

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Vliv stanoviště na pevnost v tlaku dřeva
douglasky tisolisté**

Bakalářská práce

Autor: Jindřich Zelenka

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

2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jindřich Zelenka

Dřevařství
Dřevařství

Název práce

Vliv stanoviště na pevnost v tlaku dřeva douglasky tisolisté

Název anglicky

Impact of Site on Wood Compression Strength of Douglas Fir

Cíle práce

Posoudit především vliv stanoviště na pevnost v tlaku dřeva douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* / MIRBEL / FRANCO) z reprezentativních lokalit České republiky. Zhodnotit i případné další faktory ovlivňující variabilitu pevnosti v tlaku.

Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o dané dřevině a posuzované vlastnosti.
- 2) Odebrat reprezentativní vzorníky z vybraných lokalit.
- 3) Normalizovanými postupy stanovit pevnost dřeva v tlaku.
- 4) Zhodnotit vliv stanoviště, pozice v kmeni, šířky letokruhů a hustoty na zkoumanou vlastnost.
- 5) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

dřevo, douglaska tisolistá, vlastnosti, pevnost v tlaku, 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.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D, KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.
- TSOUMIS, G. Science and technology of wood – structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall, 1991. 497 s.
- WAGENFÜHR, R. Holzatlas. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000. 707 s.
- ZOBEL, B. J., VAN BUITENEN, J. P. Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag. Berlin, 1989. 363 s.
-

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Vlastimil Borůvka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 15. 06. 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv stanoviště na pevnost v tlaku dřeva douglasky tisolisté“ 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 15.6.2020

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za jeho pomoc a poskytnutí cenných odborných rad při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za poskytovanou podporu.

Abstrakt

Tato práce popisuje vliv stanoviště na pevnost v tlaku dřeva u douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirabel) Franco). Vzorky pro výzkum byly odebrány z reprezentativních lokalit České republiky, kterými jsou Polánky, Havlovice a Obora. Byly vytvořeny standardizovanými postupy a vyhodnoceny při vlhkosti dřeva 12 %. Dalšími hodnocenými faktory pro posouzení kvality dřeva u douglasky tisolisté byly horizontální a vertikální poloha ve kmeni, hustota dřeva, orientace světových stran a šířka letokruhů. Podle výsledků bylo zjištěno, že všechny zkoumané proměnné mají na pevnost v tlaku ve směru vláken dřeva vliv s výjimkou orientace světových stran.

Klíčová slova: dřevo, douglaska tisolistá, pevnost v tlaku, variabilita, vlastnosti

Abstract

This thesis describes the impact of habitat on the compressive strength of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirabel) Franco) wood. Samples for research were taken from representative localities of the Czech Republic, specifically Polánky, Havlovice and Obora. They were created by standardized procedures and evaluated at a wood moisture content of 12 %. Other evaluated factors for the quality assessment of Douglas fir wood were a horizontal and vertical position in the trunk, wood density, orientation of the sides of the world and the width of annual rings. According to the results, it was found that all investigated variables have impact on compressive strength parallel to grain of wood, except for the orientation of the sides of the world.

Key words: wood, Douglas fir, compressive strength, variability, properties

Obsah

1. Seznam tabulek a obrázků	8
2. Úvod.....	9
3. Cíl práce.....	10
4. Rozbor problematiky	11
4.1. Douglaska tisolistá – <i>Pseudotsuga menziesii</i>	11
4.1.1. Charakteristika	11
4.1.2. Popis.....	12
4.1.3. Rozšíření	14
4.1.4. Makroskopická stavba.....	15
4.1.5. Mikroskopická stavba	16
4.1.6. Možnosti využití dřeva	17
4.2. Pevnost dřeva	18
4.2.1. Rozdělení pevnosti dřeva	18
4.2.2. Pevnost dřeva v tlaku	19
5. Metodika	23
5.1. Odběrová místa.....	23
5.2. Výroba vzorků	25
5.3. Zpracování vzorků a hodnot.....	25
6. Výsledky a diskuze	27
6.1. Vliv stanoviště.....	27
6.2. Vliv horizontální pozice ve kmeni	29
6.3. Vliv šířky letokruhů.....	31
6.4. Vliv vertikální pozice ve kmeni	32
6.5. Vliv světových stran.....	34
6.6. Vliv hustoty	35
6.7. Porovnání s vybranými domácími dřevinami.....	38
7. Závěr	39
8. Seznam literatury a použitých zdrojů	40

1. Seznam tabulek a obrázků

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Výsledky naměřených hodnot jednotlivých stanovišť	27
Tabulka č. 2 – Porovnání pevnosti v tlaku v závislosti horizontální na vertikální pozici ve kmeni	31
Tabulka č. 3 – Hodnoty tlaku jednotlivých stanovišť v závislosti na světových stranách	35
Tabulka č. 4 – Porovnání pevnosti v tlaku s domácími jehličnany.....	38

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 – Douglaska tisolistá.....	12
Obrázek č. 2 – Detail šišky douglasky tisolisté.....	14
Obrázek č. 3 – Původní místo výskytu douglasky tisolisté.....	15
Obrázek č. 4 – Dřevo douglasky tisolisté.....	16
Obrázek č. 5 – Řezy douglasky tisolisté: a – příčný, b – tangenciální, c – radiální	17
Obrázek č. 6 – Tlak podél vláken.....	20
Obrázek č. 7 – Mapa – lokalita Havlovice	23
Obrázek č. 8 – Mapa – lokalita Polánky	24
Obrázek č. 9 – Mapa – lokalita Obora	24
Obrázek č. 10 – Vliv stanoviště na pevnost v tlaku	29
Obrázek č. 11 – Vliv horizontální pozice ve kmeni na pevnost v tlaku.....	30
Obrázek č. 12 – Šířka letokruhů směrem od dřeně Zdroj: vlastní zpracování.....	32
Obrázek č. 13 – Vliv vertikální pozice ve kmeni na pevnost v tlaku.....	33
Obrázek č. 14 – Vliv světových stran na pevnost v tlaku	34
Obrázek č. 15 – Závislost tlaku na hustotě	36
Obrázek č. 16 – Závislost tlaku na hustotě Polánky 1	36
Obrázek č. 17 – Závislost tlaku na hustotě Polánky 2	37
Obrázek č. 18 – Závislost tlaku na hustotě Havlovice	37

2. Úvod

Dřevo je materiál, který lidé používají od nepaměti a řadí se mezi jedny z prvních, které kdy vůbec začal člověk používat. Jednalo se o nástroje, šperky, stavební materiál, či zdroj tepelné energie. Většina z těchto způsobů použití přetrvala do dnešních dob v různé podobě. Díky technologiím šel vývoj dopředu a mnoho způsobů výroby a použití se změnilo, převážně ve stavebním průmyslu. Dřevostavby jako takové byly vždy hojně využívány, a i dnes se těší velké oblibě veřejnosti. V dnešní době světového obchodu a integrace se v České republice dostává více možností vysazení a využití introdukovaných dřevin.

V českých lesích, kde byly po dlouhou dobu vysazovány často smrkové monokultury, se v dnešní době změny klimatu, vyšších teplot a působení sucha hledají vhodné alternativy. Právě douglaska tisolistá se ukázala jako jedna z perspektivních dřevin. Do Evropy byla dovezena ze západní části Severní Ameriky a ukázala se jako vhodná dřevina díky lepší odolnosti vůči teplotním podmínkám. Dnes se na našem území pěstuje ve větší míře a díky vlastnostem jejího dřeva jí lze využít ve výrobě a dokáže nahradit alespoň část našich domácích dřevin. Aby mohla být lépe využita, je zapotřebí zjistit, jak jí zapojit do lesního ekosystému a pro následné využití zjistit její všechny fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva.

Pevnost v tlaku je jedna z důležitých vlastností nejvíce využitelná při statických výpočtech dřevěných konstrukcí. Pevnost dřeva může být ovlivněna různými vlivy, které mohou výslednou hodnotu diametrálně změnit. Právě těmito problémy se zabývá tato práce ve vztahu k douglasce tisolisté.

3. Cíl práce

Hlavním cílem této práce je posoudit vliv stanoviště na pevnost v tlaku dřeva douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirabel) Franco) z reprezentativních lokalit České republiky, kterými jsou Havlovice, Polánky a Obora. Dalším cílem je zhodnotit i jiné faktory ovlivňující variabilitu pevnosti v tlaku dřeva. Jedná se například o vliv pozice ve kmeni, šířky letokruhů a hustoty dřeva na zkoumanou vlastnost. Na závěr budou výsledky měření statisticky porovnány a zhodnoceny a zároveň srovnány s vybranou literaturou.

4. Rozbor problematiky

4.1. Douglaska tisolistá – *Pseudotsuga menziesii*

4.1.1. Charakteristika

Douglaska tisolistá patří do oddělení rostlin jehličnatých (*Pinophyta*). Jehličnany patří do vývojové skupiny nahosemenných rostlin, to znamená, že nemají květy. Někdy se taky nazývají konifery. Jehličnaté rostliny jsou většinou jednodomé. Jejich rozmnožovací orgány jsou nejčastěji ve tvaru šištice. Listy mají jehlicovité, šupinovité, hladké, nebo zpeřené. Pryskyřičné kanálky jsou v mnoha listech i kmenech (Musil a Hamerník, 2007).

Douglaska patří do řádu Pinales – borovicotvaré, který má jedinou čeleď Pinaceae – borovicovité. To jsou jednodomé dřeviny, které jsou vždyzelené a opadají pouze vzácně. Mají jehlicovité listy ve šroubovici a mají je buď jednotlivě, nebo ve svazečcích (Musil a Hamerník, 2007).

Rod douglaska (*Pseudotsuga*) zahrnuje jednodomé vysoké vždyzelené stromy s průběžným kmenem. Borka je ve stáří obvykle hnědá, velmi silná a rozpraskaná. Světlehnědé pupeny mají zašpičatělý, větvenovitý tvar. Šišky dozrávají na konci první vegetační sezóny, mají vejcovito-válcovitý tvar (Musil a Hamerník, 2007).

Dva až tři druhy douglasky rostou roztroušeně v západní části Severní Ameriky. Další druhy se nachází v jihozápadní Číně, na Tchaj-wanu a v Japonsku. Nejdůležitějším taxonem z lesnického a sadovnického hlediska je Douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*). Dalším méně významným taxonem z hospodářského hlediska je *Pseudotsuga macrocarpa*. Od předchozího taxonu se liší šiškami, které jsou u tohoto rodu mezi douglaskami největší, dosahují deseti až patnácti centimetrů. Nachází se ve Spojených Státech Amerických, u nás pouze výjimečně v dendrologických sbírkách (Musil a Hamerník, 2007).

