

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva



Vliv stanoviště na hustotu dřeva borovice lesní

Bakalářská práce

Autor: Filip Vojtěchovský

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

2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Vojtěchovský

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Vliv stanoviště na hustotu dřeva borovice lesní

Název anglicky

Impact of Site on Wood Density of Scots Pine

Cíle práce

Posoudit především vliv stanoviště na hustotu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) 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, případně pozice v kmeni a dalších faktorů na zkoumanou vlastnost.
- 5) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran textu

Klíčová slova

dřevo, borovice lesní, vlastnosti, hustota, variabilita

Doporučené zdroje informací

KOLLMANN, F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe – Erste Band. Berlin: Springer-Verlag, 1951. 1050 s.

LEXA, J., NEČESANÝ, V., PACLT, J., TESAŘOVÁ, M., ŠTOFKO, J. Technológia dreva I. – Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.

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

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D, KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.

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

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

Konzultant

Ing. Vlastimil Borůvka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2017

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv stanoviště na hustotu dřeva borovice lesní“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Zeidlera, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 20.4.2018

Podpis autora

Poděkování

Rád bych nejprve poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za příkladné vedení a umožnění podílet se na projektu „Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky“. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Ondřeji Schönfelderovi za pomoc při zpracování dat, a také svým blízkým za podporu.

Abstrakt

Tato práce se zabývá posouzením vlivu stanoviště na hustotu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) z reprezentativních lokalit České republiky, a to konkrétně z oblasti Doksy. Součástí této práce je i zhodnocení dalších faktorů, které mohou ovlivnit variabilitu hustoty dřeva, a to poloha v kmeni, orientace světových stran a šířka letokruhu. Stanovení hustoty dřeva bylo provedeno standardizovanými postupy, která udává měření při vlhkosti 12 %. Na druhém stanovišti dosáhla hustota vyšších hodnot než na prvním stanovišti. U prvního stanoviště dosáhla průměrné hustoty $0,511 \text{ g.cm}^{-3}$, průměrná hustota dřeva ze druhého stanoviště byla $0,563 \text{ g.cm}^{-3}$. U vlivu horizontální polohy se projevil trend, kde hustota klesá se zvyšující vzdáleností od dřene. Prokázal se i vliv vertikální polohy v kmeni, kde hustota klesá s rostoucí výškou. K mírnému poklesu hustoty došlo i při zvětšující se šířce letokruhu.

Klíčová slova: dřevo, hustota, variabilita, borovice lesní, vlastnosti

Abstract

This study is concerned with assessing the impact of the site on the wood density of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) from representative locations in the Czech Republic, specifically from region named Doksy. Part of this work also includes the evaluation of other factors that can influence the variability of wood density, namely the position in the trunk, compass direction and the width of the tree-ring. The calculation of wood density was carried out by standardized methods, which specifies the moisture measurement at 12%. The observed wood density reached higher values at the second site than the first site. The average density at the first site was 0.511 g.cm^{-3} , while the average wood density at the second site was 0.563 g.cm^{-3} . The influence of the horizontal position showed a trend whereby density decreases with increasing distance from the pith. On the other hand, the influence of the vertical position showed that density decreases with the height of the tree. A slight decrease in density occurred even with the growing tree-ring width.

Keywords: wood, density, variability, Scots pine, properties

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce.....	10
3	Rozbor problematiky	11
3.1	Rod <i>Pinus</i>	11
3.1.1	Charakteristika	11
3.1.2	Popis.....	11
3.2	Borovice lesní – <i>Pinus sylvestris</i> L.	12
3.2.1	Popis.....	12
3.2.2	Rozšíření	13
3.2.3	Rozšíření v ČR:.....	14
3.2.4	Škodliví činitelé	15
3.2.5	Makroskopická stavba dřeva borovice	16
3.2.6	Mikroskopická stavba dřeva borovice	16
3.2.7	Využití	18
3.3	Hustota dřeva	19
3.3.1	Rozdělení hustoty	19
3.3.2	Vliv hustoty na fyzikální a mechanické vlastnosti	20
3.3.3	Faktory ovlivňující hustotu dřeva	21
4	Metodika.....	26
5	Výsledky a diskuze.....	29
5.1	Vliv stanoviště.....	29
5.2	Vliv horizontální pozice.....	30
5.3	Vliv šířky letokruhu	32
5.4	Vliv vertikální pozice.....	34
5.5	Vliv světových stran.....	36
6	Závěr.....	37
7	Literatura	38

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1: Poznávací prvky borovice lesní	13
Obrázek 2: Rozšíření borovice lesní v Eurasii.....	14
Obrázek 3: Mapa rozšíření borovice lesní v ČR.....	15
Obrázek 4: Makroskopická stavba dřeva borovice:.....	16
Obrázek 5: Mikroskopická stavba dřeva borovice	17
Obrázek 6: Mikroskopická stavba dřeva borovice	18
Obrázek 7: Změna objemové hustoty po poloměru kmene borovice	23
Obrázek 8: Závislost hustoty dřeva na šířce letokruhu u jehličnatých dřevin	23
Obrázek 9: Rozložení hustoty dřeva po výšce kmene	24
Obrázek 10: Oblast původu borovice lesní pro výzkum.....	26
Obrázek 11: Rozměry a poloha výřezů pro posouzení vlivu vertikální pozice	27
Obrázek 12: Rozložení a orientace vzorku v kmeni a rozměry zkušebních vzorků.....	28
Obrázek 13: Vliv porostu na hustota dřeva borovice lesní	30
Obrázek 14: Vliv horizontální pozice na hustotu dřeva u porostu 1	31
Obrázek 15: Vliv horizontální pozice na hustotu dřeva u porostu 2	31
Obrázek 16: Šířka letokruhu v závislosti na věku stromu	32
Obrázek 17: Závislost hustoty dřeva na šířce letokruhu u porostu 1	33
Obrázek 18: Závislost hustoty dřeva na šířce letokruhu u porostu 2.....	33
Obrázek 19: Srovnání hustot mezi vertikálními pozicemi u porostu 1.....	35
Obrázek 20: Srovnání hustot mezi vertikálními pozicemi u porostu 2.....	36
Tabulka 1: Taxonomie borovice lesní	12
Tabulka 2: Objemová hustota dřeva borovice ovlivněná stanovištěm	22
Tabulka 3: Obecné informace o porostech (SLT – soubor lesních typů).....	26
Tabulka 4: Statistické vyhodnocení hodnot naměřených u porostů	29
Tabulka 5: Průměrná hustota jednotlivých autorů	29
Tabulka 6: Statistické vyhodnocení šířky letokruhu obou porostů.....	34
Tabulka 7: Průměrná hustota dřeva borovice ve vertikálních pozicích mezi porosty	35
Tabulka 8: Průměrná hustota dřeva na severní a jižní straně kmenů obou porostů.....	36

1 Úvod

S materiálem, ve kterém je zastoupena dřevní hmota, se člověk setkává každý den a ani si to nemusí uvědomovat. Naši předkové dřevo hojně využívali ke stavbě jednoduchých přístřešků, na výrobu primitivních zbraní nebo nástrojů pro přežití. Postupem času, kdy se vyvíjel člověk, se rozšířilo spektrum využití dřeva. Díky jeho snadné dostupnosti, opracování a hlavně obnovitelnosti se stává důležitou součástí lidské civilizace. Avšak i dřevo má svá negativa. Nevýhodami dřeva jsou například rozdílné vlastnosti v různých směrech (anizotropie), různorodost materiálu (heterogenita), nebo její schopnost přijímat a vydávat vodu (hygroskopicitu) (Požgaj *et al.*, 1997).

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je po smrku druhou nejvýznamnější dřevinou. Její současné zastoupení v druhové skladbě českých lesů je přibližně 16,4 %, přesto však její doporučené zastoupení je o něco vyšší (MZe, 2016). Díky své vysoké odolnosti, schopnosti růstu ve variabilních ekologických podmínkách, přizpůsobivosti a širokému využití (Musil a Hamerník, 2007) má značný potenciál pro rozšíření se do doporučeného množství.

Velmi důležité jsou poznatky o efektivním využití zásob dřeva, přičemž zhodnocení jeho kvality na základě jeho vlastností je jeden ze způsobů, jak toho dosáhnout (Kurjatko, 2010). Pro zhodnocení vlastností dřeva je považována hustota dřeva za nejspolehlivější znak (Perelygin, 1965). Jedná se o charakteristiku dřeva, která má velký vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti, a proto se její stanovení využívá ve více odvětvích dřevařského průmyslu (stavebnictví, výroba hudebních nástrojů, chemické zpracování dřeva apod.) (Požgaj *et al.*, 1997).

Pro praktické využití je však třeba znát vlivy, které mohou měnit samotnou hustotu dřeva. V případě vlivu stanoviště se střetává několik faktorů, které mohou ovlivnit rychlost růstu, tloušťku buněčných stěn, šířku letokruhu a tím v konečném výsledku i hustotu dřeva (Lexa *et al.*, 1952). Hustota dřeva se také liší v závislosti na poloze v kmeni stromu (Perelygin, 1965), tudíž je dobré znát i rozdíly hustoty dřeva v rámci jednoho stromu. Poznatky o vlivu stanoviště, horizontální, či vertikální poloze v kmeni, nebo šířce letokruhů jsou přínosné pro zhodnocení kvality dřeva (Lexa *et al.*, 1952).

2 Cíl práce

Hlavním cílem této práce je posouzení vlivu stanoviště na hustotu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) pocházející z reprezentativních lokalit České republiky, kterými jsou dva porosty z oblasti Doks. Dalším cílem je zjistit, zda je daná vlastnost ovlivňována dalšími faktory. Jedná se o vliv polohy dřeva v kmeni, konkrétně v horizontálním a vertikálním směru, následně bude posuzována šířka letokruhu a její vliv na hustotu dřeva a poté bude posuzován možný vliv orientace dřeva vůči světovým stranám na hustotu. Současně budou výsledky porovnány s údaji, které uvádí literatura.

3 Rozbor problematiky

3.1 Rod *Pinus*

3.1.1 Charakteristika

Rod *Pinus* L. (borovice) je považován za nejstarší rod mezi jehličnany (Earl, 2017). Obsahuje nejvíce druhů nahosemenných rostlin. Z hlediska zpracování mluvíme o nejvýznamnějším rodu pro dřevařský průmysl (Musil a Hamerník, 2007). Dělí se na dva základní podrody, a to *Strobus* a *Pinus*. (Little a Critchfield, 1969). Na světě se nachází přes 110 druhů rodu *Pinus*, z nichž okolo 70 je z podrodu *Pinus* a cca 40 jich je zahrnuto pod podrod *Strobus* (Businský, 2008).

Po dubu má rod *Pinus* druhý největší areál na světě. V Evropě se vyskytuje 12 až 13 původních druhů, v České republice však rostou autochtonně pouze 3 druhy: *Pinus sylvestris*, *Pinus rotundata* a *Pinus mugo*. Druhy jako je *Pinus nigra*, *Pinus sibirica* či *Pinus cembra*, které se vyskytují ve střední a jižní Evropě, lze najít na českém území, nicméně patří mezi dřeviny uměle vysazené či pěstované. Kvůli svému rozsáhlému areálu je možné borovice rozdělit kontinentálně na druhy evropské, asijské, severoamerické a africké druhy (Musil a Hamerník, 2007).

3.1.2 Popis

Když se bavíme o rodu *Pinus*, tak se jedná o světlomilné, vždyzelené stromy či keře, u kterých má koruna kónický tvar v mladém věku a později se zaobluje, nebo vytváří „patra“ plošného tvaru. Rod *Pinus* se od ostatních jehličnanů dá rozpoznat pomocí šišek, jehlic, nebo kůry (Earl, 2017).

Dozrávání šišek trvá 2 až 3 roky. Mohou být tuhé (v případě podrodu *Pinus*), nebo pružné (podrod *Strobus*). Semenná šupina, která se po dozrání šišky otevírá a je zakončená štítkem neboli apofýzou. Před otevřením šišky apofýza zesílí a vznikne na vrcholku výstupek zvaný pupek. Tvar a struktura semenné šupiny se mezidruhově liší. U jehlic se rozlišuje hlavně počet v jedné vazbě, její délka, počet stran, barva, nebo tuhost. Kůra na mladém stromu je tenká a hladká, později přechází do šupinaté až rozbrázděné borky (Earl, 2017).

