

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

Vliv stanoviště na hustotu dřeva douglasky tisolisté

Bakalářská práce

Autor: Tereza Petrová

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

2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tereza Petrová

Dřevařství
Dřevařství

Název práce

Vliv stanoviště na hustotu dřeva douglasky tisolisté

Název anglicky

Impact of Site on Wood Density of Douglas Fir

Cíle práce

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

Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o dané dřevině a posuzované vlastnosti.
- 2) Odebrat reprezentativní vzorníky z vybraných lokalit.
- 3) Normalizovanými postupy stanovit hustotu dřeva.
- 4) Zhodnotit vliv stanoviště, pozice v kmeni a šířky letokruhů 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, hustota, 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.

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 13. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 28. 01. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv stanoviště na hustotu dřeva douglasky tisolisté vypracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Zeidlera, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma 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

Podpis autora

Poděkování

Ráda bych především poděkovala svému vedoucímu práce doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za ochotnou pomoc při vedení této bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala své rodině a přátelům, kteří mi byli oporou v průběhu psaní této práce i celého studia.

Abstrakt

Obsahem této práce je zhodnocení faktorů, které mohou ovlivnit hustotu dřeva douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*). Hodnocenými faktory byly stanoviště, horizontální a vertikální poloha v kmeni a pozice světových stran. Výzkum probíhal na vzorcích z několika reprezentativních lokalit v České republice. Hustota byla měřena na normovaných vzorcích při vlhkosti dřeva 12 %. Byla změřena celková průměrná hustota, a následně také průměrné hodnoty naměřené na zmíněných lokalitách. Jednotlivé hustoty byly porovnány a byl potvrzen vliv stanoviště na hustotu, přičemž průměrné hodnoty se pohybovaly od $477 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $570 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Významným faktorem se ukázal být vliv horizontální pozice, přičemž hustota ve směru od dřene k borce roste. V této práci se také potvrdil vliv vertikální polohy v kmeni, kdy byl naměřen pokles hustoty ve směru od spodní části stromu ke koruně. Vliv pozice světových stran potvrzen v tomto výzkumu nebyl.

Klíčová slova: douglaska tisolistá, dřevo, hustota, variabilita, vlastnosti

Abstract

The aim of this work was to evaluate the factors that may affect the wood density of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). The assessed factors were site, horizontal and vertical position in a stem and position of cardinal sides. The research was conducted on samplers from several representative locations in the Czech Republic. The density was measured on standardized samples with a wood moisture content of 12 %. The total average density was measured, followed by the average values measured at individual sites. The average densities were compared and the effect of the site on the density was found, with values ranging from 477 kg·m⁻³ to 570 kg·m⁻³. An important factor was proved to be the influence of horizontal position within a stem, whereas the density increased from pith to bark. The influence of the vertical position in a stem was also confirmed. Decrease in density was proven in the direction from the bottom parts of the stem to the crown. The influence of the position of cardinal sides was not confirmed in this research.

Key words: Douglas Fir, wood, density, variability, properties

Obsah		
1	Úvod	10
2	Cíl práce	11
3	Rozbor problematiky	12
3.1	Douglaska tisolistá – <i>Pseudotsuga menziesii</i>	12
3.1.1	Popis	13
3.1.2	Přirozené prostředí	14
3.1.3	Využití	15
3.1.4	Význam	15
3.1.5	Makroskopická stavba	16
3.1.6	Mikroskopická stavba	18
3.2	Hustota dřeva	20
3.2.1	Hustota dřevní substance	20
3.2.2	Hustota dřeva	20
3.2.3	Redukovaná hustota dřeva	21
3.2.4	Faktory ovlivňující hustotu dřeva	22
	Vliv vlhkosti	22
	Vliv stanoviště a půdních podmínek	22
	Vliv struktury, šířky letokruhů a podílu letního dřeva	23
	Vliv polohy v kmeni	23
	Vliv stáří stromu	24
	Vliv extraktiv	24
4	Metodika	26
4.1	Odběrové lokality	26
4.2	Odběr vzorků	27
4.3	Měření a zpracování hodnot	28
5	Výsledky a diskuse	30
5.1	Vliv stanoviště	30
5.2	Vliv horizontální pozice	32
5.2.1	Vliv šířky letokruhů	35
5.3	Vliv vertikální pozice	37
5.4	Vliv světových stran	38
5.5	Zhodnocení úspěšnosti zavedení douglasky tisolisté v ČR	39
6	Závěr	42
7	Seznam literatury a použitých zdrojů	44

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 Stanoviště douglasky v Severní Americe.....	12
Obrázek 2 Pseudotsuga menziesii.....	13
Obrázek 3 Šiška douglasky tisolisté	14
Obrázek 4 Struktura dřeva douglasky.....	17
Obrázek 5 Struktura dřeva douglasky.....	17
Obrázek 6 Mikroskopická stavba douglasky – příčný řez.....	18
Obrázek 7 Mikroskopická stavba douglasky – tangenciální řez.....	19
Obrázek 8 Mikroskopická stavba dřeva douglasky – radiální řez.....	19
Obrázek 9 Mapa stanovišť jednotlivých odběrů.....	27
Obrázek 10 Proces odebrání vzorků.....	28
Obrázek 11 Graf závislosti hustoty na stanovišti.....	31
Obrázek 12 Graf – porovnání vlivu horizontální pozice na hustotu pro jednotlivá stanoviště	32
Obrázek 13 Graf závislosti horizontální pozice na hustotě u stanoviště Havlovice	33
Obrázek 14 Šířka letokruhů ve směru od dřene ke kambiu na stanovišti Obora 2.....	35
Obrázek 15 Šířka letokruhů od dřene ke kambiu u stanoviště Obora 1	36
Obrázek 16 Výřez z kmene ze stanoviště Obora 1 (a) a Obora 2 (b)	36
Obrázek 17 Graf závislosti hustoty na vertikální pozici na stanovišti Havlovice	37
Obrázek 18 Graf závislosti hustoty na světových stranách	38
Tabulka 1 Hustota nejvýznamnějších českých dřevin.....	21
Tabulka 2 Naměřené průměrné hustoty celkem a pro jednotlivá stanoviště	30
Tabulka 3 Závislost hustoty na horizontální pozici	32
Tabulka 4 Porovnání vlivu hustoty v závislosti na horizontální pozici pro jednotlivé vertikální pozice.....	34
Tabulka 5 Vliv vertikální pozice na hustotu dřeva na stanovišti Havlovice	37
Tabulka 6 Hodnoty hustoty na severní a jižní straně kmene pro jednotlivá stanoviště..	39
Tabulka 7 Srovnání hodnot hustoty douglasky tisolisté od různých autorů	40
Tabulka 8 Porovnání hustoty douglasky a dalších dřevin v ČR při vlhkosti 12 %	40

1 Úvod

V dnešní době, kdy jsou všechny státy sužovány klimatickou změnou a suchem, je důležité zabývat se stavem krajiny, a tedy neodmyslitelně i stavem okolních lesů. Bohužel se v poslední době často projevuje působení sucha na lesní porosty, které vede ke kůrovcovým kalamitám a dalším problémům. Důsledky je pak možné vidět v lesním hospodářství, ale i v dřevařském průmyslu.

Z těchto důvodů se hledají způsoby, jak těmto stavům předejít, a to například pomocí integrace nepůvodních druhů dřevin, které lépe odolávají dnešním klimatickým podmínkám. Jedním z těchto dovezených druhů jehličnatých stromů je například douglaska, která byla přivezena z Ameriky. Původně byla vysazována pouze pro okrasu v zámečkových zahradách a parcích, nicméně pro její potenciál se začala rozšiřovat i do běžných lesů (Spiecker et al. 2019).

Důvodem rozšiřování douglasky tisolisté je její schopnost odolávat různým klimatickým vlivům a udržovat dobrou kvalitu lesních porostů a půd. Vzhledem k tomu, že se řadí mezi jedny z největších jehličnatých stromů, zajišťuje vysokou dřevní produkci (Slodicak 2014).

Z těchto důvodů v dnešní době probíhá mnoho výzkumů, které se zabývají právě zapojením douglasky do českého lesního a dřevního hospodářství, ve kterém by mohla fungovat jako náhrada smrku a dalších využívaných jehličnanů.

Vzhledem k tomu, že hustota je jednou ze základních vlastností dřeva, která je považována za indikátor ostatních mechanicko-fyzikálních vlastností (Schmulsky a Jones 2011), je důležité se zabývat právě jejím zkoumáním ve vztahu k douglasce. Hustotu ve dřevě ovlivňují různé faktory od stanoviště až po šířku letokruhů, a právě těmito faktory se tato práce zabývá.

2 Cíl práce

Cílem této práce je posoudit některé faktory ovlivňující hustotu dřeva douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*). Mezi tyto hodnocené vlivy patří stanoviště, horizontální a vertikální poloha v kmeni a pozice vůči světovým stranám. Konkrétními stanovišti, které byly posuzovány jsou Havlovice, Polánky a Obora. Všechna tato stanoviště se nachází v České republice. Součástí této práce je také porovnání naměřených údajů a výsledků tohoto výzkumu s ostatními autory, kteří zkoumali douglasky rostoucí v USA a dalších lokalitách.

3 Rozbor problematiky

3.1 Douglaska tisolistá – *Pseudotsuga menziesii*

Douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*) patří mezi stálezelené jehličnaté dřeviny. Řadí se pod rod *Pseudotsuga*, jenž dále obsahuje ještě 7 dalších druhů. Všechny mají původ v Severní Americe a v Asii (Burns, Honkala 1990). Douglaska patří mezi velmi významné severoamerické jehličnany, přičemž jedním z důvodů je produkce vysoce kvalitního dříví (Musil a Hamerník 2003, Bormann 1984).

Existují dvě varianty douglasky tisolisté a těmi jsou *P. menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii* a *P. menziesii* var. *glauca* (Biessn.) Franco. Obě tyto varianty mají původ v Severní Americe, kde jsou rozšířeny směrem od Skalnatých hor až po pobřeží Tichého oceánu a vertikálně směrem od Mexika až do Britské Kolumbie, viz obrázek 1 (Alden 1997). Svůj název tato dřevina získala po Henrym Douglasovi, který v těchto místech působil jako botanik a po skotském fyzikovi a přírodovědci Archibaldu Menziesi, který douglasku v roce 1793 jako první popsal (Alden 1997, Möllerová 2011).