Douglaska tisolistá dostala svůj latinský název po skotském lékaři, botanikovi a zahradníkovi Archibaldu Menziesovi (1754-1842), (Musil a Hamerník, 2007). Svě jméno douglaska obdržela po skotském botanikovi Davidu Douglasovi, který tento druh objevil v Kanadě (Kremer, 1995).

4.1.2. Popis

Douglaska se řadí mezi vysoké až velmi vysoké stromy. Růst douglasky je poměrně rychlý, v deseti letech dosahuje už výšky 3,6 – 4,6 metrů. Ve věku 20 – 30 let kulminuje výškový přírůst. Kmeny silných, vyspělých jedinců dosahují při bázi v průměru až kolem čtyř metrů. Tyto stromy se dožívají vysokého stáří, v pralesích i 500 až 700 let (Musil a Hamerník, 2007).

Koruna stromu je v porovnání s dosaženou výškou poměrně štíhlá a rovná. Zprvu je kuželovitá a nepřilíh do špičky vybíhající. Ve stáří je zaokrouhlená, nahoře až nepravidelně zploštělá (Musil a Hamerník, 2007).

Obrázek č. 1 – Douglaska tisolistá



Zdroj dostupný z: https://lesy.cz/wp-content/uploads/2016/12/douglaska-02_1.jpg

Větve jsou stejně jako u jedle nebo smrku přeslenité, patrovité, u mladších stromů jsou většinou značně vodorovné. U starších jsou vystoupavé, nebo šikmo vzhůru směřující (Kremer, 1995). Staré stromy mívají přirozeně vyvětvené dlouhé válcovité kmeny (Musil a Hamerník, 2007).

Borka je u mladších stromů poměrně hladká, tmavá až zelenošedá s četnými vodorovně probíhajícími pryskyřičnými puchýřky. U starších stromů je borka hruběji rozpukaná a brázditá, nakonec temně černohnědá, občas také s oranžovými trhlinami (Kremer, 1995). Narůstá do tloušťky 15 – 30 centimetrů (Musil a Hamerník, 2007).

Zpočátku se vyvíjí kůlový kořen, ale brzo převládají silné boční dalekosahající kořeny, které dobře ukotvují nadzemní část. U douglasky se často objevuje srůstání kořenů (Musil a Hamerník, 2007).

Douglaska má měkké a ohebné jehlice asi dva až tři centimetry dlouhé. Jsou poměrně úzké a tenké, na líci jsou brázdité. Mají tmavozelenou, většinou matnou barvu. Na vrcholu jsou jehlice lehce zašpičatělé, na bázi zřetelně řapíkaté. Spirálovitě uspořádané jehlice mají na horní ploše podélnou rýhu. Má dva široké pruhy průduchových řad na spodní straně. Po odtržení zanechávají jehlice vyčnívající polštářovité jizvy (Kremer, 1995). Jehlice vydrží v optimálních podmínkách na větvičce pět až osm let. Jehlice vydávají citrusovou vůni. (Chmelař a Úradníček 1998).

Samčí květy jsou v drobných žlutohnědých šištících vyrůstajících na konci větévek. Samičí šištice jsou zelenavé s červenobílými šupinami. Zralá šiška je podlouhle válcovitá a převislá. Šišky douglasek jsou visící směrem dolů a jsou nerozpadavé. Semenné šupiny jsou velmi široké a okrouhlé. Podpůrné šupiny jsou podlouhlé a rozdělné do tří cípů, které vyčnívají ze šišek. Díky tomu mají šišky douglasek nezaměnitelný vzhled (Kremer, 1995).

Obrázek č. 2 – Detail šišky douglasky tisolisté



Zdroj dostupný z: <https://www.vdberk.co.uk/trees/pseudotsuga-menziesii/>

4.1.3. Rozšíření

Douglaska tisolistá je severoamerická dřevina, po sekvojích nejvyšší severoamerický druh. Nazývá se „monarchou lesů Pacifického severozápadu“ (Musil a Hamerník, 2007). Původně se vyskytovala jen v přímořských pohořích západních oblastí severní Ameriky od Britské Kolumbie po Kalifornii (Kremer, 1995). Nyní je úspěšně introdukována do mnoha lesních oblastí mírného pásu celého světa. Již dlouho se hojně vysazuje v parcích a zahradách a ve značném rozsahu se pěstuje v lesích. V lesích střední a západní Evropy se douglaska osvědčila jako nejčastěji pěstovaná cizí jehličnatá dřevina (Chmelař a Úradníček, 1998).

Obrázek č. 3 – Původní místo výskytu douglasky tisolisté



Zdroj dostupný z: <https://www.thoughtco.com/the-essential-douglas-fir-1342770>

Douglaska se vyskytuje v 0 – 1830 m. n. m. Místo původního výskytu douglasky má přímořské klima s mírnou a vlhkou zimou a chladným, relativně suchým létem, kde jsou srážky soustředěny na zimní měsíce. Nejlépe douglaska roste na hlubokých hlinitých půdách, které jsou dobře zásobeny živinami, jsou propustné a dobře provzdušněné (Musil a Hamerník, 2007).

4.1.4. Makroskopická stavba

Makroskopické znaky dřeva jsou takové, které můžeme rozeznat pouhým okem. Mezi základní znaky patří barva, tvrdost, suky, dřevné paprsky, textura, lesk, či vůně (Balabán, 1955).

Douglaska je jehličnatá dřevina, jejíž dřevo má běl a jádro. Dřevo douglasky je lehké a měkké. Běl je nažloutlá až narůžovělá, jádro je zbarveno do světle hnědé až červenohnědé. Jádrové dřevo douglasky patří ke středně trvanlivým (Vavřík et al., 2010).

Pro stromy pěstované v našich podmínkách jsou charakteristické značně široké letokruhy v prvních letech růstu. Letokruhy jsou s vysokým zastoupením letního dřeva. U douglasky je přechod z jarního dřeva do letního náhlý a ostrý. Pryskyřičné kanálky mohou být pozorovány pouhým okem (Vavřík et al., 2010).

Vrstva letního dřeva je obvykle značně vyvinutá na rozdíl od našich jehličnanů. Na první pohled je dřevo douglasky zaměnitelné se dřevem modřínu. V americké literatuře se dřevo popisuje jako pevné, středně tvrdé a houževnaté. Dobře se strojově opracovává i suší. Proti hnilobám je středně odolné (Zeidler a Bomba, 2015).

Obrázek č. 4 – Dřevo douglasky tisolisté



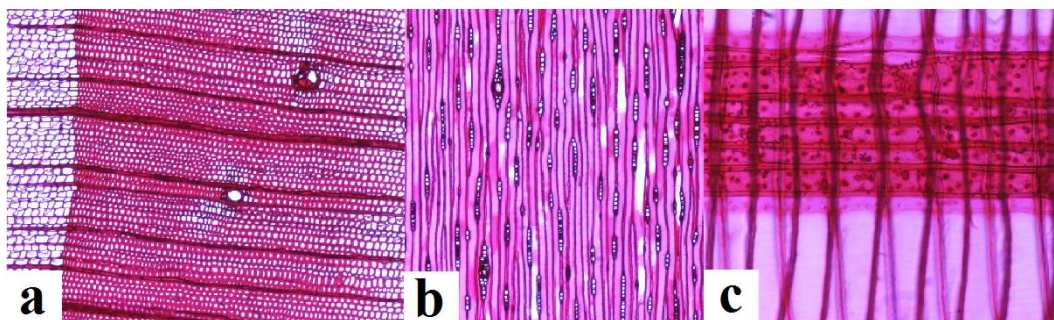
Zdroj dostupný z: Dřevo: *obrazový přehled více než 100 druhů dřev včetně jejich využití*

4.1.5. Mikroskopická stavba

Mikroskopická stavba neboli struktura dřeva je souborem anatomických znaků, které tvoří dřevo. Mikroskopická stavba zkoumá řezy dřevin ve třech základních směrech – příčný, radiální a tangenciální. V příčném řezu lze zkoumat v rámci letokruhů ostrý přechod mezi jarním a letním dřevem, dále jsou zřejmé tlustostěnné malé epitelové buňky vertikálních pryskyřičných kanálků (Šlezingerová a Gandelová, 1999). V radiálním řezu lze vidět piceoidní a taxoioidní typ teček v křížovém poli. V tangenciálním řezu lze zkoumat tlustostěnné malé

epitelové buňky na obvodu pryskyřičných kanálků horizontální a tlustostěnné parenchymatické buňky dřevových paprsků (Šlezingerová a Gandelová, 1999).

Obrázek č. 5 – Řezy douglasky tisolisté: a – příčný, b – tangenciální, c – radiální



Zdroj dostupný z:

http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/atlas_drev/index0f9c.html?sekce=atlas&drevina=DOUGLASKA

4.1.6. Možnosti využití dřeva

Tento druh se používá jako užitkové dříví všeho druhu. Ve dřevozpracujícím průmyslu u nás není plně doceněna z důvodu menšího disponibilního množství této suroviny. V praxi bývá často zpracována na řezivo společně s borovicí, případně modřínem, a to z důvodu makroskopické struktury dřeva, která je vzhledově velmi podobná (Vavrčík et al., 2010). V sadovnictví je velmi ceněná, používá se, jako dekorativní taxon. V oblasti svého původního výskytu je pěstována i na plantážích vánočních stromků (Musil a Hamerník, 2007).

Dřevo douglasky je u nás zpracováváno standardními technologiemi. Pořez kulatiny se provádí za použití běžných nástrojů – pásovou i rámovou technologií. Dřevo se rychle a dobře suší, málo se bortí a praská. Je vhodné na výrobu stavebního i truhlářského řeziva. Dále se z něj vyrábí terasová prkna, podlahové i obkladové palubky, lepené stavební dřevo a podobně. V porovnání s modřínem, se kterým je často zaměňováno, je zpracování jednodušší, díky nižšímu obsahu pryskyřice a nižší tvrdosti. Nevýhodou je však nižší trvanlivost. Díky dlouhému dřevnímu vláknu je vhodnou surovinou pro výrobu papíru. Další možné využití je na výrobu převážně technických dýh, desek a sloupů (Zeidler a Bomba, 2015).

Douglaska je dřevinou introdukovanou, nicméně v hospodářských lesích vykazuje nejvyšší produkci. Ve srovnání se smrkem má řadu výhod. Stav lesních půd ovlivňuje v podstatně menší míře oproti smrku. Ve srovnání s listnatými stromy tvoří méně příznivé humusové formy. Ovlivňuje stav půd méně než domácí jehličnany a náhrada touto dřevinou může přispět k revitalizaci.