3.2 Borovice lesní – *Pinus sylvestris* L.

3.2.1 Popis

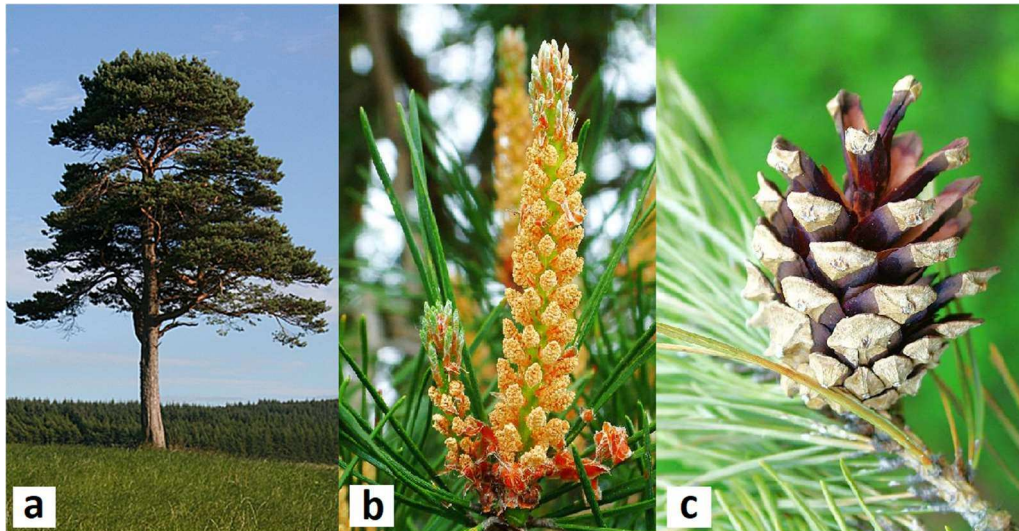
Borovice lesní – *Pinus sylvestris* L. neboli sosna, dožívající se velmi vysokého věku (přes 300 let), může vyrůst do výšky až 45 metrů a průměr kmene dosahuje přibližně 1 metru (Úradníček *et al.*, 2009). Ovšem v extrémních podmínkách, které jsou například v lesní tundře, dosahuje někdy jen keřovitého vzrůstu. Díky své vysoké odolnosti a variabilním ekologickým podmínkám má největší areál mezi stromovitými dřevinami (Musil a Hamerník, 2007). Její zařazení do říše rostlin je znázorněno v tabulce 1.

Tabulka 1: Taxonomie borovice lesní (Gardner, 2013)

Zařazení	Latinský název	Český název
říše	<i>Plantae</i>	rostliny
oddělení	<i>Tracheophyta</i>	cévnaté rostliny
třída	<i>Pinopsida</i>	jehličnany
řád	<i>Pinales</i>	borovicotvaré
čeleď	<i>Pinaceae</i>	borovicovité
rod	<i>Pinus</i>	borovice
druh	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Borovice lesní

Tvar koruny bývá v mládí kuželovitý s přeslenitě rostoucími větvemi, v dospělosti je koruna okrouhle rozložitá a nasazená převážně v nejvyšší části kmene (obr. 1a) (Coombes, 2004). Kmen bývá rovný, ale na extrémních místech se odchyľuje od roviny kmene. Od oddenkové části je dřevní hmota chráněna silnou borkou s šedohnědou barvou, v horní části má kmen oranžovou barvou a kůra se odlupuje v papírových lístcích (Divíšek *et al.*, 2010). Borovice ve většině případů zakořeňuje se zachovalým kúlovým kořenem, který snižuje pravděpodobnost vyvrácení kmene. Díky tomu je považována za zpevňovací dřevinu. Avšak v případě růstu na bažinatých půdách, či pohyblivých pískách zakořeňuje mělce, dokonce v extrémech vytváří i chůdovité kořeny (Musil a Hamerník, 2007; Úradníček *et al.*, 2009).

Jehlice rostou po dvou ve svazečcích na brachyblastech, na břišní straně mají šedozelenou barvu a na hřbetu barvu tmavě zelenou. Jsou dlouhé 3-8 cm a opadají po 2 až 3 letech. Samčí šištice žluté barvy rostou ve spodní části koruny, samičí se naopak objevují v horní části koruny (obr. 1b), nebo na prosluněných místech stromu (Musil a Hamerník, 2007; Úradníček *et al.*, 2009).



Obrázek 1: Poznávací prvky borovice lesní: a – habitus (Burgess, 2006); b – samičí šištice, c – šiška (Pazdera, 2015)

3.2.2 Rozšíření

V preboreálu tato světlomilná dřevina převládala spolu s břízou na většině území střední Evropy. Později však ztrácela dominanci díky dřevinám, které tolerují zastínění. Borovice si však zachovala dominanci v reliktních borech. Její růstová variabilita z pohledu geografie a stanoviště dělá z borovice hospodářsky významnou dřevinu. V raných stádiích růstu roste rychle, a to až do výšky 80 cm za první rok. Borovice dokáže vyklíčit a vyrůst ve štěrbinách holých skal. Dále se šíří na územích, které byly znehodnoceny buď člověkem, provádějícím těžbu nebo pastvu, anebo kvůli přírodním požárům. Díky svému hlubokému kořenovému systému se sosna dokáže obnovovat a žít z půd, které po vypálení mají vysoký obsah minerálů (Musil a Hamerník, 2007).

Plocha, kterou *Pinus sylvestris* L. svým výskytem na geografických mapách vyplňuje, je velmi rozsáhlá. Pokrývá značnou část Eurasie (obr. 2). Od Španělska a Skotska prochází střední či severní Evropou, přes Sibiř, až k Ochotskému moři. Nejjižněji roste ve španělském pohoří Sierra Nevada, a naopak nejseverněji se vyskytuje ve Skandinávii, kousek za polárním kruhem. Tím se řadí mezi stromovité dřeviny s největším areálem na světě. Mezi druhy rodu *Pinus* je to dokonce dřevina s největší variabilitou ekologických podmínek (Musil a Hamerník, 2007).



Obrázek 2: Rozšíření borovice lesní v Eurasii (Matias a Jump, 2012)

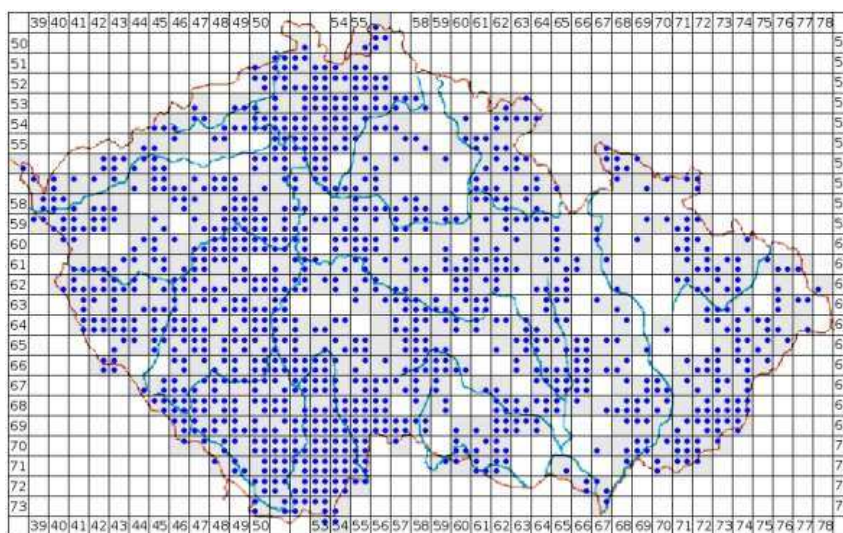
Díky svému rozsahu lze borovici dělit do těchto klimatypů: severské, stepní, horské. Borovice z první skupiny rostou převážně v nížinných klimatypech se souvislým areálem. Zaujímají plochu od sudetských pohoří a Karpat, směrem na sever od ukrajinských hranic, až na východ Sibíře. Stepní borovice se nachází v nesouvislém pásmu podél jihovýchodní hranice evropské části celkové areálu borovic. Borovice horského původu se vyskytují především horských soustavách, či různých extrémních stanovištích, a to ve střední a jižní části areálu (Musil a Hamerník, 2007; Svoboda, 1953).

Rozmanitost uvnitř taxonu borovice je velká. Existuje několik poddruhů borovice lesní, které se nazývají variety. Businský (2008) je rozděluje na čtyři poddruhy. *Pinus sylvestris* var. *sylvestris* (syn. *P. sylvestris* subsp. *sibirica*) se nachází v jižní až střední části Evropy. Pokrývá oblast od Španělska, přes Itálii, Francii, Českou republiku, až po Ukrajinu. *Pinus sylvestris* var. *lapponica* Hartman roste na severu skandinávského poloostrova a v severozápadní části Sibíře. *Pinus sylvestris* var. *hamata* Steven lze najít u hranic Ruska, Gruzie, Ázerbájdžánu, Arménie, nebo Turecka. U variety *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvinov je už v názvu nastíněný její původ. Nachází se na severu Mongolska, ale také na severovýchodě Číny a jihovýchodě Sibíře (Businský, 2008; Businský a Velebil, 2011).

3.2.3 Rozšíření v ČR:

V dnešní době je borovice rozšířena díky antropogennímu vlivu na téměř celém území ČR. Jedná se o pětikrát větší plochu v porovnání s původním rozšíření (Musil & Hamerník, 2007). Původní stromy rostou jen na extrémních reliktních stanovištích nazývaných zkráceně reliktní bory (Leugnerová, 2007). Procentuální zastoupení borovice v druhové skladbě českých lesů činí cca 16,4 % a doporučuje se 16,8 %,

původní skladba byla pouhé 3,4 %. (MZe, 2016). Nejlepší podmínky pro růst má na terasách s akumulací písku (doubravy Polabí), na balvanitých svazích a sutích (v okolí Plešného jezera na Šumavě), na zrašeliněných půdách či na jeho okrajích (Třeboňsko). Její domovinou jsou také pískovcové či vápencové skály a skalní města, které najdeme na severu, či severovýchodě Čech, nebo na jižní části Moravy (obr. 3) (Úradníček *et al.*, 2009; Leugnerová, 2007).



Obrázek 3: Mapa rozšíření borovice lesní v ČR (Divíšek *et al.*, 2010)

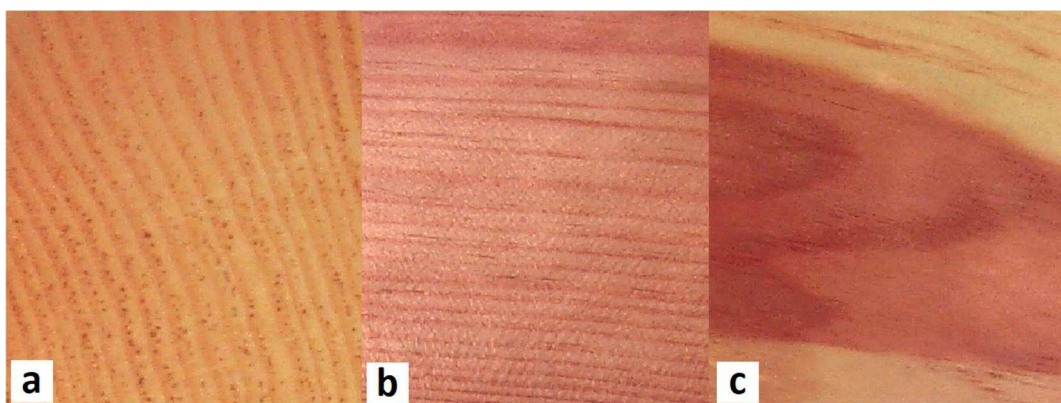
Lze ji nalézt ve společenstvu s těmito dřevinami: dub zimní, lípa malolistá, habr obecný. Nejvíce je však její výskyt doprovázen břízou bělokorou (Musil a Hamerník, 2007).

3.2.4 Škodliví činitelé

I když se jedná o dřevinu s velkou variabilitou klimatických podmínek (Musil a Hamerník, 2007), existuje několik činitelů, kteří mohou znehodnotit jak kmen určený pro dřevařské zpracování, tak i celkový vnější vzhled stromu. Často bývá koruna poničena sněhem, resp. vrchol koruny se pod těžkým sněhem nebo námrazou zlomí. V této situaci dochází k mechanickému poškození, při kterém borovice silně roní pryskyřici. V mládí je strom poškozován zvěří, ale v dospělosti při přemnožení klikoroha může docházet až ke kalamitním situacím. Dále může být borovice znehodnocována václavkou, sypavkou, jmelím nebo může být náchylná na znečištěné ovzduší (Musil a Hamerník, 2007, Lysý a Jírů, 1954).

