

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta lesnická a dřevařská**  
**Katedra zpracování dřeva a biomateriálů**



**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva jedle  
bělokoré, jedle obrovské a smrku ztepilého**

**Bakalářská práce**

**Autor: Patrik Borner**

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

**2023/2024**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Patrik Borner

Dřevařství  
Zpracování dřeva

Název práce

**Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva jedle bělokoré, jedle obrovské a smrku ztepilého**

Název anglicky

**Selected physical and mechanical wood properties of Silver fir, Grand fir and Norway spruce**

### Cíle práce

Cílem práce je srovnání hustoty, sesychání a pevnosti v tlaku dřeva introdukované jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) z reprezentativní lokality v České republice s domácí jedlí bělokorou (*Abies alba* Mill.) a smrkem ztepilým (*Picea abies* (L.) Karst.). Na základě výsledků zhodnotit potenciál jedle obrovské jako náhrady dřeva domácích druhů jehličnanů a její využitelnost pro zpracovatelský průmysl.

### Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o dřevu zkoumaných druhů, posuzovaných vlastnostech a faktorech, které je ovlivňují.
- 2) Na reprezentativním zkušebním materiálu z druhů *Abies grandis*, *Abies alba* a *Picea abies* normalizovanými postupy stanovit hustotu dřeva při 12%, 0% vlhkosti dřeva a konvenční hustotu, sesychání ve všech anatomických směrech a objemové sesychání a pevnost v tlaku podél vláken.
- 3) Zhodnotit vliv dřeviny, pozice v kmeni a případných dalších faktorů na zkoumanou vlastnost, a z toho vyplývající dopad pro využití dřeva.
- 4) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě. Dosažené hodnoty srovnat s údaji uvedenými v odborné literatuře.

harmonogram:

duben až září 2023 – zpracování literární rešerše

květen až listopad 2023 – měření a zpracování dat

prosinec 2023 až březen 2024 – tvorba vlastní práce

## Doporučený rozsah práce

40 – 50

## Klíčová slova

dřevo, hustota, sesychání, pevnost v tlaku, *Abies grandis*, variabilita

---

## Doporučené zdroje informací

ALDEN, H. A. Softwoods of North America. Madison, WI: U.S.D.A., Forest Service, Forest Products Laboratory, 1997. 151 s.

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

2023/24 LS – FLD

## Vedoucí práce

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

## Konzultant

doc. Ing. Vlastimil Borůvka, PhD., Dipl. Mgmt.

Elektronicky schváleno dne 8. 8. 2023

**Ing. Radek Rinn, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 8. 2023

**prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 05. 04. 2024

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva jedle bělokoré, jedle obrovské a smrku ztepilého vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 5. 4. 2024

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za trpělivost a věcné rady. Dále bych chtěl poděkovat rodině a mé ženě Alžbětě za podporu při studiu a přátelům za vzorný příklad.

# Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva jedle bělokoré, jedle obrovské a smrku ztepilého

## Abstrakt

Smyslem této práce bylo změřit a srovnat vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva domácí jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) a smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) se dřevem introdukované jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) z reprezentativní lokality Jilemnice. V této lokalitě byly pokáceny po každé dřevině 4 stromy shodného stáří cca 40 let. Z těchto stromů bylo vymanipulováno a označeno dohromady cca 800 shodných zkušebních těles. Na těchto tělesech byla následně normalizovanými postupy stanovena hustota při vlhkosti 12 %, 0 %, konvenční hustota, objemové, radiální a tangenciální sesychání a mez pevnosti v tlaku podél vláken. Statisticky zpracované hodnoty měření byly mezi dřevinami vzájemně porovnány i s ohledem na vzdálenost od dřene a vystavení světovým stranám. U většiny vlastností byl prokázán rostoucí trend ve směru od dřene k borce obdobně jako vliv světové strany, kdy na jižní straně byly měřeny vyšší hodnoty než na straně severní, s výjimkou jedle obrovské, na jejíž vlastnosti neměla světová strana významný vliv. Výsledky značí, že dřevo jedle obrovské má proti smrku ztepilému mírně nižší hustotu i mez pevnosti v tlaku podél vláken, příbuzná jedle bělokorá dosáhla výrazně vyšších hodnot. Dřevo jedle obrovské se ale projevilo jako rozměrově nejstálejší, dosáhlo tedy ve všech měřených anatomických směrech nejnižší míry sesychání. Na základě výsledku lze říci, že by mohlo dřevo nepůvodní jedle obrovské najít obdobné využití jako domácího smrku ztepilého, tedy v nábytkářském průmyslu, ve stavebnictví a v papírenském průmyslu. Nejedná se ale o dostatečnou náhradu jedle bělokoré, lze ji však doporučit jako doplněk druhové skladby českých lesů.

**Klíčová slova:** dřevo, hustota, sesychání, pevnost v tlaku, *Abies grandis*, variabilita

# Selected physical and mechanical wood properties of Silver fir, Grand fir and Norway spruce

## Abstract

The purpose of this thesis was to measure and compare selected physical and mechanical properties of domestic Silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) with introduced Giant fir (*Abies grandis* Lindl.) from a representative locality in Jilemnice. In this locality, four trees of each species, approximately 40 years old, were felled. From these trees, approximately 800 identical test specimens were extracted and labeled. Subsequently, the density at moisture levels of 12 % and 0 %, conventional density, volume, radial and tangential shrinkage, and compressive strength parallel to the grain were determined using standardized procedures. The measured values were statistically analyzed and compared among the tree species, taking into account the distance from the pith to bark and cardinal directions. For most properties, a growing trend from pith to bark was demonstrated, similar to the influence of cardinal directions, with higher values measured on the southern side compared to the northern side, except for the Giant fir, where cardinal direction did not have a significant influence on its properties. The results indicate that Giant fir wood has slightly lower density and compressive strength parallel to the grain compared to Norway spruce, while domestic Silver fir achieved significantly higher values. However, Giant fir wood exhibited the most dimensional stability, thus achieving the lowest levels of shrinkage in all measured anatomical directions. Based on the results, it can be concluded that non-native Giant fir wood could find similar applications as domestic Norway spruce, namely in the furniture industry, construction, and paper industry. However, it is not a sufficient replacement for domestic silver fir; nevertheless, it could be recommended as a complement to the species composition of Czech forests.

**Keywords:** wood, density, shrinkage, compressive strength, *Abies grandis*, variability

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Teoretický přehled .....</b>	<b>9</b>
3.1	<i>Jedle bělokorá .....</i>	<i>9</i>
3.2	<i>Jedle obrovská.....</i>	<i>11</i>
3.3	<i>Smrk ztepilý.....</i>	<i>13</i>
3.4	<i>Posuzované vlastnosti a faktory, které je ovlivňují.....</i>	<i>16</i>
<b>4</b>	<b>Metodika.....</b>	<b>21</b>
4.1	<i>Zkoušková tělesa.....</i>	<i>21</i>
4.2	<i>Stanovení fyzikálních vlastností.....</i>	<i>22</i>
4.3	<i>Stanovení mechanických vlastností.....</i>	<i>24</i>
4.4	<i>Měření a analýza dat.....</i>	<i>25</i>
<b>5</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>28</b>
5.1	<i>Srovnání hustoty dřeva při vlhkosti 12 %.....</i>	<i>28</i>
5.2	<i>Srovnání hustoty dřeva při vlhkosti 0 %.....</i>	<i>29</i>
5.3	<i>Srovnání konvenční hustoty.....</i>	<i>30</i>
5.4	<i>Srovnání sesychání.....</i>	<i>31</i>
5.5	<i>Srovnání meze pevnosti v tlaku podél vláken.....</i>	<i>36</i>
<b>6</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Použité zdroje.....</b>	<b>44</b>
8.1	<i>Literatura .....</i>	<i>44</i>
8.2	<i>Normy.....</i>	<i>47</i>
<b>9</b>	<b>Seznam obrázků, tabulek a grafů.....</b>	<b>48</b>
9.1	<i>Obrázky.....</i>	<i>48</i>
9.2	<i>Tabulky.....</i>	<i>48</i>
9.3	<i>Grafy.....</i>	<i>49</i>



# 1 Úvod

Jedním z nejdůležitějších kritérií hospodaření člověka je co nejmenší zásah do přirozených procesů přírody. Dřevo, jakožto materiál s dlouhodobou historií v lidské kultuře, nás provází po mnoho staletí v podobě pracovních nástrojů, jako konstrukční prvek na přístřeší nebo jako zdroj tepla. S nárůstem požadavků na materiály v důsledku technologického pokroku a ekonomických potřeb bylo pro nedostačující fyzikální a mechanické vlastnosti nahrazeno materiály odolnějšími. V některých aspektech si dřevo své využití zachovalo, někde se dokonce i vrací, pro svou dostupnost, snadnou opracovatelnost, relativně nízkou cenu a hlavně obnovitelnost.

Masivní rozvoj průmyslu měl za následek tlak na produkci velkého množství levného kvalitního dřeva rostlého v krátkém čase. Těmto kritériím nejvíce vyhovuje naše domácí jehličnatá dřevina smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karst.). Jeho přednosti zastínili dlouhodobé nedostatky jako je nízká ekologická stabilita smrkového porostu a špatná reakce na výkyvy podmínek růstu. Na našem území jsou smrkové porosty stále častěji vystavovány extrémním vlivům vedoucím ke zpomalení růstu, masivnímu umírání celých porostů a vzhledem ke globálnímu oteplování i například k požárům. Nyní dochází ke střetu ekonomických a ekologických zájmů. Dřevozpracovatelský průmysl má v České republice velký význam, přirozená druhová rozmanitost, smíšené lesy a různověkost porostů by tomuto odvětví z ekonomického hlediska velmi uškodily. Kompromisem je zařazení dřevin s podobným ekonomickým významem, jednou z těchto dřevin je např. domácí jedle bělokorá (*Abies alba* Mill.), její pěstování bylo ale dlouhodobě zanedbané, podíl jedlových porostů je díky hospodářské nedbalosti minimální a v našich podmínkách se jí již příliš nedaří. Řešením pro tuto situaci je introdukce nepůvodních dřevin. Blízkým příbuzným jedli bělokoré je např. jedla obrovská (*Abies grandis* Lindl.), která má velmi podobné vlastnosti jako domácí jehličnaté dřeviny, není příliš náročná na podmínky růstu a vyznačuje se velmi rychlým přírůstem při zachování obdobných vlastností. Tato severoamerická dřevina byla již introdukována i v jiných zemích Evropy a nyní je podrobována výzkumu. Dílčím výzkumem je tato bakalářská práce jejíž výsledkem je srovnání vlastností introdukované dřeviny, porovnání s domácími dřevinami a zhodnocení potenciálu využití při růstu v našich podmínkách.

## 2 Cíl práce

Cílem práce je zhodnotit vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřevin z reprezentativní lokality v České republice, domácí jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.), smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) a introdukované jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.). Měřenými a hodnocenými vlastnostmi jsou hustota při 12% vlhkosti, 0% vlhkosti a konvenční hustota. Dalšími vybranými vlastnostmi jsou sesychání a pevnost v tlaku ve směru vláken. Na základě výsledků měření je třeba zhodnotit potenciál nepůvodní jedle obrovské jako náhrady dřeva domácích druhů jehličnanů a její využitelnost pro zpracovatelský průmysl.

### 3 Teoretický přehled

Tato úvodní kapitola poskytuje základní představu o zkoumaných dřevinách, jejich přirozeném výskytu, vzhledu a vlastnostech. Jedle bělokorá, smrk ztepilý a jedle obrovská jsou typickými zástupci jehličnanů. Mezi další zástupce patří např. borovice, cedr, modřín a tis.

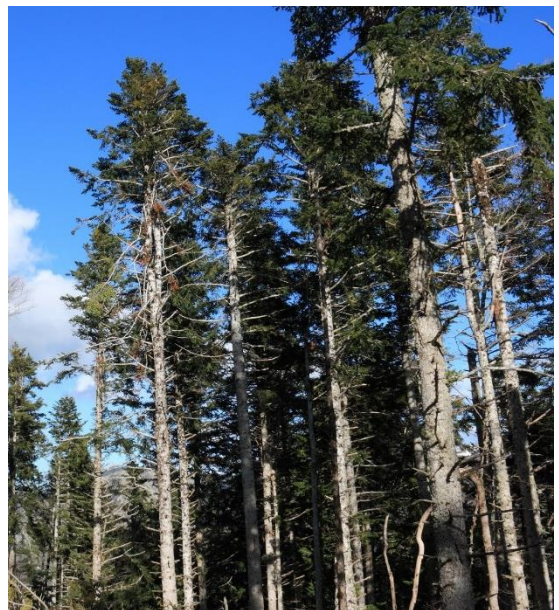
#### 3.1 Jedle bělokorá

##### 3.1.1 Charakteristika

Jedle bělokorá (*Abies alba* Mill.) je vysoký jehličnan s rovným kmenem mírně kuželovitého tvaru s pravidelně přeslenitými větvemi rostoucími kolmo od kmene. Vrchol koruny ve stáří zaniká, čímž dává vzniknout tzv. „čapímu hnízdu“. Dožívá se až 500 let, dorůstá maximální výšky 60 m a v průměru kmene dosahuje přes 2 m. Objem dřevní hmoty ve stáří sahá ke 45 m<sup>3</sup>. Má hladkou bílo šedou borku. Oproti smrku ztepilému (*Picea abies* (L.) Karst.) má kořen výrazně kulového tvaru s postranními kořeny (tzv. „panohy“), díky nimž je hluboce ukotven v podloží. Jehlice má ploché, z vrchu tmavě zelené a zespodu typicky se 2 bílými pruhy (Úřadníček L. a kol., 2009).