Jedná se o kvalitní a všestranně upotřebitelné dřevo. Považuje se za výborný materiál pro výrobu lepených nosníků. Douglaskové dříví je naprosto srovnatelné s dřívím běžných jehličnanů, jako je smrk, borovice, či modřín. Z hlediska zpracování a využití dřeva by částečná substituce smrku douglaskou neměla představovat problém (Podrázský et al., 2016)

4.2. Pevnost dřeva

4.2.1. Rozdělení pevnosti dřeva

Pod pojmem pevnost rozumíme schopnost dřeva odporovat porušení vlivem mechanických zatížení. Hlavním ukazatelem je v tomto případě mez pevnosti, která představuje největší možnou hodnotu zatížení bez toho, aby se struktura tělesa porušila a těleso bylo trvale zničeno (Matovič, 1993).

Podle fyzikální povahy veličin, kterými pevnost definujeme, můžeme rozlišovat tři druhy pevností:

- a) Konvenční pevnost
- b) Skutečnou pevnost
- c) Teoretickou pevnost

Konvenční pevnost je definována jako největší nereálné napětí vyjadřující určitý stav při zatížení. Tato pevnost se vyjádří jako největší možné napětí, které se vztahuje na výchozí prvek zkušebního tělesa. Pro dřevo, z praktického hlediska, však tato pevnost nepřipadá v úvahu (Požgaj, 1993).

Skutečná pevnost je definována aktuálním napětím v okamžiku porušení tělesa. Při jednoosém zatížení se skutečná pevnost vyjádří podílem síly, v momentě porušení materiálu, a původní plochy tělesa (Požgaj, 1993).

Ideální pevnost je teoretická maximální hodnota pevnosti dřeva, které lze dosáhnout s danou dřevinou ve stanovených podmínkách zatěžování. Lze teoreticky vypočítat pevnost každého materiálu z meziatomových vazebných sil. Dřevo je organický materiál, kde jeho chemické složky (lignin, celulóza a hemicelulózy) mají různé druhy vazeb a přibližně 30 % z celkové hmoty představuje amorfni část, takže vypočítat teoretickou pevnost dřeva, je velmi nepravděpodobné (Požgaj, 1993).

Údaje o pevnosti dřeva se získávají pomocí zkoušek, při nichž se musí dodržovat určité podmínky a zkušební postup. Výsledkem jsou pouze veličiny, které závisí od metodiky testování, a aby se tyto vlastnosti mohly navzájem porovnávat, musí se dodržovat určitá dohoda o zkušebních postupech (přesně definované podmínky teploty a vlhkosti) (Požgaj, 1993).

Pevnostní vlastnosti dřeva rozdělujeme podle Matoviče (1993) dle:

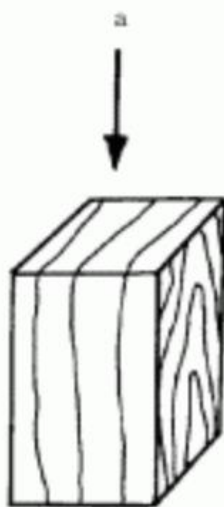
- a) Způsobu zatížení
 - pevnost v tlaku
 - pevnost v tahu
 - pevnost v ohybu
 - pevnost v kroucení
 - pevnost ve smyku
- b) Časového průběhu zátěžové síly
 - statické
 - dynamické

4.2.2. Pevnost dřeva v tlaku

S ohledem na to, že dřevo je anizotropní materiál rozdělujeme pevnost v tlaku podle Matoviče (1993):

- 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

Obrázek č. 6 – Tlak podél vláken



Zdroj dostupný z: <https://ivelan.ru/cs/types-of-slices-of-wood-wood-the-main-properties-of-wood/>

a) Pevnost v tlaku podél vláken

Pevnost dřeva podél vláken a velikost deformace pro jehličnaté dřeviny závisí především na vzájemném spojení tracheid v mikroskopické stavbě. Kromě vzájemného spojení vláken rozhoduje i pevnost samotných, převážně letních, tracheid. Zjednodušený model zatíženého dřeva si lze představit jako konstrukci skládající se ze svazků trubiček navzájem pospojovaných mezibuněčnou stěnou. V jehličnatých a kruhovitě pórovitých listnatých dřevinách se pravidelně střídají vrstvy trubiček se širšími a tenčími stěnami různých průměrů. U roztroušeně pórovitých dřevin bývají trubičky tenčí s většími průměry. Rozmístěny jsou rovnoměrněji mezi tlustostěnné trubičky. Tyto útvary jsou narušovány pouze dřevnými paprsky, které probíhají kolmo na ně. Předpokládáme, že napětí vzniklé působením vnějších sil převážně přenášejí v jehličnatých dřevinách letní tracheidy, kdežto u listnatých dřevin libriformní vlákna (Požgaj, 1993).

V buněčných stěnách přenášejí napětí makromolekuly celulózy, mezi kterými je uložen i lignin a hemicelulózy. Právě lignin má významný podíl na tlakové pevnosti. Za nejslabší se považují amorfnní místa v buněčné stěně, která se pravděpodobně nejvíc deformují při vnějším zatížení.

Pevnost v tlaku podél vláken se pro dřeviny v našich podmínkách pohybuje při vlhkosti 12 % v rozpětí od 30 do 70 MPa (Matovič 1993).

Přepočet vlhkosti na hodnotu 12 % se vypočítá podle vztahu

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

Kde:

w – vlhkost dřeva v době zkoušení

σ_w – pevnost dřeva při vlhkosti *w*

α – opravný koeficient = 0,04

Maximálních hodnot dosahuje dřevo akátu, dubu či habru, nejnižší pak dřevo topolu a olše. Mez úměrnosti v tlaku podél vláken je přibližně $\frac{1}{2} * \sigma_p$. S tímto podílem můžeme počítat jak pro listnaté, tak pro jehličnaté dřeviny, přestože jehličnaté dřeviny mají tuto mez obecně vyšší díky pravidelnější stavbě. Nejméně pravidelnou strukturu dřeva mají tvrdé listnáče, a tudíž i nejnižší mez úměrnosti (Zkoušení stavebních hmot a výrobků, 2010)

Mez pevnosti se vypočítá podle vztahu $\sigma_p = \frac{F_{max}}{a*b}$

Kde:

F_{max} – síla na mezi pevnosti

a, b – příčné rozměry tělesa

b) Pevnost v tlaku kolmo na vlákna

Při působení napětí v tomto směru je deformace odlišná díky střídání jarního a letního dřeva či dřeňovým paprskům. Dřevo se obvykle neporuší oddělením jednotlivých částí, ale postupně se zhušťuje a deformuje, díky čemuž se nedá přesně určit mez pevnosti σ_p , ale po stlačení domluvené hloubky se dá stanovit mez úměrnosti $\sigma_{\dot{u}}$ (Požgaj, 1993).

Kruhovitě pórovité dřeviny a jehličnany mají při tlaku kolmo na vlákna zřetelný dvoufázový průběh diagramu závislosti napětí na deformaci. První fáze

diagramu odráží převážně mechanický stav jarního dřeva, zatímco druhá část je o porušování struktury buněčných stěn a trvalé deformaci (Požgaj, 1993).

Při působení tlaku v radiálním směru se nejprve stlačí letní dřevo obsahující tenkostěnné tracheidy, až na konci druhé fáze probíhá zatížení na úkor všech ročních přírůstků. Naopak při zatížení v tangenciálním směru se deformují buňky letního i jarního dřeva současně i přesto, že buňky letního dřeva přenášejí větší část napětí. Dřeviny s mnoha dřeňovými paprsky nebo širokými dřeňovými paprsky mají vyšší mez úměrnosti σ_{\perp} v radiálním tlaku. U ostatních listnatých dřevin není významný rozdíl v mezi úměrnosti mezi tangenciálním a radiálním působením tlaku (Požgaj, 1993).

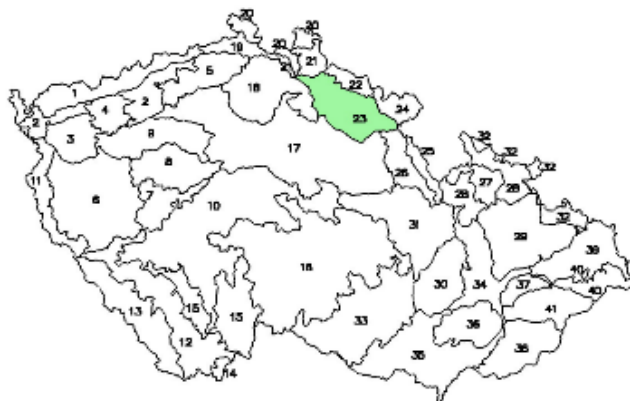
5. Metodika

5.1. Odběrová místa

Pro tuto práci byly použity vzorky, které byly vyrobeny ze vzrostlých stromů z různých míst v České republice. Odběrovými lokalitami byly Havlovice (PLO 23), Polánky (PLO 17) a Obora (PLO 26) ve spolupráci s útvarem VÚLHM (Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti). Z lokalit Polánky a Obora byly odebrány vzorníky z dvou různých míst. Těžba probíhala ke koci roku 2016 a poté v roce 2017. Věk stromů byl v rozmezí mezi dvaceti až padesáti lety.

Lokalita Havlovice spadá do přírodní lesní oblasti 23 – Podkrkonoší. Spadají sem jak nížinné oblasti kolem řeky Labe, tak i pahorkatiny na severu. Podnebí je spíše chladnější (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 1998).

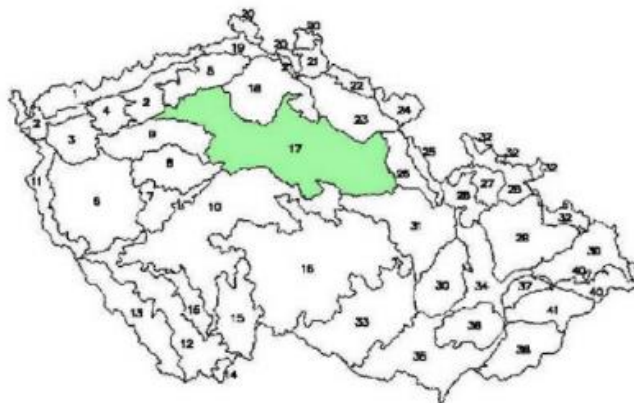
Obrázek č. 7 – Mapa – lokalita Havlovice



Zdroj dostupný z: <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo/181-prirodni-lesni-oblast-c-23-podkrkonosi>

Lokalita Polánky patří do přírodní lesní oblasti 17 – Polabí, která je svou rozlohou jednou z největších v České republice. Z těchto lokalit má nejnižší průměrnou nadmořskou výšku, a proto má také nejteplejší podnebí. Vzorky zde byly odebrány ze dvou oblastí (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 2001).

