

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

KATEDRA ZÁKLADNÍHO ZPRACOVÁNÍ DŘEVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zhodnocení kvality dřeva borovice lesní z vybraných lokalit České republiky

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

Autor práce: Bc. Matěj Koudelka

Rok vydání 2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Matěj Koudelka

Dřevařské inženýrství

Název práce

Zhodnocení kvality dřeva borovice lesní z vybraných lokalit České republiky

Název anglicky

Wood Quality Evaluation of Scots Pine from Selected Regions of the Czech Republic

Cíle práce

Na základě reprezentativních fyzikálních a mechanických vlastností posoudit kvalitu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) z různých lokalit v České republice. Zhodnotit především vliv faktorů jako jsou pěstebních opatření, stanoviště a poloha v kmeni na posuzované vlastnosti.

Metodika

- Zpracovat literární rešerši o zkoumané dřevině, hodnocených vlastnostech a o faktorech ovlivňujících jejich proměnlivost.
- Zajistit reprezentativní vzorníky z vybraných lokalit pro provedení zkoušek.
- Normalizovanými postupy na zkušebních tělesech stanovit především hustotu, pevnost v tlaku, rázovou houževnatost, modul pružnosti v ohybu a ohybovou pevnost.
- Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.
- Zhodnotit vliv pěstebních opatření, stanoviště a pozice v kmeni na zkoumané vlastnosti.

Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

Klíčová slova

dřevo, fyzikální a mechanické vlastnosti, borovice lesní, pěstební opatření, 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. Technologia dreva I. – Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.
- NOVÁK, V. Dřevařská technická příručka. Praha: SNTL, 1970. 748 s.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.
- 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

2016/17 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 3. 5. 2016

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2017

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 03. 03. 2017

Poděkování

Za pomoc při tvorbě této diplomové práce bych rád vyjádřil dík vedoucímu práce doc. Ing. Aleši Zeidlerovi Ph.D. za jeho trpělivost a odborné vedení a Ing. Ondřeji Schönfelderovi za spolupráci při přípravě zkušebních těles a odbornou pomoc při obsluze zkušebních strojů a zařízení. Díky také patří mé rodině za podporu a oporu při studiu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma zhodnocení kvality dřeva borovice lesní z vybraných lokalit České republiky 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 diplomové 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 17.4.2017

Podpis autora

Abstrakt

Tato práce pojednává o fyzikálních a mechanických vlastnostech dřeva borovice ze dvou oblastí, Plasy a Chvojno, hodnotí tyto vlastnosti, srovnává vlastnosti v obou oblastech při zohlednění použitých pěstebních opatření.

V obou oblastech byly vybrány tři porosty, zpravidla typické pro oblast, kdy jeden porost byl charakteristický podrobným hospodářským způsobem a zbylé dva holosečným způsobem hospodaření. V obou oblastech bylo skáceno příslušné množství stromů pro výrobu zkušebního materiálu, tento z nich byl vyroben a podle normalizovaných postupů na něm byly provedeny zkoušky na zjištění hustoty, meze pevnosti v tlaku, ohybových charakteristik (meze pevnosti a modulu pružnosti), rázové houževnatosti a dynamického modulu pružnosti.

Rozdíl mezi oblastmi se u hustoty nepotvrdil. U mechanických vlastností zjišťovaných statickou zkouškou se však vždy potvrdil statisticky významný rozdíl, z čehož lze usuzovat, že stanoviště má na tyto vlastnosti určitý vliv. Statisticky významný rozdíl se téměř u všech případů potvrdil i mezi jednotlivými porosty, z čehož lze usoudit, že i pěstební opatření mají na tyto vlastnosti vliv.

U dalších faktorů, polohy horizontální i vertikální, se téměř vždy potvrdil jasný vliv na danou vlastnost, zatímco u orientace ke světovým stranám se tento vliv potvrdil jen v několika případech.

Při posuzování vlivu hustoty na mechanické vlastnosti dřeva se potvrdila střední závislost u zkoušek statických a nízká závislost u zkoušek dynamických.

Klíčová slova: dřevo, vlastnosti, rázová houževnatost, pevnost v ohybu, variabilita, pěstební opatření, borovice, hustota

Abstract

This thesis evaluates wood basic properties and mechanical properties of scots pine from two districts in the Czech Republic, Plasy and Chvojno, compares them and focuses on effect of silvicultural regimes on wood properties.

Three stands were chosen in each district, typical for the stand locality, while there was one stand with selective silvicultural regime applied and the other two were conventional. In both district a needed number of trees were felled, material for testing was manufactured and tested with standard normalised tests of density, compression characteristics (MOR), bending characteristics (MOR and MOE), impact strength and dynamic modulus of elasticity.

There was no statistically proven difference between both districts in density. In mechanical properties tested by static bending and compression a significant difference was statistically proven, which shows, that mechanical properties depend on stand characteristics. Apart from difference between districts, there was a statistically significant difference between stands with different silvicultural regimes. This fact proves the impact of silvicultural regime on wood properties.

The impact of vertical and horizontal placement of specimen in tree was proven as statistically significant for each wood property while South - North position of the specimen in the tree was proven to be important only several times.

The dependence of mechanical properties on density was proven medium in statically tested properties and weak in dynamically tested properties.

Keywords: wood, properties, impact strength, flexural strength, variability, silviculture regime, scots pine, density

Obsah

Poděkování	4
Prohlášení	5
Abstrakt	6
Abstract.....	7
Seznam tabulek.....	10
Seznam grafů	10
Seznam obrázků.....	11
Zkratky a symboly	11
Úvod	13
Cíle práce.....	14
1. Rozbor problematiky mechanických a fyzikálních vlastností dřeva borovice a vlivu stanoviště, pěstebních opatření a polohy v kmeni.....	15
1.1 Charakteristika dřeviny.....	15
1.1.1 Taxonomické zařazení	15
1.1.2 Popis dřeviny	15
1.1.3 Stanovištní nároky	15
1.1.4 Výskyt, stanoviště a umístění	16
1.1.5 Využití.....	17
1.1.6 Stavba dřeva.....	18
1.1.7 Vlastnosti dřeva borovice	19
1.2 Vztah stanoviště a pěstebních opatření a kvality dřeva	23
1.2.1 Všeobecné zásady výchovy porostů borovice a porostů s její převahou	23
1.2.2 Vliv stanoviště a hospodářského způsobu na mechanické a fyzikální kvality dřeva borovice.....	25
2. Metodika.....	28
2.1 Odběr materiálu	28
2.2 Hustota zkušebních těles.....	30

2.3 Zjištění dynamického modulu pružnosti.....	31
2.4 Zjištění pevnosti ve statickém ohybu a modulu pružnosti.....	32
2.5 Zkouška na zjištění rázové houževnatosti v ohybu.....	34
2.6 Zjištění pevnosti v tlaku.....	34
2.7 Zjišťování vlhkosti při fyzikálních a mechanických zkouškách.....	36
2.8 Zpracování naměřených dat.....	36
3. Výsledky a diskuse.....	38
3.1 Fyzikální vlastnosti.....	38
3.1.1 Hustota.....	38
3.2 Mechanické vlastnosti.....	42
3.2.1 Mez pevnosti v ohybu.....	42
3.2.2 Statický modul pružnosti v ohybu.....	45
3.2.3 Dynamický modul pružnosti v ohybu.....	47
3.2.4 Pevnost v tlaku.....	49
3.2.5 Rázová houževnatost.....	53
3.3 Závislost vybraných mechanických vlastností na hustotě.....	56
3.4 Vzájemné závislosti vybraných mechanických vlastností.....	61
4. Závěr.....	63
5. Zdroje.....	65
Tištěné zdroje mimo normy.....	65
Normy.....	66
Internetové zdroje.....	67

Seznam tabulek

- *Tabulka 1: Variační koeficienty mechanických vlastností dřeva*
- *Tabulka 2: Informace o odběrných lokalitách*
- *Tabulka 3: Hospodářské způsoby a věk stromů v jednotlivých porostech*
- *Tabulka 4: Ukazatele popisné statistiky hustoty podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů*
- *Tabulka 5: Ukazatele popisné statistiky meze pevnosti v ohybu podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů*
- *Tabulka 6: Ukazatele popisné statistiky statického modulu pružnosti podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů*
- *Tabulka 7: Ukazatele popisné statistiky dynamického modulu pružnosti podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů*
- *Tabulka 8: Ukazatele popisné statistiky pevnosti v tlaku podél vláken podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů*
- *Tabulka 9: Ukazatele popisné statistiky rázové houževnatosti podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů*

Seznam grafů

- *Graf 1: Počet jedinců na hektar v porostu borovice vzhledem k výšce porostu*
- *Graf 2: Hustota v závislosti na poloze od dřene v oblasti Plasy*
- *Graf 3: Hustota v závislosti na poloze od dřene v oblasti Chvojno*
- *Graf 4: Vertikální variabilita hustoty v oblasti Plasy*
- *Graf 5: Vertikální variabilita hustoty v oblasti Chvojno*
- *Graf 6: porovnání meze pevnosti v ohybu v obou oblastech*
- *Graf 7: Mez pevnosti v ohybu v závislosti na vzdálenosti od dřene v oblasti Plasy*
- *Graf 8: Mez pevnosti v ohybu v závislosti na vzdálenosti od dřene v oblasti Chvojno*
- *Graf 9: Srovnání statického modulu pružnosti mezi oblastmi*
- *Graf 10: Srovnání dynamického modulu pružnosti podle oblastí*
- *Graf 11: Srovnání meze pevnosti v tlaku podle oblastí*
- *Graf 12: Srovnání meze pevnosti podle vertikální pozice v kmeni*
- *Graf 13: Mez pevnosti v tlaku v závislosti na poloze od dřene v oblasti Plasy*
- *Graf 14: Mez pevnosti v tlaku v závislosti na poloze od dřene v oblasti Chvojno*
- *Graf 15: Srovnání rázové houževnatosti podle oblastí*
- *Graf 16: Rázová houževnatost v závislosti na vertikální poloze v kmeni*

- *Graf 17: Mez pevnosti v tlaku v závislosti na hustotě u obou oblastí*
- *Graf 18: Závislost meze pevnosti v ohybu na hustotě u obou oblastí*
- *Graf 19: Závislost meze pevnosti na hustotě ve Skotsku*
- *Graf 20: Závislost modulu pružnosti na hustotě u obou oblastí*
- *Graf 21: Závislost modulu pružnosti na hustotě ve Skotsku*
- *Graf 22: Závislost Rázové houževnatosti na hustotě*
- *Graf 23: Závislost modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu*
- *Graf 24: Závislost modulu pružnosti na mezi pevnosti v tlaku*

Seznam obrázků

- *Obrázek 1: Borovice lesní – habitus*
- *Obrázek 2: Borovice lesní – rozšíření v ČR*
- *Obrázek 3: příčný, tangenciální a radiální řez dřevem borovice*
- *Obrázek 4: Poloha lokalit odběru materiálu*
- *Obrázek 5: Určení informací z kódů těles*
- *Obrázek 6: Zatěžovací schéma při ohybové zkoušce*
- *Obrázek 7: Ohybové těleso v čelistech zkušebního stroje*
- *Obrázek 8: Těleso pro zkoušku tlaku v čelistech zkušebního stroje*

Zkratky a symboly

V této práci jsou použity běžně používané zkratky a symboly, adekvátní označení veličin a jednotek v příslušných normách. Symboly veličin a koeficientů, zvláště jedná-li se o vzorce specificky dřevařského rázu, jsou vždy v příslušné kapitole bezprostředně popsány.

