

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra základního zpracování dřeva**



**Vybrané mechanické vlastnosti dřeva douglasky z lokalit  
v České republice**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Ondřej Pilař**

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

**© 2016 ČZU v Praze**

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Ondřej Pilař

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Vybrané mechanické vlastnosti dřeva douglasky z lokalit v České republice**

Název anglicky

**Selected Mechanical Wood Properties of Douglas Fir from Sites in the Czech Republic**

---

## Cíle práce

Zhodnotit kvalitu dřeva douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziessii* /MIRBEL /FRANCO) z různých oblastí v České republice prostřednictvím vybraných mechanických vlastností. Posoudit vliv polohy v kmeni a stanoviště na posuzované vlastnosti.

## Metodika

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

## Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

## Klíčová slova

dřevo, mechanické vlastnosti, douglaska tisolistá, 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.
- KOLLMANN, F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe – Erste Band. Berlin: Springer-Verlag, 1951. 1050 s.
- LEXA, J.- NEČESANÝ, V.- PACLT, J.- TESAŘOVÁ, M.- ŠTOFKO, J. Technologia dreva I. – Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.
- NOVÁK, V. Dřevařská technická příručka. Praha: SNTL, 1970. 748 s.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D, KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.
- WAGENFÜHR, R. Holzatlas. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000. 707 s.
- WIEMANN, M. C. Characteristics and Availability of Commercially Important Woods. In: Wood handbook – Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 2.1-2.45
- 

## Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FLD

## Vedoucí práce

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

## Konzultant

Ing. Vlastimil Borůvka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 19. 12. 2015

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

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2016

**prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 14. 04. 2016

---

## **Čestné prohlášení**

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

V Praze dne 18. 4. 2016

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za přínosné podněty, věcné připomínky a vstřícnosti při konzultacích.

## Abstrakt

Introdukované dřeviny jsou nepochybně, navzdory současným krátkodobým politicko-ekonomicko-ekologickým turbulencím, stále předmětem zájmu českého lesnického sektoru. Za jednu z perspektivních dřevin je považována i douglaska tisolistá (*Pseudotsuga douglasii*), která patří celosvětově k nejvýznamnějším dřevinám, a to jak v oblastech svého původního rozšíření, tak v rozsáhlých regionech kde byla úspěšně introdukována. Informace o kvalitě jejího dřeva z našeho území prozatím chybí.

Cílem této práce bylo proto zhodnotit kvalitu dřeva douglasky tisolisté z různých oblastí České republiky prostřednictvím vybraných mechanických vlastností. Normalizovanými postupy byla stanovena především pevnost v tlaku, rázová houževnatost, modul pružnosti v ohybu a ohybová pevnost. Posouzena byla také variabilita vlastností v kmenech a lokalitě.

Výsledné hodnoty mechanických vlastností jsou v porovnání s hodnotami naměřenými v původních oblastech lepší v pevnosti v tlaku, obdobné v pevnosti v ohybu, a o něco horší v modulu pružnosti v ohybu.

V porovnání výsledných hodnot douglasky tisolisté s hodnotami domácího smrku ztepilého vykazuje douglaska tisolistá lepší hodnoty, a to až na hodnoty modulu pružnosti v ohybu, které jsou u smrku vyšší.

Statisticky významný rozdíl mezi lokalitou a měřenou vlastností se prokázal pouze u modulu pružnosti a u hustoty. U variability v rámci kmene byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi vertikální i horizontální polohou v kmenech a všemi měřenými vlastnostmi. Taktéž stoupá hodnota měřené vlastnosti se zvyšující se polohou od dřevě.

**Klíčová slova:** dřevo, mechanické vlastnosti, douglaska tisolistá, variabilita

## Abstract

Introduced tree species are still undoubtedly, despite the current short-term politico-economic and environmental turbulences, an object of interest of the Czech forestry sector. Worldwide the most important tree species, and thus both in the areas of its original extension and in the large regions where it was successfully introduced, is the Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*), which is considered as one of the most perspective tree species. Information about the quality of its wood from our territory is missing for the time being.

That's why the aim of this work was to evaluate the quality of Douglas fir wood from different regions of the Czech Republic through selected mechanical properties. Especially the compressive strength, impact strength, flexural modulus and flexural strength were determined by standardized procedures. As well as, the variability of the trunk features and that one of the locality were taken in consideration.

The final results of the mechanical features compared with the values measured on the wood from the original extension areas are better in compression strength, similar in flexural strength and slightly worse in the flexural modulus.

Comparing the resultant values of Douglas fir with the values of domestic spruce, the Douglas fir shows better values, apart from the values of flexural modulus, which are higher in case of the spruce.

A statistically significant difference between the location and the measured feature is demonstrated only in the elastic modulus and density. At the variability in frame of the trunk there was found a statistically significant difference between the vertical and horizontal position of the trunk and all the measured features. At the same time, the value of the measured feature increases together with increasing position from the pulp.

Keywords: Wood, mechanical features, Douglas fir, variability

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>8</b>
<b>Seznam tabulek, obrázků, grafů.....</b>	<b>11</b>
Tabulky .....	11
Obrázky.....	12
Grafy .....	13
<b>1 Úvod .....</b>	<b>14</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>15</b>
<b>3 Rozbor problematiky.....</b>	<b>16</b>
3.1 Botanický popis Douglasky tisolisté.....	16
3.1.1 Rod: <i>Pseudotsuga</i> – douglaska .....	16
3.1.2 Botanické zařazení douglasky tisolisté .....	16
3.1.3 Celkový vzhled .....	17
3.1.4 Jehlice .....	17
3.1.5 Pupeny .....	17
3.1.6 Šišky.....	17
3.1.7 Kůra a borka.....	17
3.1.8 Kořenový systém .....	17
3.1.9 Ekologie .....	18
3.1.10 Rozšíření .....	18
3.1.11 Introdukce .....	18
3.2 Dřevo douglasky tisolisté.....	19
3.2.1 Makroskopická stavba dřeva .....	19
3.2.2 Mikroskopická stavba dřeva .....	19
3.2.3 Barva a vůně .....	20
3.2.4 Sesychavost.....	20



3.2.5	Hustota.....	21
3.2.6	Pevnost.....	22
3.2.7	Vady dřeva.....	24
3.2.8	Trvanlivost.....	24
3.2.9	Obrobitelnost .....	24
3.2.10	Využití .....	24
3.3	Zjišťované vlastnosti dřeva.....	26
3.3.1	Mechanické vlastnosti.....	26
3.3.2	Pevnost v tlaku.....	27
3.3.3	Ohybová pevnost .....	27
3.3.4	Modul pružnosti v ohybu.....	28
3.3.5	Rázová houževnatost v ohybu .....	28
3.3.6	Činitelé ovlivňující pevnost dřeva .....	29
3.3.7	Proměnlivost vlastností dřeva.....	31
<b>4</b>	<b>Metodika.....</b>	<b>33</b>
4.1	Popis zkušebních vzorků.....	33
4.2	Příprava zkušebních těles.....	34
4.3	Zkoušky.....	35
4.3.1	Mez pevnosti ve statickém ohybu a modul pružnosti v ohybu.....	35
4.3.2	Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken.....	37
4.3.3	Zjišťování rázové houževnatosti v ohybu.....	38
4.3.4	Zjišťování hustoty.....	39
4.4	Zjišťování vlhkosti při fyzikálních a mechanických zkouškách.....	41
4.5	Zpracování a vyhodnocování dat .....	42
<b>5</b>	<b>Výsledky měření.....</b>	<b>43</b>
5.1	Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken.....	43

5.2	Rázová houževnatost v ohybu.....	47
5.3	Mez pevnosti ve statickém ohybu.....	51
5.4	Modul pružnosti v ohybu .....	55
5.5	Hustota .....	59
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>70</b>

## Seznam tabulek, obrázků, grafů

### Tabulky

Tab. 1: Srovnání sesychavosti dřeva douglasky tisolisté se dřevem hlavních domácích jehličnatých dřevin. ....	21
Tab. 2: Srovnání hustoty dřeva douglasky tisolisté se dřevem hlavních domácích jehličnatých dřevin. ....	21
Tab. 3: Srovnání hustoty dřeva douglasky tisolisté z jednotlivých zemí.....	22
Tab. 4: Srovnání pevnosti dřeva douglasky tisolisté z jednotlivých zemí.....	23
Tab. 5: Srovnání pevnosti dřeva douglasky tisolisté se dřevem hlavních domácích jehličnatých dřevin. ....	23
Tab. 6: Rozdělení stromů podle lokalit.....	33
Tab. 7: Popisná statistika pro mez pevnosti v tlaku ve směru vláken pro celek a Lokality 1 a 2. ....	43
Tab. 8: Popisná statistika pro mez pevnosti v tlaku ve směru vláken pro jednotlivé stromy. ....	44
Tab. 9: Popisná statistika pro mez pevnosti v tlaku ve směru vláken pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřeně 1 – 7. ....	45
Tab. 10: Popisná statistika pro rázovou houževnatost v ohybu pro celek a Lokality 1 a 2. ....	47
Tab. 11: Popisná statistika pro rázovou houževnatost v ohybu pro jednotlivé stromy. .	48
Tab. 12: Popisná statistika pro rázovou houževnatost v ohybu pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřeně 1 – 7. ....	49
Tab. 13: Popisná statistika pro mez pevnosti ve statickém ohybu pro celek a Lokality 1 a 2. ....	51
Tab. 14: Popisná statistika pro mez pevnosti ve statickém ohybu pro jednotlivé stromy. ....	52
Tab. 15: Popisná statistika pro mez pevnosti ve statickém ohybu pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřeně 1 – 7. ....	53
Tab. 16: Popisná statistika pro modul pružnosti v ohybu pro celek a Lokality 1 a 2.....	55
Tab. 17: Popisná statistika pro modul pružnosti v ohybu pro jednotlivé stromy. ....	56

Tab. 18: Popisná statistika pro modul pružnosti v ohybu pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřene 1 – 7. ....	58
Tab. 19: Popisná statistika pro hustotu při 12% vlhkosti pro celek a Lokality 1 a 2.....	60
Tab. 20: Popisná statistika pro hustotu při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy. ....	61
Tab. 21: Popisná statistika pro hustotu při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřene 1 – 7. ....	62
Tab. 22: Srovnání zjištěných hodnot s hodnotami hlavních domácích jehličnatých dřevin. ....	66
Tab. 23: Srovnání zjištěných hodnot s hodnotami z jednotlivých zemí. ....	66

### **Obrázky**

Obr. 1: Příčný řez, zvětšeno 40x (Mikroskopický atlas dřevin, 2007). ....	20
Obr. 2: Radiální řez, zvětšeno 200x (Mikroskopický atlas dřevin, 2007). ....	20
Obr. 3: Tangenciální řez, zvětšeno 100x (Mikroskopický atlas dřevin, 2007).....	20
Obr. 4: Změna fyzikálních a mechanických vlastností borovicového dřeva po výšce kmenu. (Perelygin, 1960). ....	32
Obr. 5: Změna objemové váhy po poloměru kmene borovice (Perelygin, 1960). ....	32

## Grafy

Graf 1: ANOVA meze pevnosti v tlaku při 12% vlhkosti pro Lokality 1 a 2. ....	43
Graf 2: ANOVA meze pevnosti v tlaku při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy. ....	44
Graf 3: ANOVA meze pevnosti v tlaku při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.....	46
Graf 4: ANOVA meze pevnosti v tlaku při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřene. .....	46
Graf 5: Závislost meze pevnosti v tlaku // na hustotě.....	46
Graf 6: ANOVA rázové houževnatosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé lokality. ....	47
Graf 7: ANOVA rázové houževnatosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy.....	48
Graf 8: ANOVA rázové houževnatosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.....	50
Graf 9: ANOVA rázové houževnatosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřene. .....	50
Graf 10: Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě. ....	50
Graf 11: ANOVA meze pevnosti ve statickém ohybu při 12% vlhkosti pro jednotlivé lokality. ....	51
Graf 12: ANOVA meze pevnosti ve statickém ohybu při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy. ....	52
Graf 13: ANOVA pevnosti v ohybu 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.....	53
Graf 14: ANOVA pevnosti v ohybu při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřene..	53
Graf 15: Závislost meze pevnosti ve statickém ohybu na hustotě.....	54
Graf 16: Závislost meze pevnosti ve statickém ohybu na modulu pružnosti v ohybu. ..	55
Graf 17: ANOVA modulu pružnosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé lokality. ....	56
Graf 18: ANOVA modulu pružnosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy. ....	57
Graf 19: ANOVA modulu pružnosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.....	58
Graf 20: ANOVA modulu pružnosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřene.	58
Graf 22: Závislost modulu pružnosti v ohybu na hustotě.....	59
Graf 23: ANOVA hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé lokality.....	60
Graf 24: ANOVA hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy.....	61
Graf 25: ANOVA hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.....	62
Graf 26: ANOVA hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřene. ....	62

# 1 Úvod

Význam dřeva jako suroviny, stavebního a konstrukčního materiálu bývá často podceňován. Podobně jsou podceňovány široké možnosti uplatnění různých dřevin. Každá dřevina má určité specifické vlastnosti, které lze s velkým užitekem aplikovat v mnoha oblastech lidské činnosti (Fellner et al., 2007).

Douglaska tisolistá se jako dřevina introdukovaná ze západních oblastí severoamerického subkontinentu pěstuje v Evropě i v ČR více než 120 let. V současnosti je zejména v podmínkách západní a střední Evropy nerozšířenější cizokrajnou jehličnatou dřevinou (Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2014).

V souvislosti s chřadnutím smrkových porostů se hledá dřevina, kterou by mohl být smrk ztepilý nahrazován. Právě douglaska má mnoho předpokladů v určitých podmínkách a situacích smrk substituovat. Dřevo z douglasky musí být prodejné a upotřebitelné, jinak by se náhrada smrku minula účinkem. Proto je nutné znát jeho specifické vlastnosti a kvalitu (Vala et al., 2016).

Tato diplomová práce se zabývá vybranými mechanickými vlastnostmi dřeva douglasky tisolisté, pěstované na území České republiky. Na základě výsledných hodnot mechanických vlastností bude také možno posoudit vliv polohy v kmeni a stanoviště na posuzované vlastnosti. Práce povede k doplnění údajů, charakterizujících kvalitu douglasky tisolisté z dřevařského pohledu. Na základě zjištěných hodnot bude douglaska tisolistá porovnávána s domácími hospodářskými jehličnatými dřevinami, aby bylo možné posoudit její kvalitu.

## 2 Cíl práce

- Zhodnotit kvalitu dřeva douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* /MIRBEL /FRANCO) z různých oblastí v České republice prostřednictvím vybraných mechanických vlastností.
- Posoudit vliv polohy v kmeni a stanoviště na posouzené vlastnosti.

### 3 Rozbor problematiky

#### 3.1 Botanický popis Douglasky tisolisté

##### 3.1.1 Rod: *Pseudotsuga* – douglaska

Douglasky jsou statné vždyzelené stromy podobné smrkům a jedlím, s široce kuželovitou korunou. Kmeny jsou většinou průběžné, ve stáří s obvykle hnědou až červenohnědou tlustou a hluboce rozpukanou borkou. Pupy jsou světle hnědé nepryskyřičnaté s vejcovitě vřetenovitým tvarem. Jehlice jsou uspořádány spirálovitě, na horní ploše mají podélnou rýhu a na straně spodní dva široké pruhy průduchových řad. Po odpadnutí jehlice zůstane na větvičce okrouhlá jizva. Zlomené jehlice vydávají charakteristickou pryskyřičnou vůni. Plody jsou dolů visící nerozpadavé šišky válcovitého či vejcovitého tvaru a jsou nezaměnitelné pro své vyčnívající trojzubé podpůrné šupiny. (Koblížek, 2006; Mojžíšek, 2005; Musil a Hamerník, 2007).

##### 3.1.2 Botanické zařazení douglasky tisolisté

Říše: *Plantae* - rostliny

Oddělení: *Pinophyta* - jehličnany

Třída: *Pinopsida* - jehličnany

Řád: *Pinales* - borovicotvaré

Čeleď: *Pinaceae* - borovicovité

Podčeleď: *Laricoideae* – modřínové

Rod: *Pseudotsuga* - douglaska

Druh: *Pseudotsuga menziesii* – douglaska tisolistá

(Biolib, 2016)



### 3.1.3 Celkový vzhled

Douglaska tisolistá je nejrychleji rostoucí strom mírného pásma. Dosahuje 30-50 (90) metrů výšky. Kmen měří v průměru 150-180 (305) cm. Koruna je kuželovitá, tvořena vodorovnými větvemi a závojovitě splývajícími větvičkami (Mojžíšek, 2005; Musil a Hamerník, 2007).

### 3.1.4 Jehlice

Jehlice jsou na líci tmavozelené, na rubu se zelenavě bílými pruhy průduchů. Po rozemnutí příjemně voní balzámovou vůní (Mojžíšek, 2005; Musil a Hamerník, 2007).

### 3.1.5 Pupeny

Pupeny douglasky jsou velice nápadné, asi 3-6 (10) mm dlouhé, vejčitě kopinaté výrazně zašpičatělé, červenohnědé, téměř nepryskyřičnaté. Tento znak patří k velmi spolehlivým pro určení tohoto druhu (Úradníček, 2014; Hieke, 2008).

### 3.1.6 Šišky

Samičí šištice jsou nejprve zbarvené do červenofialové, v plné zralosti se zbarvují do hněda. Šišky jsou na rozdíl od jedle nerozpadavé, visící směrem dolů. Samčí šištice jsou válcovitého tvaru 15–25 mm dlouhé, široké 3–4 cm, složené z velkého počtu šupin. Podpurné šupiny dobře viditelné, mají velmi nápadný tvar se třemi výraznými cípy (Úradníček, 2014).

### 3.1.7 Kůra a borka

Borka mladých jedinců bývá hladká zelenošedá s četnými pryskyřičnými puchýřky, ve stáří tvoří hluboce rozpukanou brázditou, korkovitou červenohnědou borku která může dosahovat tloušťky až 40 cm (Koblížek, 2006; Úradníček, 2014).

### 3.1.8 Kořenový systém

Kořenový systém ze začátku kulovitý, poté se začínají brzy přidávat silné daleko sahající kořeny, které strom silně kotví v zemi (Musil a Hamerník, 2007).

### 3.1.9 Ekologie

Douglaska tisolistá je v mládí k zastínění poměrně tolerantní, v době dospívání je však na světlo středně náročná (Musil a Hamerník, 2007). Tento druh není příliš náročný na půdu ani na podmínky stanoviště. V nižších polohách je vitálnější než jedle nebo smrk. Při tužších zimách může mírně omrzat (Mojžíšek, 2005).