Obrázek č. 8 – Mapa – lokalita Polánky



Zdroj dostupný z: <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo/175-prirodni-lesni-oblast-c-17-polabi>

Lokalita Obora je součástí přírodní lesní oblasti 26 – Předhoří Orlických hor. Podnebí je zde velmi podobné PLO 23. Vzorníky byly odebrány ze dvou různých areálů. Jeden ze stromů byl starý kolem 48 let, což je v průměru dvakrát více, než byly ostatní stromy (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 2000).

Obrázek č. 9 – Mapa – lokalita Obora



Zdroj dostupný z: <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo/184-prirodni-lesni-oblast-c-26-predhori-orlickych-hor>

5.2. Výroba vzorků

Těžba v jednotlivých lokalitách začínala nejprve označením severních částí stromu, aby při budoucím zpracování nedošlo k záměně. Ze surového kmenu byly odděleny části s délkou kolem 130 cm označeny písmeny „a“ (oddenková část) až „d“ (60 % výšky stromu). Oddenkové části tvořily přibližně dvě třetiny vzorků a naopak výřezy, které byly umístěné nejvýše ve vertikální pozici stromu tvořily méně jak desetinu procenta.

Tyto výřezy byly převezeny do prostor Fakulty lesnické a dřevařské, kde byly uskladněny, poté rozřezány ve směru vláken na jednotlivé fošny, a nakonec proloženy a uskladněny do zastřešeného skladu, aby mohly přirozeně vysychat pomocí okolního prostředí. Účelem sušení bylo snížit relativní vlhkost dřeva co nejbližší požadované vlhkosti, jak pro budoucí vzorky, aby měly co nejpřesnější tvar a neměnily rozměry po klimatizaci přímo před danou zkouškou, tak pro obráběcí stroje, kterými se z řeziva snáze vyrábí požadovaná tělesa. Jako další krok bylo potřeba pomocí tloušťkovací frézky dosáhnout požadované tloušťky budoucího vzorku. Podstatnou pro výrobu vzorků byla vždy fošna ze středu kmene, která obsahovala dřeň, tudíž pomyslný vertikální střed kmenu. Po vyříznutí dřeně vznikly vždy dvě fošny, severní a jižní. Následně byly rozřezány na jednotlivé latě a očíslovány vzestupně od středu. Číslem 1 tak byla označena lať, která ležela nejbližší vyříznuté dřeni a nejvyšší číslo bylo určeno šířkou kmene. Číslování proběhlo symetricky pro severní i jižní část, což bylo využito při posuzování daných vlastností v horizontálním směru. Latě poté byly zkráceny na danou délku, čímž vzniknuly vzorky o velikosti 20 x 20 x 30 mm. Vzorky, které měly viditelné vady, byly přetříděny a nebyly zahrnuty do dalšího testování.

5.3. Zpracování vzorků a hodnot

Vzorky byly podrobeny zkoušce na tlak se směru vláken, která splňovala podmínky dle normy ČSN 49 0110. Nejdříve musely být vzorky klimatizovány v klimatizační místnosti při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 %, aby dosáhly relativní vlhkosti přesně 12 % stejně jako stanovuje norma a výsledky mohly být porovnány s ostatní literaturou.

Vzorec pro výpočet hustoty:

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} [kg * m^{-3}]$$

Kde:

m₁₂ – hmotnost tělesa v kilogramech při vlhkosti 12 %

V₁₂ – objem tělesa v m³ při vlhkosti 12 %

Mez pevnosti se vypočítá podle vztahu:

$$\sigma_p = \frac{F_{max}}{a * b} [MPa]$$

Kde:

F_{max} je síla na mezi pevnosti

a, b jsou příčné rozměry tělesa

Ke zpracování naměřených hodnot byl použit nejprve program Microsoft Excel, ve kterém se hodnoty zaznamenávaly a poté se v něm prováděly základní výpočty. K vyhodnocování dat a výrobě grafů byl použit program Statistica. Všechny statistické analýzy byly vyhodnocovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

6. Výsledky a diskuze

6.1. Vliv stanoviště

Výsledné hodnoty je vidět v tabulce č.1. Průměrná hodnota pevnosti v tlaku pro všech 805 vzorků byla vypočtena na 40,4 MPa. Jednotlivá odběrová místa pak dosahovala vzestupně hodnot 37,1 MPa pro stanoviště Havlovice, 41,5 MPa pro stanoviště Obora. Nejvyšší z hodnot byla naměřena pro lokalitu Polánky, kde dosáhla 44,1 MPa.

V tabulce lze také vidět, že jednotlivé rozdíly nebyly jen mezi samostatnými stanovišti, ale záleželo také na konkrétním odběrovém místě. Pro stanoviště Obora byly naměřeny průměrné hodnoty z jednoho odběrového místa o 2,7 MPa nižší než z místa druhého. Maximální hodnoty byly sice na obou místech podobné, avšak na druhém odběrovém místě jsou výrazně vyšší minimální hodnoty a jsou i méně početně zastoupené, což můžeme pozorovat pomocí mediánu na obrázku č. 10. Tento trend však neplatí pro stanoviště Polánky, kde byly obě průměrné hodnoty v podstatě totožné. Jedna z možností, která mohla zapříčinit tento rozdíl je věková struktura odebraného stromu. Zatímco v lokalitě Polánky dosahovaly stromy podobného věku, v lokalitě Obora 2 byl strom starý více jak dvojnásobně.

Tabulka č. 1 – Výsledky naměřených hodnot jednotlivých stanovišť

Lokalita	Počet vzorků	Průměrný tlak (MPa)	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
Havlovice	320	37.1	5.05	13.6
Obora 1	49	39.2	8.65	22.1
Obora 2	242	41.9	5.68	13.6
Polánky 1	65	44.1	7.18	16.3
Polánky 2	129	44.1	6.23	14.1
Celkem	805	40.4	6.56	16.3

Zdroj: vlastní zpracování

Obecně lze říci, že naměřené vzorky v této práci v porovnání s vybranou literaturou, která udává hodnoty průměrného tlaku od 42,1 do 55 MPa, měly celkově menší průměrnou hodnotu a to 40,4 MPa.

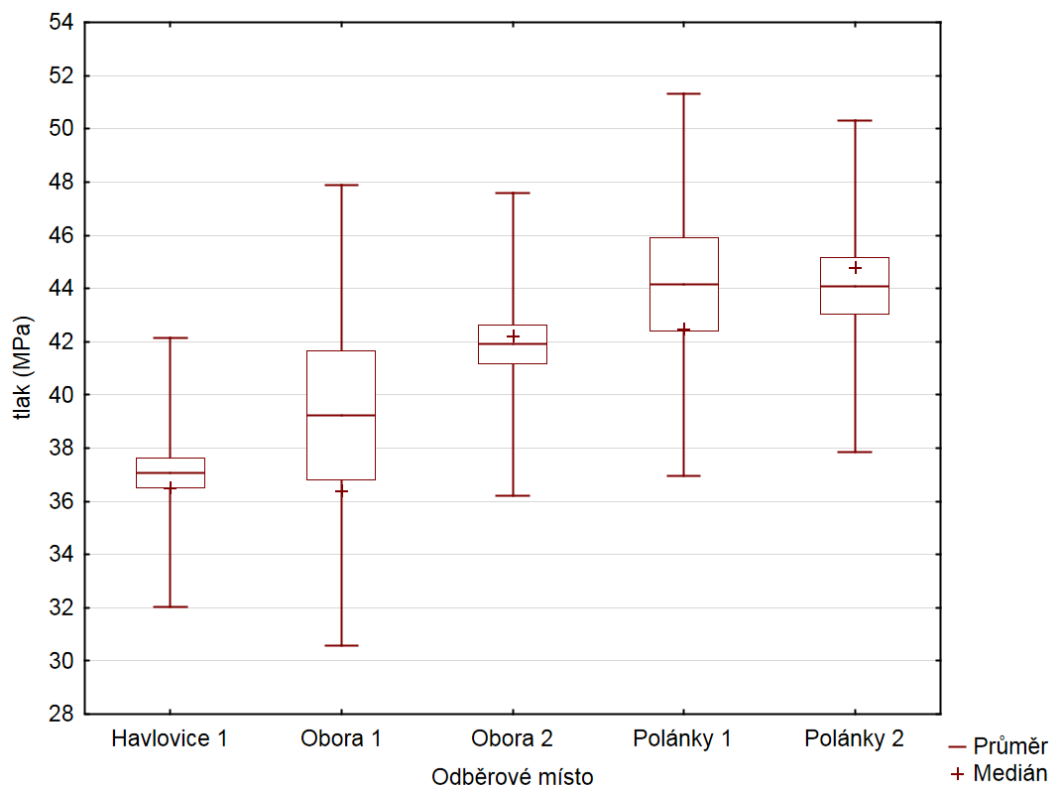
Nejnižší naměřené hodnoty byly na stanovišti Havlovice, kde průměrný tlak dosahoval hodnot 37,1 MPa, což se nejvíce blíží k naměřeným hodnotám 42,1 MPa, které uvádí Remeš a Zeidler (2014) se vzorky z České republiky. Kdybychom počítali se směrodatnou odchylkou $\pm 7,5$ MPa, kterou uvádějí, daná hodnota ze stanoviště Havlovice by byla v normě.

Stanoviště Obora 2 vykazuje průměrný tlak 41,9 MPa, který nejvíce odpovídá hodnotám, které naměřil Alden (1997). Ve vnitrozemí více na jihu (státy Nevada, Utah, Colorado) byla naměřena hodnota 43,0 MPa.

Nejvyšší průměrné hodnoty pak dosahují lokality Polánky 1 a Polánky 2, kde vyšla shodná hodnota 44,1 MPa. Ty se nejvíce shodují s hodnotou 47,5 MPa (po přepočítání z vlhkosti 15 %), kterou naměřili v Nizozemsku autoři Polman a Militz (1995). Alden (1997), který zohledňoval stanoviště odběru, udává jako další hodnoty 47,6 MPa pro severní část vnitrozemí (státy Montana, Idaho, Wyoming) a 49,8 MPa pro pobřežní část západu USA ve státech Oregon a Washington. S touto hodnotou se shoduje také Pollet et al. (2017), jež uvádí hodnotu 49 MPa. Všechny tyto hodnoty by se daly brát v úvahu pro obě lokality Polánek, kdybychom směrodatnou odchylku 6,23, resp. 7,18 počítali jako kladnou. Benoit (2008), který udává hodnotu 55 MPa na vzorcích naměřených v Evropě, se odlišuje od naměřených výsledků v této práci až o 10 MPa.

