000	0,060	-	-
JDO_spod	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-
JDO_stred	1,000	0,197	1,000	<b>0,000</b>	1,000	0,216	1,000	<b>0,000</b>

## 5.5 Mez pevnosti v ohybu jedle bělokoré a jedle obrovské

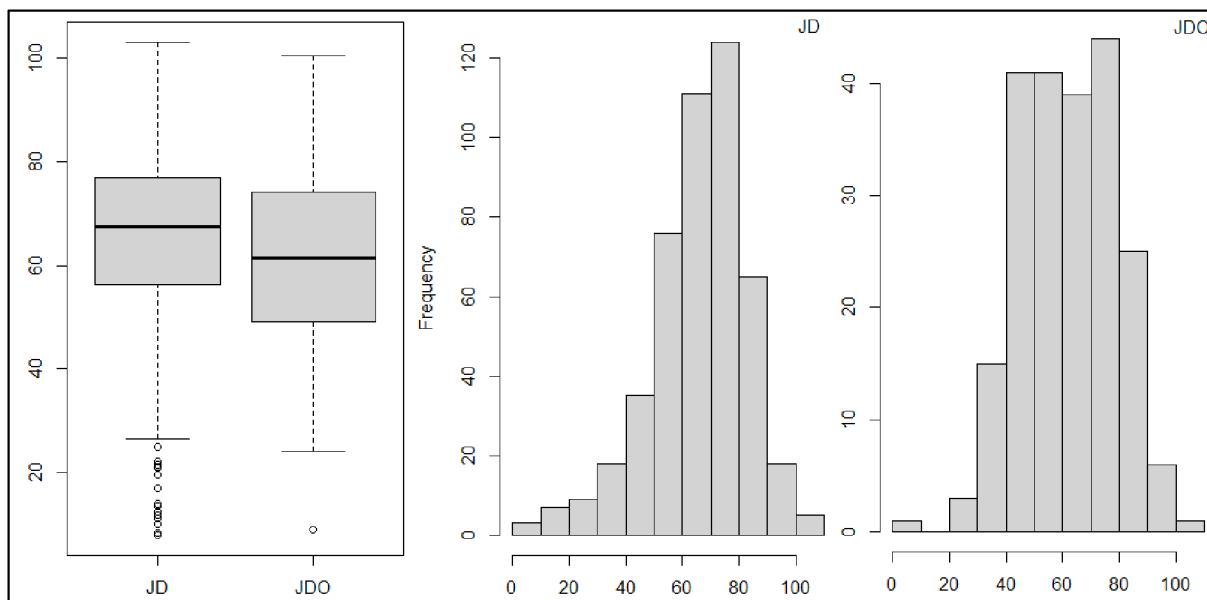
V tabulce 22 jsou vidět zjištěné průměrné hodnoty meze pevnosti vypočtené z naměřených vzorků. Zjištěné údaje se shodují s literaturou. Nejvíce se liší údaj ze ZEIDLER a kol. (2015), u kterého průměrná hodnota vyšla přibližně o 12 MPa výše a u ERIKSON a kol. (2000), u kterého je hodnota nižší přibližně o 24 MPa oproti průměrné hodnotě zjištěné meze pevnosti v této práci.

Tabulka 22 Porovnání zjištěné  $\sigma_w$  [MPa] jedle bělokoré a jedle obrovské s literaturou

dřevina	Zjištěná	Literature
JD	65,7 ± 17,4	66,1 (MEIER); 47-118 (ALDEN, 1997)
JDO	61,6 ± 16,6	37,6 (ERIKSON a kol., 2000); 61,4 (ALDEN, 1997, ROSS, 2010); 60,3 (MEIER); 73,6 ± 9 (SLÁDEK, 2021); 78,1 (ZEIDLER a kol., 2015); 68 (WAGENFÜHR, SCHEIBER, 2007)

### 5.5.1 Porovnání meze pevnosti jedle bělokoré a jedle obrovské

V obrázku 17 můžeme vidět, že se jednotlivé kvartily krabicových grafů víceméně překrývají. Přesto se zdá, že jedle bělokorá má o něco málo vyšší mez pevnosti, a že řada vzorků jedle bělokoré má natolik nízkou mez pevnosti, že je možno je považovat za odlehlé hodnoty. Histogram jedle obrovské působí více jako normální rozdělení, protože působí symetričtěji.