3.2.5 Makroskopická stavba dřeva borovice

Pod pojmem „makroskopická struktura dřeva“ se skrývá soubor morfologických znaků, které tvoří kresbu, díky níž můžeme poznat, o jakou dřevinu se jedná (Gandelová *et al.*, 2002). U jehličnatých dřevin mezi tyto znaky zařazujeme barvu, letokruhy, přítomnost jádra, pryskyřičné kanálky či dřeňové paprsky a další (lesk, hmotnost, tvrdost, nebo sukovitost) (Požgaj *et al.*, 1997; Gandelová *et al.*, 2002).



Obrázek 4: Makroskopická stavba dřeva borovice: a – příčný řez; b – radiální řez; c – tangenciální řez (Mamoňová, 2016)

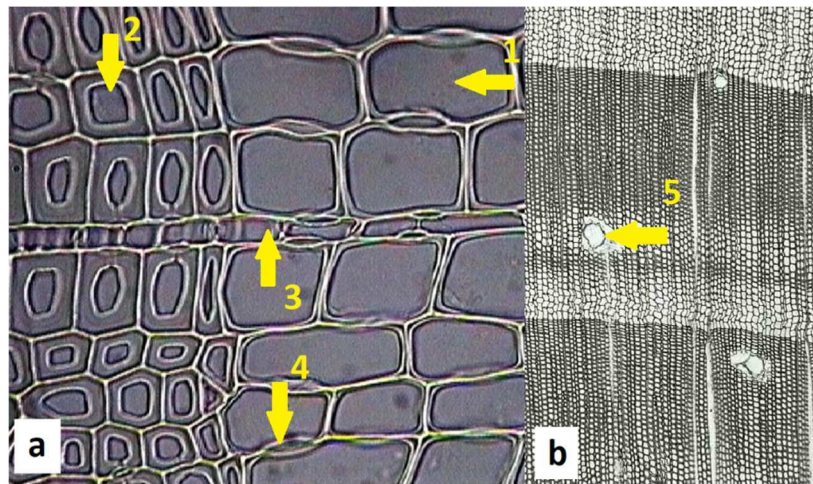
Pro borovici lesní jsou typické znaky především výrazné letokruhy (obr. 4), přítomnost pryskyřičných kanálků viditelných na všech řezech, nebo jádra, které je oproti široké běli málo znatelné. Jádro kmene je hnědé až červeně hnědé, běl nažloutlá (Novák, 1970). V případech, kdy je borovice uložena do prostředí s vyšší vlhkostí (např. nevhodné metody skladování), dřevo zmodrá (Walker, 2009). Jarní a letní dřevo je výrazně odlišné jak z optického (náhlý přechod), tak i fyzikálního (rozdíl hustoty) (Požgaj *et al.*, 1997; Novák, 1970).

Suky, které se v borovici vyskytují ve velkém množství, jsou považovány za vadu dřeva, i když je vznik suků přirozenou vlastností dřeva. V některých dřevařských odvětvích je jejich výskyt žádoucí (zdůraznění textury dřeva např. na nábytku), v jiném případě suk snižuje kvalitu dřeva (konstrukční řezivo apod.) (Požgaj *et al.*, 1997). Na druhou stranu je borovice méně sukovitější, než smrk (Perelygin, 1965).

3.2.6 Mikroskopická stavba dřeva borovice

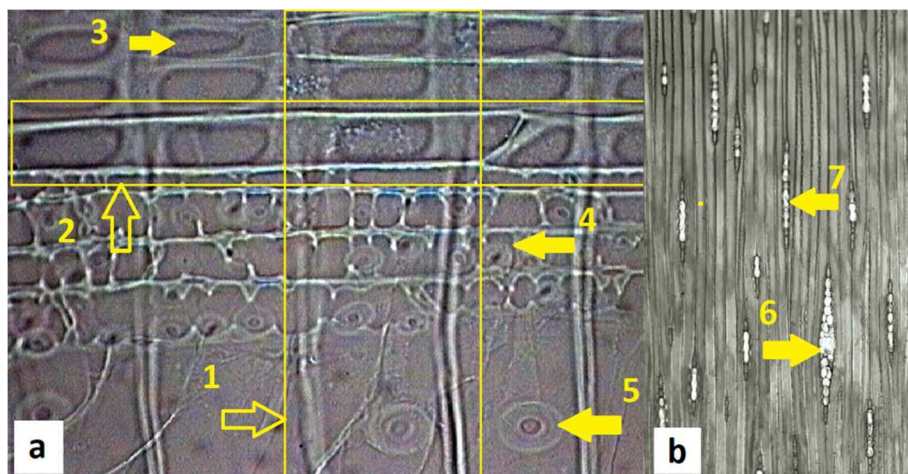
Dřevo borovice je tvořeno hlavně tracheidami a parenchymatickými buňkami (dřeňové paprsky a pryskyřičné kanálky). Tracheidy na mikroskopické úrovni představují náhlý přechod mezi jarním a letním dřevem v letokruhu. Pro borovici je specifické spojení mezi jarními tracheidami pomocí velkých dvojteček v jedné

řadě (obr. 5a). Vnitřní povrch tracheidy není hladký, jako například u smrku, ale bradavičnatý. V dřevě borovice se vyskytují i příčné tracheidy. Nachází se na horním a spodním okraji dřevňových paprsků a jsou kratší, než běžné jarní a letní tracheidy (Požgaj *et al.*, 1997). Pryskyřičné kanálky patří mezi hlavní znaky na mikroskopické úrovni (obr. 5b). Uvnitř kanálku se nacházejí epitelové buňky s tenkou stěnou v množství 4 až 5 buněk (Gandelová *et al.*, 2002).



Obrázek 5: Mikroskopická stavba dřeva borovice – příčný řez: 1 – jarní tracheida, 2 – letní tracheida, 3 – dřevňový paprsek, 4 – dvojtečka, 5 – pryskyřičný kanálek; a - (Mamoňová, 2016), b - (Schoch *et al.*, 2007)

Dřevňové paprsky jsou obecně v jehličnanech zastoupeny velmi málo, avšak je třeba s nimi při mikroskopickém zkoumání počítat. Vyskytují se zde jak jednovrstevné, tak i vícevrstevné, které lze najít v přítomnosti horizontálního pryskyřičného kanálku (obr. 6b). Na radiálním řezu se tracheidy střetávají kolmo na sebe s dřevňovými paprsky, čemuž se říká křížové pole (obr. 6a). Ztenčiny uvnitř křížového pole mohou být buď oknového, nebo pinoidního typu (Gandelová *et al.* 2002).



Obrázek 6: Mikroskopická stavba dřeva borovice: a – radiální řez, b – tangenciální řez; 1 - jarní tracheida, 2 - parenchymatická buňka dřeňového paprsku, 3 - oknová ztenčenina, 4 - pinoidní ztenčenina, 5 - dvojtečka, 6 - pryskyřičný kanálek, 7 - dřeňový paprsek (Mamoňová, 2016)

Výška dřeňového paprsku je dobře pozorovatelná na tangenciálním řezu (obr. 6b). U borovice se výška paprsku pohybuje od 8 do 15 parenchymatických buněk (Schweingruber, 1990).

3.2.7 Využití

Borovice lze využít v mnoha odvětvích, nejen v dřevařském průmyslu, ale i v zahradnictví nebo zdravotnictví. V pilařském průmyslu ji lze zpracovat při výrobě nábytku, železničních pražců, telegrafních sloupů, překližky, nebo se krájí na dekorativní dýhy (Walker, 2009). V chemickém zpracování se používá díky vysokému obsahu pryskyřice k výrobě terpentýnu, kalafuny, anebo je dřevo zpracováno na výrobu buničiny či vlákniny (Walker, 2009; Wagenführ, 2002). V zahradnictví se borovice lesní moc nepoužívá, avšak její kultivary jako například *P.s. 'Watereri'*, *P.s. 'Albysn'*, nebo *P.s. 'Auera'*, jsou používány často (Musil a Hamerník, 2007; Businský a Velebil, 2011). Dále je hojně využívána jako vánoční stromeček. Ve zdravotnictví má své zastoupení ve formě borového extraktu, který podporuje odhlenění nebo prokrvování (Úradníček *et al.*, 2009).

3.3 Hustota dřeva

Hustota dřeva je veličina, která vyjadřuje hmotnost objemové jednotky. Udává se buď v kg.m^{-3} , nebo v g.cm^{-3} (Požgaj *et al.*, 1997). Na hustotě jsou závislé mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva a to pevnost, tvrdost, bobtnání, či sesychání, a zároveň lze podle hustoty předvídat jejich charakter (Požgaj *et al.*, 1997; Lysý a Jírů, 1954). Posouzení hustoty dřeva se používá například ve stavebnictví, nebo při výrobě hudebních nástrojů. To znamená, že znalosti o této veličině nemají jen teoretický význam, ale také praktický. Hustota je nejčastěji prezentována třemi způsoby, které jsou: hustota dřevní substance, hustota dřeva a redukovaná hustota dřeva (Požgaj *et al.*, 1997).

3.3.1 Rozdělení hustoty

Hustota dřevní substance

Dřevní substance je pouze hmota buněčných stěn bez prostoru uvnitř buňky nazývaný lumen a prostor mezi buňkami. Tento druh hustoty nalézá uplatnění při zjišťování pórovitosti dřeva nebo při jeho maximální nasáklivosti. Pro výpočet je třeba znát hmotnost dřevní substance a její příslušný objem. Průměrná hustota dřevní substance je okolo $1\,540\ \text{kg.m}^{-3}$. V případě borovice je hustota jádrového dřeva $1\,535\ \text{kg.m}^{-3}$ a hustota bělového dřeva dosahuje $1\,550\ \text{kg.m}^{-3}$ (Požgaj *et al.*, 1997).

Hustota dřeva

Hustota dřeva, která určuje hmotnost jednotkového objemu dřeva při dané vlhkosti, je v praxi nejčastěji používaným typem hustoty. Podle vlhkosti lze rozlišit, zda se jedná o hustotu dřeva v suchém stavu, hustotu vlhkého dřeva a hustotu při vlhkosti 12 %. Dlouhodobějším vystavením dřeva běžným podmínkám v interiéru je dosaženo 12% vlhkosti, a proto se používá tato vlhkost při zhodnocení hustoty dřeva. Dřeviny jsou podle této hustoty rozděleny do tří skupin: dřeva s nízkou hustotou, střední hustotou a s vysokou hustotou. V případě borovice mluvíme o skupině dřevin s nízkou hustotou (Gandelová *et al.*, 2002).

Redukovaná hustota dřeva

Redukovaná hustota dřeva udává množství suché hmoty v objemu dřeva při určité vlhkosti (Požgaj *et al.*, 1997). Při nulové vlhkosti se tato hodnota rovná hustotě absolutně suchého dřeva (Gandelová *et al.*, 2002). V praxi se nejčastěji používá objem dřeva v čerstvém stavu, to znamená krátce po těžbě. V tomto případě jde o redukovanou

hustotu dřeva v čerstvém stavu nebo také konvenční hustotu, která udává množství suché dřevní hmoty v maximálně nabobtnalém dřevě (Gandelová *et al.*, 2002; Požgaj *et al.*, 1997).

3.3.2 Vliv hustoty na fyzikální a mechanické vlastnosti

Pro posouzení fyzikálních a mechanických vlastností se v praxi používá stanovení hustoty dřeva, šířky letokruhu a podílu letního dřeva. I když je stanovení hustoty dřeva složitější, než měření šířky letokruhu a podílu letního dřeva, stále je hustota dřeva nejspolehlivějším znakem, nezávisle od druhu dřeviny (Perelygin, 1965). Pro přesnější zhodnocení vztahu mezi strukturou, hustotou a mechanickými vlastnostmi je dobré zhodnotit i šířku letokruhu a podíl letního dřeva. Z hlediska fyzikálních vlastností nejvíce hustota ovlivňuje bobtnání, které se stoupající hustotou roste (Požgaj *et al.*, 1997). Na hustotě dřeva závisí z mechanických vlastností nejvíce tlaková pevnost podél vláken, ohyb a tvrdost (Perelygin, 1965).