Úvod

Borovice, jakožto naše druhá nejvýznamnější hospodářská dřevina, se vyskytuje na mnoha různých stanovištích a podléhá určité škále pěstebních opatření a výchovných způsobů, v naprosté většině za účelem maximalizace produkce nebo její co nejvyšší kvality. V málo ojedinělých případech za účelem zjištění vlivu těchto pěstebních opatření na kvalitu a užitné hodnoty vypěstovaného dřeva.

Zatímco interakce mezi výzkumem kvality, tedy základních fyzikálních a mechanických vlastností, jejich vzájemné souvislosti a jejich vztahu k pěstebním opatřením použitým v porostu a současné zpětné vazbě k lesnickému oboru ve smyslu zavádění pěstebních opatření za účelem maximalizace určitých vlastností je v mnoha zemích s rozvinutým lesnicko-dřevařským průmyslem používána, u nás probíhá v omezené míře a mimo jiné v režii vědeckých kruhů, méně než by mohla však jako běžný nástroj optimalizace součinnosti lesnického oboru s nároky zpracovatele a spotřebitele.

Fyzikální vlastnosti jsou známými prekurzory vlastností mechanických, a všechny tyto faktory určují použitelnost dřeva ve výrobcích, tedy především v konstrukcích, v nábytku, nebo ve stavebních výrobcích.

Pro co nejlepší součinnost produkčních subjektů se subjekty zpracovatelskými a spotřebitelskými je tedy nutné znát souvislosti a zákonitosti mezi pěstebními opatřeními a výchovnými způsoby, jakožto elementární krok pro zavedení praxe používání podobných výzkumů pro maximalizaci užitku ze zpracování dřeva už při jeho pěstování.

Právě na tento prvotní a základní krok se v konkrétním případě borovice lesní a se zaměřením na konkrétní stanoviště v České republice zaměřuje tato práce. Zjišťuje hustotu, rázovou houževnatost, pevnost dřeva v ohybu a dynamické i statické moduly v ohybu a zkoumá příslušné závislosti. Se znalostí výchovných způsobů v příslušných porostech pak lze popsat účinky těchto způsobů na výslednou kvalitu dřeva.

Výsledky tohoto výzkumu jsou pak srovnávány jednak s hodnotami uvedenými v literatuře a příslušných příručkách, především pak ale s výsledky podobně zaměřených výzkumů z jiných států a s teoretickými poznatky a doporučeními z lesnicko-dřevařské odborné literatury a technických příruček.

Znalost výsledků této práce je proto důležitá pro efektivní produkci a používání moderních způsobů v oblasti produkce a zpracování dřeva a smysluplné využití cenné suroviny.

Cíle práce

- 1) Zjistit hustotu, rázovou houževnatost, pevnost v ohybu a pevnost v tlaku u borovice lesní z vybraných lokalit ČR.
- 2) Zhodnotit tyto vlastnosti ve srovnání s kvalitami dřeva borovice dosahovanými v jiných oblastech
- 3) Vyhodnotit vliv faktorů jako vertikální poloha v kmeni a vzdálenost od dřene
- 4) Zhodnotit vliv pěstebních opatření, která byla použita na těchto vybraných lokalitách a vliv samotných lokalit, odkud zkušební materiál pocházel
- 5) Při zjištění pevnosti v ohybu zjistit také modul pružnosti v ohybu (statický) a nedestruktivně zjistit i dynamický modul pružnosti.

1. Rozbor problematiky mechanických a fyzikálních vlastností dřeva borovice a vlivu stanoviště, pěstebních opatření a polohy v kmeni

1.1 Charakteristika dřeviny

1.1.1 Taxonomické zařazení

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.)

- říše *Plantae* (rostliny)
- oddělení *Pinophyta* (jehličnany)
- třída *Pinopsida* (jehličnany)
- řád *Pinales* (borovicotvaré)
- čeleď *Pinaceae* (borovicovité)

(www.biolib.cz)

1.1.2 Popis dřeviny

Stálezelený jehličnan s korunou v mládí kuželovitou, později až zploštělou, se dožívá 300 až 350, výjimečně 500 let. Dorůstá výšky 45m, výčetní tloušťky 120 cm a má v horní části kmene rezavě oranžovou borku. Kořenový systém je rozvinutý, s hlavním kůlovým kořenem a vedlejšími kořeny. Větévky tmavě šedohnědé, šišky vejčité, jehlice ve svazcích po dvou délky 50 - 140mm a šedozelelé barvy. Zimní pupeny vejcovité a pryskyřičnaté, květy jednopohlavné samčí žlutavé a nahloučené, samičí červenofialové jednotlivě nebo po 2 – 3, semena 4 – 5mm a křídlo do 20mm. Je naším druhým využitím nejvýznamnějším jehličnanem po smrku. (dendrologie.cz).

1.1.3 Stanovištní nároky

Borovice se chová jako výrazně slunná dřevina, jejíž přírodní nálet nesnáší běžně zástin déle jak 5 let. Není náročná na přísun živin a nevádí jí ani sušší půdy a nižší vzdušná vlhkost, je naší nejméně náročnou dřevinou s výrazným pionýrským chováním. V mládí se vyznačuje rychlým růstem, který vrcholí mezi 15 a 25 rokem, netrpí přisušky ani pozdními mrazy, je však náchylná k poničení mokřým sněhem. Vzhledem k jejímu rozšíření rozeznáváme mnoho ekotypů a klimatypů – nížinné, chlumní, horské a jiné, a je potřeba respektovat vhodný genetický původ (Gross a Roček 2000, Kovář et al. 2013).



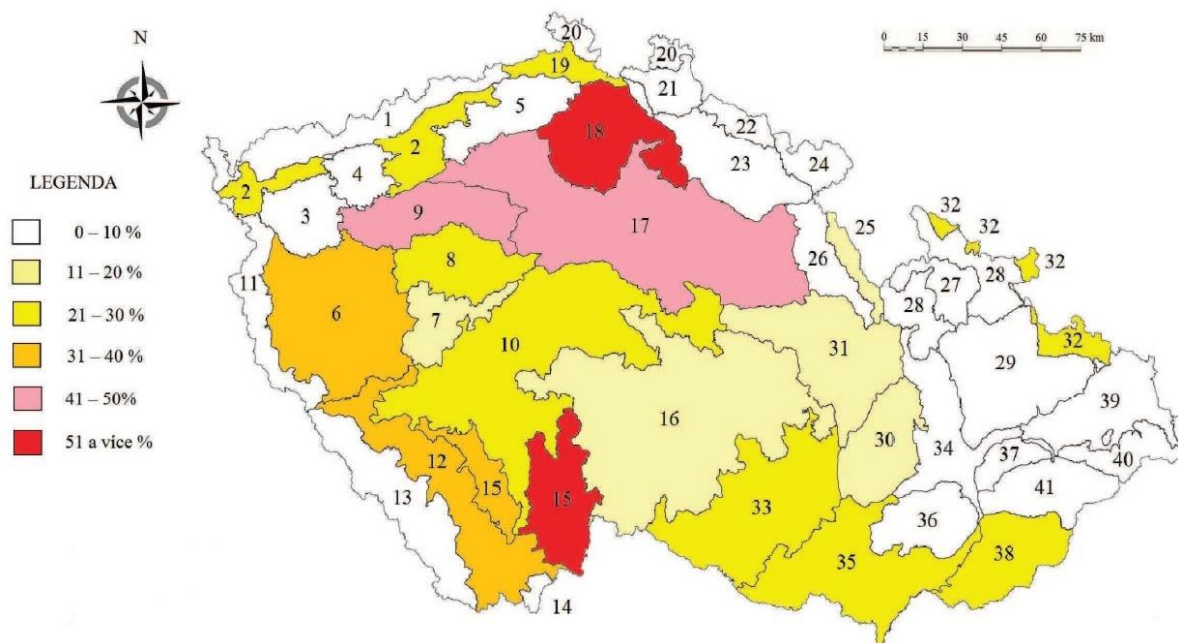
Obrázek 1: Borovice lesní – habitus (foto Petr Horáček, www.dendrologie.cz)

1.1.4 Výskyt, stanoviště a umístění

Téměř celé mírné pásmo Eurasie, v české republice od nížin až do 1000m nad mořem, ovšem co do rozlohy areálu nemá mezi jehličnany konkurenci (polární oblasti až subtropické pásmo) i díky obrovskému množství ekotypů. Její výskyt je znám na Pyrenejském poloostrově i ve Skotsku, tedy v Atlantické oblasti, přes celou kontinentální Evropu, Rusko až na poloostrov Kamčatka, podobně jako v odpovídajících pásmech v severní Americe. Území jejího výskytu zabírá přibližně 1/3 severní polokoule. Roste na suchých i vlhčích chudých vápenitých půdách a na lehkých písčitých půdách, preferuje slunná stanoviště, díky rozvinutému kořenovému systému dovede čerpat vodu z poměrně velkých hloubek. Z původních míst výskytu na borových doubravách byla dubem postupně vytlačena na chudší písčité půdy, kde vytváří bory. Je nenáročná na půdní podmínky, hůře však snáší zasolení půdy a ve městech i větší znečištění. Není náchylná na vývraty, dobře kotví v zemi a odolává nízkým teplotám i vysokým teplotám v letních obdobích, není ani náchylná na přisušky, nicméně v zimě často

dochází ke zlomení vrcholce pod tíhou sněhu (dendrologie.cz, botany.cz, Gross a Roček 2000).

Na území ČR se vyskytuje v původních stanovištích pouze ostrůvkovitě, v kulturách však kromě vyšších poloh prakticky všude. Kromě Českomoravské vrchoviny a Šumavy také v Jeseníku, na pískovcovém podloží ve skalních městech na severovýchodě České kotliny a v údolí Vltavy stejně jako na okrajích Třeboňských rašelinišť (botany.cz).