Obrázek 17 Krabicové grafy a histogramy  $\sigma_w$  [MPa] jedle bělokoré a jedle obrovské

V tabulce 23 je vidět, že průměrné hodnoty meze pevnosti jsou si podobnější než mediány. To je způsobeno zejména odlehlými hodnotami. Zatímco u jedle obrovské vzhledem k vysoké p hodnotě Shapirova testu není důvod předpokládat jiné než normální rozdělení, tak u vzorků jedle bělokoré je normální rozdělení vyloučeno.

Tabulka 23 Souhrnné statistiky meze pevnosti [MPa] jedle bělokoré a jedle obrovské

Druh	Min	I. kvartil	Median	Průměr	III. kvartil	Max	Shapiro (p)
JD	7,89	56,29	67,48	65,66	76,88	103,09	<b>0,000</b>
JDO	8,92	49,23	61,38	61,65	74,20	100,37	0,278

V tabulce 24 je vidět, že stejně jako u ostatních zkoumaných vlastností je statisticky prokazatelný rozdíl meze pevnosti v ohybu u jedle bělokoré a jedle obrovské.

Tabulka 24 Porovnání středních hodnot meze pevnosti u jedle bělokoré a jedle obrovské

Počet vzorků		Wilcoxonův test		t-test (ANOVA)		
JD	JDO	W	p	T	Df	P
472	215	59328	<b>0,000</b>	2,857	435,19	<b>0,005</b>

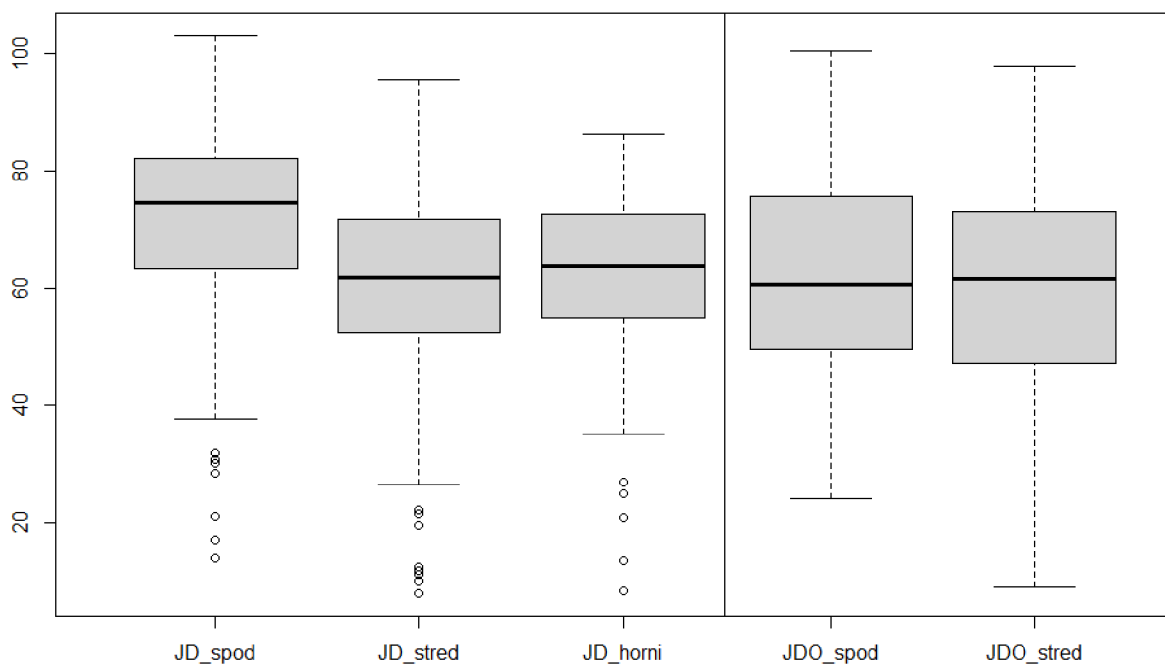
### 5.5.2 Mez pevnosti v různých částech stromu

V LUNDSTRÖM a kol. (2008) je uvedeno, že mez pevnosti je nejvyšší ve spodní části kmene a postupně klesá směrem nahoru. Jak je vidět v tabulce 25, bylo to ověřeno jen z části, protože průměrná mez pevnosti u vzorků jedle bělokoré z horní části je nepatrně vyšší než u vzorků ze střední části. Hodnoty z LUNDSTRÖM a kol. (2008) jsou sice nižší, ale nachází se aspoň v dolní části intervalu vymezeném směrodatnými odchylkami a byly počítány podle odlišného vzorce, než byl použit v této práci stejně jako to bylo v případě statického modulu pružnosti. Rozdíly v hodnotách tak nemusí být zcela porovnatelné.