Z výpočtů vyplývá, že lokalita, ve které je douglaska pěstována, má vliv na pevnost v tlaku. Dřevo stromů pěstovaných v našich podmínkách nedosahuje takových hodnot jako v ostatních zemích.

Obrázek č. 10 – Vliv stanoviště na pevnost v tlaku



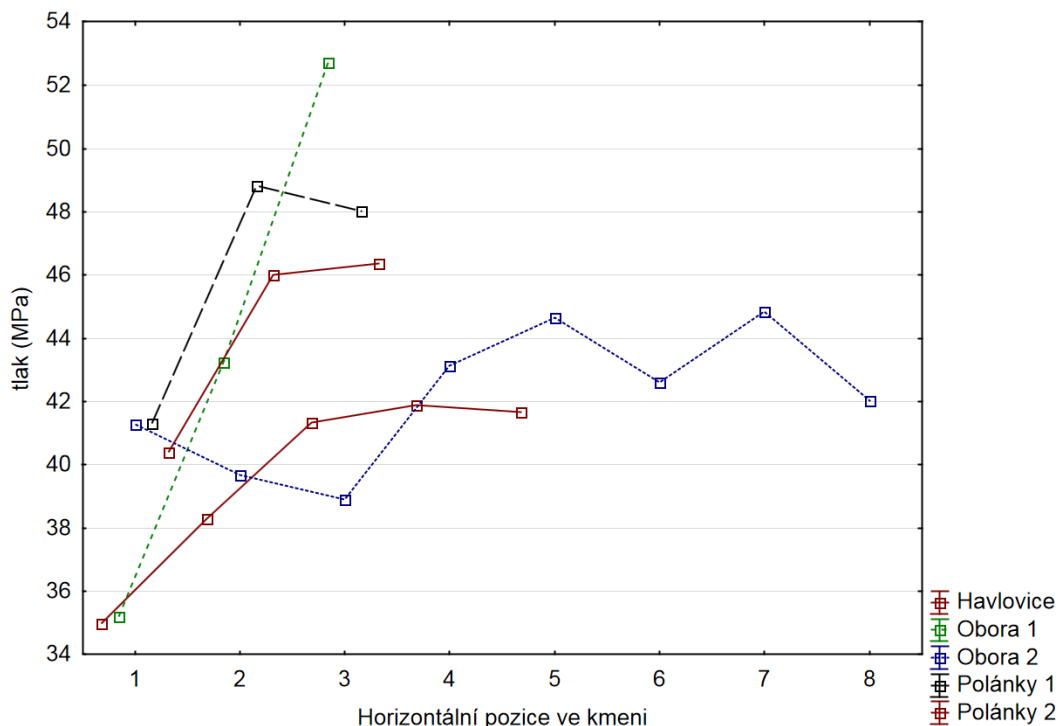
Zdroj: vlastní zpracování

6.2. Vliv horizontální pozice ve kmeni

Na obrázku č. 11 je pozice 1 nejbliže dřeni a poslední naměřená pozice je nejbliže k borce. Lze vidět, že u mladších stromů okolo 20 let je tento nárůst strmější. Nejvíce je tento nárůst vidět u vzorků z Obory 1, kde je v podstatě lineární od 1. pozice a dosahuje hodnot od 35,2 MPa do pozice 3 s hodnotou 52,7 MPa.

Naopak vzorky staršího stromu z Obory 2 vykazují odlišný průběh grafu. Z pozice 1 s hodnotou 41,3 MPa tlak mírně klesá až do pozice 3 s hodnotu 38,9 MPa, kde začne stoupat a převyší počáteční hodnotu ze středu stromu. Okrajové hodnoty šest až osm střídavě stoupají a klesají v minimálním rozmezí. Původní pokles u středu může být způsoben například stářím stromu.

Obrázek č. 11 – Vliv horizontální pozice ve kmeni na pevnost v tlaku



Zdroj: vlastní zpracování

Díky vzorkům z lokality Havlovice lze porovnat závislost tlaku od středu směrem k borce v jednotlivých vertikálních pozicích stromu. V tabulce č. 2 lze vidět, že hodnoty poblíž středu jsou nejmenší a s přibližováním k borce se zvedají až do pozice 4 neohledně na vertikální umístění v kmeni.

Při porovnání tlaku a horizontální pozice ve kmeni bylo zjištěno, že u většiny vzorků tlak prudce narůstá směrem k borce, a tudíž je na horizontální pozici ve stromu závislý.

Tabulka č. 2 – Porovnání pevnosti v tlaku v závislosti horizontální na vertikální pozici ve kmeni

Vertikální pozice	Pozice 1 (MPa)	Pozice 2 (MPa)	Pozice 3 (MPa)	Pozice 4 (MPa)	Pozice 5 (MPa)
A	32.1	35.6	41.5	41.9	41.7
B	31.9	34.9	41.0	-	-
C	31.8	34.1	40.5	-	-
D	31.7	33.7	40.0	-	-

Zdroj: vlastní zpracování

Že se pevnost v tlaku směrem od středu stromu k borce zvyšuje, potvrdil i Jelonek et al. (2009). Tento trend popsal ve svém výzkumu modřínu opadavého, kde nejvyšší hodnoty tlaku naměřil poblíž kůry.

Lukášek (2012) ve své práci uvedl stoupající trend ve všech horizontálních pozicích od dřene směrem ke kambiu pro jedli obrovskou. Kde rozdíly mezi první a poslední pozicí jsou více jak 15 MPa.

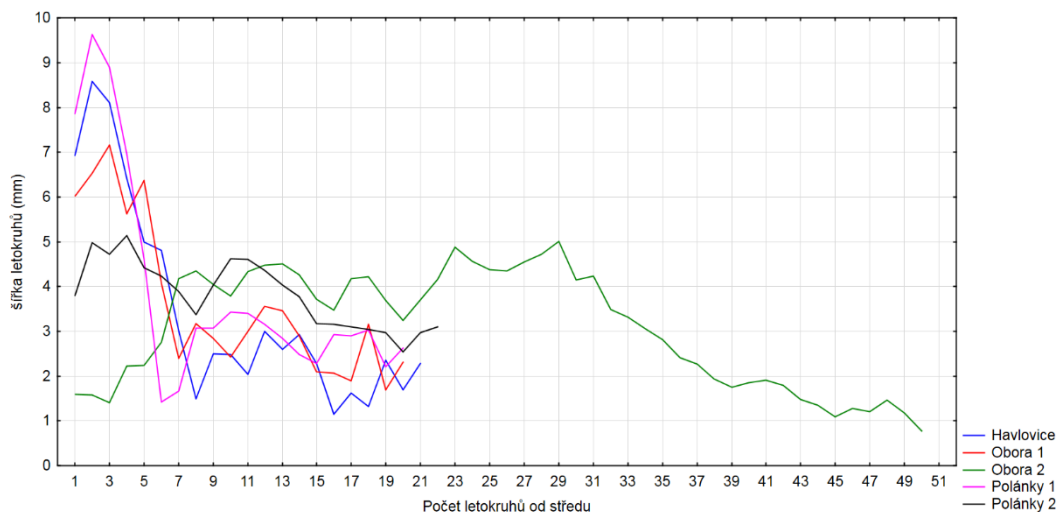
6.3. Vliv šířky letokruhů

Šířky jednotlivých letokruhů jsou zobrazeny na obrázku č. 12, kde lze pozorovat odlišné průběhy růstu. V lokalitě Obora 2, kde byly nejstarší stromy, byly naměřeny hodnoty povětšinou stoupající do 29. roku stromu a nepřesahují 5 mm šířky. Od 29. roku začínají pomalu klesat. Ostatní lokality vykazují odlišný průběh. Šířky letokruhů začínají na hodnotách až 8 mm a v nejbližších letech prudce klesají až na šířku několika milimetrů.

Požgaj et al. (1993) konstatuje, že ve většině neudržovaných porostů šířka letokruhů klesá a případná nerovnoměrná šířka letokruhů může ovlivnit fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. S tímto tvrzením souhlasí i Niemz (1993), který doplňuje, že s vyšším podílem letního dřeva roste hlavně hustota, ale i pevnost dřeva. Kollman (1951) dodává, že s narůstajícím věkem stromu klesá podíl jarního dřeva a v letokruhu procentuálně přibývá více dřeva letního. Hodnoty z lokalit, ze

kterých byly odebrány stromy s věkem kolem 20 let, odpovídají tvrzení Vavříčka et al. (2010), který píše, že stromy pěstované v našich podmínkách mají v prvních letech růstů výrazně vyšší letokruhy.