**Obr. č. 1** Líc jehličí jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.), (Anon, 2015, upraveno)

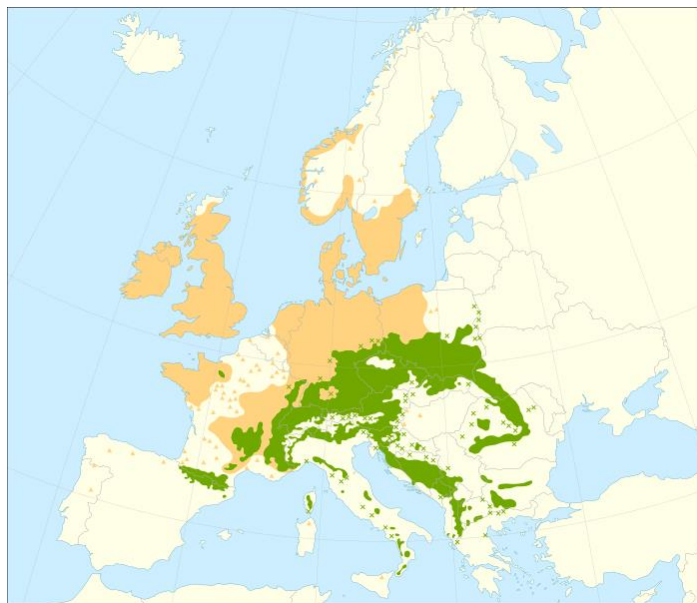


**Obr. č. 2** Porost jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.), (Areny, 2008, upraveno)

### 3.1.2 Geografické rozšíření

Přírodním prostředím pro jedli bělokorou (*Abies alba* Mill.) jsou horské oblasti ve střední, částečně jižní a východní Evropě. V Česku roste výhradně v pohořích v nadmořských výškách 300–1100 m. n. m. Bez zastoupení je v povodí velkých řek. Dlouhodobě snáší stinná místa, je v nich schopna s velmi malými přírůsty při výšce do 2 metrů žít až 100 let. Má vysoké nároky na půdní vlhkost, nesvědčí jí dlouhodobě suchá stanoviště, ani přívalová voda. Je považována za důležitý ekologický a funkční prvek evropských lesů a základní druh pro udržení biodiverzity (Caudullo a kol., 2016).

Její zastoupení v našich lesích dlouhodobě cca 200 let klesalo. Na jejím úbytku se podílelo neohleduplné holosečné hospodaření, výkyvy počasí, smrková monokulturní skladba lesa a škůdci. Mladé stromky rostou velmi pomalu, často tudíž nepřežijí okusy od spárkaté zvěře (Panzer, 2010). Od roku 2000 však zaznamenává rostoucí trend, kdy se její podíl v lesích zvýšil o 40 % a to z 0,9 % zastoupení na 1,3 %. Doporučené zastoupení jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) je v lesích ČR 7,6 % (Ministerstvo zemědělství ČR, 2022).



**Obr. č. 3** Původní (zeleně) a nepůvodní (žlutě) výskyt jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.), (Caudullo a kol. 2017)

### 3.1.3 Dřevo

Z makroskopického hlediska je jedle bělokorá bělová dřevina s rozlišitelným vyzrálým dřevem s nevýrazným přechodem mezi jarním a letním dřevem. Nemá znatelné pryskyřičné kanálky. Její dřevo má bílo šedou barvu. Jedná se o dřevinu s nízkou hustotou (Zeidler a Borůvka, 2016).

Dřevo má velmi blízké vlastnosti smrku ztepilému, nemá ale výrazný lesk, je hůře obrobitelné a rychle na slunci barevně degraduje. Absence pryskyřičných kanálků je dekorační výhodou, mohou se však začít tvořit při mechanickém poranění stromu. V historii mělo využití ve stavebnictví jako řezivo. Při zatížení před povolením vydává charakteristický praskající zvuk, této vlastnosti bylo využíváno v důlním odvětví jako varování před zásypem. Díky rovným vláknům se dobře štípe, používá se na tzv. štípané šindele. Vzhledem k dobrým akustickým vlastnostem a malému množství vad se používá na výrobu hudebních nástrojů. Vlastnosti dřeva mají obecně nízkou variabilitu, jeho pevnostní vlastnosti jsou oproti jiným dřevinám relativně nízké, populární bylo např. díky trvanlivosti pod vodou (Musil a Möllerová, 2005).

## 3.2 Jedle obrovská

### 3.2.1 Charakteristika

Jedle obrovská (*Abies grandis* Lindl.) je velmi rychle rostoucí jehličnatá dřevina běžně dorůstající výšky 42 m a průměru 1,2 m. Může dosáhnout maximální výšky až 76 m a průměru až 1,5 m (Alden, 1997). Strukturou a barvou kůry se velmi podobá smrku ztepilému, větvením a jehlicemi pak spíše příbuzné jedli bělokoré. Je relativně dlouhověká, některé stromy dosáhnou stáří až 250 let. Rychlého růstu a přírůstu velkého objemu dřevní hmoty dosahuje hlavně v raném věku (Foiles, 1965).



**Obr. č. 4** Porost Jedle (*Abies grandis* Lindl.), (Hein a kol., 2014)



**Obr. č. 5** Líc jehličí Jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.), (Wsiemund, 2009)

Ve srovnání s douglaskou tisolistou má při stáří 45 let až o 14,7 % vyšší produkci dřevní hmoty, ve 35 letech přesahuje narostlou zásobu smrku ztepilého o 57 %, jedlí bělokorou o 46 %, následně přírůst zpomalí a ve 45 letech už je rozdíl jen o 39 % respektive 24 % (Fulín, 2013).

### 3.2.2 Geografické rozšíření

Přirozený výskyt jedle obrovské odpovídá oblasti u severozápadního pobřeží Spojených států amerických. Na naše území je postupně introdukována jako potenciální substitut jedle bělokoré, jejíž podíl v evropských lesích rapidně klesl. Introdukována byla také např. v Polsku a Velké Británii. V přirozeném prostředí se jí daří v nadmořských výškách mezi 180 a 305 m. n. m., nad 460 m n. m. je nahrazována právě jedlí bělokorou. Ve vnitrozemí se ale běžně vyskytuje až do výšek 1830 m. n. m. (Foiles, 1965).

Díky nízkému potenciálu samovolné reprodukce a bezkonkurenčnímu růstovému chování je jeho pěstování v lesním hospodářství dobře kontrolovatelné. jedle obrovská nemá biologickou schopnost vyrážet z kořenů nebo klíčit. Vzhledem ke štíhlosti a úzké koruně nechává ve své blízkosti prostor pro růst stromů i jiných druhů (Petersen, 2019).



**Obr. č. 6** Mapa přirozeného výskytu Jedle obrovské (*Abies grandis*), (Halava 2012)

### 3.2.3 Dřevo

Dřevo jedle obrovské má čistou světlou barvu bez skvrn. Z důvodu velkých ročních přírůstků má velmi široké letokruhy. Dosahuje relativně nízké hustoty, pevnosti v tlaku a ohybu. Jeho pevnost je standardně nižší než u smrku ztepilého a jedle bělokoré. Nemá pryskyřičné

kanálky ani smolníky. Je snadno opracovatelné, dobře se štípe a má obecně podobné vlastnosti jedli bělokoré. Jako materiál je vhodné pro pilařské zpracování na truhlářské řezivo, ve stavebnictví na výrobu materiálů na bázi dřeva, při ošetření prořezem má malé množství suků a je vhodné na výrobu kvalitní dýhy (Petersen, 2019).

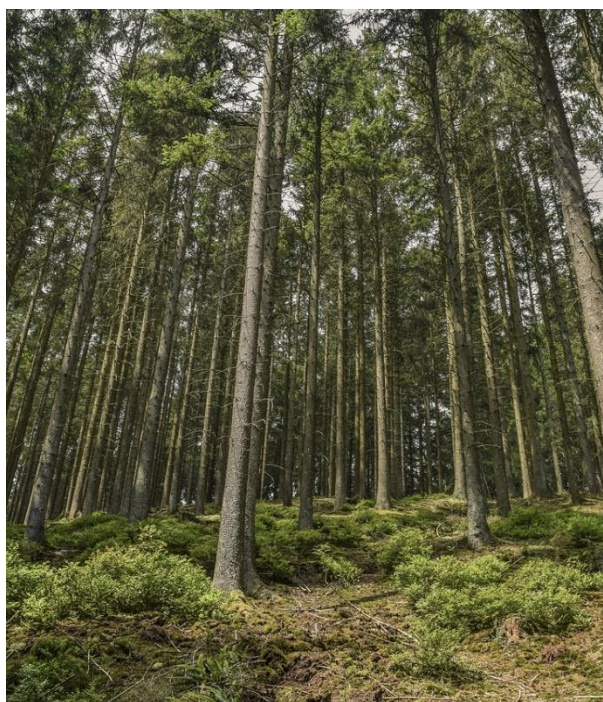
### 3.3 Smrk ztepilý

#### 3.3.1 Charakteristika

Smrk ztepilý je z ekonomického i ekologického hlediska jednou z nejvýznamnějších dřevin Evropy (Caudullo a kol. 2016). Je jehličnatou dřevinou s přímým úzce kuželovitým kmenem s pravidelným přeslenitým větvením rostoucím do výšky až 50 m. Průměr kmene nepřesahuje 1,5 m, objem dřevní hmoty dosahuje přes 30 m<sup>3</sup>. Dožívá se věku 350–400 let (Úřadníček L. a kol., 2009).



**Obr. č. 7** Volně stojící smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karst.), (Qgroom, 2007)



**Obr. č. 8** Porost smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.), (Anon, 2019)

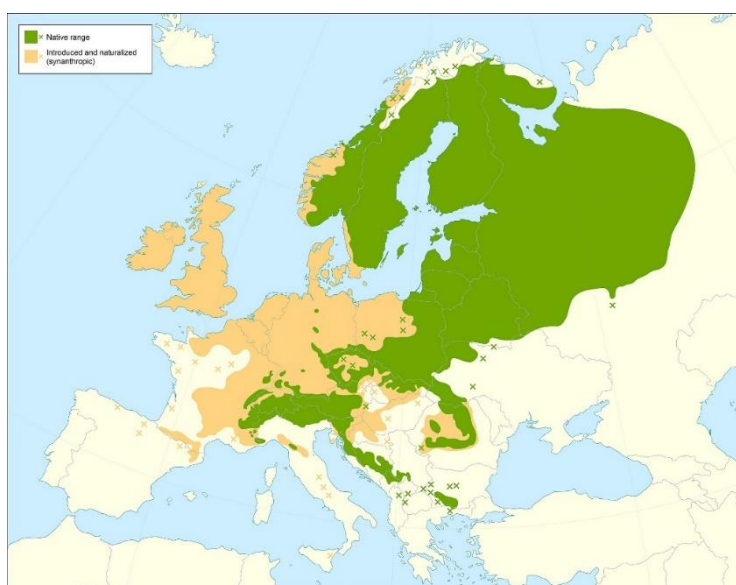
Střední věk smrkových porostů na území ČR byl v roce 2022 změřen na 62 let. Jeho zastoupení v českých lesích je cca 47 %, za posledních 20 let tedy zastoupení z 54 % v roce 2000 kleslo o 7 procentních bodů (Ministerstvo zemědělství ČR, 2022).

Smrku ztepilému (*Picea Abies*) v mládí prospívají stinná místa, díky kterým se mu daří růst i v porostech jiných dřevin, které později nahrazuje. Jeho kořenový systém je povrchový, je tedy velmi náročný na množství potřebné vody a vlhkosti v půdě. Velké množství vody

naopak zadržuje velmi dobře, stejně jako vodu stojatou. Právě náročnost na dostatek vody a mělký kořenový systém má za následek nízkou odolnost vůči extrémním přírodním vlivům jakou jsou nárazové větry, silné mrazy, nápor sněhu a sucho v letních obdobích vedoucí k neschopnosti bránit se škůdcům (Úřadníček, 2009).

### 3.3.2 Geografické rozšíření

Vyskytuje se v severní a severovýchodní části Evropy v pohořích nadmořských výšek od 300 m do 1350 m. n. m. Na území ČR je hlavně rozšířen v příhraničních pohořích, méně pak ve vnitrozemí, kam byl povětšinou introdukován, obdobně jako ve zbytku střední a západní Evropy (Úřadníček, 2009), dále ve Spojených státech amerických, Kanadě, Japonsku a na jižní polokouli v Jižní Africe, Tasmánii a na Novém Zélandě (Caudullo a kol., 2016).



**Obr. č. 9** Původní (zeleně) a nepůvodní (žlutě) výskyt smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.), (Caudullo a kol. 2017)

Jedná se o dřevinu citlivou na dlouhodobou vyšší koncentraci oxidu siřičitého (způsobenou tzv. kyselým deštěm), která mezi lety 1979 a 2016 způsobila v horských oblastech u německé hranice (krušné hory, Krkonoše) výrazné zpomalení růstu a vymření velké plochy porostlé právě monokulturou smrku ztepilého (Hruška a kol., 2018).

### 3.3.3 Dřevo

Pro své příznivé mechanické vlastnosti a rychlý růst se smrk ztepilý stal hlavní dřevinou Evropského lesního hospodářství (Úřadníček L., 2009). Jeho dřevo nemá rozlišitelné jádro, má bílou barvu se žlutým nádechem, je lesklé a měkké. Přejít mezi dřevem jarním a letním je



pozvolný, letokruhy jsou znatelné. Má pryskyřičné kanálky viditelné spíše na podélných řezech, lze je pozorovat i na příčném řezu v letním dřevě v podobě žlutých teček. Má charakteristické vyvrálé dřevo. Dřevo pocházející ze stromů vhodných podmínek má využití jako rezonanční dříví určené k výrobě hudebních nástrojů. Vizuálně ho lze zaměnit s jedlí bělokorou, odlišují se pryskyřičnými kanálky (Zeidler, 2012).

### **3.3.4 Monokultura smrku ztepilého**

Monokultura je obecně pojem značící porost tvořený rostlinou jednoho druhu. Podíl této rostliny nemusí být 100 %, jeho zastoupení je ale převážné. Většinou jsou produktem lesního hospodářství člověka (Šantrůčková a Vrba, 2010).

Masivní produkci smrku ztepilého a zanedbání biodiverzity lesů vedlo nejen v České republice, ale i další částech Evropy ke vzniku nestabilního ekosystému. Monokulturální lesy smrku ztepilého mají z ekologického i mechanického hlediska vratký charakter. V kombinaci s klimatickými změnami se stav zhoršil a je dlouhodobě ekologicky i ekonomicky neudržitelný. Hlavními faktory je stejnověkost porostu, absence dalších druhů, sucho a nepřírozené podmínky růstu (Bednář a Rehorkova, 2023).

Holosečné hospodářství má také za následek malé množství tlejícího dřeva, které by jinak zůstalo v porostu. Mrtvé dřevo je významným zdrojem látek a živin pro velké množství organismů od vysokých savců po např. bakterie. Vyhnílé jádro může sloužit jako prostředí pro vývoj hmyzu, hub, lišejníků a mechů. Shnilé dřevo se za běžných podmínek rozkládá do půdy a vytváří vhodný substrát pro růst dalších rostlin a semenáčků daného druhu. S absencí tlejícího dřeva dochází k výživové chudosti půdy a erozi. Povrch porostu bývá také díky odpadu více tvarován což semenáče chrání v mnoha směrech, například před plevelem, větrem nebo náporům sněhu v zimním období (Kučera a Černý, 2008).

### 3.4 Posuzované vlastnosti a faktory, které je ovlivňují

#### 3.4.1 Hustota

Hustota  $\rho_w$  je obecně definována jako podíl hmotnosti  $m_w$  k určitému objemu  $V_w$ . Dřevo na sebe váže vzdušnou vlhkost, čímž mění svůj objem i hmotnost, hustota dřeva je tedy vždy vztažena k určité vlhkosti  $W$ .