Tabulka 25 Porovnání zjištěných  $\sigma_w$  [MPa] v jednotlivých částech kmene jedle bělokoré

část kmene	Zjištěná	Literatura
Spodní	72.0 ± 16.1	56.3 (LUNDSTRÖM a kol., 2008)
Střední	60.8 ± 17.0	49.5 (LUNDSTRÖM a kol., 2008)
Horní	61.0 ± 15.7	46.6 (LUNDSTRÖM a kol., 2008)

Z obrázku 18 se zdá, že meze pevnosti v ohybu se u jednotlivých výběrů příliš neliší, s výjimkou spodní části jedle bělokoré, která je o něco vyšší než ostatní výběry. V obrázku je také vidět, že u vzorků jedle bělokoré je poměrně vysoký počet odlehlých hodnot, které táhnou průměrnou mez pevnosti směrem dolů.



Obrázek 18 Krabicové grafy  $\sigma_w$  [MPa] různých částí kmene JD a JDO

S výjimkou meze pevnosti jedle bělokoré ze spodní části kmene se jednotlivé kvartily u ostatních výběrů z tabulky 26 liší jen minimálně. Výběry jedle bělokoré nesplňují dle Shapirova testu normálního rozdělení, a to je způsobeno pravděpodobně odlehlými hodnotami zmíněnými výše.

Tabulka 26 souhrnné statistiky  $\sigma_w$  [MPa] z různých částí kmene JD a JDO

Druh a část	Min	I. kvartil	Median	Průměr	III. kvartil	Max	Shapiro (p)
JD_spod	13,86	63,37	74,67	72,04	82,11	103,09	<b>0,000</b>
JD_stred	7,89	52,28	61,93	60,84	71,73	95,46	<b>0,000</b>
JD_horni	8,26	55,01	63,87	60,99	72,60	86,17	<b>0,000</b>
JDO_spod	24,03	49,63	60,64	62,48	75,64	100,37	0,188
JDO_stred	8,92	47,11	61,58	60,24	73,07	97,93	0,464

Z tabulky 27 je zřejmé, že mezi jednotlivými výběry existují statisticky významné rozdíly.

Tabulka 27 porovnání středních hodnot  $\sigma_w$  z různých částí kmene JD a JDO

Počet JD			Počet JDO		Kruskalův test		ANOVA	
Spod	stred	horni	spod	Stred	X <sup>2</sup>	p	F	P
202	190	80	135	80	66,05	<b>0,000</b>	16.71	<b>0,000</b>