Obrázek č. 12 – Šířka letokruhů směrem od dřevě



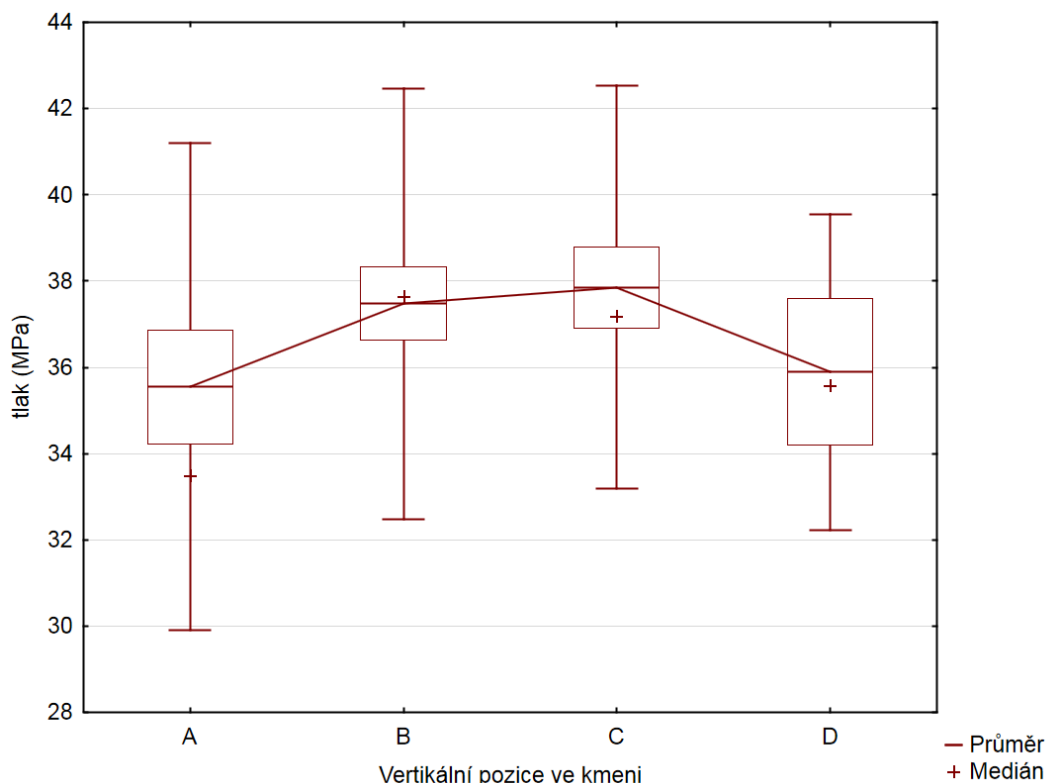
Zdroj: vlastní zpracování

6.4. Vliv vertikální pozice ve kmeni

Závislost tlaku na vertikální pozici ve kmenu se dala měřit pouze u vzorků ze stanoviště Havlovice, protože pouze na tomto stanovišti byly odebrány vzorky z jiných částí stromu než z oddenkových. Na obrázku č. 13 můžeme vidět prvotní rostoucí tendenci od oddenkové části 35,5 MPa až do výšky 40 % 37,9 MPa stromu. Poslední měřená část, ve výšce 60 % stromu, však v tomto nárůstu nepokračuje, a klesá na hodnotu podobné v oddenkové části 35,9 MPa.

Může to být zaviněno menším množstvím vzorků pouze z jedné lokality a nelze potvrdit, jestli by těchto výsledků bylo dosaženo při odběru vzorků s vertikální variabilitou i z jiných stanovišť.

Obrázek č. 13 – Vliv vertikální pozice ve kmeni na pevnost v tlaku



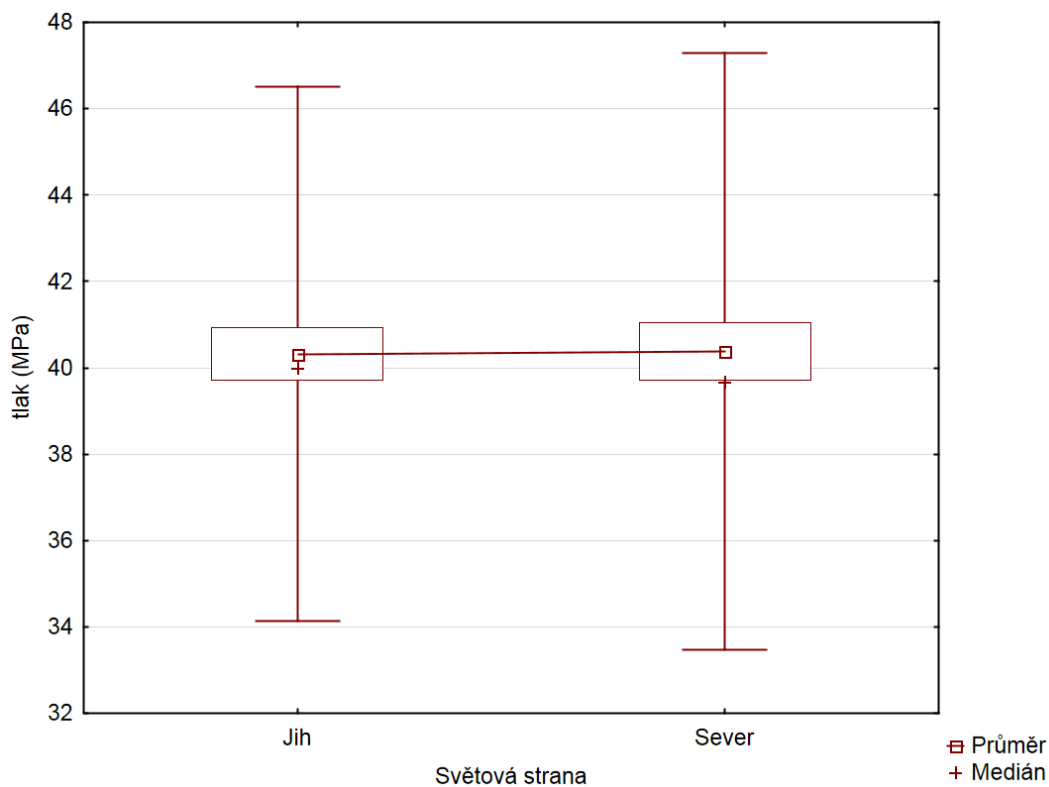
Zdroj: vlastní zpracování

Závislost tlaku na vertikální pozici prezentuje ve své publikaci Horáček et al. (2017), který provedl výzkum na smrku ztepilém a určoval tlak v různých vertikálních polohách až do výšky 28 m. Jeho výsledkem byl zprvu podobný průběh, kde se od oddenkové části směrem vzhůru tlak zvyšuje, ve střední části stromu se nemění a navyšování tlaku pokračuje až ve výšce větší 20 m. Zde nutno podotknout, že výzkum se zaměřoval na stromy až několikanásobně starší, než jsou vzorky v této práci. Vliv vertikální pozice testoval i Langum et. al. (2009) v západní části Washingtonu na douglasce tisolisté. Zjistil, že hodnoty se směrem vzhůru ve kmeni zvyšují, středová a vrchní část stromu dosahují nejvyšších hodnot.

6.5. Vliv světových stran

Na obrázku č. 14 lze pozorovat, že závislost pevnosti na růstu dřeva dle světových stran je v podstatě nulová. Rozdíly hodnot jsou v jednotkách setin. Na jednotlivých stanovištích byly rozdíly nejvýše v jednotkách MPa a nevyskytnula se ani jedna větší odchylka, která by měla udávat, že severní, nebo jižní dřevo stromu by mělo mít vyšší pevnost v tlaku podél vláken než druhé. Naměřené hodnoty z jednotlivých stanovišť jsou v tabulce č. 3.

Obrázek č. 14 – Vliv světových stran na pevnost v tlaku



Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka č. 3 – Hodnoty tlaku jednotlivých stanovišť v závislosti na světových stranách

Lokalita	tlak na severní straně (MPa)	tlak na jižní straně (MPa)
Havlovice	36.3	37.8
Obora 1	44.4	36.5
Obora 2	42.1	41.7
Polánky 1	45.8	42.6
Polánky 2	44.3	43.9

Zdroj: vlastní zpracování

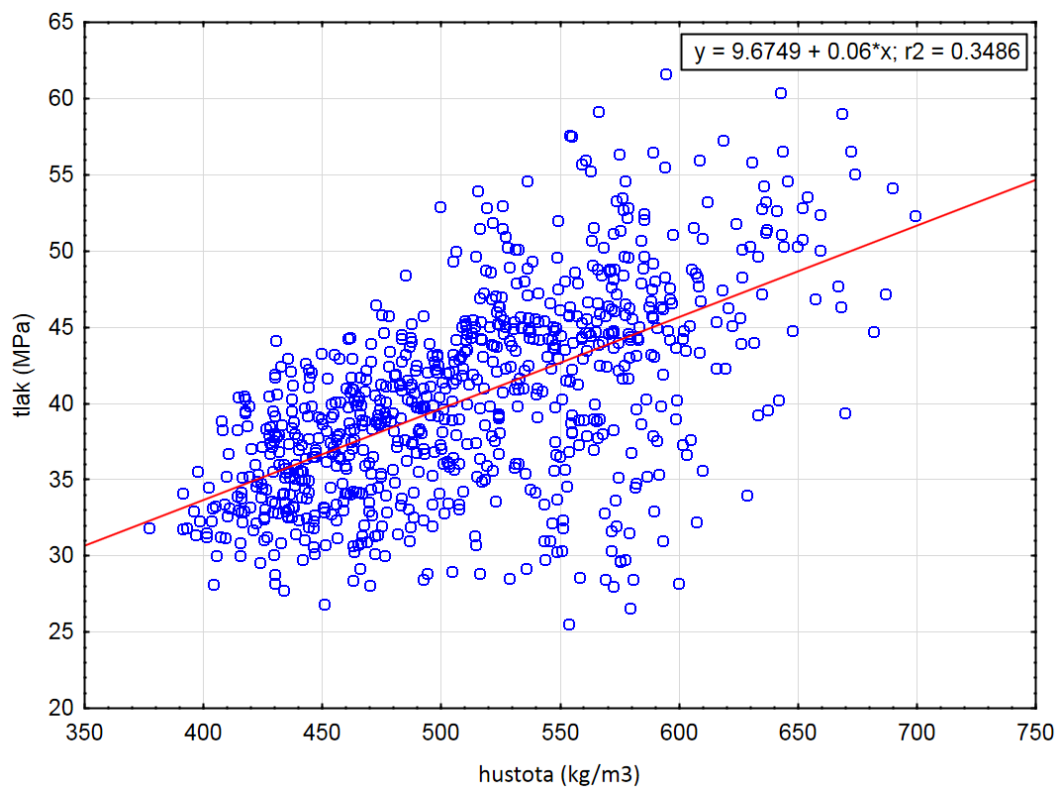
Stejně tak popisuje hlavní směry Kloiber et al. (2013) pro smrk, jedli i borovici. Potvrzuje ve svém výzkumu, že všechny 4 světové strany měli velice podobné výsledky a není mezi nimi statistická odchylka. Tuto závislost nepotvrzuje ani Lukášek (2012).

Také Jelonek et al. (2009) nepřikládá severní, nebo jižní straně žádný význam. Rozdíly pozoruje pouze u jádrového a bělového dřeva, které nemusí být vždy na obou stranách symetrické.