### 3.1.10 Rozšíření

Douglaska tisolistá je dřevina neobyčejně velkého rozšíření. Roste od pobřeží Tichého oceánu až po vysokohorské polohy Kaskád na západní i východní straně hlavního hřebenu a ve vnitrozemí zaujímá převážnou část svahů Skalnatých hor (Hofman, 1964). Z Kalifornie (z oblasti Yosemitekého národního parku) pokračuje areál na sever podél pacifického pobřeží v délce asi 2200 km do střední části Britské Kolumbie, kde dosahuje severního limitu na ostrově Vancouver (Musil a Hamerník, 2007).

### 3.1.11 Introdukce

První zásilka semene douglasky do Evropy byla poslána Davidem Douglasem v roce 1826 z Ameriky. Z tohoto prvního importu bylo založeno několik výsadeb, vesměs parkových, které jsou roztroušeny po celé jižní a střední Británii (Hofman, 1964). Na území Čech se douglaska dostává v roce 1842 (Musil a Hamerník, 2007), a to jako dvouletá sazenice, pocházející ze zásilky exotů od Boothy z Flottbecku, vysazená v chudnickém parku (Hofman, 1964).

## **3.2 Dřevo douglasky tisolisté**

### **3.2.1 Makroskopická stavba dřeva**

Jedná se o jádrovou dřevinu, což znamená, že střední část kmene je výrazně tmavě zbarvená. Tuto zónu nazýváme jádro a obvodová světlejší část je nazývána běl (Požgaj et al., 1997).

Běl je poměrně úzká, měří 3 až 6 cm (Wagenführ, 2002). Při radiálním řezu je textura svěže proužkovaná, ukazuje se výrazná kresba letokruhů. Při řezu tangenciálním tvoří texturu fládrovanou (Wagenführ, 2002; Lincoln and Gibbs, 2009; Fellner et al., 2007). Na příčném řezu jsou letokruhy jasně zřetelné, přechod mezi jarním a letním dřevem je postupný až náhlý (Fellner et al., 2007). Pro jedince pěstované v našich klimatických podmínkách je charakteristické, že letokruhy jsou hlavně v prvních letech značně široké a navíc pro jehličnany s netypicky vysokým zastoupením letního dřeva (Vavrčík et al., 2012). Pryskyřičné kanálky jsou méně četné, viditelné pouze pod lupou (Novák, 1970). Také dřeňové paprsky jsou viditelné pouze pod lupou (Jírů, 1960). Wagenführ (2002) celkově hodnotí texturu dřeva douglasky tisolisté jako dekorativní.

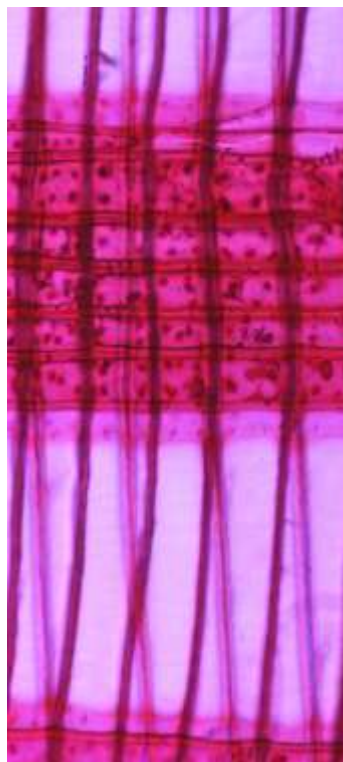
### **3.2.2 Mikroskopická stavba dřeva**

Dřevo douglasky rozeznáváme podle různých diagnostických znaků na jednotlivých řezech. K nejdůležitějším diagnostickým znakům patří:

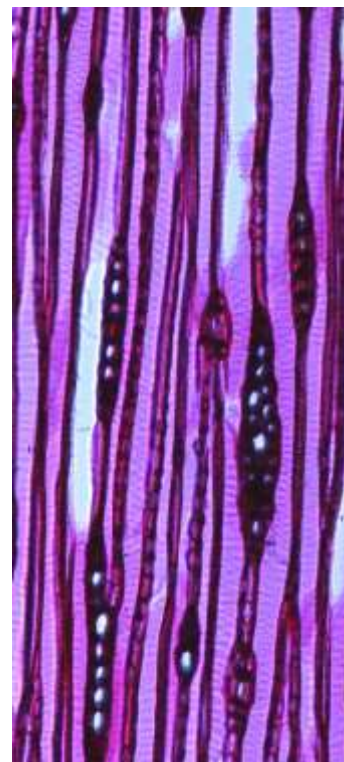
- na podélném řezu (obr. 1) - ostrý přechod mezi jarním a letním dřevem, přítomnost pryskyřičných kanálků a tlustostěnné epitelové buňky;
- na řezu radiálním (obr. 2) viditelné heterocelulární dřeňové paprsky;
- na tangenciálním řezu (obr. 3) - jemné spirální ztlustěnění (Mikroskopický atlas dřevin, 2007).



**Obr. 1: Příčný řez,**  
zvětšeno 40x  
(Mikroskopický atlas  
dřevin, 2007).



**Obr. 2: Radiální řez,**  
zvětšeno 200x  
(Mikroskopický atlas  
dřevin, 2007).



**Obr. 3: Tangenciální řez,**  
zvětšeno 100x  
(Mikroskopický atlas  
dřevin, 2007).

### 3.2.3 Barva a vůně

Barva dřeva douglasky tisolisté je světle žlutavě béžová, a kontrastuje s jasnějšími načervenalé oranžovými liniemi letního dřeva (Gibbs, 2005). Bělové dřevo je nažloutle bílé až načervenalé hnědé a na vzduchu tmavne (Vavrčík et al., 2012; Wagenführ, 2002; Lincoln and Gibbs, 2009). Čerstvé jádro je světle hnědé barvy, později je červenohnědé jako u modřínu (Novák, 1970). Vůně je velmi ostře aromatická a pryskyřičnatá (Fellner et al., 2007).

### 3.2.4 Sesychavost

Douglaska vysychá snadno a rychle, s malými náchylnostmi k vadám a s dobrou rozměrovou stálostí (Coast forest, 2003)

V průměru objemová sesychavost douglasky tisolisté činí 12,2 % což je hodnota nejvíce se podobající hodnotě borovice lesní (11,2–12,4 %). Mírně sesychavější je smrk

ztepilý (10,2–11,5 %). Nejmenších hodnot z hlavních domácích jehličnatých dřevin vykazuje jedle bělokorá (10,2–11,5 %) což je patrné z Tabulky 1.

**Tab. 1: Srovnání sesychavosti dřeva douglasky tisolisté se dřevem hlavních domácích jehličnatých dřevin.**

sesychavost		douglaska tisolistá	jedle bělokorá	smrk ztepilý	borovice lesní
tangenciální	[%]	7,7	7,2 - 7,6	7,8 - 8,0	7,5 – 8,7
radiální	[%]	4,6	2,9 - 3,8	3,5 - 3,8	3,3 – 4,5
objemová	[%]	12,2	10,2 -11,5	11,6 - 12,0	11,2 - 12,4

Remeš a Zeidler, 2014

### 3.2.5 Hustota

Dřevo Douglasky tisolisté je poměrně lehké a měkké (Vavřík et al., 2012). Je těžší než naše obvyklá jehličnatá dřeva (borovice, smrk, jedle), ale lehčí než dřevo modřínu (Tab. 2).

**Tab. 2: Srovnání hustoty dřeva douglasky tisolisté se dřevem hlavních domácích jehličnatých dřevin.**

	douglaska tisolistá	jedle bělokorá	smrk ztepilý	borovice lesní
objemová váha [kg.cm <sup>-3</sup> ]	488 - 520	450	470	510

Wagenführ, 2002

Kolísání objemové váhy u dřeva douglasky je jako u jiných dřevin velmi vysoké. Prakticky má tento fakt značnou důležitost. Je třeba si uvědomit, že např. 1 m<sup>3</sup> douglaskového dřeva se pohybuje od 320 kg do 700 kg (Hofman, 1964). Velký význam v tom může mít i fakt, že je vysoký rozdíl hustoty mezi jarním a letním dřevem. Barnett a Jeronimidis (2003) uvádí průměrnou hustotu jarního dřeva 170 kg.m<sup>-3</sup> a letního dřeva

840 kg.m<sup>-3</sup>. Také údaje o objemové váze douglaskového dřeva z jednotlivých zemí se liší což je patrné z Tabulky 3.

**Tab. 3: Srovnání hustoty dřeva douglasky tisolisté z jednotlivých zemí.**

Původ	Objemová váha [kg.cm <sup>-3</sup> ]
Československo <sup>1)</sup>	520
Německo <sup>2)</sup>	488
Rakousko <sup>3)</sup>	502
Česká republika <sup>4)</sup>	510
USA – pobřeží <sup>5)</sup>	540
USA - vnitrozemí západ <sup>5)</sup>	500
USA - vnitrozemí sever <sup>5)</sup>	480

1) Hofman, 1964; 2) Wagenführ, 2007; 3) Fellner et al., 2007; 4) Remeš a Zeidler, 2014; 5) Alden, 1997

### 3.2.6 Pevnost

V Tabulce 4 je přehled nejdůležitějších pevnostních vlastností dřeva douglasky tisolisté podle různých literárních pramenů a jednotlivých zemí. V pevnosti v tlaku se interval hodnot pohybuje od 42 do 68 Mpa. V pevnosti v ohybu vykazuje douglaska naměřená v Československu o dost vyšších hodnot oproti jiným zemím.

**Tab. 4: Srovnání pevnosti dřeva douglasky tisolisté z jednotlivých zemí.**

Původ	Pevnost	
	v tlaku [MPa]	v ohybu [MPa]
Československo <sup>1)</sup>	59	127
Německo <sup>2)</sup>	43-68	68-89
Rakousko <sup>3)</sup>	48	91
Česká republika <sup>4)</sup>	42	86
USA – pobřeží <sup>5)</sup>	49	85
USA - vnitrozemí západ <sup>5)</sup>	51	86
USA - vnitrozemí sever <sup>5)</sup>	47	90
USA - vnitrozemí jih <sup>5)</sup>	42	84

1) Hofman, 1964; 2) Wagenführ, 2007; 3) Fellner et al., 2007; 4) Remeš a Zeidler, 2014; 5) Alden, 1997

Pokud jde o srovnání mechanických vlastností dřeva douglasky s dřevem hlavních domácích jehličnatých dřevin (Tab. 5) Můžeme říct, že svou pevností v tlaku (43-68 kg/cm<sup>2</sup>) předčí douglaska tisolistá pevnost jedle bělokoré i smrku ztepilého. V pevnosti v ohybu se douglaska tisolistá prakticky vyrovná s pevností dřeva smrkového i borovicového.

**Tab. 5: Srovnání pevnosti dřeva douglasky tisolisté se dřevem hlavních domácích jehličnatých dřevin.**

	douglaska tisolistá	jedle bělokorá	smrk ztepilý	borovice lesní
Pevnost v tlaku [MPa]	43-68	47	50	55
Pevnost v ohybu [MPa]	68-89	73	78	80

Wagenführ, 2002

### 3.2.7 Vady dřeva

Proti všem příznivým vlastnostem se však uvádějí některé vlastnosti nepříznivé. Tak především douglaskové dřevo, hlavně z porostů špatně pěstovaných, je velmi sukaté. Velký podíl suků samozřejmě snižuje i pevnost dřeva a zhoršuje využití v dýhárenství. Někdy se také poukazuje na špatnou obrobiteľnosť a některé zprávy ukazují i na obzvláštní křehkost dřeva (Hofman, 1964).

### 3.2.8 Trvanlivost

Zcela vynikající je trvanlivost douglaskového dřeva, a to jak proti vnějším klimatickým podmínkám, tak také v zemi (Hofman, 1964). V rozporu s tímto tvrzením je Gibbs (2005) a Vavrčík et al. (2012), kteří tvrdí, že dřevo má průměrnou trvanlivost. Jádrové dřevo je středně odolné vůči hnilobě (Vavrčík et al., 2012). Douglaska je obtížně impregnovatelná, ale je možné dřevo nařezávat, a tím zlepšit jeho impregnovatelnost (Alden, 1997).

### 3.2.9 Obrobiteľnosť

Obrobiteľnosť dřeva douglasky tisolisté je obecně považována za středně dobrou, v závislosti na šířce letokruhů (Wagenführ, 2002). Během frézování se dřevo trhá pouze nepatrně, při příčném řezání je ale rychle rostlé dřevo snadno trháno a odštěpuje se. Tento problém je možné minimalizovat použitím ostrých nástrojů (Novák, 1970). Ručním nářadím je opracování dřeva douglasky tisolisté obtížné (Alden, 1997). Otvory pro hřebíky je nutno do dřeva předvrtat, jinak může dojít k jeho praskání. Nátěrové hmoty přijímá toto dřevo bez problémů, dobře se moří a dále pak i leští (Gibbs, 2005; Fellner et al., 2007). Dřevo douglasky se nechá snadno sušit. Po vysušení se doporučuje co možná nejdéle doba uskladnění před dalším zpracováním (Fellner et al., 2007).

### 3.2.10 Využití

Douglaska je využívána převážně pro stavební účely ve formě řeziva pro exteriér i interiér, a také ve stavebním truhlářství pro výrobu oken, dveří, fasád nebo oplocení. Značné množství je využíváno jako železniční pražce, důlní trámy a sloupy (Wood handbook 2010). Vybrané kmeny jsou krájeny na dekorativní dýhy na obložení



(Lincoln and Gibbs, 2009). Americké dýhy z douglasky se vyznačují jemnými letokruhy a také jemnou a lehce vlnitou kresbou. Za nejlepší dýhy jsou považovány ty, které pocházejí z původních pralesovitých porostů douglasky. Z nových porostů, kde stromy v počátečním vývoji rostou rychleji, mají také širší letokruhy, nevynikají dýhy zvláštní jemností a neklidností kresby (Hofman, 1964). Okrajové využití může najít douglaska třeba v podlahářství, bednářství, při výrobě lodí, vodohospodářských staveb, mol a nádrží (Fellner et al., 2007; Hofman, 1964; Wood handbook 2010).

Tento druh je také často využíván na vánoční stromky nebo jako chvojí. Jeho silice mohou být využívány ve farmacii (Úradníček, 2014).

### 3.3 Zjišťované vlastnosti dřeva

Kromě pochopení anatomické stavby dřeva má základní význam pro posouzení jeho mechanických vlastností také jeho hustota. Ta, vzhledem k tomu, že je dřevo pórovitý materiál, je značně rozličná v závislosti na struktuře, druhu dřeviny, podmínkách růstu a vlivu stanoviště. Hustota dřeva je váha jednotkového objemu a má značný praktický význam, protože jde o charakteristiku, která významně ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva. Například těžké dřevo je skutečně převážně pevnější, tvrdší a odolnější proti opotřebování než dřevo lehčí (Lexa et al., 1952; Perelygin, 1960; Požgaj et al., 1997).

#### 3.3.1 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti dřeva vyjadřují jeho odolnost vůči vnějším silám. Proti nim působí mezi molekulami dřeva vnitřní soudržné síly, které jsou označovány jako napětí. Toto mechanické napětí je poměr síly a velikosti plochy, na kterou síla působí. (Novák, 1970).

Mezi základní mechanické vlastnosti patří:

- Pružnost – schopnost dosahovat původní tvar a rozměry po uvolnění sil;
- Pevnost – schopnost odolávat trvalému porušení;
- Plastičnost – schopnost měnit svůj tvar bez zjevného porušení vlivem vnějších sil;
- Houževnatost – schopnost odporu proti namáháním působeným rázem (Gandelová et al., 2012; Lexa et al., 1952).

Dřevo má velmi dobrý poměr mezi váhou a pevností, což je předpoklad dobrého konstrukčního materiálu (Lexa et al., 1952).

Mechanické vlastnosti dřeva mají velký vliv při technologickém zpracování dřeva a to například při ohýbání, lisování a řezání. Z tohoto důvodu je potřeba poznat chování dřeva při mechanickém namáhání, aby bylo možné surovinu ideálně technologicky zpracovat (Požgaj et al., 1997).

### 3.3.2 Pevnost v tlaku

Protože je dřevo anizotropní materiál, rozdělujeme pevnost v tlaku na:

- a) pevnost v tlaku podél vláken,
- b) pevnost v tlaku kolmo na vlákna v radiálním směru,
- c) pevnost v tlaku kolmo na vlákna v tangenciálním směru (Požgaj et al., 1997).

Nejcharakterističtější z mechanických vlastností dřeva a nejdůležitější z praktického hlediska je tlaková pevnost podél vláken (Perelygin, 1960).

Deformace tlakem podél vláken se projevuje určitým zkrácením délky tělesa. Porušení začíná obvykle vybočením jednotlivých vláken. Ve vlhkém dřevě na tělesech z měkkých nebo houževnatých dřevin se vyskytuje otláčení čel. V suchém dřevu anebo v tělesech z tvrdých dřevin, vzniká smyk jedné části tělesa po čáře, která prochází v tangenciální ploše pod úhlem asi  $60^\circ$  k ose tělesa. (Perelygin, 1960).

Z výsledků tlakové zkoušky lze velmi dobře usuzovat ostatní vlastnosti materiálu. Odtud plyne značný význam této zkoušky pro posouzení únosnosti nejrozmanitějších dřevěných konstrukcí (Lexa et al., 1952).

Vzhledem k jednoduchosti zatížení a poměrně vysoké pevnosti má tlak rovnoběžně s vlákny široké uplatnění v praxi např. (piloty, báňské vzpěry, sloupy a různé části nosníků atd.) (Požgaj et al., 1997).

### 3.3.3 Ohybová pevnost

S ohledem na průběh vláken a letokruhů rozdělujeme pevnost dřeva v ohybu na:

- a) pevnost v ohybu kolmo na vlákna v radiálním nebo tangenciálním směru,
- b) pevnost v ohybu s průběhem vláken příčně na osu tělesa,
- c) pevnost v ohybu s průběhem vláken rovnoběžně se zatěžujícím břemenem (Požgaj et al., 1997).

Namáháme-li nosník ohybem, deformuje se, přičemž vznikají na vnější straně nosníku napětí tahová, na vnitřní straně napětí tlaková. Představíme-li si nosník

přeříznutý kolmo k jeho podélné ose, pozorujeme, že uprostřed je partie nedeformovaného materiálu, partie bez napětí (neutrální osa). Čím dále jdeme k okrajům, tím více vzrůstá, zároveň s deformacemi, napětí, jež dosahuje maxima v krajních vláknech, a to maxima tlakového na jedné straně a maxima tahového na straně druhé (Lexa et al., 1952).

Kvůli velké pevnosti a jednoduchému typu zatížení se dřevo ve velké míře používá na dílce namáhané ohybem. V praxi jsou to například různé nosníky, příhradové konstrukce, lešení a laťování pod krytinu (Perelygin 1960).