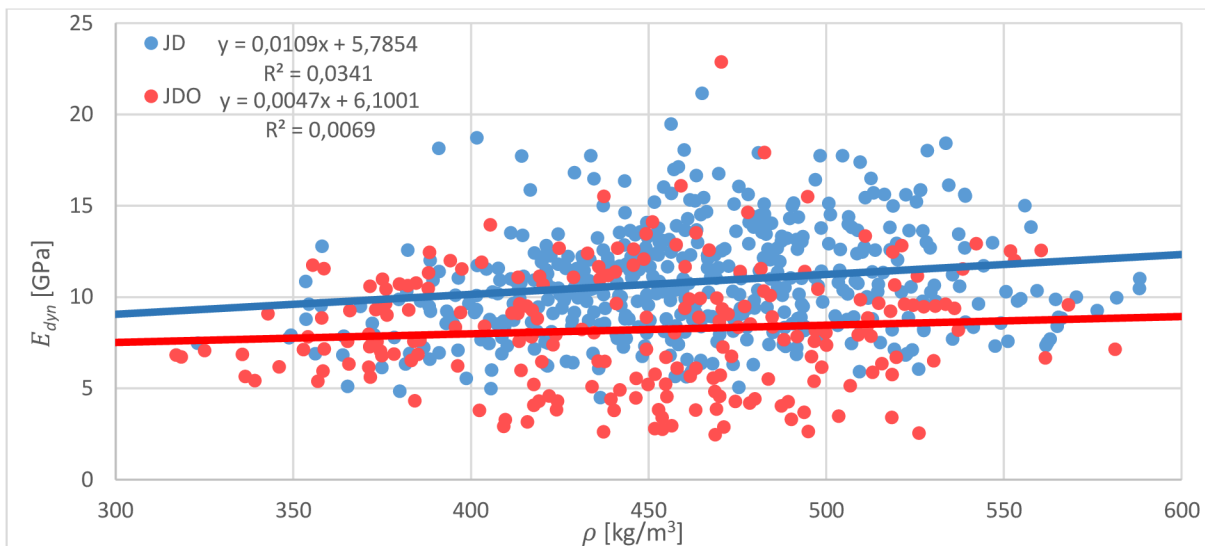
V tabulce 28 je vidět, že výběry se mezi sebou liší jenom tehdy je-li jedním z těchto výběrů jedle bělokorá ze spodní části kmene. Ostatní p hodnoty jsou velmi blízké hodnotě 1. Z toho důvodu se dá předpokládat, že by mezi vzorky jedle bělokoré a jedle obrovské nebyl žádný rozdíl z hlediska meze pevnosti, kdyby byly vyřazeny vzorky ze spodní části kmene jedle bělokoré.

Tabulka 28 porovnání středních hodnot  $\sigma_w$  dvojic výběrů JD a JDO z různých částech kmene

Dřevina a část kmene	Wilcoxonův test				Tukeyův test			
	JD_horni	JD_spod	JD_stred	JDO_spod	JD_horni	JD_spod	JD_stred	JDO_spod
JD_spod	<b>0,000</b>	-	-	-	<b>0,000</b>	-	-	-
JD_stred	1,000	<b>0,000</b>	-	-	1,000	<b>0,000</b>	-	-
JDO_spod	1,000	<b>0,000</b>	1,000	-	0,968	<b>0,000</b>	0,889	-
JDO_stred	1,000	<b>0,000</b>	1,000	1,000	0,999	<b>0,000</b>	1,000	0,897

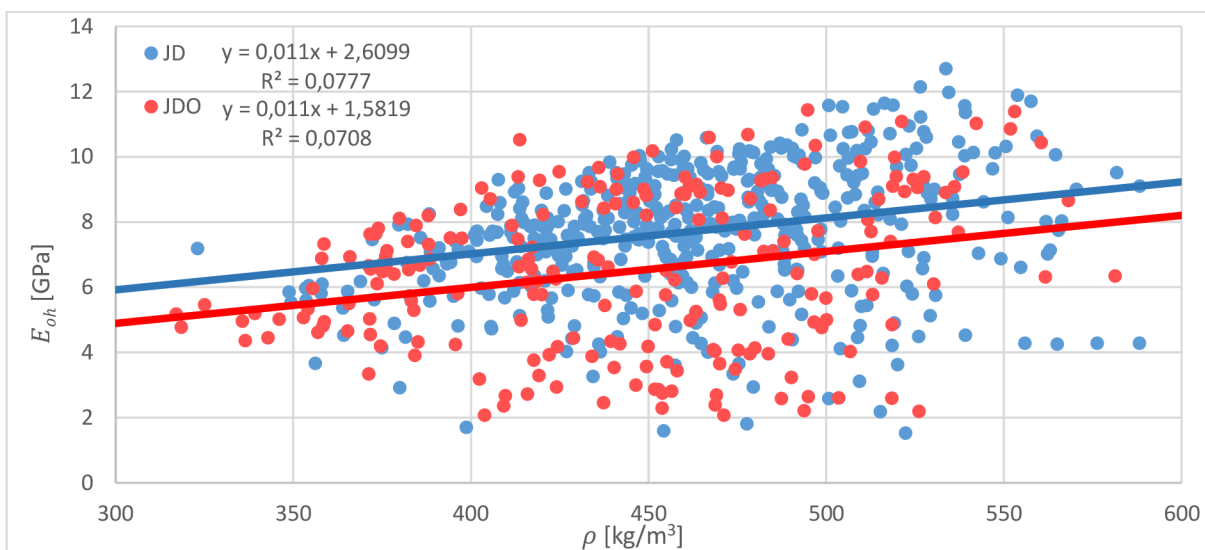
## 5.6 Vliv hustoty na pružnostní a pevnostní charakteristiky

Jak je vidět na obrázku 19, vztah mezi hustotou a dynamickým modulem pružnosti ve dřevě není příliš silný a to přestože se dynamický modul pružnosti počítal z hustoty vzorků. Proto patrně nebude vhodné odhadovat hodnoty dynamického modulu pružnosti právě z hustoty.