6.6. Vliv hustoty

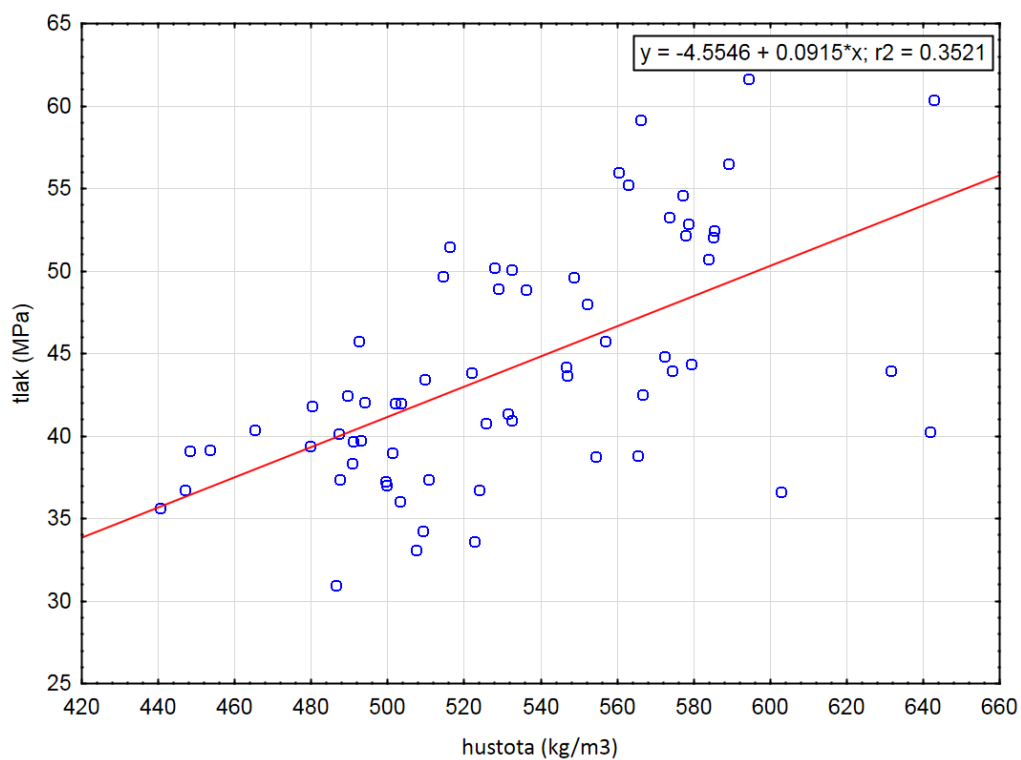
Na obrázku č. 15 je znázorněna korelace tlaku a hustoty. Pozitivní korelaci vykazovaly vzorky všech lokalit nehledě na stáří, či šířku stromu. Největší závislost vykazovaly vzorky z lokalit Polánky 1 a Polánky 2 s koeficientem determinace 0,35 (obrázky č. 16, 17), minimální pak vzorky z oblasti Havlovice (obrázek č. 18), kde se koeficient determinace dostal pod hodnotu 0,1.

Obrázek č. 15 – Závislost tlaku na hustotě



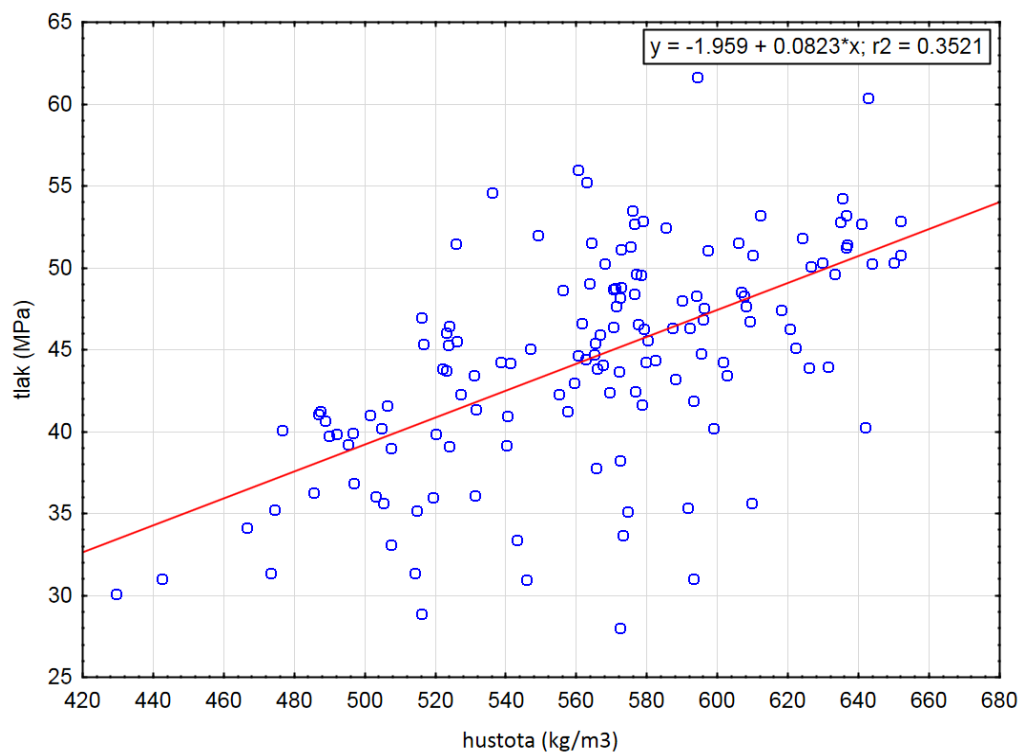
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek č. 16 – Závislost tlaku na hustotě Polánky 1



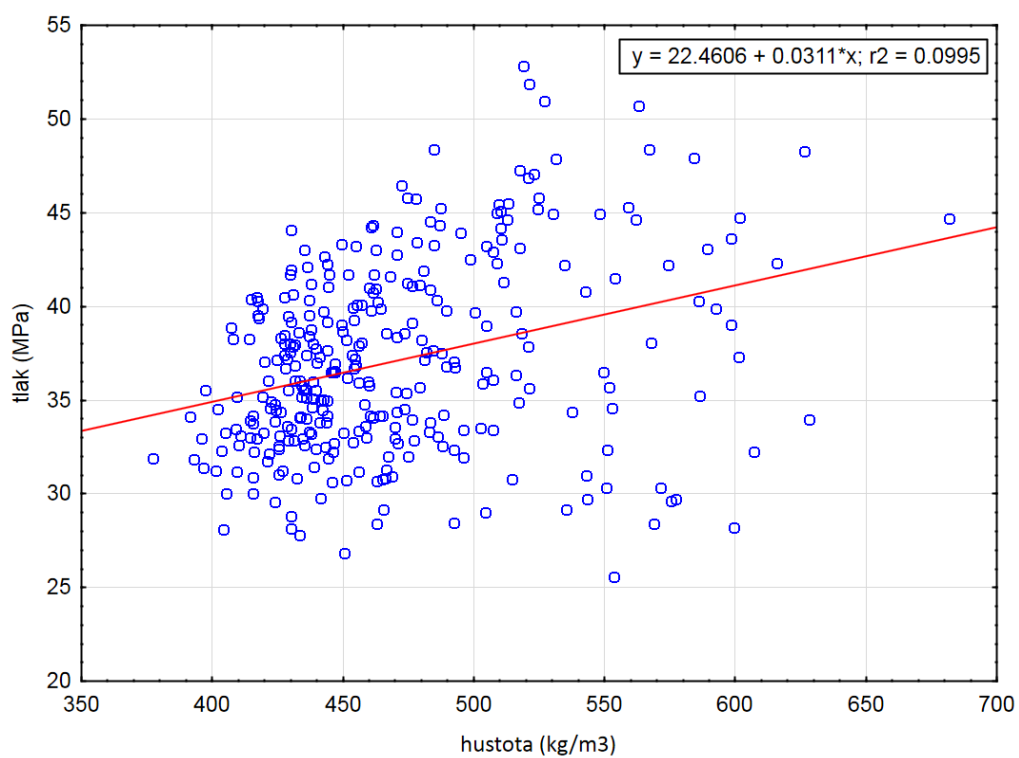
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek č. 17 – Závislost tlaku na hustotě Polánky 2



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek č. 18 – Závislost tlaku na hustotě Havlovice



Zdroj: vlastní zpracování

Literatura většinou uvádí že hustota dřeva je jeden z nejlepších ukazatelů pevnosti. Také Lukášek (2012) udává, že hustota patří mezi nejvýraznější faktory ovlivňující pevnost v tlaku podél vláken. Vliv hustoty na tlak potvrdil ve své práci Horáček et al. (2017) u smrku ztepilého v České republice, Matovič (1993) či Pearson a Gilmore (1980). Remeš a Zeidler (2014) uvádějí koeficient determinace 0,33 a 0,43 pro pevnost v tlaku podél vláken.

Vliv hustoty dřeva na pevnost v tlaku podél vláken byl prokázán. Větší hustota značí více dřevní tkáň, která obecně zvyšuje pevnost dřeva.

6.7. Porovnání s vybranými domácími dřevinami

Porovnání tlaku s vybranými jehličnany pěstovanými v České republice lze vidět v tabulce č. 4. Průměrná naměřená pevnost v tlaku podél vláken ze všech lokalit v této práci byla $40,4 \pm 6,6$ MPa. Tato pevnost spadá mezi hodnoty, které uvedl Požgaj et al. (1993) a v rámci odchylky je srovnatelná se smrkem, jedlí a modřínem. Douglaska však nedosahuje hodnot naměřených pro borovici lesní 50 MPa. Při porovnání s hodnotami, které udává Wagenführ (2000) však douglaska zaostává nehledě na porovnávaný druh stromu.

V prvním případě by mohla být douglaska dobrou, při nejmenším, částečnou náhradou za některé domácí dřeviny, vyjma borovice lesní, které se však nejvíce svým vzhledem podobá a běžný člověk by je mohl vzájemně zaměnit. Naopak v druhém případě svojí pevností neodpovídá ani jedné z námi vybraných dřevin a její použitelnost by v tomto směru pravděpodobně byla více omezená. Pořád se dá ale považovat za vhodný doplněk do českých porostů.

Tabulka č. 4 – Porovnání pevnosti v tlaku s domácími jehličnany

Jehličnan	Pevnost v tlaku (MPa)	
Douglaska tisolistá	40	40
Smrk ztepilý	34 ⁽¹⁾	50 ⁽²⁾
Jedle bělokorá	39 ⁽¹⁾	47 ⁽²⁾
Borovice lesní	50 ⁽¹⁾	55 ⁽²⁾
Modřín opadavý	38 ⁽¹⁾	55 ⁽²⁾

Zdroj: vlastní zpracování dle 1) Požgaj et al. (1993); 2) Wagenführ (2000)

7. Závěr

Cílem této práce bylo posoudit vliv stanoviště na pevnost v tlaku dřeva douglasky tisolisté z lokalit Havlovice, Obora a Polánky a zhodnotit další faktory ovlivňující variabilitu pevnosti v tlaku.

Průměrná pevnost v tlaku všech porostů dohromady dosáhla hodnoty 40,4 MPa. Tím se řadí na nejnižší příčku v porovnání s literaturou, kde autoři udávají hodnoty od 42,1 MPa do 55 MPa. Jednotlivá stanoviště pak udávají rozdílné výsledky. Nejmenší hodnotu vykazují Havlovice 37,1 MPa, největší hodnotu pak stanoviště Polánky 44,1 MPa, což potvrzuje vliv stanoviště na pevnost v tlaku.