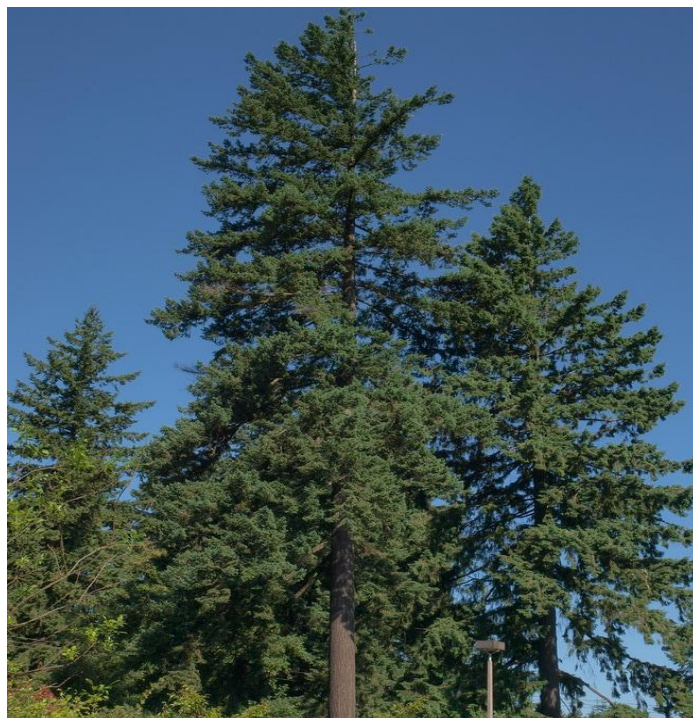
Obrázek 1 Stanoviště douglasky v Severní Americe (Conifers and Trees of the American West 2013)

Do Evropy se douglaska rozšířila po roce 1826, kdy byla přivezena do Skotska Henrym Douglasem. Z počátku byla vysazována pouze do arboret a parků pro její estetickou funkci. Na přelomu 19. a 20. století byla rozšířena i do lesů. Od té doby se postupně stala druhou nejrozšířenější nepůvodní dřevinou v Evropě (Spiecker et al. 2019).

3.1.1 Popis

Douglaska se řadí mezi vysoké až velmi vysoké stromy s výškou dosahující k 76 metrům (výjimečně může v ideálních podmínkách dosáhnout až 100 m). Průměr kmene se pohybuje okolo 1,5 až 1,8 metru, nicméně v extrémních případech může dosáhnout až 3,5 metru. Tyto popsané rozměry dosahují douglasky přibližně ve věku 500-800 let (Musil a Hamerník 2003, Alden 1997).

Koruna má kuželovitý tvar, který se ve stáří zaobluje (obrázek 2). Vzhledem k tomu, že se kmen postupně přirozeně vyvětvuje, je dřevní hmota velmi čistá a bez suků. Díky tomu je možné získat až 10 metrů kvalitní suroviny z jednoho stromu. Kůra je v mládí hladká a ve stáří se ztlušťuje a rozpraskává. Douglaska má kulový kořen, ze kterého ale vyrůstají dlouhé boční kořeny, které propůjčují stromu velmi dobrou stabilitu (Musil a Hamerník 2003).



Obrázek 2 *Pseudotsuga menziesii* (Mcdougall 2018)

V závislosti na klimatu se mění barva jehlic od tmavě žluto-zelených (v pobřežních podmínkách), až po modro-zelené (v horských podmínkách) (Bormann 1984). Jehlice jsou čárkovité, dlouhé 1-3 cm a ploché (obrázek 3) (Bormann 1984, Musil a Hamerník 2003). Plodem douglasky tisolisté je šiška, která visí směrem dolů a měří až 10 cm.

Mezi jednotlivými šupinami šišek vyčnívají listy se třemi špičkami (Coombes 1992, Musil a Hamerník 2003). Po zlomení jehlic z nich vychází velice specifická vůně (Musil a Hamerník 2003).



Obrázek 3 Šiška douglasky tisolisté (Denniston 2011)

3.1.2 Přirozené prostředí

V Severní Americe se nachází porosty obou variant douglasky tisolisté ve velmi variabilním prostředí, a to od nižších nadmořských výšek u pobřeží Tichého oceánu až po 2300 m n. m. v horských oblastech. Nejčastěji se douglaska tisolistá nachází v menším zastoupení v porostech jiných druhů. Převážně v USA je možné najít i rozsáhlejší jednodruhové porosty douglasky. Důvodem je, že díky své silné vrstvě borky a adventivním kořenům je schopná odolávat mnohonásobným požárům, a tedy v těchto místech nahrazuje původní porosty (Bormann 1984, Musil a Hamerník 2003). Je to rychle rostoucí dřevina, která ovšem nesnáší zastínění, a proto se ve smíšených porostech nedokáže prosadit tak dobře jako některé ostatní dřeviny (Musil a Hamerník 2003, McDougall 2018). Dokáže se přizpůsobit velkému množství různě rozmanitých půd, ale nejlépe prosperuje na půdách hlinitých, které jsou zásobeny živinami a dobře propustné (Musil a Hamerník 2003). Ideální pH půdy je pro douglasku 5-6 (Burns a Honkala 1990, Musil a Hamerník 2003).

Jednotlivé druhy douglasky jsou přizpůsobeny různým odlišným klimatům. Varianta *menziesii* roste především v pobřežních částech USA, a je tedy přivyklá mírným

a vlhkým zimám, přičemž léta v těchto oblastech jsou spíše suchá. Na rozdíl od toho varianty *glauca*, která se vyskytuje v horských oblastech, je zvyklá na větší rozdíly teplot hlavně v zimním období, kdy mohou teploty velmi kolísat (Burns a Honkala 1990, Musil a Hamerník 2003).

3.1.3 Využití

V dnešní době nachází douglaska tisolistá mnohé využití převážně ve dřevařském průmyslu. Vyrábí se z ní hlavně řezivo a překližované dřevo, které dále slouží jak ke stavebním, tak k nábytkářským účelům. Jako další způsoby využití se dají uvést například výroba laminovaných nosníků, sloupů, důlního dříví nebo obalového materiálu (Alden 1997, Musil a Hamerník 2003). Ke stavebním účelům se využívá hlavně díky dosažitelným rozměrům a také pevnostním charakteristikám. Pevnostně v USA a Kanadě je čím dál více využívána (Brandt et al. 2019). Pro svojí typickou zvlněnou kresbu se uplatňuje také jako dekorativní materiál k výrobě dříví (Gibbs 2005).

Jako další příklad využití, který je známý hlavně z USA, je pěstování vánočních stromků, které se nechávají růst po dobu 4-7 let. Pravidelné zastřihávání výhonů pak vede k tomu, že mají vánoční stromky žádoucí pravidelný kuželovitý tvar (Burns a Honkala 1990, Musil a Hamerník 2003).

3.1.4 Význam

Douglaska tisolistá patří mezi rychle rostoucí jehličnany, dosahuje také vysoké dřevní produkce a řadí se tak mezi nejvýznamnější dřeviny v Severní Americe (Bormann 1984).

V dnešní době se prosazuje výsadba douglasky tisolisté nejen v České republice, ale i v celé Evropě. Jedním z důvodů je její potenciál odolávat klimatickým změnám. To se ukazuje v jejím přirozeném prostředí v USA, ale i v oblastech mírného pásu. Dalšími výhodami jsou vysoká dřevní produkce a dále také stabilizační funkce pro lesní porosty (Slodicak 2014).

V roce 2017 se v České republice vyskytovalo na 6200 ha douglasky tisolisté, což je 0,24 % celkového zastoupení v lesích České republiky (Lubojacký 2018). Ukazuje se, že douglaska tisolistá je adekvátní a plnohodnotnou náhradou pro některé české dřeviny,

jako například smrk ztepilý (Kubeček et al. 2014, Podrázský et al. 2013). Jedním z důvodů je vyšší produkční potenciál douglasky, ale také její menší negativní vliv na biodiverzitu a půdní ekosystémy. Naopak, douglaska dopomáhá k mechanické stabilitě porostů (Kubeček et al. 2014).

Potenciál douglasky tisolisté je také v jejích dobrých mechanických a fyzikálních vlastnostech. Hodnoty hustoty, modulu pružnosti a pevnosti douglasky tisolisté převyšují hodnoty naměřené u smrku ztepilého a borovice lesní (Zeidler et al. 2017).

3.1.5 Makroskopická stavba

Podstatné informace o daném dřevě je možné určit z její makroskopické stavby. Z té lze vyčíst druh dřeva a podmínky růstu konkrétního stromu. Z makroskopické struktury lze také odvodit některé fyzikální a mechanické vlastnosti (Schmulsky a Jones 2011).

Dřevo douglasky tisolisté je měkké, ale přesto pevné dřevo, které se vykazuje hlavně svou typickou kresbou a jednotnou texturou. Má světlejší hnědou barvu, která nese žluté odstíny, a je dobře vidět kontrast s letním dřevem, které je naopak načervenalé (obrázek 4) (Gibbs 2005, Meier 2015). Douglaska má jádrové dřevo, které je možné zrakem odlišit díky jeho tmavšímu načervenalému zbarvení (Walker 2005).

Dřevo douglasky je snadno opracovatelné a po usušení velmi stabilní (Gibbs 2005). Při opracování vydává nápadnou pryskyřičnou vůni, samotná pryskyřice pak může přispívat k otupení obráběcích nástrojů. Jádrové dřevo douglasky vykazuje velmi dobrou odolnost vůči dřevokazným houbám. Existují také známé případy, kdy při styku se dřevem douglasky docházelo k mírným alergickým reakcím (Meier 2015).



Obrázek 4 Struktura dřeva douglasky (Meier 2015)

Textura dřeva douglasky je rovná až vlnitá. Na příčném řezu jsou vidět malé až středně velké pryskyřičné kanálky (obrázek 5), které se mohou vyskytovat v tangenciálních skupinách. Přejít z letního do jarního dřeva je jasně viditelný, a to díky výrazně tmavšímu zbarvení letního dřeva (Meier 2015).



Obrázek 5 Struktura dřeva douglasky (Meier 2015)

3.1.6 Mikroskopická stavba

Mikroskopickou stavbu douglasky lze popsat pomocí tří základních řezů, stejně jako u ostatních druhů dřeva. Těmito řezy jsou příčný, radiální a tangenciální (Gandelová a Šlezingerová 2014).

Na příčném řezu douglasky je dobře vidět, že mezi jarním a letním dřevem vzniká ostrý přechod, který je pro douglasku typický. Jako další znak je na tomto řezu možné pozorovat pryskyřičné kanálky, které jsou tvořeny tlustostěnnými epitelovými buňkami (Gandelová a Šlezingerová 2014, Zeidler a Böhm 2007). Pryskyřičný kanálek je vidět na obrázku 6.



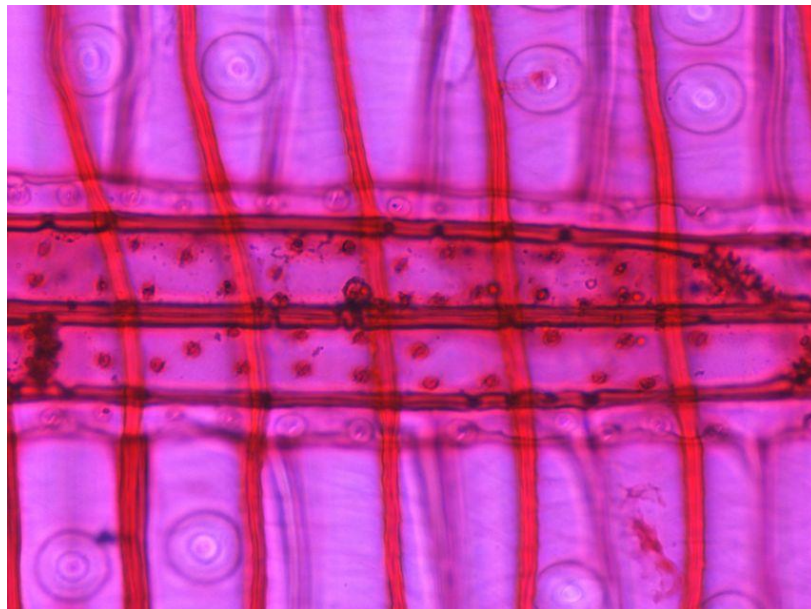
Obrázek 6 Mikroskopická stavba douglasky – příčný řez (Zeidler a Böhm 2007)

Na tangenciálním řezu douglasky jsou dobře vidět podélné tracheidy se spirálními ztluštěninami charakteristickými právě pro douglasku. Dále se zde nachází také příčné pryskyřičné kanálky, které prochází vnitřkem dřeňového paprsku. (Čunderlík 2009, Gandelová a Šlezingerová 2014, Zeidler a Böhm 2007). Spirální ztluštěniny v podélných tracheidách a příčný pryskyřičný kanálek je vidět na obrázku 7.