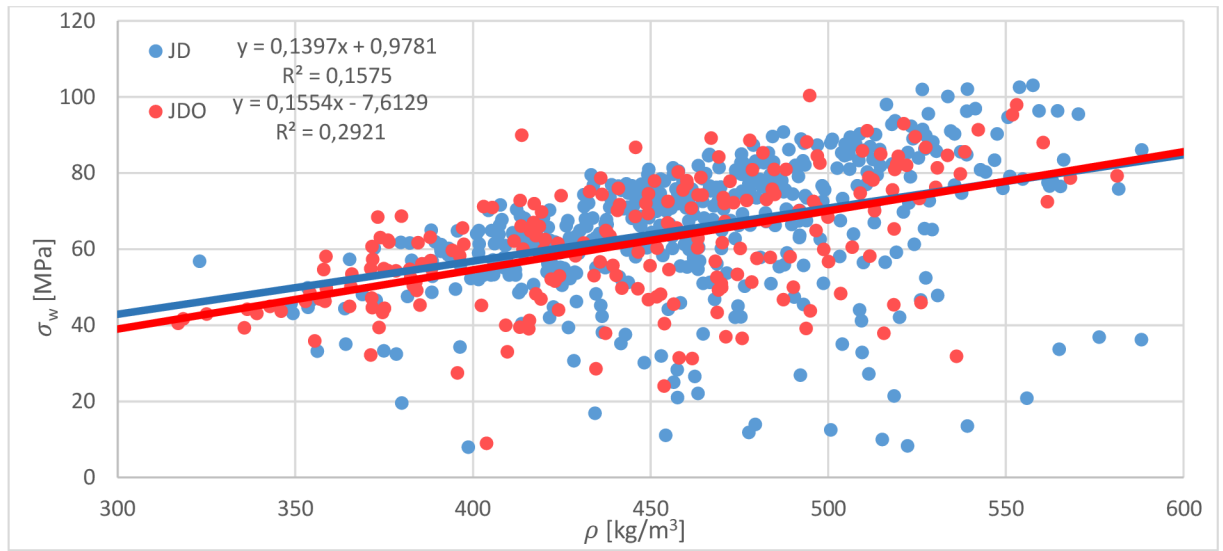
Obrázek 19 Vztah mezi hustotou a dynamickým modulem pružnosti

Na obrázku 20 je vidět, že přestože korelace není příliš silná, tak s rostoucí hustotou roste i statický modul pružnosti. Dle lineární regrese pro konkrétní hustoty vychází statický modul pružnosti u jedle bělokoré o 1 GPa vyšší, než pro jedli obrovskou. Zajímavé je, že směrnice obou přímků vychází totožně z čehož plyne, že statický modul pružnosti s přibývajícím hodnotou hustoty roste stejným tempem pro oba druhy.



Obrázek 20 Vztah mezi hustotou a statickým modulem pružnosti

Z obrázku 21 je zřejmé, že s rostoucí hustotou roste i mez pevnosti v ohybu. Pro konkrétní hodnoty hustoty jsou podobné hodnoty meze pevnosti pro oba zkoumané druhy, což dokládá i velmi podobný průchod přímkou lineární regrese. Ze zkoumaných mechanických vlastností se jedná o charakteristiku s nejvyšší mírou korelace s hustotou. Nejvyšší hustota pozorování se nachází na ose přibližně procházející souřadnicemi 60 MPa; 400 kg/m<sup>3</sup> a 80 MPa; 500 kg/m<sup>3</sup>. Odlehlé hodnoty mají tendenci snižovat přímky lineární regrese směrem dolů vůči této ose.



Obrázek 21 Vztah mezi hustotou a mezí pevnosti v ohybu.