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}\text{]}$$

Při normovaném měření a praktických výpočtech se nejčastěji užívá vlhkost 12 %, což nejvíce odpovídá ustálenému stavu v interiéru při okolní teplotě 20 °C a vzdušné vlhkosti 65 %. Pro možnost porovnání výsledků teoretických výpočtů se uvádí i hustota v absolutně suchém stavu  $\rho_0$ , kde je hmotnost i objem dřeva měřen za nulové vlhkosti (Požgaj a kol., 1997).

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}\text{]}$$

Hustota nabízí možnost sledovat nejen vliv prostředí na růst stromu a reakce na měnící se podmínky, ale často koreluje s mechanickými vlastnostmi jako je pevnost a pružnost dřeva (Matovič a Šlezingerová 1986). Je jednou ze základních kvalit zohledňovaných v průmyslovém zpracování. Vyšší hustotu mnohdy doprovází pevnost i tvrdost, neměly by ale být přehlíženy ani dřeviny s nízkou hustotou, např. dřevo balzovníku jihoamerického má jednu z nejnižších hustot, cca 140 kg·m<sup>-3</sup>, využití v historii i nyní získalo právě pro svou lehkost a kvalitu (Savidge, 2003). Naopak za nejtěžší je považováno dřevo guajaku léčivého (*Guaiacum officinale*) s hustotou 1363 kg·m<sup>-3</sup>.

**Tabulka č. 1** Hustota hospodářsky významných dřevin při vlhkosti 0 %, (Požgaj a kol. 1997)

Dřeviny	Hustota $\rho_0$ [kg·m <sup>-3</sup> ]
smrk, jedle, topol	350–400
lípa, osika	400–450
borovice	500
modřín, douglaska, vrba, olše, bříza	500–600
jasan, javor, jírovec	630
Jilm, dub	640–650
buk	680
akát, habr	730–800

### 3.4.2 Konvenční hustota

Ve zpracovatelském průmyslu se pracuje s objemem dřeva v čerstvém stavu (vlhkost nad mezí nasycení buněčné stěny), za tímto účelem pak definujeme konvenční hustotu  $\rho_{KV}$  jako podíl hmotnosti absolutně suchého dřeva k jeho objemu při bodu nasycení vláken (Požgaj a kol., 1997). Vyjadřuje tedy, kolik suchého dřeva se nachází v maximálně nasáklém vzorku. Lze pomocí ní přepočítat zásobu maximálně nasáklého dřeva na suchou zásobu. Má značné uplatnění při objemové přejímce surového dříví (Gandelová a kol., 2002).

$$\rho_{KV \max} = \frac{m_0}{V_{\max}} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

**Tabulka č. 2** Konvenční hustota vybraných hospodářsky významných dřevin, (Požgaj a kol. 1997)

Dřeviny	Hustota $\rho_{KV \max}$ [kg·m <sup>-3</sup> ]
smrk, jedle, topol	370
borovice	440
jilm	540
jasan, dub	550
buk	560
akát	600
habr	650

### 3.4.3 Sesychání

Dřevo je považováno za významný hygrokopický materiál, který je schopný přijímat a zpět odevzdávat vodu v kapalném i plynném skupenství. Voda se ve dřevě v zásadě nachází ve 3 podobách, chemicky vázaná, vázaná a volná (Gandelová a kol., 2002).

Volná voda vyplňuje prázdný střed lumenu, nebo mezibuněčné prostory. V prostoru lumenu má potenciál zůstat díky kapilárnímu jevu, je tedy někdy nazývána jako kapilární voda. Nachází se ve dřevě až tehdy, je-li buněčná stěna plně nasycena vodou vázanou. Volná voda musí na rozdíl od vázané pocházet z kapalně vody, nikoliv ze vzdušné vlhkosti. Její množství ve dřevě se pohybuje v intervalu od bodu nasycení vláken, tedy cca 30 % až po více než 100 %. Vázaná voda se nachází v buněčné stěně vázaná vodíkovou vazbou, její podíl je od 0 % do bodu nasycení vláken, tedy cca 30 % (Požgaj a kol., 1997).

Schopnost dřeva vázat na sebe vodu má efekt rozměrových změn. Váže-li na sebe vlhkost v rozmezí od 0 % do bodu nasycení vláken 30 %, jeho rozměry se mění. Sesychání je pak reakce na úbytek vody v buněčné stěně, kdy dochází k přiblížení a opětovného oddálení struktury fibril. Zásadní vliv na sesychání má odklon fibril v buněčné stěně ve vrstvě S<sub>2</sub>, tato vrstva má v sekundární buněčné stěně největší podíl (90 %) a její odklon od podélného směru je 15 - 30° (Gandelová a kol., 2002).

Bobtnání a sesychání dřeva má stejně jako mnohé jiné vlastnosti anizotropní charakter, v jednotlivých směrech je tedy jiné. Obecně platí, že v tangenciálním směru sesychá 1,5krát – 2krát více než ve směru radiálním a cca 10x více než v podélném. (Požgaj a kol., 1997).

**Tabulka č. 3** Sesychání dřeva v různých anatomických směrech, (Požgaj a kol. 1997)

Směr	Sesychání
tangenciální	6–12 %
radiální	3–6 %
podélný	0,1 - 0,6 %

#### 3.4.4 Pevnost v tlaku ve směru vláken

Pevnost lze uvažovat jako schopnost materiálu odolávat vnějším vlivům proti trvalému narušení. Vzhledem k anatomické stavbě dřeva a anizotropním vlastnostem má dřevo rozdílnou pevnost v jednotlivých anatomických směrech. Pevnost je vyjádřena maximálním napětím, jemuž je schopen materiál odolávat před porušením jeho soudržnosti. (Gandelová a kol., 2002).

Pevnost v tlaku ve směru vláken je nejcharakteričtější tlakovou pevností v porovnání s pevností v ostatních směrech. Díky své stavbě má v tomto směru vysokou pevnost i oproti jiným materiálům. Pevnost v tlaku podél vláken je stejně jako sesychání nejvíce ovlivněna odklonem fibril ve střední vrstvě S<sub>2</sub> sekundární buněčné stěny. Vyšší odklon fibril doprovází nižší pevnost tlaku ve směru vláken (Požgaj a kol., 1997). Nejnižší pevnost lze očekávat blízko dřeni v oblasti tzv. juvenilního dřeva. Jedná se o část v okolí dřene, která vznikla v počátku růstu stromu, Nejčastěji je pozorována u jehličnatých stromů, u listnáčů se příliš nevyskytuje (Savidge a kol., 2003). Juvenilní dřevo je rychle rostlé, má širší letokruhy, a tudíž nižší hustotu, sesychání a rozměrové změny způsobené bobtnáním má vzhledem velkému odklonu fibril výraznější (Zobel a kol., 1989).

**Tabulka č. 4** Mez pevnosti v tlaku podél vláken vybraných dřevin  
(Šlezingerová a kol., 2005)

Dřevina	Pevnost v tlaku [MPa]
smrk	30
jedle, topol	33
dub	42
lípa	51
borovice, modřín, olše, habr	54
Jilm	55
akát, ořešák	70

Dřevo dosahuje ve směru vláken vyšší pevnosti než ve směru napříč vláken. Mez pevnosti v tlaku podél vláken má ale cca 2x – 3x nižší hodnotu než při zatížení v tahu podél vláken. Předpokladem je také souvislost pevnosti v tlaku podél vláken a hustoty. S rostoucí hustotou je očekávána i vyšší mez pevnosti v tlaku podél vláken (Šlezingerová a kol., 2005).

### **3.4.5 Faktory ovlivňující fyzikální a mechanické vlastnosti**

Dřevo je jakožto přírodní materiál charakterizováno velkou variabilitou vlastností. Tato variabilita je způsobena mnoha složitými faktory působícími během růstu stromu i podmínkami při následném použití. Vliv podmínek růstu se projevuje na následném chemickém složení, struktuře buněčné stěny, makroskopické i mikroskopické stavbě dřeva. Tyto faktory se dále projeví na sklonu fibril v buňce (jak bylo již uvedeno výše), na tloušťce buněčné stěny, velikosti buňky a tvaru letokruhu. Většina těchto znaků se následně projevuje na hustotě, která významně ovlivňuje většinu ostatních fyzikálních i mechanických vlastností (Gandelová a kol., 2002).

Významným aspektem ovlivňující hustotu je např. podíl letního dřeva, vyšší podíl letního dřeva doprovází i vyšší hustotu. Šířka letokruhu a podíl letního a jarního dřeva se v různých stádiích růstu stromu mění, v nízkém věku bývají letokruhy širší, to zapříčiní nižší hustotu a následné zhoršení i ostatních vlastností. Vyšší hustota následně pozitivně ovlivňuje pevnost v tlaku podél vláken. Další zásadní vliv na hustotu a další vlastnosti má vlhkost dřeva, na se za běžných podmínek využití pohybuje mezi 8 a 25 %, obecně platí, že s odstupem vody z buněčné stěny se dřevu zvyšuje pružnost a pevnost. Změna vlhkosti o 1 % může změnit jeho pevnost až o 4 %. Dřevo je během zpracování a použití vystavováno různým teplotám až cca 200 °C, při vystavení takovým teplotám dochází k přeměně chemických složek dřeva, tyto změny mají například za následek výrazné snížení modulu pružnosti v ohybu a krutu stejně jako relativní pevnost v ohybu. Dlouhodobé vystavení vysokým teplotám může snížit jeho

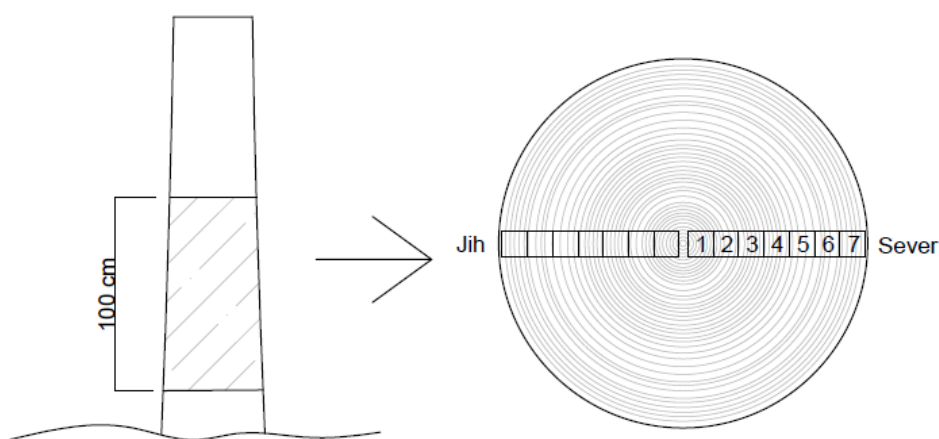
mechanické vlastnosti. U jehličnanů byl také zaznamenán vliv paření dřeva, např. u ohýbání dřeva, dlouhodobé vystavení dřeva páře snižuje jeho pevnost a ohybové vlastnosti.

Během vývoje stromu téměř ve všech případech dochází k růstovým vadám. Tyto vady také negativně ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Suk, který obecně není považován za vadu, ale přirozenou součást dřeva, má sice vyšší hustotu než běžné dřevo, mechanické vlastnosti má ale nižší hlavně kvůli necelistvosti. Negativní vliv má také poškození houbami, hmyzem, trhliny, točitost, křivost a reakční dřevo (Požgaj a kol., 1997)

## 4 Metodika

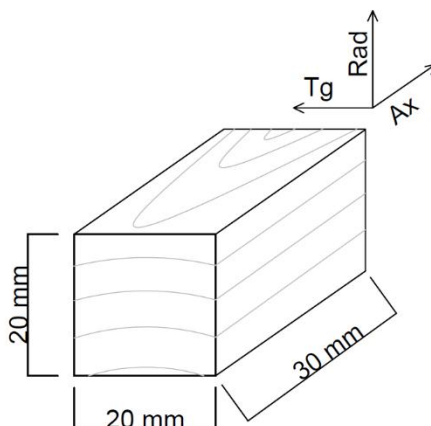
### 4.1 Zkoušková tělesa

Za účelem stanovení vybraných fyzikálních a mechanických vlastností byly v lokalitě blízko Jilemnice na severovýchodě Čech odebrány vzorky dřeva ze 12 stromů 3 různých dřevin, dřeva jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.), jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) a smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.), od každé dřeviny tedy 4 stromy. Všechny vzorky pochází z jedné lokality z důvodu srovnání podmínek růstu. Stanoviště se nachází v nadmořské výšce cca 495 m. n. m, tedy odpovídající přirozeným podmínkám všech 3 dřevin. Stáří stromů při pokácení bylo cca 40 let. Průměr stromů v místě odběru vzorku, tedy ve výšce cca 1,3 m, byl u smrku ztepilého 20 cm, u jedle bělokoré 20 cm a u jedle obrovské až 35 cm. Z každého stromu byla z bazální části odebrána 100 cm dlouhá sekce, z ní vyřezána středová fošna s označením severní a jižní části, viz. obr. č.10. Z fošny byly následně vymanipulovány jednotné vzorky ve 2 skupinách. Pro stanovení hustoty dřeva v absolutně suchém stavu, konvenční hustoty a míry sesychání bylo odebráno cca 400 vzorků. Pro zjištění hustoty a meze pevnosti v tlaku podél vláken bylo odebráno stejné množství sousedních vzorků, tedy obdobně cca 400. Každé těleso nese označení stromu 1–12 (1–4 *Abies grandis* Lindl., 5–8 *Picea abies* (L.) Karst., 9–12 *Abies alba* Mill.), světovou stranu sever a jih, vzdálenost od dřene 1–7 (1 = nejbliže k dřeni, nejvyšší číslo = nejdále od dřene). Z jedle obrovské bylo díky většímu průměru kmene možno vymanipulovat v různé vzdálenosti více vzorků než u jedle bělokoré a smrku ztepilého.



**Obr. č. 10** Horizontální a vertikální poloha vzorků v kmeni, včetně označení (Vlastní dílo, 2024)

Měření probíhala na tělesech o jednotných rozměrech. Měla podobu kvádrů se čtvercovou základnou o rozměru 20 mm v radiálním i tangenciálním směru a 30 mm ve směru podélném, tedy axiálním.



