

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Hustota dřeva nepůvodních druhů smrků a borovic z oblasti
hnědouhelných výsypek
Bakalářská práce

Jakub Bedřich

Doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Bedřich

Dřevařství
Zpracování dřeva

Název práce

Hustota dřeva nepůvodních druhů smrků a borovic z oblasti hnědouhelných výsypek

Název anglicky

Wood density of non-native spruce and pine species from brown-coal mine dumps

Cíle práce

Cílem práce je srovnat hustotu dřeva geograficky nepůvodních druhů smrků a borovic použitých pro zalesnění rekultivované výsypky bývalého hnědouhelného dolu na území ČR. Posoudit variabilitu hodnocené vlastnosti a potenciál dřevin z pohledu využití ve zpracovatelském průmyslu.

Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o dřevu zkoumaných druhů, hustotě dřeva a faktorech, které hustotu ovlivňují.
- 2) Na reprezentativním zkušebním materiálu z druhů *Picea mariana*, *Picea omorika*, *Picea pungens*, *Pinus ponderosa*, *Pinus nigra* a *Pinus concorta* normalizovanými postupy stanovit hustotu dřeva při 12% a 0% vlhkosti dřeva.
- 3) Zhodnotit vliv dřeviny, pozice v kmeni a případných dalších faktorů na zkoumanou vlastnost, a z toho vyplývající dopad na potenciální využití dřeva.
- 4) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě. Dosažené hodnoty srovnat s údaji uvedenými v odborné literatuře.

Harmonogram:

leden až červen 2023 – zpracování literární rešerše

březen až říjen 2023 – měření a zpracování dat

září 2023 až březen 2024 – tvorba vlastní práce

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran textu

Klíčová slova

dřevo, fyzikální vlastnosti, hustota, introdukované dřeviny, smrk, borovice, variabilita

Doporučené zdroje informací

- ALDEN, H. A. Softwoods of North America. Madison, WI: U.S.D.A., Forest Service, Forest Products Laboratory, 1997. 151 s.
- DINWOODIE, J. M. Timber: Its nature and behavior, Taylor & Francis New York, USA, 2000. 258 s.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.
- TSOUMIS, G. Science and technology of wood – structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall, 1991. 497 s.
- WAGENFÜHR, R. Holzatlas. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000. 707 s.
- ZOBEL, B. J., VAN BUITENEN, J. P. Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag. Berlin, 1989. 363 s.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

doc. Ing. Vlastimil Borůvka, Ph.D., Dipl. Mgmt.

Elektronicky schváleno dne 14. 12. 2022

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Hustota dřeva nepůvodních druhů smrků a borovic z oblasti hnědouhelných výsypek vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze dne datum odevzdání

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce. Také bych rád poděkoval doc. Ing. Vlastimilu Borůvkovi, Ph.D., Dipl. Mgmt. za konzultace a mé rodině za podporu během studia i psaní této práce.

Abstrakt

Lesy v České republice jsou ohroženy kalamitami sucha a lýkožrouta smrkového. Nejohroženějšími druhy jsou smrk ztepilý (*Picea abies*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*), jejichž úbytkem by mohl být výrazně ovlivněn trh se dřevem. Proto je snaha nahradit je nepůvodními druhy. Možnou náhradou za smrk ztepilý jsou smrk omorika (*Picea omorica*), smrk černý (*Picea mariana*), nebo smrk pichlavý (*Picea pungens*). Za borovici lesní jsou to borovice černá (*Pinus nigra*), borovice těžká (*Pinus ponderosa*) či borovice pokroucená (*Pinus contorta*). Jako jeden ze základních ukazatelů kvality dřeva byla měřena jeho hustota. Všechny stromy, ze kterých byl získán materiál rostly na jednom místě. Proto byla možnost porovnávat jejich vlastnosti. Ze všech druhů smrků vyšel nejlépe smrk omorika, který svou hustotou (505 kg.m^{-3}) překročil i smrk ztepilý (503 kg.m^{-3}). Hustota ostatních druhů smrků byla nižší (s. černý 453 kg.m^{-3} a s. pichlavý 450 kg.m^{-3}). Žádný z druhů borovic nepředčil původní borovici lesní (565 kg.m^{-3}). Hustota borovice černé (547 kg.m^{-3}) se jí blížila nejvíce. Hustoty zbylých druhů borovic nedosahovaly tak vysokých hodnot (b. těžká 519 kg.m^{-3} a b. pokroucená 526 kg.m^{-3}). Horizontální a vertikální poloha ve kmeni neměla výrazný vliv na hustotu. Ze všech zkoumaných nepůvodních druhů by na základě hustoty dřeva mohly být v budoucnosti využívány smrk omorika a borovice černá jako náhrada za smrk ztepilý a borovici lesní.

Klíčová slova: dřevo, fyzikální vlastnosti, hustota, introdukované dřeviny, smrk, borovice, variabilita

Abstract

Forests in the Czech Republic are threatened by drought and the bark beetle calamities. The most endangered species are the Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*), the decline of which could significantly affect the timber market. Therefore, efforts are being made to replace them with non-native species. Possible replacements for the Norway spruce include Serbian spruce (*Picea omorica*), Black spruce (*Picea mariana*), or Colorado blue spruce (*Picea pungens*). As for the Scots pine, potential replacements are Austrian pine (*Pinus nigra*), Ponderosa pine (*Pinus ponderosa*), or Lodgepole pine (*Pinus contorta*). Wood density was measured as one of the key indicators of wood quality. All trees from which the material was obtained grew in the same location, allowing for comparisons of their properties. Among all spruce species, Serbian spruce had the highest density (505 kg.m⁻³), surpassing even the Norway spruce (503 kg.m⁻³). The density of the other spruce species was lower (black spruce 453 kg.m⁻³ and blue spruce 450 kg.m⁻³). None of the pine species exceeded the native Scots pine (565 kg.m⁻³), but the density of Austrian pine (547 kg.m⁻³) came closest. The densities of the remaining pine species did not reach such high values (ponderosa pine 519 kg.m⁻³ and lodgepole pine 526 kg.m⁻³). The horizontal and vertical position in the trunk did not have a significant influence on density. Based on wood density, Serbian spruce and Austrian pine could potentially be used in the future as replacements for Norway spruce and Scots pine.

Key words: wood, physical properties, density, introduced wood species, spruce, pine, variability

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce.....	11
3	Teoretická část	12
3.1	Smrky.....	12
3.1.1	Smrk omorika (<i>Picea omorika</i>).....	12
3.1.2	Smrk černý (<i>Picea mariana</i>).....	13
3.1.3	Smrk pichlavý (<i>Picea pungens</i>)	13
3.1.4	Smrk ztepilý (<i>Picea abies</i>).....	14
3.2	Borovice.....	14
3.2.1	Borovice černá (<i>Pinus nigra</i>).....	15
3.2.2	Borovice těžká (<i>Pinus ponderosa</i>)	15
3.2.3	Borovice pokroucená (<i>Pinus contorta</i>).....	15
3.2.4	Borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>)	16
3.3	Hustota dřeva	17
3.3.1	Hustota absolutně suchého dřeva	17
3.3.2	Hustota vlhkého dřeva	18
3.4	Faktory ovlivňující hustotu	18
3.4.1	Vliv vlhkosti.....	18
3.4.2	Vliv šířky letokruhů.....	18
3.4.3	Vliv polohy ve kmeni a částí stromu.....	18
3.4.4	Vliv podmínek pro růst.....	19
4	Metodika.....	20
4.1	Místo těžby.....	20
4.2	Těžba suroviny	20
4.3	Vymanipulování vzorků.....	21
4.4	Příprava vzorků na měření	21

4.5	Měření hustoty	22
4.6	Statistické zpracování dat	22
5	Výsledky	23
5.1	Smrky.....	23
5.1.1	Základní statistika.....	23
5.1.2	Porovnání hustoty jednotlivých dřevin.....	24
5.1.3	Vliv světové strany na hustotu dřeva.....	25
5.1.4	Vliv vzdálenosti od dřeně na hustotu dřeva.....	26
5.1.5	Vliv vertikálního umístění na hustotu	26
5.2	Borovice.....	27
5.2.1	Základní statistika.....	27
5.2.2	Porovnání hustoty jednotlivých dřevin.....	28
5.2.3	Vliv světové strany na hustotu dřeva.....	29
5.2.4	Vliv vzdálenosti od dřeně na hustotu dřeva	30
5.2.5	Vliv vertikálního umístění na hustotu	31
6	Diskuze.....	32
7	Závěr	36
8	Použitá literatura	37
9	Zdroje obrázků.....	43

Seznam obrázků

Obrázek 1: Vzhledem nejodlišnější smrky; smrk omorika (vlevo), smrk pichlavý (vpravo). Foto Hana Kříženecká; Agnieszka Kwiecień.....	13
Obrázek 2: Rozdíly mezi jehlicemi borovice těžké (vlevo) a borovice pokroucené (vpravo). Foto: Ladislav Kovář; Karl Pollak	16
Obrázek 3: Mapa umístění výsypky Antonín. Mapy.cz.....	20
Obrázek 4: Způsob vymanipulování fošny a označení vzorků. Kresba: Jakub Bedřich ...	21

Obrázek 5: Rozložení hustoty dřeva po výšce kmene v některých našich dřevinách (Kollmann; 1951).....	35
--	----

Seznam tabulek

Tabulka 1: Základní statistické zpracování dat pro vzorky s 12% vlhkostí.....	23
Tabulka 2: Základní statistické zpracování dat pro vzorky absolutně suché	24
Tabulka 3: Výsledky popisné statistiky pro vzorky borovic s vlhkostí 12 %.....	27
Tabulka 4: Výsledky popisné statistiky pro absolutně suché vzorky borovic	28
Tabulka 5: Hustota smrkového a bukového dřeva ve vzdálenosti od dřeně (Požgaj a kol.; 1993).....	34

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání hustot dřevin pro vzorky s 12% vlhkostí	24
Graf 2: Porovnání hustot dřevin pro vzorky v absolutně suchém stavu	25
Graf 3: Závislost hustoty na světových stranách sever, jih.....	25
Graf 4: Závislost hustoty dřeva na vzdálenosti od dřeně.....	26
Graf 5: Rozdíly v hustotě dřeva smrků v podélném směru kmene	27
Graf 6: Porovnání hustot jednotlivých druhů borovic při vlhkosti vzorků 12 %.....	29
Graf 7: Srovnání hustot jednotlivých druhů borovic při vlhkosti vzorků 12 %.....	29
Graf 8: Vliv světových stran (sever, jih) na hustotu dřeva borovic.....	30
Graf 9: Závislost hustoty dřeva na vzdálenosti od dřeně.....	30
Graf 10: Rozdíly v hustotě dřeva borovic v podélném směru kmene	31

1 Úvod

Hustota dřeva je jeden ze základních faktorů při hodnocení kvality stromů a jejich vhodnosti pro průmyslové využití. Proto tato práce zkoumá hustotu dřeva vybraných nepůvodních druhů smrků a borovic, které byly použity při zalesňování v oblasti hnědouhelných výsypek, a porovnává ji s hustotou dřeva původních druhů smrku a borovice.

Důvodem pro sázení cizích dřevin je nejen možnost rozšíření biodiverzity a ekonomického potenciálu lesních porostů, ale také jejich schopnost přizpůsobit se změnám klimatu a odolat kalamitám, jako je sucho a napadení kůrovcem. Přečkání kalamit však není jediné kritérium, které výsadbu lesů ovlivňuje. Hlavním faktorem, který ovlivňuje složení lesů, je využitelnost dřeva daných druhů v průmyslu.

V lesích České republiky je téměř polovina plochy osázena smrkem ztepilým, který silně podléhá kalamitám. Druhou nejběžnější dřevinou je borovice lesní, která zaujímá necelou jednu pětinu plochy lesa. Borovice lesní nepodléhá kalamitám kůrovce, ale je jednou ze dřevin nejvíce ohrožených suchem (Ministerstvo zemědělství a kol.; 2022).

Objevují se nepůvodní druhy borovic, které by v České republice mohly určitou využitelnost v průmyslu nalézt. Nejvýznamnějším z těchto druhů je borovice těžká, která by díky svým vlastnostem mohla dokonce nahradit dnes pěstovanou borovici lesní (Podrázský a kol.; 2020). V dnešní době jsou nepůvodními druhy pokryta pouze necelá 2 % lesů v České republice. Přesto však mohou na určitých lokalitách tyto druhy hrát významnou roli v zalesňování vymřelých lesů. Jedná se například o smrk pichlavý, který je vysazován ve vyšších nadmořských výškách. V blízké době nelze očekávat, že by nepůvodní dřeviny tvořily významnou část lesního hospodářství. V souvislosti s postupující změnou klimatu a na ni navázanou transformací hospodářství by však tyto druhy větší význam získat mohly (Novotný a kol.; 2023).