Obrázek 2: Borovice lesní – rozšíření v ČR (Slávik, Bažant 2012)

1.1.5 Využití

Dřevo borovice vykazuje určité mechanické a fyzikální vlastnosti, stejně tak jako vlastnosti technologické, estetické a další, které tuto dřevinu pro využití člověkem vyčleňují jako vhodnou pro určitá použití v praxi. Dřevařská technická příručka uvádí jako problémy v prvostupňovém zpracování dřeva především smolnatost a následné zalepování nástrojů pryskyřicí, vypadávající suky po sušení hoblovaného řeziva a potřebu dbát na perfektní naostření nástrojů. Vzhledem ke kvalitě dřeva při jeho současném zastoupení v produkčních lesích, relativní jednoduchosti produkce a v porovnání se smrkem a jedlí větší kvalitou mechanických i estetických vlastností je toto dřevo vhodné na použití pro pozemní, vodní, mostní i důlní stavby, díky chemickému složení pak dobře odolává jakožto materiál na výrobu oken a dveří, verand, zábradlí a schodišť. Jako další použití se uvádí sloupy a vzpěry, lodě a jejich stožáry, překližované desky, dlažební špalíky, dřevěné části nákladních železničních vagonů, a v neposlední řadě použití na výrobu dřevní vlny a buničiny. Samozřejmostí je

použití na výrobu nábytku, nejčastěji masivu a spárovky na židle, stoly, lavice a palubek především na obklady. Problémem je již zmíněná smolnatost a zarostlé suky (Novák 1970, Musil 2003, Fellner et al. 2007).

Borovice se používá k výrobě sloupů, železničních pražců, dříve hojně k výrobě lodí, letadel, nábytku (spárovky) apod. Je také zdrojem silic a balzámů, terpentýnová silice se používá k výrobě barev, leštidel, laků a syntetického kafru. (dendrologie.cz)

Impregnované dřevo borovice se používá na stavbu dětských hřišť, v různých podobách se využívá jako palivo, to především z prořezávek popřípadě jako odpad z výroby (piliny a hobliny slisované na pelety či brikety, drobný kusový odpad) (Musil 2003, Fellner et al. 2007).

Podle určení se určuje i doba obmýtí. Jestliže je borovice pěstována na vhodném stanovišti a za vhodných opatření, je s určením na kvalitní sortimenty s nejlepšími vlastnostmi ve věku 120 – 150 let, naopak méně kvalitní surovina pěstovaná především se zaměřením na nenáročný zpracování má dobu obmýtí i jen 80 let (Gross a Roček 2000).

1.1.6 Stavba dřeva

Dřevo borovice má jasně zřetelné letokruhy a náhlá přechod jarního a letního dřeva. Jedná se o dřevinu jádrovou, s nažloutlou bělí a jádrem červenohnědým, které později světlá. Dřevo je lehké až středně těžké, měkké až středně tvrdé. Běl je relativně široká a jádro je méně zřetelné především u čerstvého dřeva. Dřevo je pryskyřičnaté a pryskyřičné kanálky jsou zřetelné na příčném i podélných řezech, a to lépe než u jiných jehličnanů. Prosmol není u borovice výjimkou a dřevo je variabilní v závislosti na stanovišti. Borovice vlivem dřevozbarvujících hub často zamodrává (Zeidler 2012).



Obrázek 3: příčný, tangenciální a radiální řez dřevem borovice (Zeidler 2012)

1.1.7 Vlastnosti dřeva borovice

a) Hustota

Hustota je základní fyzikální vlastností dřeva, od které se odvíjí podle určitých zákonitostí, většinou však přímo úměrně mechanické vlastnosti dřeva. U jehličnanů je v oblasti juvenilního dřeva, tedy blíže ke dřeni nejnižší a směrem ke kůře postupně roste, nejvyšších hodnot pak dosahuje v oblasti zralého dřeva, kde klesá šířka letokruhů, a ve stadiu stáří stromu, tedy přibližně po 100 letech věku zase klesá (Horn 2009).

Samotná hustota pak vyjadřuje podíl hmotnosti dřeva a jeho objemu, tedy z povahy materiálu jde o veličinu značně problematickou – z důvodu hygroskopicity dřeva. Pojem hustota dřevní substance, tedy materiálu dokonale suchého a bez objemu pórů, se pro praktické využití příliš nehodí. Proto se nejčastěji používá hustota dřeva při 12% vlhkosti, kdy se zjišťuje hustota při známé vlhkosti v době provedení zkoušky a hustota při nulové vlhkosti – tedy okamžitě po vysušení, hustota při 12% pak může být docílena dlouhodobým vystavením dřeva vlhkosti vzduchu 60% a teplotě 20°C, nebo zjištěna přepočtem (Gandelová 2002).

Gandelová (2002) také uvádí dřevo borovice jako dřevo s nízkou hustotou (pod 540 kg/m³), tedy hodnotu 535 kg/m³ pro dřevo borovice při 12% vlhkosti a 505 kg/m³ při úplném vysušení. Zároveň zmiňuje redukovanou hustotu, neboli konvenční, tedy podíl hmotnosti sušiny v objemu vlhkého nabobtnalého dřeva, jakožto užitečnou veličinu při technologických výpočtech v lesním a dřevozpracujícím průmyslu.

Požgaj (1997) udává u borovice hustotu při úplném vysušení 500 kg/m³. Zmiňuje také, že hustota dřeva borovice stoupá s šířkou letokruhů do asi 2mm šířky, dále při širších letokruzích je pak stále nižší.

Hustotu 520 kg/m³ při vlhkosti 15 % a 490 kg/m³ při úplně vysušeném dřevu uvádí Dřevařská technická příručka (Novák 1970). Wagenfuhr (2006) uvádí hustotu při 12% 510kg/m³. 490 kg/m³ při vysušeném dřevě a 520 kg/m³ při vlhkosti 15% uvádí také Kollmann (1951).

Hustota dřeva je také závislá na poloze v kmeni. U jehličnanů lze říci, že směrem od dřene ke kůře hustota dřeva stoupá, a směrem od pařezu ke koruně klesá, i když ani tato zákonitost není jednoznačná. To je zapříčiněno rozdílnými funkcemi různých částí kmene, a v důsledku toho především různým podílem letního dřeva v letokruhu (Požgaj 1997).

b) Pevnost v ohybu

Patří mezi základní mechanické vlastnosti dřeva, od kterých odvozujeme vlastnosti odvozené a technologické. Pevnost v ohybu je nejvyšší zatížení, které materiál snese při namáhání v ohybu, tedy velikost napětí. Jinak lze popsat také jako odpor materiálu proti porušení. Protože však u dřeva platí Hookův zákon, používáme častěji modul pružnosti v ohybu, který zohledňuje také velikost deformace (v lineární oblasti) (Požgaj 1997).

Při ohybu dřeva se projevuje také jeho anizotropie – tedy v tomto případě vliv vzájemné orientace směru působící síly a směru vláken i orientace letokruhů – jestli se jedná o ohyb tangenciální nebo radiální (Požgaj 1997). U laboratorních zkoušek se zpravidla jedná o ohyb tangenciální.

Při ohybu se v tělese vyčlení dvě zóny, tahová a tlaková, a mezi nimi takzvaná neutrální osa. Při vyšších napětích ale neplatí, že neutrální osa se nachází v polovině průřezu nosníku, ale tlaková napětí zůstávají za očekáváním a tahová jsou naopak vyšší (Požgaj 1997).

Pevnost v ohybu je míra největšího napětí, které může dřevo snést po krátkou dobu při zatížení plynule a pomalu jako nosník. Je velmi důležitou technickou vlastností při posuzování pevnosti trámů, fošen, polic, beden apod. Uvádí se 100MPa u borovice (Novák 1970) stejně jako Kollmann (1951) a velmi podobně jako Tsoumis (1991) – ten uvádí 98 MPa. O něco nižší hodnotu, 80 MPa uvádí Wagenfuhr (2006).

c) Modul pružnosti

Vyjadřuje vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci. Čím je modul pružnosti vyšší, tím je potřeba větší napětí pro vyvolání deformace. Modul pružnosti tedy vyjadřuje tuhost (Požgaj 1997, Lexa 1952).

Zlomkem je vyjádřen jako poměr mezi zatížením a velikostí pružné deformace, je tedy mírou tuhosti, a čím je větší, tím je nosník méně poddajný (tím menší je prohnutí při stejném zatížení). Používá se také při výpočtu sloupů a štíhlých vzpěr. Proto je také velmi důležitou charakteristikou materiálu používanou hojně ve stavebnictví a jiných oborech (nábytkářství) (Novák 1970).

Stejný zdroj také uvádí modul pružnosti 12 GPa u dřeva borovice lesní, což se považuje za nízkou hodnotu. Stejnou hodnotu uvádí také Wagenfuhr (2006), stejně tak jako Kollmann (1951)

d) Rázová houževnatost

Je ukazatel spotřebované práce na přeražení nosníku vztažené na 1 cm^2 . Nyní se používá J/cm^2 , dříve byla běžnou jednotkou kilopondmetr. Touto vlastností se vyjadřuje houževnatost dřeva, tedy schopnost namáhání náhlými těžkými břemeny (Novák 1970).

Hodnota u borovice je podle Dřevařské technické příručky (Novák 1970) $0,40 \text{ daJ/cm}^2$.

Rázová houževnatost od Wagenfuhr (2006) stejně jako Kollmanna (1951) je udávána $4,0 \text{ J/cm}^2$. Nejvyšší hodnotu nacházíme u Tsoumise (1991).

e) Pevnost v tlaku

Je největší zatížení ve směru vláken, které dřevo snese při pomalém zatěžování (Novák 1970). Působením tlaku se těleso zkracuje, a způsob jakým se deformuje závisí na jakosti, vlhkosti a hustotě dřeva (Šlezingerová et. al. 2004).

U suchého dřeva s vysokou hustotou, se předpokládá vyšší pevnost a dochází k porušení ve smyku jedné části tělesa směrem k druhé, u dřeva vlhkého s nízkou hustotou dochází k otlacení konců tělesa a k vybočení vláken. Na stěně tělesa se již při začátku průběhu zatížení tvoří tzv. skluzové čáry v místě, kde se oddělují stěny tracheid a kde následně dojde i k destrukci na úrovni vláken (Šlezingerová et al. 2004).

U dřeva s vlhkostí 12% uvádí Šlezingerová (2004) průměrnou pevnost v tlaku ve směru vláken 50 MPa . O něco vyšší hodnotu, 55 MPa udává Wagenfuhr (2006) a Kollmann (1951).

Používá se při dimenzování krátkých sloupků, dlažebních špalíků, železničních pražců atd. (Novák 1970).

Dřevařská technická příručka (Novák 1970) uvádí hodnotu pro borovici 55 MPa , velmi podobnou jako Tsoumis (1991), který udává 54 MPa .

Variabilita pevnosti dřeva

Variabilita vlastností se přirozeně vyskytuje, a je závislá na více faktorech, popsaných níže. Variační koeficienty v procentech u různých vlastností týkajících se této práce uvádí Novák (1970), pro přehlednost zde v tabulce:

Tabulka 1: Variační koeficienty mechanických vlastností dřeva

Pevnost v ohybu (statická)	16%
Modul pružnosti v ohybu podél vláken	22%
Pevnost v tlaku podél vláken	18%

Dřevo vzhledem k jeho anizotropii vykazuje variabilitu vlastností vzhledem k orientaci zatížení na směr letokruhů. Například při tlaku kolmo na vlákna, je tlak asi o ½ vyšší při působení rovnoběžně nebo kolmo na letokruhy (úhel 0 a 90°) než při působení síly při natočení letokruhů o 45°. Variační koeficienty mechanických vlastností jsou uvedeny v tabulce výše (Novák 1970).