Obrázek 7 Mikroskopická stavba douglasky – tangenciální řez (Zeidler a Böhm 2007)

Radiální řez (obrázek 8) se vyznačuje tzv. křížovým polem, které vzniká překrytím podélných a příčných buněčných elementů (Gandelová a Šlezingerová 2014). Na radiálním řezu jsou také, stejně jako na řezu tangenciálním, dobře vidět spirální ztluštění. Na radiálním řezu, který je vidět na obrázku 8, je také pozorovatelný heterocelulární dřevový paprsek, v jehož parenchymatických buňkách jsou piceoidní ztenčiny (Gandelová a Šlezingerová 2014, Čunderlík 2009, Zeidler a Böhm 2007).



Obrázek 8 Mikroskopická stavba dřeva douglasky – radiální řez (Zeidler a Böhm 2007)

3.2 Hustota dřeva

K tomu, aby bylo možné dřevo využít co nejefektivněji, je důležité znát všechny jeho vlastnosti a chování v různých podmínkách. Důležitými parametry jsou jeho struktura, chemické složení a mechanické a fyzikální vlastnosti, mezi které patří i hustota (Požgaj et al. 1997).

Hustotu lze charakterizovat jako podíl hmotnosti a objemu. Je vyjadřována v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ nebo také v $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Vzhledem k tomu, že má hustota velký vliv na další mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva, je považována za jednu z nejdůležitějších charakteristik pro výzkum (Gandelová et al. 2002, Požgaj et al. 1997, Schmulsky a Jones 2011).

Pevnost dřeva, stejně jako jeho tvrdost a odolnost proti opotřebování, stoupá se zvyšující se hustotou dřeva. Dále jsou hustotou ovlivněny i další charakteristiky jako například sesychání nebo vedení tepla dřevním materiálem. Z těchto důvodů patřila také hustota k prvním zkoumaným vlastnostem vůbec (Schmulsky a Jones 2011, Kafka et al. 1989).

Je možné stanovit hustotu dřevní substance, hustotu dřeva nebo redukovanou hustotu dřeva. Každá varianta má pak v praxi jiné využití (Požgaj et al. 1997).

3.2.1 Hustota dřevní substance

Dřevní substance je pouze hmota buněčných stěn bez mezibuněčných prostor a lumenů. Hustota dřevní substance se vyjadřuje podílem hmotnosti této hmoty a jejího objemu. Vzhledem k tomu, že se tato hodnota mění pouze v závislosti na chemickém složení dřeva, je velmi stálá (Gandelová et al. 2002, Požgaj et al. 1997). Průměrná hodnota hustoty dřevní substance bývá udávána různě v závislosti na autorovi, ale všechny uvedené hodnoty se nacházejí v rozpětí $1520\text{--}1540 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Gandelová et al. 2002, Požgaj et al. 1997, Schmulsky a Jones 2011).

3.2.2 Hustota dřeva

Hustota dřeva udává podíl hmotnosti a objemu dřeva při konkrétní vlhkosti. Základní používané vlhkosti jsou $w = 0 \%$ a $w = 12 \%$ (w označuje vlhkost). Hustota při 0% vlhkosti se nazývá hustotou dřeva v suchém stavu a používá se výhradně pro porovnávání a při teoretických výpočtech (Gandelová et al. 2002, Požgaj et al. 1997). Hustota dřeva

při vlhkosti 12 % je udávána převážně v normách. Je to z toho důvodu, že tato vlhkost je u dřeva dosahována v běžně temperovaných místnostech. U běžně temperované místnosti se udává teplota 20 °C a relativní vlhkost vzduchu 65 % (Gandelová et al. 2002).

Pro porovnání jsou zde v tabulce 1 uvedeny hodnoty významných dřevin podle Požgaje et al. 1997.

Tabulka 1 Hustota nejvýznamnějších českých dřevin (Požgaj et al. 1997)

Dřevina	Hustota ρ_0 [kg.m ⁻³]
Smrk, jedle, topol	350-400
Lípa, osika	400-450
Borovice	500
Douglaska, vrba, bříza	500-600
Javor, kaštan	630
Dub	640-650
Buk	680
Akát, habr	730-800

3.2.3 Redukovaná hustota dřeva

Redukovaná hustota dřeva se vypočítá jako podíl hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu a objemu dřeva při určité vlhkosti. Dále se používá vztah, který představuje redukovanou hustotu dřeva v čerstvém stavu, což znamená, že se hmotnost dřeva v absolutně suchém stavu porovnává s objemem dřeva, které je maximálně nabobtnané (Schmulsky a Jones 2011, Požgaj et al. 1997).

Tato hustota se používá hlavně při pěstování, těžbě a všeobecně pro různé výpočty ve vztazích mezi lesním a dřevozpracujícím průmyslem. Příkladem mohou být váhové přejímky dříví (Gandelová et al. 2002, Požgaj et al. 1997).

Redukovaná hustota se mění s procentuálním zastoupením vody ve dřevě, ale pouze do hodnoty meze hygroskopicity, jelikož za touto mezí již dřevo nebobtná a nemění tak svůj objem (Schmulsky a Jones 2011).

3.2.4 Faktory ovlivňující hustotu dřeva

Vzhledem k tomu, že je hustota tak důležitou charakteristikou, která slouží k posuzování kvality dřeva (Schmulsky a Jones 2011), je vhodné zabývat se faktory a různými vlivy, které hustotu dřeva v daném stromě nebo dřevině ovlivňují. Těmito faktory jsou především vlhkost, šířka ročních kruhů a podíl letního dřeva, dále pak také stanoviště, poloha v kmeni, věk stromu a další charakteristiky (Požgaj et al. 1997, Tsoumis 1991, Kettunen 2006).

Vliv vlhkosti

Vzhledem k tomu, že dřevo je hygrokopický materiál, dokáže na sebe vázat a udržovat v sobě vodu (Tsoumis 1991). Hustota dřeva se s vlhkostí mění tak, že při narůstající vlhkosti se hustota zvyšuje. Objem a hmotnost dřeva se však při vzrůstající vlhkosti nemění stejnoměrně. Hmotnost dřeva se zvyšuje konstantně až do bodu úplného nasycení dřeva vodou. Objem se však mění jen s přijímáním vody vázané do meze nasycení vláken tzv. bobtnáním, dále pak zůstává objem stejný a zvyšuje se pouze hmotnost (Požgaj et al. 1997, Tsoumis 1991, Schmulsky a Jones 2011). Mez nasycení vláken se běžně udává v rozmezí od 28 % do 30 % vlhkosti dřeva (Schmulsky a Jones 2011).

Vliv stanoviště a půdních podmínek

Hustota dřeva je kromě druhu dřeva závislá také na podmínkách, ve kterých daný strom vyrůstal. Tyto podmínky mohou být například množství živin v půdě, ale také geografická lokace stromu a nadmořská výška (Kettunen 2006). Jako dalším možným faktorem, který hustotu stromu může ovlivnit, je také pěstební způsob (Barnett a Jeronimidis 2009).

Kettunen (2006) uvádí rozdíly hustoty mezi některými druhy stromů (borovice, smrk, bříza) v závislosti na tom, jestli stromy vyrůstaly na zalesněné půdě nebo horských hřebenech. Ve všech případech pak stromy, které vyrůstaly ve zhoršených podmínkách na horských hřebenech, dosahovaly větší hustoty v porovnání se stromy rostoucími na zalesněných plochách.

Dále také Kettunen (2006) uvádí rozdíly pro borovici a smrk, které byly naměřeny v různých geografických polohách ve Finsku. V tomto výzkumu bylo dokázáno, že stromy rostoucí severněji dosahovaly vyšších hustot. To bylo pravděpodobně způsobeno pomalejším růstem, který měl za následek vznik užších letokruhů.

Barnett a Jeronimidis (2009) ve svém výzkumu zaměřeném na smrk pak uvádí, že největší rozdíly v hustotě jsou zapříčiněny právě vlivem stanoviště a růstových podmínek.

Vliv struktury, šířky letokruhů a podílu letního dřeva

Dřevo se skládá z jednotlivých buněk, které jsou tvořeny buněčnými stěnami, ale také lumeny a mezibuněčnými prostory. Hustota buněčných stěn je velmi podobná u všech druhů dřeva, ale rozdíl je právě v podílu materiálu buněčných stěn a prostoru vyplněného vzduchem. Dřevo se silnějšími buněčnými stěnami má celkově vyšší hustotu než dřevo s užšími buněčnými stěnami (Barnett a Jeronimidis 2009). Největší rozdíly jsou viditelné hlavně u tropických dřevin, jako je balza s hustotou $0,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a guajak s hustotou $1,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Tloušťka buněčných stěn je však obtížně měřitelná, a proto se využívá spíše vliv šířky letokruhů a s tím spojený podíl letního dřeva (Tsoumis 1991).

Vliv šířky letokruhů na hustotu je rozdílný u jehličnatých a u listnatých dřevin. Zatímco u jehličnanů se hustota snižuje s rostoucí šířkou letokruhů, u listnatých stromů je to, hlavně v případě kruhovitě-pórovitých dřevin, obráceně. Toto je dáno rozdílnou hustotou letního a jarního dřeva, která mají odlišnou stavbu (Požgaj et al. 1997, Tsoumis 1991). Například u douglasky je podle Požgaje et al. (1997) hustota jarního dřeva $300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, zatímco hustota letního dřeva až $790 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Šířka ročních kruhů není ovšem vždy jednoznačně určující východisko. V případě juvenilního nebo reakčního dřeva se vyskytují odlišnosti ve stavbě a složení buněčných stěn, následně je i hustota takového dřeva různá od hustoty zralého dřeva (Tsoumis 1991). Juvenilní dřevo, které se nachází v kmeni od dřeně až do 5-20. letokruhu v závislosti na daném druhu dřeva, má specifickou stavbu. Na rozdíl od dřeva zralého se to juvenilní vyznačuje větším sklonem fibril v buněčných stěnách, kratšími podélnými elementy, menší šířkou buněčných stěn a nižším procentuálním zastoupením letního dřeva. Všechny tyto faktory ovlivňují také hustotu, která je oproti zralému dřevu nižší (Green et al. 1999, Barnett a Jeronimidis 2009).