2 Cíle práce

Cílem práce je srovnat hustotu dřeva geograficky nepůvodních druhů smrků a borovic použitých pro zalesnění rekultivované výsypky bývalého hnědouhelného dolu na území ČR a posoudit variabilitu hodnocené vlastnosti a potenciál dřevin z pohledu využití ve zpracovatelském průmyslu.

3 Teoretická část

3.1 Smrky

Smrk je rod vysokých, stálezelených stromů s kuželovitou korunou a zahrnuje přibližně padesát druhů (Hieke; 2022). Dřevo smrku je bělové, podle druhu nažloutlé až mírně načervenalé a vytváří pryskyřici (Wagenführ; 2002). Větve jsou kratší a vyrůstají v přeslenech. Během růstu smrky postupně ztrácejí spodní větve. Smrky jsou velmi přizpůsobivé, díky tomu jsou pěstovány po celé Evropě a severní polovině Spojených států amerických (Bitner; 2012); v České republice jsou nejvíce zastoupenou dřevinou. Pokrývají téměř polovinu plochy hospodářských lesů na celém území ČR. V posledních letech je snaha o snižování výměry smrkových porostů (Ministerstvo zemědělství a kol.; 2022). Tato snaha vyplývá z častého výskytu kalamit. Nejčastějšími kalamitami na našem území jsou sucho nebo kůrovcové kalamity, které jsou ve většině případů provázány (Netherer a kol.; 2019). Kalamity jsou spojené se změnou klimatu, vyplývající z globálního oteplování. Globální oteplování samotné růst smrku podporuje. Problém je, že zároveň zvyšuje riziko kalamit. Smrk není na většině míst v České republice původní dřevinou, ale byl zde vysázen pro svůj rychlý růst a dobré vlastnosti dřeva. Díky tomu je také nejčastěji zpracovávanou dřevinou (Spiecker; 1998).

3.1.1 Smrk omorika (*Picea omorika*)

Smrk omorika dorůstá třiceti metrů. Jeho koruna je štíhlá (viz obrázek 1) a pokud strom roste samostatně, větve sahají až k zemi. Jeho jehlice jsou krátké, hustě postavené. Běžně se vyskytuje ve smíšených lesích, kde roste společně s jedlemi, borovicemi, či buky. Preferuje vápencové půdy ve vyšších polohách (Hecker; 2003). Smrk omorika je původní endemit Balkánského poloostrova. Se změnou klimatu dochází na původních stanovištích k jeho ubývání. Kvůli jeho nízké konkurenceschopnosti byl vytlačen na místa, kde se jiným dřevinám nedaří. Do střední Evropy byl původně přivezen a vyšlechtěn, aby mohl být vysazován jako okrasný strom do zahrad a parků, čemuž napomáhá i jeho odolnost vůči znečištění vzduchu, nebo také přizpůsobivost podmínkám (Mihaljević a kol.; 2005). Jeho tvar i dřevo jsou velmi podobné dřevu smrku ztepilého. V průmyslu bylo jeho dřevo dříve využíváno na stavební řezivo na konstrukci střech. V dnešní době se od jeho používání upouští převážně kvůli jeho snižujícím se stavům (Vidaković; 1991).

3.1.2 Smrk černý (*Picea mariana*)

Smrk černý je menší pomalu rostoucí strom, který dorůstá běžně dvaceti metrů. Jeho jehlice jsou velmi krátké, čtyřhranné, namodralé a velmi tuhé. Preferuje kyselé bažinaté půdy (Rushforth; 1991). Je původní dřevinou Severní Ameriky, kde je velmi rozšířený. Jeho dřevo je nejvíce využíváno na výrobu buničiny pro papírny a v menší míře také na stavební řezivo. Mladé stromky se díky vzhledu využívají jako vánoční stromečky (Burns a Honkala; 1990). V poslední době je kvůli požárům přirozeně nahrazován listnatými dřevinami nebo borovicemi, jelikož se nedokáže dostatečně rychle reprodukovat na vyhořelých místech (Balzer a kol.; 2021). Do Evropy se dostal jako okrasný strom do parků a skalek již v osmnáctém století, kdy byl poprvé vysazen v Anglii. Do České republiky se dostal o více než sto let později (Burns a Honkala; 1990).

3.1.3 Smrk pichlavý (*Picea pungens*)

Smrk pichlavý je až třicet pět metrů vysoký strom, s kuželovitou korunou (viz obrázek 1). Jeho jehlice jsou krátké a čtyřhranné. Ve většině případů se vyskytuje ve smíšených lesích spolu s douglaskami či borovicemi. Preferuje vlhké hlinité nebo štěrkové půdy ve vyšších polohách (Hecker; 2003). Původním stanovištěm smrku pichlavého je západ Severní Ameriky, kde roste především v pohoří Rocky Mountains a v okolních místech s podobným klimatem. Pro růst



Obrázek 1: Vzhledem nejodlišnější smrky; smrk omorika (vlevo), smrk pichlavý (vpravo). Foto Hana Kříženecká; Agnieszka Kwiecień

preferuje chladné a vlhké prostředí. Dřevo smrku pichlavého z těchto stanovišť není vhodné pro konstrukční účely, jelikož je velmi křehké a vyskytuje se v něm velké množství suků. Díky symetrii a barvě jsou smrky pichlavé často vysazovány jako okrasné nebo v plantážích, kde se pěstují na vánoční stromky. V Evropě byl smrk pichlavý poprvé vysazen v devatenáctém století (Burns a Honkala; 1990).

3.1.4 Smrk ztepilý (*Picea abies*)

Smrk ztepilý je nejčastějším jehličnanem, který roste v lesích České republiky. Celkově zabírá plochu přesahující 1,2 milionu hektarů, což odpovídá téměř polovině celkové rozlohy lesa v České republice. V poslední době je snaha snižovat stavy smrkových lesů kvůli kalamitám sucha, lýkožrouta a dalších hmyzích škůdců. Kvůli kalamitám se těží výrazně větší množství smrkového dřeva, čímž se stavy smrku snižují i přirozeně (Ministerstvo zemědělství a kol.; 2022). Tento druh smrku dorůstá až padesáti metrů, průměru kmene až dva metry a věku 300 let. Tvoří pravidelnou korunu. Je velmi odolný a roste kvalitně v různých klimatických i půdních podmínkách. Pro růst preferuje chladnější horské klima a vlhkou hlubší půdu (Hecker; 2003). Původním stanovištěm růstu smrku ztepilého je území dnešního Ruska a Skandinávie. Odtud se v 18. století začal rozšiřovat do celé Evropy. Z Evropy se rozšířil do celého světa. Běžně se pěstuje v Asii i Americe. V Evropě je smrk považován za ekonomicky i ekologicky nejdůležitější dřevinu. Jeho dřevo je využíváno na výrobu stavebního i truhlářského řeziva. Dřevo nejvyšší kvality je díky svým akustickým vlastnostem využíváno na výrobu hudebních nástrojů. V neposlední řadě se dřevo využívá také na výrobu buničiny a papíru (Caudullo a kol.; 2016).

3.2 Borovice

Borovice je rod stálezelených jehličnatých stromů nebo keřů (Hieke; 2022). Tento rod je díky odolnosti a schopnosti růst v různých podmínkách jedním z nejrozšířenějších jehličnanů na severní polokouli. Je známo přes sto druhů borovic. V mládí tvoří kuželovitou, méně symetrickou korunu, která se během růstu otevírá (Bitner; 2012). Jsou to jádrové dřeviny. Bělové dřevo je pět až deset centimetrů široké a nažloutlé. Jádro je podle druhu načervenalé žluté až tmavé hnědočervené. Dřevo obsahuje velké množství pryskyřice, ze které se vyrábí například terpentýn (Wagenführ; 2002). Borovice jsou druhou nejběžnější dřevinou, která se pěstuje v České republice. Její zastoupení v lesích v posledních letech mírně klesá, jelikož jsou jehličnaté dřeviny nahrazovány listnatými (Ministerstvo zemědělství a kol.; 2022). Borovice jsou odolné, a proto nejsou v takové míře ohroženy kalamitami sucha. Jsou však napadány

některými hmyzími škůdci, které je společně se suchem oslabí (Haynes a kol; 2014). Některé druhy borovic jsou dokonce označeny jako invazivní a jejich vysazování je v určitých zemích zakázáno (Brancatelli a kol; 2020).

3.2.1 Borovice černá (*Pinus nigra*)

Borovice černá je vysoký strom dorůstající do výšky třicet až čtyřicet metrů. Mladé stromy mají zpočátku kuželovitou korunu, která se postupně zplošťuje. Nejčastěji roste ve vyšších nadmořských výškách až k hranici lesa a mělčích půdách (Hecker; 2003). Původním stanovištěm výskytu borovice černé je jižní Evropa od Španělska až po Řecko. Dnes se běžně vyskytuje i ve střední Evropě, v Rakousku byla mírně přešlechtěna a vznikl nový poddruh. Tento druh je velmi odolný a daří se mu v různých podnebních podmínkách i různých typech půdy (Burns a Honkala; 1990). V České republice a okolních zemích se vysazuje odolnější rakouská varianta, která dobře snáší sucho (Hecker; 2003). Díky přizpůsobivosti vůči klimatu a suchu se v dnešní době vysazuje téměř po celém světě (Martín-Benito a kol.; 2008). Většina poddruhů nachází využití i v průmyslu. Dřevo se využívá na výrobu buničiny či aglomerovaných materiálů. Na některých místech se využívá také jako masivní dřevo v nábytkářství (Morais a kol.; 2020).

3.2.2 Borovice těžká (*Pinus ponderosa*)

Borovice těžká, také často označovaná jako borovice žlutá, je vysoký jehličnan, jehož původním stanovištěm jsou pohoří Severní Ameriky. Díky kvalitnímu dřevu a rychlému růstu je dnes nejběžnější borovicí v USA (Safford a Stevens; 2013). Dorůstá výšky padesát až osmdesát metrů a velkých průměrů. Výška závisí především na podmínkách, ve kterých roste. Borovice těžká je velmi přizpůsobivá různým podnebním i půdním typům. Kvůli tomu je v některých částech světa považována za invazivní. Nejen díky jejím rozměrům je hojně využívána ve dřevařském průmyslu (Burns a Honkala; 1990). Často je využívána na řezivo, ale také na výrobu dřevních pelet či na palivové dřevo. V menší míře bylo její dřevo využíváno také na stavbu srubů (Haynes a kol.; 2021). V minulosti byla úspěšně vysazena na různá místa v Evropě, kde se jí daří (Burns a Honkala; 1990). Detailní fotografie na obrázku 2.

3.2.3 Borovice pokroucená (*Pinus contorta*)

Borovice pokroucená je vysoký jehličnan dorůstající výšky až padesát metrů. Pochází ze západního pobřeží Severní Ameriky. Tento druh je velmi přizpůsobivý. Je limitována pouze nutností vysoké světelnosti. Zvládne se jednoduše přizpůsobit různým druhům klimatu i různým půdním typům. Lépe se jí daří ve vlhčí půdě, ale po prvních pár letech života zvládne

růst i v suchém prostředí (Burns a Honkala; 1990). Jelikož pro růst potřebuje vysokou světelnost, těžko se rozrůstá ve vysokém lese. V dnešní době se rychle rozšiřuje díky lesním požárům, které vytváří optimální podmínky pro její růst. Kvůli přizpůsobivosti a rychlému rozmnožování je často považována za invazivní druh (Despain; 2001). V Americe se dřevo této borovice využívá převážně na konstrukční účely, ale také na výrobu buničiny nebo aglomerovaných materiálů (Burns a Honkala; 1990). První kusy se do Evropy dostaly v první polovině devatenáctého století a byly vysazovány v parcích a zahradách jako okrasné stromy. V první polovině dvacátého století začaly ve Finsku vznikat první souvislé porosty borovice pokroucené. Odtud se dostala do Švédska, kde se vysazuje díky rychlému růstu a vysoké odolnosti biotickým škůdcům (Elfving a kol.; 2001). Ve střední Evropě byla vysázena jedna plantáž větších rozměrů v Německu, ale převážně se borovice pokroucená pro svou odolnost vysazuje v menším množství na místech, kde jiné stromy nerostou (Edwards; 1955). Detailní fotografie borovice pokroucené je na obrázku 2.



Obrázek 2: Rozdíly mezi jehlicemi borovice těžké (vlevo) a borovice pokroucené (vpravo). Foto: Ladislav Kovář; Karl Pollak

3.2.4 Borovice lesní (*Pinus sylvestris*)

Borovice lesní je nejvíce zastoupeným druhem borovice a zároveň druhým nejvíce zastoupeným jehličnanem v České republice. Porost borovice lesní má rozlohu přes 400 tisíc hektarů, což odpovídá asi šestnácti procentům rozlohy lesa. Její zastoupení v lese se v poslední době snižuje převážně kvůli epidemiím sucha (Ministerstvo zemědělství a kol.; 2022). Dorůstá

výšky až 35 metrů a dožívá se průměrně až 300 let. Vyznačuje se vysokou přizpůsobivostí půdním typům a schopností růstu i v suchých místech (Hecker; 2003). Jejím původním stanovištěm byl sever Evropy, a to především Skandinávie. Odtud se rozšířila do celého světa a v dnešní době je nejrozšířenějším druhem borovice vůbec (Burns a Honkala; 1990). Dřevo borovice je hojně využíváno ve zpracovatelském průmyslu. Využívá se v nábytkářství, pro konstrukční účely i pro výrobu aglomerovaných materiálů či buničiny (McLean; 2019).