Dalším významným faktorem je vlhkost. Jestliže vlhkost dřeva klesá o 1% pod bodem nasycení vláken, pak pevnost dřeva stoupá: ve statickém ohybu o 4%, modul pružnosti v ohybu asi o 2%, pevnost tlaku podél vláken asi o 6% (Novák 1970).

Pevnost dřeva v různých způsobech namáhání stoupá dále s jeho hustotou, závislosti se u různých autorů rozcházejí, konkrétně pro borovici z příslušných stanovišť se věnuje tato práce v části Výsledky. Tsoumis (1991) však uvádí, že hustota se na pevnosti dřeva může podílet 60 – 98% podílem.

Jako další faktory variability vlastností uvedme teplotu, kdy při namáhání teplotou mechanické vlastnosti klesají, dlouhodobé namáhání (umístění dlouhodobě v konstrukci), přítomnost různých vad (suky, trhliny, křemenitost...), plísní, hub, hmyzu a podobně (Novák 1970).

Kvalita dřeva se taky rozeznává podle toho, jestli se jedná o juvenilní dřevo. To se nachází v kmenech přibližně do polohy až 20 letokruhů od dřeně stromu (směrem dále od dřeně se kvalita dřeva zlepšuje až s každým letokruhem). Je vytvářeno především mladými stromy, ale nachází se i ve stromech starších, především ve vyšších polohách v kmeni (prolignum.cz 2017). Letokruhy dále od dřeně, tedy dřevo, které se ve stromě nachází delší dobu, se vlastnostmi zlepšují a toto dřevo je pak nazýváno zralým dřevem. Juvenilní dřevo u jehličnanů se projevuje některými změněnými vlastnostmi: především nižší pevností a vyšším délkovým sesycháním, dále pak z pohledu mikroskopické stavby tenčí buněčnou stěnou a větším úhlem fibril, z hlediska chemického pak nižším podílem celulózy a vyšším podílem ligninu (Kretschmann et al. 1998).

Vzhledem k variabilitě vlastností se při praktickém použití zavádí tzv. dovolené namáhání, tedy hodnoty určené výzkumem na laboratorních vzorcích, snížené koeficientem míry bezpečnosti, který zohledňuje vady, chyby apod., tak, aby použité prvky byly příslušně naddimenzovány (Novák 1970).

1.2 Vztah stanoviště a pěstebních opatření a kvality dřeva

Hospodářské způsoby a pěstební opatření, jejichž vliv na kvalitu dřeva borovice částečně sleduje tato práce, jsou předmětem lesnické disciplíny pěstování lesa:

Pěstování lesů a výchova lesních porostů je lesnický obor zabývající se péčí o lesní porost od jeho vzniku až po jeho vymýcení. Zabývá se výchovou, obnovou, převodem a přeměnou lesních porostů a vychází z nauky o lese a lesním prostředí. V praxi se jedná o využití souboru poznatků k činnosti v lese směřující k dlouhodobému využívání lidskou společností.

Předpokládá využití produkčních schopností dřevin (Savill 2004, Kantor 2014).

V Čechách mají aktivní hospodářské činnosti v lese tradici sahající do poloviny 18 století. I od této doby je známá jejich souvislost s novými vědeckými poznatky a potřebami rozvíjející se společnosti. Novodobě lze tuto činnost spojit se změnami společenských a majetkových poměrů po roce 1989, kdy se podstatně změnil nároky na metody používané při výchově lesních porostů. Od této doby lze také sledovat tvorbu právních předpisů týkajících se hospodaření v lese a nároků na ochranu životního prostředí (Gross a Roček 2000, Kovář et al. 2013).

Ve srovnání hospodářských způsobů sledovaných v této práci, tedy holosečného a podrostního je v dlouhodobém kontextu holosečný způsob využíván od poloviny 18 století, společně se vzrůstající spotřebou dřeva v rozvíjející se společnosti. Po zavedení jehličnatých monokultur a období častých kalamitních stavů byl alespoň částečně nahrazen jinými způsoby spolu s rozvíjením lesnické vědy. Především po druhé světové válce se za progresivní, avšak lesnický velice náročný, považoval právě způsob podrostní, který začíná být znovuzaváděn právě po pádu komunistického režimu, a to právě díky návratu kvalitní lesnické vědy a vlivu environmentálních požadavků. Meziobdobí, tedy především doba po roce 1968 je charakteristická holosečným způsobem za použití těžké techniky a velikostí holosečí až do rozsahu 3ha (Kovář et al. 2013).

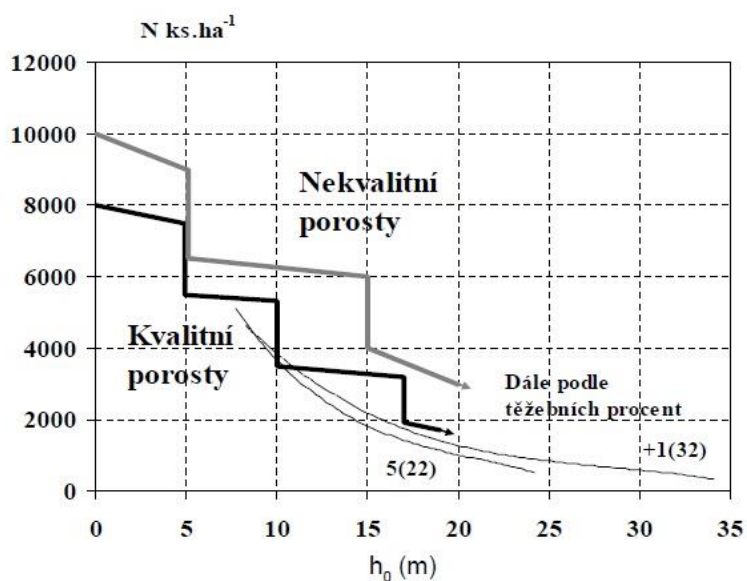
1.2.1 Všeobecné zásady výchovy porostů borovice a porostů s její převahou

Vzhledem ke stanovištním nárokům a pionýrskému chování borovice se doporučuje udržovat trvalý zápoj pro omezení tvorby rozsáhlých korun. Zásadou je dodržení rovnoměrného zápoje a zakmenění, doporučuje se neporušit korunovou vrstvu. Hustota umělých porostů je 8 až 12 tisíc jedinců na hektar, u přirozených porostů zpočátku více s velkým úbytkem podrůstavých jedinců nesnášejících zástín. Prořezávky se dělají v intervalu 5 – 10 roků především za účelem

odstranění předrostlíků a obrostlíků. Způsob probírek je negativní podúrovňový (Kovář et al. 2013).

V borových lesech jsou tyto intenzivní zásahy smysluplné nejvíce do 40 roku věku (cca 20m vzrůstu), od tohoto věku už borovice na zásahy reaguje minimálně, a provádí se převážně jen jako odstranění ostatního porostu (Slodičák 2013).

Zásahy do borových porostů s uvedením počtu jedinců na hektar na ose y a výškou porostu na ose x znázorňuje Graf 1:



Graf 1: Počet jedinců na hektar v porostu borovice vzhledem k výšce porostu (zdroj: Slodičák 2013)

a) Podrostní hospodářský způsob

Jedná se o výchovný způsob charakteristický clonnými sečemi. Jeho účelem je přirozená obnova nebo ujetí podsíje či podsadby ve smyslu uvolnění přístupu světla, tepla a vlhkosti v několika fázích postupného odtěžení zapojeného dospělého porostu. Probíhá ve fázích přípravná, semenná, prosvětlovací a domýtná (Savill 2004).

Tento způsob nachází uplatnění zejména u náhorních ekotypů borovice a v lokalitách, kde hrozí poškození mrazem nebo suchem (Kantor 2014).

b) Holosečný hospodářský způsob

Jedná se o způsob, kdy je souvisle vytěžena příslušná část porostu, prostor, jež vzniká, se pak nazývá holoseč. Je nejrozšířenějším způsobem, především z důvodů jednoduchosti, relativní uniformity vytěžené suroviny, nízkých nákladů a nízké potřeby vědeckých a praktických

lesnických poznatků. Jeho nevýhodami jsou nízká ochrana porostů, nízká ochrana půd a potenciální velké náklady na znovuzalesnění, což ovšem v některých případech nevyklučuje možnost jejich snížení ponecháním semenáčků (Savill 2004).

Nejčastěji se vede kolmo na směr převládajících větrů, nebo ve svažitém terénu po spádnicí a mívá šířku 1 až 2 násobek výšky porostu. Podle lesního zákona nesmí holá seč překročit rozlohu jeden hektar, kromě povolených výjimek. Jednou z nich je právě možnost holé seče 2 ha u přirozených borových stanovišť na písčitých půdách, a to bez omezení šíře. Tato výjimka je dána právě nároky borovice na světlo a malým nebezpečím zahuštění chudých půd, jakožto i žádoucí produkcí stejnověkových dobře zapojených porostů (Kantor 2014).

1.2.2 Vliv stanoviště a hospodářského způsobu na mechanické a fyzikální kvality dřeva borovice

a) Hustota

Je veškerou základní literaturou uváděna jako základní fyzikální vlastnost dřeva, na které nejvíce záleží mechanické vlastnosti (Gandelová 2002, Požgaj 1997, Novák 1970). Napříč touto odbornou literaturou je i uváděn její vztah se šířkou letokruhů.

David Auty (2014) testoval modely předpovídání hustoty na základě výzkumu pomocí roentgenového densitometru, kde popsal u borovice hustotu od dřeně prudce stoupající až po 20 – 30 letokruh, kde se ustálila (423 kg/m^3) s mírně stoupající tendencí vzhledem ke klesající šířce letokruhu. Potvrdil tak předchozí poznatky.

Podobné poznatky do souvislosti s pěstebními opatřeními popsal švédský výzkum, kdy prokázal vyšší počet letokruhů na 1 cm při vyšším zakmenění porostu. Jako metoda, která poskytuje dřevo s nejhustšími letokruhy, by se pak jevil bezzásahový porost, výzkum ovšem nezohledňoval ostatní kvality získané suroviny jako například štíhlost a celkový tvar kmene a koruny, který při zpracování hraje podstatnou roli. Z běžných metod se pak jevila jako nejúčinnější metoda s brzkými zásahy do porostu v mladém věku, při postupné redukci počtu jedinců z 600 na hektar až po 300 na hektar. Metody, které nechávaly stromům mnoho prostoru (třímetrová a pětmetrová rozteč) se projevovaly velkými přírůstky. Stromy v hustších porostech pak také dříve začínaly produkovat vyzrálé dřevo. Navzdory tomu, že byl prokázán účinek pěstebních opatření na kvalitu dřeva, uvádějí autoři i fakt, že zásadní podíl na výsledné surovině mají i environmentální faktory a genofond porostu (Karlsson et al. 2013).