Vliv polohy v kmeni

Rozdíl hustoty je zřejmý jak v horizontálním směru (po šířce stromu), tak ve vertikálním směru (po výšce stromu). To je ovlivněno hlavně fyziologickými a mechanickými funkcemi určitých částí stromu (Požgaj et al. 1997).

V obou směrech jsou tyto odlišnosti v hustotě způsobeny převážně rozdílnou šířkou letokruhů a poměrem jarního a letního dřeva. Další rozdíly jsou způsobeny juvenilním a reakčním dřevem (Tsoumis 1991, Barnett a Jeronimidis 2009). V horizontálním směru je patrná tendence zvyšování hustoty ve směru od dřeně k borce, a to především u jehličnatých dřevin jako je smrk a borovice, u listnatých dřevin je to pak například topol (Požgaj et al. 1997). U smrku byla tato tendence zvyšování hustoty směrem od dřeně k okraji kmene vysvětlena obsahem juvenilního dřeva ve středových částech kmene (Barnett a Jeronimidis 2009). Ovšem v některých případech, hlavně u roztroušeně-pórovitých dřevin, lze pozorovat zlom v jinak rostoucím trendu, od kterého hustota dále klesá (př. buk) (Požgaj et al. 1997).

Naopak u porovnávání hustoty ve vertikálním směru je vidět velká variabilita, přičemž lze konstatovat, že ve většině případů s výškou stromu hustota dřeva klesá. To je způsobeno menším podílem letního dřeva ve vyšších částech kmene. Nicméně není možné určit jednoznačné měřítko, podle kterého lze všeobecně usoudit, jak se mění hustota vzhledem k výšce nebo šířce kmene (Požgaj et al. 1997, Tsoumis 1991).

Barnett a Jeronimidis (2009) ve svém výzkumu uvádí, že u smrku je klesající hustota ve směru od kořenů ke koruně zapříčiněna vyšším obsahem juvenilního dřeva ve vyšších částech kmene.

Vliv stáří stromu

Na hustotu dřeva má vliv také stáří stromu. Kettunen (2006) uvádí rozdíly zkoumané pro borovici, smrk a břízu. Výsledky ukazují, že průměrná hustota se stářím stromu klesá. Ovšem výjimkou je bříza, kde průměrná hustota naopak stoupá.

Tento trend potvrzuje i Požgaj et al. (1997), který říká, že hustota dřeva se stářím stromu u většiny druhů klesá.

Vliv extraktiv

Dřevo kromě celulózy, ligninu a hemicelulózy obsahuje také další látky, nazývané extraktiva. Ta se ukládají v mezibuněčných prostorách nebo v buněčných stěnách a je možné je ze dřeva odstranit bez toho, aby se znehodnotila struktura materiálu (Tsoumis 1991). Mezi extraktiva patří například pryskyřice, terpeny, polyfenoly, ale také další organické i anorganické látky. Vzhledem k tomu, že se v určitých druzích stromů může objevovat až 30 % extraktiv z vysušeného objemu dřeva, mají také vliv na hustotu

(Schmulsky a Jones 2011). Více extraktiv se objevuje v jádrovém dřevě, což souvisí s jeho větší hustotou (Schmulsky a Jones 2011).

4 Metodika

Pro účely této bakalářské práce, ale také dalších rozsáhlých výzkumů zaměřených na zapojení douglasky tisolisté do lesních porostů v České republice, byly odebrány vzorníky z několika lokalit. Celkově součástí výzkumu byly tři lokality, a to Havlovice, Polánky a Obora. Na těchto lokalitách dlouhodobě probíhá výzkum VÚLHM (Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti) Opočno, kde je pozorováno chování douglasky tisolisté, její růst, zapojení do lesních porostů v ČR a další její vlastnosti.

Těžba pro účely této práce probíhala na konci roku 2016 a na začátku roku 2017. Při prvním odběru bylo odebráno 6 vzorníků douglasky z každého stanoviště, další tři vzorníky byly odebrány při druhém odběru na lokalitě Obora. Dohromady bylo tedy k tomuto účelu odebráno 21 stromů.

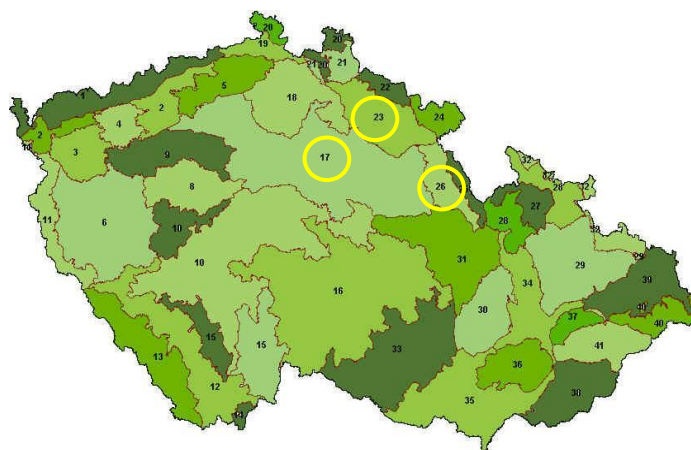
4.1 Odběrové lokality

Stanoviště Havlovice patří do přírodní lesní oblasti 23 Podkrkonoší, která se vyznačuje nadmořskými výškami cca od 250 m n. m. v okolí Labe až po 800 m n. m. ve vyšších horských oblastech. Klimatické podmínky jsou zde mírné až chladné. Stanoviště odběru náleží k majetku LS Dvůr Králové. Věk porostu douglasky byl v době odběru v průměru 23 let.

Stanoviště Obora je součástí přírodní lesní oblasti 26 Předhoří Orlických hor, která z klimatického hlediska patří do mírně teplých oblastí. Rozmezí nadmořských výšek je zde cca 300-750 m n. m. Odebrány byly vzorky ze dvou porostů, přičemž v prvním porostu se nacházely douglasky ve věku okolo 23 let a ve druhém porostu douglasky ve věku okolo 50 let.

Stanoviště Polánky je pak částí PLO 17 Polabí, která je jednou z největších lesních oblastí v ČR. Podnebí je zde teplé až mírně teplé a nadmořské výšky se pohybují okolo 100-400 m n. m. Obě tyto stanoviště odběru vzorků jsou majetkem Kristiny Colloredo-Mansfeldové.

Umístění jednotlivých oblastí odběru je vidět na obrázku 9.



Obrázek 9 Mapa stanovišť jednotlivých odběrů (Českomoravské sdružení pro ochranu přírody 2018)

4.2 Odběr vzorků

Těžba dřeva probíhala na přelomu let 2016/2017. Před těžbou byla u každého stromu označena severní strana. Z každého vzorníku byla odebrána sekce oddenková, která měla délku cca 130 cm. Z lokality Havlovice byly následně odebrány také další 130 cm dlouhé části i z vyšších pozic kmene, a to ve 20 %, 40 % a v některých případech i 60 % výšky kmene (viz obrázek 10/a). To bylo umožněno větší výčetní tloušťkou kmene. Tyto části pak sloužily k porovnání hustoty v jednotlivých vertikálních pozicích.

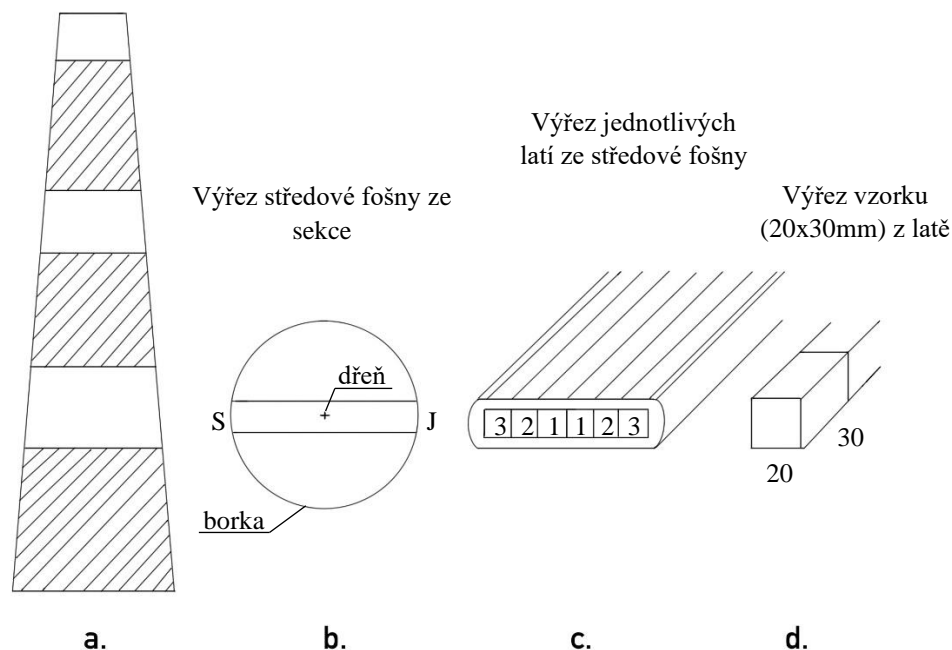
Pro porovnání se šířkou letokruhů byl také odebrán kotouč v prsní výšce (viz obrázek 10/b). Na tomto kotouči byly následně odečítány tloušťky jednotlivých letokruhů.

Tyto sekce byly následně převezeny na Českou zemědělskou univerzitu do prostor Fakulty lesnické a dřevařské, kde byly uskladněny pro použití v dalších výzkumech. Během jara 2017 byly tyto vzorky zpracovány na jednotlivé fošny nařezané ve směru od severu k jihu (viz obrázek 10/b), které následně byly proloženy a uskladněny tak, aby došlo k přirozenému vyschnutí.

Z těchto fošen byla vybrána středová obsahující dřeň, která byla orientována podle světových stran na sever a jih (viz obrázek 10/c). Dále byla tato fošna rozřezána na latě o rozměrech 20x20x130 mm, latě byly označeny čísly 1 až X, kdy lať nejbližší dřeni měla číslo jedna a každá další ve směru od dřene měla číslo o 1 vyšší až k okraji kmene (viz obrázek 10/c). Poté byly latě rozřezány na jednotlivá tělesa o délce 30 mm (viz obrázek 10/d). Všechny vzorky byly zkontrolovány, aby neobsahovaly závažnější vady a nepravidelnosti ve struktuře dřeva, a označeny číselnými kódy pro větší přehlednost.

Na obrázku 10 je pak postup znázorněn v jednotlivých krocích (a.–d.).

Pozice jednotlivých sekcí v kmeni



Obrázek 10 Proces odebrání vzorků

4.3 Měření a zpracování hodnot

Nařezané vzorky byly podrobeny zkoušce na hustotu dřeva, která splňovala podmínky normy ČSN 49 0108. Základem pro stanovení hustoty jednotlivých vzorků bylo dosažení 12 % vlhkosti, což bylo zajištěno klimatizováním v klimatizační komoře. Podmínky nastavené v klimatizační komoře byly teplota 20 ± 2 °C a relativní vlhkost vzduchu 65 ± 5 %.