3.3 Hustota dřeva

Hustota, přesněji objemová hmotnost dřeva, je jednou ze základních fyzikálních vlastností dřeva. Udává hmotnost jednotkového objemu dřeva a pohybuje se v rozmezí 130 až 1350 kg.m⁻³ (Požgaj a kol. 1993). Kvůli heterogenitě dřeva se hustota neměří přesně v jednom bodě, ale jako průměrná hodnota v celém vzorku. Hustota se liší nejen mezi jednotlivými dřevinami, ale také mezi jednotlivými stromy. Ani v rámci jednoho stromu není hustota stejná. Je rozdílná v jarním a letním dřevě, ale i v různých částech stromu. Využívá se jako jeden ze základních ukazatelů kvality dřeva. Ovlivňuje většinu ostatních fyzikálních i mechanických vlastností. U mechanických vlastností je pravidlem, že s rostoucí hustotou rostou také pevnosti (Kollmann; 1951). Hustota ovlivňuje rovněž zpracovatelnost a využitelnost dřeva (Barnett a Jeronimidis; 2003). Pro chemický průmysl je hustota ukazatelem obsahu dřevní hmoty. Je proto přímým ukazatelem výtěžnosti (Požgaj a kol.; 1993).

Existují různé druhy měřené hustoty podle vlhkosti dřeva, na kterém je hustota měřena.

3.3.1 Hustota absolutně suchého dřeva

Tento druh hustoty, jak vyplývá z názvu, je měřen na vysušeném dřevě. Dřevo se vysuší v sušičce a poté se změří hmotnost a rozměry. Sušení probíhá při 105 °C do ustálení hmotnosti (Požgaj a kol.; 1993) (ČSN 49 0108, 1993).

$$\rho_0 = \frac{m_0}{l_r * l_t * l_a} * 10^6$$

Kde: ρ_0 ... hustota dřeva v absolutně suchém stavu [kg.m⁻³]; m_0 ... hmotnost vysušeného vzorku [g]; l_r ... rozměr klimatizovaného vzorku v radiálním směru [mm]; l_t ... rozměr klimatizovaného vzorku v tangenciálním směru [mm]; l_a ... rozměr klimatizovaného vzorku v axiálním směru [mm]

3.3.2 Hustota vlhkého dřeva

Nejčastěji se měří hustota při vlhkosti dřeva 12 %. Této vlhkosti se dosáhne klimatizováním vzorků při teplotě vzduchu 20 (±2) °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 (±5) %. Tento způsob je používán celosvětově, a proto lze takto klimatizované dřevo porovnávat s výsledky jiných měření, která udávají hustotu dřeva při 12% vlhkosti (Požgaj a kol.; 1993) (ČSN 49 0108, 1993).

$$\rho_w = \frac{m_w}{l_r * l_t * l_a} * 10^6$$

Kde: ρ_w ... hustota dřeva při vlhkosti w [kg.m⁻³]; m_{12} ... hmotnost vzorku při vlhkosti w[g]; l_r ... rozměr vysušeného vzorku v radiálním směru [mm]; l_t ... rozměr vysušeného vzorku v tangenciálním směru [mm]; l_a ... rozměr vysušeného vzorku v axiálním směru [mm]

3.4 Faktory ovlivňující hustotu

Hustotu dřeva ovlivňuje velké množství faktorů. Závisí převážně na vlhkosti dřeva, šířce letokruhů, poloze ve kmeni a věku stromu a části stromu, ze které dřevo pochází (Požgaj a kol.; 1993). Závisí také na místě, ve kterém stromy rostou, pěstebních podmínkách, způsobu výsadby a, pokud rostou stromy na svahu, také na světové straně, na kterou je svažený (Timell; 1986).

3.4.1 Vliv vlhkosti

S rostoucí vlhkostí se zvyšuje také hustota. Objem se však zvyšuje pouze do nasycení vláken. Poté se zvyšuje pouze hmotnost. Hustota tedy se zvyšující se vlhkostí neroste lineárně. Vliv je pro všechny dřeviny stejný (Požgaj a kol.; 1993).

3.4.2 Vliv šířky letokruhů

U šířky letokruhů není vliv stejný u všech dřevin. Liší se mezi jehličnatými a listnatými dřevinami. U jehličnatých dřevin hustota se zvyšující se šířkou letokruhů klesá, jelikož vzniká větší množství jarního dřeva, které má nižší hustotu. U dřevin listnatých se až na některé výjimky roztroušeně pórovitých dřevin hustota s rostoucí šířkou letokruhů zvětšuje. Je to způsobeno tím, že na rozdíl od jehličnatých dřevin vzniká větší množství letního dřeva (Požgaj a kol.; 1993).

3.4.3 Vliv polohy ve kmeni a částí stromu

U většiny stromů se hustota zvyšuje směrem od dřeně. Souvisí to převážně se zužujícími se letokruhy směrem od dřeně ke kůře. U některých dřevin se hustota od dřeně nejprve zvyšuje a poté opět klesá. Hustota se mění také podle výšky kmene. V nižších částech vzniká větší

množství letního dřeva než v částech vyšších. V nižších částech kmene působí větší síly a je proto potřeba větší pevnost, kterou zajišťuje letní dřevo. Z toho plyne, že hustota dřeva s výškou kmene klesá (Požgaj a kol.; 1993).

Ve zbylých částech stromu, tedy ve větvích a kořenech, je hustota obecně vyšší (Požgaj a kol.; 1993).

3.4.4 Vliv podmínek pro růst

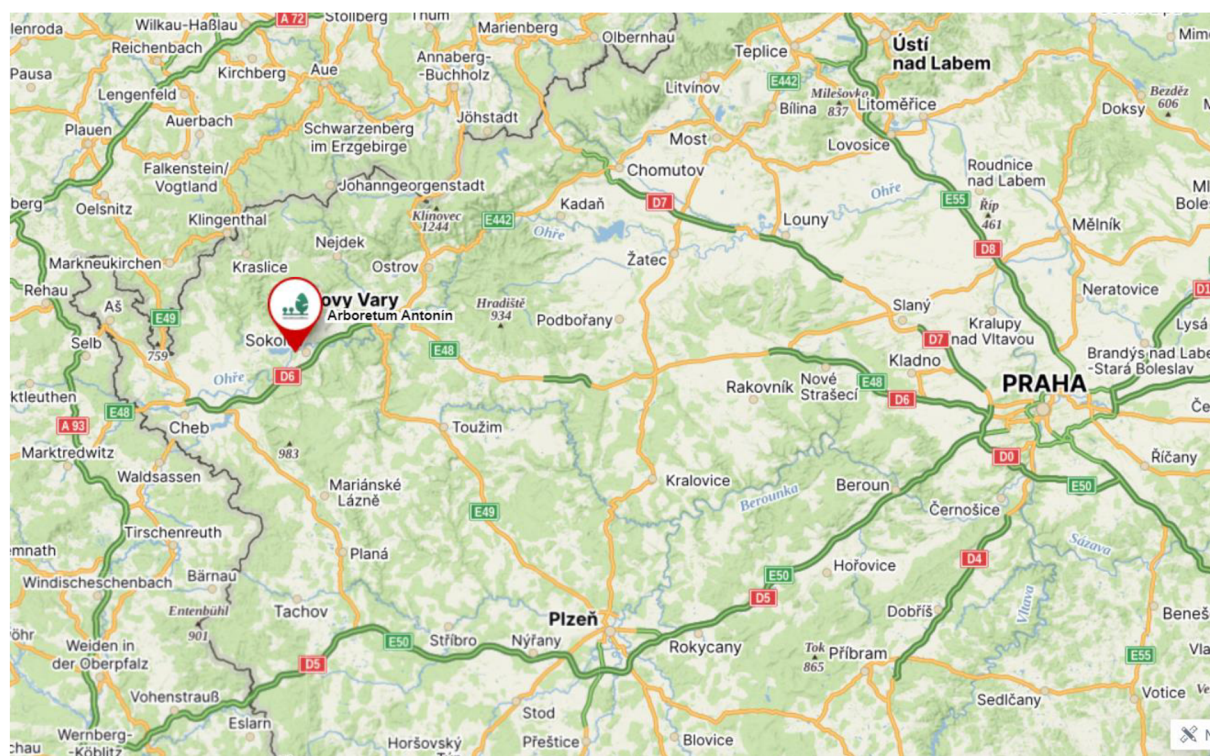
Hustota dřeva je ovlivněna geografickým umístěním. Na severní polokouli se hustota zvyšuje směrem k severnímu pólu (Romanova a kol.; 2018). Závislost na kvalitě a typu půdy je také velmi významná. Na chudších půdách je hustota dřeva ve většině případů vyšší než na půdách bohatých na živiny (Ramanantoandro a kol.; 2016). Hustotu mohou ovlivňovat také ošetření během pěstování. Každá dřevina reaguje na pěstební ošetření jinak. Například při hnojení se hustota některých dřevin snižuje, ale u jiných se hustota může zvyšovat (Jaakkola a kol.; 2006). U dalších opatření, jako jsou probírky a prořezávání, se hustota dřeva nemění (Moreno-Fernández a kol.; 2024).

4 Metodika

4.1 Místo těžby

Všechna dřevní surovina, která byla použita pro měření, byla vytěžena na výsypce Antonín poblíž obce Sokolov (viz obrázek 3).

Na místě se původně nacházel hlubinný uhelný důl, který byl později přeměněn na povrchový lom. Lom byl uzavřen v roce 1965 a později zasypan nejprve výsypkou z hlubinných štol dolu Antonín, poté skrývkou z lomu Medard a také popílkem z blízké elektrárny Tisová (Jiskra; 1997). V sedmdesátých letech došlo k lesnické rekultivaci a bylo zde vysázeno množství různých druhů jehličnatých i listnatých dřevin včetně několika desítek druhů introdukovaných. Uprostřed lomu vzniklo arboretum (Kovařík a kol.; 2018). Půda je převážně jílová (Kupka a Dimitrovský; 2011). Rozloha zalesněné plochy na výsypce je přibližně 165 ha a nejvyšší bod je 444 m. n. m.



Obrázek 3: Mapa umístění výsypky Antonín. Mapy.cz

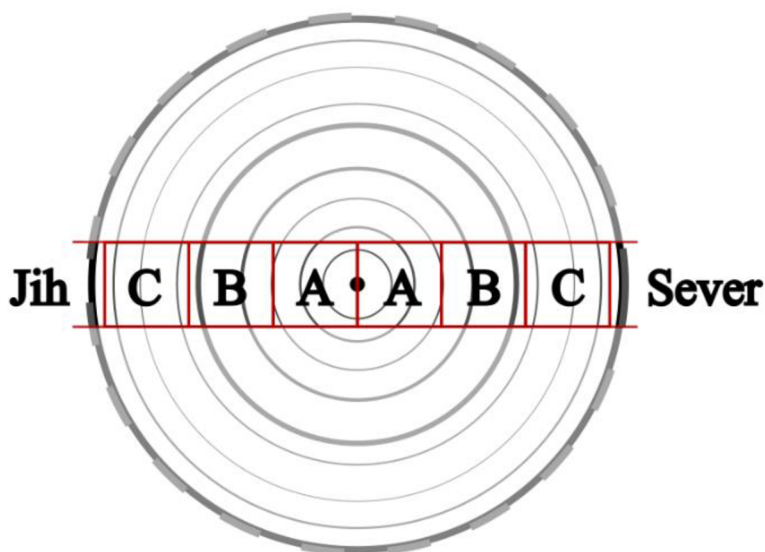
4.2 Těžba suroviny

Pro získání dřevní hmoty pro výzkum byly od každého druhu vybrány čtyři jednotlivé stromy na různých místech arboreta Antonín. Všechny stromy využité k získání suroviny byly přibližně padesát let staré. Z každého kmene byly ze spodní části vymanipulovány dvě metrové

středové fošny těsně nad sebou. Fošny byly vymanipulovány ve směru od severu k jihu (viz obrázek 4) tak, aby šlo později ověřit, zda se vlastnosti na jižní straně kmene liší od vlastností na straně severní. Celkově bylo získáno osm fošen od každého druhu, tedy 64 jednotlivých fošen. Všechny fošny byly získány ze stejného území, aby bylo možné porovnávat jejich vlastnosti mezi sebou. Těžba suroviny byla provedena 16. prosince 2021.