**Obr. č. 11** Normalizované zkušební těleso s označením rozměrů a anatomických směrů, (Vlastní dílo, 2024)

## 4.2 Stanovení fyzikálních vlastností

### 4.2.1 Stanovení hustoty a konvenční hustoty

Hustota  $\rho_w$  při vlhkosti  $W$  je měřena dle normy ČSN 49 0108 následujícím postupem. Nejprve se tělesa bez vad o rozměru 20 x 20 x 30 mm klimatizují na požadovanou vlhkost, v našem případě tedy 12 % (20 °C a vlhkost vzduchu 65 %) a 0 % vlhkost (103 ± 2 °C). Klimatizování probíhá plynule a pomalu, aby byla minimalizována deformace a vznik trhlin. Tělesa jsou následně vážena s přesností na 0,01 g. Dále jsou naměřeny rozměry v radiálním, tangenciálním a podélném směru s přesností na 0,1 mm. Následně je hustota při požadované vlhkosti  $W$  vypočítána následujícím obecným vzorcem se zaokrouhlením na  $5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \cdot \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

$m_w$  – hmotnost zkušební tělesa při vlhkosti  $W$  [kg]

$a_w, b_w, l_w$  – rozměry zkušební tělesa při vlhkosti  $W$  [m]

$l_{r w}, l_{t w}, l_{a w}$  – Rozměry zkušební tělesa ve směru radiálním, tangenciálním a axiálním při vlhkosti  $W$  [m]

$V_w$  – objem zkušební tělesa při vlhkosti  $W$  [m<sup>3</sup>]



Pro stanovení konvenční hustoty při maximální objemu  $\rho_{KVmax}$  podle normy ČSN 49 0108 musí vlhkost vzorků dosáhnout meze nasycení buněčných stěn dřeva nebo vyšší. Zkušební tělesa jsou máčena v destilované vodě při pokojové teplotě až do ustálení maximálních rozměrů, obvykle 2 týdny. Po naměření všech rozměrů, tedy objemu, následuje stanovení hmotnosti s nulovou vlhkostí viz. stanovení hustoty v dřeva v absolutně suchém stavu. K výpočtu konvenční hustoty maximálně nasáklého dřeva  $\rho_{KVmax}$ , tedy s největším objemem, slouží následující vzorec.

$$\rho_{KVmax} = \frac{m_0}{V_{max}} = \frac{m_0}{l_{r\ max} \cdot l_{t\ max} \cdot l_{a\ max}} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

$m_0$  – hmotnost zkušební tělesa v suchém stavu [kg]

$a_{max}$ ,  $b_{max}$ ,  $l_{max}$  – rozměry zkušební tělesa v suchém stavu [m]

$l_{r\ max}$ ,  $l_{t\ max}$ ,  $l_{a\ max}$  – Rozměry zkušební tělesa ve směru radiálním, tangenciálním a axiálním v absolutně suchém stavu [m]

$V_0$  – objem zkušební tělesa v suchém stavu [m<sup>3</sup>]

#### 4.2.2 Stanovení sesychání

Metoda zjištění míry sesychání  $\beta$  spočívá v naměření rozměrů zkušebních těles při vlhkosti rovné nebo větší, než je mez hygroskopicity, tedy mez nasycení buněčných stěn a v absolutně suchém stavu. Následuje zjištění rozměrových změn při vlhkosti odpovídající nebo vyšší než mez hygroskopicity.

Tělesa o rozměru v základně 20 x 20 a délce 30 mm jsou ponořena do destilované vody po dobu, než se ustálí jejich rozměry a jejich buněčná stěna je plně nasycena. Dosahují tedy meze hygroskopicity, obvykle po 2 týdnech, po minimálně 4 dnech se doporučuje destilovanou vodu vyměnit, aby se ve vodě zabránilo vzniku nežádoucích mikroorganismů.

Plně nabobtnalá tělesa jsou vyjmuta a jsou změřeny jejich rozměry v radiálním, tangenciálním a podélném směru pro výpočet objemu. Objem se zaokrouhluje s přesností na 0,01 cm<sup>3</sup>. Aby tělesa nepopraskala, aklimatizují se na pokojové podmínky a následně v klimatizační komoře suší při teplotě 103 ± 2 °C na nulovou vlhkost. U těles průběžně kontrolujeme, zda se již jejich rozměry ustálily. Následně se stanoví jejich objem v absolutně

suchém stavu s přesností na 0,01 cm<sup>3</sup>. Sesychání objemové, případně v jednotlivých anatomických směrech vypočteme pomocí vzorců s přesností na 0,1 %:

- v radiální směru:

$$\beta_{r \max} = \frac{l_{r \max} - l_{r 0}}{l_{r \max}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

- v tangenciálním směru

$$\beta_{t \max} = \frac{l_{t \max} - l_{t 0}}{l_{t \max}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

- v axiálním směru

$$\beta_{a \max} = \frac{l_{a \max} - l_{a 0}}{l_{a \max}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

- objemové

$$\beta_{V \max} = \frac{V_{\max} - V_0}{V_{\max}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

$l_{r \max}$ ,  $l_{t \max}$ ,  $l_{a \max}$  – Rozměry zkušebního tělesa ve směru radiálním, tangenciálním a axiálním při maximální vlhkosti [m]

$l_{r 0}$ ,  $l_{t 0}$ ,  $l_{a 0}$  – Rozměry zkušebního tělesa ve směru radiálním, tangenciálním a axiálním v absolutně suchém stavu [m]

$V_{\max}$  – Objem zkušebního tělesa při maximální vlhkosti [m<sup>3</sup>]

$V_0$  – Objem zkušebního tělesa v absolutně suchém stavu [m<sup>3</sup>]

## 4.3 Stanovení mechanických vlastností

### 4.3.1 Stanovení meze pevnosti v tlaku ve směru vláken

Podstatou metody zjišťování meze pevnosti dřeva v tlaku podél vláken dle normy ČSN 49 0110 je pomocí zkušebního stroje zjistit maximální zatížení, kterému je vzorek schopen odolávat před jeho selháním. Měření se provádí na normalizovaných klimatizovaných tělesech o základně 20 x 20 mm a délce 30 mm při požadované vlhkosti. V polovině délky tělesa se změří jeho průřez  $a$  (radiální) a  $b$  (tangenciální) s dovolenou chybou 0,1 mm. Zkoušené

těleso je umístěno do lisovníku na rovnoměrné zatížení ve směru vláken. Je zatěžováno rovnoměrně při konstantní rychlosti pohybu lisu. Doba zatížení během zkoušky je  $1 \pm 0,5$  min. Maximální síla zatížení  $F_{max}$  se zaznamenává s přesností na 1 % hodnoty. Výsledek zkoušky stanovení meze pevnosti v tlaku podél vláken  $\sigma_w$  při požadované vlhkosti vyjádřené v MPa se vypočítá skrze následující vzorec

$$\sigma_w = \frac{F_{max}}{l_r \cdot l_t} [MPa]$$

$F_{max}$  – maximální síla zatížení [N]

$l_r, l_t$  – průřez tělesa při vlhkosti 12 % [m]

#### 4.4 Měření a analýza dat

Hmotnost těles byla měřena na digitální váze s přesností 0,01g určené k laboratorním měřením. Rozměry vzorků byly změřeny pomocí digitálního posuvného měřidla o maximálním rozsahu 150 mm s přesností 0,01 mm. Zkouška meze pevnosti v tlaku podél vláken proběhla na tlakovém přístroji o maximální síle 100 kN s přesností na 0,1 N.

Data byla zpracována ve formě tabulek a grafů pomocí tabulového editoru Microsoft Excel 2021 s rozšířením pro analýzu dat a programu pro analýzu dat Statistica. Ve statistické analýze byly použity následující ukazatele, testy a grafy.

##### Průměr

Aritmetický průměr je základní ukazatel středové hodnoty. Je vypočítán jako součet všech hodnot v datovém souboru dělený počtem hodnot v souboru. Vyjadřuje, jaká hodnota je pro daná data typická. Nevyjadřuje však, jaká hodnota se v souboru objevuje nejčastěji, nezohledňuje rozdělení dat a je citlivý na extrémní hodnoty.

##### Směrodatná odchylka (SD)

Tento ukazatel značí absolutní variabilitu dat. Vyjadřuje, jak jsou hodnoty vzdáleny od průměru. Vyšší směrodatná odchylka značí, že jsou data od průměru více rozptýlena.

##### Minimum a maximum (Min, Max)

Minimum je nejnižší hodnota v datovém souboru. Maximum značí hodnotu nejvyšší. Společně vyjadřují, v jakém intervalu se hodnoty pohybují.

## Medián

Medián je hodnota, která se nachází uprostřed datového souboru. Polovina dat tedy dosahuje nižší hodnoty a druhá polovina hodnoty vyšší. Na rozdíl od průměru lépe vyjadřuje tzv. centrální tendenci a není citlivý vůči odlehlým hodnotám.

## Mezikvartilové rozpětí (IQR)

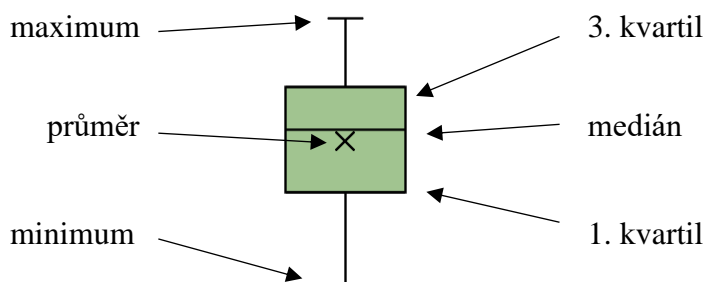
Mezikvartilové rozpětí je ukazatelem variability dat. Je vypočtena jako rozdíl mezi hodnotami 1. a 3. kvartilu. Tento ukazatel zanedbává extrémní hodnoty a může lépe vyjádřit variabilitu a distribuci hodnot v datovém souboru.

## Variační koeficient (V)

Jde o statistický ukazatel vyjadřující míru variability vzhledem k průměru. Je vypočítán jako poměr směrodatné odchylky k průměru. Jeho absolutní hodnota je vyjádřena v procentech. Tento ukazatel je vhodný pro porovnání více datových souborů s různou střední hodnotou a rozsahem.

## Krabicový graf

Krabicový graf slouží k vizualizaci dat a porovnání více datových souborů. Zobrazuje variabilitu hodnot a distribuci v datovém souboru. Obsahuje maximum, minimum, střední hodnotu, průměr a tzv. „krabici“, tedy oblast mezi 1. a 3. kvartilem, tato část značí, kde se nachází prostředních 50 % hodnot souboru viz. obr. č. 12



Obr. č. 12 Popis částí krabicového grafu, (Vlastní dílo, 2024)

## Analýza rozptylu (ANOVA)

Cílem této analýzy je zjistit, zda mezi průměry datových souborů existuje statisticky významný rozdíl. Jejím výsledkem je F-statistika, vyjadřující poměr mezi variabilitou vnitřní a meziskupinovou, a  $p$  – hodnota, tedy pravděpodobnost, s níž nastává rozdíl mezi hodnotami skupin. Hodnota  $p = 0,05$  obecně značí statisticky významný závěr, že existuje rozdíl mezi 2 skupinami (nižší hodnota značí vyšší významnost). Na základě výsledku analýzy rozptylu

zamítáme, nebo přijímáme nulovou hypotézu, tedy že neexistuje rozdíl mezi hodnotami 2 skupin. Pomocí analýzy rozptylu zjistíme, zda je mezi průměry skupin statisticky významný rozdíl, nevíme ale, mezi kterými konkrétními skupinami rozdíl je.

### **Duncanův test**

Je metoda pro zjištění, které skupiny mají statisticky významný rozdíl průměrů. Obvykle se užívá v případě, kdy vzájemně porovnáváme více než 2 skupiny. Tato statistická metoda následuje po provedení analýzy rozptylu a zamítnutí nulové hypotézy o shodnosti průměrů. Duncanův test patří mezi tzv. robustní testy, lépe tedy identifikuje skutečné rozdíly mezi skupinami a proti jiným testům není citlivý vůči různým velikostem skupin.

### **Korelační koeficient (R)**

Je statistický ukazatel pro zjištění míry lineární závislosti mezi proměnnými. Nabývá hodnota od - 1 do 1. 1 značí silnou kladnou závislost, 0 nekorelaci 2 proměnných a -1 silnou nepřímou závislost (Kába a Svatošová, 2001).

## 5 Výsledky

### 5.1 Srovnání hustoty dřeva při vlhkosti 12 %

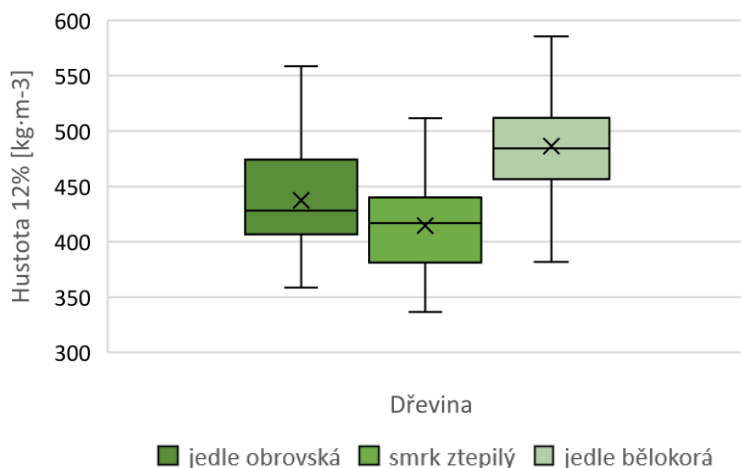
Výsledky měření při vlhkosti 12 % ukazují, že nejvyšší hustoty dosáhla jedle bělokorá s průměrnou hodnotou  $486 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , smrk ztepilý dosáhl nejnižší hodnoty  $415 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Medián je rozdílný od průměru u jedle obrovské. viz tabulka č.5

**Tabulka č. 5** Hustota jedle obrovské, smrku ztepilého a jedle bělokoré při 12 % vlhkosti [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

Dřevina	N	Průměr	SD	Min	Max	Medián	IQR	V [%]
jedle obrovská	171	<b>437</b>	42,3	359	559	428	67	10
smrk ztepilý	124	<b>415</b>	39,2	337	511	417	59	9
jedle bělokorá	100	<b>486</b>	42,9	382	586	484	55	9

Variabilita výsledků se pohybuje v hladině okolo 10 %. Na základě výsledku analýzy rozptylu zamítáme nulovou hypotézu o shodnosti průměrů. Duncanův test prokázal statisticky významný rozdíl mezi všemi dřevinami.

**Graf č. 1** Srovnání hustoty jedle obrovské, smrku ztepilého a jedle bělokoré při 12% vlhkosti



Závislost hustoty dřeva při vlhkosti 12 % na vzdálenosti od dřeně uvnitř stromu byla analýzou rozptylu na hladině 0,05 prokázána pouze u jedle bělokoré. Duncanův test ale na stejné hladině neidentifikoval dvojici pozic se statisticky významným rozdílem. Nulovou hypotézu o shodnosti rozptylů zamítáme, alternativní hypotéza o rozdílu průměrů ale nebyla

potvrzena. Průměr hustoty vzorků ze severní strany dosahoval u všech dřevin mírně nižší hodnoty než ze strany jižní, viz. tabulka č. 6.