Použitý vzorec pro výpočet hustoty byl:

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

Příčemž:

- m_{12} hmotnost tělesa v kg při vlhkosti 12 %
- V_{12} objem tělesa v m^3 při vlhkosti 12 %

V programech Microsoft Excel a Statistica byly následně vypočítány jednotlivé hodnoty hustoty při konkrétních podmínkách a také celková hustota všech vzorků pro následné porovnání s ostatními autory. Ve statistickém programu byla vyhodnocována závislost hustoty na jednotlivých faktorech. Těmito faktory byly lokalita, horizontální a vertikální pozice v kmeni a vliv světových stran. Dále byly porovnávány jednotlivé vlivy napříč stanovišti, tedy zda konkrétně horizontální pozice a poloha světových stran působí na hustotu dřeva jinak na jednotlivých stanovištích a celkově. Následně byl vliv horizontální pozice na hustotu porovnáván s trendem šířky letokruhů.

Použitými statistickými ukazateli byly průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Pro názornost pak byly použity krabicové grafy, pomocí nichž je možné porovnat hlavně průměr a medián. Pro zhodnocení vlivu jednotlivých stanovišť byl použit jednofaktorový test ANOVA. Pro porovnání horizontální pozice byl využit vícefaktorový test ANOVA.

5 Výsledky a diskuse

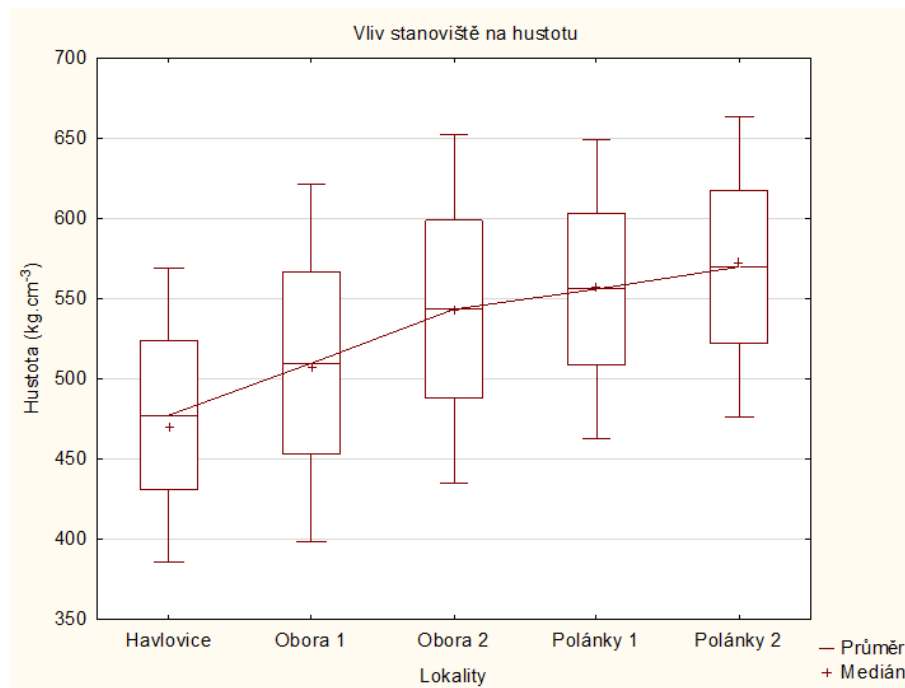
5.1 Vliv stanoviště

Dle výsledků ze statistických programů byl zjištěn vliv stanoviště na hustotu dřeva douglasky tisolisté. Průměrné naměřené hodnoty pro všechny vzorky a dále pro jednotlivá stanoviště je možné vidět v tabulce 2. Průměrná hodnota vyvozená ze všech vzorků (celkem 1916 vzorků) dosahuje $516 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. U konkrétních stanovišť pak byly vypočteny následující hodnoty. Nejvyšší průměrná hustota byla naměřena na stanovišti Polánky, na kterém dosahuje $563 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, následně u Obory, kde byla naměřena hustota $531 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejnižší hustota byla naměřena u vzorků z lokality Havlovice, kde dosahovala průměrné hodnoty $478 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Jednofaktorová ANOVA ukázala, že rozdíly mezi jednotlivými stanovišti jsou statisticky významné.

Tabulka 2 Naměřené průměrné hustoty celkem a pro jednotlivá stanoviště

	Počet měřených vzorků	Průměrná hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Směrodatná odchylka ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Variační koeficient (%)
Celkem	1916	516	62	12
Havlovice	842	478	47	10
Obora	573	531	58	11
Polánky	501	563	48	9

V tabulce 2 jsou vidět rozdíly mezi hustotami naměřenými na jednotlivých stanovištích. Ukázalo se také, že výraznější rozdíly jsou i mezi jednotlivými porosty na stejném stanovišti. Rozdíly mezi jednotlivými odběry z jednoho stanoviště byly potvrzeny u lokality Obora, kde celková průměrná hustota je podle tabulky $531 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, nicméně při jednom odběru byla naměřena průměrná hustota $510 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a při druhém odběru $543 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Celkové porovnání je vidět v grafu na obrázku 11. Tento rozdíl mezi hustotou obou odběrů může být způsoben rozdílnou věkovou strukturou odebraných vzorníků při prvním a druhém odběru. Na stanovišti Obora byly při druhém odběru odebrány vzorníky přibližně o 30 let starší. Vliv stáří stromu na hustotu dřeva prokazuje Požgaj et al. (1997) a Kettunen (2006).



Obrázek 11 Graf závislosti hustoty na stanovišti

Nejvyšší naměřené hodnoty byly na stanovišti Polánky, kde průměrná hustota dosahovala $563 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, což nejvíce odpovídá hodnotám naměřeným ve výzkumu, který provedl Zeidler et al. (2017) v České republice. Těmto hodnotám jsou pak blízké také ty naměřené při druhém odběru na stanovišti Obora, které dosahovaly hustoty $543 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. To může být také způsobeno obdobnou věkovou strukturou vzorníků, jelikož Zeidler et al. (2017) ve svém výzkumu zkoumal stromy ve věku okolo 60 let a tomu odpovídaly stromy odebrané při druhém odběru ze stanoviště Obora, které dosahovaly věku 50 let.

Naopak nejnižší hodnoty, které byly naměřeny na stanovišti Havlovice ($478 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) odpovídají hodnotám, které uvádí Christopher a Vikram ve svém výzkumu z roku 2009. Pro jejich výzkum byly použity stromy ve věku 20 let, což odpovídá věkové struktuře na stanovišti Havlovice.

Alden (1997) potvrzuje vliv stanoviště na hustotu jednotlivých stromů. Ve svém výzkumu zohledňoval jejich polohu, zjistil odlišné hodnoty pro stromy pocházející z pobřežních a vnitrozemních částí Severní Ameriky. Kettunen (2006) pak provedl výzkumy na borovici rostoucí ve Finsku, kde bylo zjištěno, že čím severněji borovice rostly, tím vyšší byla hustota jejich dřeva. Dále vliv stanoviště potvrzuje také Barnett a Jeronimidis (2009), který uvádí, že u smrku je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících hustotu dřeva právě stanoviště a pěstební způsob.

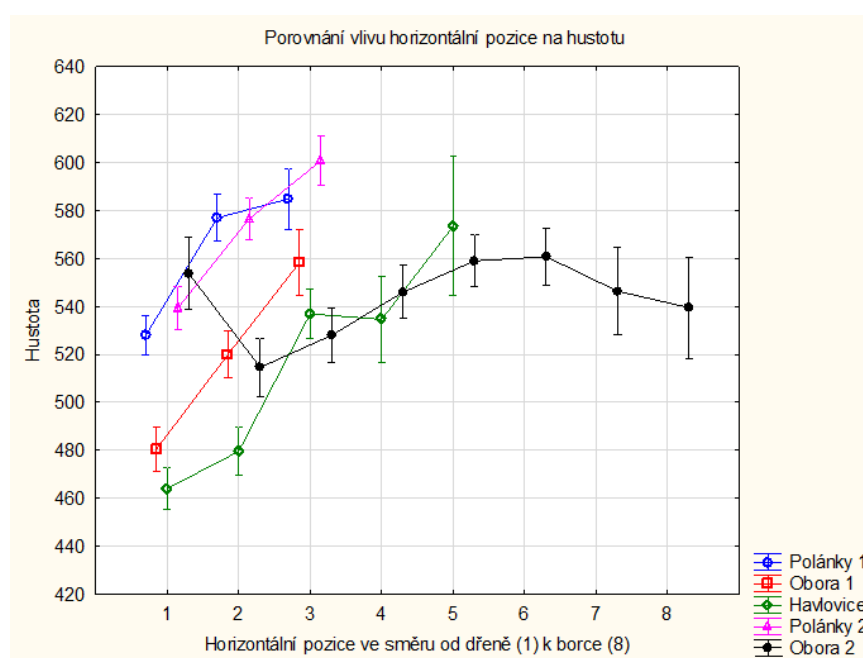
Koubaa et al. (2009) provedl výzkum na borovicích rostoucích v Kanadě, kde zjistil, že stanoviště samotné nemá vliv na hustotu dřeva, pokud jednotlivá stanoviště nemají výrazně různé klimatické podmínky.

5.2 Vliv horizontální pozice

Porovnání hustot v jednotlivých horizontálních pozicích ukázalo, že hustota dřeva je závislá na horizontální pozici v kmeni, tedy poloze dřeva v kmeni, ve směru od dřeně ke kambiu. V tabulce 3 jsou všechny průměrné naměřené hodnoty pro jednotlivá stanoviště vždy pro 1. vertikální pozici. Čísla od jedné do osmi označují horizontální polohu v kmeni. Na obrázku 12 je graf, ve kterém je možné jednotlivé hustoty na první vertikální pozici porovnat.

Tabulka 3 Závislost hustoty na horizontální pozici

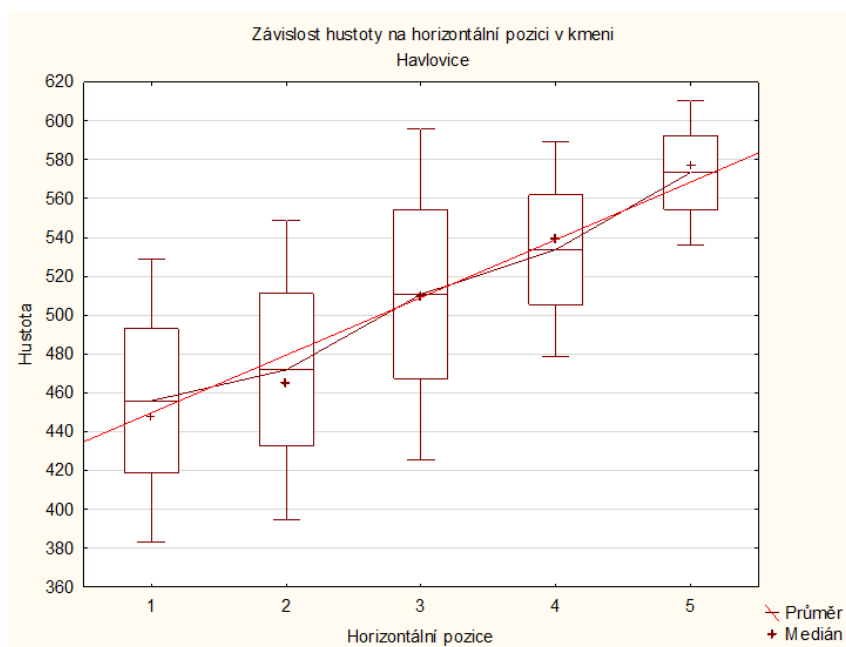
Horizontální pozice	Průměrná hustota (kg·m ⁻³)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Havlovice	464	480	537	535	573	-	-	-
Polánky	533	577	595	-	-	-	-	-
Obora	500	517	541	545	559	561	546	539



Obrázek 12 Graf – porovnání vlivu horizontální pozice na hustotu pro jednotlivá stanoviště

V grafu na obrázku 12 je možné pozorovat, že na všech stanovištích ve směru od dřene ke kambiu má hustota stoupající tendenci. Pouze na stanovišti Obora při druhém odběru je vidět, že od šesté pozice směrem k borce začíná hustota klesat. Toto stanoviště bylo také jediné, na kterém bylo možné odebrat více než pět horizontálních poloh, díky větší výčetní šířce kmenů.