4.3 Vymanipulování vzorků

Označené fošny byly převezeny do truhlárny a předsušeny. Po předsušení byly připraveny k pořezu na kotoučové pile. Prvním řezem byly rozmítnuty dřeně, tedy středem. Poté byly postupně od středu odřezávány lišty o průřezu dvacet krát dvacet milimetrů. Jednotlivé lišty byly označovány podle vzdálenosti od dřeně (viz obrázek 4), aby bylo později možné ověřit, zda se vlastnosti podle vzdálenosti od dřeně liší. Jelikož se na dřevě měřily i jiné vlastnosti než hustota, byly z určitých částí vyříznuty vzorky o délce tři centimetry. Vzorky byly vymanipulovány tak, aby se v nich nevyskytovaly žádné viditelné vady, které by mohly ovlivnit hustotu dřeva.



Obrázek 4: Způsob vymanipulování fošny a označení vzorků. Kresba: Jakub Bedřich

4.4 Příprava vzorků na měření

První polovina vymanipulovaných a označených vzorků určených na měření hustoty při vlhkosti 12 % byla umístěna do klimatizační komory, kde byly vzorky klimatizovány v přesných podmínkách tak, aby se ustálila jejich hmotnost.

Specifické podmínky v klimatizační komoře byly nastaveny tak, aby se podle nomogramu rovnovážných vlhkostí dřeva ustálila vlhkost dřeva na 12 %. Byla nastavena teplota vzduchu 20 (± 2) °C a relativní vlhkost vzduchu 65 (± 5) %. Tento způsob je používán celosvětově, a proto lze takto klimatizované dřevo porovnávat s výsledky jiných měření, která udávají hustotu dřeva při 12% vlhkosti.

Druhá polovina vzorků byla umístěna do sušičky, kde byly vzorky sušeny při 105 °C do ustálení hustoty. Tím byla odstraněna veškerá voda ze vzorků a bylo možné vypočítat hustotu v absolutně suchém stavu.

4.5 Měření hustoty

Po ustálení hmotnosti vzorků bylo provedeno gravimetrické stanovení hustoty. Vzorky byly v malých množstvích, maximálně po deseti, vyjímány a byla u nich co nejrychleji změřena hmotnost v gramech na laboratorní váze. Poté byly změřeny všechny tři základní rozměry vzorků v milimetrech. Pro měření rozměrů vzorků bylo použito digitální posuvné měřidlo. Po získání těchto dat bylo možné pomocí vzorce vypočítat přesnou hustotu dřeva. Je vhodné změřit hmotnost dřeva co nejrychleji, jelikož dřevo díky hygroskopicitě rychle reguluje vlhkost podle okolních podmínek, což může výsledky měření zkreslovat.

4.6 Statistické zpracování dat

Pro statistické zpracování veškerých získaných dat byly použity programy Microsoft Excel a Statistica. Byly využity T-testy a ANOVA, oba typy testů na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Hodnocený byl vždy rozdíl hustot mezi jednotlivými skupinami vzorků. Většina statistických testů byla parametrických. Jediná část, u které bylo nutno použít test neparametrický, byla část týkající se rozdílů vlivem vzdálenosti od dřeně. Neparametrická ANOVA byla použita kvůli velkým rozdílům v počtu vzorků v jednotlivých skupinách.

5 Výsledky

Před statistickým zpracováním dat bylo zkontrolováno, zda některé stromy od určitého druhu neměly výrazně odlišnou hustotu dřeva od zbývajících stromů stejného druhu. Taková anomálie by mohla změnit výsledky testů a tím zkreslit výsledky. Pro žádný druh nebyl takový rozdíl odhalen, a proto bylo možné použít vzorky ze všech stromů.

5.1 Smrky

V této kapitole budou prezentovány výsledky měření pro všechny druhy smrků.

5.1.1 Základní statistika

V následující tabulce (tabulka 1) jsou prezentovány výsledky základního zpracování dat pro vzorky s vlhkostí 12 %. Nejvyšší průměrná hodnota činila $505 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ pro smrk omorika. Průměrná hustota smrku ztepilého, který je v našich podmínkách původní, vyšla jen nepatrně nižší, a to $503 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejnižší průměrná hustota byla naměřena u smrku pichlavého. Hustota pro tento druh činila $450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší naměřená hustota vůbec byla $612 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ pro vzorek smrku omorika. Naopak nejnižší hustota byla naměřena pro smrk černý, a to $395 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabulka 1: Základní statistické zpracování dat pro vzorky s 12% vlhkostí

Dřevina	Maximální hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Minimální hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Průměrná Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Variační koeficient [%]	Počet [ks]
Smrk černý	517	395	453	6	80
Smrk ztepilý	586	436	503	7	88
Smrk omorika	612	441	505	9	57
Smrk pichlavý	514	408	450	6	61

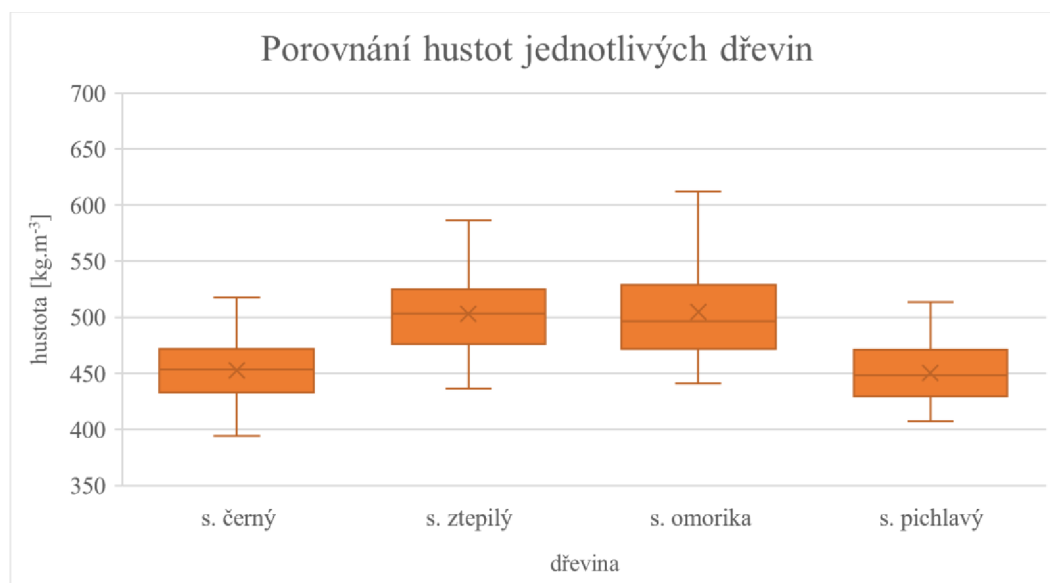
Tabulka 2 obsahuje základní statistické zpracování dat pro absolutně suché vzorky. Je patrné, že výsledky pro absolutně suché vzorky jsou velmi podobně rozložené jako pro vzorky s vlhkostí 12 %. Hodnoty jsou pouze nižší o vodu, která byla odpařena při sušení. Nejlépe ze všech nepůvodních druhů vychází smrk omorika s průměrnou hustotou $476 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší hodnota z těchto vzorků však byla naměřena pro původní smrk ztepilý. Průměrná hustota pro tento smrk vyšla $479 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Naopak nejnižší průměrná hustota byla naměřena pro smrk pichlavý, a to $423 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabulka 2: Základní statistické zpracování dat pro vzorky absolutně suché

Dřevina	Maximální hustota [kg.m ⁻³]	Minimální hustota [kg.m ⁻³]	Průměrná Hustota [kg.m ⁻³]	Variační koeficient [%]	Počet [ks]
Smrk černý	491	377	424	6	76
Smrk ztepilý	552	416	479	6	88
Smrk omorika	595	413	476	10	60
Smrk pichlavý	476	375	423	6	59

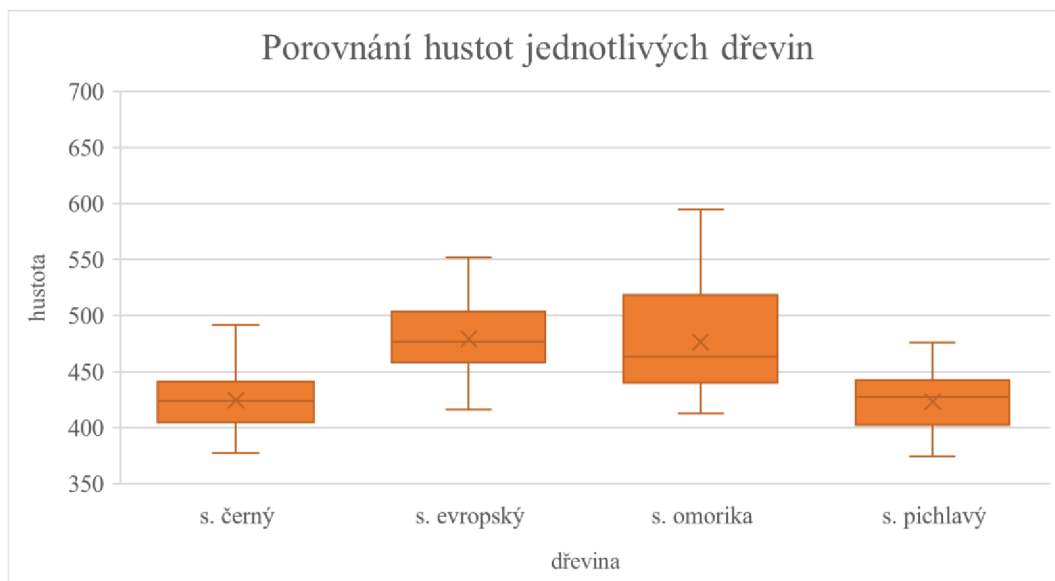
5.1.2 Porovnání hustoty jednotlivých dřevin

V následujícím grafu (graf 1) je viditelný výraznější rozdíl hustot mezi smrký. Pro dvojici smrk černý a smrk pichlavý nevyšel významný rozdíl v hustotách. Stejně tak i pro dvojici smrk ztepilý a smrk omorika. Mezi těmito dvojicemi však významný rozdíl vyšel. Lze tedy říci, že u měřených vzorků je hustota smrku ztepilého a smrku omorika vyšší než hustota smrku černého a smrku pichlavého.



Graf 1: Porovnání hustot dřevin pro vzorky s 12% vlhkostí

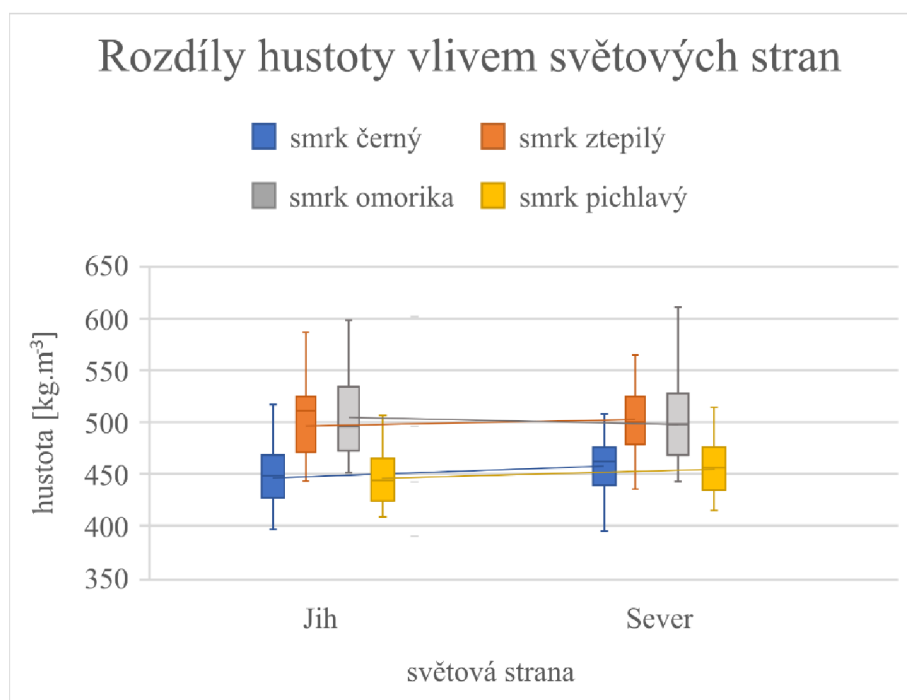
Z grafu pro vzorky vysušené v sušičce na 0% vlhkost je patrné, že hustota podléhá stejnému trendu jako u vzorků s 12% vlhkostí. Z toho důvodu budou ve všech zbylých výsledcích prezentovány pouze výsledky pro vzorky klimatizované na 12% vlhkost.