## 6 Závěr

V této práci byla zkoumána hustota, dynamický modul pružnosti, statický modul pružnosti a meze pevnosti v ohybu na vzorcích dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské z lokality Kostelec nad Černými Lesy.

U všech studovaných charakteristik byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi zkoumanými vzorky dřeva jedle bělokoré a vzorky dřeva jedle obrovské. Zároveň bylo prokázáno, že lepších mechanických charakteristik (vyšších hodnot) dosahovaly vzorky jedle bělokoré. Také hustota dosahovala vyšších hodnot u jedle bělokoré než u jedle obrovské.

Vyšších hustot dřeva dosahovaly vzorky ze spodní části kmene než z výše položených částí. Zatímco dynamický i statický modul v jednotlivých vertikálních částech kmene se u jedle bělokoré prokazatelně nelišil, tak u jedle obrovské dosáhly moduly vyšších hodnot u vzorků ze středové části. U meze pevnosti v ohybu dosáhly lepších výsledků u jedle bělokoré vzorky ze spodní části kmene, naopak u jedle obrovské dosáhly lepších výsledků vzorky ze středové části kmene.

S výjimkou statického modulu pružnosti v ohybu u jedle obrovské se zjištěné charakteristiky příliš nelišily od údajů zjištěných z literatury. U statického modulu pružnosti jedle obrovské nevyšly tyto hodnoty tak dobře jak je uvedeno v odborné literatuře. Některé zjištěné charakteristiky, jako například dynamický modul pružnosti ve vertikálních částech kmene jedle obrovské a jedle bělokoré se nepovedlo v literatuře dohledat.

Nejvyšší vliv hustoty na zkoumané mechanické charakteristiky byl prokázán u meze pevnosti. Nejnižší vliv byl prokázán u dynamického modulu pružnosti což je mírně překvapivé, protože tento modul byl vypočítán mimo jiné právě ze zjištěné hustoty vzorku. Bylo prokázáno, že vzorky, které mají vyšší hustotu mají lepší mechanické vlastnosti.

Přestože je jedle obrovská pěstována na území Čech již více jak 150 let, je možné, že stále není dobře aklimatizována na zdejší podmínky, a tak nedosahuje takové statické pružnosti v ohybu, jak je uváděno v literatuře. Tato dřevina nebyla nikdy v Čechách pěstována ve velkém, a tak je zároveň možné, že péče o ní v místních podmínkách nebyla dosud dobře zvládnuta, a tudíž je zapotřebí v budoucnu prozkoumat vzorky jedle obrovské i z jiných lokalit než jen z Kostelce nad Černými Lesy.



## 7 Literatura

- ALDEN, H., A., 1997. *Softwoods of North America*. 1. Madison: WI: U.S.D.A., Forest Service, Forest Products Laboratory.
- BOŘIL, T., 2015. ANOVA: testy středních hodnot více skupin. *Statistiky ve fonetickém výzkumu* [online]. Praha [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: [https://fu.ff.cuni.cz/STAT/17\\_testy\\_stredni\\_anova.html](https://fu.ff.cuni.cz/STAT/17_testy_stredni_anova.html)
- ČERNÝ, D., 2016. Jedle bělokorá, páteř evropských lesů. *Sborník referátů z mezinárodní konference 12. a 13. 10. 2016*, Olšina u Horní Plané.
- ČSN 49 0108. *Drevo. Zisťovanie hustoty*.
- ČSN 49 0115. *Dřevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe*.
- ČSN 49 0116. *Drevo. Metóda zisťovanie modulu pružnosti pri statickom ohybe*.
- DIVÍŠEK, J., M. CULEK a M. JIROUŠEK, 2010. Jedle bělokorá (*Abies alba*, Mill.) *Biogeografie, Multimediální výuková příručka*. Is.muni.cz [online]. Brno [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0005/18118868/index\\_Abi\\_alb.html](https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0005/18118868/index_Abi_alb.html).
- DIVÓS, F., TANAKA, T., 2015. Relation Between Static and Dynamic Modulus of Elasticity of Wood. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 2015-01 (105-110).
- ERIKSON, R. G., GORMAN, T., M., GREEN, D., W., GRAHAM, D., 2000. Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter lodgepole pine, ponderosa pine, and grand fir trees from northern Idaho. *Forest Products Journal*, 50 (59-65).
- FAKOPP ENTERPRISE BT. *Fakopp Ultrasonic Timer - User's Guide*. [Online]. Ágfalva [cit. 2022-03-15] <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKewiBiKaKrIPpAhVIDmMBHbCBBbwQFjABegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Ffakopp.com%2Fdocs%2Fproducts%2Fultrasonic%2Fultrasonicguide.pdf&usq=AOvVaw1lsZMnA0GsvbZw4gOsfHk>.
- FRANÇA, F., J., N., FRANÇA, T., S., F., A., SEALE, R., D., SHMULSKY, R., 2020. Nondestructive Evaluation of 2 by 8 and 2 by 10 Southern Pine Dimensional Lumber. *Forest Products Journal*, 70 (79-87).
- HAPLA, F., KUBALEK, S., BAK, M., NÉMETH, R., 2013. Timber grade oriented analysis of abies grandis trees' oven-dry density with different growth rates part I.: Experimental design. *Wood Research*, 58 (361-368).
- HENYCH, V., Praha, 2020. *Vliv stanoviště a pěstebních opatření na moduly pružnosti dřeva borovice lesní*. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská.