### 3.3.4 Modul pružnosti v ohybu

Pružností nazýváme schopnost některých pevných látek, přetvořených (deformovaných) působením vnějších sil, vrátit se po odlehčení do původního (nedeformovaného) stavu. Tato schopnost pružit zpět je omezena určitým namáháním, při jehož překročení zůstává těleso trvale přetvořeno (plasticky deformováno), nebo se poruší (Lexa et al., 1952).

Modul pružnosti charakterizuje tuhost materiálu (Perelygin 1960). Čím poddajnější látka, tím menší je modul pružnosti (Lexa et al., 1952).

Moduly pružnosti dřeva  $E$  se v rámci našich hospodářských dřevin pohybují v rozmezí od 7 000 MPa do 15 000 MPa při 12% vlhkosti dřeva (Požgaj et al., 1997).

### 3.3.5 Rázová houževnatost v ohybu

Dřevo má schopnost absorbovat práci vykonanou rázovým ohybem. Tuto vlastnost nazýváme rázovou houževnatostí dřeva. Přerážecí práce charakterizuje schopnost dřeva odolávat rázovým zatížením a vyjadřuje ji spotřebovaná práce na přeražení zkušební vzorku (Gandelová et al., 2012). Práce potřebná na přeražení zkušební tělesa kyvadlovým kladivem, se vztahuje na průřez zkušební tělesa. Jednotkou rázové houževnatosti v ohybu je proto  $J \cdot \text{cm}^{-2}$  (Kafka, 1989).

Tvar zlomu je velmi typický pro kvalitu dřeva. Kvalitní dřevo se láme při nárazovém přetížení v dlouhých vláknech, normální dřevo v krátkých vláknech a křehké dřevo schodovitě (Perelygin 1960. (Lexa et al., 1952).

Nastane-li u dřeva lom, téměř vždy k tomu dojde v důsledku rozkmitání nebo zatížení. Za jeden z nejdůležitějších činitelů můžeme považovat nárazy větru (Lexa et al., 1952). V praxi se rázová houževnatost uplatňuje například u konstrukčních prvků letadel a strojů, u sportovního náradí, dopravních prostředků. (Kafka, 1989)

### 3.3.6 Činitelé ovlivňující pevnost dřeva

Dřevo se vyznačuje přirozenou proměnlivostí svých vlastností, a to v důsledku vlivu složitého komplexu faktorů, které působí během jeho tvorby v živém stromě (Matovič, 1988).

#### **Podíl letního dřeva**

Jarní část letokruhu má převážně vodivou funkci, tedy jarní elementy jsou po mechanické stránce slabší. Tlustostěnné letní buňky zabezpečují pevnostní funkci. Růstem podílu letního dřeva se zvýší hustota dřeva a můžeme předpokládat navýšení pružných a pevnostních vlastností dřeva (Požgaj et al., 1997). V praxi se tato závislost používá na běžně orientační posouzení kvality dřeva (Perelygin, 1960).

#### **Hustota dřeva**

Objemová váha dřeva je určena množstvím dřevní substance v jednotce objemu, vlhkostí a množstvím jednotlivých látek uložených v buněčných dutinách. Vliv vlhkosti se vylučuje přepočtem objemové váhy a pevnosti na stejnou nebo nulovou vlhkost. Závislost můžeme pozorovat mezi objemovou hustotou a mechanickými vlastnostmi dřeva, tato závislost lze teoreticky zevšeobecnit jako lineární. Fakticky je tato závislost mnohem komplikovanější, protože pevnost dřeva závisí nejen na množství dřevní substance, ale i na zvláštostech anatomické stavby (Perelygin, 1960). Hustota dřeva

je rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje mechanické vlastnosti dřeva. Tento vliv může tlumit či zvýrazňovat struktura dřeva jednotlivých dřevin. (Požgaj et al., 1997).

### **Juvenilní dřevo**

Juvenilní dřevo je první vytvořené dřevo stromu. Jde o několik letokruhů směrem od dřeně (Wood handbook, 2010). Jedná se hlavně o prvních 5 až 20 letokruhů. Podle druhu dřeviny a pěstebních opatření. Juvenilní dřevo se vyznačuje hlavně nižší hmotností a nižším podílem letního dřeva oproti zralému dřevu (Larson et al., 2001). U douglasky tisolisté se formuje juvenilní dřevo přibližně do patnáctého letokruhu (Zobel and Sprague, 1998).

Obecná charakteristika juvenilního dřeva u většiny jehličnanů:

- Nižší objemová hmotnost dřeva;
- Štíhlejší buněčné stěny;
- Krátké tracheidy s širokým lumenem;
- Dřevo působí matnějším a lacinějším dojmem;
- Obsahuje malý podíl letního dřeva;
- Vyšší podíl reakčního dřeva;
- Nižší obsah celulózy;
- Vysoký obsah ligninu - až o 9 % víc než u normálního dřeva (Zobel and Sprague, 1998).

### **Reakční dřevo**

Dřevo s odlišnou anatomickou charakteristikou, která se typicky tvoří ve větvích a v nakloněných nebo křivých částech kmene. Je to důsledek úsilí stromu obnovit původní polohu, jestliže byla změněna vnějšími vlivy, například větrem nebo sněhem (Fellner et al., 2007). Vytváří se tlakové dřevo u jehličnanů. Má širší vrstvy letního dřeva tmavěji (až červenohnědě) zbarvené (Jírů, 1952). Reakční dřevo má velký vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti. Je to způsobeno odlišnou stavbou reakčního dřeva ve srovnání s normálním dřevem. Reakční dřevo má dvaapůlkrát, někde až pětkrát širší

letokruhy a podíl letního dřeva v letokruzích je třikrát až čtyřikrát vyšší. V důsledku tohoto dřevnatění reakčního dřeva se zvyšuje hustota a tlaková a ohybová pevnost. Prerážecí práce se snižuje. Modul pružnosti v ohybu ve směru vláken je průměrně dvakrát menší (Matovič, 1988).

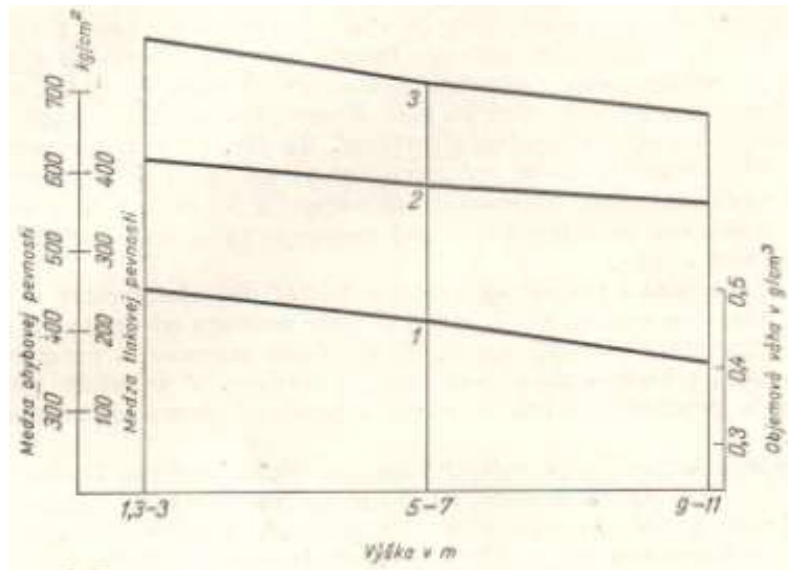
### 3.3.7 Proměnlivost vlastností dřeva

Hustota dřeva je v úzké spojitosti s většinou fyzikálních a mechanických vlastností dřeva. Na základě znalostí zákonitostí proměnlivosti této charakteristiky získáme následně i představu o změnách i jiných vlastností dřeva. Všechny zákonitosti vztahující se k proměnlivosti hustoty dřeva lze tedy beze zbytku interpretovat pro další fyzikální a mechanické vlastnosti. (Gandelová et al., 2012).

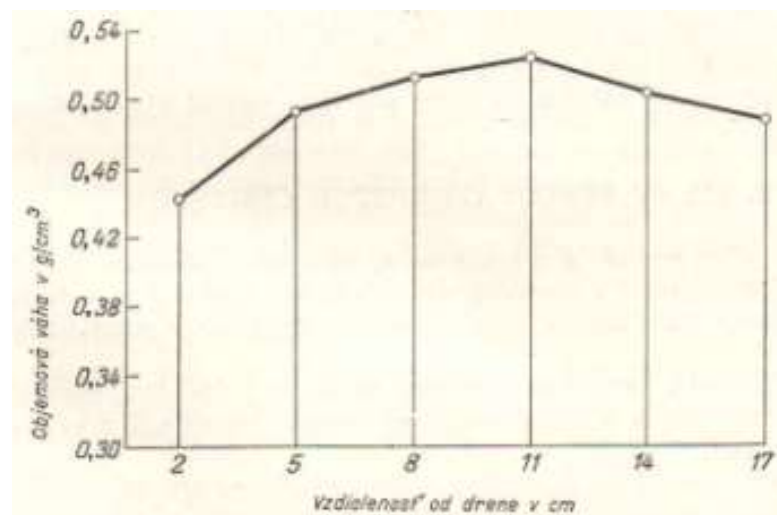
#### **Proměnlivost mechanických a fyzikálních vlastností po výšce a poloměru stromu**

Z hlediska změny fyzikálních a mechanických vlastností dřeva po výšce stromu (Obr. 4) je známo, že nejlepší dřevo je ve spodní části kmene stromu. Směrem ke koruně stromu se mechanické a fyzikální vlastnosti snižují. Uvedený trend lze považovat platný pro všechny dřeviny. (Perelygin, 1960; Gandelová et al., 2012).

Změnu fyzikálních a mechanických vlastností dřeva ve směru po poloměru stromu ukazuje Obrázek 5. Lze teoreticky konstatovat, že v důsledku ontogenetického vývinu jedince se fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva směrem k obvodu kmene zvyšují, dosahují maxima ve dvou třetinách a potom se začínají opět snižovat. U jednotlivých typů dřevin však nalézáme odlišnosti. V zásadě platí, že fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva se u jehličnatých dřevin od dřeně ke kambiu zvyšují. U dřev kruhovitě pórovitých (dub, jasan) se fyzikální a mechanické vlastnosti směrem od dřeně ke kůře snižují. V kmenech roztroušeně pórovitých dřevin je tato závislost vázána na druh dřeviny a často vykazuje protichůdné tendence. (Perelygin, 1960; Gandelová et al., 2012).



Obr. 4: Změna fyzikálních a mechanických vlastností borovicového dřeva po výšce kmenu. 1 – objemová váha; 2 – mez pevnosti v tlaku podél vláken; 3 – mez pevnosti v ohybu (Perelygin, 1960).



Obr. 5: Změna objemové váhy po poloměru kmene borovice (Perelygin, 1960).



## 4 Metodika

### 4.1 Popis zkušebních vzorků

Reprezentativní vzorky douglasky tisolisté pochází z oblasti Písecka (dále Lokalita 1) a z oblasti školního lesního podniku v Kostelci nad černými lesy (dále Lokalita 2).

Lokalita 2 leží ve vzdálenosti 25-50 km na východ až jihovýchod od Prahy. Nadmořská výška území kolísá od 210 do 528 m nad mořem, průměrná roční teplota se v této oblasti pohybuje okolo 8,2 °C a průměrný roční úhrn srážek je 663 mm. Průměrná délka vegetační doby je zde 153 dní. Převažují větry ze západních směrů (JZ, Z, SZ), výjimečně bořivé větry i od JV.

Lokalita 1 leží v nadmořské výšce od 370 do 550 m nad mořem, ve vzdálenosti přibližně 100 km na jih od Prahy. Roční úhrn srážek zde činí 659 mm a průměrná roční teplota se pohybuje okolo 7 °C. Rozdělení stromů podle lokalit je zobrazeno v Tabulce 6.

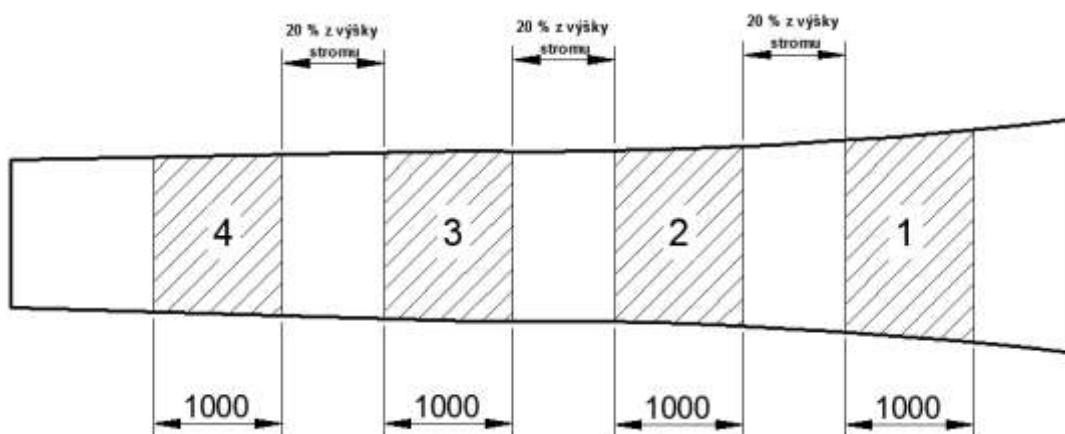
**Tab. 6: Rozdělení stromů podle lokalit.**

stromy	Lokalita
Strom 1	Písecko (Lokalita 1)
Strom 2	
Strom 3	
Strom 21	Kostelec nad černými lesy (Lokalita 2)
Strom 22	
Strom 5	

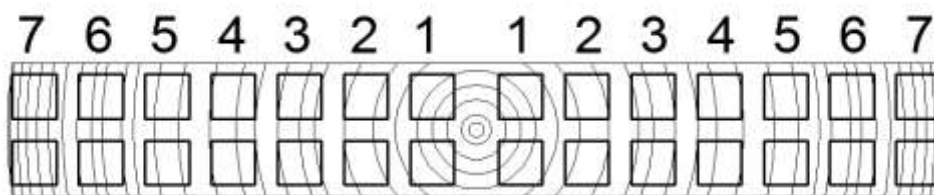
## 4.2 Příprava zkušebních těles

Po skácení byl kmen odvětven a byly vyřezány Sekce 1–4 (Obr. 6). Vzdálenost jednotlivých sekcí byla 20 % z výšky stromu. Sekce byly rozřezány kmenovou pásovou pilou na středové a boční fošny. Předmětem této práce jsou pouze fošny středové, boční fošny budou použity pro jiný výzkum.

Středové fošny byly uskladněny v hraních, aby mohly přirozeně vysychat. Po vysušení na požadovanou vlhkost byly fošny rozřezány na jednotlivé lamely o šířce 30 mm, výšce 60 mm a délce 1 000 mm. Poté byly z každé lamely vyrobeny latě o rozměrech 20 × 20 × 1 000 mm. Z těchto latí byla vyrobena zkušební tělesa, pro rázovou houževnatost v ohybu, a pro mez pevnosti ve statickém ohybu, ve tvaru pravoúhlého hranolu se čtvercovou základnou o rozměru 20 × 20 mm a délkou podél vláken 300 mm. Zkušební tělesa byla zhotovena podle norem ČSN 49 01 17 a ČSN 49 01 15. Po porušení zkušebních těles při měření rázové houževnatosti v ohybu a pevnosti ve statickém ohybu, byl z obou konců odřezán zkušební vzorek ve tvaru pravoúhlého hranolu o rozměrech 20 × 20 × 30 mm podle norem ČSN 49 01 10 a ČSN 49 01 08. Tyto zkušební vzorky byly dále použity na zjištění meze pevnosti v tlaku ve směru vláken a hustoty. Rozdělení podle vzdálenosti od dřevě je znázorněno na Obrázku 7.



Obr. 6: schéma odběru sekcí



Obr. 7: Rozdělení podle vzdálenosti od dřene

### 4.3 Zkoušky

Všechny výsledné hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností jsou uvedeny při 12% vlhkosti.

#### 4.3.1 Mez pevnosti ve statickém ohybu a modul pružnosti v ohybu

Zatížení při zkoušce vzniká tlakem na střed tělesa, které je položeno na symetricky vzdálených podpěrách. Tato zkouška se řídí normou ČSN 49 0115.

Pevnost v ohybu a modul pružnosti v ohybu se testuje na zkušebních tělesech, která mají tvar pravouhlého hranolu se základnou  $20 \times 20$  mm a délku ve směru vláken 300 mm. Nejprve se ve středu délky zkušebního tělesa změří jeho šířka a výška s přesností na 0,01 mm. Zkušební těleso se uloží do stroje radiálním povrchem nahoru a zatíží se podle Obrázku 8. Zkušební těleso se zatěžuje rovnoměrně při konstantní rychlosti pohybu zatěžovací hlavicí stroje. Rychlost musí být taková, aby se zkušební těleso porušilo za  $(1,5 \pm 0,5)$  minuty od začátku zatěžování. Maximální zatěžování  $F_{\max}$  se měří s přesností 1%.

### Výpočet meze pevnosti ve statickém ohybu

Pevnost ve statickém ohybu ( $\sigma_w$ ) při vlhkosti  $W$  v době zkoušky se vypočte v MPa podle vzorce:

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

- kde  $F_{max}$  je maximální zatížení v N;  
 $l$  vzdálenost mezi středy podpěr (240 mm);  
 $h$  výška zkušební tělesa;  
 $b$  šířka zkušební tělesa.

Výsledek zkoušky se zaokrouhlí na 1 MPa.

Pro přepočítání meze pevnosti ve statickém ohybu s vlhkostí v okamžiku zkoušky na mez pevnosti ve statickém ohybu při 12% vlhkosti byl použit vzorec:

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

- kde  $\alpha$  je opravný koeficient na vlhkost, který je pro všechny dřeviny 0,04;  
 $W$  vlhkost dřeva (ČSN 49 01 15).

### Výpočet modulu pružnosti ve statickém ohybu

Modul pružnosti  $E_w$  jednotlivých zkušebních těles při vlhkosti  $W$  v okamžiku zkoušky se vypočítá v MPa podle vzorce

$$E_w = \frac{\Delta F \cdot l^3}{4b \cdot h^3 \cdot \Delta y} [MPa]$$

kde  $\Delta F$  je zatěžovací síla rovnající se rozdílu mezi aritmetickými hodnotami horní a dolní mezi namáhání;

$l$  vzdálenost mezi středními podpěrami,

$\Delta y$  průhyb zkušební tělesa v zóně čistého ohybu, je roven rozdílu mezi středními aritmetickými hodnotami výsledků získaných změřením průhybu při horních a dolních hranicích zatěžovací síly;

b, h rozměry příčného řezu zkušební tělesa v radiálním a tangenciálním směru.