**Tabulka č. 6** Závislost hustoty dřeva při 12% vlhkosti na světové straně, severní a jižní. [kg·m<sup>-3</sup>]

Dřevina	Světová strana	N	Průměr	SD	Min	Max	Medián	IQR	V [%]
jedle obrovská	Sever	86	<b>430</b>	41,0	359	559	423	64	10
	Jih	85	<b>445</b>	42,1	363	530	439	69	9
smrk ztepilý	Sever	66	<b>406</b>	40,3	337	511	409	60	10
	Jih	58	<b>424</b>	35,6	360	500	426	59	8
jedle bělokorá	Sever	52	<b>483</b>	40,8	407	586	480	58	8
	Jih	48	<b>490</b>	44,8	382	584	489	70	9

## 5.2 Srovnání hustoty dřeva při vlhkosti 0 %

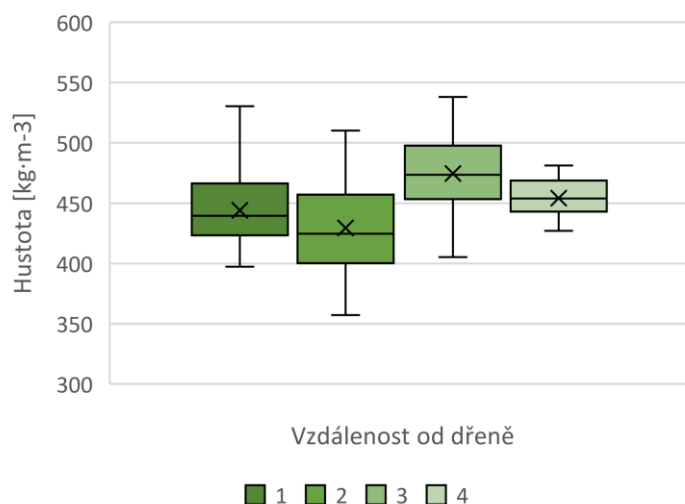
Průměrná hustota smrku ztepilého v absolutně suchém stavu je 388 kg·m<sup>-3</sup>, jedle obrovská dosáhla vyšší hodnoty 406 kg·m<sup>-3</sup>, nejvyšší hustoty dosáhlo podle tabulky č.7 dřevo jedle bělokoré s hodnotou 447 kg·m<sup>-3</sup>. Statisticky významné rozdíly u všech dvojic prokázala ANOVA i Duncanův test.

Vliv hustoty v absolutně suchém stavu na vzdálenosti od dřeně prokázala ANOVA u smrku ztepilého a jedle bělokoré. U smrku ztepilého byl identifikován statisticky významný rozdíl na hladině 0,05 u pozic 3 a 2 a také u 3 a 5. U jedle bělokoré byl rozdíl pozice 3 prokázán vůči pozici 1 a 2 (kde dosáhli nižší průměrné hodnoty než pozice 3), viz. graf č. 2. Interkvartilový rozdíl dosáhl u všech dřevin téměř dvojnásobných hodnot oproti hustotě při vlhkosti 12 % a konvenční hustotě.

**Tabulka č. 7** Hustota dřeva při vlhkosti 0 % [kg·m<sup>-3</sup>]

Dřevina	N	Průměr	SD	Min	Max	Medián	IQR	V [%]
jedle obrovská	176	<b>406</b>	40,2	322	551	400	98	10
smrk ztepilý	129	<b>388</b>	42,2	318	497	384	101	11
jedle obrovská	92	<b>447</b>	37,8	357	545	445	100	8

Graf č. 2 Závislost vzdálenosti od dřeně dřeva jedle bělokoré na hustotě při 0% vlhkosti



### 5.3 Srovnání konvenční hustoty

Nejvyšší konvenční hustota byla zaznamenána u jedle bělokoré s průměrnou hodnotou  $398 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , o něco nižší konvenční hustotu má jedle obrovská  $363 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nejnižší je stejně jako u přechozích měření stanovena u smrku ztepilého  $344 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nejvýraznější rozdíl mezi průměrnou hodnotou a mediánem je opět u jedle obrovské, viz. tabulka č. 8. Závislost konvenční hustoty na vzdálenosti od dřeně na hladině významnosti 0,05 byla prokázána u smrku ztepilého a u jedle bělokoré se stejným trendem jako u hustoty při vlhkosti 0 %. Průměrná konvenční hustota na jižní straně dosahovala u všech dřevin mírně vyšších hodnot než na straně severní.

Tabulka č. 8 Konvenční hustota zkoumaných dřevin [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

Dřevina	N	Průměr	SD	Min	Max	Medián	IQR	V [%]
jedle obrovská	176	<b>363</b>	35,5	290	482	359	53	10
smrk ztepilý	129	<b>344</b>	34,9	282	434	342	52	10
jedle bělokorá	92	<b>398</b>	34,1	323	509	397	46	9



## 5.4 Srovnání sesychání

### 5.4.1 Hodnoty sesychání v různých anatomických směrech

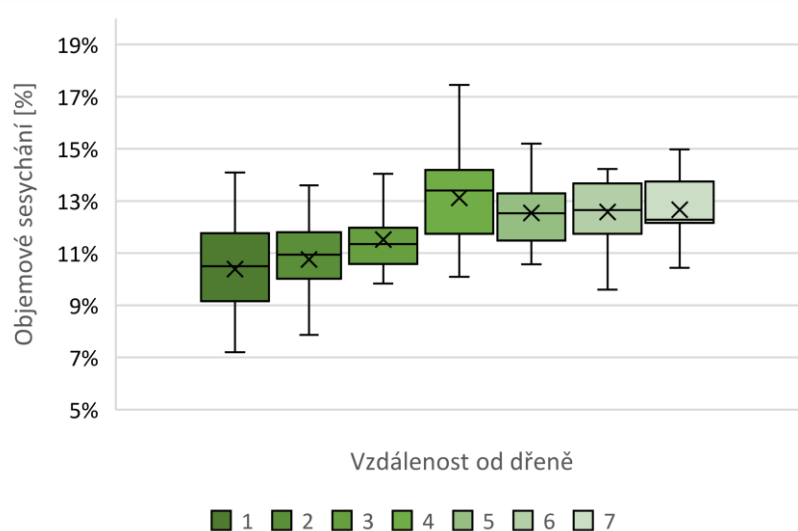
Dřevo smrku ztepilého dosáhlo v objemovém, radiálním a tangenciálním sesychání nejvyšších hodnot 12,9 %, 4 % a 7,3 %. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u jedle obrovské 11,8 % v celkovém objemu, 3,4 % v radiálním směru a 6,9 % v tangenciálním. Sesychání dřeva jedle obrovské mělo s hodnotami 12,3 % v objemovém, 3,9 % v radiálním a 7 % v tangenciální sesychání vyšší variabilitu než ostatní dřeviny. Nejvyšší variabilitu mělo sesychání v radiálním směru. U všech dřevin dosáhla maximální míra objemového sesychání až 17 % a minimálně 6 %. Hodnoty sesychání jsou přehledně vyobrazena souhrnné v tabulce č. 9.

**Tabulka č. 9** Souhrnná tabulka sesychání objemového V a v radiálním Rad a tangenciálním Tg směru [%]

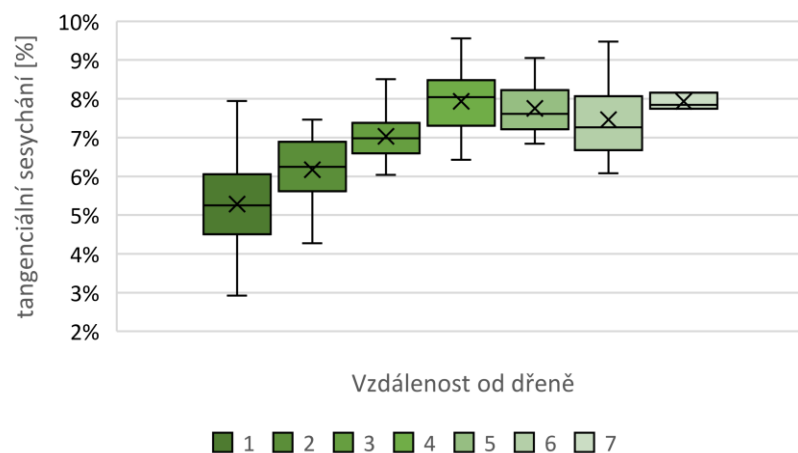
Dřevina	Směr	N	Průměr	SD	Min	Max	Medián	IQR	V [%]
jedle obrovská	V	176	<b>11,8</b>	1,8	6,9	17,4	11,6	2,3	15,5
	Rad	176	<b>3,4</b>	0,7	1,8	5,9	3,3	1,0	21,5
	Tg	176	<b>6,9</b>	1,3	2,9	9,6	7,0	1,5	18,1
smrk ztepilý	V	129	<b>12,9</b>	2,1	7,8	17,9	12,9	3,2	16,0
	Rad	129	<b>4,0</b>	0,9	1,7	5,8	3,9	1,2	21,9
	Tg	129	<b>7,3</b>	1,4	4,1	9,9	7,3	2,1	18,8
jedle bělokorá	V	92	<b>12,3</b>	2,3	6,1	17,3	12,7	2,8	18,8
	Rad	92	<b>3,9</b>	1,1	0,9	6,4	3,9	1,5	29,3
	Tg	92	<b>7,0</b>	1,4	3,1	9,8	7,1	2,0	20,4

Na hladině 0,05 byl analýzou rozptylu prokázán vliv vzdálenosti od dřenež na objemové sesychání u jedle obrovské a jedle bělokoré s rostoucím trendem od dřenež k borci. Nejnižších hodnot dosáhlo dřevo jedle bělokoré z pozice 1 a 2 bez významného rozdílu průměru, na základě Duncanova testu potvrzujeme alternativní hypotézu o růstu v pozicích 2–4, hodnoty v pozici 4 se dále od pozic 5, 6 a 7 neliší., viz. krabicový graf č. 3. V radiálním sesychání není trend pozorovatelný. V tangenciálním směru lze pozorovat obdobný trend jako u objemového sesychání, tedy nárůst míry sesychání mezi pozicemi 1–4 (oproti objemovému sesychání je rozdíl i v pozici 1 a 2), blíže k borci v pozicích 5, 6 a 7 opět není prokazatelný rozdíl, viz. krabicový graf č.4.

**Graf č. 3** Závislost objemového sesychání dřeva jedle obrovské na vzdálenosti od dřeně



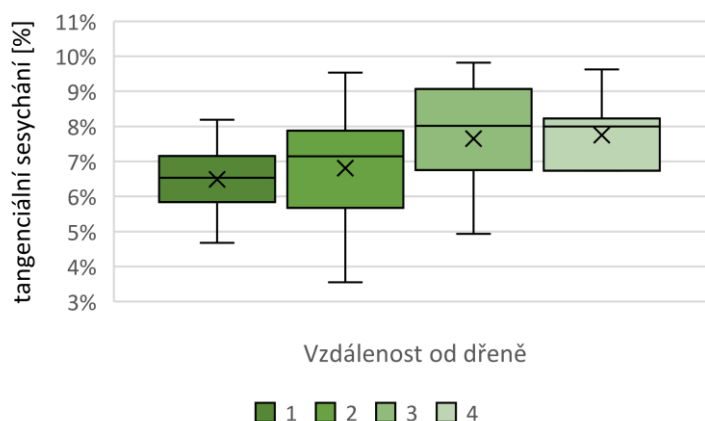
**Graf č. 4** Závislost tangenciálního sesychání dřeva jedle obrovské na vzdálenosti od dřeně



U smrku ztepilého na základě analýzy rozptylu potvrzujeme hypotézu o shodnosti průměrů objemového sesychání v různých pozicích v kmeni. V radiálním a tangenciálním sesychání dosáhl rozdílné hodnoty pouze v pozici 1 s nejnižšími hodnotami.

Objemové sesychání jedle bělokoré dosáhlo nejnižší hodnoty na pozici 1, Duncanův test pak prokázal rozdíl v pozicích 2 a 3, nejbliže u dřeně v pozici 1 a 2 dosahuje dřevo jedle bělokoré nižších hodnot objemového sesychání než ve zbytku kmene. V tangenciálním směru je trend obdobný, viz. krabicový graf č. 5. V radiálním směru je na hladině 0,05 prokazatelný rozdíl i mezi pozicemi 1 a 2.

**Graf č. 5** Krabicový graf závislosti tangenciálního sesychání dřeva  
Jedle bělokoré na vzdálenosti od dřene



Vliv světové strany na objemové sesychání byl prokázán u smrku ztepilého a jedle bělokoré, ale v opačném trendu. Smrk dosáhl vyšších hodnot na jižní straně 13,4 %, na severní straně je naměřeno objemové sesychání 12,4 %. U jedle bělokoré je trend opačný, na jižní straně bylo stanoveno objemové sesychání 11,6 % zatímco na severní straně 13 %. U jedle obrovské nebyl prokázán vliv světové strany na objemové sesychání. Variabilita objemového sesychání se pohybovala okolo 15–16 %, v případě jižního dřeva jedle bělokoré byla variabilita výrazně vyšší, přes 20 %. Závislost světové strany nebyla ani v jednom anatomickém směru na hladině spolehlivosti 0,05. Výsledky je možné porovnat v následující tabulce č. 10.