Graf 2: Porovnání hustot dřevin pro vzorky v absolutně suchém stavu

5.1.3 Vliv světové strany na hustotu dřeva

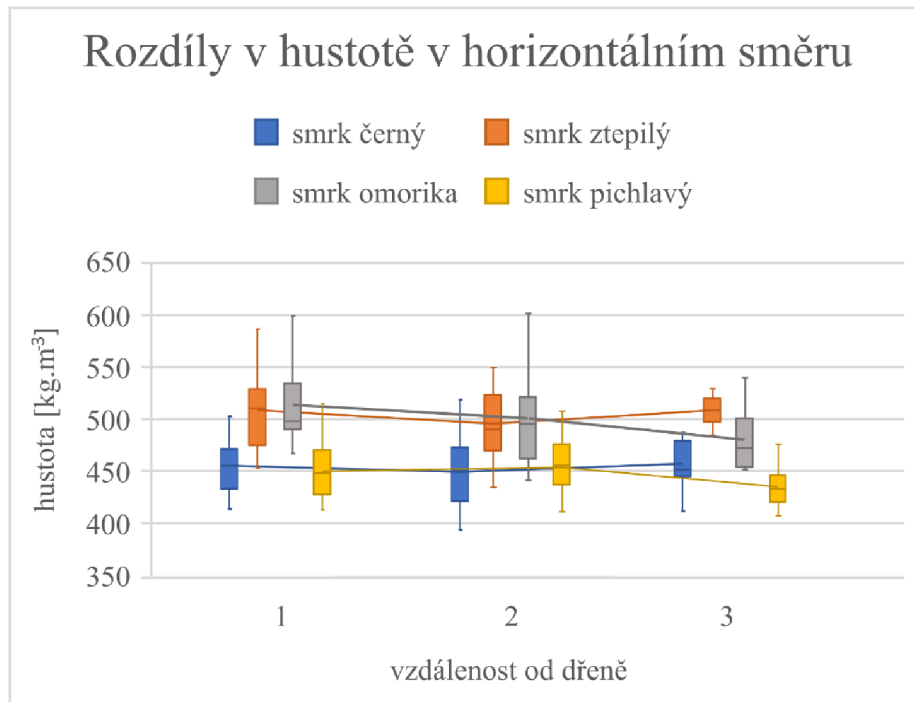
V metodice bylo popsáno přesné vymanipulování a označení fošen, které proběhlo přímo na místě těžby. Díky označení severní a jižní strany bylo možné určit, zda existují rozdíly v hustotě dřeva podle světových stran. Výsledek statistických testů pro rozdíly hustoty neprokázal u dřevin žádný rozdíl v hustotě na jednotlivých stranách stromu. Z grafu 3 je viditelné, že mezi severní a jižní stranou stromu není patrný žádný rozdíl mezi hustotami.



Graf 3: Závislost hustoty na světových stranách sever, jih

5.1.4 Vliv vzdálenosti od dřene na hustotu dřeva

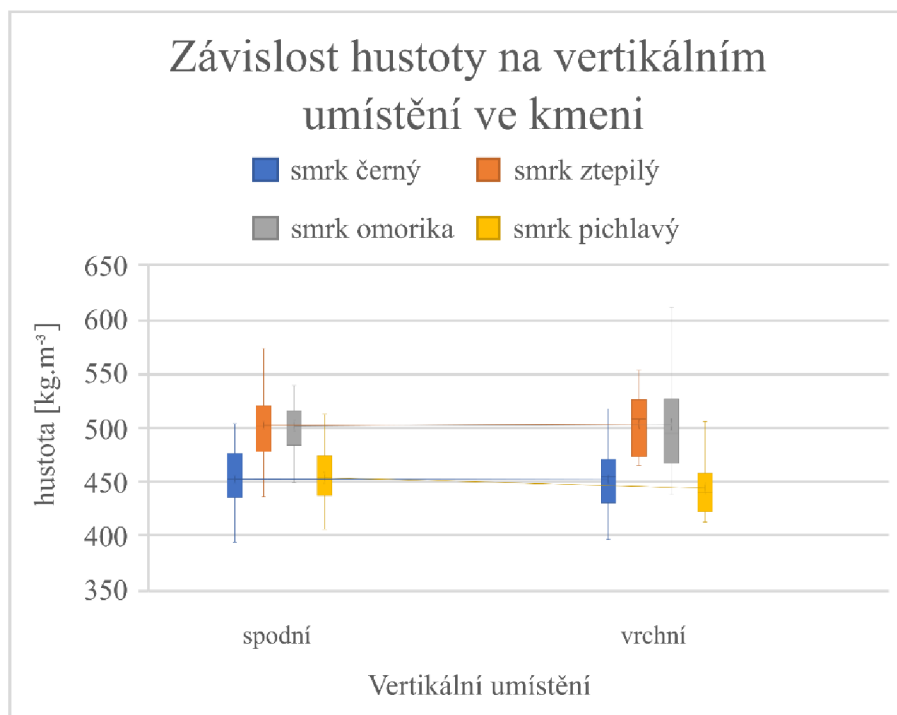
Na následujícím grafu (graf 4) je viditelné, že u měřených vzorků nebyl v horizontálním směru patrný rozdíl hustot. Tento výsledek potvrdily také statistické testy, které neprokázaly žádný rozdíl. Skupina vzorků s označením 1 zahrnuje vzorky nejbližší ke dřeni a skupina s označením 3 obsahuje vzorky nejvzdálenější od dřene.



Graf 4: Závislost hustoty dřeva na vzdálenosti od dřene

5.1.5 Vliv vertikálního umístění na hustotu

Z každého stromu byly získány dvě fošny těsně nad sebou. Vzorky byly proto rozděleny do dvou skupin podle fošny, ze které byly vzorky získány. Pro žádný druh smrku nebyl prokázán rozdíl, jak je patrné i z grafu 5.



Graf 5: Rozdíly v hustotě dřeva smrků v podélném směru kmene

5.2 Borovice

V této části výsledků budou prezentovány všechny naměřené a vypočtené výsledky týkající se borovic.

5.2.1 Základní statistika

V následující tabulce (tabulka 3) jsou prezentovány základní výsledky pro vzorky klimatizované na 12% vlhkost. Je zřejmé, že největší průměrná hustota byla naměřena pro vzorky borovice lesní a činila 565 kg.m^{-3} . Pro borovici lesní byla naměřena i nejvyšší hustota vzorku z měření, a to 674 kg.m^{-3} . Nejvyšší průměrná hustota pro nepůvodní druhy v České republice vyšla 547 kg.m^{-3} , a to pro borovici černou. Naopak nejnižší průměrná hustota vyšla 519 kg.m^{-3} pro vzorky borovice těžké. Nejnižší hustota vzorku byla naměřena pro borovici pokroucenou, jejíž vzorek měl hustotu pouze 433 kg.m^{-3} .

Tabulka 3: Výsledky popisné statistiky pro vzorky borovic s vlhkostí 12 %

Dřevina	Maximální hustota [kg.m ⁻³]	Minimální hustota [kg.m ⁻³]	Průměrná Hustota [kg.m ⁻³]	Variační koeficient [%]	Počet [ks]
Borovice těžká	589	435	519	6	49
Borovice lesní	674	445	565	8	81

Borovice černá	666	466	547	8	73
Borovice pokroucená	627	433	526	9	67

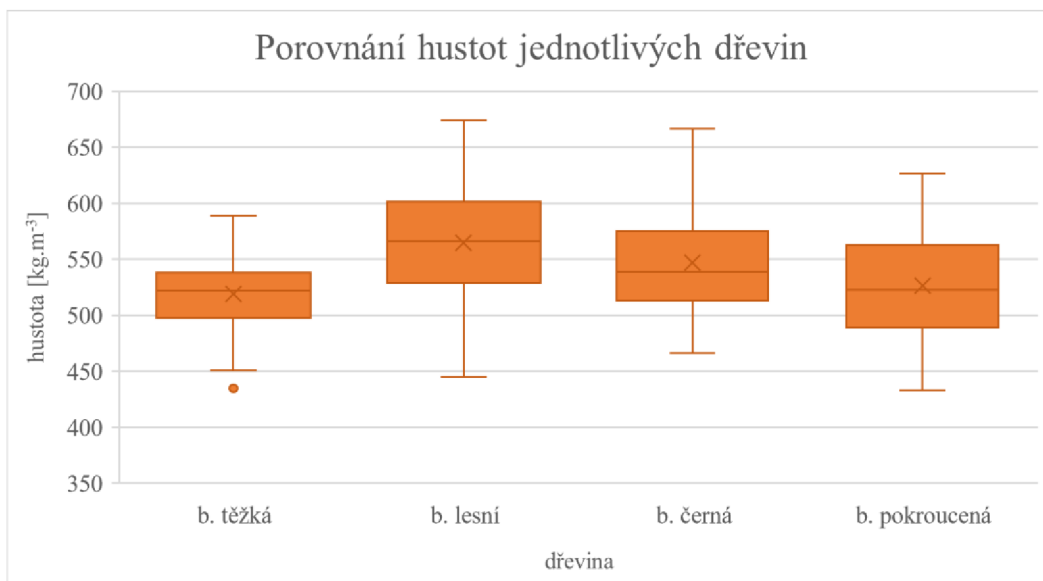
Tabulka 4 zobrazuje výsledky pro vzorky dřeva borovic vysušených do absolutně suchého stavu. Hodnoty pro vysušené vzorky ukazují téměř naprosto stejný trend, jako vzorky s 12% vlhkostí. Hodnoty hustot jsou pouze sníženy o vodu, která byla ze dřeva odstraněna sušením. Nejvyšší průměrná hustota vyšla 536 kg.m⁻³ pro borovici lesní. Nejvyšší naměřená hustota činila 631 kg.m⁻³ pro vzorek borovice černé. Nejnižší průměrná hustota vyšla 487 kg.m⁻³ pro borovici těžkou. Nejnižší hustota dřeva ze všech borovic však vyšla pro borovici pokroucenou, a to 40 kg.m⁻³.

Tabulka 4: Výsledky popisné statistiky pro absolutně suché vzorky borovic

Dřevina	Maximální hustota [kg.m ⁻³]	Minimální hustota [kg.m ⁻³]	Průměrná Hustota [kg.m ⁻³]	Variační koeficient [%]	Počet [ks]
Borovice těžká	585	414	487	8	49
Borovice lesní	625	432	536	9	76
Borovice černá	631	440	516	10	73
Borovice pokroucená	578	400	491	8	66

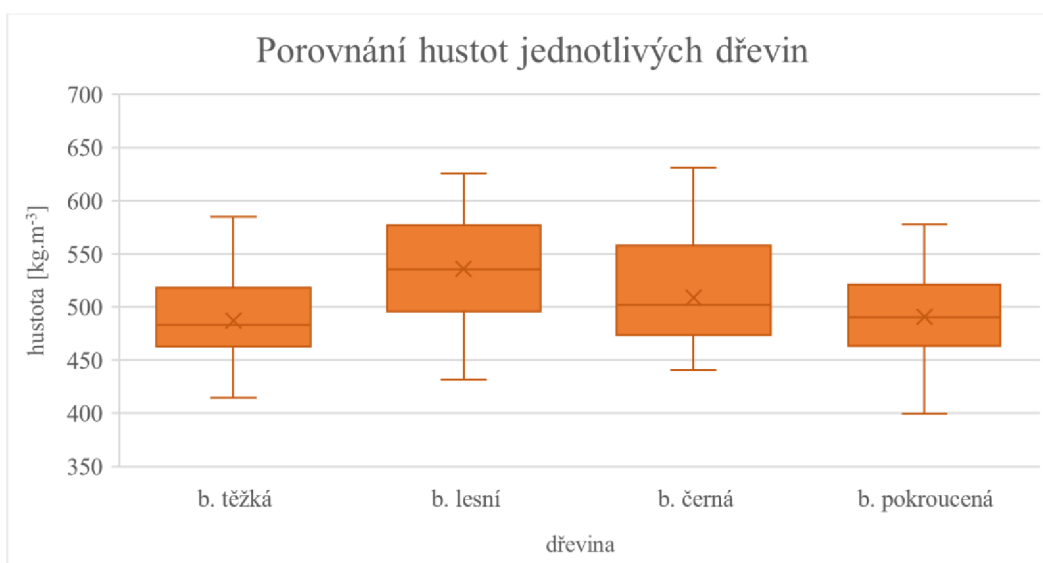
5.2.2 Porovnání hustoty jednotlivých dřevin

Statistické testy prokázaly, že hustota borovice lesní je nejvyšší ze všech. Dále prokázaly, že hustota borovice černé je nižší než hustota borovice lesní, ale vyšší než hustota zbylých borovic. Pro hustoty borovice těžké a borovice pokroucené neprokázaly testy žádný rozdíl. Lze tedy říci, že z nepůvodních druhů borovice vyšla hustota borovice černé jako nejvyšší. Vše je patrné na grafu 6.