Zajímavostí je výzkum mechanických kvalit dřeva borovice ve Švédsku, kde rozdíl v hustotě u velmi řídkých stejnověkových porostů (410 kg/m^3) a různověkových porostů s velikým zakmeněním (460 kg/m^3) nebyl tak markantní, jako velmi vysoký rozdíl v mechanických vlastnostech – ohybová tuhost vzorků z druhého zmíněného porostu byla až o 150% vyšší, než u porostu prvního (Eriksson 2006)

b) Pevnost v ohybu

Je základní mechanickou vlastností dřeva, která je užitečná při výpočtech použití dřevěných součástí nosných konstrukcí, především ohybových nosníků (Požgaj 1997, Gandelová 2002).

Při porovnání porostů borovice ze velmi podobných stanovišť (písčité půdy se střední vlhkostí) se u porostů s více věkovými třídami pěstovanými s vyšším zakmeněním projevila o 70% vyšší pevnost v ohybu (mez porušení), ve srovnání se stejnověkým porostem, vysázeným s velmi nízkým zakmeněním. Rozdíl v ohybových charakteristikách byl větší v běli než v jádru (Eriksson 2006).

Stejný autor uvádí, že u porostu s vyššími mechanickými vlastnostmi hrála klíčovou roli morfologie buněk, struktura a podíl letního dřeva a sklon mikrofibril v buněčné stěně.

To potvrzuje i výzkum u borovice z Estonska, kde se uvádí pokles hustoty a mechanických vlastností (tedy i pevnosti v ohybu) při velikých tloušťkových přírůstech při intenzivním hnojení, a to v důsledku zkracování fibril a snižování tloušťky buněčné stěny (Kask 2015).

Naopak faktorem zvyšujícím pevnost v ohybu může být odvodnění stanoviště – při odvodnění vlhkých stanovišť se přírůsty u borovice redukovaly a u dřeva z takto opatřeného porostu byly zjištěny vyšší hodnoty pevnosti v ohybu (Kask 2015).

c) Pevnost v tlaku

Je základní mechanickou vlastností dřeva, hojně používanou při navrhování vzpěr a sloupků, případně jiných použití, kde je dřevo namáháno tlakem. Tato vlastnost úzce souvisí s hustotou dřeva (Novák 1970).

Při porovnání porostů borovice z velmi podobných stanovišť (písčité půdy se střední vlhkostí) se u porostů s více věkovými třídami pěstovanými s vyšším zakmeněním projevila o 50% vyšší pevnost v tlaku ve srovnání se stejnověkým porostem, vysázeným s velmi nízkým zakmeněním. Tento rozdíl byl markantnější v běli než v jádru (Eriksson 2006). Tento výzkum také uvádí, že kromě podílu letního dřeva hrála u tlaku roli především hustota.

Vliv na pevnost tlaku má i kombinace probírek s hnojením, kdy se v Estonsku prokázalo, že kombinací těchto opatření za účelem zvýšení tloušťkových přírůstků se zároveň snižuje pevnost v tlaku u takto pěstovaného dřeva borovice (Kask 2015).

d) Pevnost v tlaku

Ohybová charakteristika, která je často používaná díky tomu, že napětí v nosníku vztahuje k deformaci (Ganelová 2002). Často nazývaná také jako tuhost (stiffness).

Právě u této vlastnosti byl zjištěn nejmarkantnější rozdíl mezi pěstebními způsoby, tedy u různověkého porostu o 150% větší ohybová tuhost než u porostu rychlerostoucího s nízkým zakmeněním (Eriksson 2006). Zatímco podle horizontální polohy v kmeni byl modul pružnosti u rychlerostoucích borovic mezi 2000MPa a 6000MPa, u různověkého hustěji zakmeněného porostu tyto hodnoty podle vzdálenosti od dřeně byly 4500MPa až 14000MPa (Eriksson 2006).

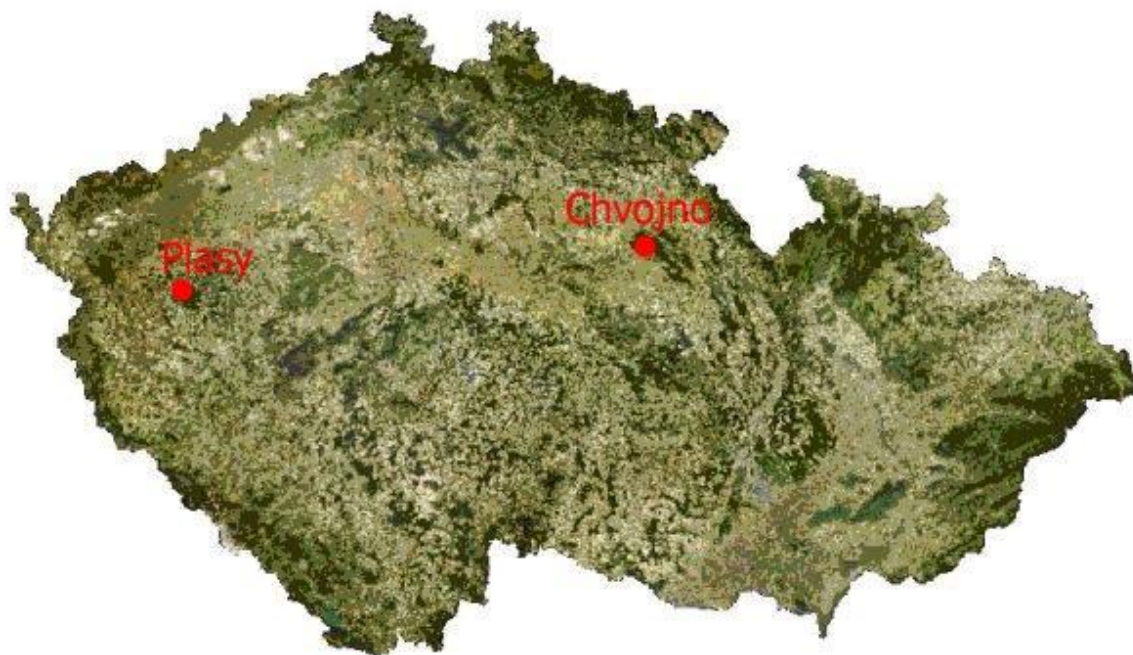
e) Rázová houževnatost

Rázová houževnatost nepatří mezi hlavní vlastnosti dřeva a nebere se v potaz při navrhování dřevěných konstrukcí, ale slouží jako dobrý ukazatel pro srovnání mechanických vlastností dřeva. U lesů v severovýchodním Estonsku byla zjištěna nižší rázová houževnatost (37,8 J/cm²), než v běžných lokalitách s velkým poklesem v juvenilním dřevě u borovice lesní. Jedná se o velmi variabilní vlastnost se závislostí na hustotě korelačním koeficientem 0,41 (Kask 2015).

2. Metodika

2.1 Odběr materiálu

Těžba reprezentativních stromů proběhla v r. 2015 v oblastech Plasy (PLO6, Západočeská pahorkatina) a Chvojno (PLO17, Polabí) ve třech porostech v každé lokalitě, kde byly aplikovány hospodářské způsoby podrostní a holosečný.



Obrázek 4: Poloha lokalit odběru materiálu

V oblasti Plasy byl odběr proveden v lokalitách U Vejmutovky 1, U Vejmutovky 2, U Lomu. V oblasti Chvojno pak v porostech U Čermné 1, U Čermné 2, U Borohrádku. Informace o lokalitách podrobně uvádí tabulka (Tabulka 2):

Tabulka 2: Informace o odběrných lokalitách

<i>Název</i>	<i>GPS</i>	<i>PLO</i>	<i>Nadm. výška</i>
Chvojno 1	50.0910045 N 16.0773605 E	17	260
Chvojno 2	50.0551672 N 16.1497353 E	17	270
Chvojno 3	50.0886833 N 16.0471461 E	17	300
Plasy 1	49.9099036 N 13.1998936 E	6	600
Plasy 2	49.9055694 N 13.2062422 E	6	590
Plasy 3	49.9076225 N 13.1975450 E	6	595

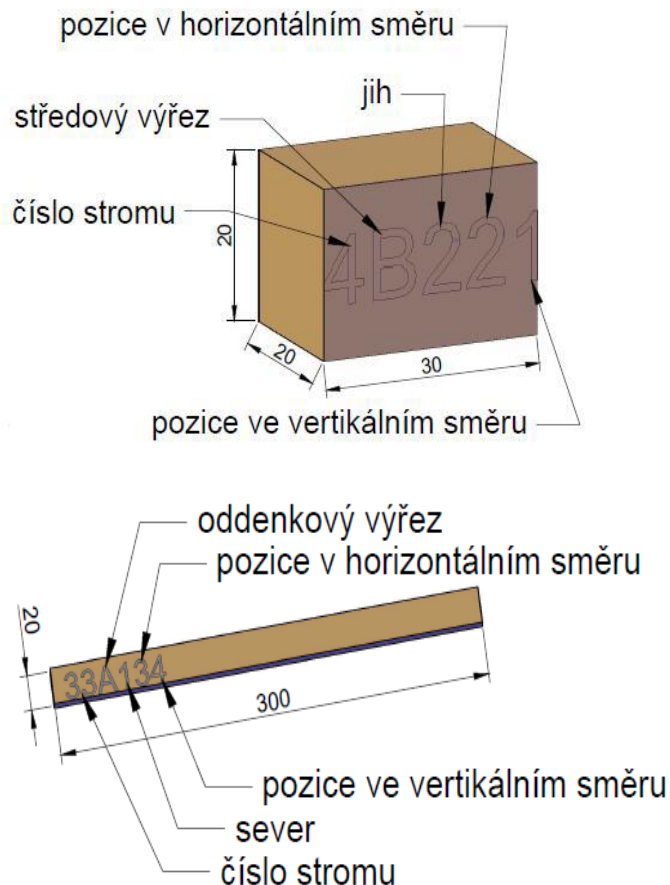
V oblasti Plasy bylo vytěženo 21 stromů, vždy 7 z jednoho porostu, v oblasti Chvojno bylo taktéž vytěženo 21 jedinců po sedmi z každého porostu. Věk jedinců, a hospodářský způsob na lokalitě uvádí tabulka (Tabulka 3):

Tabulka 3: Hospodářské způsoby a věk stromů v jednotlivých porostech

Oblast	Lokalita	Porost	Hosp. způsob	Věk
Plasy	U vejmutovky 1	261B4a	Podrostní	36
Plasy	U vejmutovky 2	261C3a	Holosečný	25
Plasy	U lomu	229B8	Holosečný	75
Chvojno	U Čermné 1	311B3	Holosečný	21
Chvojno	U Čermné 2	310A5	Holosečný	48
Chvojno	U Borohrádku	243A3	Holosečný	29

Celkem bylo skáceno 42 stromů, na kterých byl před skácením označen sever. Stromy byly odvětvény. Byly odděleny oddenkové části, a jestliže čep dosahoval dostatečného průměru, byly odděleny i sekce středové. Při zachování značení, umožňujícího jak identifikaci stromu (a tedy i porostu, lokality a oblasti), tak severu, byly z těchto výřezů vyříznuty středové fošny tloušťky 60mm. Tyto fošny byly uskladněny dostatečnou dobu pro přirozené proschnutí.