- KRÜSSMANN, G., 1978. *Evropské dřeviny: příručka pro přátele přírody*. 1.vyd. Praha: SZN. Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství.
- LAGAÑA, R., ROHANOVÁ, A., 2014. PREDIKCIA MODULU PRUŽNOSTI V OHYBE AKUSTICKÝMI CHARAKTERISTIKAMI. *ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE ZVOLEN*, 56 (5-12). Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene.
- LUKÁŠEK, J., 2012. *Posouzení variability vybraných vlastností dřeva jedle obrovské (Abies grandis (Douglas) Lindl.) z oblasti Černokostelecka*. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská.
- LUNDSTRÖM, T., STOFFEL, M., STÖCKLI, V., 2008. Fresh-stem bending of silver fir and Norway spruce. *Tree Physiology*, 28 (355-366).
- MARSKTROM, D., C., 1975. White fir – an American Wood. *U.S. Forest Service American wood*.
- MEIER, E. WOOD DATABASE, the [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.wood-database.com/>
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2006. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky 2006*. Praha: Ministerstvo zemědělství v nakladatelství Lesnická práce.
- MUSIL, I., J. HAMERNÍK a G. LEUGNEROVÁ, 2003. *LESNICKÁ DENDROLOGIE 1 - JEHLIČNATÉ DŘEVINY: PŘEHLED NAHOSEMENNÝCH (I VÝTRUSNÝCH) DŘEVIN*. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-0992-x.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s. ISBN 80-08-00960-4.
- ROSS, R., 2010. *Wood handbook: Wood as an engineering material*. U. S. Department of Agriculture – Forest Service (509 s.).
- RYNEŠ, P., 2021. *Porovnání pevnosti v tlaku dřeva jedle bělokoré, jedle obrovské a smrku ztepilého*. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská.
- SLÁDEK, D., 2021. *Porovnání ohybových parametrů při statickém a dynamickém zatížení neupraveného a termicky upraveného dřeva jedle obrovské*. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská.
- STRAŽE, A., FAJDIGA, G., BOJAN, G., 2018. Nondestructive Characterization of Dry Heat-Treated Fir (*Abies Alba* Mill.) Timber in View of Possible Structural Use. *Forests*, 2018-9 (776-788).
- WAGENFÜHR, R., SCHEIBER, C., 2007. *Holzatlas*. Leipzig: Fachbuchverlag, 816 s. ISBN 978-3-446-40649-0

- ZEIDLER, A., 2012. *Lexikon Dřeva* [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4041658-Ceska-zemedelska-univerzita-v-praze-fakulta-lesnicka-a-drevarska-lexikon-dreva.html>
- ZEIDLER, A., SALEM, M., Z., M., BORŮVKA, V., 2015. Mechanical Properties of Grand Fir Wood Grown in the Czech Republic in Vertical and Horizontal Positions. *BioResources*, 10 (793-808).
- ZLATNÍK, A., 1976. *Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinných ČSSR*. Zpr. Geogr. úst. Čs. akad. věd., č 13, sv. 3/4, s. 55–64. Brno.