Na obrázku 13 se nachází graf rozložení hustoty v horizontálním směru na lokalitě Havlovice a je zde možné vyčíst, že hustota ve směru od dřene stoupá téměř lineárně. Na tomto stanovišti byl rozdíl hustot u první a páté pozice poměrně výrazný, jelikož na první pozici byla naměřena průměrná hustota $455 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a na páté, tedy poslední měřené pozici, byla průměrná hustota až $573 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obrázek 13 Graf závislosti horizontální pozice na hustotě u stanoviště Havlovice

Pro lokalitu Havlovice bylo možné porovnat vliv hustoty v závislosti na horizontální pozici také pro jednotlivé vertikální pozice. Tento vliv je patrný v tabulce 4, ze které je zřejmé, že trend zvyšování hustoty ve směru od dřene k okraji kmene se vyskytuje na všech vertikálních pozicích.

Tabulka 4 Porovnání vlivu hustoty v závislosti na horizontální pozici pro jednotlivé vertikální pozice

Vertikální pozice	Naměřená hustota pro horizontální pozici ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)				
	1	2	3	4	5
A	464	480	537	535	573
B	454	468	500	530	-
C	452	471	489	-	-
D	452	455	474	-	-

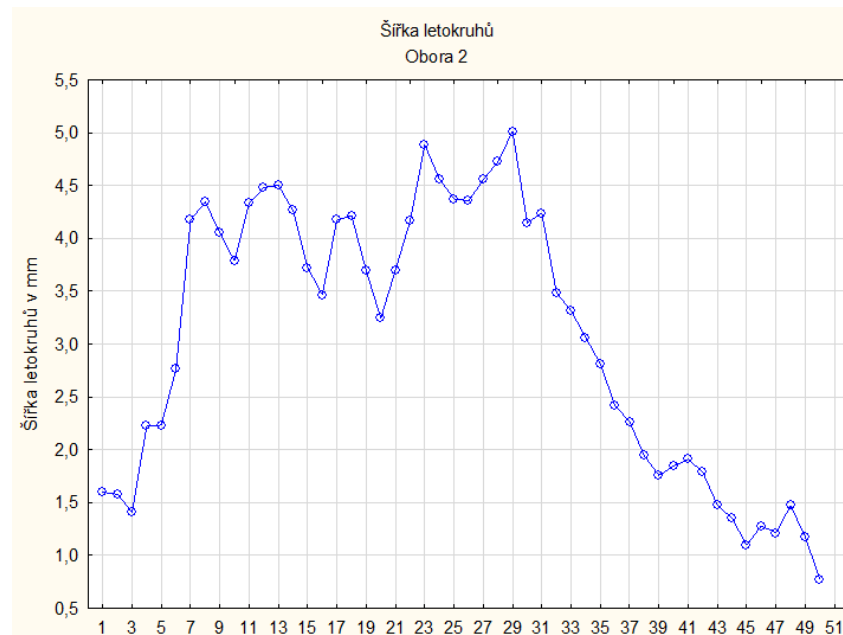
Závislost hustoty na horizontální pozici potvrzují také další autoři, kteří se zabývali měření hustoty u douglasky tisolisté. Hennin a Pollet (2019) ukazují, že hustota u douglasky směrem k pátému až desátému letokruhu klesá, ale od této pozice dále začíná stoupat až ke kambiu. Stejnou tendenci je možné najít i ve výzkumu provedeném Kimberleym et al. (2017), který svoji studii prováděl na douglaskách na Novém Zélandu. Toto se potvrzuje hlavně u lokality Obora 2, kde je vidět pokles hustoty u několika prvních letokruhů od dřene. U ostatních lokalit není zřejmý pokles hustoty u prvních letokruhů, ale to může být způsobeno například různorodými klimatickými a dalšími podmínkami při růstu těchto stromů.

Dále také Christopher a Vikram (2009) potvrzují, že na jejich vzorcích, které dosahovaly v průměru věku 20 let, se hustota ve směru od dřene k borce zvyšovala. Konkrétně vzorky nejbliž ke dřeni dosahovaly hustoty $480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a vzorky nejbliže k borce dosahovaly v průměru $490 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Zeidler et al. (2017) a Vargaz-Hernandes et al. (1994) ve svém výzkumu potvrdili stejnou tendenci, tedy zvyšování hustoty od dřene k borce. Pollet et al. (2017) ve svém výzkumu pak mluví o rozdílu hustoty mezi juvenilním (dřevem ve střední části kmene) a zralým dřevem (ve vnější části kmene), kdy juvenilní dřevo má hustotu kolem $465 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a zralé dřevo až $520 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. O rozdílnost hustot mezi juvenilním a zralým dřevem se opírá také Barnett a Jeronimidis (2009) ve svém výzkumu smrku a potvrzuje stejnou tendenci, tudíž zvyšování hustoty ve směru od dřene k okraji kmene. Koubaa et al. (2009) na svém výzkumu borovice rostoucí v Kanadě pozoroval stejné zvyšování hustoty směrem od dřene k okraji kmene.

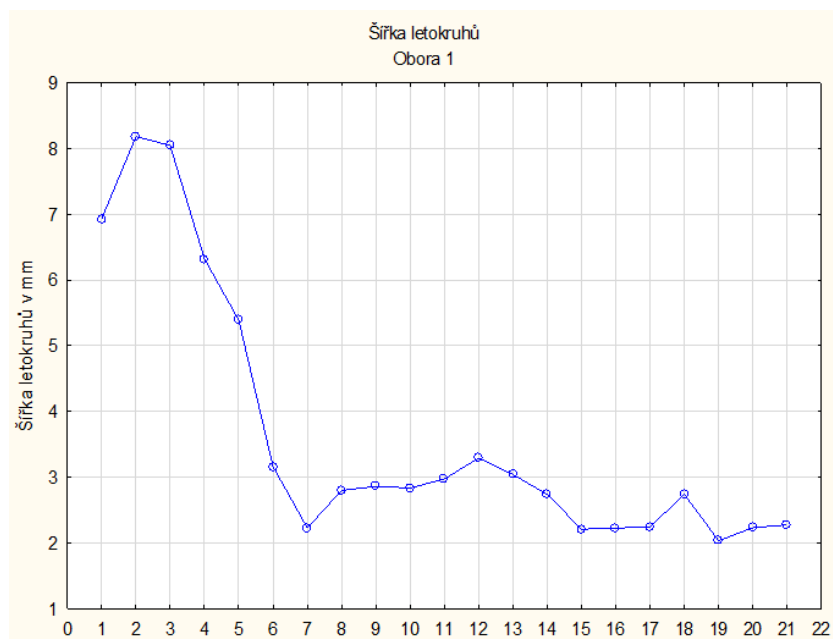
5.2.1 Vliv šířky letokruhů

Vzhledem k tomu, že hustotu v horizontálním směru od dřene k borce také ovlivňuje šířka letokruhů a podíl jarního a letního dřeva (Požgaj et al. 1997, Tsoumis 1991), bylo provedeno také porovnání u lokalit Havlovice, Obora a Polánky. Na obrázku 14 je vidět změna šířky jednotlivých letokruhů ve směru od dřene u lokality Obora 2, kde stromy dosahovaly věku 50 let.



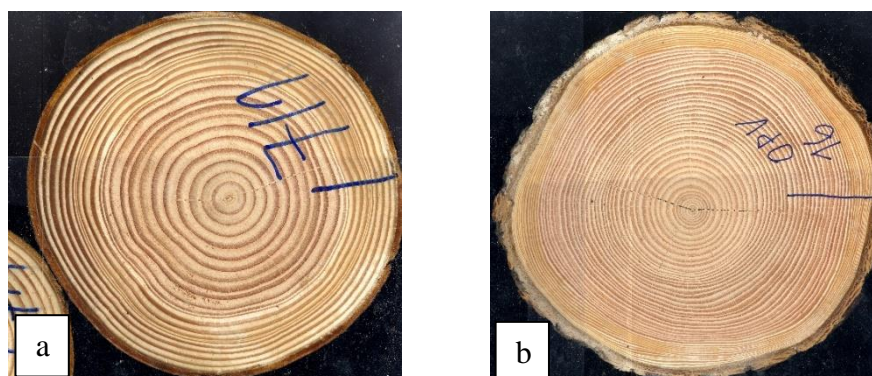
Obrázek 14 Šířka letokruhů ve směru od dřene ke kambiu na stanovišti Obora 2

Ve směru od dřene je šířka letokruhů velmi nízká (okolo 1,5 mm) a postupně se zpočátku mírně snižuje, následně prudce stoupá, až ke 29. letokruhu, kde dosahuje největší šířky (okolo 5 mm) a nadále směrem ke kůře klesá. Na obrázku 15 je pak vidět rozložení šířky letokruhů u lokality Obora 1, zde je možné sledovat mírně odlišný trend. Především šířka letokruhů je zpočátku vysoká (okolo 7 mm), zvyšuje se do 2-3. letokruhu a pak náhle výrazně klesá.



Obrázek 15 Šířka letokruhů od dřene ke kambiu u stanoviště Obora 1

Pro srovnání je na obrázku 16 vidět rozdíl mezi šířkou letokruhů u Obory 1 a 2. Je možné jasně odlišit, že letokruhy u vzorníků ze stanoviště Obora 2 jsou užší než ze stanoviště Obora 1. To je pravděpodobně příčinou celkové vyšší průměrné hustoty u stanoviště Obora 2. Je zde také dobře vidět, že u Obory 2 bylo prvních několik letokruhů užších. Tato tendence se objevila u všech vzorníků odebraných při druhém odběru na stanovišti Obora.