**Tabulka č. 10** Objemové sesychání v závislosti na světové straně [ % ]

Dřevina	Světová strana	N	Průměr	SD	Min	Max	Medián	IQR	V [ % ]
jedle obrovská	Sever	91	<b>11,6</b>	1,8	6,9	17,4	11,4	2,5	15,9
	Jih	85	<b>11,9</b>	1,8	7,7	16,8	11,8	2,3	15,2
smrk ztepilý	Sever	65	<b>12,4</b>	2,0	7,8	17,8	12,4	2,5	16,0
	Jih	64	<b>13,4</b>	2,0	8,9	17,9	13,8	2,8	15,1
jedle bělokorá	Sever	46	<b>13,0</b>	2,0	8,0	17,3	13,2	2,5	15,3
	Jih	46	<b>11,6</b>	2,4	6,1	16,4	11,9	2,8	20,8

## 5.4.2 Závislost sesychání na hustotě při vlhkosti 0 %

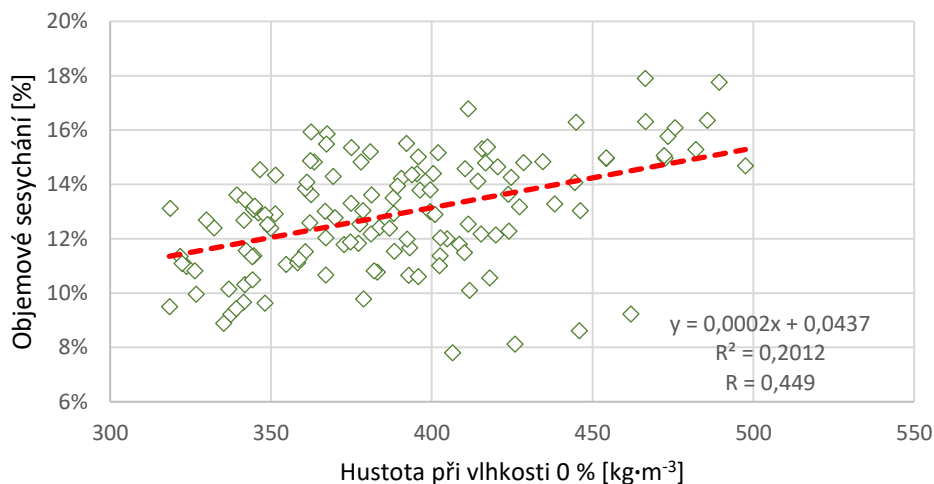
V tabulce č. 11 jsou zaznamenány korelační koeficienty závislosti sesychání jednotlivých dřevin v různých směrech na hustotě při 0 % vlhkosti. Výsledky jsou popsány dále v této kapitole.

**Tabulka č. 11** Souhrn závislosti sesychání v různých směrech na hustotě při 0% vlhkosti

<i>parametry</i>	V	rad	tg
jedle obrovská	0,159	<b>0,289</b>	0,022
smrk ztepilý	<b>0,449</b>	<b>0,437</b>	<b>0,283</b>
jedle bělokorá	0,098	0,073	0,114

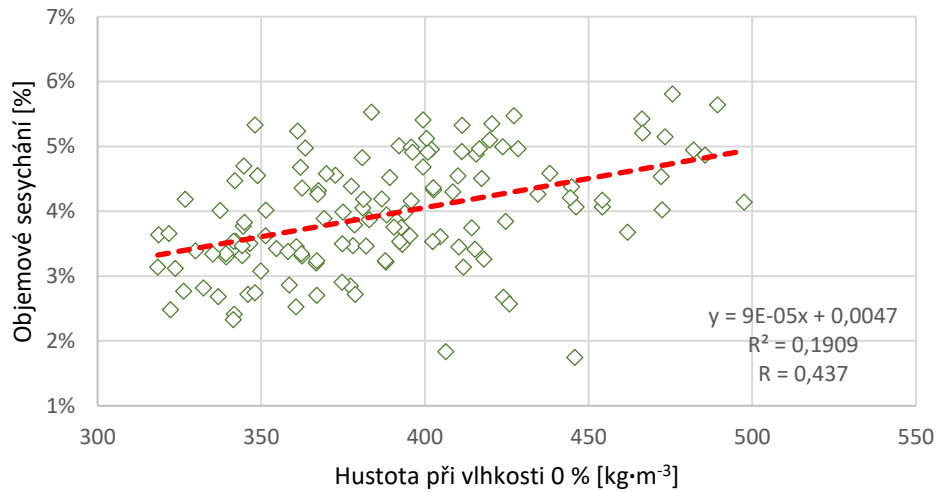
Obecně závislost sesychání dřeva, v různých anatomických směrech, na hustotě v absolutně suchém stavu zaznamenala mírně rostoucí, nebo žádný trend. Nejvyšší korelace byla měřitelná u objemového sesychání smrku ztepilého s korelačním koeficientem 0,449, tuto hodnotu lze interpretovat jako střední závislost viz. bodový graf č. 6.

**Graf č. 6** Závislost objemového sesychání smrku ztepilého na hustotě v absolutně suchém stavu



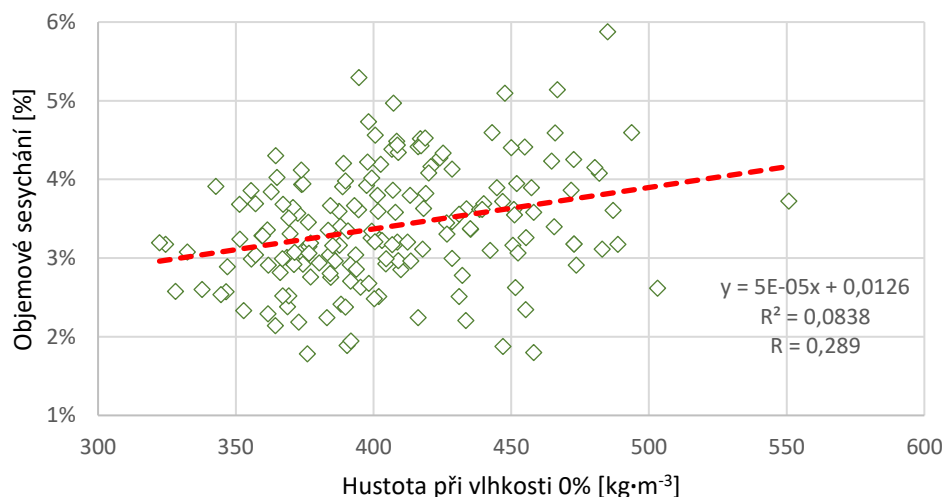
Z grafu č.7 je patrné, že obdobného výsledku dosáhlo dřevo smrku ztepilého u radiálního sesychání. Byla prokázána střední závislost s korelačním koeficientem cca 0,437. Korelační koeficient závislosti sesychání v tangenciálním směru smrku ztepilého na hustotě byl vypočítán na 0,283.

**Graf č. 7** Závislost objemového sesychání smrku ztepilého na hustotě v absolutně



Dřevo jedle obrovské projevilo nejvyšší míru závislosti sesychání na hustotě v radiálním směru s hodnotou cca 0,29 viz. graf č. 8. Lze ji interpretovat spíše jako nižší závislost. V tangenciálním směru dosáhlo velmi nízké závislosti s koeficientem 0,022, v závislosti objemového sesychání na hustotě pak cca 0,16, tedy spíše nižší. Lineární závislost sesychání v jednotlivých anatomických směrech nebyla prokázána u jedle obrovské. V radiálním směru dosáhl korelační koeficient cca 0,07, v tangenciálním směru 0,11 a v závislosti objemového sesychání 0,1.

**Graf č. 8** Závislost radiálního sesychání jedle obrovské na hustotě v absolutně suchém



## 5.5 Srovnání meze pevnosti v tlaku podél vláken

### 5.5.1 Mez pevnosti

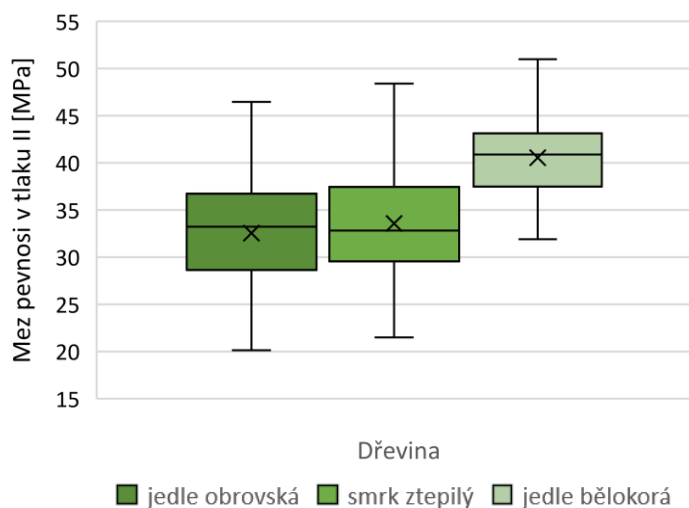
Nejnižší mez pevnosti v tlaku podél vláken 32,5 MPa byla naměřena u jedle obrovské. MPa, smrk ztepilý s hodnotou 33,6 MPa nedosáhl na základně Duncanova testu na hladině spolehlivosti 0,05 statisticky významného rozdílu. Jedle bělokorá dosáhla nejvyšší meze pevnosti 40,5 MPa při variabilitě jen 11 %. Hodnoty dřevin jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tabulka č. 12 Souhrn meze pevnosti v tlaku podél vláken zkoumaných dřevin [MPa]

Dřevina	N	Průměr	SD	Min	Max	Medián	IQR	V [%]
jedle obrovská	171	<b>32,5</b>	5,6	16,2	50,3	33,2	8,1	17,4
smrk ztepilý	124	<b>33,6</b>	6,3	21,5	50,7	32,8	7,9	18,8
jedle bělokorá	100	<b>40,5</b>	4,3	31,9	51,0	40,9	5,6	10,7

Výsledky mezi pevnosti jsou pro lepší srovnání graficky znázorněny v krabicovém grafu č. 9, z něj je patrná shoda meze pevnosti u smrku ztepilého a jedle obrovské, a naopak značný rozdíl u jedle bělokoré.

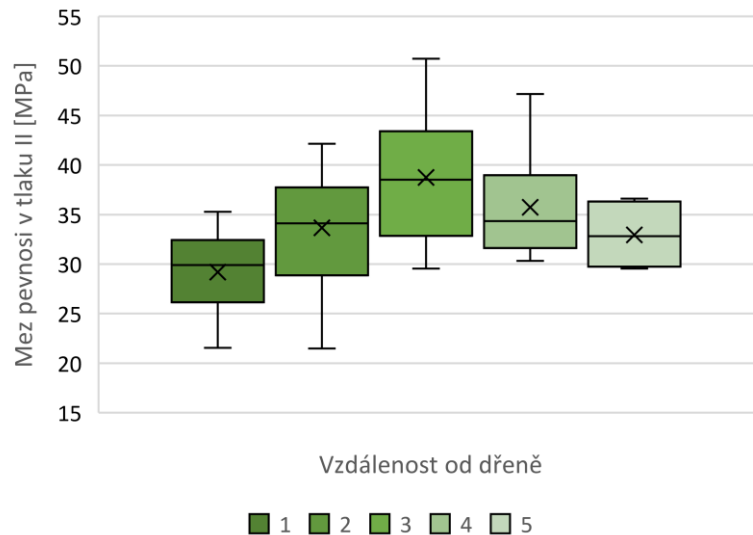
Graf č. 9 Grafické znázornění rozdílu dřevin v pevnosti v tlaku podél vláken



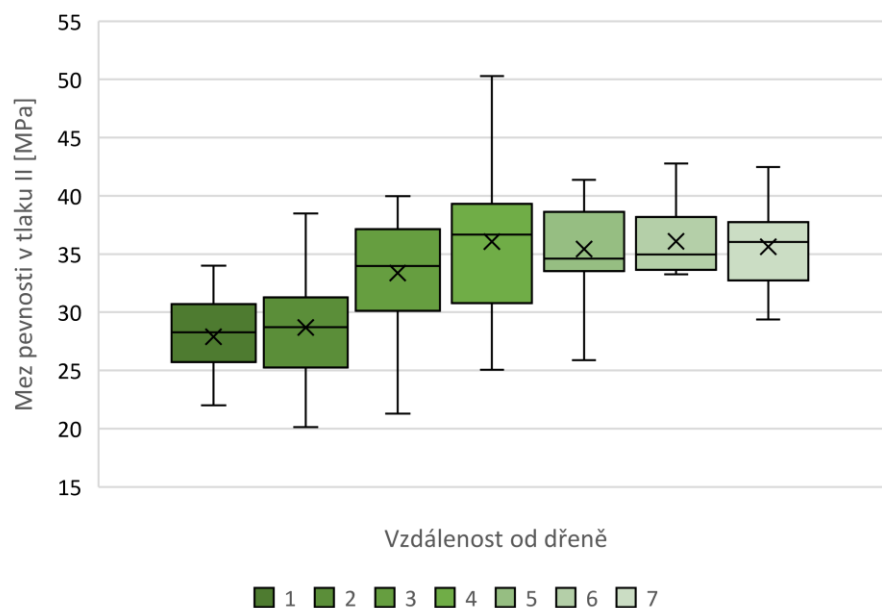
Na základě analýzy rozptylu byla u smrku ztepilého a jedle obrovské zamítnuta hypotéza o nezávislosti průměrné meze pevnosti v tlaku podél vláken na vzdálenosti od dřeně. U dřeva smrku ztepilého Duncanův test potvrdil rostoucí trend ve směru od dřeně k borce v pozicích 1 - 3, blíže k borce mezi pozicemi 3, 4 a 5 již rozdíl není prokazatelný. Rozdíly jsou

pozorovatelné v krabicovém grafu č. 10, u jedle obrovské byl zaznamenán obdobný trend viz. krabicový graf č. 11.

**Graf č. 10** Mez pevnosti v tlaku podél vláken dřeva smrku ztepilého v závislosti na vzdálenosti od dřene



**Graf č. 11** Mez pevnosti v tlaku II dřeva jedle obrovské v závislosti na vzdálenosti od dřene



Vliv světové strany nebyl na hladině 0,05 prokazatelný u průměrné hodnoty meze pevnosti v tlaku podél vláken. U dřeva smrku ztepilého a jedle bělokoré výrazně ovlivnil variabilitu meze pevnosti. Dřevo ze severní části dosáhlo variability 15,3 %, z jižní 21,9 % respektive ze severní 7,5 % a jižní 13,1 %. U jedle obrovské neovlivnila světová strana žádný aspekt meze pevnosti. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 13.

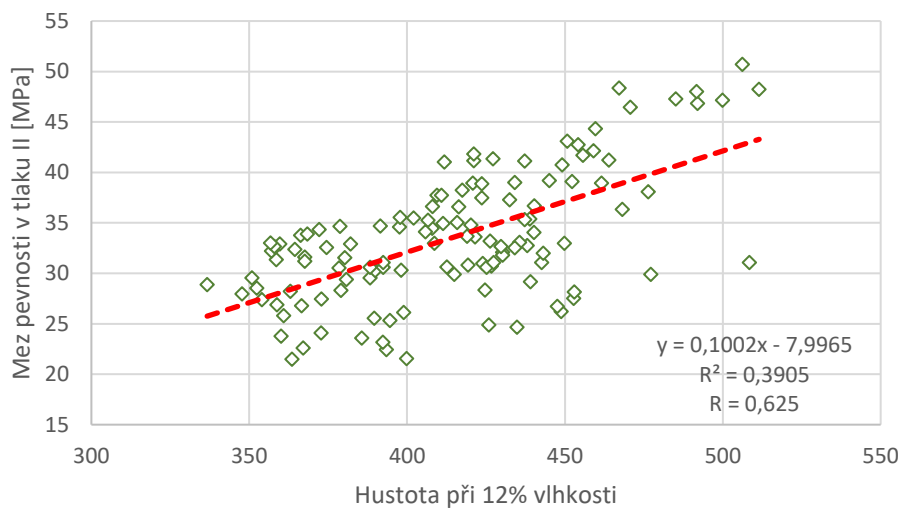
**Tabulka. č 13** Mez pevnosti v tlaku II v závislosti na světové straně [MPa]

Dřevina	Světová strana	N	Průměr	SD	Min	Max	Medián	IQR	V [%]
jedle obrovská	Sever	86	<b>32,2</b>	5,5	16,2	46,2	33,0	8,1	17,0
	Jih	85	<b>33,1</b>	5,7	20,1	50,3	33,3	7,7	17,3
smrk ztepilý	Sever	66	<b>33,2</b>	5,1	24,1	50,7	32,7	5,0	15,3
	Jih	58	<b>33,9</b>	7,4	21,5	48,4	33,5	12,7	21,9
jedle bělokorá	Sever	36	<b>40,6</b>	3,0	33,6	46,1	41,3	5,2	7,5
	Jih	39	<b>40,1</b>	5,2	32,4	51,0	39,6	7,2	13,1

### 5.5.2 Závislost meze pevnosti na hustotě

Nejvyšší lineární závislost meze pevnosti v tlaku podél vláken na hustotě při vlhkosti 12 % vykazuje dřevo smrku ztepilého, u kterého dosahuje korelační koeficient cca 0,625. Hodnoty těchto koeficientů naznačují vysokou závislost, viz. graf č. 12.