Výsledky zkoušky se zaokrouhlí na 1 MPa.

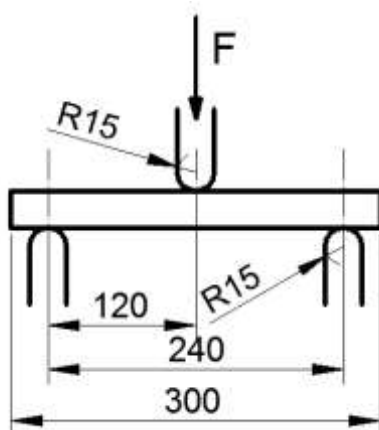
Pro přepočítání modulu pružnosti v ohybu s vlhkostí v okamžiku zkoušky na modul pružnosti v ohybu při 12% vlhkosti byl použit vzorec:

$$E_{12} = \frac{E_W}{1 - \alpha(W - 12)} [MPa]$$

kde  $\alpha$  je opravný koeficient na vlhkost, který je pro všechny dřeviny 0,01;

W vlhkost dřeva (ČSN 49 0116).

Výsledky zkoušky se zaokrouhlí na 1 MPa.



Obr. 8: Schéma vložení tělesa do zkušebního stroje.

#### 4.3.2 Mez pevností v tlaku ve směru vláken

Zatížení při zkoušce tlakem vzniká mezi dvěma rovnými deskami z kalené oceli, z nichž musí být jedna kulovitě uložená.

Pevnost v tlaku se zkouší na zkušebních tělesech, která mají tvar pravoúhlého hranolu se základnou 20 × 20 mm a délkou ve směru vláken 30 mm. Ve středu výšky zkušební tělesa se změří posuvným měřítkem jeho průřez s přesností 0,01 mm.

Zkušební těleso se uloží do přípravku na rovnoměrné zatížení. Zkušební těleso se zatěžuje rovnoměrně při konstantní rychlosti pohybu zatěžovací hlavičky stroje. Rychlost musí být taková, aby se zkušební těleso porušilo za  $(1,0 \pm 0,5)$  minuty od začátku zatěžování. Maximální zatěžování  $F_{max}$  se měří s přesností 1%.

### Výpočet meze pevnosti ve směru vláken

Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken  $\sigma_w$  jednotlivých zkušebních těles při vlhkosti v okamžiku zkoušky se vyjadřuje v MPa podle vzorce:

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

kde  $F_{max}$  je maximální zatížení v N;

a, b průřez vzorku v mm.

Pro přepočítání meze pevnosti s vlhkostí v okamžiku zkoušky na mez pevnosti při 12% vlhkosti byl použit vzorec:

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

kde  $\alpha$  je opravný koeficient na vlhkost, který je pro všechny dřeviny 0,04;

W vlhkost dřeva (ČSN 49 0110).

#### 4.3.3 Zjišťování rázové houževnatosti v ohybu

Měření proběhlo na 445 zkušebních tělesech. Zkouška probíhá na kyvadlovém Charpyho kladivu.

Zkušební tělesa měla tvar pravoúhlého hranolu se základnou  $20 \times 20$  mm a délkou ve směru vláken 300 mm. Pomocí posuvného měřítka se ve středu výšky zkušebního tělesa měří jeho průřez s přesností 0,01 mm. Poté se zkušební těleso uloží symetricky na podpěry a poruší se jedním úderem kladiva na radiální plochu (tangenciální ohyb). Práce pohlcená zkušebním tělesem se změří s přesností na 1 J.

### Výpočet rázové houževnatosti v ohybu

Rázová houževnatost  $A_W$  při vlhkosti v okamžiku zkoušky se vypočítá podle vzorce:

$$A_W = \frac{Q}{b \cdot h} [J \cdot cm^{-2}]$$

kde  $Q$  je práce vynaložená na porušení zkušebního tělesa v J;

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

Pro přepočítání rázové houževnatosti na výslednou 12% vlhkost byl použit vzorec:

$$A_{12} = A_W(1 + \alpha(W - 12))$$

kde  $\alpha$  je opravný koeficient na vlhkost, který je pro všechny dřeviny 0,02;

$W$  vlhkost dřeva (ČSN 49 01 17).

#### 4.3.4 Zjišťování hustoty

Měření proběhlo na zkušebních tělesech, která vznikla odřezáním z použitých těles ze zkoušky pevnosti ve statickém ohybu a rázové houževnatosti v ohybu. Zkoušené vzorky byly zhotoveny do tvaru pravoúhlého hranolu se čtvercovou základnou 20 x 20 mm a délkou hranolu podél vláken 30 mm. Poté se za pomoci posuvného měřítka změří rozměry příčného řezu tak i jeho délka s přesností 0,01 mm ve směru osy symetrie zkušebních těles. Na váhách s přesností vážení na 0,01g se tělesa zváží.

### Výpočet hustoty

Hustota  $\rho_w$  každého zkušebního tělesa při aktuální vlhkosti  $W$  v čase zkoušky se vypočítá v  $g \cdot cm^{-3}$  podle vzorce:

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} = \frac{m_w}{V_w}$$

kde  $m_w$  je hmotnost zkušebního tělesa v g, při vlhkosti  $W$ ;

$a_w, b_w, l_w$  rozměry zkušebního tělesa v cm, při vlhkosti  $W$ ;

$V_w$  objem zkoušeného tělesa v  $\text{cm}^3$ , při vlhkosti  $W$ .

Poté byla hustota  $\rho_w$  přepočítána na výslednou 12 % vlhkost podle vzorce:

$$\rho_{12} = \rho_w \left[ 1 - \frac{(1 - K)(W - 12)}{100} \right]$$

kde  $K$  je koeficient objemového sesychání při změně vlhkosti o 1 %. Pro přibližné výpočty je možné použít  $K = 0,85\rho_w$ , když je hustota vyjádřena v  $\text{g.cm}^{-3}$  (ČSN 49 01 08).



#### 4.4 Zjišťování vlhkosti při fyzikálních a mechanických zkouškách

Zjištění vlhkosti vzorků bylo provedeno změřením hmotnosti vody ve vzorcích vážením. Dále byl vypočten procentuální poměr hmotnosti naměřené vody k hmotnosti zkušební tělesa ve zcela suchém stavu po vysušení v sušárně.

##### **Postup zkoušky:**

Zkušební tělesa o rozměru pravoúhlého hranolu se základnou 20 mm × 20 mm a délkou podél vláken 30 mm. Byla nejprve zvážena na váhách umožňující měření s přesností na 0,01 g. Poté byla zkušební tělesa vysušena při teplotě (103 ± 2) °C na konstantní hmotnost. Předpokládá se, že zkušební těleso dosáhne konstantní hmotnosti tehdy, když změna hmotnosti mezi dvěma váženími vykonanými v intervalu 2 hodin, nepřekročí 0,01 g. První vážení se dělá po 6 až 10 hodinách od začátku sušení.

##### **Výpočet výsledné vlhkosti:**

Vlhkost (W) každého zkušební tělesa se vypočítá v procentech podle vzorce:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100$$

Kde  $m_1$  je hmotnost zkušební tělesa před vysušením v g;

$m_2$  hmotnost zkušební tělesa po vysušení v g (ČSN 49 0103).

## **4.5 Zpracování a vyhodnocování dat**

Výsledky jednotlivých zkoušek byly statisticky zpracovány na těchto úrovních: celek, jednotlivé lokality, stromy, sekce a vzdálenost od dřene.

Pro posouzení rozdílů naměřených dat byla použita statistická metoda ANOVA (analýza rozptylu). Testování proběhlo na zvolené hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Pomocí korelační analýzy byla určena těsnost závislosti vztahu na základě hodnoty korelačního koeficientu.

## 5 Výsledky měření

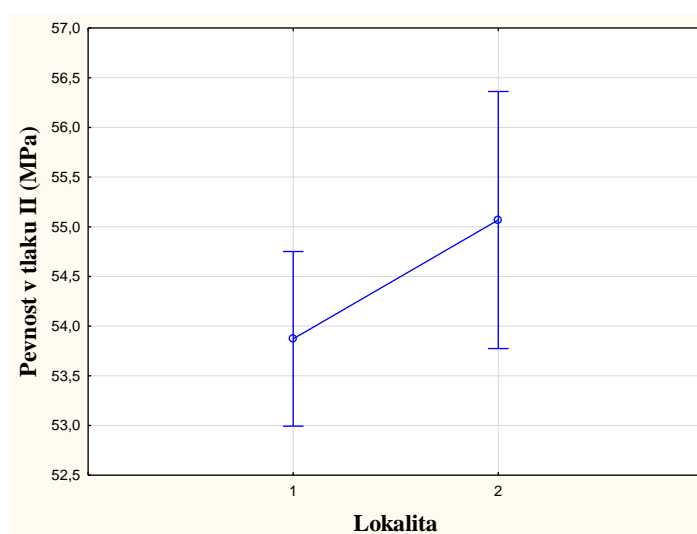
### 5.1 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken

Průměrná hodnota pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti byla naměřena jako 54,3 MPa. Hodnoty se pohybovaly od minima 22,6 MPa do maxima 81,1 MPa. Variační koeficient byl vypočten jako 19,7 %.

Pevnost v tlaku douglasky tisolisté z Lokality 2 dosáhla vyšší průměrné pevnosti 55,1 MPa než z Lokality 1 (53,9 MPa), (Tab. 7). Šetřením pomocí jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi zkoumanými stanovišti neexistuje statisticky významný rozdíl v mezích pevnosti v tlaku (Graf 1.)

Tab. 7: Popisná statistika pro mez pevnosti v tlaku ve směru vláken pro celek a Lokality 1 a 2.

Pevnost v tlaku	n	$\bar{x}$	$\tilde{x}$	min.	max.	Sm..odch.	Var.akoef.
	[ks]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
<b>Celkem</b>	829	<b>54,3</b>	54,6	22,6	81,1	10,7	19,7
Lokalita 1	567	<b>53,9</b>	54,0	31,2	79,7	9,3	17,2
Lokalita 2	262	<b>55,1</b>	57,3	22,6	81,1	13,2	23,9

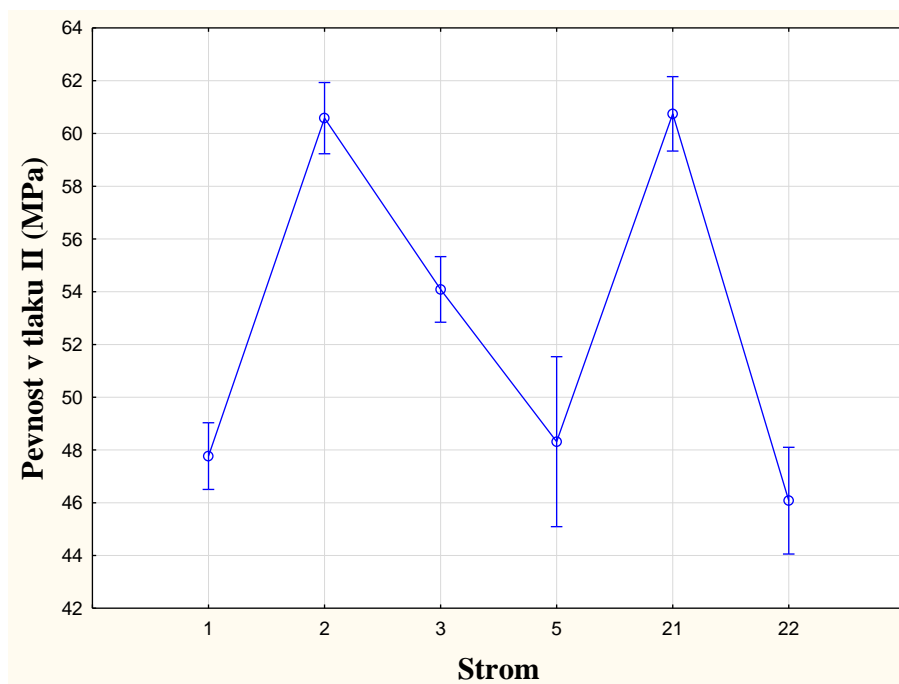


Graf 1: ANOVA meze pevnosti v tlaku při 12% vlhkosti pro Lokality 1 a 2.

Nejvyšší hodnotu meze pevnosti v tlaku vykazuje Strom 21 z Lokality 2 a Strom 2 z Lokality 1, nejnižší potom Strom 22 z Lokality 2, což je patrné z Tabulky 8. Šetřením pomocí jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi zkoumanými Stromy existuje statisticky významný rozdíl v mezích pevnosti v tlaku. Tato ANOVA je patrná z Grafu 2.

**Tab. 8: Popisná statistika pro mez pevnosti v tlaku ve směru vláken pro jednotlivé stromy.**

Pevnost v tlaku	n [ks]	$\bar{x}$ [MPa]	$\tilde{x}$ [MPa]	min. [MPa]	max. [MPa]	Sm. odch. [MPa]	Var. koef. [%]
Strom 1	195	<b>47,8</b>	47,6	31,2	64,6	7,1	14,9
Strom 2	171	<b>60,6</b>	61,1	38,5	79,7	9,5	15,7
Strom 3	201	<b>54,1</b>	54,9	39,4	71,5	6,6	12,1
Strom 5	30	<b>48,3</b>	50,9	22,6	65,9	12,9	26,8
Strom 21	156	<b>60,7</b>	62,5	34,6	81,1	11,1	18,3
Strom 22	76	<b>46,1</b>	43,8	27,2	65,8	10,8	23,5

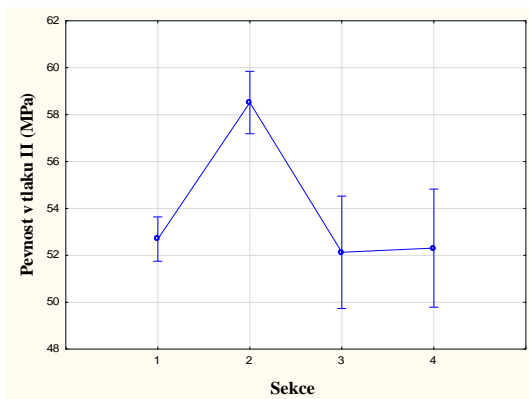


**Graf 2: ANOVA meze pevnosti v tlaku při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy.**

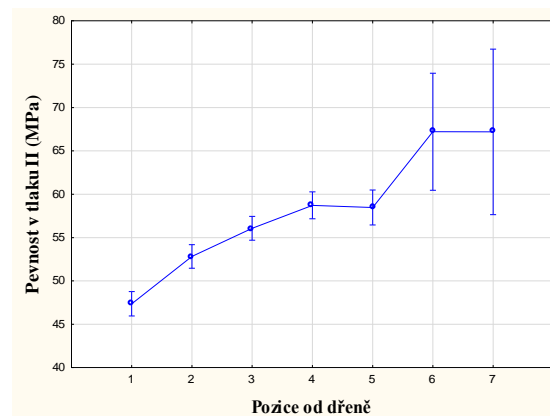
Byla naměřena mez pevnosti v rámci jednotlivých sekcí. Mezi naměřenými sekcemi byl v pevnosti v tlaku naměřen minimální rozdíl. Výjimku tvoří Sekce 2, která vykazuje nevyšší pevnost (58,5 MPa). Šetřením pomocí jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi zkoumanými sekcemi existuje statisticky významný rozdíl v pevnosti v tlaku (Graf x.). Při horizontálním rozdělení kmene, podle vzdálenosti od dřene, roste pevnost směrem od dřene (pozice od dřene 1) s pevností 47,4 MPa, až po pevnost nejvyšší v pozicích 6 a 7 s pevností 67,2 MPa (Tab. 9). Šetřením pomocí jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že existuje statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými pozicemi od dřene a mezi pevnosti v tlaku (Graf 3 a Graf 4.).

**Tab. 9: Popisná statistika pro mez pevnosti v tlaku ve směru vláken pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřene 1 – 7.**

Pevnost v tlaku	n [ks]	$\bar{x}$ [MPa]	$\tilde{x}$ [MPa]	min. [MPa]	max. [MPa]	Sm. odch. [MPa]	Var. koef. [%]
Sekce 1	459	<b>52,7</b>	53,7	22,6	81,1	11,2	21,3
Sekce 2	233	<b>58,5</b>	57,9	34,6	79,7	10,0	17,1
Sekce 3	72	<b>52,1</b>	51,4	38,5	69,4	8,2	15,6
Sekce 4	65	<b>52,3</b>	52,7	35,8	67,6	6,8	12,9
Pozice od dřene 1	186	<b>47,4</b>	46,3	22,6	76,2	9,0	19,1
Pozice od dřene 2	197	<b>52,8</b>	53,0	29,2	77,6	9,4	17,8
Pozice od dřene 3	193	<b>56,1</b>	56,6	26,5	78,6	10,1	18,1
Pozice od dřene 4	151	<b>58,7</b>	58,5	32,8	80,1	9,9	16,9
Pozice od dřene 5	90	<b>58,5</b>	59,7	31,2	81,1	10,8	18,5
Pozice od dřene 6	8	<b>67,2</b>	66,9	55,9	75,9	7,5	11,1
Pozice od dřene 7	4	<b>67,2</b>	67,4	61,6	72,3	4,5	6,6

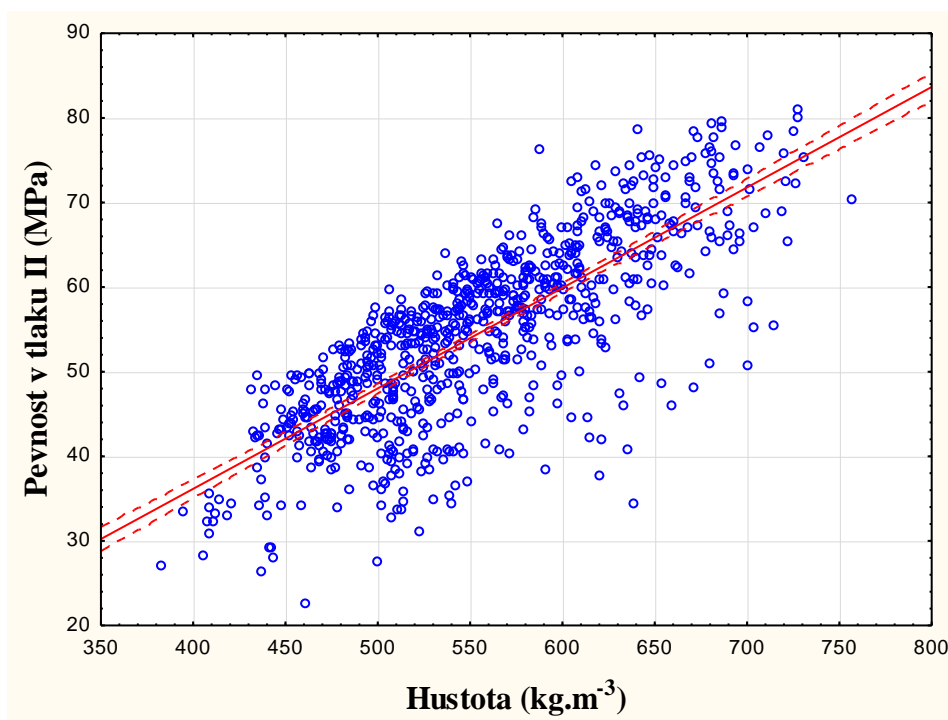


**Graf 3: ANOVA meze pevnosti v tlaku při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.**



**Graf 4: ANOVA meze pevnosti v tlaku při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřevě.**

Z Grafu 5 je patrné, že regresní přímka pevnosti v tlaku v závislosti na hustotě má stoupající tendenci. Rovnice regresní přímky je  $y = -11,3489 + 0,1187x$ , korelační koeficient vykazuje hodnotu  $r = 0,7786$ ,  $p = 0,0000$ . Na základě korelačního koeficientu lze konstatovat, že závislost meze pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny na hustotě je značně vysoká.