Vztah mezi modulem pružnosti a hustotou dřeva při tlaku ve směru vláken lineárně stoupá. V důsledku nárůstu hustoty dřeva dochází ke zvětšení modulů pružnosti podél vláken a tlaku na tangenciální plochu. Je třeba podotknout, že se zvyšování hustoty dřeva při tlaku ve směru vláken nejvíce projeví v suchém stavu dřeva. Lineárně závislá je od hustoty dřeva pevnost v tlaku podél vláken, jejíž hodnoty jsou pro různé dřeviny rozdílné. Čím vyšší je hmotnost objemové jednotky, tím vyšší je i tlaková pevnost podél vláken. Hustota dřeva ovlivňuje i reologické konstanty dřeva, to znamená, že pokud se zvýší tato fyzikální veličina, zvýší se i okamžitý modul pružnosti v ohybu a trvalý modul pružnosti. Nejmenší vliv má hustota na modul pružnosti v radiálním tlaku a ve smyku (Požgaj *et al.*, 1997).

V praxi při kontrolních zkouškách vlastností dřeva je možné se z těchto poznatků omezit jen na stanovení hustoty a tlakové pevnosti podél vláken, na které je závislá ohybová pevnost a čelní tvrdost. Dle potřeby lze k těmto zkouškám připojit i zkoušku rázové houževnatosti (Perelygin, 1965).

3.3.3 Faktory ovlivňující hustotu dřeva

Nejen, že hustota ovlivňuje další vlastnosti dřeva, ale zároveň je ovlivňována několika faktory. Mezi hlavními faktory ovlivňující hustotu dřeva je vlhkost, stanoviště, poloha dřeva v kmeni a šířka letokruhu. Dalšími faktory, na které je třeba poukázat, je například orientace podle světových stran, věk stromu, stavba dřeva, jeho struktura nebo složení (pryskyřice, třísloviny, škrob apod.) (Lysý a Jirů, 1954; Perelygin, 1965).

Vlhkost

Vlhkost je procentuální vyjádření množství vody ve dřevě (Gandelová *et al.*, 2002). V rostoucím dřevě je voda žádoucí, v pokáceném však nikoliv (Perelygin, 1965). S rostoucí vlhkostí se zvyšuje jak hmotnost, tak i objem dřeva, ale objem se zvyšuje jen do bodu nasycení vláken (mez hygroskopicity) (Gandelová *et al.*, 2002; Tsoumis, 1991; Požgaj *et al.*, 1997). Kvůli těmto změnám a pro získání srovnávacích hodnot by se v každém případě měl uvádět hygrometrický stav dřeva (Tsoumis, 1991). Je důležité podotknout, že vlhkost dřeva není v bělové části kulatiny stejná, jako v jejím jádru. V čerstvě pokáceném stromě je v okrajových vrstvách vlhkost o mnoho vyšší. V případě řeziva uloženého do hrání je vlhkost menší na okrajích a ve středu naopak vyšší. Proto se při stanovení vlhkosti dřeva musí odebrat dřevní hmota z celého příčného průřezu (Novák, 1970).

Ačkoliv je tento vliv výrazný, v této práci je vlhkost při měření hustoty stanovena normou, a proto tento vliv není zkoumán více do hloubky.

Vliv stanoviště

Abiotické faktory prostředí (půda, vlhkost, teplo, vítr apod.), které ovlivňují růst stromu nebo tvorbu dřevní hmoty, se sjednocují do jednoho celku, který se nazývá stanoviště stromu. Projevují se například v rychlosti růstu, tloušťce buněčných stěn, podílu letního dřeva, a tedy i v hustotě dřeva. Důvodem, proč brát tyto faktory jako celek, je jejich vzájemné podmiňování. Jeden může z hlediska hustoty působit na šířku letokruhu pozitivně (tvorba užších letokruhů), druhý naopak negativně (tvorba širších letokruhů). Každý strom, ať už se jedná o stejný druh, nebo o jednotlivý strom, reaguje na tyto faktory různě. Například smrk citlivě reaguje na okolní prostředí, oproti tomu buk je o mnoho tolerantnější. Okolní vlivy lze rozdělit do několika dílců: půda, podnebí, počasí, poloha, svah a mechanické síly (vítr, sníh). V případě stanoviště je nutné neopomenout velmi důležitý parametr, kterým je jakost stanoviště, resp. odstupňování

stanovišť podle výšky stromů. Obecně platí, že u lepšího stanoviště, kde jsou dobré podmínky k růstu, se vyskytuje lehčí dřevo (Lexa *et al.*, 1952).

Tabulka 2: Objemová hustota dřeva borovice ovlivněná stanovištěm (Lexa *et al.*, 1952)

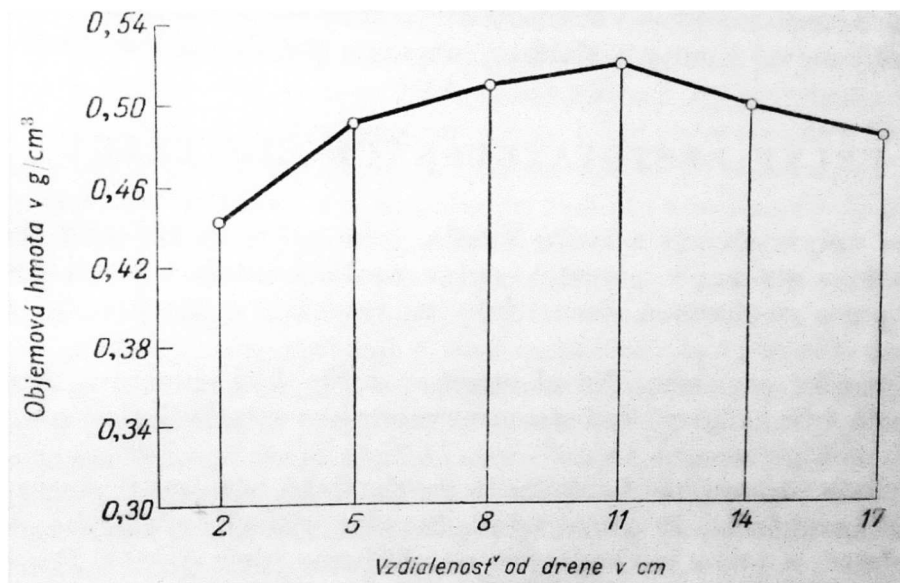
Objemová váha r_0 v g/cm^3 Objemová hustota R_c v kg/plm	Stanovisko, územie rastu
0,40. . . 0,43 360. . . 380	Borovica na severnej hranici jej územia rozšírenia vo vnútrozemskej Sibírii, vo vyšších polohách strednej a južnej Európy.
0,44. . . 0,46 390. . . 410	Borovica zo stredných polôh Fínska a Švédska a z vysokých polôh strednej a južnej Európy.
0,47. . . 0,49 410. . . 430	Širšie územie vnútrozemskeho SSSR a mnohé stanoviská strednej a severnej Európy.
0,49. . . 0,51 430. . . 450	Južné Švédsko a Fínsko, hlavné borovicové územia Nemecka.

V případě borovice hustota klesá při zvyšující se nadmořské výšce a zároveň je hustota menší ve směru od jihu na sever. V tabulce 2 je znázorněn vliv evropských stanovišť na hustotu dřeva borovice. Zde platí, že dřevo, které roste v teplém, a přitom suchém podnebí, je lehčí než dřevo z teplého a vlhkého podnebí (Lexa *et al.*, 1952).

Vliv horizontální polohy

Rozdíly hustot v odlišných místech uvnitř kmene se projevují díky jiným fyziologickým a také mechanickým funkcím částí. Nepravidelnost šířky letokruhu je nejčastější příčina výskytu vysoké hustoty v libovolné části kmene v horizontálním směru (Požgaj *et al.*, 1997). Variabilita fyzikálních a mechanických vlastností při měnící se horizontální pozici není u dřevin různých druhů charakterizována stejně. V případě smrku bylo zjištěno soustavné zlepšování dřeva. U borovice v raných stádiích růstu se hustota ve směru od dřeně ke kůře zvyšuje, dosahuje maximální hodnoty přibližně v druhé třetině poloměru, a poté následně klesá (obr. 7) (Perelygin, 1965).

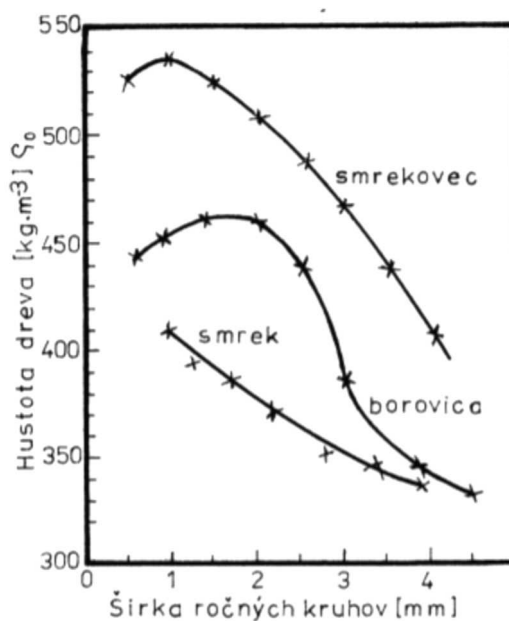
Pokles hustoty dřeva v určité vzdálenosti od biologického středu kmene souvisí s korunou borovice, která se v pozdějším věku nezvětšuje. Vytváří se úzké letokruhy s měkkým a lehkým dřevem (Palovič, 1967).



Obrázek 7: Změna objemové hustoty po poloměru kmene borovice (Perelygin, 1965)

Šířka letokruhu

Vliv horizontální pozice v kmeni na hustotu dřeva souvisí se strukturou a rozměry letokruhu (Palovič, 1967). Existuje obecně rozšířený vztah mezi hustotou a šířkou letokruhu, který říká, že v případě jehličnatých dřevin se hustota zvětšuje se zmenšující se šířkou letokruhu (Lexa *et al.*, 1952; Tsoumis, 1991). Rozdíly v hustotě v závislosti na šířce ročního přírůstu ovlivňují sesychání, které má za následek nerovnoměrnou tvrdost a pevnost dřeva (Lexa *et al.*, 1952).

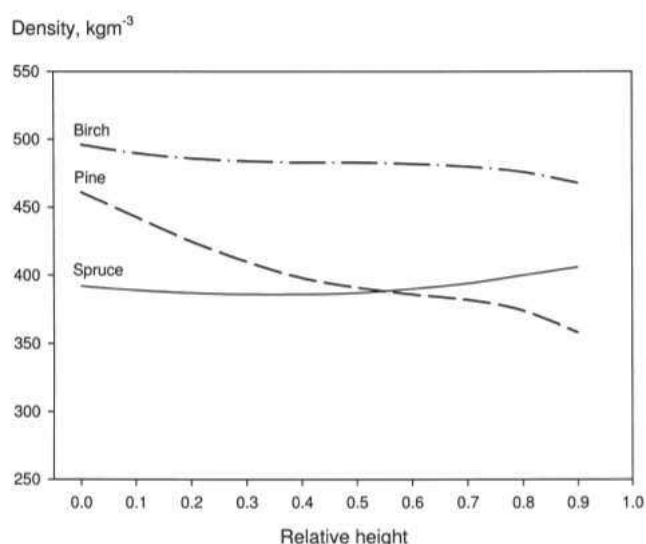


Obrázek 8: Závislost hustoty dřeva na šířce letokruhu u jehličnatých dřevin (Trendelenburg, 1939)

U borovice hustota nejprve stoupá při snižující se šířce letokruhu, a to díky zvyšujícímu se podílu letního dřeva (obr. 8). V přibližně dvou milimetrech šířky letokruhu nastává zlom a hustota začne klesat (Požgaj *et al.*, 1997). Závislost hustoty dřeva na šířce letokruhu je malá (Tsoumis, 1991). Pro konkrétnější zhodnocení se k vlivu šířky letokruhu přidává již výše zmiňované stanovení podílu letního dřeva (Lexa *et al.*, 1952).

Vliv vertikální polohy

Vliv vertikální polohy na hustotu dřeva je u různých druhů dřevin variabilní. Se vzrůstající výškou stromu se při stejné šířce letokruhu snižuje podíl letního dřeva, což ovlivní výslednou hustotu dřeva ve vyšších polohách v kmene (Požgaj *et al.*, 1997). Samotná šířka letokruhu se ale oproti podílu letního dřeva zvětšuje s výškou kmene (Lexa *et al.*, 1952). Dřevo s nejvyšší hustotou se nachází ve spodní části kmene a směrem ke koruně se hustota snižuje (Perelygin, 1965; Lexa *et al.*, 1952).