Dalším posuzovaným faktorem byla pevnost v tlaku v závislosti na horizontální pozici ve kmeni. Pro všechny mladší stromy ve věku kolem 20 let byla závislost prokázána. Pozici nejbliž dření byla naměřena nejmenší hodnota, která se směrem k borce navyšovala. Nejprudší nárůst hodnot zaznamenaly vzorky z Obory 1, kde pozice 1 a 3 ve kmeni dosahuje rozdílu 17,5 MPa. Jediné stanoviště Obora 2, ze kterého byly odebrány stromy ve věku kolem 50 let, vykazuje odlišný průběh grafu, kdy hodnoty klesají až do pozice 3, teprve pak narůstají. Porovnání tlaku v jednotlivých horizontálních pozicích s šířkou letokruhů může ukazovat na nepřímou závislost, tedy že tlak klesá s větší šířkou letokruhů.

Na stanovišti Havlovice mohla být posouzena, díky odebraným vzorkům, vertikální pozice ve kmeni ve vztahu k tlaku. Hodnoty narůstaly od oddenkové části až do 40 % výšky stromu, kde byla naměřena nejvyšší pevnost v tlaku. V 60 % výšky stromu byl naměřen pokles, který se již neshoduje s literaturou, což může být způsobenou menším počtem vzorků.

Poslední posuzovaný faktor byla pozice ve kmeni podle orientace světových stran. Rozdíl průměrů mezi severními a jižními vzorky byl menší, jak 0,1 MPa, takže závislost nebyla potvrzena. Na stejném výsledku se shodli i vybraní autoři.

Při porovnání pevnosti v tlaku douglasky tisolisté s vybranými domácími jehličnany vykazovala douglaska v jednom případě hodnoty srovnatelné a v druhém případě hodnoty nižší, než udává literatura. Z hlediska pevnosti v tlaku by se mohla douglaska stát zajímavým doplňkem, popř. částečnou náhražkou našich domácích dřevin s možným omezeným použitím ve dřevařském průmyslu. Důležité jsou však i její další fyzikální a mechanické vlastnosti, které by mohly naopak naše domácí dřeviny převyšovat.

8. Seznam literatury a použitých zdrojů

ALDEN, H. A., 1997. *Softwoods of North America*. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–102. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 151.

BALABÁN, K., 1995: *Nauka o dřevě*, 1. část, Anatomie dřeva. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

BENOIT, Y., 2008. *Le guide des essences de bois; 74 essences, les choisir, les connaitre, les utiliser*. 2. ed. Paris: FCBA, Eyrolles. 143 s. ISBN 9782212120868

ČSN 49 0110, *Medza pevnosti v tlaku v smere vláknien*. Praha, Deferální úřad pro normalizaci a měření 1993.

Druhy řezů dřeva. Dřevo: Hlavní vlastnosti dřeva. In: *Ivelan* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://ivelan.ru/cs/types-of-slices-of-wood-wood-the-main-properties-of-wood/>

Dřevo - základní mechanické vlastnosti dřeva. *Zkoušení stavebních materiálů a výrobků* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z:

http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zkouseni

GIBBS, N, 2005. *Dřevo: obrazový přehled více než 100 druhů dřev včetně jejich využití*. V Praze: Slovart. ISBN 80-7209-720-2.

HORÁČEK, P., FAJSTAVR, M., STOJANOVIĆ, M., 2017. *The variability of wood density and compression strength of Norway spruce (Picea abies /L./ Karst.) within the stem* [online]. 9 [cit. 2020-06-02]. ISSN 1805-9538 (Online). Dostupné z: https://beskydy.mendelu.cz/media/pdf/beskyd_2017010010017.pdf

CHMELÁŘ, J., ÚRADNÍČEK, L., 1998. *Dendrologie lesnická*. Dotisk 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 97 s. ISBN 80-7157-162-8.

JELONEK, T., PAZDROWSKI, W., TOMCZAK, A., SPLAWA-NEYMAN, S., 2009. *The effect of biological class and age on physical and mechanical properties of european larch (larix decidua mill.) in Poland* [online]. [cit. 2020-06-10].

Dostupné z: <http://www.woodresearch.sk/wr/200901/01.pdf>

KLOIBER, M., TIPPNER, J., HRIVNÁK, J., 2014, Mechanical properties of wood examined by semi-destructive devices. *Mater Struct* 47, 199–212.

<https://doi.org/10.1617/s11527-013-0055-z>

KOLLMAN, F., 1951: *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Berlin: Springer Verlag. 1048 s

KREMER, B., 1995. *Stromy: v Evropě zdomácnělé a zavedené druhy*. Praha: Knižní klub. Průvodce přírodou (Knižní klub). ISBN 80-7176-184-2.

LANGUM, CH. E, YADAMA, V., LOWELL, E. C., 2009. *Physical and Mechanical Properties of Young-Growth Douglas-Fir and Western Hemlock from Western Washington*. *Forest Products Journal*. 59, 11/12, s. 37 - 47.

MATOVIČ, A., 1993. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva: Určeno pro posl. les. fak. obor dřevař a les*. Brno: Vysoká škola zemědělská. ISBN 80-7157-086-9.

Mikroskopický atlas dřevin [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z:

http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/atlas_drev/index0f9c.html

MUSIL, I., HAMERNÍK J., 2007. *Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin: lesnická dendrologie I*. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-1567-9.

NIEMZ, P., 1993: *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*, Leipzig: DRW – Verlag. 243 s. ISBN 3-87181-324-9

NIX, S., 2020. *The Essential Douglas Fir*. ThoughtCo, [cit. 2020-06-02].

Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/the-essential-douglas-fir-1342770>

Oblastní plán rozvoje lesů, 1998: Přírodní lesní oblast (PLO) 23

Podkrkonoší [online]. 430 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z:

http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/oprl_oblasti/OPRL-LO23-Podkrkonosi.pdf

Oblastní plán rozvoje lesů, 2001: Přírodní lesní oblast 17 Polabí [online]. 614

[cit. 2020-05-31]. Dostupné z:

http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/oprl_oblasti/OPRL-LO17-Polabi.pdf

Oblastní plán rozvoje lesů: Přírodní lesní oblast 26 Předhoří Orlických hor [online]. 2000, 425 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z:

http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/oprl_oblasti/OPRL-LO26-Predhori_Orlickych_hor.pdf

PEARSON, R.G., GILMORE, R.C., 1980: *Effect of fast growth rate on the mechanical properties of loblolly pine*. Forest Products Journal, 30 (5): 47–54

PODRÁZSKÝ, V., PULKRAB, K., SLOUP, R., KUBEČEK, J., 2016. Douglaska místo smrku. *Zemědělec* [online]. 2016(4), 1 [cit. 2020-05-26].

Dostupné z: <http://www.silvarium.cz/zpravy-z-oboru-lesnictvi-a-drevarstvi/douglaska-misto-smrku-zemedelec>

POLLET, C., HENIN, J.-M., HÉBERT, J., JOUREZ, B., 2017. *Effect of growth rate on the physical and mechanical properties of Douglas-fir in western Europe*. Canadian Journal of Forest Research. vol. 47, s. 1056-1065.

POLMAN, J., MILITZ, H., 1996. *Wood quality of Douglas fir (Pseudotsuga menziesii (Mirb) Franco) from three stands in the Netherlands** [online]. Elsevier [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/1996/06/AFS_0003-4312_1996_53_6_ART0007.pdf

Posouzení variability vybraných vlastností dřeva jedle obrovské (Abies grandis (Douglas) Lindl.) z oblasti Černokostelecka, 2012. Praha. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce doc. Ing. Štefan Barčík, CSc.

POŽGAJ, A., 1993. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda. ISBN 80-070-0600-1.

PŘÍRODNÍ LESNÍ OBLAST Č. 17 POLABÍ, 2019. In: *Ústav pro hospodářskou úpravu lesů* [online]. Brandýs nad Labem [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo/181-prirodni-lesni-oblast-c-23-podkrkonosi>

PŘÍRODNÍ LESNÍ OBLAST Č. 23 PODKRKONOŠÍ, 2019. In: *Ústav pro hospodářskou úpravu lesů* [online]. Brandýs nad Labem [cit. 2020-06-02].

Dostupné z: <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo/181-prirodni-lesni-oblast-c-23-podkrkonosi>

PŘÍRODNÍ LESNÍ OBLAST Č. 26 PŘEDHOŘÍ ORLICKÝCH HOR, 2019.

In: *Ústav pro hospodářskou úpravu lesů* [online]. Brandýs nad Labem [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo/184-prirodni-lesni-oblast-c-26-predhori-orlickych-hor>

Pseudotsuga menziesii. In: VAN DEN BERK [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.vdberk.co.uk/trees/pseudotsuga-menziesii/>

REMĚŠ, J., ZEIDLER, A., 2014, *Production potential and wood quality of Douglas fir from selected sites in the Czech Republic*. Wood Res. 59, 509–520.

ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L., 2002, *Stavba dřeva*. Dotisk 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 187 s. ISBN 80-7157-636-0.

ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L., 1999. *Stavba dřeva - cvičení*. Dotisk 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 132 s. ISBN 80-7157-400-7

VAVRČÍK, H., GRYC, V., ZEIDLER, A., 2010: *Dřevo douglasky tisolisté*.

Lesnická práce. Roč. 89. č. 10 [cit. 19. 5. 2020] Dostupné z:

<http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-89-2010/lesnicka-prace-c10-10/drevo-douglasky-tisoliste>

WAGENFÜH, R., 2000, *Holzatlas*, 5. vydání. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag.

ZAVŘELOVÁ, P., 2014. Douglaska tisolistá na Lesní správě Černá Hora.

In: *Lesy České republiky, s. p.* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z:

<https://lesy.cz/casopis-clanek/douglaska-tisolista-na-lesni-sprave-cerna-hora/>

ZEIDLER, A., BOMBA J., 2015. Douglaska, dřevina s budoucností. *Drevársky magazín* [online]. 2015(1-2), 3 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z:

[https://www.drevmag.com/images/stories/tisk/materialy/2015/DM_1-2-](https://www.drevmag.com/images/stories/tisk/materialy/2015/DM_1-2-2015_Materialy_Douglaska.pdf)

[2015_Materialy_Douglaska.pdf](https://www.drevmag.com/images/stories/tisk/materialy/2015/DM_1-2-2015_Materialy_Douglaska.pdf)