**Graf 5: Závislost meze pevnosti v tlaku // na hustotě.**

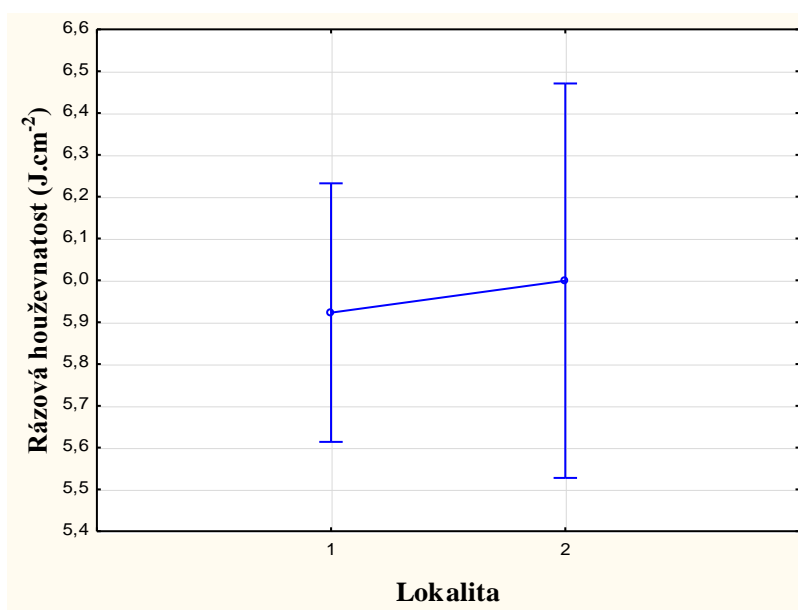
## 5.2 Rázová houževnatost v ohybu

Průměrná rázová houževnatost douglasky tisolisté v ohybu při 12% vlhkosti byla spočtena na  $5.9 \text{ J.cm}^{-2}$ . Naměřené hodnoty dosáhly maxima  $11.8 \text{ J.cm}^{-2}$ .

V Lokalitě 2 byla naměřena vyšší průměrná rázová houževnatost než v Lokalitě 1. Popisná statistika k jednotlivým lokalitám je uvedena v Tabulce 10 a znázorněna v Grafu 6. Na základě jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi jednotlivými zkoumanými stanovišti neexistuje statisticky významný rozdíl v rázové houževnatosti (Graf 6).

Tab. 10: Popisná statistika pro rázovou houževnatost v ohybu pro celek a Lokality 1 a 2.

Rázová houževnatost	n [ks]	$\bar{x}$ [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	$\tilde{x}$ [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	min. [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	max. [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	Sm.odch. [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	Var..koef. [%]
<b>Celkem</b>	416	<b>5,9</b>	5,8	0,3	11,8	2,7	45,1
Lokalita 1	291	<b>5,9</b>	5,7	0,7	11,8	2,5	43,0
Lokalita 2	125	<b>6,0</b>	5,9	0,3	11,7	3,0	49,5

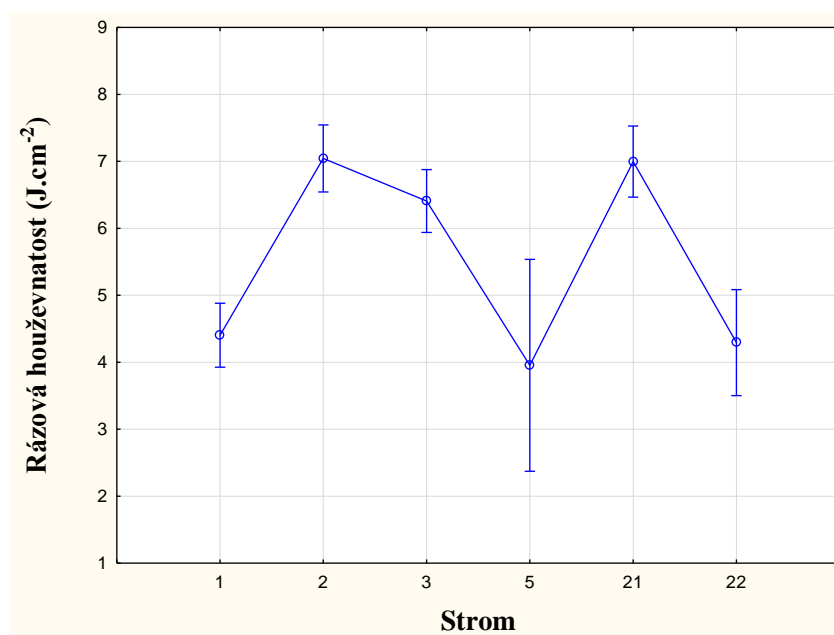


Graf 6: ANOVA rázové houževnatosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé lokality.

Při hodnocení v rámci stromů dosáhl nejvyšší průměrné rázové houževnatosti ( $7 \text{ J.cm}^{-2}$ ) Strom 2 z Lokality 1 a Strom 21 z Lokality 2. Naopak nejnižší průměrnou hodnotu ( $4 \text{ J.cm}^{-2}$ ) vykazuje Strom 5 z Lokality 2. Popisná statistik v rámci stromů je patrná z Tabulky 11. Pomocí jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi jednotlivými stromy a rázovou houževnatostí existuje statisticky významný rozdíl (Graf 7).

**Tab. 11: Popisná statistika pro rázovou houževnatost v ohybu pro jednotlivé stromy.**

Rázová houževnatost	n [ks]	$\bar{x}$ [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	$\check{x}$ [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	min. [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	max. [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	Sm..odch. [ $\text{J.cm}^{-2}$ ]	Var..koef. [%]
Strom 1	99	<b>4,4</b>	4,3	1,0	11,2	1,9	42,1
Strom 2	90	<b>7,0</b>	7,2	1,8	11,8	2,6	36,5
Strom 3	102	<b>6,4</b>	6,4	0,7	11,6	2,4	37,8
Strom 5	9	<b>4,0</b>	3,3	2,0	9,3	2,3	50,1
Strom 21	80	<b>7,0</b>	7,4	0,3	11,7	2,9	41,3
Strom 22	36	<b>4,3</b>	4,0	0,8	9,8	2,2	51,5



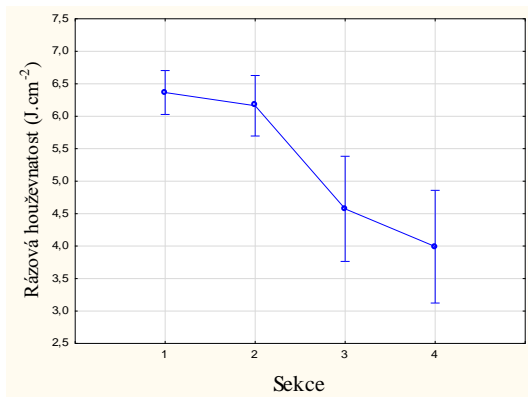
**Graf 7: ANOVA rázové houževnatosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy.**



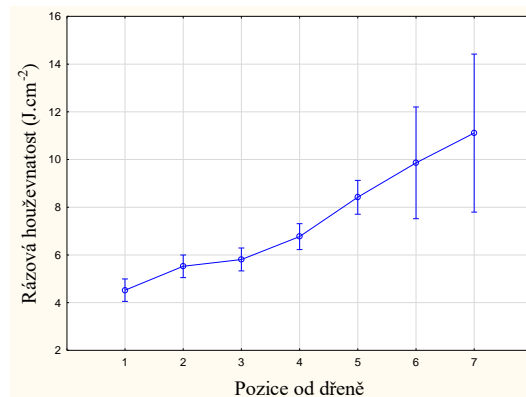
Ve vertikálním rozdělení v rámci jednotlivých sekcí, klesá průměrná rázová houževnatost od oddenku (Sekce 1) s hodnotou 6,4 J.cm<sup>-2</sup>, až po vrcholovou sekci (Sekce 4), kde byla naměřena hodnota 4 J.cm<sup>-2</sup>, což je patrné z Tabulky 12. Při hodnocení horizontálního rozdělení rázové houževnatosti vykazuje rázová houževnatost skoro lineární růst ve směru od dřeně k obvodu stromu. Za pomoci jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi jednotlivými sekcemi i jednotlivými pozicemi od dřeně existuje statisticky významný rozdíl v rázové houževnatosti v ohybu (Graf 8 a Graf 9.).

**Tab. 12: Popisná statistika pro rázovou houževnatost v ohybu pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřeně 1 – 7.**

Rázová houževnatost	n [ks]	$\bar{x}$ [J.cm <sup>-2</sup> ]	$\tilde{x}$ [J.cm <sup>-2</sup> ]	min. [J.cm <sup>-2</sup> ]	max. [J.cm <sup>-2</sup> ]	Sm..odch. [J.cm <sup>-2</sup> ]	Var..koef. [%]
Sekce 1	225	<b>6,4</b>	6,2	0,8	11,8	2,8	44,6
Sekce 2	118	<b>6,2</b>	6,3	0,3	11,5	2,5	39,9
Sekce 3	39	<b>4,6</b>	4,7	0,7	8,6	1,9	41,6
Sekce 4	34	<b>4,0</b>	3,6	1,3	7,2	1,6	39,9
Pozice od dřeně 1	100	<b>4,5</b>	3,9	1,0	11,4	2,4	52,2
Pozice od dřeně 2	97	<b>5,5</b>	4,8	0,3	11,6	2,7	48,1
Pozice od dřeně 3	95	<b>5,8</b>	5,8	1,3	11,8	2,3	39,5
Pozice od dřeně 4	74	<b>6,8</b>	6,4	0,8	11,5	2,4	35,2
Pozice od dřeně 5	44	<b>8,4</b>	8,4	2,4	11,7	2,1	24,4
Pozice od dřeně 6	4	<b>9,9</b>	10,0	8,5	10,8	1,1	11,2
Pozice od dřeně 7	2	<b>11,1</b>	11,1	11,0	11,2	0,2	1,4

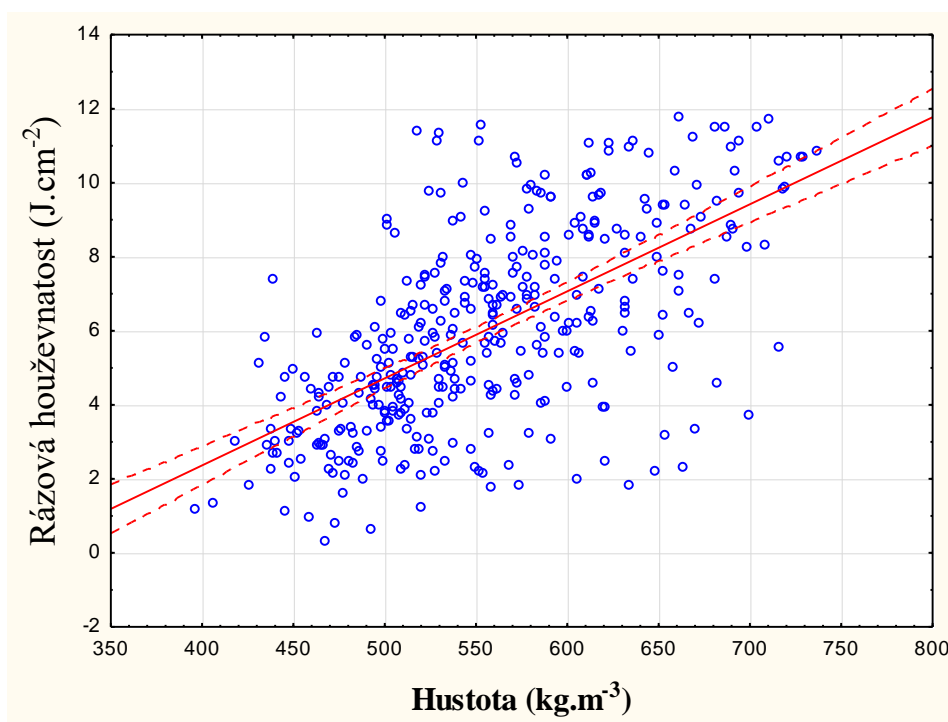


**Graf 8: ANOVA rázové houževnatosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.**



**Graf 9: ANOVA rázové houževnatosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřevě.**

Regresní přímka rázové houževnatosti v závislosti na hustotě stoupá, což je patrné z Grafu 10. Rovnice regresní přímky je  $y = -7,0448 + 0,0235x$ , korelační koeficient vykazuje hodnotu  $r = 0,6219$ , p-hodota je  $p = 0,0000$ . Na základě šetření korelačního koeficientu můžeme konstatovat, že závislost mezi rázovou houževnatostí a hustotou je vysoká.



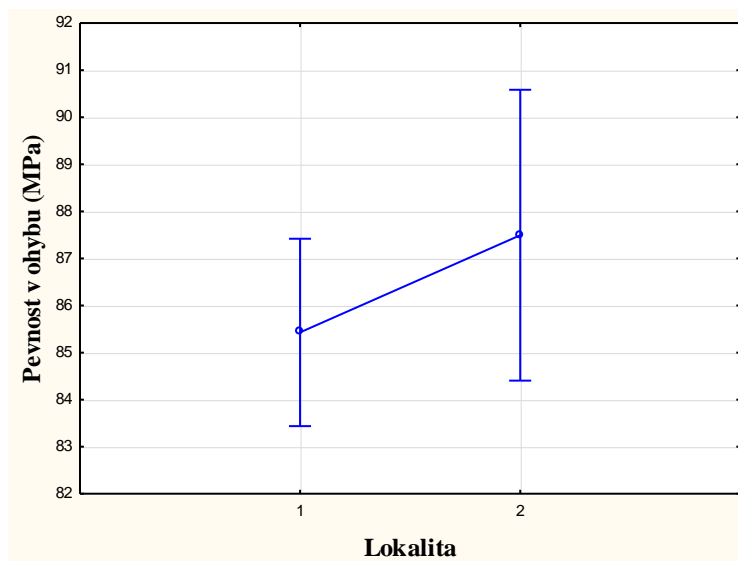
**Graf 10: Závislost rázové houževnatosti v ohybu na hustotě.**

### 5.3 Mez pevnosti ve statickém ohybu

Průměrná mez pevnosti ve statickém ohybu douglasky tisolisté při 12% vlhkosti byla spočtena na 86 MPa. Hodnoty pevnosti se pohybovaly od minima 14 MPa do maxima 138 MPa. Variační koeficient byl vypočten jako 28 %. Hodnocení v rámci lokalit dosáhla Lokalita 2 vyšších hodnot než Lokalita 1 (Tab. 13). Při šetření jednofaktorovou ANOVOU bylo zjištěno, že mezi zkoumanými lokalitami neexistuje statisticky významný rozdíl v mezích pevnosti ve statickém ohybu (Graf 11).

**Tab. 13: Popisná statistika pro mez pevnosti ve statickém ohybu pro celek a Lokality 1 a 2.**

Mez pevnosti ve statickém ohybu	n	$\bar{x}$	$\tilde{x}$	min.	max.	Sm.odch.	Var..koef.
	[ks]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
<b>Celkem</b>	793	<b>86</b>	88	14	138	24	28
Lokalita 1	561	<b>85</b>	86	19	133	19	22
Lokalita 2	232	<b>87</b>	96	14	138	33	38

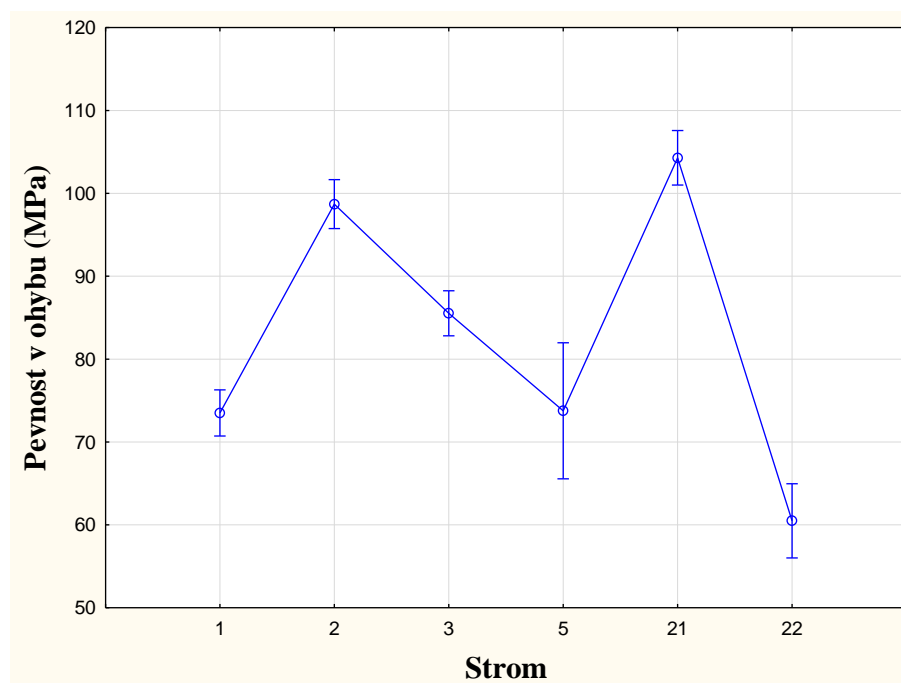


**Graf 11: ANOVA meze pevnosti ve statickém ohybu při 12% vlhkosti pro jednotlivé lokality.**

V hodnocení na úrovni jednotlivých stromů dosahuje nejvyšší pevnosti v ohybu, 104 MPa, Strom 21 a nejnižších hodnot Strom 22 s pevností 60 MPa. Oba stromy pocházejí z Lokality 2 (Tab. 14). Při zkoumání s použitím jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi zkoumanými stromy a mezi pevnosti v ohybu existuje statisticky významný rozdíl (Graf 12).