Obrázek 9: Rozložení hustoty dřeva po výšce kmene (Repola, 2006)

Na rozdíl od smrku či břízy, u kterých je mírný pokles hustoty při vzrůstající výšce, byl u borovice objeven strmý pokles ve směru od oddenkové části po čepovou (obr. 9) (Repola, 2006).

Vliv světových stran

Tento vliv se projevuje větší hustotou směrem k severní a východní straně a menší hustotou orientovanou na západ a jih (Lysý a Jirů, 1954). Ačkoliv se v literatuře objevuje orientace dřeva podle světových stran jako možný vliv na hustotu, dosavadní výzkumy však tuto závislost nepotvrzují (Perelygin, 1965; Peltola *et al.*, 2007).

Stavba dřeva

Mikroskopická stavba má velký vliv nejen na hustotu, ale i na další fyzikální a mechanické vlastnosti. Jednoduchost a pravidelnost stavby dřeva jehličnatých dřevin zapříčiňuje stálejší hodnoty hustoty dřeva než u listnatých dřevin. Důležitým prvkem, který nejen ovlivňuje, ale i určuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva, je stavba buněčné stěny. Se zvětšující se tloušťkou buněčné stěny se u borovice zvyšuje i hustota dřeva. Ke snížení hustoty může dojít v případě, že bude klesat množství libriformních vláken, nebo se bude zmenšovat délka vlákna (Perelygin, 1965).

Z hlediska makroskopické stavby je v praxi možné využít poznatky o hustotě dřeva jádrového a bělového. Tyto poznatky se vyplatí v případě, že má dřevina širokou běl natolik, že se může vyskytnout i v opracovaném řezivu. U borovice je výskyt běle v řezivu velmi pravděpodobný. Bylo zjištěno, že běl má o 5 až 6 % menší hustotu než jádro. Další složkou dřeva, která snižuje hustotu je dřev. Je tvořena měkkým a kyprým pletivem a má menší hustotu než okolní dřevo. Jelikož dřev zabírá pouze 0,01 až 0,03 % plochy příčného řezu kmene, není její vliv tak výrazný (Perelygin, 1965).

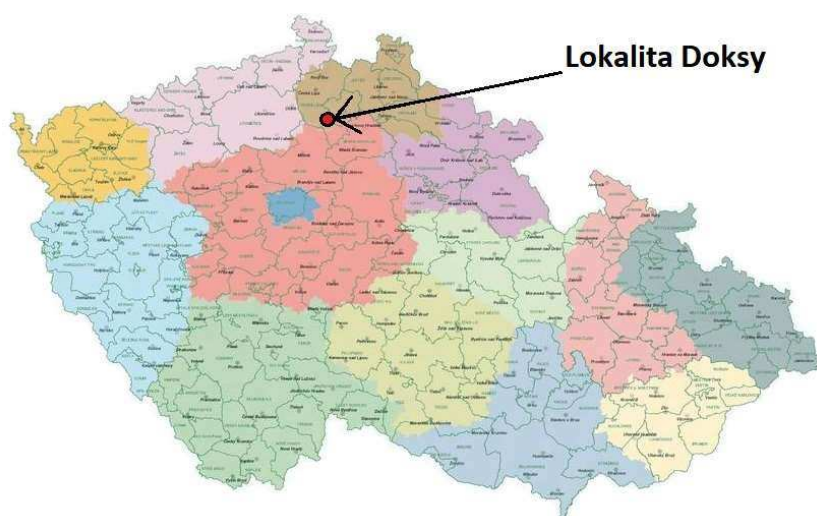
Suk je definovaný jako část větve obrostlá dřevem (Zeidler, 2011). Při porovnání hustoty dřeva větve a hustoty dřeva kmene větev vykazovala vyšší hodnoty (Perelygin, 1965). To znamená, že přítomnost suků ve dřevě také hraje určitou roli při posouzení hustoty dřeva (Lysý a Jírů, 1954).

Vliv věku stromu na hustotu dřeva

Rozdíly v hustotě dřeva v horizontálním a vertikálním směru úzce souvisí s věkem stromu (Lexa *et al.*, 1952). Se zvyšujícím se věkem se mění rozměry anatomických elementů dřeva. U jarních tracheid borovicového dřeva se s přibývajícím věkem zvětšuje jejich průměr, což má bezpochyby vliv nejen na hustotu, ale i na další fyzikální a mechanické vlastnosti (Perelygin, 1965). Ve většině případů, kromě smrku, dochází od určitého věku k poklesu hustoty dřeva se zvyšujícím se věkem (Požgaj *et al.*, 1997; Perelygin, 1965). Příčina může být taková, že staré stromy mají v okrajových vrstvách kmene velmi úzké letokruhy s malým podílem letního dřeva a tím tedy dochází ke snížení hustoty dřeva (Perelygin, 1965). Hustota dřeva borovice s přibývajícím věkem stoupá až do věku přibližně 50 let, kdy dosáhne maxima, a potom klesá (Lexa *et al.*, 1952).

4 Metodika

Výchozí materiál pro výzkum pochází ze vzorové lokality Doksy, jejíž klimatické a geografické podmínky jsou vhodné pro růst borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na území České republiky (obr. 10). Průměrné srážky zde v nadmořské výšce 450 m. n. m. dosahují 550 mm a průměrná teplota je přibližně 8 °C. V této lokalitě se nachází dva lesní porosty patřící Městským lesům Doksy, ze kterých byla v zimním období provedena těžba pro tento výzkum. Zmiňovaná oblast se řadí do přírodní lesní oblasti PLO 18 – Severočeská pískovcová plošina a Český ráj.



Obrázek 10: Oblast původu borovice lesní pro výzkum (ÚHÚL, 2017)

Zkušební vzorky jsou celkem z šesti vzorníků. Tři vzorníky byly vytěženy z porostu 1 a tři z porostu 2. Při výběru jednotlivých vzorníků z porostů rozhodovalo charakteristické zastoupení jedinců, jejich vitalita, nebo zhodnocení nepřítomnosti vad a růstových nepravidlostí. Obecné informace o porostech jsou shrnuty v tabulce 3.

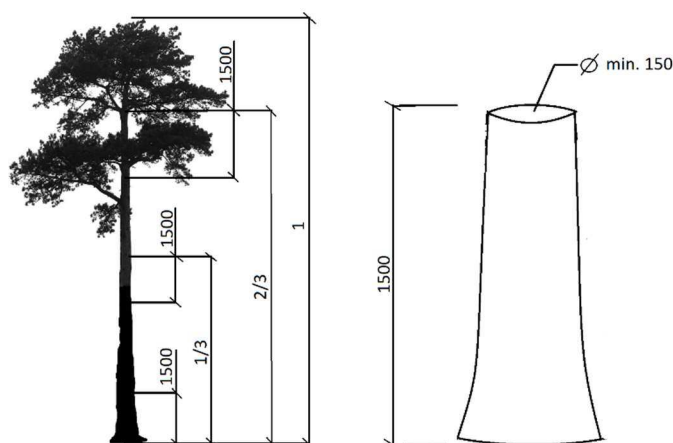
Tabulka 3: Obecné informace o porostech (SLT – soubor lesních typů)

Oblast: PLO 18 - Doksy	Věk	SLT	Průměr kmene (mm)	Výška stromu (m)
Porost 1	117	0K4	359	26,5
Porost 2	121	3K5	373	30,3

Pro posouzení vertikální variability hustoty dřeva byly z jednotlivých vzorníků odebrány tři sekce, a to směrem od báze ke koruně. Délka každé sekce byla 150 cm.

Oddenkový výřez s označením A byl vždy odebrán z oblasti výčetního průměru, středový výřez B byl odebrán v 1/3 výšky kmene. Čepový výřez C byl odebrán v 2/3 výšky kmene, v případě, že čepová část výřezu dosahovala minimálního průměru 150 mm (obr. 11).

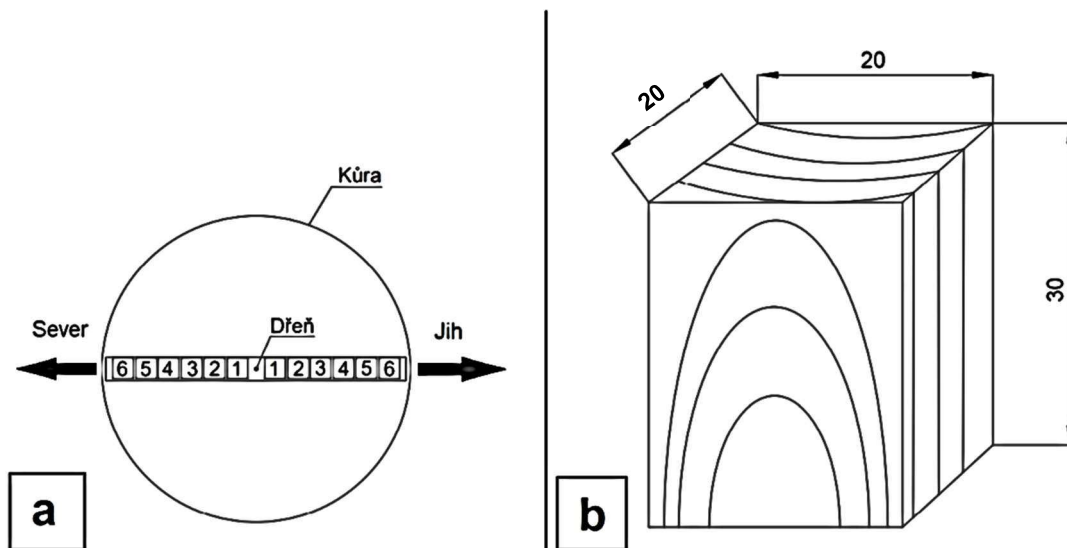
Z každého výřezu byl odebrán kotouč pro změření šířky letokruhu. Kotouče byly naskenovány na stolním skeneru formátu A3 při rozlišení 800 DPI. Pomocí měřicí funkce v programu pro obrazovou analýzu NIS Elements byly změřeny hodnoty šířek letokruhů v pixelech (vždy zvlášť pro severní a jižní směr) a byl vyexportován soubor, kde byly zapsány jejich hodnoty v pixelech. Následně byly pomocí tabulkového editoru Excel hodnoty v pixelech při známém rozlišení 800 DPI přepočteny na hodnoty v milimetrech.



Obrázek 11: Rozměry a poloha výřezů pro posouzení vlivu vertikální pozice

Pro zhodnocení variability v horizontální rovině kmene byla z jednotlivých výřezů vyříznuta středová fošna tak, že boční strany fošny směřovaly na severní a jižní stranu. Díky této orientaci fošny lze vyhodnotit i vliv světových stran na hustotu dřeva (obr. 12a).

Takto připravené řezivo bylo proloženo a uloženo v zastřešeném prostoru s volným přístupem vzduchu. Cílem této fáze bylo snížit vlhkost dřeva na hodnotu umožňující výrobu vzorků. Jednotlivé fošny byly podélně nařezány směrem od dřeně ke kambiu na latě o průřezu 20x20 mm. Takto připravený materiál sloužil jako základ pro přípravu zkušebních těles. Po finálních úpravách měla zkušební tělesa pro fyzikální zkoušky rozměry 20x20x30 mm (obr. 12b).



Obrázek 12: a – Rozložení a orientace vzorku v kmeni, b – rozměry zkušebních vzorků

Zkoumanou fyzikální vlastností byla základní veličina, tj. hustota, a to při vlhkosti 12 %. Zkušební tělesa byla v klimatizační komoře stabilizována na rovnovážnou vlhkost 12 % v podmínkách s teplotou vzduchu 20 °C (± 2 °C) a relativní vlhkostí vzduchu 65 % (± 5 °C). Celkem bylo odzkoušeno 1091 těles na hustotu. Veškeré vzorky svojí kvalitou splňovaly normu ČSN 49 0101 a neobsahovaly nepravidelnosti růstových vad a tlakové dřevo.

Pro vyhodnocení hustoty byla použita norma ČSN 49 0108. Hodnocena byla hustota při 12% vlhkosti dle vzorce:

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} [g \cdot cm^{-3}],$$

kde m_{12} je hmotnost tělesa při 12% vlhkosti [g], V_{12} je objem tělese při 12% vlhkosti [cm^3].

Pro vyhodnocení grafického a statistického zpracování jednotlivých vlivů byl použit tabulkový editor Microsoft Excel. Hodnocenými faktory bylo stanoviště, vertikální poloha (po výšce kmene), horizontální poloha (vzdálenost od dřeně) a orientace světových stran.