Graf 6: Porovnání hustot jednotlivých druhů borovic při vlhkosti vzorků 12 %

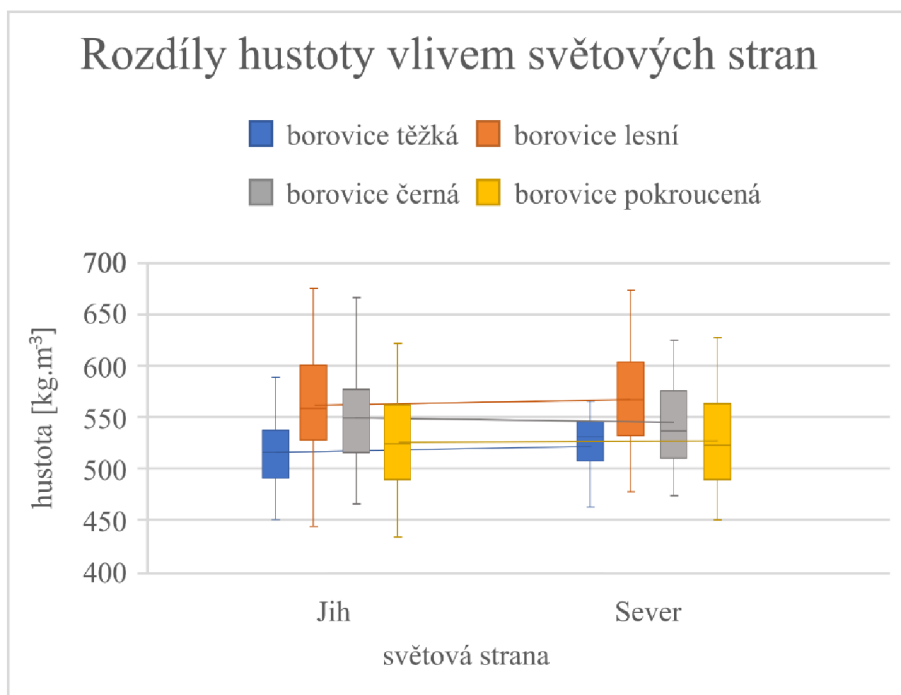
Na následujícím grafu (graf 7) je patrné, že hodnoty hustoty sušených vzorků podléhají téměř stejnému trendu jako hodnoty vzorků klimatizovaných na 12 % vlhkosti. Prokázaly to také statistické testy, proto v následujících částech budou prezentovány pouze výsledky pro vzorky klimatizované na 12% vlhkost.



Graf 7: Srovnání hustot jednotlivých druhů borovic při vlhkosti vzorků 12 %

5.2.3 Vliv světové strany na hustotu dřeva

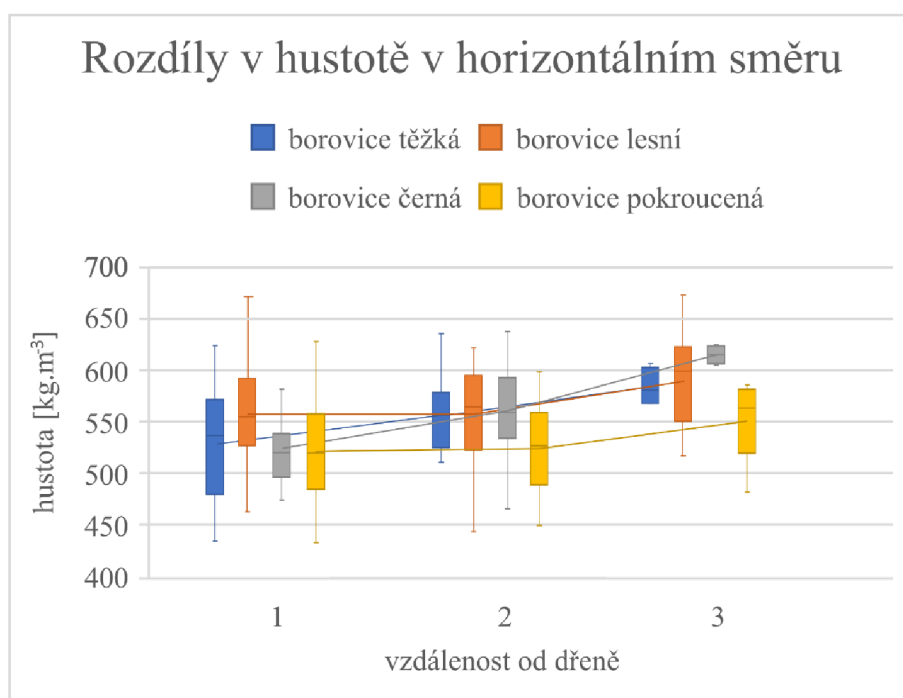
Na následujícím grafu (graf 8) je patrné, že v hustotě dřeva mezi jednotlivými světovými stranami není nápadný rozdíl. Statistické testy, které byly s výsledky provedeny, potvrdily, že pro žádný druh borovice není rozdíl v hustotě dřeva mezi severní a jižní stranou.



Graf 8: Vliv světových stran (sever, jih) na hustotu dřeva borovic

5.2.4 Vliv vzdálenosti od dřeně na hustotu dřeva

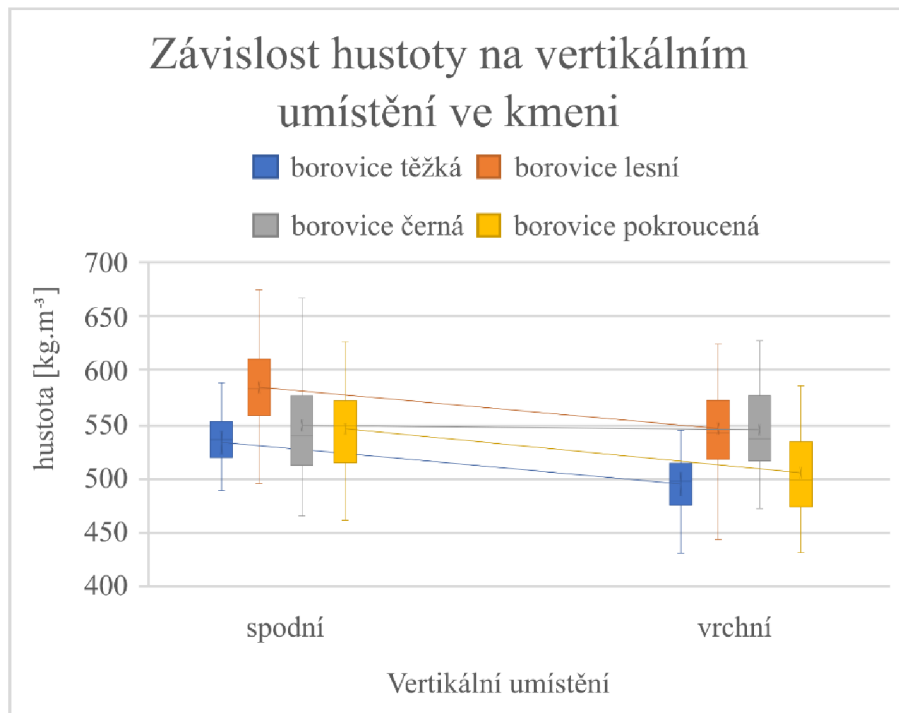
Na grafu 9 je viditelný rozdíl v hustotách dřeva vzorků podle vzdálenosti od dřeně pro všechny měřené druhy borovic. Z grafu je patrné, že hustota dřeva se zvyšuje směrem od dřeně ke kůře. Tento výsledek ukázaly také provedené statistické testy. Růst hustoty dřeva v tomto směru není lineární.



Graf 9: Závislost hustoty dřeva na vzdálenosti od dřeně

5.2.5 Vliv vertikálního umístění na hustotu

Jak je patrné z grafu 10, u většiny druhů borovic je patrný rozdíl mezi hustotou dřeva z nejnižší části kmene a z části vyšší, což prokázaly i statistické testy. Hustota vzorků z vyšší části kmene je nižší než u vzorků z části spodní.



Graf 10: Rozdíly v hustotě dřeva borovic v podélném směru kmene

6 Diskuze

Dřevo smrku ztepilého a borovice lesní je v České republice nejpoužívanější v průmyslu. Smrkové dřevo se využívá napříč celým spektrem dřevozpracovatelského průmyslu (Ministerstvo zemědělství a kol.; 2022). Hlavní využití má na stavební řezivo, ale je využíváno také v truhlářství, na výrobu kompozitních materiálů či při chemickém zpracování dřeva (Wagenführ; 2002). Dřevo borovice se stejně jako dřevo smrku využívá pro výrobu nábytku a konstrukční účely. Je využíváno také na výrobu vlákniny a další chemické zpracování (Novák; 1970). Kvůli kalamitám je však možné, že v budoucnu nebude tohoto dřeva pro průmysl dostatek a bude nutné najít za něj náhradu (Toth a kol.; 2020, Vacek a kol.; 2017). Základem této práce je zjistit, zda by některý z nepůvodních druhů mohl ve zpracovatelském průmyslu nahradit původní druhy.

Hustota jakožto vlastnost dřeva je velmi důležitá a je základem měření většiny vlastností dřeva. Je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících využitelnost dřeva a jeho mechanické vlastnosti. Na hustotě dřeva závisí také využitelnost dřeva v chemickém průmyslu, jelikož dřevo s větší hustotou obsahuje více hmoty v menším objemu, a proto má vyšší výtěžnost (Požgaj a kol.; 1993). Průměrná hodnota hustoty dřeva smrku ztepilého je při 12% vlhkosti $450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pro borovici lesní činí hustota dřeva naměřená při 12% vlhkosti $535 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Gandelová a kol.; 2009). Výsledná hodnota průměrné hustoty pro obě dřeviny vyšla při měření vyšší. Hustota dřeva jehličnatých stromů je však silně závislá na různých faktorech. Některými z hlavních faktorů jsou kvalita půdy, ve které strom roste, pěstební opatření či věk stromů. Je pravděpodobné, že půda z hnědouhelných výsypek je nízké kvality, a proto je hustota dřeva zde rostoucích stromů vyšší.

Pro nepůvodní druhy smrků vyšla v tomto měření jako nejvyšší hustota pro smrk omorika, která dosáhla průměru $505 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Jeho dřevo bylo dříve běžně využíváno ve stavebním průmyslu v Srbsku, kde má tento druh původní stanoviště. V dnešní době se od jeho využívání kvůli snižujícím se stavům upouští (Vidaković; 1991). Hustota dřeva smrku ztepilého na původních stanovištích se pohybuje od $508 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $534 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a průměrná hodnota ze všech stanovišť je $517 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Petrović a kol.; 2021). Z hlediska hustoty lze tedy říci, že smrk omorika by mohl v budoucnu hrát jistou roli v transformaci lesního hospodářství v České republice. Smrk omorika je velmi přizpůsobivý, ale je vytlačován z původních stanovišť ostatními druhy na místa, kde tyto druhy nepřežívají (Mihaljević a kol.; 2005). Přizpůsobivost půdním typům a

jiným podmínkám je pravděpodobně jeden z důvodů, proč jsou jeho vlastnosti dobré i na jiném místě, než je jeho původní stanoviště.

U smrku černého byla naměřena průměrná hustota 453 kg.m^{-3} . Je tedy o více než 50 kg.m^{-3} nižší než u smrku omorika ze stejné lokality. Lze tedy předpokládat, že i jiné vlastnosti smrku černého budou horší než u smrku omorika. Na původním stanovišti smrku černého v Severní Americe byla naměřena hustota spodní části kmene 430 kg.m^{-3} (Torquato a kol.; 2014).

Hustota smrku pichlavého byla naměřena 450 kg.m^{-3} . Je to nejnižší hustota ze všech introdukovaných dřevin v tomto měření, a proto nelze očekávat využití dřeva v průmyslu. Dřevo tohoto druhu nenachází především kvůli křehkosti uplatnění ani v místech, odkud pochází, a využívá se pouze v okrasných zahradách a parcích (Burns a Honkala; 1990).

Hustota borovice lesní vyšla nejvyšší ze všech borovic, na kterých probíhalo měření. Pro borovici černou vyšla průměrná hustota nižší. Hustota borovice černé z měření vyšla 547 kg.m^{-3} . Hustota borovice černé v Portugalsku byla měřena na různých místech a v průměru všech míst činila 588 kg.m^{-3} . Rozptyl hustot na různých stanovištích byl poměrně výrazný. Nejnižší naměřené hustoty činily 534 kg.m^{-3} a nejvyšší 644 kg.m^{-3} (Dias a kol.; 2018). V České republice byla hustota dřeva borovice černé v oblasti z okolí Kostelce nad Černými lesy v průměru 531 kg.m^{-3} (Zeidler; 2007). Při porovnání s výsledky z České republiky vyšla hustota borovice černé v tomto měření vyšší. Jelikož hustota dřeva borovic a smrků reaguje na okolní podmínky růstu obdobně, bylo možné tento výsledek očekávat. V průmyslu je dřevo borovice černé využíváno jen okrajově, ale v budoucnosti by mohlo jisté využití najít.