**Tab. 14: Popisná statistika pro mez pevnosti ve statickém ohybu pro jednotlivé stromy.**

Mez pevnosti ve statickém ohybu	n [ks]	$\bar{x}$ [MPa]	$\tilde{x}$ [MPa]	min. [MPa]	max. [MPa]	Sm..odch. [MPa]	Var..koef. [%]
Strom 1	191	<b>74</b>	73	19	113	16	22
Strom 2	170	<b>99</b>	100	24	133	17	17
Strom 3	200	<b>86</b>	86	41	127	15	17
Strom 5	22	<b>74</b>	76	14	115	34	46
Strom 21	136	<b>104</b>	109	26	138	22	21
Strom 22	74	<b>60</b>	51	19	112	31	51

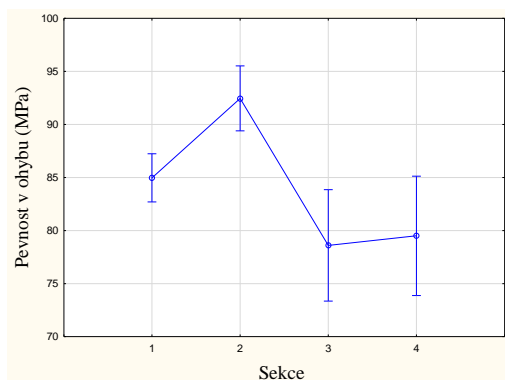


**Graf 12: ANOVA meze pevnosti ve statickém ohybu při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy.**

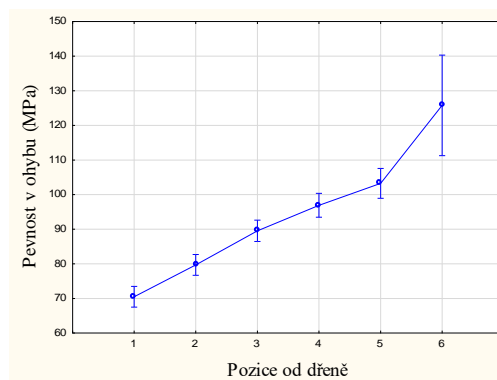
Při rozdělení ve vertikálním směru stoupá pevnost v ohybu od Sekce 1 (oddenková část) do Sekce 2, poté začíná klesat k Sekci 3 a odtud už jen nepatrně stoupá k nejvyšší vrcholové Sekci 4 (Tab. 15). V rámci horizontálního rozdělení vykazuje ohybová pevnost růst od dřene (70 MPa) ke kambiu, kde dosahuje pevnosti 126 Mpa (Tab. 15). Za pomoci jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi jednotlivými sekcemi i jednotlivými pozicemi od dřene existuje statisticky významný rozdíl v mezích pevnosti ve statickém ohybu (Graf 13 a Graf 14).

**Tab. 15: Popisná statistika pro mez pevnosti ve statickém ohybu pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřene 1 – 7.**

Mez pevnosti ve statickém ohybu	n [ks]	$\bar{x}$ [MPa]	$\tilde{x}$ [MPa]	min. [MPa]	max. [MPa]	Sm.odch. [MPa]	Var..koef. [%]
Sekce 1	418	<b>85</b>	89	14	138	27	32
Sekce 2	229	<b>92</b>	92	19	133	20	22
Sekce 3	78	<b>79</b>	79	24	110	17	22
Sekce 4	68	<b>80</b>	79	41	107	15	19
Pozice od dřene 1	187	<b>70</b>	70	14	120	22	31
Pozice od dřene 2	187	<b>80</b>	81	22	126	21	27
Pozice od dřene 3	179	<b>90</b>	92	24	133	22	25
Pozice od dřene 4	141	<b>97</b>	97	38	137	19	20
Pozice od dřene 5	91	<b>103</b>	104	43	138	19	19
Pozice od dřene 6	8	<b>126</b>	127	114	136	8	6

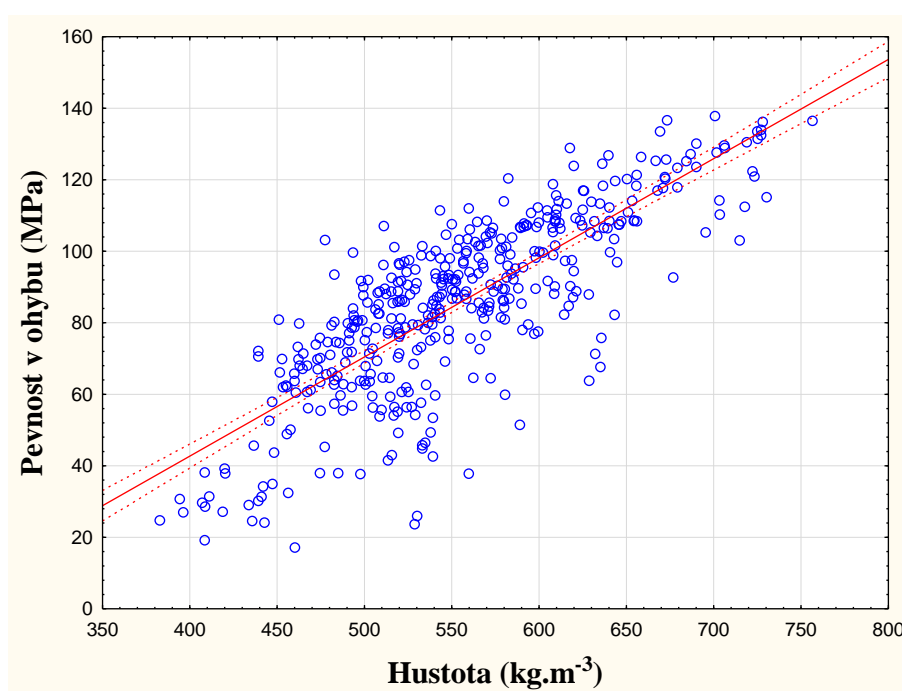


**Graf 13: ANOVA pevnosti v ohybu 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.**



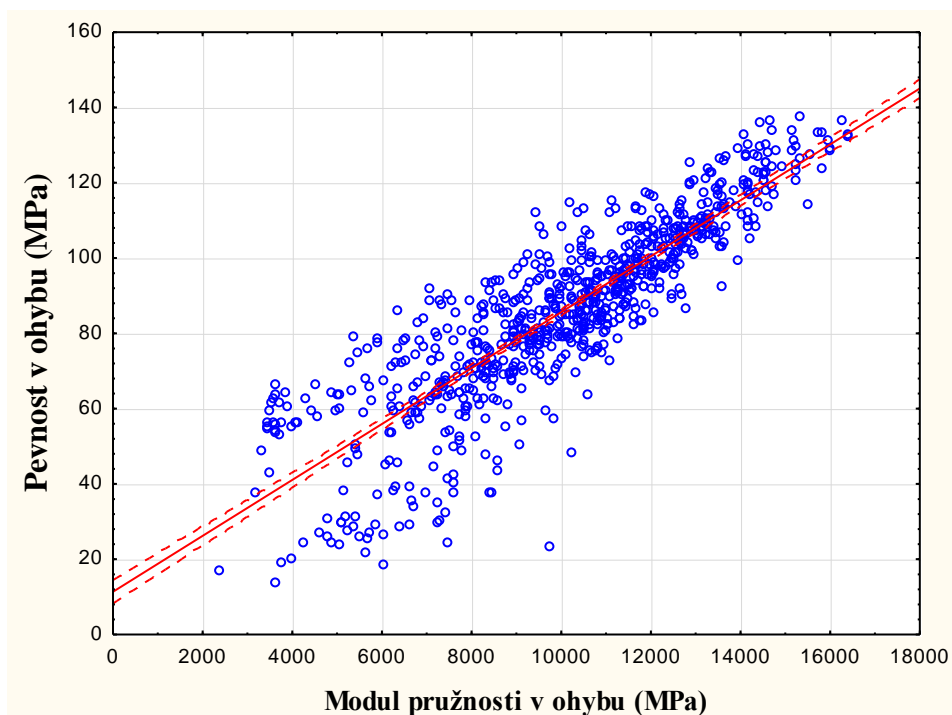
**Graf 14: ANOVA pevnosti v ohybu při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřene**

Mez pevnosti stoupá v závislosti na hustotě, což je patrné z regresní přímky a Grafu 15. Hodnota rovnice regresí přímky závislosti meze pevnosti ve statickém ohybu na hustotě je rovna  $y = - 11,3489 + 0,1187x$ . Korelační koeficient je  $r = 0,7786$ ;  $p = 0,0000$ . Na základě hodnot korelačního koeficientu lze uvažovat o tom, že se jedná o značně vysokou závislost.



**Graf 15: Závislost meze pevnosti ve statickém ohybu na hustotě.**

Závislost meze pevnosti ve statickém ohybu na modulu pružnosti v ohybu je patrná z Grafu 16. Hodnota rovnice regresní přímky je  $y = 11,3447 + 0,0074x$ , korelační koeficient vykazuje hodnotu  $r = 0,8671$  a p-hodnota udává hodnotu  $p = 0,0000$ . Šetřením pomocí korelačního koeficientu byla zjištěná značně vysoká míra závislosti meze pevnosti ve statickém ohybu a modulu pružnosti v ohybu.



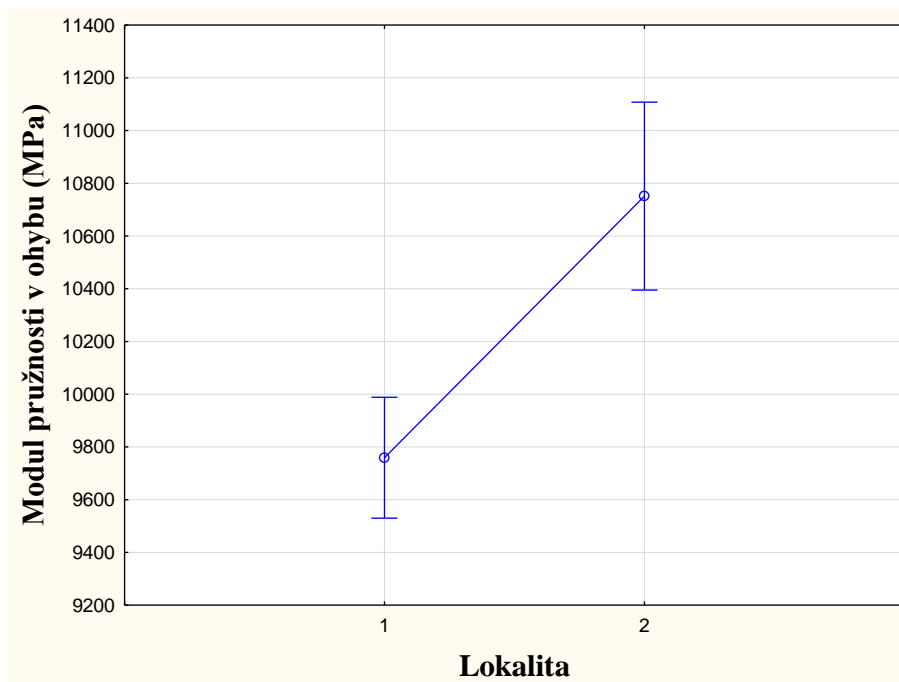
Graf 16: Závislost meze pevnosti ve statickém ohybu na modulu pružnosti v ohybu.

## 5.4 Modul pružnosti v ohybu

Průměrný modul pružnosti při 12% vlhkosti dosáhl hodnoty 10 050 MPa. Hodnoty modulu pružnosti se pohybovaly od minima 2 381 MPa do maxima 16 408 MPa. Variační koeficient byl vypočten 28 %. Při hodnocení na úrovni lokalit byla vypočítaná vyšší pevnost pro Lokalitu 2 (Tab. 16). Mezi zkoumanými stanovišti existuje statisticky významný rozdíl, který byl zjištěn na základě zkoumání jednofaktorovou ANOVOU (Graf 17).

Tab. 16: Popisná statistika pro modul pružnosti v ohybu pro celek a Lokality 1 a 2.

Modul pružnosti v ohybu	n [ks]	$\bar{x}$ [MPa]	$\tilde{x}$ [MPa]	min. [MPa]	max. [MPa]	Sm..odch. [MPa]	Var..koef. [%]
<b>Celkem</b>	793	<b>10 050</b>	10 357	2 381	16 408	2 801	28
Lokalita 1	561	<b>9 759</b>	10 110	3 169	16 396	2 537	26
Lokalita 2	232	<b>10 751</b>	11 412	2 381	16 408	3 254	30



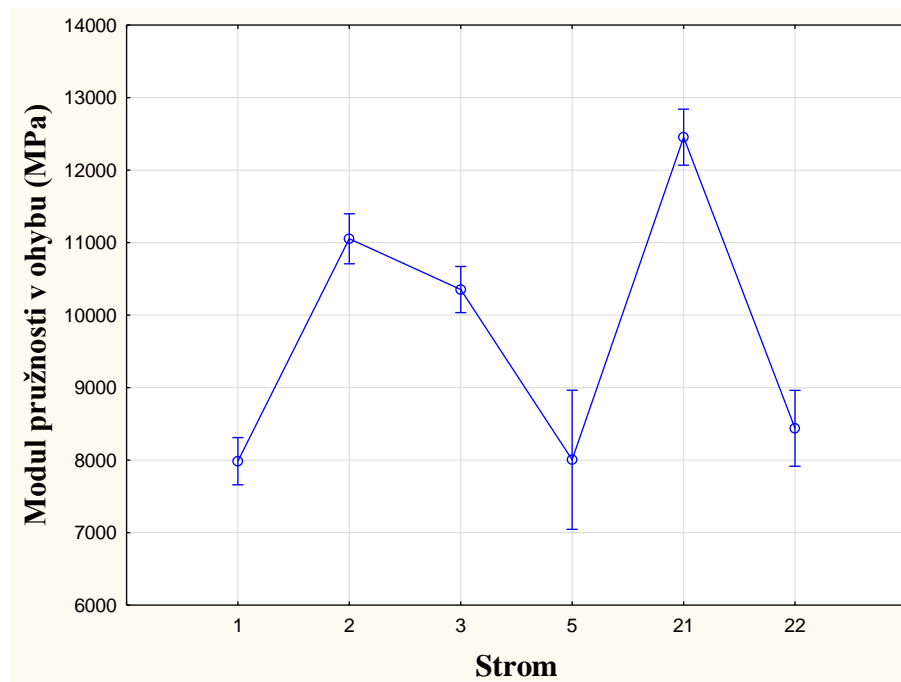
Graf 17: ANOVA modulu pružnosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé lokality.

V hodnocení v rámci jednotlivých stromů, dosáhl nejvyšší hodnoty 12 454 MPa Strom 21, pocházející z Lokality 2, naproti tomu nejnižší hodnoty byly vypočteny pro Strom 1 z Lokality 1. Popisnou statistiku pro jednotlivé stromy zobrazuje Tab. 17. Při zkoumání pomocí jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi prozkoumanými stromy existuje statisticky významný rozdíl v modulu pružnosti v ohybu (Graf 18).

Tab. 17: Popisná statistika pro modul pružnosti v ohybu pro jednotlivé stromy.

Modul pružnosti v ohybu	n [ks]	$\bar{x}$ [MPa]	$\tilde{x}$ [MPa]	min. [MPa]	max. [MPa]	Sm..odch. [MPa]	Var..koef. [%]
Strom 1	191	<b>7 986</b>	8 204	3 169	13 431	2 568	32
Strom 2	170	<b>11 054</b>	11 087	5 911	16 396	2 157	20
Strom 3	200	<b>10 353</b>	10 514	6 188	14 116	1 751	17
Strom 5	22	<b>8 005</b>	8 389	2 381	11 798	2 800	35
Strom 21	136	<b>12 454</b>	12 927	4 773	16 408	2 452	20
Strom 22	74	<b>8 440</b>	8 248	3 760	13 275	2 654	31



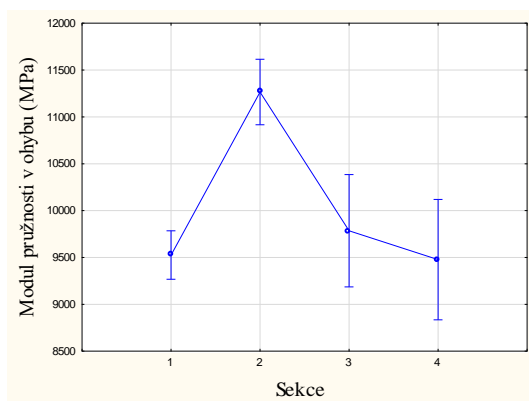


**Graf 18: ANOVA modulu pružnosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy.**

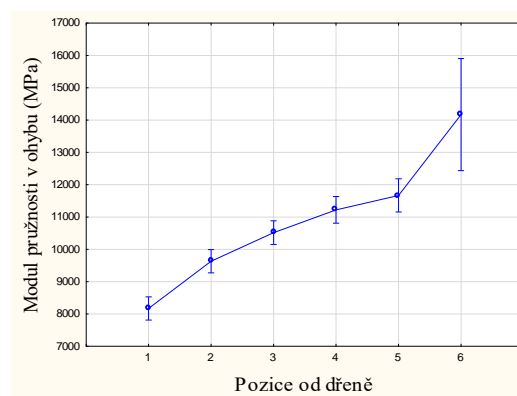
Bylo provedeno hodnocení variability v rámci kmene. Ve směru horizontálním byl zaznamenán růst hodnot směrem od dřene ke kambiu. Ve směru svislém byla nejnižší hodnota naměřena v Sekci 4 (vrcholové) a nejvyšší hodnota v Sekci 2. Při šetření jednofaktorovou ANOVOU byla prokázán statisticky významný rozdíl mezi modulem pružnosti v ohybu a vertikální i horizontální polohou v kmeni (Graf 19 a Graf 20). Popisná statistika pro variabilitu v rámci kmene je zobrazena v Tabulce č. 18.