5 Výsledky a diskuze

5.1 Vliv stanoviště

Ze statistického vyhodnocení dat (tab. 4, obr. 13) vyplývá, že průměrná hustota borovice při vlhkosti 12 % činí $0,511 \text{ g.cm}^{-3}$ u porostu 1 a $0,563 \text{ g.cm}^{-3}$ u porostu 2. Ačkoliv je průměrná hustota z porostu 2 vyšší než hustota z porostu 1, variační koeficient vykazuje u porostu 1 větší variabilitu naměřených hodnot z menšího počtu vzorků. Podle naměřených hodnot je patrný vliv stanoviště na hustotu dřeva. Vliv stanoviště na mechanické vlastnosti dřeva zjistili také autoři Tsoumis (1991), Aleinikovas a Grigaliūnas (2006), Schönfelder *et al.* (2017) a Krzosek *et al.* (2008).

Tabulka 4: Statistické vyhodnocení hodnot naměřených u porostů

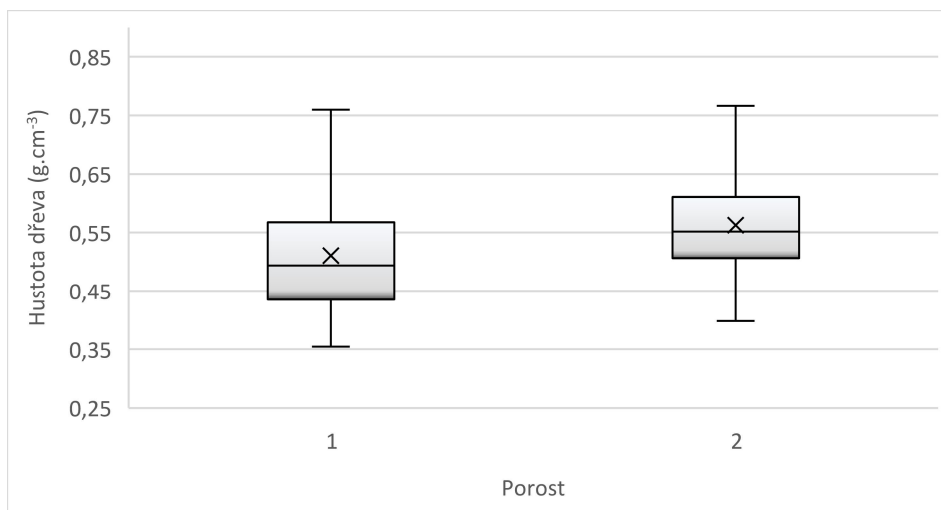
Porost	1	2
Průměr (g.cm^{-3})	0,511	0,563
Směrodatná odchylka (g.cm^{-3})	0,093	0,077
Variační koeficient (%)	0,182	0,137

Porost 1 má při porovnání s literaturou (tab. 5) hodnoty podobné těm, které naměřili autoři Kollmann (1951) a Lysý a Jírů (1954). Téměř shodné hustoty dřeva dosáhl Wagenführ (2000). V případě porostu 2 se k naměřené hustotě dřeva přiblížili pouze Aleinikovas a Grigaliūnas (2006) a Schönfelder *et al.* (2017). Dalším autorům průměrná hustota nepřesáhla hranici $0,500 \text{ g.cm}^{-3}$ (Rey-Prieto a Riesco-Muñoz, 2012; Jelonek *et al.*, 2012; Novák, 1970). Autoři Aleinikovas a Grigaliūnas (2006) a Schönfelder *et al.* (2017) zkoumali vliv stanoviště na hustotu dřeva na třech různých stanovištích, proto jsou uvedeny u těchto autorů tři průměrné hodnoty v tabulce 5.

Tabulka 5: Průměrná hustota jednotlivých autorů

Autoři	Vlhkost (%)	Hustota ρ (g.cm^{-3})
Wagenführ (2000)	12	0,51
Kollmann (1951)	15	0,52
Lysý a Jírů (1954)	15	0,52
Schönfelder <i>et al.</i> (2017)	12	0,488; 0,529; 0,541
Aleinikovas a Grigaliūnas (2006)	12	0,572; 0,575; 0,586
Rey-Prieto a Riesco-Muñoz (2012)	12	0,491
Jelonek <i>et al.</i> (2012)	12-15	0,430
Novák (1970)	12	470

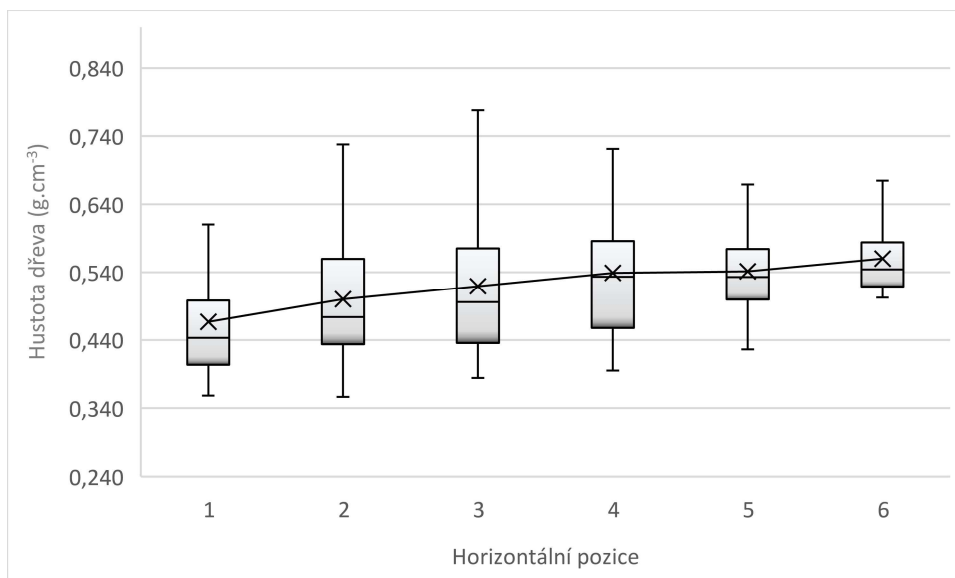
Srovnání s autory, kteří řešili hustotu buď v České republice, nebo v podobných klimatických podmínkách, je z praktického hlediska významné. Schönfelder *et al.* (2017) zkoumal vliv stanoviště a pěstební opatření na hustotu borovice lesní v oblasti, ze které pochází i vzorníky z této práce. Schönfelder *et al.* (2017) zkoumal tento vliv mladých stromech s věkem do 50 let. Porost 1 dosáhl podobných hodnot, které naměřil Schönfelder *et al.* (2017), ale průměrná hustota dřeva z porostu 2 je vyšší než průměrná hustota u všech tří stanovišť autora.



Obrázek 13: Vliv porostu na hustota dřeva borovice lesní

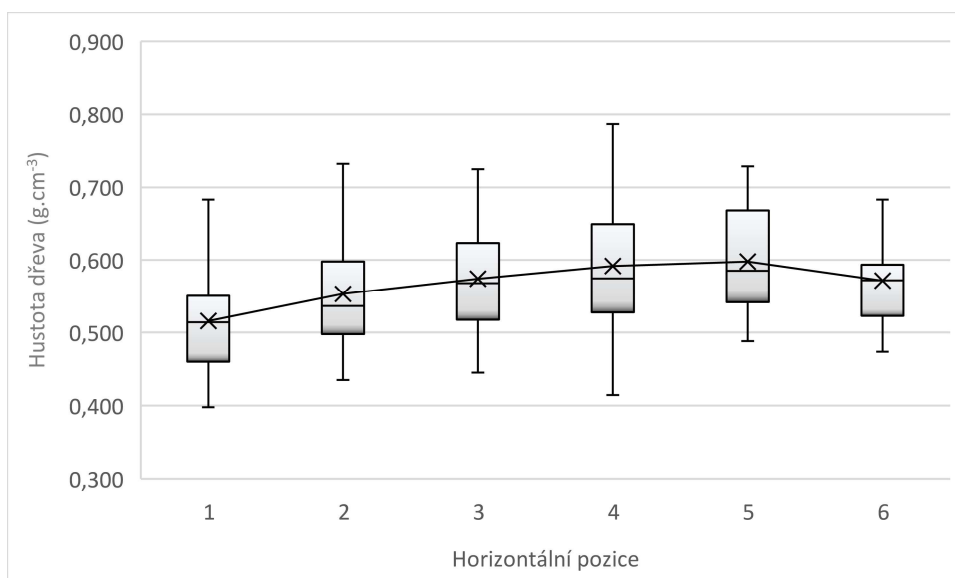
5.2 Vliv horizontální pozice

Dalším zkoumaným parametrem byla variabilita hustoty při rozdílné horizontální pozici v kmeni. Na porostu 1 hustota dřeva v horizontálním směru stoupá v celém rozsahu (obr. 14). Největší variability si lze povšimnout ve vzdálenosti tří vzorků od dřeně, kde hustota dosahuje maximální hodnoty ve výši 0,778 g.cm⁻³.



Obrázek 14: Vliv horizontální pozice na hustotu dřeva u porostu 1

U porostu 2 má středová čára, která prochází průměrem hodnot jednotlivých horizontálních pozic, parabolický tvar (obr. 15). Nejvyšší průměrné hodnoty je dosaženo ve vzdálenosti pěti vzorků ve výši $0,598 \text{ g.cm}^{-3}$, a poté začne hustota klesat. Maximální hustota dřeva, která činí $0,787 \text{ g.cm}^{-3}$, se však nachází ve vzdálenosti čtyř vzorků a zároveň je hustota v této oblasti nejvíce variabilní.



Obrázek 15: Vliv horizontální pozice na hustotu dřeva u porostu 2

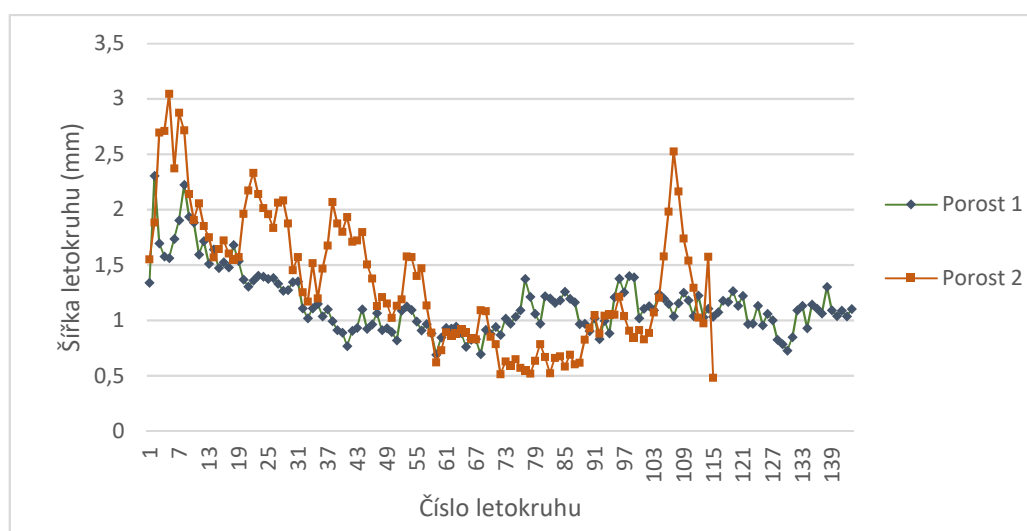
Jev parabolického tvaru popisuje i Eriksson *et al.* (2006), který zkoumal vliv pěstebního postupu na mechanické vlastnosti dřeva borovice a její strukturu ve Švédsku. Ke stejnému výsledku došli i autoři Karlman *et al.* (2005) a Aleinikovas a Grigaliūnas (2006), kteří zkoumají hustotu dřeva ve vztahu k šířce letokruhu.

Aleinikovas a Grigaliūnas (2006) uvádí, že borovice má v raných stádiích růstu nejširší roční přírůsty s nízkým podílem letního dřeva, což způsobuje snížení hustoty dřeva. Palovič (1967) uvádí, že borovice v pozdějším věku vytváří úzké letokruhy s nízkým podílem letního dřeva. Opačného výsledku dosáhl Sauter *et al.* (2007) při měření hustoty dřeva pocházejícího z jihozápadního Německa. Sauter *et al.* (2007) tvrdí, že hustota se ve směru od dřeně ke kůře zvyšuje.

Variabilitu hustoty dřeva v horizontálním směru popisuje i Požgaj *et al.* (1997), který také uvádí, že jsou tyto změny zapříčiněny různou šířkou letokruhu po poloměru kmene.