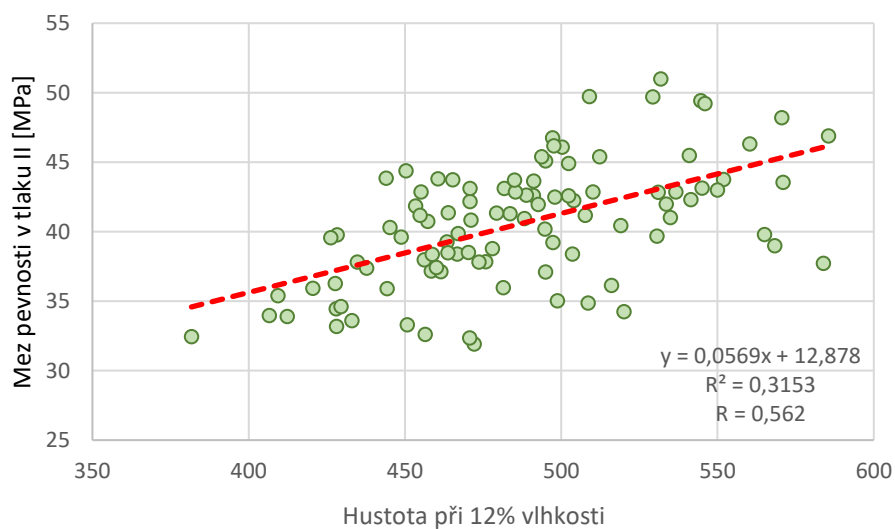
**Graf č. 12** Závislost meze pevnosti v tlaku podél vláken dřeva smrku ztepilého na hustotě při vlhkosti 12 %



Nižší, ale stále značné závislosti dosáhlo dřevo jedle bělokoré s hodnotou korelačního koeficientu 0,562. Lze tedy mez pevnosti v tlaku podél vláken dřeva jedle bělokoré považovat za závislé na jeho hustotě při vlhkosti 12 %. Závislost je patrná z bodového grafu č. 13.

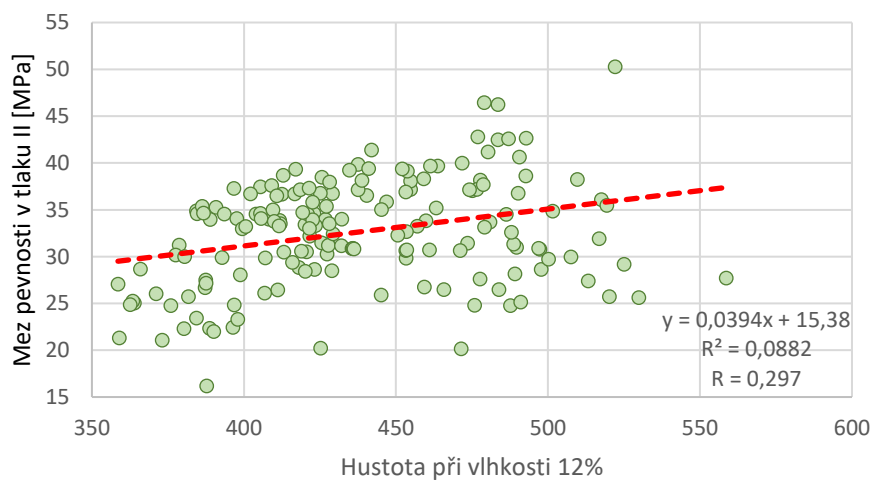


**Graf č. 13** Závislost meze pevnosti v tlaku podél vláken dřeva jedle bělokoré na hustotě při vlhkosti 12 %



Nejnižší střední až nízká závislost byla naměřena u meze pevnosti v tlaku podél vláken dřeva jedle obrovské na jeho hustotě při 12 % vlhkosti. Korelační koeficient je stanoven na cca 0,297. Z grafu č. 14 je patrný zvyšující se rozptyl dat s klesající pevností.

**Graf č. 14** Závislost meze pevnosti v tlaku podél vláken dřeva jedle obrovské na hustotě při vlhkosti 12 %



## 6 Diskuse

Nejnižší hustota naměřená u smrku ztepilého při vlhkosti 12 %  $415 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  odpovídá hustotě, kterou stanovil Holan a Merenda (2008) při zkoumání závislosti hustoty na stupni degradace u referenční skupiny, tedy  $412 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zeidler a Borůvka (2016) uvádí hodnotu vyšší, sice  $441 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nejvyšší hustoty dosáhlo dřevo jedle bělokoré  $486 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . V podkladech Ústavu nauky o dřevě (2003) je uváděna hodnota  $430 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Huber a kol. (2023) u práce obdobného cíle změřili hustotu v intervalu  $430\text{--}457 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Námi měřená hustota je výrazně vyšší. Huber a kol. (2023) dále změřili u jedle obrovské hustotu při 12% vlhkosti  $382\text{--}425 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . V uznávaném internetovém zdroji MatWeb [online] je uvedena hustota  $370 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Námi změřená hodnota je opět vyšší s hodnotou  $437 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Závislost hustoty dřeva na světové straně byla prokázána u všech dřevin jako vyšší na jižní straně a nižší na straně severní. Vliv světové strany byl pozorovaný hlavně u smrku ztepilého a jedle obrovské s rostoucím trendem směrem od dřeně. Šedivka a Zeidler (2015) pozorovali u jedle obrovské rostoucí trend hustoty směrem od dřeně k borce ve všech pozicích, v našem případě nebyl vliv radiální pozice na hustotě při vlhkosti 12 % prokázán u smrku ztepilého ani jedle obrovské. U jedle bělokoré byl vliv zaznamenán, rozdíl mezi jednotlivými pozicemi ale nebyl statisticky významný.

V absolutně suchém stavu byla u jedle bělokoré stanovena hustota  $447 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , tedy vyšší než v odborných publikacích. Huber a kol. (2023) uvádí interval  $400\text{--}428 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Gendek a kol. (2023) pozorovali u referenčních vzorků hustotu  $420 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . U Smrku ztepilého pak  $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . V našem případě byla hustota nižší, sice  $388 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . MatWeb [online] uvádí u jedle obrovské hustotu v absolutně suchém stavu cca  $360 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Huber a kol. (2023) uvádí interval  $356\text{--}396 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Námi měřená hustota je při hodnotě  $406 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  vyšší. Vliv radiální pozice na hustotě v absolutně suchém stavu byl u jedle bělokoré obdobný jako u hustoty při vlhkosti 12 %, u smrku ztepilého byl při 0 % vlhkosti pozorován mírně rostoucí trend směrem od dřeně k borce.

Konvenční hustotu smrku ztepilého uvádí Liepinš a Liepinš (2017) jako  $385 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Požgaj a kol. (1997) prezentují hodnotu shodnou konvenční hustotu s jedlí bělokorou  $370 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Námi měřená hodnota u dřeva smrku ztepilého je  $344 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , je tedy oproti těmto zdrojům nižší. V případě jedle bělokoré ukazuje konvenční hustota  $398 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  značný rozdíl. Závislost konvenční hustoty na vzdálenosti od dřeně byla prokázána obdobně jako hustota v absolutně suchém stavu u jedle bělokoré a smrku ztepilého. U měření hustoty při vlhkosti 12 %, 0 % a konvenční hustoty byly celkově změřeny vyšší hodnoty, než uvádí odborná literatura.

Wagenführ a Wagenführ (2021) uvádí objemové sesychání jedle bělokoré na 10,9 %. Naše vzorky jedle bělokoré objemově seschly o 12,3 %. Dále u smrku ztepilého uvádí 11,8 %, námi byla naměřena hodnota je 12,3 %. Senalik a kol. (2021) u jedle obrovské stanovují objemové sesychání 11 %. U našich těles bylo zjištěno sesychání 11,8 %. Ve všech případech byla námi naměřena vyšší hodnota. Sesychání radiální a tangenciální bylo měřeno obecně na spodní hranici intervalu, který uvádí Požgaj a kol. (1997). V tangenciálním směru je očekávané sesychání 6–12 %, u jedle bělokoré a smrku ztepilého bylo stanoveno shodně 7 %. U dřeva jedle obrovské bylo tangenciální sesychání nepatrně nižší 6,9 %. V radiálním sesychání zbylé dřeviny předčilo s hodnotou 3,4 %, oproti téměř shodným 3,9 % u jedle bělokoré a 4 % u smrku ztepilého.

U dřeva jedle bělokoré, jedle obrovské i smrku ztepilého je pozorovatelný trend rostoucího objemového a tangenciálního sesychání s rostoucí vzdáleností od dřeně, blíže k borce nejsou rozdíly mezi pozicemi statisticky významné. U radiálního sesychání byl pozorován opačný trend, v 1. pozici u dřeně dosáhla u všech dřevin mírně vyšší hodnoty než ve zbytku kmene, v ostatních pozicích dále od dřeně nebyl trend prokázán. Výsledky měření radiálního sesychání na rozdíl od zbylých směrů nekorespondují s výsledky měření Lukáška, Zeidlera a Barčíka (2012) u jedle obrovské, ti pozorovali rostoucí sesychání od dřeně k borce v tangenciální a radiálním směru i v celkovém objemu. Světová strana měla vliv na objemové sesychání u smrku ztepilého ve smyslu nižší na severní straně 12,4 % a vyšší na jižní straně 13,4 %. U jedle bělokoré je stav opačný, na jižní straně vyšší 13 %, zatímco na jižní 11,6 %. U jedle obrovské byla zjištěna hodnota objemového sesychání na severní straně 11,6 % a na jižní straně 11,9 %, rozdíl je statisticky nevýrazný, světová strana tedy u jedle obrovské na objemové sesychání nemá prokazatelný vliv.

Vliv hustoty dřeva v absolutně suchém stavu na jeho sesychání byl nejvíce prokazatelný u smrku ztepilého. Nejvyšší korelace byla zaznamenána u objemového sesychání, i tak jde ale jen o střední závislost s koeficientem  $r = 0,449$ . U jedle bělokoré dosahoval korelační koeficient ve všech směrech velmi nízkých hodnot, cca 0,1 lze tedy říci, že sesychání dřeva jedle bělokoré není závislé na jeho hustotě v absolutně suchém stavu, u jedle obrovské byly zjištěny obdobné výsledky.

Mez pevnosti v tlaku podél vláken při vlhkosti 12 % uvádí Zeidler a Borůvka (2016) u smrku ztepilého jako 34,1 MPa. Holan a Merenda (2008) u referenčních hodnot měřili pevnost v tlaku podél vláken při 0% vlhkosti, přepočtem na vlhkost 12 % vychází hodnota cca 36 MPa. Námi byla naměřena průměrná mez pevnosti 33,6 MPa, tedy přibližně shodná s literaturou.

U jedle bělokoré uvádí Zeidler a Borůvka (2016) pevnost v tlaku podél vláken vyšší než u smrku, sice 39,2 MPa. My jsme naměřili mez pevnosti obdobně, 40,5 MPa. Ryneš (2021) v bakalářské práci naměřil rozdílnou mez pevnosti 46,7 MPa. U jedle obrovské pak 39,8 MPa. MatWeb u jedle obrovské uvádí při vlhkosti 12 % pevnost v tlaku podél vláken 36,5 MPa. Námí byla naměřena značně pevnost 32,5 MPa.

Na rozdíl od hustoty a sesychání se vliv světové strany na mezi pevnosti v tlaku podél vláken při 12% vlhkosti neprojevil ani u jedné z dřevin. Rostoucí trend pevnosti s vyšší vzdáleností od dřeně je naopak pozorovatelný u smrku ztepilého a jedle obrovské. Statisticky významný vliv byl pozorován v pozicích 1–4 u jedle obrovské a 1–3 u smrku ztepilého u pozic blíže k borce, tedy dále od dřeně, se již mez pevnosti v tlaku podél vláken nemění, u jedle bělokoré se jí ale nepodařilo prokázat. Závislost meze pevnosti na vzdálenosti od dřeně a na hustotě v literatuře uvádí Požgaj a kol. (1997). Nejvyšší závislost meze pevnosti v tlaku podél vláken na hustotě se projevila u dřeva smrku ztepilého ( $R = 0,625$ ) a jedle bělokoré ( $R = 0,562$ ), nejnižší pak u jedle obrovské ( $R = 0,297$ ), zde se tedy jedná o spíše nižší závislost.

## 7 Závěr

Tato práce se zabývala srovnáním vybraných fyzikálních a mechanických vlastností domácí jedle bělokoré, smrku ztepilého a nepůvodní jedle obrovské. Zkoumanými vlastnostmi jsou hustota při vlhkosti 0 % a 12 %, konvenční hustota, míra sesychání a pevnost v tlaku podél vláken. Ve většině ohledech dosáhla jedle obrovská v našich podmínkách k obdobným vlastností jako smrk ztepilý, a to v případě hustoty při vlhkosti 12 %, 0 % a u konvenční hustoty. Dřevo jedle bělokoré má hustotu ve všech případech vyšší. Ukázalo se, že zkoumané vlastnosti jsou ovlivněny horizontální polohou v kmeni a vystavení světové straně.

Dřevo jedle obrovské se projevilo jako rozměrově stálější než zbylé 2 dřeviny, kdy dosáhlo nižších hodnot v sesychání objemovém, radiálním i tangenciálním, ve všech případech navíc i s nižší variabilitou. Navíc na něj, co se týče sesychání, vystavení v severojižním směru nemá prokazatelný vliv.