**Tab. 18: Popisná statistika pro modul pružnosti v ohybu pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřenež 1 – 7.**

Modul pružnosti v ohybu	n [ks]	$\bar{x}$ [MPa]	$\tilde{x}$ [MPa]	min. [MPa]	max. [MPa]	Sm..odch. [MPa]	Var..koef. [%]
Sekce 1	418	<b>9 526</b>	9 741	2 381	16 408	3 149	33
Sekce 2	229	<b>11 266</b>	11 376	5 426	16 396	2 244	20
Sekce 3	78	<b>9 785</b>	9 691	6 331	13 432	1 893	19
Sekce 4	68	<b>9 477</b>	9 794	6 159	12 721	1 610	17
Pozice od dřenež 1	187	<b>8 172</b>	8 093	2 381	14 317	2 345	29
Pozice od dřenež 2	187	<b>9 633</b>	9 858	3 295	14 562	2 443	25
Pozice od dřenež 3	179	<b>10 516</b>	10 824	3 539	15 970	2 631	25
Pozice od dřenež 4	141	<b>11 222</b>	11 308	3 446	16 396	2 441	22
Pozice od dřenež 5	91	<b>11 669</b>	12 058	3 484	16 408	2 808	24
Pozice od dřenež 6	8	<b>14 171</b>	14 212	13 258	15 493	710	5

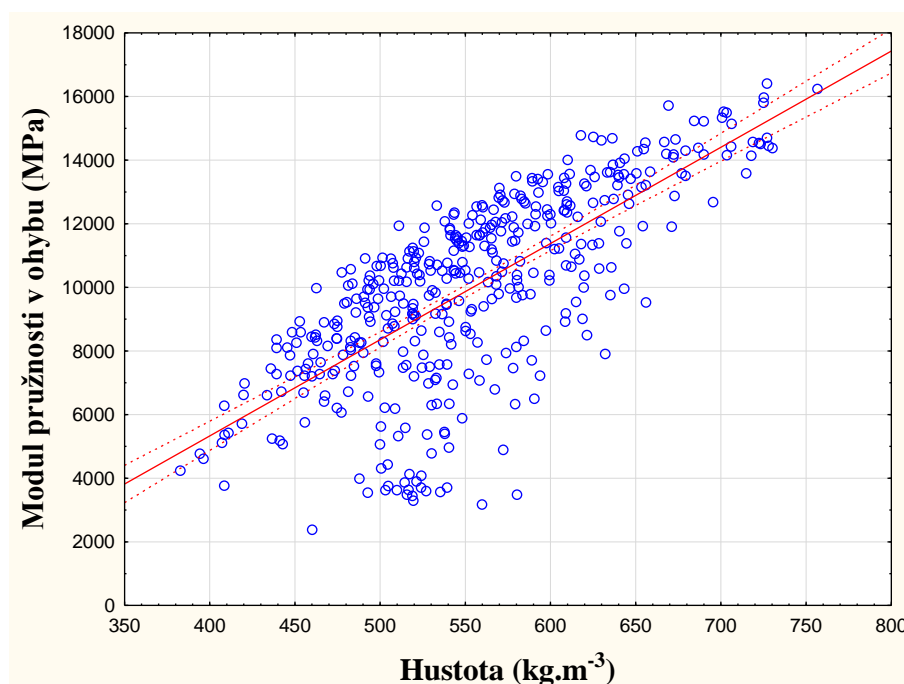


**Graf 19: ANOVA modulu pružnosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.**



**Graf 20: ANOVA modulu pružnosti při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřenež.**

Graf 22 znázorňuje modul pružnosti v závislosti na hustotě. Rovnice regresní přímky je  $y = -6768,4779 + 30,2527x$ . Hodnota korelačního koeficientu dosáhla hodnoty  $r = 0,7269$ ; p-hodnota je  $p = 0,0000$ . Na základě korelačního koeficientu můžeme říci, že závislost mezi modulem pružnosti v ohybu a hustotou je značně vysoká.



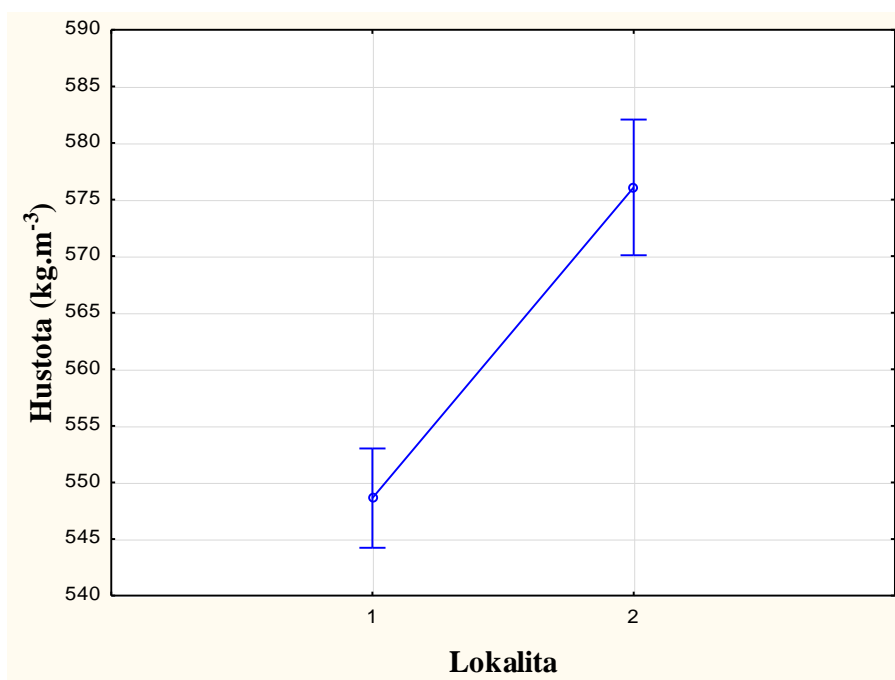
Graf 21: Závislost modulu pružnosti v ohybu na hustotě.

## 5.5 Hustota

Průměrná hustota dřeva douglasky tisolisté při 12% vlhkosti byla vypočtena jako  $558 \text{ kg.m}^{-3}$ . Hodnoty hustoty se pohybovaly od minima  $383 \text{ kg.cm}^{-3}$  do maxima  $757 \text{ kg.m}^{-3}$ . Variační koeficient dosáhl hodnoty 13 %. Při porovnávání hustoty z jednotlivých lokalit byla naměřena vyšší hodnota  $576 \text{ kg.m}^{-3}$  u Lokality 2, což je patrné z Tabulky 19 a Grafu 23. Vyšetřením pomocí jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že mezi hustotou a lokalitami existuje statisticky významný rozdíl.

**Tab. 19: Popisná statistika pro hustotu při 12% vlhkosti pro celek a Lokality 1 a 2.**

Hustota	n	$\bar{x}$	$\tilde{x}$	min.	max.	Sm.odch.	Var..koef.
	[ks]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[%]
Celkem	1490	<b>558</b>	551	383	757	71	13
Lokalita 1	971	<b>549</b>	542	431	715	55	10
Lokalita 2	519	<b>576</b>	575	383	757	91	16

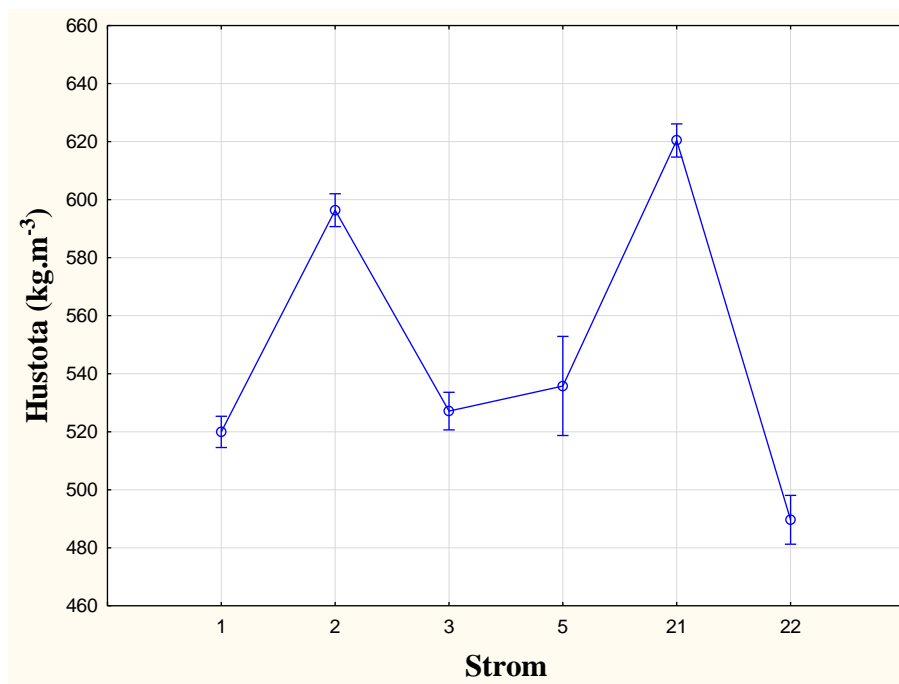


**Graf 22: ANOVA hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé lokality.**

Nejvyšší průměrnou hustotu 620 kg.m<sup>-3</sup> vykazuje Strom 21, naopak nejnižší hodnotu, 490 kg.m<sup>-3</sup>, vykazuje Strom 22. Oba stromy pochází z Lokality 2 (Graf 24). Ze stromů z Lokality 1 byla nejvyšší hustota, 596 kg.m<sup>-3</sup>, naměřena u Stromu 2 a nejnižší hustota, 527 kg.m<sup>-3</sup>, u Stromu 1. Za pomoci jednofaktorové ANOVY byla zjištěná statistická závislost mezi hustotou a jednotlivými stromy (Graf 24.). Popisná statistika hustoty z jednotlivých stromů je patrná z Tabulky 20.

**Tab. 20: Popisná statistika pro hustotu při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy.**

Hustota	n	$\bar{x}$	$\tilde{x}$	min.	max.	Sm..odch.	Var..koef.
	[ks]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[%]
Strom 1	373	<b>520</b>	520	434	669	36	7
Strom 2	340	<b>596</b>	600	447	711	47	8
Strom 3	258	<b>527</b>	523	431	715	45	9
Strom 5	37	<b>536</b>	527	437	652	65	12
Strom 21	330	<b>620</b>	631	432	757	72	12
Strom 22	152	<b>490</b>	480	383	627	62	13

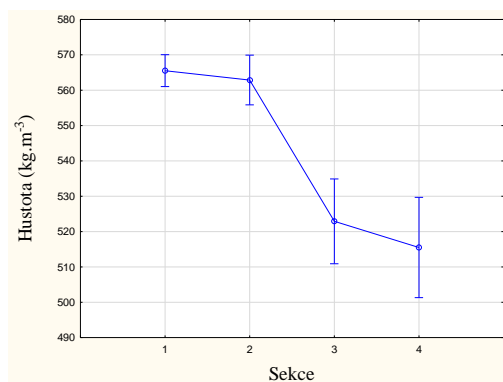


**Graf 23: ANOVA hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé stromy.**

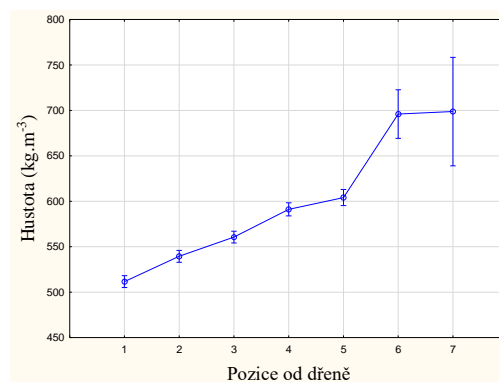
Střední hodnoty hustoty jednotlivých sekcí se od oddenkové části (Sekce 1) směrem ke koruně (Sekce 4) vykazují snižující se trend od  $566 \text{ kg.m}^{-3}$  po  $515 \text{ kg.m}^{-3}$ . Ve vodorovném směru vyazuje hustota stoupající trend ve směru od dřeně, s hodnotou  $512 \text{ kg.m}^{-3}$ , k obvodu stromu ( $699 \text{ kg.m}^{-3}$ ). Šetřením za pomoci jednofaktorové ANOVY (Graf 25 a Graf 26) byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi hustotou a horizontální i vertikální polohou v kmeni. Popisná statistika v horizontálním a vertikálním rozdělení je zobrazen v Tabulce č. 21.

**Tab. 21: Popisná statistika pro hustotu při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce a vzdálenosti od dřeně 1 – 7.**

Hustota	n	$\bar{x}$	$\tilde{x}$	min.	max.	Sm..odch.	Var..koef.
	[ks]	[ $\text{kg.m}^{-3}$ ]	[ $\text{kg.m}^{-3}$ ]	[ $\text{kg.m}^{-3}$ ]	[ $\text{kg.m}^{-3}$ ]	[ $\text{kg.m}^{-3}$ ]	[%]
Sekce 1	902	<b>566</b>	561	383	757	75	13
Sekce 2	370	<b>563</b>	557	432	715	64	11
Sekce 3	127	<b>523</b>	521	431	644	49	9
Sekce 4	91	<b>515</b>	500	438	685	53	10
Pozice od dřeně 1	330	<b>512</b>	508	383	701	56	11
Pozice od dřeně 2	334	<b>539</b>	537	414	700	57	11
Pozice od dřeně 3	343	<b>561</b>	558	409	711	64	11
Pozice od dřeně 4	278	<b>591</b>	587	464	727	67	11
Pozice od dřeně 5	181	<b>604</b>	582	477	757	63	10
Pozice od dřeně 6	20	<b>696</b>	704	612	737	37	5
Pozice od dřeně 7	4	<b>699</b>	700	669	727	25	4



**Graf 24: ANOVA hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé sekce.**



**Graf 25: ANOVA hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé pozice od dřeně.**

## 6 Diskuze

Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny vykazovala průměrnou hodnotu 54,3 MPa. Tato hodnota douglasky tisolisté je vyšší, než hodnoty udávané literaturou naměřené v jejím přirozeném areálu rozšíření. Alden (1997) udává hodnoty od 42 MPa do 51 MPa. Toto rozmezí potvrzuje i Wood handbook (2010). Douglaska tisolistá pěstovaná v rakouských lokalitách vykazuje nižší hodnotu 48 MPa, z německých lokalit udává Wagenführ (2007) interval hodnot 43 – 68 MPa. Do tohoto intervalu spadá i naše naměřená hodnota. V porovnání s jedlí obrovskou, jejíž hodnota je 36 MPa (Zeidler et al., 2015) a borovicí černou, s hodnotou 38,2 MPa (Zeidler, 2007), pěstovanými v České republice, které Úradníček et al., (2012) řadí mezi potenciálně perspektivní introdukované jehličnaté dřeviny, dosahuje douglaska tisolistá vyšší pevnosti v tlaku. Srovnatelnou hodnotu pevnosti v tlaku s důležitými hospodářskými domácími dřevinami dosahuje borovice lesní s hodnotou 55 MPa (Wagenführ, 2002) a modřín opadavý s hodnotou 55 MPa (Wagenführ, 2002).

Při našem měření dosáhl variační koeficient pevnosti v tlaku hodnoty 19,7 %. To je více než udává Schwab (2003), který udává hodnotu variačního koeficientu 15 %. V hodnocení pevnosti v tlaku v rámci lokalit dosáhla nejvyšších hodnot 55,1 MPa Lokalita 2 a nejnižších hodnot 53,9 vykazovala Lokalita 1. Šetření jednofaktorovou ANOVOU potvrdilo nezávislost stanoviště na pevnosti v tlaku. Vertikální rozdělení tlakové pevnosti nepotvrzuje všeobecný trend, kdy hodnoty od oddenku klesají směrem ke koruně (Požgaj et al., 1997). V horizontálním rozdělení lze pozorovat zvyšující se trend, u kterého tlaková pevnost roste směrem od dřeně ke kambiu. Šetřením za pomoci jednofaktorové ANOVY bylo prokázáno, že existuje statisticky významný rozdíl mezi horizontálním i vertikálním rozdělením v kmeni a pevností v tlaku. Korelace mezi pevností v tlaku a hustotě je značně vysoká ( $r = 0,7786$ ).

Průměrná rázová houževnatost v ohybu dřeva douglasky tisolisté byla vypočtena jako  $5,9 \text{ J.cm}^{-2}$ . Výsledná hodnota rázové houževnatosti koresponduje s Wagenführ (2007), který uvádí rozmezí  $3,8 \text{ J.cm}^{-2}$  až  $6,0 \text{ J.cm}^{-2}$ . Hodnoty rázové houževnatosti v ohybu douglasky tisolisté předčí hodnoty všech našich důležitých hospodářských jehličnanů (Tab.), ale i hodnoty potenciálně perspektivní introdukované dřeviny jedle

obrovské (4,1 J.cm<sup>-2</sup>). Při posuzování lokalit se hodnoty rázové houževnatosti v ohybu vzorků z Lokality 1 (5,9 J.cm<sup>-2</sup>) a vzorků z Lokality 2 (6,0 J.cm<sup>-2</sup>) liší jen nepatrně. Není zřejmý statisticky významný rozdíl mezi rázovou houževnatostí v ohybu a jednotlivými lokalitami. V hodnocení rázové houževnatosti podle variability v kmeni pozorujeme zvyšující se trend hodnot ve vertikálním směru od oddenku ke koruně a ve směru horizontálním od dřene ke kambiu. Tím se potvrzuje obecný trend růstu mechanických vlastností od dřene ke středu stromu, který popisuje Požgaj et al., (1997). Ověření s použitím jednofaktorové ANOVY bylo vyhodnoceno, že mezi vertikální i horizontální polohou v kmeni a rázovou houževnatostí existuje statisticky významný rozdíl. Na základě hodnot korelačního koeficientu lze říci, že závislost mezi rázovou houževnatostí a hustotou je vysoká ( $r = 0,6219$ ). To potvrzuje Lexa et al. (1952), který říká, že dynamická pevnost stoupá se vzrůstající objemovou váhou.

Mez pevnosti ve statickém ohybu byla vypočtena na hodnotu 86 MPa. Dosahovaná hodnota je shodná s hodnotami douglasky pěstované v jejím přirozeném areálu USA – vnitrozemí západ, kde dosahuje hodnot 86 MPa (Alden, 1997) i v lokalitách v České republice, kde jsou její hodnoty 86 MPa (Zeidler, 2014). Hodnota pevnosti v ohybu také spadá do intervalu 68 – 89 MPa, který udává Wagenführ, (2002) jehož naměřené hodnoty pochází z Německa. Nepatrně vyšší hodnoty vykazuje douglaska pěstovaná v Rakousku, 91 MPa (Fellner et al., 2007). Nejvyšší hodnotu udává Hofman (1964), 127 MPa. Douglaska tisolistá předčí těmito hodnotami naše významné jehličnaté hospodářské dřeviny a to až na modřín opadavý, který má pevnost v ohybu 95 Mpa (Wagenführ, 2002). V hodnocení v rámci lokalit byla vypočtena vyšší průměrná hodnota u Lokality 2 než u Lokality 1. Při použití jednofaktorové ANOVY nebyla zjištěna statisticky významná závislost pevnosti v ohybu na lokalitě. Vertikální průběh meze pevnosti v ohybu je v rozporu se všeobecným trendem, kdy pevnost je nejvyšší v oddenkové části a ve vrcholové části dosahuje minima (Perelygin, 1960). Při vodorovném rozdělení v kmeni sleduje pevnost v ohybu všeobecný trend, kdy pevnost směrem ke kambiu roste. Závislost mezi vertikální polohou v kmeni i pozicí od dřene a pevností v ohybu je statisticky významná. To bylo zjištěno na základě šetření jednofaktorovou ANOVOU. Závislost mezi mezí pevnosti v ohybu a hustotou byla zjištěna jako značně vysoká ( $r = 0,7786$ ), což potvrzuje Lexa et al., (1952), který tvrdí, že ohybová pevnost je úměrná objemové váze. Závislost mezi



modulem pružnosti v ohybu a mezí pevnosti v ohybu byla zjištěná jako značně vysoká ( $r = 0,8671$ ).