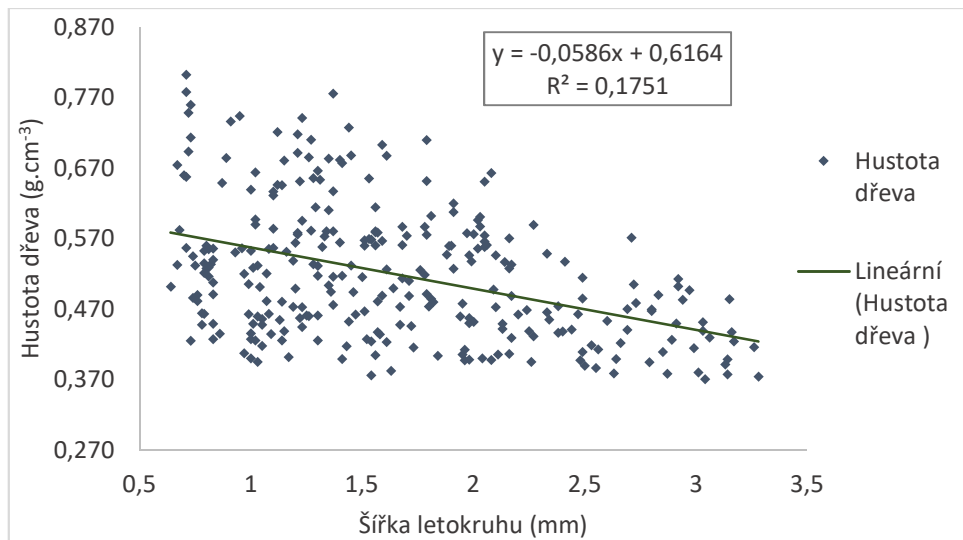
5.3 Vliv šířky letokruhu

Zkoumání šířky letokruhu v závislosti na věku stromu (obr. 16) potvrzuje trend rozložení hustoty dřeva po šířce kmene. U porostu 1 je patrné, že v prvních dvaceti letech je šířka letokruhu největší. Nachází se v intervalu 1,5-2 mm. Nejužší letokruhy se objevují okolo 50 let věku stromu. V postupném stárnutí se šířka ustálila na šířku přibližně 1 mm.



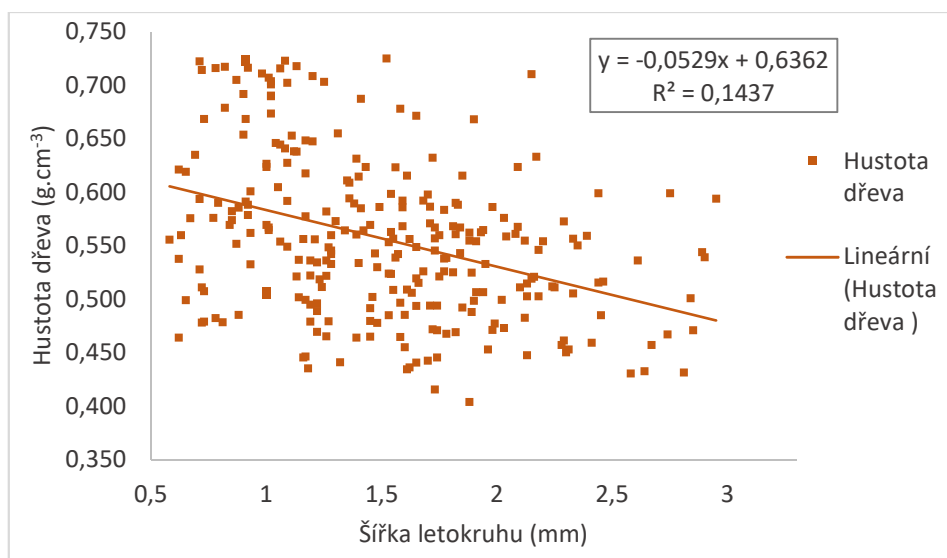
Obrázek 16: Šířka letokruhu v závislosti na věku stromu

V případě porostu 2 se v prvních 10 letech šířka vyšplhala na 3 mm, ale v následujících 60 letech se šířka snížila až k hranici 0,5 mm. V oblasti stoletého letokruhu se pravděpodobně vyskytly vhodné klimatické podmínky, které podpořily prodloužení vegetačního období, a tím pádem i širší letokruh, než jsou v jeho okolí.



Obrázek 17: Závislost hustoty dřeva na šířce letokruhu u porostu 1

Na obrázku 17 je znázorněná závislost hustoty dřeva na šířce letokruhu v porostu 1. Lineárně regresní model udává, že se zvyšující šířkou letokruhu hustota klesá. Stejného efektu byl dosažen i u této závislosti na porostu 2 (obr. 18). V obou případech se však kvůli nízkým hodnotám koeficientu determinace (R^2) nejedná o výrazný vliv.



Obrázek 18: Závislost hustoty dřeva na šířce letokruhu u porostu 2

Pokles hustoty dřeva borovice lesní s rostoucí šířkou letokruhu prezentuje Krzosek *et al.* (2008), který zkoumal stromy v pěti lokalitách na polském území. Kollmann (1951) definuje tuto závislost křivkou, kde roste hustota při zvětšující se šířce letokruhu až do 2 mm, ale po překonání hranice 2 mm šířky začne hustota prudce klesat.

Tabulka 6: Statistické vyhodnocení šířky letokruhu obou porostů

Porost	1	2
Průměr (mm)	1,683	1,568
Sekce A	1,415	1,380
Sekce B	1,858	1,457
Sekce C	1,907	1,883
Směrodatná odchylka (mm)	0,729	0,637
Variační koeficient (%)	43,3	40,6

V tabulce 6 je uvedena průměrná šířka letokruhu obou porostů. Porost 1 reprezentuje průměrná šířka 1,683 mm, Porost 2 má menší průměrnou šířku, a to 1,568 mm. Tyto hodnoty jsou obsaženy v intervalu šířky letokruhu, který uvádí Požgaj *et al.* (1997), a to konkrétně od 0,4 do 2 mm. Naopak Wagenführ (2000) definuje šířku letokruhu okolo 3 mm. Ve studii, jejímž autorem je Krzosek *et al.* (2008), je uvedena průměrná šířka 2,85 mm, což je větší o 1 mm než naměřené hodnoty u obou porostů. Nejbližše dosaženým výsledkům, uvedeným v tabulce 5, je však Karlman *et al.* (2005) s průměrnou šířkou letokruhu 1,11 - 1,58 mm. Při srovnání naměřených hodnot s hodnotami průměrné hustoty porostů je možné tabelárně potvrdit nejen vzrůstající hustotu při snižující se šířce letokruhu, ale i zvyšování šířky letokruhu při vzrůstající šířce kmene.

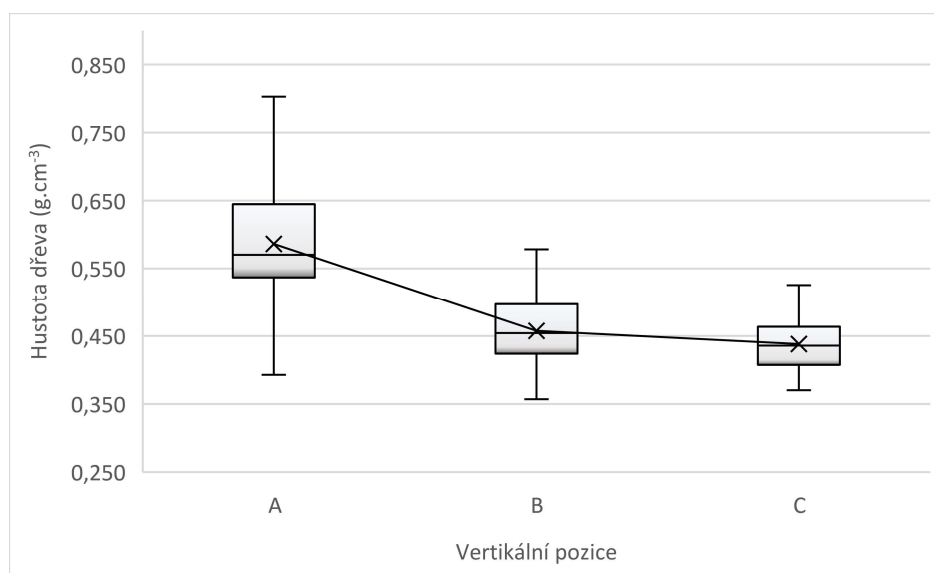
5.4 Vliv vertikální pozice

Hustota dřeva se vlivem vertikální pozice snižovala se vzrůstající výškou stromu na obou porostech (tab. 7). Nejvyšší průměrná hustota byla naměřena u porostu 2 v bazální sekci, a to 0,620 g.cm⁻³. Nejnižší průměrná hustota vychází z porostu 1 v čepové části kmene s hodnotou 0,438 g.cm⁻³.

Tabulka 7: Průměrná hustota dřeva borovice ve vertikálních pozicích mezi porosty

Vertikální pozice	Porost	1	2
A	Průměr (g.cm ⁻³)	0,590	0,620
	Směrodatná odchylka (g.cm ⁻³)	0,080	0,078
	Variační koeficient (%)	13,6	12,5
B	Průměr (g.cm ⁻³)	0,457	0,533
	Směrodatná odchylka (g.cm ⁻³)	0,058	0,054
	Variační koeficient (%)	12,6	10,1
C	Průměr (g.cm ⁻³)	0,438	0,511
	Směrodatná odchylka (g.cm ⁻³)	0,036	0,042
	Variační koeficient (%)	8,2	8,3

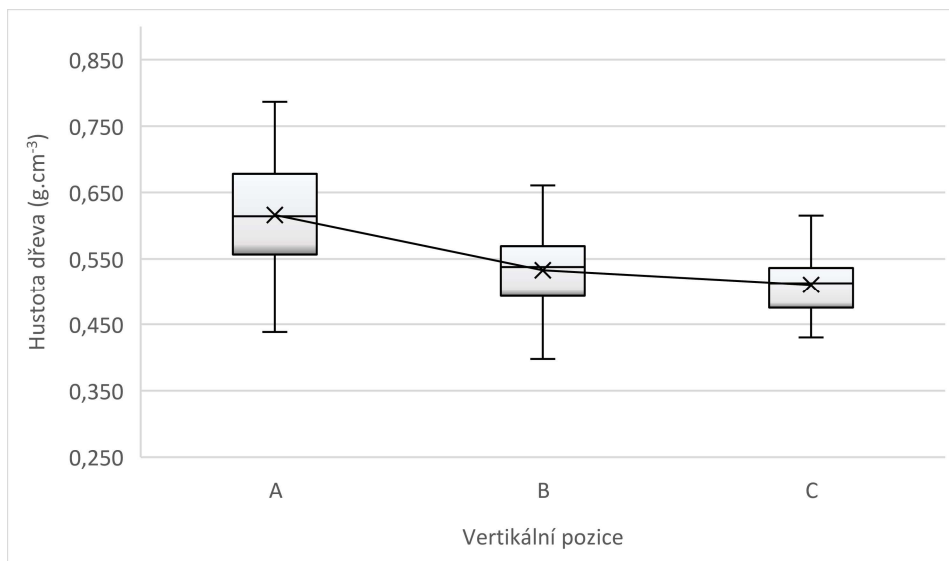
Průměrná hustota v oddenkové části kmene je mnohem vyšší než ve středové a čepové části, a to jak v případě prvního, tak i v případě druhého porostu (obr. 19, obr.20). Nejvíce rozdílných hodnot hustoty dřeva dosáhl porost 1 v oddenkové části kmene. Nejmenší variabilita je v čepové části kmene, kde jsou variační koeficienty porostů 1 a 2 téměř shodné.



Obrázek 19: Srovnání hustot mezi vertikálními pozicemi u porostu 1

Čím vyšší je poloha v kmeni, tím je hustota nižší. S tímto výsledkem měření se ztotožňuje i Požgaj *et al.* (1997), který toto tvrzení odůvodňuje nižším podílem letního dřeva v letokruhu. Repola (2006), který zkoumal borovice v jižní části Finska, zjistil

stejný pokles hustoty s vyšší polohou dřeva v kmeni, jako tomu je u naměřených výsledku nebo u trendu, který uvádí Požgaj *et al.* (1997).