Po vyschnutí dřeva bylo převezeno do truhlárny FLD, kde proběhla výroba vzorků. Fošny byly orovnány na srovnávací frézce, následně zkalibrovány na tloušťku 20mm, to vše při zachování značení. Následně byly tyto polotovary rozříznuty řezem dření na severní a jižní část a příslušně označeny. Tyto části byly při zachování značení (strom, poloha sever - jih, poloha vertikální) rozřezány na hranolky 20mm x 20mm, a přibylo značení o vzdálenosti od dřene. Tyto hranolky byly následně rozřezány na tělesa o příslušné délce, kde přibylo pořadové číslo v hranolku. Tím vznikl pětimístný kód unikátní pro každé těleso, umožňující přesně určit všechny informace o jeho původu. Smysl kódu popisuje obrázek (Obrázek 5):



Obrázek 5: Určení informací z kódů těles (autor: O. Schönfelder)

Vznikla tělesa o rozměrech 20x20x30mm, pro zkoušku tlaku a tělesa pro zkoušku ohybu a rázové houževnatosti o rozměrech 20x20x300mm. Hustota byla zjišťována u všech těles, ale především u těles 20x20x300mm. Takto vzniklo 1421 těles pro určení hustoty a následně tlaku a 1251 těles pro zjištění rázové houževnatosti, nadále 834 těles pro ohybové zkoušky, tedy celkový rozsah souboru 3556 zkušebních vzorků.

Tělesa vyhovující kvalitou pro provedení zkoušek jejich vlastností byla uložena v místnosti s konstantní vlhkostí a teplotou pro dosažení konstantní vlhkosti. Z této místnosti byla přemísťována do laboratoře vždy bezprostředně před provedením zkoušek, aby nedošlo ke změně vlhkosti a rozměrovým změnám.

2.2 Hustota zkušebních těles

Zjištění hustoty bylo provedeno u všech těles. Rozměry byly změřeny posuvným měřidlem s přesností 0,01mm, a to radiální rozměr, tangenciální rozměr a délka u těles na zkoušku tlaku. Délka těles na zkoušku rázové houževnatosti a ohybové zkoušky byla zjištěna

příložným měřidlem s přesností na 1mm. Všechna tělesa byla zvážena na laboratorních vahách s přesností na 0,01g. Hustota byla vypočtena při dosažené vlhkosti po dlouhodobém uložení s permanentní vzdušnou vlhkostí a teplotou podle následujícího vzorce:

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} \cdot 10^6 \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

Kde ρ_w je hustota dřeva při vlhkosti w , m_w je hmotnost dřeva v gramech při vlhkosti w , a a_w , b_w , l_w jsou rozměry tělesa v milimetrech.

Vzhledem k tomu, že vlhkost dřeva ovlivňuje jeho hustotu i další jeho vlastnosti, byl zajištěn dostatek reprezentativních vzorků z každé série těles a na těchto vzorcích byla zjištěna vlhkost, reprezentativní pro vztažení na celou sérii (viz kapitola Zjišťování vlhkosti při fyzikálních a mechanických zkouškách). Zjištěná vlhkost byla poté použita aby hustota byla posléze přepočítána na hustotu při vlhkosti 12% podle vzorce:

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

Kde K je koeficient objemového sesychání při změně vlhkosti o 1%, $K=0,85$ ρ_w (ČSN 49 0108).

2.3 Zjištění dynamického modulu pružnosti

Před zkouškou ve statickém ohybu byla z každého stromu vybrána tělesa po sekcích a provedena zkouška pro zjištění dynamického modulu pružnosti na základě akustických vlastností dřeva. Pomocí přístroje Fakopp Ultrasonic Timer byly zjišťovány doby prostupu ultrazvukové vlny mezi sondami tohoto přístroje.

Fakopp Ultrasonic Timer je zařízení pracující se sejmutím doby prostupu ultrazvukového impulsu mezi vysílací a snímací sondou na známé vzdálenosti. Impuls má frekvenci 45 až 90 kHz podle použitého piezoelektrického snímače. Přístroj je určen na použití při malé vzdálenosti sond od několika centimetrů, tudíž vhodný pro použití na tělesech určených pro přerážecí nebo ohybovou zkoušku (www.fakopp.com)

Kvůli přesnosti měření byla u každého tělesa zjištěna opravná hodnota podle lineární závislosti doby prostupu vlny tělesem na vzdálenosti sond. Z této závislosti byl určen průsečík přímky dané závislosti s osou času byl jako korekční údaj použit u tělesa z příslušného stromu a sekce.

U všech těles pak po změření prostupu ultrazvuku údaj v mikrosekundách zmenšen o tento korekční údaj. Měření prostupu se provádělo ve vzdálenosti sond 140mm. Tělesa byla položena na měkčené podstavce a sondy k tělesu byly přiloženy s konstantním přitlakem. Dynamický modul pružnosti byl vypočten podle následujícího vzorce:

$$E_d = \frac{\rho_w \cdot \left(\frac{1000 \cdot s}{t \cdot tk}\right) \cdot \left(\frac{1000 \cdot s}{t \cdot tk}\right)}{1\ 000\ 000}$$

Kde E_d je dynamický modul pružnosti, t je čas prostupu vlny úsekem, s je délka úseku a tk je korekční údaj času.

Získané hodnoty byly následně přepočítány na požadované hodnoty pro vlhkost 12% podle následujícího vzorce:

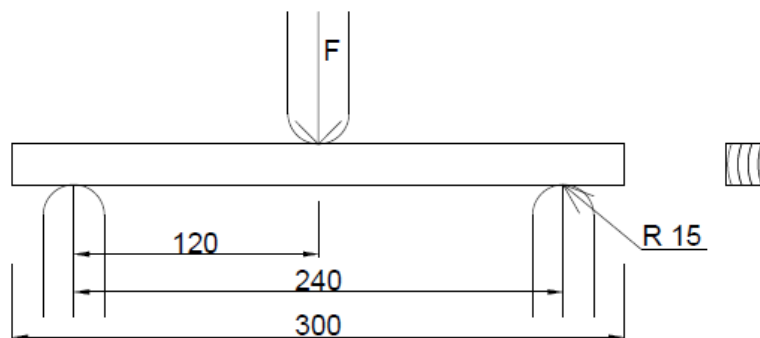
$$E_{12} = \frac{E_w}{1 - \alpha \cdot (w - 12)}$$

Kde E_{12} je modul pružnosti při 12% vlhkosti, E_w je modul pružnosti při vlhkosti v době provedení zkoušky, α je opravný vlhkostní koeficient stejný pro všechny dřeviny 0,04, a W je vlhkost tělesa v době provedení zkoušky.

2.4 Zjištění pevnosti ve statickém ohybu a modulu pružnosti

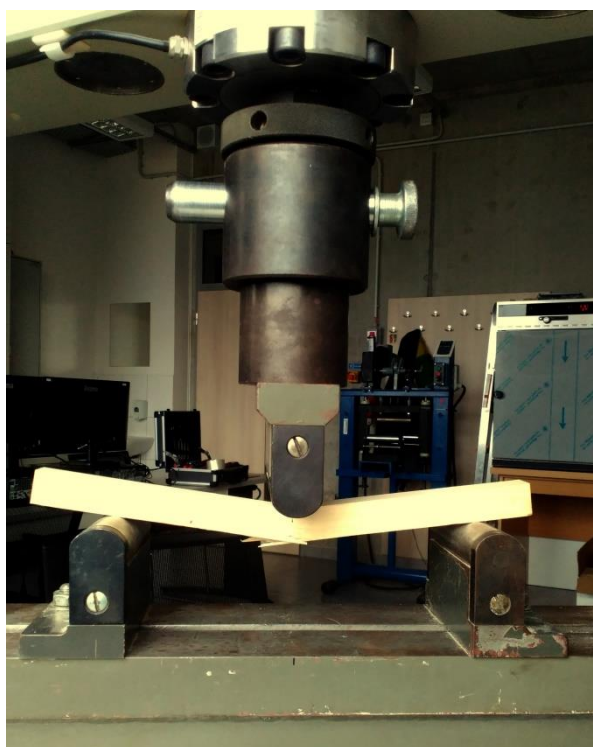
Tato zkouška byla provedena na tělesech, jež byla předtím použita i na zjištění dynamického modulu pružnosti pomocí měření prostupu ultrazvukové vlny. Jelikož je tato zkouška nedestruktivní, nijak výsledky zjištění modulu pružnosti ve statickém ohybu neovlivnila.

Nejdříve proběhlo změření tangenciálního a radiálního rozměru posuvným měřidlem s přesností 0,01mm a délky příložným měřidlem s přesností na 1mm. Poté byla tělesa postupně umisťována a do zkušebního stroje na podpory vzdálené navzájem 240mm a na tangenciální plochu poté uprostřed rozponu podpěr působila zatěžovací síla hlava s oblinou o průměru 30mm tak, aby k porušení a ukončení zkoušky došlo za 90 sekund +/- 30 sekund.



Obrázek 6: Zatěžovací schéma při ohybové zkoušce (autor: O. Schönfelder)

Byl použit zkušební stroj UTS 50, napojený na stolní PC se softwarem TIRA test, který zaznamenával jak nejvyšší sílu, tak i průběh zatěžování a čas zkoušky a napětí, zároveň dopočítával modul pružnosti. Modul pružnosti ve statickém ohybu byl zjištěn metodou podle normy EN 310 na tělesech vyrobených v souladu s normou ČSN 49 0116.



Obrázek 7: Ohybové těleso v čelistech zkušebního stroje

Získané hodnoty modulu pružnosti v ohybu byly posléze přepočítány na hodnoty pro vlhkost 12% podle následujícího vzorce:

$$E_{12} = \frac{E_w}{1 - \alpha \cdot (w - 12)}$$

Kde E_{12} je modul pružnosti v ohybu při 12% vlhkosti, E_w je modul pružnosti v ohybu při vlhkosti v době zkoušky, α je opravný vlhkostní koeficient pro všechny dřeviny 0,04, a w je vlhkost tělesa v době zkoušky (ČSN 49 0116).

Získané hodnoty pevnosti v ohybu byly následně přepočítány na hodnoty při vlhkosti 12% podle vzorce:

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

Kde σ_{12} je pevnost v ohybu při 12% vlhkosti, σ_w je pevnost v ohybu při vlhkosti v době zkoušky, α je opravný vlhkostní koeficient pro všechny dřeviny 0,04, a w je vlhkost tělesa v době zkoušky (ČSN 49 0115).

2.5 Zkouška na zjištění rázové houževnatosti v ohybu

U těles se změřily posuvným měřidlem příčné rozměry (tangenciální – výška tělesa, radiální – šířka tělesa) s přesností na 0,01mm a délka příložným měřidlem s přesností na 1mm. Tělesa byla jednotlivě umístěována na podpěry Charpyho kladiva tak, aby úderík dopadl na tangenciální plochu. Bylo použito kladivo o rozsahu 0 – 50 J. Poté byla odečtena energie spotřebovaná na přeražení tělesa na stupnici s přesností 0,5 joulu. Rázová houževnatost byla vypočítána podle vzorce:

$$A_w = \frac{Q}{b \cdot h} \text{ [J/cm}^2\text{]}$$

Kde A_w je rázové houževnatost při vlhkosti v okamžiku zkoušky, Q je přerážecí práce, b je šířka tělesa a h je výška tělesa.