Jedle obrovská dosáhla nejnižší meze pevnosti v tlaku podél vláken, přesto velmi podobné smrku ztepilému, zatímco dřevo jedle bělokoré dosáhlo výrazně vyšší pevnosti. Severojižní vystavení nemá na dřevo jedle obrovské vliv ani u meze pevnosti. I přes pozitivní trend ve vzdálenosti od dřene lze ale říci, že je jeho pevnost z tohoto hlediska předvídatelná. Vliv vzdálenosti od dřene je u jedle obrovské do velké míry ovlivněn rychlostí růstu. Jedle bělokorá má růst v mládí pozvolný, jsou tedy její vlastnosti homogennější.

Obecně lze říci, že dřevo jedle obrovské dosahuje ze zkoumaných dřevin nejhorších mechanických vlastností, od smrku ztepilého se ale liší minimálně. Vzhledem k negativní vlastnosti dřeva sesychat je rozměrová stálost, tedy slabší rozměrová reakce na přítomnost vody ve dřevě, než u jedle bělokoré i smrku ztepilého žádoucí. Předvídatelnost rozměrů je stěžejní ve většině odvětví jako např. truhlářství a stavebnictví. V našich podmínkách dosahuje obdobných vlastností jako při růstu v domácím prostředí Severní Ameriky. Rychlý růst, dobrá reakce na negativní podmínky a obstojné mechanické a fyzikální vlastnosti srovnatelné s domácím smrkem ztepilým naznačují potenciál pro užití v některých odvětvích dřevozpracujícího průmyslu. Nejedná se o vhodný substitut jedle bělokoré, přesto může být použito na výrobu jednoduchého nábytku, v lehkých dřevěných konstrukcích, jako obklad v exteriéru, případně na zpracování v papírenském průmyslu. Tato práce nám poskytla představu, jakých vlastností může dosáhnout dřevo jedle obrovské v našich růstových podmínkách. Je důležité zdůraznit, že přes poznatky této práce, jsou zjištěné vlastnosti pouze částí širokého spektra vlastností dřeva jedle obrovské. Pro maximalizaci potenciálu této dřeviny pro dřevozpracující průmysl je důležité prozkoumat i jeho ostatní aspekty a vlastnosti.

## 8 Použité zdroje

### 8.1 Literatura

- [1] ALDEN, H. A. Softwoods of North America. Madison, WI: U.S.D.A., Forest Service, Forest Products Laboratory, 1997. 151 s.
- [2] BEDNÁŘ, P, REHORKOVA, S. Intenzita transpirace přípravného porostu břízy bělokoré (*Betula pendula* Roth) ve srovnání se stejnorodým a stejnověkým porostem smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) V růstové fázi tyčkovin., Zprávy lesnického výzkumu. 68. 10.59269/zlv/2023/3/703., 2023, 176–185
- [3] CAUDULLO, G., DE RIGO, D., MAURI, A. European Atlas of Forest Tree Species. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2016, 208 s. ISBN: 978-92-76-17290-1
- [4] CAUDULLO, G., WELK, E. San-Miguel-Ayanz, J., Chorological maps for the main European woody species. Data in Brief 12, 2017, 662-666.
- [5] FOILES, M. W. Grand Fir, *Abies grandis* (Dougl.) Lindl. USDA, Forest Service, Agriculture Handbook 271, Washington, DC., 1965, pp. 19–24
- [6] FULÍN, M. Růst a produkce jedle obrovské (*abies grandis* lindl.) ve srovnání s jinými jehličnany. Zprávy lesnického výzkumu. 58, 2013, 186-192.
- [7] GANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P.; ŠLEZINGEROVÁ, J. Nauka o dřevě. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002, 176 s.
- [8] GENDEK, A., PIĘTKA, J., ANISZEWSKA, M, MALAŤÁK, J., VELEBIL, J, TAMELOVÁ, B., KRILEK, J a MOSKALIK, T, Energy value of silver fir (*Abies alba*) and Norway spruce (*Picea abies*) wood depending on the degree of its decomposition by selected fungal species. Renewable Energy, Elsevier, vol. 215 (C), 2023
- [9] HOLAN, J., MERENDA, L.: Comparison of the properties of the Spruce wood *Picea abies* L. (Karst.) in various state and rate of degradation by wood-destroying fungus *Serpula lacrymans* Schröter. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., LVI, No. 5, 2008, 81–88

- [10] HUBER, C., LANGMAIER, M., STADLMANN, A. a kol. Potential alternatives for Norway spruce wood: a selection based on defect-free wood properties. *Annals of Forest Science* 80, 2023 ISSN: 1297-966X
- [11] HRUŠKA, J., OULEHLE, F., KOLÁŘ, T. Výzkum vlivu SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> na růst smrku. Brno: ÚVGV AV ČR. 2018. 44 s.
- [12] KÁBA, B, SVATOŠOVÁ, L. Statistika. Vyd. 3. Praha: ČZU PEF Praha ve vydavatelství Credit, 2001. ISBN 80-213-0746-3.
- [13] KUČERA, A., ČERNÝ, M. (2008), Seznamte se s šumavskými horskými smrčínami. Šumava: čtvrtletník Správy NP a CHKO Šumava, 2008, s. 8–11. ISSN 0862-5166.
- [14] LUKÁŠEK, J., ZEIDLER, A., BARCÍK, Š. Shrinkage of Grand fir wood and its variability within the stem. *Drvna Ind.* 63, 2012, 121–128
- [15] LIEPIŇŠ, J., LIEPIŇŠ, K. Mean basic density and its axial variation in Scots pine, Norway spruce and birch stems, *Research for Rural Development*, 2017, 21–27
- [16] MATOVIČ, A., ŠLEZINGEROVÁ, J.: Konvenční hustota dřeva smrku (*Picea abies* /L./ Karst.) ze stanovišť České socialistické republiky. *Folia Universitatis Agriculturae ES VŠZ v Brně*, 1986. 86
- [17] MATWEB, Softwoods properties [online], [cit. 2024-03-01], dostupné z: <https://www.matweb.com/Search/MaterialGroupSearch.aspx?GroupID=279>
- [18] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR,. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022. [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR, 2022, 138 s., Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/-a30268---rWtfkQZD/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho-hospodarstvi-ceske-republiky-v-roce-2022-strucna-verze? linka=a540692>
- [19] MUSIL, I, MÖLLEROVÁ, J. Lesnická dendrologie. 2, Listnaté dřeviny: přehled dřevin v rámci systému rostlin krytosemenných. Praha: Česká zemědělská univerzita., 2005, 216 s. ISBN 80-213-1367-6.
- [20] PANZER, J. 2010, Jedle není jenom vánoční stromek, [online], [cit. 2024-03-06] Dostupné z: <https://lesycr.cz/casopis-clanek/jedle-neni-jenom-vanocni-stromek/>

- [21] PETERSEN, R. Kurzportrait Große Küstentanne (*Abies grandis*) [online]. [cit. 2024-03-01], 2019, dostupné z: <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/grosse-kuestentanne>
- [22] POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M.: Štruktúra a vlastnosti dreva, 2. vydanie, Bratislava: Príroda, 1997. 488 s. ISBN: 80-07-00960-4
- [23] RYNEŠ, P. Porovnání pevnosti v tlaku dřeva jedle bělokoré, jedle obrovské a smrku ztepilého. [online] Fakulta lesnická a dřevařská ČZU v Praze. Kvalifikační práce, 2021, 69 s. Vedoucí doc. Ing. Aleš Zeidler, PhD.
- [24] SAVIDGE, R. A.. Tree growth and wood quality, in: Wood Quality and Its Biological Basis, J. R. Barnett, G. Jeronimidis (eds.), Blackwell Scientific, Oxford, 2003, 29 s.
- [25] SEARLE, S. R., CASELLA, G., a MCCULLOCH, C. E. Variance Components, John Wiley, New York., 1992, 536 s. ISBN: 978-0-470-31685-6
- [26] SENALIK C., FARBER B. Mechanical properties of wood. In: Forest Products Laboratory (ed) Wood handbook – wood as an engineering material: General Technical Report FPL-GTR-282, Chapter 5. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, 2021, 117–162
- [27] ŠANTRŮČKOVÁ, H., VRBA, J. Co vyprávějí šumavské smrčiny. 1. vyd. Vimperk: Správa Národního parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava, České Budějovice, 2010, 153 s. ISBN: 978-80-87257-04-3
- [28] ÚRADNÍČEK, Luboš. Dřeviny České republiky. 2. přeprac. vyd., Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, 2009, 367 s. ISBN: 978-80-87154-62-5.
- [29] ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L., Stavba dřeva. Brno, Mendelova univerzita v Brně, 2014, 188 s. ISBN: 978-80-7375-966-7.
- [30] WAGENFÜHR R, WAGENFÜHR A, Holzatlas, 7th edn. Hanser, München, 2021, 924 s. ISBN: 978-3-446-46838-2
- [31] ZOBEL, B.J., BUIJTENEN, J.P. Wood Variation. Its Causes and Control. Springer-Verlag, Heidelberg, 1989, 363 s. ISBN: 9783540502982



## 8.2 Normy

- ČSN 49 0108. Drevo. Zisťovanie hustoty. Český normalizační institut, Praha. 1993. 8 s. Třídící znak 49 0108
- ČSN 49 0128. Metóda zisťovania zosýchavosti. Český normalizační institut, Praha. 1988. 20 s. Třídící znak 49 0128
- ČSN 49 0110. Medza pevnosti v tlaku v smeru vláken. Český normalizační institut, Praha. 1979. 8 s. Třídící znak 49 0110

## 9 Seznam obrázků, tabulek a grafů

### 9.1 Obrázky

Obr. č. 1 Porost jedle bělokoré ( <i>Abies alba</i> ), (Areny 2008, upraveno) .....	9
Obr. č. 2 Líc jehličí jedle bělokoré ( <i>Abies alba</i> ), (Anon 2015, upraveno) .....	9
Obr. č. 3 Původní (zeleně) a nepůvodní (žlutě) výskyt jedle bělokoré ( <i>Abies alba</i> ), (Caudullo a kol., 2017) .....	10
Obr. č. 4 Líc jehličí Jedle obrovské ( <i>Abies grandis</i> ), (Wsiemund, 2009) .....	11
Obr. č. 5 Porost Jedle obrovské ( <i>Abies grandis</i> ), (Hein a kol., 2014) .....	11
Obr. č. 6 Mapa přirozeného výskytu Jedle obrovské ( <i>Abies grandis</i> ), (Halava, 2012) .....	12
Obr. č. 7 Volně stojící smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> ), (Ogroom, 2007) .....	13
Obr. č. 8 Porost smrku ztepilého ( <i>Picea abies</i> ), (Anon, 2019) .....	13
Obr. č. 9 Původní (zeleně) a nepůvodní (žlutě) výskyt smrku ztepilého ( <i>Picea abies</i> ), (Caudullo a kol., 2017) ....	14
Obr. č. 10 Horizontální a vertikální poloha vzorků v kmeni, včetně označení (Vlastní dílo, 2024) .....	20
Obr. č. 11 Normalizované zkušební těleso s označením rozměrů a anatomických směrů, (Vlastní dílo, 2024).....	21
Obr. č. 12 Popis částí krabicového grafu, (Vlastní dílo, 2024) .....	26

### 9.2 Tabulky

Tabulka č. 1 Hustota hospodářsky významných dřevin při vlhkosti 0 %, (Požgaj a kol., 1997).....	16
Tabulka č. 2 Konvenční hustota vybraných hospodářsky významných dřevin, (Požgaj a kol., 1997).....	17
Tabulka č. 3 Sesychání dřeva v různých anatomických směrech, (Požgaj a kol., 1997).....	18
Tabulka č. 4 Mez pevnosti v tlaku podél vláken vybraných dřevin, (Šlezingerová a kol., 2005).....	19
Tabulka č. 5 Hustota jedle obrovské, smrku ztepilého a jedle bělokoré při 12% vlhkosti [kg·m <sup>-3</sup> ] .....	25
Tabulka č. 6 Závislost hustoty dřeva při 12% vlhkosti na světové straně, severní a jižní [kg·m <sup>-3</sup> ].....	26
Tabulka č. 7 Hustota dřeva při vlhkosti 0% [kg·m <sup>-3</sup> ] .....	27
Tabulka č. 8 Konvenční hustota zkoumaných dřevin [kg·m <sup>-3</sup> ].....	30
Tabulka č. 9 Souhrnná tabulka sesychání objemového V a v radiálním Rad a tangenciálním Tg směru [%].....	31
Tabulka č. 10 Objemové sesychání v závislosti na světové straně [%].....	33
Tabulka č. 11 Souhrn závislosti sesychání v různých směrech na hustotě při 0% vlhkosti .....	34
Tabulka č. 12 Souhrn meze pevnosti v tlaku podél vláken zkoumaných dřevin [MPa].....	36
Tabulka. č 13 Mez pevnosti v tlaku II v závislosti na světové straně [MPa].....	38

### 9.3 Grafy

Graf č. 1 Srovnání hustoty jedle obrovské, smrku ztepilého a jedle bělokoré při 12% vlhkosti.....	28
Graf č. 2 Závislosti vzdálenosti od dřene dřeva jedle bělokoré na hustotě při 0% vlhkosti.....	30
Graf č. 3 Závislost objemového sesychání dřeva jedle obrovské na vzdálenosti od dřene.....	32
Graf č. 4 Závislost tangenciálního sesychání dřeva jedle obrovské na vzdálenosti od dřene.....	32
Graf č. 5 Závislost tangenciálního sesychání dřeva Jedle bělokoré na vzdálenosti od dřene.....	33
Graf č. 6 Závislost objemového sesychání smrku ztepilého na hustotě v absolutně suchém stavu.....	34
Graf č. 7 Závislost objemového sesychání smrku ztepilého na hustotě v absolutně suchém stavu.....	35
Graf č. 8 Závislost radiálního sesychání jedle obrovské na hustotě v absolutně suchém stavu.....	35
Graf č. 9 Grafické znázornění rozdílu dřevin v pevnosti v tlaku podél vláken.....	36
Graf č. 10 Mez pevnosti v tlaku podél vláken dřeva smrku ztepilého v závislosti na vzdálenosti od dřene.....	37
Graf č. 11 Mez pevnosti v tlaku podél vláken dřeva jedle obrovské v závislosti na vzdálenosti od dřene.....	37
Graf č. 12 Závislost meze pevnosti v tlaku podél vláken dřeva smrku ztepilého na hustotě při vlhkosti 12 %.....	38
Graf č. 13 Závislost meze pevnosti v tlaku podél vláken dřeva jedle bělokoré na hustotě při vlhkosti 12 %.....	39
Graf č. 14 Závislost meze pevnosti v tlaku podél vláken dřeva jedle obrovské na hustotě při vlhkosti 12 %.....	39