Průměrná hustota borovice pokroucené byla měřena na plantážích na severu Švédska a vyšla 456 kg.m^{-3} . Věk jednotlivých stromů se pohyboval okolo 35 let (Hayatgheibi a kol.; 2017). Další měření vlastností borovice pokroucené proběhlo ve střední části Litvy. Průměrná hustota v tomto měření vyšla 487 kg.m^{-3} (Sable a kol.; 2012). Pro vzorky použité v tomto měření vyšla průměrná hustota 526 kg.m^{-3} . Hustota je tedy nižší než u předcházejících druhů, ale vyšší než v jiných částech Evropy a velmi blízká průměrné hustotě borovice lesní v jiných částech České republiky. Využitelnost tohoto druhu pro průmysl v České republice tedy nelze vyloučit.

Pro borovici těžkou byla hustota měřena na jihozápadě USA. Hustota byla měřena při vlhkosti vzorků 6 % a přepočtena na 12% vlhkost. Výsledná hustota při 12% vlhkosti vyšla 464 kg.m^{-3} (Vaughan a kol.; 2019). Hodnoty naměřené v tomto měření pro borovici těžkou byly

nejnižší ze všech měřených druhů borovic. Hustota borovice těžké vyšla 519 kg.m^{-3} . V místech, kde borovice těžká roste přirozeně, se používá i na průmyslové zpracování (Haynes a kol.; 2021). V České republice se její využití v průmyslu očekávat nedá. Její hustota je nejnižší ze všech borovic, jejichž vzorky byly v tomto měření použity.

U smrku i borovice bylo dokázáno, že hustota se v horizontálním směru zvyšuje směrem od dřene ke kůře. Tento jev může souviset se zužujícími se letokruhy směrem od dřene (Požgaj a kol.; 1993). V tomto měření byla tato vlastnost hustoty potvrzena pouze u borovic, kde byla dobře patrná. U smrků tato vlastnost potvrzena nebyla. Z tabulky 9 je patrné, že v prvních 76 mm od dřene se hustota téměř nemění. Jelikož vzorky použité pro toto měření byly získány právě z této části kmenů, lze říci, že by změna hustoty dřeva neměla být patrná.

Tabulka 5: Hustota smrkového a bukového dřeva ve vzdálenosti od dřene (Požgaj a kol.; 1993)

Dřevina	Hustota [kg.m^{-3}]							
	Vzdálenost od dřene [mm]							
	0-10	12-32	34-54	56-76	78-98	100-120	122-142	144-164
Smrk	408	385	390	404	439	402	427	463
Buk	679	712	686	686	644	677	631	635

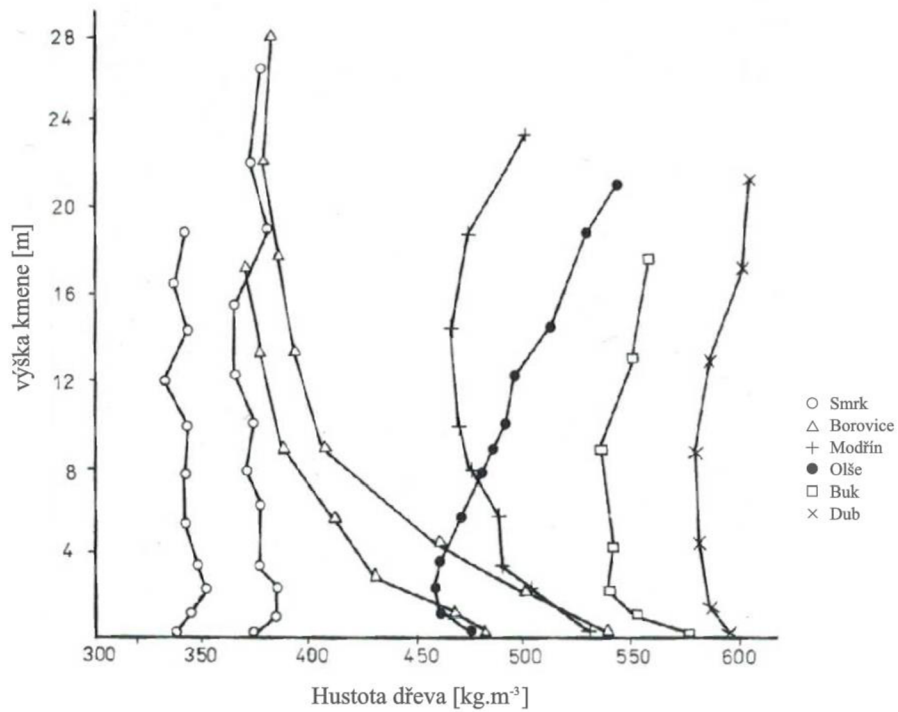
Hustota dřeva závisí také na hustotě lesního porostu, ve kterém stromy rostou a celkově na okolních podmínkách růstu, jako jsou světlost či kvalita půdy a ovzduší. Při prořezávkách se snižuje i hustota dřeva (Plauborg; 2004). Pokud byly provedeny prořezávky v okolí smrků, mohlo to také zapříčinit snížení hustoty od určitého období.

Všechny provedené testy na vzorcích dřeva z měření prokázaly, že neexistuje žádný rozdíl ve fyzikálních i mechanických vlastnostech v závislosti na orientaci dřeva k určité světové straně od dřene. Nebyl prokázán rozdíl ve vlastnostech mezi severní a jižní stranou kmene (Saranpää; 2003). Ke stejnému výsledku dospělo i toto měření. Nebyl prokázán rozdíl mezi severní a jižní stranou kmene u žádného zkoumaného druhu.

Lze očekávat, že v budoucnosti bude nutná transformace lesního hospodářství a některé nepůvodní druhy budou hrát dominantní roli. V dnešní době je však ve většině případů zřejmé, že původní druhy mají kvalitnější dřevo a lepší růst. Z tohoto měření vyplývá, že by se v budoucnosti mohly v průmyslu uplatnit některé nepůvodní druhy jehličnanů, jako je například smrk omorika nebo borovice černá, u kterých vyšly hustoty srovnatelné s původními druhy.

Hustota dřeva se směrem vzhůru v kmeni jehličnatých stromů snižuje, což je zapříčiněno snížením podílu letního dřeva (Požgaj a kol.; 1993). U smrků v tomto měření se hustota dřeva ve vyšších částech téměř neměnila. U borovic ke změně došlo, ale nikoliv k výrazné.

Z následujícího obrázku (obrázek 5) je patrné, že hustota dřeva smrku se vertikálně téměř nemění. U borovic je změna hustoty dřeva po výšce kmene výraznější. Stejný trend se potvrdil i v tomto měření.



Obrázek 5: Rozložení hustoty dřeva po výšce kmene v některých našich dřevinách (Kollmann; 1951)

7 Závěr

Introdukce nových a odolnějších dřevin je jednou z možností, jak lze čelit kalamitám v lesním hospodářství, které způsobuje převážně sucho a kůrovec. Je tedy snaha hledat takové dřeviny, které budou odolnější než dřeviny původní a zároveň budou mít využitelnost v průmyslu.

Tato práce se zabývala měřením hustoty nepůvodních druhů smrků a borovic, které byly v minulosti vysázeny při rekultivaci hnědouhelné výsypky v blízkosti obce Sokolov. Dále se také zabývala možnostmi využití těchto dřevin ve zpracovatelském průmyslu.

Hustota je jednou ze základních fyzikálních vlastností dřeva a ovlivňuje téměř veškeré mechanické vlastnosti dřeva. Samotná hustota je však ovlivněna mnoha faktory, jako je například vlhkost, podmínky růstu, stavba dřeva, ale také umístění ve kmeni.

Byla měřena hustota a její variabilita u čtyř druhů smrků, z nichž jeden byl původní a zbylé byly introdukované z ciziny; konkrétně šlo o dva druhy smrku ze Severní Ameriky a jeden druh z jižní Evropy. Naměřené hustoty byly porovnány s literaturou. Nejvyšší hustota byla naměřena na jihoevropském smrku omorika. Zbylé dva nepůvodní druhy smrků měly hustotu menší. U smrků byla variabilita hustoty nízká. V celém průřezu kmene se téměř nelišila. Vysoká hustota smrku omorika naznačuje, že jeho dřevo by mohlo mít dobré vlastnosti pro průmyslové zpracování. Lze tedy očekávat, že v budoucnosti by mohlo jeho dřevo být v průmyslu využíváno.

Dále byly měřeny také čtyři druhy borovic, z nichž byl jeden původní, dva druhy byly původně severoamerické borovice a poslední pocházel z jižní Evropy. Nejvyšší hustota byla naměřena pro původní borovici lesní. Z nepůvodních druhů měla nejvyšší hustotu jihoevropská borovice černá. Severoamerické borovice měly hustotu výrazně menší a nelze předpokládat, že by v budoucnu našly využití v průmyslu. U borovic byla vyšší variabilita hustoty v horizontální rovině. Pro průmyslové využití by v krajních případech bylo možné využít borovici černou, pokud by nebylo možné sázet borovice lesní.

Ze všech nepůvodních druhů smrků vyšla nejvyšší hustota pro smrk omorika. U nepůvodních druhů borovic vyšla nejlépe borovice černá. Pro většinu druhů byla hustota dřeva v tomto měření srovnatelná s měřením v původních lokalitách. Smrk omorika a borovice černá by na základě hustoty mohly nahradit původní druhy. Pro potvrzení výsledků by bylo možné rozšířit měření také na mechanické vlastnosti dřeva těchto druhů.

8 Použitá literatura

BALZER Jennifer L., Nicola J. DAY, Xanthe J. WALKER, David GREENE, Michelle C. MACK, Heather D. ALEXANDER, Dominique ARSENEAULT, Jennifer BARNES, Yves BERGERON, Yan BOUCHER, Laura BOURGEOU-CHAVEZ, Carissa D. BROWN, Suzanne CARIÈRE, Brian K. HOWARD, Sylvie GAUTHIER, Marc-André PARISIEN, Kirsten A. REID, Brendan M. ROGERS, Carl ROLAND, Luc SIROIS, Sarah STEHN, Dan K. THOMPSON, Merritt R. TURETSKY, Sander VERAVERBEKE, Ellen WHITMAN, Jian YANG, Johnstone Jill F. JOHNSTONE. Increasing fire and the decline of fire adapted black spruce in the boreal forest. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2021, 2021-11-09 [cit. 2023-11-13]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <https://doi.org/10.1073/pnas.2024872118>

BARNETT, John R. a JERONIMIDIS, George. *Wood quality and its biological basis*. Online. 2003, s. 226-226. ISBN 9780849328190. ISSN edsagr. [cit. 2024-02-19].

BITNER, Richard L. Jehličnany: kapesní atlas. Praha: Knižní klub, 2012. ISBN 978-80-242-3139-6.

BRANCATELLI, Gabriela I. E., Martín R. AMODEO, Yannina A. CUEVAS a Sergio M. ZALBA. Invasive pines in Argentinian grasslands: lessons from control operations. *Biological Invasions* [online]. 2020, **22**(2), 473-484 [cit. 2023-12-07]. ISSN 1387-3547. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02103-9>

BURNS, Russell M. a Barbara H. HONKALA. *Silvics of North America*. Washington: For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O., [1990]. Agricultural handbook (United States. Department of Agriculture), no. 654. ISBN 01-602-9260-3.

CAUDULLO, Giovanni, Willy TINNER, Daniele DE RIGO. *Picea abies in Europe: distribution, habitat, usage and threats* [online]. 2016. [cit. 2024-02-17]. ISBN 978-92-79-52833-0 edsair. Dostupné z: <https://doi.org/10.7892/boris.80794>

ČSN 49 0108, 1993. *Zjišťování hustoty*. První. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření.

DIAS, Alexandra, Maria J. GASPAR, Ana CARVALHO, Jani PIRES, José LIMA-BRITO, Maria E. SILVA a José L. LOUZADA. Within- and between-tree variation of wood density components in *Pinus nigra* at six sites in Portugal. *Annals of Forest Science* [online]. 2018, **75**(2) [cit. 2024-03-03]. ISSN 1286-4560. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0734-6>

DESPAIN, Don G. Dispersal ecology of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) in its native environment as related to Swedish forestry. *Forest Ecology and Management* [online]. 2001, **141**(1-2), 59-68 [cit. 2024-02-12]. ISSN 03781127. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00489-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00489-8)

EDWARDS, Megan. V. A summary of informations on *pinus contorta*; with special reference to its use in Europe. *Forestry Abstracts* [online]. 1955, **15**(16), 3-5 [cit. 2024-02-12]. Dostupné z: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20063041854>

ELFVING, Björn, Tore ERICSSON a Ola ROSVALL. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden — a review. *Forest Ecology and Management* [online]. 2001, **141**(1-2), 15-29 [cit. 2024-02-12]. ISSN 03781127. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00485-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00485-0)

GANDELOVÁ, Libuše, Petr HORÁČEK a Jarmila ŠLEZINGEROVÁ. *Nauka o dřevě*. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. ISBN 978-80-7375-312-2.