Pro přepočet na vlhkost 12% byla použita korekce podle vzorce:

$$A_{12} = A_w \cdot [1 + \alpha \cdot (W - 12)]$$

Kde α je opravný koeficient na vlhkost, pro všechny dřeviny 0,02, w je vlhkost dřeva v % (ČSN 49 0117).

2.6 Zjištění pevnosti v tlaku

U této zkoušky zjišťujeme maximální zatížení tělesa ve směru vláken a napětí při daném zatížení. Vzorek je změřen v půdorysných rozměrech pomocí posuvného měřidla s přesností

na 0,01mm pro zjištění plochy, na kterou působí zatěžující síla. Vzorky poté byly jednotlivě umístěny do čelistí zkušebního stroje a zatěžovány tak, aby od začátku zatěžování až do porušení těles a ukončení zkoušky uplynulo 60 +/- 30 sekund.

Zkušební stroj zaznamenává do softwaru TIRA maximální zatěžovací sílu i průběh zatížení a čas zkoušky pro případnou pozdější kontrolu. Z naměřené maximální síly určíme mez pevnosti v tlaku v axiálním směru při vlhkosti v okamžiku zkoušky podle následujícího vzorce:

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

kde F_{max} je maximální zatěžovací síla, σ_w je napětí vzniklé zatížením a a a b jsou rozměry v radiálním a tangenciálním směru.



Obrázek 8: Těleso pro zkoušku tlaku v čelistech zkušebního stroje

Mez pevnosti přepočítáváme na hodnotu při vlhkosti 12% podle následujícího vzorce:

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

kde α je opravný vlhkostní koeficient stejný pro všechny dřeviny $\alpha = 0,04$.

2.7 Zjišťování vlhkosti při fyzikálních a mechanických zkouškách

Okamžitě po zkouškách mechanických vlastností byla tělesa zvážena. Z kapacitních důvodů byla vlhkost zjišťována u těles pouze po jednom pro sekci, což neovlivnilo výsledky, protože tělesa byla před zkouškou dlouhodobě uskladněna v prostředí s konstantní vzdušnou vlhkostí a teplotou. U těchto těles byla zvážena hmotnost v době bezprostředně po vykonání mechanické zkoušky a tato tělesa byla vložena do sušárny k vysušení na 103°C. Tělesa měla rozměry podle normalizace pro mechanické zkoušky, jinak byl postup veden podle příslušné normy ČSN 49 0103. Tělesa byla poté průběžně kontrolována na hmotnost až do snížení úbytku hmotnosti pod 0,01g za dvě hodiny. Pak byla tělesa zvážena při nulové vlhkosti. Vlhkost w v době zkoušky byla vypočítána podle vzorce:

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

Kde m_1 je hmotnost tělesa před vysušením (g) a m_2 hmotnost tělesa po vysušení (g). (ČSN 49 0103)

Zjištěná skutečná vlhkost byla vztažena na příslušnou část souboru těles a použita pro výpočet mechanických vlastností na hodnoty při 12%, aby bylo možné výsledky srovnávat s dostupnou literaturou.

2.8 Zpracování naměřených dat

Všechny zjištěné hodnoty byly zaneseny do připravených tabulek pro zpracování a výpočet hodnot mechanických vlastností a další výpočty. Výsledky byly uspořádány podle lokalit, stanovišť, pěstebních způsobů, polohy v kmeni horizontální a vertikální pro určení závislosti na těchto ukazatelích.

Zjištěné hodnoty mechanických a fyzikálních vlastností jsou uvedeny v sekci Výsledky. U všech vlastností byl zjištěn modus, medián, průměrná hodnota, směrodatná odchylka a variační koeficient jakožto elementární ukazatele popisné statistiky pro základní orientaci i v jednotlivých souborech podle porostu, lokality a výchovných opatření.

Při určování závislosti popisujeme závislost při r^2 od 0 do 0,3 jako slabou, od 0,31 do 0,65 jako střední a od 0,66 do 1 jako silnou.

Pro vyhodnocení vlivu různých faktorů na mechanické vlastnosti byla použita metoda ANOVA (Fisherův F-test) a pro běžné závislosti, především mechanických vlastností na hustotě byla použita lineární korelace. Pro všechny výpočty byla použita hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

Metodou ANOVA byla taky zjištěna statistický významnost zjištěných rozdílů mezi oblastmi, porosty, sekcemi kmene a severními a jižními stranami stromů.

3. Výsledky a diskuse

3.1 Fyzikální vlastnosti

3.1.1 Hustota

Nejdůležitější ukazatele popisné statistiky uvádí tabulka Hustota (Tabulka 4). Nejvyšší průměrná hustota byla zjištěna u porostu 3 v oblasti Plasy (541 kg/m^3), nejnižší průměr u porostu 2 v téže lokalitě.

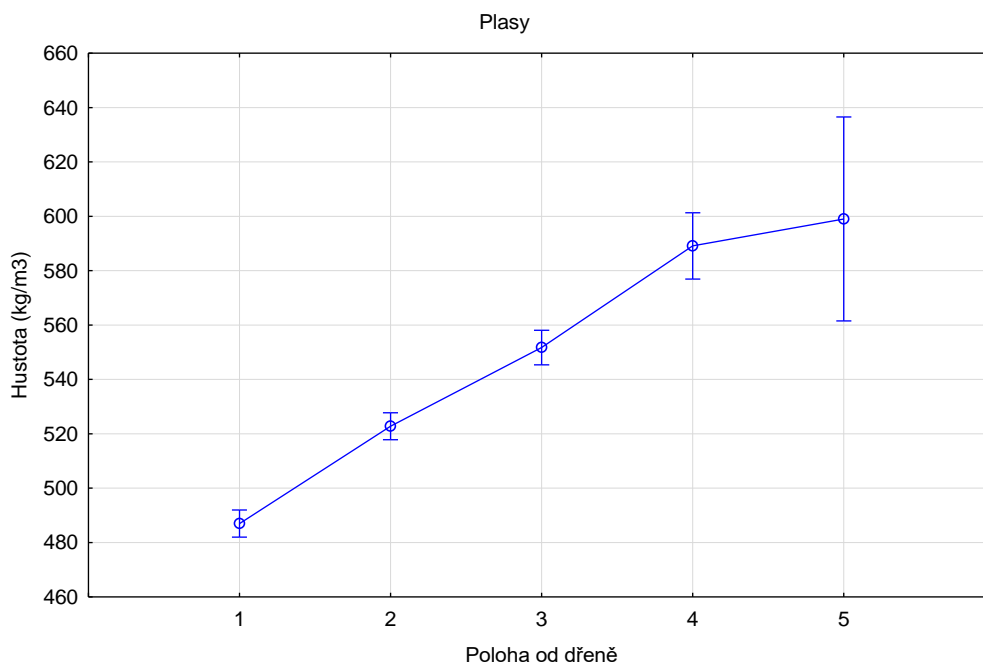
Tabulka 4: Ukazatele popisné statistiky hustoty podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů

Hustota			
		Plasy	Chvojno
Porost 1 <i>(Podrovní)</i>	Aritmetický pr. (kg/m^3)	493,9	493,8
	Medián (kg/m^3)	546,0	503,0
	Směrodatná odch. (kg/m^3)	44,6	56,0
	Rozptyl (kg^2/m^6)	1984,8	3134,2
	Variační koeficient (%)	9	11,3
	Min. (kg/m^3)	371,9	366,5
	Max. (kg/m^3)	621,8	710,3
	Počet ks.	207	566
Porost 2 <i>(Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (kg/m^3)	477,9	501,9
	Medián (kg/m^3)	508,8	575,8
	Směrodatná odch. (kg/m^3)	62,5	68,0
	Rozptyl (kg^2/m^6)	4000,0	4620,0
	Variační koeficient (%)	13	13,5
	Min. (kg/m^3)	363,7	347,9
	Max. (kg/m^3)	761,6	674,8
	Počet ks.	324	782
Porost 3 <i>(Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (kg/m^3)	541,3	484,5
	Medián (kg/m^3)	530,6	581,3
	Směrodatná odch. (kg/m^3)	59,9	68,3
	Rozptyl (kg^2/m^6)	3593,2	4669,4
	Variační koeficient (%)	11	14,1
	Min. (kg/m^3)	415,1	168,2
	Max. (kg/m^3)	807,6	780,2
	Počet ks.	913	772

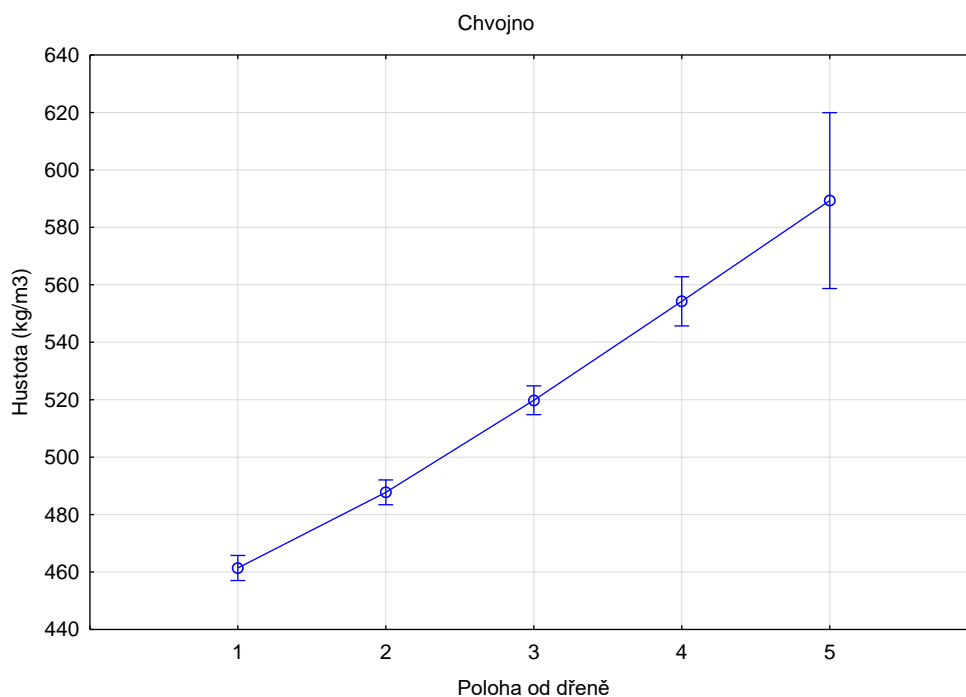
Mezi oblastmi Plasy a Chvojno byl pro hustotu prokázán statisticky významný rozdíl.

V oblasti Plasy se u všech porostů potvrdil statisticky významný rozdíl v hustotě, ale porost 3 dosahoval ve srovnání s porosty 1 a 2 výrazně vyšších hodnot.