Modul pružnosti v ohybu vykazuje průměrnou hodnotu 10 050 MPa. Výsledná hodnota nespadá do intervalu 10 300 – 13 400 MPa, který udává Alden (1997) z oblasti původního rozšíření. Wagenführ (2007) připisuje douglasce z německých lokalit interval 11 200 až 13 500 MPa, což je více než naměřená hodnota v této práci. Při porovnání s domácími hospodářskými jehličnany vykazuje douglaska horší hodnoty. Nejpodobnější hodnoty s douglaskou vykazuje smrk ztepilý a jedle bělokorá s hodnotami 11 000 MPa, které udává Wagenführ (2007). Při porovnávání lokalit byla v Lokalitě 2 dosažena vyšší průměrná hodnota než v Lokalitě 1. Lokální růstové podmínky mají statisticky významný vliv a to na modul pružnosti v ohybu na základě šetření jednofaktrovou ANOVOU. Při hodnocení variability modulu pružnosti v kmeni ve vertikální poloze není zřejmý obecný trend. Při horizontálním rozdělení sleduje obecný trend, při kterém pevnost dřeva roste od středu stromu ke kambiu. Závislost mezi vertikální polohou v kmeni i pozicí od dřeně a pevností v ohybu je statisticky významná, což bylo zjištěno na základě šetření jednofaktrovou ANOVOU. Závislost mezi modulem pružnosti v ohybu a hustotou byla zjištěná jako značně vysoká ( $r = 0,7269$ ).

Jako doplňkový indikátor kvality byla posuzována hustota dřeva douglasky tisolisté. Průměrná hustota douglasky tisolisté při 12% vlhkosti vykazovala hodnotu 558  $\text{kg.m}^{-3}$ . Douglaska pěstována v původních lokalitách svého rozšíření vykazuje hodnoty v rámci intervalu 480 – 540  $\text{kg.m}^{-3}$  (Alden, 1997). Nižší hodnoty udává i Wagenführ (2007), který udává 488 MPa a dále pak i Remeš a Zeidler (2014), kteří uvádí hodnotu 510 MPa naměřenou na vzorcích z oblastí v České republice. V porovnání s našimi důležitými hospodářskými jehličnany předčí douglasku pouze modřín opadavý s hodnotou 590  $\text{kg.m}^{-3}$  (Wagenführ, 2002). Vzorky douglasky z Lokality 2 dosáhly vyšší průměrné hodnoty než vzorky z Lokality 1. Lokální růstové podmínky mají statisticky významný vliv a to na hustotu na základě šetření jednofaktrovou ANOVOU. Hustota dřeva se směrem od dřeně k obvodu zvyšuje, což je obecný trend u jehličnatých dřevin, jak popisuje Matovič (1988). Po výšce stromu se hustota dřeva snižuje, a to od oddenku směrem ke koruně, což potvrzuje obecný trend, který popisuje

Gandelová et al., (2012). Na základě zkoumání pomocí jednofaktorové ANOVY lze říci, že závislost mezi horizontální i vertikální polohou v kmeni a hustotou, je statisticky významná.

Porovnání výsledků naměřených mechanických vlastností douglasky tisolisté s hodnotami těchto vlastností domácích jehličnatých dřevin je ukázáno v Tabulce 22.

Z Tabulky 23 je patrný rozdíl mezi hodnotami mechanických vlastností douglasky tisolisté naměřenými v České republice a jejími hodnotami v oblastech původního rozšíření a dalších oblastech, kam byla douglaska introdukována.

**Tab. 22: Srovnání zjištěných hodnot s hodnotami hlavních domácích jehličnatých dřevin.**

	Pevnost v tlaku [MPa]	Rázová houževnatost [J.cm <sup>-2</sup> ]	Pevnost v ohybu [MPa]	Modul pružnosti v ohybu [MPa]	Hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]
<b>Zjištěné hodnoty</b>	<b>54,3</b>	<b>5,6</b>	<b>86</b>	<b>10 050</b>	<b>558</b>
jedle bělokorá <sup>1)</sup>	47	4,2	73	11 000	450
smrk ztepilý <sup>1)</sup>	50	4,6	78	11 000	470
borovice lesní <sup>1)</sup>	55	4,0	80	12 000	510
modřín opadavý <sup>1)</sup>	55	6	95	13 800	590

1) Wagenführ, 2007

**Tab. 23: Srovnání zjištěných hodnot s hodnotami z jednotlivých zemí.**

	Pevnost v tlaku [MPa]	Rázová houževnatost [J.cm <sup>-2</sup> ]	Pevnost v ohybu [MPa]	Modul pružnosti v ohybu [MPa]	Hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]
<b>Zjištěné hodnoty</b>	<b>54,3</b>	<b>5,6</b>	<b>86</b>	<b>10 050</b>	<b>558</b>
Československo <sup>1)</sup>	59	-	127	-	520
Německo <sup>2)</sup>	43 - 68	3,8 - 6,0	68 - 89	11 200 - 13 500	488
Rakousko <sup>3)</sup>	48	-	91	12 000	502
Česká republika <sup>4)</sup>	42	4.6	86	-	510
USA – pobřeží <sup>5)</sup>	49	-	85	13 400	540
USA - vnitrozemí západ <sup>5)</sup>	51	-	86	12 600	500
USA - vnitrozemí sever <sup>5)</sup>	47	-	90	12 300	480
USA - vnitrozemí jih <sup>5)</sup>	42	-	84	10 300	-

1) Hofman, 1964; 2) Wagenführ, 2007; 3) Fellner et al., 2007; 4) Remeš a Zeidler, 2014; 5) Alden, 1997

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit kvalitu dřeva douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*) a posoudit vliv polohy v kmeni a stanoviště na posuzované vlastnosti.

Průměrná mez pevnosti v tlaku ve směru vláken byla naměřena 54,3 MPa. V oblastech původního rozšíření dosahují douglasky nižších hodnot. Zjištěná pevnost v tlaku vykazuje lepší hodnotu než u smrku ztepilého a je z našich domácích jehličnatých dřevin nejbližší borovici lesní a modřínu opadavému. Vliv polohy stanoviště na pevnost v tlaku nebyla prokázána. Zato variabilita polohy v kmeni na pevnost v tlaku jak horizontální i vertikální prokázána byla. V horizontálním směru pevnost roste od dřeně k obvodu stromu. V horizontálním rozdělení nebyl naměřen podstatný rozdíl. Závislost mezi pevností v tlaku a hustotou je značně vysoká.

Rázová houževnatost dosáhla průměrné hodnoty 5.9 J.cm<sup>-2</sup>. Hodnota koresponduje s hodnotami naměřenými v Německu. V porovnání se smrkem ztepilým vykazuje douglaska lepších hodnot. V závislosti mezi rázovou houževnatostí a lokalitami není patrný statisticky významný rozdíl. Ve vodorovném rozdělení vykazuje rázová houževnatost skoro lineární růst ve směru od dřeně ke kambiu. V horizontálním směru klesají hodnoty od koruny k oddenkové části stromu. U variability v rámci kmene byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi vertikální i horizontální polohou. Závislost mezi rázovou houževnatostí a hustotou je vysoká.

Mez pevnosti ve statickém ohybu vykazovala průměrnou hodnotu 86 MPa. Dosahovaná hodnota je shodná s hodnotami douglasky pěstované v jejím přirozeném místě výskytu v USA na západním vnitrozemí. Hodnota také spadá do intervalu douglasek pocházejících z Německa. Douglaska tisolistá předčí v pevnosti v ohybu smrk ztepilý. V závislosti mezi lokalitami a pevností v ohybu není patrný statisticky významný rozdíl. Ve směru horizontálním dosahuje pevnost v ohybu klesajících hodnot od kambia ke dřeni. Svislý průběh sleduje trend, při kterém hodnoty klesají až od Sekce 2 k vrcholu stromu. Závislost mezi vertikální polohou v kmeni i pozicí od dřeně a pevností v ohybu je statisticky významná. Závislost mezi mezí pevností v ohybu a hustotou i modulem pružnosti byla zjištěna jako značně vysoká.

Modul pružnosti v ohybu vykazuje průměrnou hodnotu 10 050 MPa. Vykazovaná hodnota nespadá ani do intervalu hodnot z oblasti původního rozšíření, ani do intervalu modulu pevnosti v ohybu douglasek naměřených v Německu. Při porovnání douglasky s domácím smrkem ztepilým dosahuje smrk ztepilý vyšší hodnoty. Lze konstatovat statisticky významný rozdíl mezi lokalitou a modulem pružnosti. Hodnocení modulu pružnosti a její variability v kmeni ve vertikální poloze, vykazuje nejvyšších hodnot v Sekci 2. Při horizontálním rozdělení je patrný obecný trend, při kterém modul pružnosti roste od středu stromu ke kambiu.

Jako doplňkový indikátor kvality byla posuzována hustota dřeva douglasky tisolisté. Průměrná hustota douglasky tisolisté při 12% vlhkosti vykazovala hodnotu 558 kg.m<sup>-3</sup>. Douglaska pěstovaná v původních lokalitách svého rozšíření vykazuje hodnoty nižší. Nižší hodnoty také udávají douglasky pěstované v Německých lokalitách. Při porovnání se smrkem ztepilým dosahuje douglaska lepších hodnot. Hustota dřeva se směrem od dřeně k obvodu zvyšuje. Po výšce stromu se hustota dřeva snižuje. Závislost mezi horizontální i vertikální polohou v kmeni a hustotou je statisticky významná.

Dřevo douglasky je v Severní Americe a Kanadě řazeno mezi jedno z nejvyužívanějších. Jeho spotřeba je velká, a to jak v chemickém průmyslu, tak i v technickém odvětví a drobném obchodu. Na základě hodnot naměřených v rámci této práce lze tvrdit, že by douglaska pěstovaná v České republice dosahovala lepších mechanických vlastností, než jakých dosahuje v místě svého původního rozšíření (USA) s výjimkou modulu pružnosti v ohybu. Podle mechanických vlastností lze tuto dřevinu zařadit mezi u nás hojně využívané dřeviny, jako je smrk ztepilý, borovice lesní nebo modřín opadavý. Po stránce využitelnosti v podmínkách dřevařského sektoru by neměla představovat částečná substituce smrku výraznější problém, naopak spíše vhodnou novou příležitostí a přínos.

## 8 Seznam použitých zdrojů

ALDEN, H. A. *Softwoods of North America* [online]. Madison, WI : U.S.D.A., Forest Service, Forest Products Laboratory, 1997, 151 s. [cit. 2016-02-17]. Dostupné z WWW: < <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr102.pdf> >

BARNETT, John R a George JERONIMIDIS. *Wood quality and its biological basis*. Boca Raton, FL: Published in the USA/Canada by CRC Press, 2003. Biological sciences series (Oxford, England). ISBN 1841273198

Biolib: *Taxonomic tree of plants and animals with photos* [online]. 2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/main/>

Coast forest. *Douglas fir: British Columbia's famous fir* [online]. Canada: Canada Wood Produits de bois canadien, 2003 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <<http://www.coastforest.org/>>

ČSN 49 01 03. *Zjišťování vlhkosti při fyzikálních a mechanických skúškach*. Praha : Český normalizační institut, 1979. 5 s.

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

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

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

ČSN 49 01 15. *Drevo : Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe*. Praha : Úradu pre normalizáciu a meranie 1980. 7 s.

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

FELLNER, J; TEISCHINGER, A; ZSCHOKKE, W. *Spektrum dřevin vyobrazení, popis a srovnávací údaje*. Vídeň : proHolz Austria. 2007. 111 s. ISBN 978-3-902320-44-5.

GANDELOVÁ, L; HORÁČEK, P; ŠLEZINGEROVÁ, L. *Nauka o dřevě*. dotisk třetího nezměněného vyd. Brno : Mendlova univerzita v Brně, 2012. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2

GIBBS, N. *Dřevo : Obrazový přehled více než 100 druhů dřev včetně jejich využití*. Praha : Slovart, s. r. o., 2005. 256s. ISBN 80-7209-720-2.

HIEKE, K. *Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů*. Vydání první. Brno : Computer Press, a. s., 2008. 246 s. ISBN 978-80-251-1901-3. (Hieke, 2008)

HOFMAN, J. *Pěstování douglasky*. 1 vyd. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1964, 253 s.

JÍRŮ, P. *Dřevo, jeho vlastnosti a použití*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1960. 216 s.

KAFKA, E. *Dřevařská příručka 1. část*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. 483 s.

KOBLÍŽEK, J. *Jehličnaté a listnaté dřeviny našich zahrad a parků*. Tišnov : Sursum, 2006. 551 s. ISBN 80-7323-117-4.

LARSON, P; KRETSCHMANN, D; CLARK, A; ISEBRANDS, J. *Formation and properties of juvenile wood in southern pines : a synopsis*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2001. 42 s

LEXA, J; NEČESANÝ, V; PACLT, J; TESAŘOVÁ, M; ŠTOFKO, J. *Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva*. Bratislava : Drevársky výzkumný ústav v Bratislave, 1952. 432 s.

LINCOLN, B; GIBBS, N. *Dřevo velká encyklopedie*. První vydání. Praha : Grada Publish, a. s. 2009. 192s. ISBN 978-80-2472858-2.

MATOVIČ, A. *Nauka o dřevě*. 3. nezměněné vydání. Brno : Vysoká škola zemědělská v Brně. 1988. 159 s

*Mikroskopický atlas dřevin* [online]. 2007 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <[http://fld.czu.cz/~zeidler/atlas\\_drev/](http://fld.czu.cz/~zeidler/atlas_drev/)>

MOJŽÍŠEK, M. *Jehličnaté stromy a keře*. vydání první. Brno : CPBooks 2005, 96 s. ISBN 80-251-0248-3.

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

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

PERELYGIN, L. M. *Náuka o dreve*. Bratislava : Slovenské vydavateľstvo technickej literatury, 1960. 388 s. ISBN 302 05 149.

PODRÁZSKÝ, V; KUBEČEK, J. *Může douglaska tisolistá nahradit chřadnoucí smrk?* Lesnická práce. 1993, vol. 2014, no. 6, s. 14 – 19. ISSN 0322-9254.

POŽGAJ, A; CHOVANEC, D; KURJATKO, S; BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. druhé vydanie. Bratislava : PRÍRODA a.s., 1997. 488 s. ISBN 80-07-0090-4.

REMEŠ, J; ZEIDLER, A. *Production potential and wood quality of douglas fir from selected sites in the Czech Republic*. Wood research 2014, vol. 59, no.3 [cit 2016-01-06]. Dostupné z WWW: <[http://www.woodresearch.sk/articles/12-46-113733\\_14.pdf](http://www.woodresearch.sk/articles/12-46-113733_14.pdf)>

SCHWAB, E. *Sammlung technologischer Untersuchungen an Holz und Holzwekstoffen*. Hamburg, 2003. Arbeitsbericht. Universität Hamburg. 116 s.

ÚRADNÍČEK, L; MADĚRA, P; TICHÁ, S. *Introdukce dřevin*. Lesnická práce. 2012, vol 91, no. 7/12. ISSN 0322-9254.

ÚRADNÍČEK, L. *Douglaska tisolistá*. Lesnická práce. 1993, vol. 2014, no. 6, s. 20 – 21. ISSN 0322-9254.



VALA, V; MARTINÍK, A; BURDOVÁ, J. *Provozně ekonomické, environmentální a společenské souvislosti a limity substituce smrku douglaskou*. [cit. 16. 4. 2016] dostupné z WWW: <[https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/nove/Ekonomicka\\_efektivnost/Provozne\\_ekonomicke\\_environmentalni\\_a\\_spolecenske\\_souvislosti\\_a\\_limity\\_substituce\\_smrku\\_douglaskou.pdf](https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/nove/Ekonomicka_efektivnost/Provozne_ekonomicke_environmentalni_a_spolecenske_souvislosti_a_limity_substituce_smrku_douglaskou.pdf)>

VAVRČÍK, H; GRYC, V; ZEIDLER, A. *Dřevo douglasky tisolisté*. Lesnická práce 2012, vol. 10, no. 10 [cit. 2016 01.02.]. Dostupné z WWW: <<http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-89-2010/lesnicka-prace-c-10-10/drevo-douglasky-tisoliste>>

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i.. *Tisková zpráva douglaska tisolistá* [online]. Opočno: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., [2014] [cit. 2016 02. 06.] dostupné z WWW: <[http://www.vulhm.cz/sites/File/Informatika/TZ\\_douglaska\\_tisolista.pdf](http://www.vulhm.cz/sites/File/Informatika/TZ_douglaska_tisolista.pdf)>

WAGENFÜHR, R; [překl. Bohumil Hurda]. *Dřevo : obrazový lexikon*. Praha : Grada Publishhing, 2002. 347 s. ISBN 80-247-0346-7.

WAGENFÜHR, R; *Holzatlas*. Hanser Verlag, 2007. 816 s.

*Wood handbook : wood as an Engineering Material* [online]. Madison : forest products laboratory, 2010, [cit. 2016-03-10]. Dostupné z WWW:

[http://www.woodweb.com/Resources/wood\\_eng\\_handbook/wood\\_handbook\\_fpl\\_2010.pdf](http://www.woodweb.com/Resources/wood_eng_handbook/wood_handbook_fpl_2010.pdf)

ZEIDLER, A. *Zhodnocení vybraných vlastností dřeva borovice černé (Pinus nigra ARNOLD.)*. Zpravy lesnickeho vyzkumu, 2007, 52, Special, s. 14 - 20.

ZEIDLER, A; SALEM, Z, M; BORŮVKA. V. *Mechanical properties of Grand fir wood grow in the Czech Republic in vertical and horizontal positions*. BioResources. 2015 vol. 10, no. 1 s 793 – 808

ZOBEL, B. J; SPRAGUE, J. R. *Juvenile Wood in Forest Trees*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. 304 s. ISBN 978-3-642-72126-7