HAYATGHEIBI, Haleh, Anders FRIES, Johan KROON a Harry WU. Genetic analysis of lodgepole pine (*Pinus contorta*) solid wood quality traits. *Canadian Journal of Forest Research* [online]. 2017, **47**(10), 1303-1313 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0152>

HAYNES, Kyle J., Andrew J. ALLSTADT a Dietrich KLIMETZEK. Forest defoliator outbreaks under climate change: effects on the frequency and severity of outbreaks of five pine insect pests. *Global Change Biology* [online]. 2014, **20**(6), 2004-2018 [cit. 2023-12-07]. ISSN 13541013. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/gcb.12506>

HAYNES, Steven W., Cory A. BINGAMAN, Todd A. MORGAN, Eric A. SIMMONS, Kate C. MARCILLE a John D. SHAW. *The Four Corners timber harvest and forest products industry* [online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2021 [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.2737/rmrs-rb-34>

HECKER, Ulrich. Stromy a keře: klíč ke spolehlivému určování - 3 znaky. Čestlice: Rebo, 2003. Průvodce přírodou (Rebo). ISBN 80-723-4291-6.

HIEKE, Karel. Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů. 3. vydání. V Brně: CPress, 2022. ISBN 978-80-264-4123-6.

JAAKKOLA, Tuula, Harri MÄKINEN a Pekka SARANPÄÄ. Wood density of Norway spruce: Responses to timing and intensity of first commercial thinning and fertilisation. *Forest Ecology and Management* [online]. 2006, **237**(1-3), 513-521 [cit. 2024-03-02]. ISSN 03781127. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.083>

JISKRA, Jaroslav. Z historie uhelných lomů na Sokolovsku: od Johanna Davida Edler von Starcka po Sokolovskou uhelnou, a. s. Sokolov: Sokolovská uhelná, 1997. ISBN 80-238-2642-5.

KOLLMANN, Franz. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Online. 1951. ISBN 9783642494741 edsair. [cit. 2024-02-19].

KOVAŘÍK, Jakub, Stanislav VACEK, Jan CUKOR, Vilém PODRÁZSKÝ, Zdeněk VACEK a Rostislav LINDA. Forest biodiversity and production potential of post-mining landscape: opting for afforestation or leaving it to spontaneous development? *Central European Forestry Journal* [online]. 2018, **64**, 116-126 [cit. 2024-01-25]. ISSN 24540358. Dostupné z: <https://doi.org/10.1515/forj-2017-0036>

KUPKA, Ivo a Konstantin DIMITROVSKÝ. Výsledky testování vybraných dřevin pro lesnické rekultivace na Sokolovsku: Review. *Zprávy lesnického výzkumu* [online]. 2011, **56**(speciál), 52 - 56 [cit. 2024-01-25]. ISSN 0322-9688. Dostupné z: https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/04/Special_2011.pdf#page=54

MARTÍN-BENITO, Darío, Paolo CHERUBINI, Miren DEL RÍO a Isabel CAÑELLAS. Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. *Trees* [online]. 2008, **22**(3), 363-373 [cit. 2024-02-05]. ISSN 0931-1890. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00468-007-0191-6>

MCLEAN, Paul. *Wood properties and uses of Scots pine in Britain*. Forestry Commission, 2019. ISBN 978-0-85538-985-7.

MIHALJEVIĆ, Snježana; JELANSKA, Sibila; JAIN, Mohan S. a GUPTA, Pramod K. OMORIKA SPRUCE (*Picea omorika*). *Protocol for Somatic Embryogenesis in Woody Plants*. Forestry sciences [online]. 2005, s. 35-45. [cit. 2023-11-13]. ISBN 10 1-4020-2985-3. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/1-4020-2985-3#page=46>

Ministerstvo zemědělství; Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská; Lesy České republiky, s. p.; Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta; Ministerstvo životního prostředí; Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem; Výzkumný ústav lesního hospodářství. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2021*. Vyd. 1. Ministerstvo zemědělství, 2022. ISBN 978-80-7434-669-9.

MORAIS, José, Fernando A. M. PEREIRA, Alexandra DIAS, José LOUSADA, José LIMA-BRITO, Ana ALVES a Ana CARVALHO. *Physical, chemical and mechanical wood properties of Pinus nigra growing in Portugal* [online]. 2020 [cit. 2024-02-05]. ISSN 12864560. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00984-8>

MORENO-FERNÁNDEZ, Daniel, Andrea HEVIA, Iciar ALBERDI a Isabel CAÑELLAS. *Influence of Silvicultural Operations on the Growth and Wood Density Properties of Mediterranean Pines* [online]. IntechOpen, 2024 [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.1003005>

NETHERER, Sigrid; Bernd PANASSITI; Josef PENNERSTORFER a Bradley MATTHEWS. Acute Drought Is an Important Driver of Bark Beetle Infestation in Austrian Norway Spruce Stands. Online. *Frontiers in Forests and Global Change* [online]. 2019, roč. 2. ISSN 2624-893X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00039>

NOVÁK, Vladimír. *Dřevařská technická příručka*. Praha: SNTL, 1970. ISBN 04-821-70.

NOVOTNÝ, Stanislav, Josef GALLO, Martin BALÁŠ, Ivan KUNEŠ, Zdeněk FUCHS a Pavel BRABEC. Silvicultural potential of the main introduced tree species in the Czech Republic – review. *Central European Forestry Journal* [online]. 2023, 2023-08-01, **69**(3), 188-200 [cit. 2024-03-02]. ISSN 2454-0358. Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/forj-2023-0014>

PETROVIĆ, Danijela, Vojislav D. DUKIĆ, Zdravko POPOVIĆ a Nebojša TODOROVIĆ. MOR and MOE of Serbian Spruce (*Picea omorika* Pančić/Purkyně) Wood from Natural Stands. *Drvna industrija* [online]. 2021, 2021-05-07, **72**(2), 193-200 [cit. 2024-03-03]. ISSN 18471153. Dostupné z: <https://doi.org/10.5552/drvind.2021.2028>

PLAUBORG, Klaus. U. Analysis of radial growth responses to changes in stand density for four tree species. *Forest Ecology and Management* [online]. 2004, **188**(1-3), 65-75 [cit. 2024-03-26]. ISSN 03781127. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.022>

PODRÁZSKÝ, Vilém, Zdeněk VACEK, Stanislav VACEK, Jan VÍTÁMVÁS, Josef GALLO, Anna PROKŮPKOVÁ a Giuseppe D'ANDREA. Production potential and structural variability of pine stands in the Czech Republic: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) vs. introduced pines – case study and problem review. *Journal of Forest Science* [online]. 2020, 2020-5-31, **66**(5), 197-207 [cit. 2024-03-02]. ISSN 12124834. Dostupné z: <https://doi.org/10.17221/42/2020-JFS>

POŽGAJ, Alexander, Dušan CHOVANEC, Stanislav KURJATKO a Marian BABIAK. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda, 1993. ISBN 80-070-0600-1.

RAMANANANTOANDRO, Tahiana, Miora F. RAMANAKOTO, Gabrielle L. RAJOELISON, Jean C. RANDRIAMBOAVONJY a Herimanitra P. RAFIDIMANANTSOA. Influence of tree species, tree diameter and soil types on wood density and its radial variation in a mid-altitude rainforest in Madagascar. *Annals of Forest Science: Official journal of the Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)* [online]. 2016, **73**(4), 1113-1124 [cit. 2024-03-02]. ISSN 12864560. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0576-z>

ROMANOVA, Natalia A., Alexander B. ZHIRNOV, Natalia A. YUST a Xu FUCHENG. Impact of forest growth conditions on the wood density: the case of Amur Region. *Folia Forestalia Polonica* [online]. 2018, 2018-12-01, **60**(4), 292-298 [cit. 2024-03-02]. ISSN 2199-5907. Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/ffp-2018-0030>

RUSHFORTH, Keith. *Conifers*. Batsford, 1991. ISBN 0-7470-2801-X.

SABLE, Inese, Uldis GRINFELDS, Aris JANSONS, Laura VIKELE, Ilze IRBE, Anrijs VEROVKINS a Arnis TREIMANIS. Comparison of properties of wood and pulp fibers from lodgepole pine (*pinus contorta*) and scots pine (*pinus sylvestris*). *BioResources* [online]. 2012, 2012-02-01, **7**(2), 1771-1783 [cit. 2024-03-03]. ISSN 1930-2126. Dostupné z: <https://doi.org/10.15376/biores.7.2.1771-1783>

SAFFORD, Harry D.; John T. STEVENS. *Natural Range of Variation (NRV) for yellow pine and mixed conifer forests in the bioregional assessment area, including the Sierra Nevada, southern Cascades, and Modoc and Inyo National Forests*. Gen Tech Rep PSW-GTR-2562, [online]. 2017, [cit. 2024-02-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-256>

SARANPÄÄ, Pekka. *Wood density and growth*. 1-84127-319-8, 2003.

SPIECKER, Heinrich. Growth of Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) under Changing Environmental Conditions in Europe. Online. In: KLIMO, Emil; KULHAVÝ, Jiří a HAGER, Herbert. *952-9844-76-X*. Brno: *European Forest Institute* [online]. 1998, s. 11-26. [cit. 2023-11-13]. ISBN 952-9844-76-X. ISSN 1237-8801. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Heinrich-Spiecker/publication/285638409_Growth_of_Norway_spruce_Picea_abies_L_Karst_under_changing_environmental_conditions_in_Europe/links/5e5279cb92851c7f7f512e20/Growth-of-Norway-spruce-Picea-abies-L-Karst-under-changing-environmental-conditions-in-Europe.pdf#page=12

TIMELL, Torre E. *Compression Wood in Gymnosperms*. Springer Berlin, Heidelberg, 1986. ISBN 978-3-540-15715-1.

TORQUATO, Luciane P., David AUTY, Roger E. HERNÁNDEZ, Isabelle DUCHESNE, David POTHIER a Alexis ACHIM. Black spruce trees from fire-origin stands have higher wood mechanical properties than those from older, irregular stands. *Canadian Journal of Forest Research* [online]. 2014, **44**(2), 118-127 [cit. 2024-03-03]. ISSN 0045-5067. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0164>

TOTH, Daniel, Mansoor MAITAH, Kamil MAITAH a Veronika JAROLÍNOVÁ. The Impacts of Calamity Logging on the Development of Spruce Wood Prices in Czech Forestry. *Forests* [online]. 2020, **11**(3) [cit. 2024-03-03]. ISSN 1999-4907. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f11030283>

VACEK, Stanislav, Zdeněk VACEK, Jiří REMEŠ, et al. Sensitivity of unmanaged relict pine forest in the Czech Republic to climate change and air pollution. *Trees* [online]. 2017, **31**(5), 1599-1617 [cit. 2024-03-03]. ISSN 0931-1890. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1572-0>

VAUGHAN, Damon, David AUTY, Thomas E. KOLB, Andrew J. SÁNCHEZ MEADOR, Kurt H. MACKES, Joseph DAHLEN a W. Keith MOSER. Climate has a larger effect than stand basal area on wood density in *Pinus ponderosa* var. *scopulorum* in the southwestern USA. *Annals of Forest Science* [online]. 2019, 76(3) [cit. 2024-03-03]. ISSN 1286-4560. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0869-0>

VIDAKOVIĆ, Mirko. Conifers: morphology and variation. USDA, Forest Service, 1991. ISBN 085198-807-5.

WAGENFÜHR, Rudi. *Dřevo - obrazový lexikon: obrazový lexikon*. Praha: Grada, 2002. ISBN 80-247-0346-7.

ZEIDLER, Aleš Zhodnocení vybraných vlastností dřeva borovice černé (*pinus nigra* Arnold.). *Zprávy lesnického výzkumu* [online]. 2007, roč. 52, č. 2007, s. 14 - 20. ISSN: 0322-9688.

9 Zdroje obrázků

KOVÁŘ, Ladislav. *Pinus Ponderosa* [Foto]. Průhonice, Česko 2010. In: Botany [Online]. [Cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://botany.cz/foto2/pinusponder4.jpg>

KŘÍŽENECKÁ, Hana. Smrk omorika dvojice stromů [Foto]. Praha 2016. In: Blanokřídli v Praze [online]. [Cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://www.blanokridlivpraze.cz/obrazky/2016/24899-omorika-dvojice-stromu.jpg>

KWIECIEN, Agnieszka. *Picea pungens* 'Montgomery' [Foto]. Wrocław, Poland 2006. In: *Wikipedia* [online]. [Cit. 2024-03-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Smrk_pichlav%C3%BD#/media/Soubor:Picea_pungens_'Montgomery'_2006-05-03.jpg

MAPY.CZ. [*Sokolov*]. Online. Seznam.cz, 2024. [Cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=13.4444469&y=50.2029879&z=9>

POLLAK, Karl. *Pinus contorta* subsp. *Contorta* [Foto]. White Rock, Kanada 2008. In: Biolib [Online]. [Cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/IMG/GAL/71224.jpg>