Obrázek 16 Výřez z kmene ze stanoviště Obora 1 (a) a Obora 2 (b)

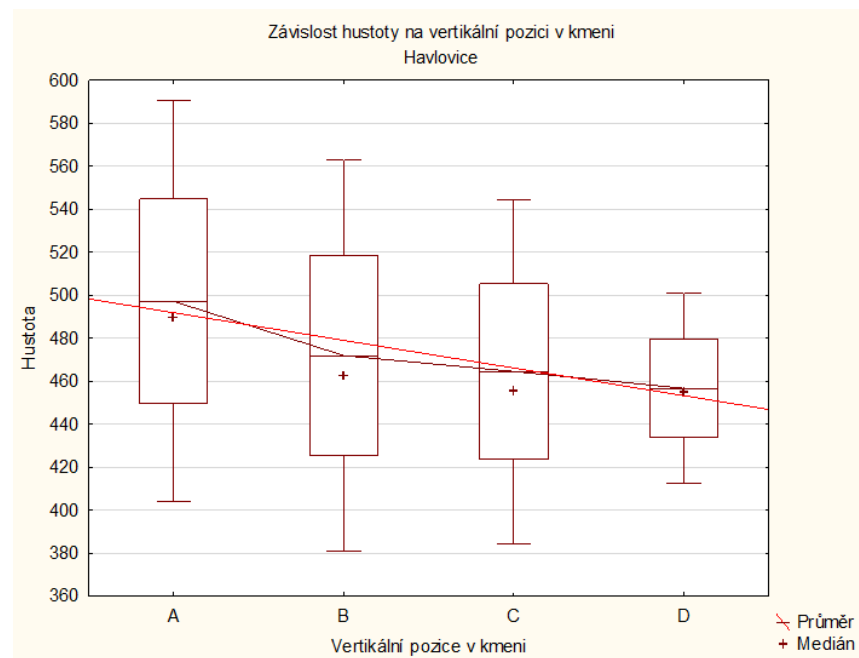
Tsoumis (1991) a Požgaj et al. (1997) se shodují na tom, že hustota dřeva je výrazně ovlivněna šířkou letokruhů, a tedy podílem jarního a letního dřeva, což se v tomto výzkumu potvrzuje. Tsoumis (1991) dokonce tuto závislost udává přímo pro douglasku. Ovšem Pollet (2017), který provedl výzkum na douglaskách v Belgii, ukazuje, že šířka letokruhů sice ovlivňuje hustotu dřeva, ale tento fakt se zásadně projevuje pouze u juvenilního dřeva, které je na změnu šířky letokruhů více náchylné než dřevo zralé.

5.3 Vliv vertikální pozice

Vliv vertikální pozice na hustotu dřeva byl změřen na lokalitě Havlovice, kde stromy dosahovaly dostatečných průměrů, aby mohly být odebrány i další sekce kromě oddenkové. V grafu, který je na obrázku 17 je zřejmý pokles hustoty ve směru výšky stromu, a to od oddenkové sekce po sekci nejvyšší (60 % výšky stromu). Naměřené hodnoty jsou uvedené v tabulce 5.

Tabulka 5 Vliv vertikální pozice na hustotu dřeva na stanovišti Havlovice

Sekce	Oddenková	20 % výšky	40 % výšky	60 % výšky
Hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	497	472	465	457



Obrázek 17 Graf závislosti hustoty na vertikální pozici na stanovišti Havlovice

Závislost hustoty na různých vertikálních pozicích ve stromě dokládá Christopher a Vikram (2009), kteří prováděli výzkum na 20 let starých stromech. V tomto výzkumu se ukázalo, že čím vyšší je poloha dřeva ve stromě, tím menší je jeho hustota. Jejich hodnoty dosahovaly u spodních částí stromu $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a u vyšších $470 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

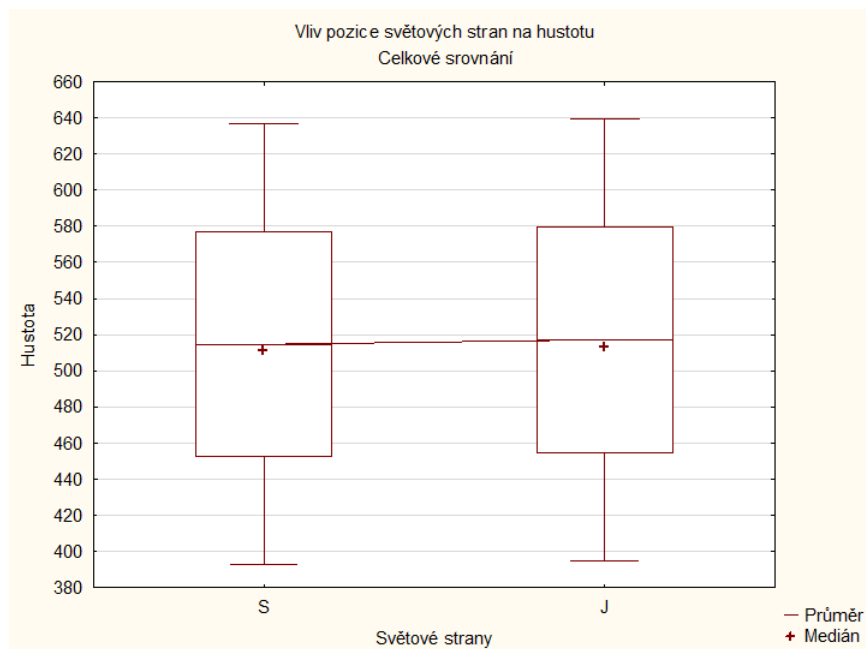
Další, kdo podpořil svým výzkumem tento trend, je Zeidler et al. (2015), který provedl výzkum na jedli obrovské, kde uvádí, že hustota ve spodních pozicích stromu je vyšší než ve vrchních částech. Ke stejnému výsledku došli také Kimberley et al. (2017),

kteří prováděli výzkum na douglaskách na Novém Zélandu, ve kterém potvrdili, že směrem ke koruně stromu hustota mírně klesá. Dalším, kdo dosáhl pozitivního výsledku, a toho, že hustota směrem ke koruně klesá, byl Barnett a Jeronimidis (2009), který prováděl výzkum na smrku a borovici a odůvodňuje to větším podílem juvenilního dřeva právě ve vyšších polohách kmene. Koubaa et al. (2009) taktéž prováděl výzkum na borovici, kde zjistil stejnou tendenci snižování hustoty po výšce kmene, ovšem pouze pro bělové dřevo. V jádrovém dřevě pak byla tato tendence opačná, tudíž že se hustota zvyšovala s rostoucí výškou kmene.

Jyske et al. (2008) ve své studii, která probíhala ve Finsku na smrku, naopak uvedli, že rozdíly v hustotě v závislosti na výšce stromu jsou velmi malé a nepodstatné. Stejně tak Acuna a Murphy (2006) nepotvrdili, že by existovala významná korelace mezi hustotou a vertikální pozicí v kmeni.

5.4 Vliv světových stran

Vliv světových stran na hustotu dřeva nebyl potvrzen, jelikož průměrné hustoty na severní a jižní straně všech vzorníků vykazují pouze zanedbatelné rozdíly. V grafu na obrázku 18 je vidět minimální rozdíl v hustotách na severní a jižní straně.



Obrázek 18 Graf závislosti hustoty na světových stranách

Průměrné hodnoty na jednotlivých lokalitách jsou znázorněny v tabulce 6.

Tabulka 6 Hodnoty hustoty na severní a jižní straně kmene pro jednotlivá stanoviště

Lokalita	Hustota na severní straně ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Hustota na jižní straně ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Havlovice	425	417
Obora	535	527
Polánky	564	563

Zobel a Van Buijtenen (1989) porovnávali některé studie dalších autorů z 50. až 80. let 20. století, kteří zkoumali rozdíly ve stavbě dřeva (hustota, délka podélných elementů, šířka letokruhů) na severní a jižní straně kmene nebo na stranách více vystavených slunci nebo povětrnostním podmínkám. Většina z těchto autorů pak uvedla, že mezi směry podle světových stran existují pouze malé nebo úplně zanedbatelné rozdíly. Přitom většina z nich uvádí, že větší hustoty se nacházely na jižní nebo pak dokonce na východní straně kmene stromu. Konkrétně pro douglasku tisolistou významné rozdíly nalezeny nebyly.

5.5 Zhodnocení úspěšnosti zavedení douglasky tisolisté v ČR

V této kapitole se nachází srovnání naměřených hodnot v tomto výzkumu s hodnotami ostatních autorů z různých lokalit a také srovnání s ostatními jehličnatými dřevinami rostoucími v České republice. Naměřená průměrná hustota douglasky v tomto výzkumu byla $516 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato hodnota přibližně odpovídá hustotám ostatních autorů naměřených pro douglasku, nejvíc se však přibližují hodnotám, které naměřili Pollet et al. (2017) a Scheiber a Wagenführ (1985). Konkrétní čísla je možné vidět v tabulce 7, kde jsou uvedeny také hodnoty dalších autorů.

V tabulce je možné vidět, že hustota naměřená v této práci se shoduje s těmi naměřenými v Německu a v Belgii. Při porovnání se Severní Amerikou, kde se douglaska vyskytuje přirozeně, jsou hodnoty obdobné nebo dokonce vyšší. Je tedy možné konstatovat, že klima v České republice je vhodné pro růst douglasky.

Tabulka 7 Srovnání hodnot hustoty douglasky tisolisté od různých autorů

Autor	Hustota (kg·m⁻³)	Oblast
Zeidler et al. (2017)	567	Česká republika
Pollet et al. (2017)	514	Belgie
Pollet, Henin (2019)	500	Belgie, Francie, Německo, Itálie, Velká Británie
Dinwoodie (2000)	500-550	Velká Británie
Christopher, Vikram (2009)	460	USA – Washington
Požgaj et al. (1997)	500-600	Slovenská republika
Alden (1997)	540 500 480	USA – pobřeží USA – vnitrozemí (západ) USA – vnitrozemí (sever)
Wagenführ a Scheiber (1985)	510	Německo

Porovnání hustoty douglasky s ostatními jehličnatými dřevinami pěstovanými v České republice je vidět v tabulce 8. Naměřená hustota pro douglasku přesahuje uváženou hustotu pro smrk i jedli a přibližně odpovídá hustotě borovice.

Tabulka 8 Porovnání hustoty douglasky a dalších dřevin v ČR při vlhkosti 12 %

Dřevina	Hustota (kg·m⁻³)	
	Gandelová et al. 2002	Wagenführ 2007
douglaska tisolistá	516	
smrk ztepilý	450	470
jedle bělokorá	435	450
borovice lesní	535	510
modřín opadavý	590	590

Podle Zprávy o stavu lesa z roku 2018 má smrk v České republice největší zastoupení ze všech dřevin. Vzhledem k tomu, že hustota douglasky převyšuje hustotu nejen smrku, ale i dalších využívaných dřevin, můžeme konstatovat, že by mohla být, alespoň částečně, za tyto dřeviny kvalitní náhradou. Vyšší hustota totiž poukazuje také na ostatní

mechanicko-fyzikální vlastnosti, a tak je podle ní možné odhadnout kvalitu daného dřeva (Schmulsky a Jones 2011, Green et al. 1999).

6 Závěr

Cílem této práce bylo zjistit, zda je hustota douglasky tisolisté ovlivněna některými hodnocenými faktory. Těmito faktory byly stanoviště, horizontální a vertikální pozice v kmeni a vliv světových stran. K dispozici bylo 21 vzorníků ze tří stanovišť – Havlovice, Polánky a Obora, přičemž na všech probíhal odběr vzorků na konci roku 2016 a na stanovišti Polánky a Obora proběhl ještě jeden další odběr na začátku roku 2017.