Obrázek 20: Srovnání hustot mezi vertikálními pozicemi u porostu 2

5.5 Vliv světových stran

Tabulka 8 znázorňuje vliv orientace dřeva podle světových stran na hustotu dřeva. Na porostu 2 bylo dosaženo vyšších hodnot, než na porostu 1, a to 0,564 g.cm⁻³ na severní straně kmene a 0,562 g.cm⁻³ na straně jižní. Ačkoliv jsou hodnoty hustoty dřeva se severní orientací vyšší, z praktického hlediska nelze orientaci podle světových stran považovat za ovlivňující faktor.

Tabulka 8: Průměrná hustota dřeva na severní a jižní straně kmenů obou porostů

Světové strany	Porost	1	2
	Sever	Průměr (g.cm ⁻³)	0,517
Směrodatná odchylka (g.cm ⁻³)		0,092	0,084
Variační koeficient (%)		17,8	15
Jih	Průměr (g.cm ⁻³)	0,504	0,562
	Směrodatná odchylka (g.cm ⁻³)	0,093	0,071
	Variační koeficient (%)	18,5	12,7

Vyšší hustotu na severní straně uvádí i Lysý a Jírů (1954), ale Perelygin (1965) tvrdí, že neexistují dosavadní výzkumy, které by toto tvrzení potvrdily. Tento vliv zahrnul do své studie i Peltola *et al.* (2007), který také nezjistil statisticky významný vliv orientace světových stran na hustotu dřeva.

6 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo zhodnocení vlivu stanoviště na hustotu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.), a to konkrétně ze dvou stanovišť v oblasti Doksy v České republice. Stanoviště 1 disponovalo průměrnou hustotou $0,511 \text{ g.cm}^{-3}$, hustota u stanoviště 2 dosáhla hodnoty $0,563 \text{ g.cm}^{-3}$. Při srovnání stanovišť lze konstatovat, že stanoviště ovlivňuje hustotu dřeva. V porovnání s literaturou se hodnoty výrazně nelišily. Naměřené výsledky lehce přesahovaly průměrné hodnoty, než udávali autoři, což svědčí o kvalitě dřeva, které bylo pro tento výzkum použito.

Kromě vlivu stanoviště na hustotu dřeva byly posuzovány i další faktory, které mohou ovlivnit vlastnosti dřeva, v našem případě hustotu, a to horizontální a vertikální poloha v kmeni, šířka letokruhu a orientace na severní nebo jižní stranu. Tyto faktory byly hodnoceny pro každý porost zvlášť.

Výsledky z posouzení vlivu horizontální polohy v kmeni na hustotu dřeva z hlediska jeho kvality lze chápat pozitivně. Rostoucí průběh hustoty ve směru od dřeně ke kmeni se projevil na obou stanovištích. Tento vliv lze vysvětlit závislostí šířky letokruhu na věku kmene. Ačkoliv v grafickém vyhodnocení korelace hustoty dřeva na šířce letokruhu se objevil pokles hustoty se zvyšující šířkou letokruhu, není možné tento vliv považovat za významný. Vertikální analýza hustoty dřeva v kmeni ukázala, že se hustota se zvyšující se výškou kmene snižuje. V případě vlivu orientace podle světových stran na hustotu dřeva nebyl zjištěn z praktického hlediska významný rozdíl mezi severní a jižní stranou kmene.

Z výsledků lze vyvodit, že některé faktory mají výrazný vliv na hustotu dřeva borovice lesní. Jelikož je hustota dřeva základním parametrem pro hodnocení kvality dřeva, je důležité s těmito faktory v dřevařské praxi počítat. Z uvedených poznatků lze vyvodit v jaké pozici kmene se nachází dřevo nižší kvality. Dřevo s nejmenší hustotou můžeme nalézt ve vyšších polohách kmene, nebo v případě horizontální orientace v části, kde se nachází biologický střed kmene neboli dřeň.

7 Literatura

- ALEINIKOVAS, M.; GRIGALIŪNAS, J. Differences of Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood Physical and Mechanical Properties from Different Forest Site Types in Lithuania. *Baltic Forestry*. 2006, vol. 12, no. 1, s. 9-13. ISSN 1392-1355.
- BURGESS, A. Lone Scots Pine (*Pinus sylvestris*). *Geograph Britain and Ireland* [online]. [2006] [cit. 2018-04-17]. Dostupné z WWW: <<https://www.geograph.org.uk/photo/204608>>.
- BUSINSKÝ, R. *The genus Pinus L., Pines: Contribution to knowledge*. Průhonice : VÚKOZ, 2008. 127 s. ISBN 978-80-85116-60-1.
- BUSINSKÝ, R.; VELEBIL, J. *Borovice v České republice*. Průhonice : VÚKOZ, 2011. 180 s. ISBN 978-80-85116-90-8.
- COOMBES, A. *Trees*. Londýn : Dorling Kindersley Limited 80 Strand, 2004. 224 s. ISBN 978-80-7391-631-2.
- ČSN 49 0108. Zjišťování hustoty při fyzikálních a mechanických skúškach. Praha : Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993. 5 s.
- DIVÍŠEK, J.; CULEK, M.; JIROUŠEK, M. Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). *Biogeografie: Multimediální výuková příručka* [online]. [2010] [cit. 2018-02-22] Dostupné z WWW: <https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0005/18118868/index_Pin_syl.html>.
- EARL J., Christopher. Pinus (pine) description. *The Gymnosperm Database* [online]. 2017-12-29 [cit. 2018-04-5]. Dostupné z WWW: <<http://www.conifers.org/pi/Pinus.php#topofpage>>.
- ERIKSSON, D.; LINDBERG, H.; BERGSTEN, U. Influence of silvicultural regime on wood structure characteristics and mechanical properties of clear wood in *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica*. 2006, vol. 40, no. 4, s. 743–762.
- GANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P.; ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. Brno : MZLU Brno, 2002. 184 s.
- GARDNER, M. *Pinus sylvestris*. *The IUCN Red List of Threatened Species* [online]. [2013] [cit. 2018-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42418A2978732.en>>.

- JELONEK, T.; PAZDROWSKI, W.; TOMCZAK, A.; GRZYWIŃSKI, W. Biomechanical stability of pines growing on former farmland in northern Poland. *Wood Research*. 2012 vol. 57, no. 1, s. 31-44.
- KARLMAN, L; MÖRLING, T; MARTINSSON, O. Wood density, annual ring width and latewood content in larch and Scots pine. *Eurasian Journal of Forest Research*. 2005, vol. 8, no. 2, s. 91-96.
- KOLLMANN, F. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe – Erste Band*. Berlin : Springer-Verlag, 1951. 1050 s.
- KRZOSEK, S.; GRZESKIEWICZ, M.; BACHER, M. Mechanical properties of Polish-grown *Pinus sylvestris* L. structural sawn timber. *Conference COST E53*. 2008, s. 29-30.
- KURJATKO, S.; ČUNDERLÍK, I.; DANANAJOVÁ, J.; DIBDIAKOVÁ, J.; DUDAS, J.; GÁBORÍK, J.; GAFF, M.; HRČKA, R.; HUDEC J.; KAČÍK, F.; KÚDELA, J.; LAGAŇA R.; LAUROVÁ, M.; MAMOŇ, M.; MIŠÍKOVÁ, O.; RAČKO, V.; ROHANOVÁ, A.; SOLÁR, R. *Parametre kvality dreva určujúce jeho finálne použitie (Wood quality parameters determining its end use)*. Slovakia : Technical University in Zvolen, 2010. 352 s.
- LEUGNEROVÁ, G. PINUS SYLVESTRIS L. – borovice lesní (sosna) / borovica lesná. *BOTANY.cz - Zajímavosti ze světa rostlin* [online]. 2007-03-07 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z WWW: <<https://botany.cz/cs/pinus-sylvestris/>>.
- LEXA, J., NEČESANÝ, V., PACLT, J., TESAŘOVÁ, M., ŠTOFKO, J. *Technologia dreva I. – Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva*. Bratislava : Práca, 1952. 436 s.
- LYSÝ, F.; JÍRŮ, P. *Nauka o dřevě*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1954. 758 s.
- MAMOŇOVÁ, M. Ing. Miroslava Mamoňová, PhD. *Ing. Miroslava Mamoňová, PhD.* [online]. 2016-02-28 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://mamonova.webz.cz/curric/X6.htm>>.
- MATÍAS, L.; JUMP, Alistair S. Interactions between growth, demography and biotic interactions in determining species range limits in a warming world: the case of *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management*, 2012, 282: s. 3.

- Ministerstvo zemědělství. *Výroční zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2016* [online]. Praha : Ministerstvo zemědělství, [2017] [cit. 2018-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho-2016.html>>.
- MUSIL, I.; HAMERNÍK, J. *Jehličnaté dřeviny*. Vydání 1. Praha : Academia, 2007. 352 s. ISBN 978-80-200-1567-9.
- NOVÁK V. *Dřevařská technická příručka*. Praha: SNTL, 1970. 748 s.
- PAZDERA, Z. *Pinus sylvestris – borovice lesní*. *Herbář Wendys* [online] [2015] [cit. 17.04.2018]. Dostupné z WWW: <<http://botanika.wendys.cz/index.php/14-herbar-rostlin/538-pinus-sylvestris-borovice-lesni>>.
- PELTOLA, H.; KILPELÄINEN, A.; SAUVALA, K.; RÄISÄNEN, T.; IKONEN, V. Effects of Early Thinning Regime and Tree Status on the Radial Growth and Wood Density of Scots Pine. *Silva Fennica*. 2007, vol. 41, no. 3, s. 489-505. ISSN 0037-5330.
- PERELYGIN, L. M. *Náuka o dreve: L. M. Perelygin*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1965. 444 s.
- POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydání Bratislava: Príroda, 1997: 485 s. ISBN 80-07-00960-4.
- REPOLA, J. Models for vertical wood density of Scots pine, Norway spruce and birch stems, and their application to determine average wood density. *Silva Fennica*. 2006, vol. 40, no. 4, s. 673-685. ISSN 0037-5330.
- REY-PRIETO, A.; RIESCO-MUÑOZ, G. Influencia del azulado (mancha azul) en la densidad y estabilidad dimensional de la madera de *Pinus sylvestris*. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2012, vol. 14, no. 1: s. 115-125. ISSN 0718-221X
- SAUTER, U. H.; MUTZ, R; MUNRO, B. D. Determining juvenile-mature wood transition in Scots pine using latewood density. *Wood and Fiber Science*. 2007, vol. 31, no. 4, s. 416-425.
- SCHOCH, W.;HELLER, I.; SCHWEINGRUBER, F.H.; KIENAST, F. Microscopic wood anatomy. *Wood anatomy* [online]. 2007-09-12 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.woodanatomy.ch/species.php?code=PISY>>

SCHÖNFELDER, O.; ZEIDLER, A.; BORŮVKA, V.; BÍLEK, L. Influence of site conditions and silvicultural practice on the wood density of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) – a case study from the Doksy locality, Czech Republic. *Journal of Forest Science*. 2017, vol. 63, s. 457–462.

SCHWEINGRUBER, F. H. *Anatomy of European woods*. [S. l.] Paul Haupt, 1990. 800 s.

SVOBODA, P.; POKORNÝ, J. *Lesní dřeviny a jejich porosty*. Vydání 1. Praha : SZN, 1953. 411 s.

TRENDELENBURG, R. *Das Holz als Rohstoff, seine Entstehung, stoffliche Beschaffenheit und chemische Verwertung*. Berlin, 1939. 330 s.

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

ÚRADNÍČEK, L.; MADĚRA, P.; TICHÁ, S.; KOBLÍŽEK, J. *Dřeviny České republiky*. Brno : Lesnické práce, s.r.o., 2009. 368 s. ISBN 978-80-87154-62-5.

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. *Přehledové mapy ČR*. [online] Brandýs nad Labem : ÚHUL, 2017-03-08 [cit. 2018-04-14]. Dostupné z WWW:

<<http://www.uhul.cz/mapy-a-data/50-katalog-datovych-informaci/156-prehledove-mapy-cr>>.

WAGENFÜHR, R. *Dřevo – obrázkový lexikon*. Praha: Grada Publishing a.s., 2002. 348 s.

WAGENFÜHR, R. *Holzatlas*. 5. vydání München : Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2000. 707 s. ISBN 3-446-21390-2

WALKER, A. *Dřevo: velká encyklopedie : 150 druhů dřeva : podrobný průvodce "strom za stromem"*. 1. vyd. Praha : Grada, 2009. 192 s. ISBN: 978-80-247-2858-2.

ZEIDLER, A. Lexikon vad dřeva. *Lexikon vad dřeva* [online] 2011-01-30 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z WWW:

<http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/lexikon_vad/index.htm>.