Celková průměrná hustota všech porostů dohromady byla vypočítána na $515 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, což odpovídá hodnotám naměřeným ostatními autory, se kterými byla hustota porovnávána. Vliv stanoviště na hustotu byl statisticky potvrzen. Mezi jednotlivými stanovišti se nacházely z praktického hlediska významné rozdíly, a to až $92 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejnížší naměřená hustota byla na stanovišti Havlovice $478 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, na stanovišti Obora byla průměrná hustota $531 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a na stanovišti Polánky byla naměřena nejvyšší hustota, a to $564 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Byl potvrzen také vliv horizontální pozice na hustotu dřeva. Zjištěna byla postupně se zvyšující tendence ve směru od dřeně ke kambiu, tedy že u dřeně je nejnižší hustota a směrem ke kambiu stoupá. Tento trend byl potvrzen u všech měřených vertikálních pozic. Mírná odchylka se objevila u stanoviště Obora 2, kde stromy byly ve věku 50 let, tedy o přibližně 20-30 let starší než na ostatních stanovištích. Na stanovišti Obora 2 se ukázalo, že hustota nejdříve klesá přibližně do 6-7. letokruhu od dřeně, a následně se zvyšuje, až do 6. pozice od dřeně, od které se hustota začíná směrem k borce postupně snižovat. Tuto odchylku ve stoupající tendenci je možné vysvětlit specifickým rozložením šířek letokruhů právě na tomto stanovišti. Vliv horizontální pozice byl také porovnáván s průběhem šířky letokruhů. V této analýze se ukázala možná závislost hustoty na šířce letokruhů, a to taková, že s rostoucí šířkou letokruhů hustota dřeva klesá.

Dále byl hodnocen vliv vertikální pozice v kmeni, a to na stanovišti Havlovice, kde byla dostatečná výčetní šířka. Ukázalo se, že v oddenkové sekci je hustota nejvyšší a snižuje se směrem ke koruně. Tuto tendenci potvrdili i další autoři, se kterými byl tento výzkum porovnáván.

Naposledy byla zkoumána závislost na postavení kmene vůči světovým stranám. Tato závislost však nebyla potvrzena, jelikož rozdíl mezi hustotou na severní straně a hustotou na jižní straně byl přibližně $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, a tedy z praktického hlediska zanedbatelný.

Závěrem je možné konstatovat, že douglaska tisolistá se oproti běžně vysazovaným a využívaným jehličnatým dřevinám vyznačuje vyšší hustotou. Hustota je považována za jednu z nejdůležitějších vlastností určujících kvalitu dřeva, a proto můžeme konstatovat, že by se douglaska mohla stát kvalitní náhradou za obvykle zpracovávané jehličnaté dřeviny. Je však nutné nadále douglasku tisolistou zkoumat z různých hledisek. Následující výzkumy by se mohly zabývat například srovnáním dalších mechanicko-fyzikálních vlastností dřeva douglasky s tuzemskými jehličnatými dřevinami, nebo její odolností vůči atmosférickým vlivům, dřevokazným houbám, plísním a hmyzu.

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

- ACUNA, M. A.; MURPHY, G. Geospatial and within tree variation of wood density and spiral grain in Douglas-fir. *Forest Products Journal*. 2006, vol. 56, no. 4, s. 81-85.
- ALDEN, H. A. *Softwoods of North America*. Madison, Wis.: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory General Technical Report. 1997. 151 s.
- BARNETT, J. R.; JERONIMIDIS, G. *Wood Quality and its Biological Basis*. 2009, 240 s. ISBN 978-1-405-14781-1.
- BORMANN, B. T. *Douglas-fir: An American wood*. Washington D.C.: Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 1984.
- BRANDT, K. *Naturally Wood*. British Columbia (B.C.), Canada: Forestry Innovation Investment, 2019, 162 s. ISBN 1999405013.
- BURNS, R. M.; HONKALA, B. H. *Silvics of North America*. Volume 1. Conifers. Agriculture Handbook. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1990, 675 s.
- Conifers and Trees of the American West [online]. 2013 [cit. 21.2. 2020]. Dostupné z WWW: <<https://westernconifers.wordpress.com/>>
- COOMBES, A. J. *Stromy*. Martin: Osveta. Pouhým okem, 1996. ISBN 80-888-2416-8.
- Českomoravské sdružení pro ochranu přírody [online]. ČSPOP, 2018 [cit. 27. 3. 2020]. Dostupné z WWW: <<https://www.cspop.cz/>>
- ČUNDERLÍK, I. *Štruktúra dreva*. Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-228-2061-5.
- ČSN 49 0108. *Zjišťování hustoty při fyzikálních a mechanických skúškach*. Praha:Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993. 5 s.
- DENNISTON, K. *Northwest Conifers* [online]. 2011 [cit. 5.4. 2020]. Dostupné z WWW: <<http://nwconifers.com/>>
- DINWOODIE, J. M. *Timber: Its Nature and Behaviour*. 2. New York: Routledge, 2000, 272 s. ISBN 978-0419235804.

- GANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P.; ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. Brno: MZLU Brno, 2002. 184 s.
- GANDELOVÁ, L.; ŠLEZINGEROVÁ, J. *Stavba dřeva. 2.*, nezměn. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7375-966-7.
- GIBBS, N. *The Wood Handbook: An Illustrated Guide to 100 Decorative Woods and Their Uses*. Apple Press, 2005, 256 s. ISBN 978-1845430016.
- GREEN, D. W.; WINANDY, J. E.; KRETSCHMANN, D. E. *Wood handbook—Wood as an engineering material*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999, 463 s.
- JYSKE, T.; MÄKINEN, H.; SARANPÄÄ, P. Wood density within Norway spruce stems. *Silva Fennica*. 2008, vol. 42, no. 3. DOI: 10.14214/sf.248. ISSN 22424075.
- KAFKA, E. *Dřevařská příručka*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989, 483 s. ISBN 80-030-0009-2.
- KETTUNEN, P. O. *Wood: structure and properties*. Uetikon-Zuerich: Trans Tech Publ., Materials science foundations. 2006. ISBN 978-0878494873.
- KIMBERLEY, M. O.; MCKINLEY, R. B.; COWN, D. J.; MOORE, J. R. Modelling the variation in wood density of New Zealand-grown Douglas-fir. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 2017, vol. 47, no. 1. DOI: 10.1186/s40490-017-0096-0. ISSN 1179-5395.
- KOUBAA, A.; BRAIS, S.; MAZEROLLE, M. J. Effects of cambial age and stem height on wood density and growth of jack pine grown in boreal stands. *Wood and fiber science*. 2009, vol. 41, no. 4, s. 346-358.
- KUBEČEK, J; ŠTEFANČÍK, I; PODRÁZSKÝ, V; LONGAUER, R. Výsledky výzkumu douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* / Mirb./ Franco) v České republice a na Slovensku – přehled. *Lesnický časopis – Forestry Journal*. 2014, vol. 60, s. 116-124.
- LANGUM, Ch. E.; YADAMA, V.; LOWELL, E. C. Physical and Mechanical Properties of Young-Growth Douglas-Fir and Western Hemlock from Western Washington. *Forest Products Journal*. 2009, vol. 59, no. 11, s. 37-47. ISSN 0015-7473.

- LUBOJACKÝ, J. *Ochrana douglasky tisolisté (pseudotsuga menziesii mirb. franco) proti kůrovci (coleoptera: curculionidae: scolytinae)*. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2018. ISBN 978-80-7417-182-6.
- MCDOUGALL, Susan. Douglas-fir – Pseudotsuga menziesii var. menziesii. North American Trees [online]. 2018 [cit. 15.2. 2020]. Dostupné z WWW: <<http://northamericantrees.com/pseudotsuga-menziesii-var-menziesii.html>>
- MEIER, E. *The wood database: DOUGLAS-FIR* [online]. 2015 [cit. 4.15. 2020]. Dostupné z WWW: <<https://www.wood-database.com/>>
- MÖLLEROVÁ, J. *Douglas, David2011*: Botany [online]. 30. 5. 2011 [cit. 12. 3. 2020] Dostupné z WWW: <<https://botany.cz/cs/douglas/>>
- MUSIL, I; HAMERNÍK, J. *Lesnická dendrologie*. 3. ed. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2003. 177 s. ISBN 80-213-0992-X.
- PODRÁZSKÝ V.; REMEŠ, J.; PULKRAB, K.; BÍLEK, L.; PRKNOVÁ, H.; KUBEČEK, J. *Optimalizace pěstování smíšených porostů se zastoupením douglasky tisolisté (Pseudotsuga menziesii /Mirb./ Franco)*. Certifikovaná metodika. Kostelec nad Černými lesy. KPL FLD ČZU v Praze, 2014. 14 s.
- PODRÁZSKÝ, V., ČERMÁK, R., ZAHRADNÍK, D., KOUBA, J. Production of Douglas-fir in the Czech Republic based on national forest inventory data. *Journal of Forest Science*, 2013. vol. 59, no. 10, s. 398-404.
- POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydání Bratislava: Príroda, 1997. 485 s. ISBN 80-07-00960-4.
- SCHMULSKY, R.; JONES, P. D. *Forest Products and Wood Science An Introduction*, 2011. DOI: 10.1002/9780470960035.
- SLODICA, M. Pěstební postupy při zavádění douglasky do porostních směsí v podmínkách ČR. *Lesnická práce*, 2014. ISBN 978-80-7458-65-9.
- SPIECKER, H.; LINDNER, M.; SCHULER, J. ed. *Douglas-fir – an option for Europe: EFI What Science Can Tell Us 9*. European Forest Institute, 2019. ISBN 978-952-5980-65-3.

TSOUMIS, G. *Science and technology of wood: Structure, properties, utilization*. New York: Chapman & Hall, 1991. 497 s. ISBN 9780412078514;0412078511.

VARGAS HERNANDES, J.; ADAMS, W. T.; KRAHMER, Robert L. Family variation in age trends of wood density traits in young coastal Douglas-fir. *Wood and fiber science*. Society of Wood Science and Technology, 1994, vol. 26, no. 2, s. 229-236.

WAGENFÜHR, R. *Holzatlas*. Leipzig: Fachbuchverlag, 2007. 816 s. ISBN 978-3-446-40649-0

WALKER, A. *Dřevo – velká encyklopedie*. Praha: Grada publishing, 2009, 192 s. ISBN 978-80-247-2858-2.

ZEIDLER, A.; BÖHM, M. *Douglaska (Pseudotsuga)*. Mikroskopický atlas dřevin. [online]. 2007 [cit. 16. 4. 2020]. Dostupné z WWW: <http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/atlas_drev/index.html>

ZEIDLER, A.; BORŮVKA, V.; SCHÖNFELDER, O. Comparison of Wood Quality of Douglas Fir and Spruce from Afforested Agricultural Land and Permanent Forest Land in the Czech Republic. *Forests*, 2017.

ZEIDLER, A.; BORŮVKA, V.; SALEM, M. Z. M. Mechanical Properties of Grand Fir Wood Grown in the Czech Republic in Vertical and Horizontal Positions. *BioResources*. 2015, vol. 10, no. 1, s. 793-808. ISSN 1930-2126.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. *Wood Variation: Its Causes and Control*, 1st ed. Springer, Berlin / Heidelberg, Germany, 1989. 363 s. ISBN 978-3-642-74071-8.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství české republiky v roce 2018. Ministerstvo zemědělství České republiky, 2018.