Naproti tomu v oblasti Chvojno byl rozdíl mezi porosty menší, ale i zde byl rozdíl potvrzen jako statisticky významný. Výrazněji nižších hodnot dosahoval porost č.3.

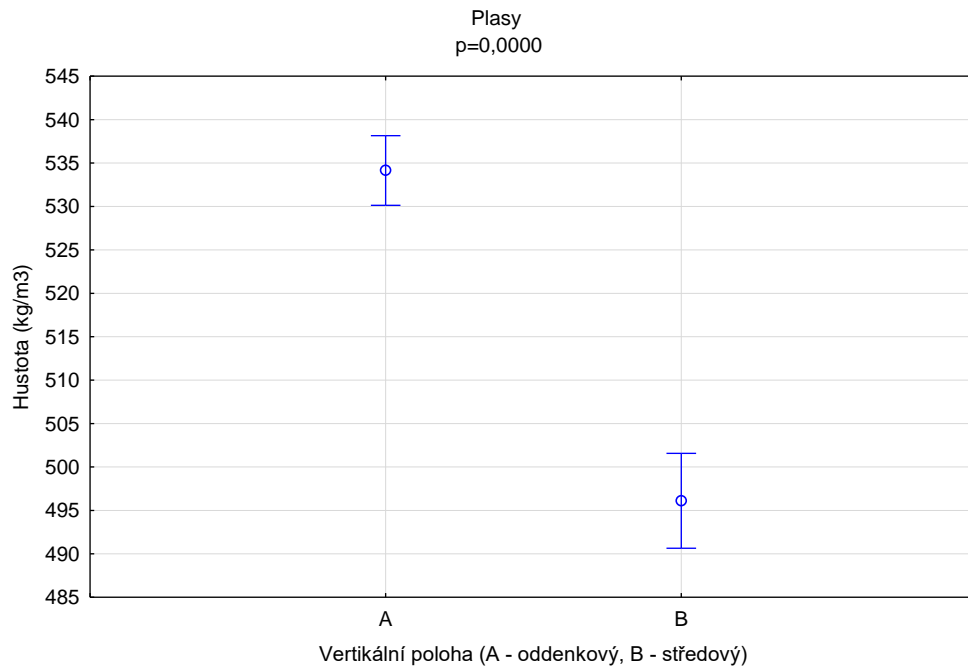


Graf 2: Hustota v závislosti na poloze od dřevě v oblasti Plasy

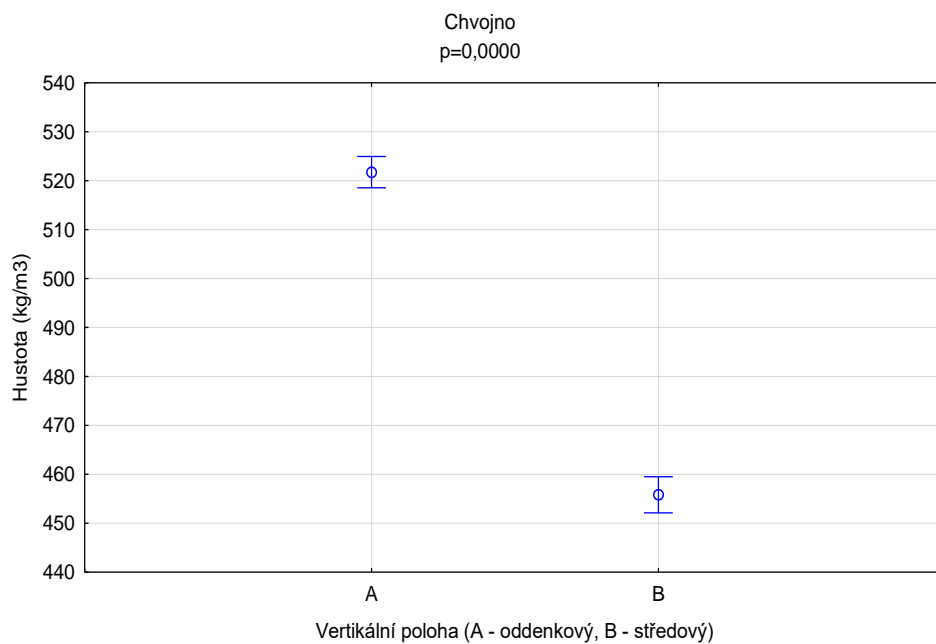


Graf 3: Hustota v závislosti na poloze od dřevě v oblasti Chvojno

Hustota stoupá v závislosti na poloze od dřene směrem ke kůře stromu u obou oblastí. U jehličnanů se jedná o obvyklý jev. Požgaj (1997) uvádí variabilitu v závislosti na poloze od dřene 5 – 20%. Vyrůstající hustotu v tomto směru potvrdil i nedávný estonský výzkum, zohledňující přítomnost juvenilního dřeva, kdy se hustota měnila od 318 do 535 kg/m³ (Kask, 2015)



Graf 4: Vertikální variabilita hustoty v oblasti Plasy



Graf 5: Vertikální variabilita hustoty v oblasti Chvojno

U obou oblastí se potvrdil obvyklý trend poklesu hustoty od paty k vrcholu stromu (Požgaj 1997). Rozdíl mezi oddenkovými částmi a středovými částmi zkoumaných stromů se u obou oblastí potvrdil jako statisticky významný.

Byla testována i závislost hustoty na orientaci k severu a jihu. U souboru všech vzorků z obou oblastí však rozdíl mezi hustotou ze severní části stromů a z jižní části stromů nebyl stanoven jako statisticky významný.

S aritmetickým průmětem všech změřených těles 504 kg/m^3 a mediánem 581 kg/m^3 je ve srovnání s ostatními domácimi jehličnany hodnota hustoty oproti smrku – Požgaj (1997) uvádí u smrku hustotu 430 kg/m^3 , velmi vysoká. Dále ve srovnání s borovicí lesní (*pinus sylvestris*), u které tentýž autor uvádí 490 kg/m^3 , je hodnota zjištěná u měřených vzorků mírně vyšší, stejně jako při srovnání s hustotou dřeva jedle (*abies alba* Mill.) kde Lexa (1952) uvádí hustotu 390 kg/m^3 , kde je rozdíl již velmi velký. Ve srovnání s obdobným výzkumem z posledních let je hodnota i mírně vyšší proti borovici ve Skotsku, kde nejčtenější zastoupení měl vzorky s hustotou mezi 510 a 550 kg/m^3 (Auty, 2008). Srovnání se bělovým dřevem borovice mimo zónu juvenilního dřeva je hodnota srovnatelná s výsledky výzkumu v Estonsku, kde tato hodnota byla $534,5 \text{ kg/m}^3$ (Kask, 2015). Dále pak byla poměrně vysoká ve srovnání s borovicí z Polska, kde byl zjištěn průměr 327 kg/m^3 (Mederski 2015). Zde byl porost pěstován v rozponu 4m a smýcen ve velmi mladém věku 25 let.

3.2 Mechanické vlastnosti

3.2.1 Mez pevnosti v ohybu

Zjištěné základní statistické ukazatele meze pevnosti v ohybu zobrazuje tabulka (Tabulka 5).

Tabulka 5: Ukazatele popisné statistiky meze pevnosti v ohybu podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů

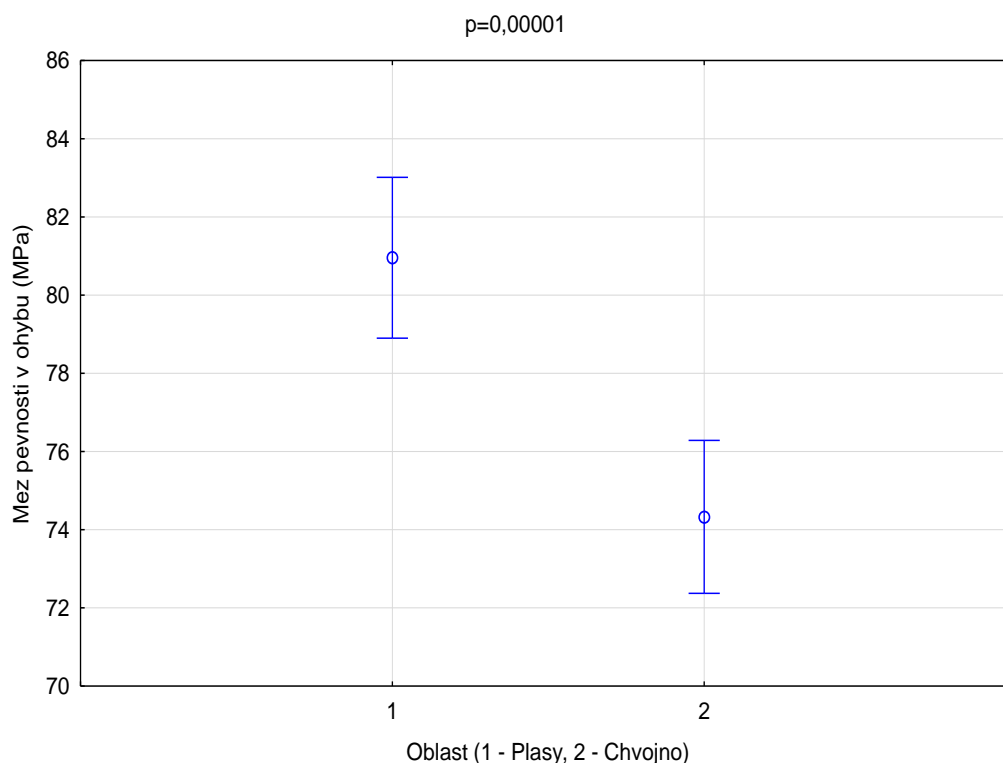
Mez pevnosti v ohybu			
		Plasy	Chvojno
<i>Porost 1 (Podrostní)</i>	Aritmetický pr. (MPa)	72,6	80,0
	Medián (MPa)	72,8	81,5
	Směrodatná odch. (MPa)	9,6	14,2
	Rozptyl (MPa²)	92,6	200,2
	Variační koeficient (%)	13,3	17,7
	Min. ((MPa)	52,3	48,7
	Max. (MPa)	91,1	107,3
	Počet ks.	56	69
<i>Porost 2 (Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (MPa)	70,8	76,2
	Medián (MPa)	69,6	72,8
	Směrodatná odch. (MPa)	12,4	19,8
	Rozptyl (MPa²)	153,5	393,2
	Variační koeficient (%)	17,5	26
	Min. ((MPa)	36,5	25,3
	Max. (MPa)	105,8	117,7
	Počet ks.	86	135
<i>Porost 3 (Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (MPa)	88,7	69,9
	Medián (MPa)	88,3	68,2
	Směrodatná odch. (MPa)	18,6	19,4
	Rozptyl (MPa²)	346,6	374,8
	Variační koeficient (%)	20,9	27,7
	Min. ((MPa)	46,0	25,8
	Max. (MPa)	134,0	114,6
	Počet ks.	172	144

Ve srovnání s jinými domácími jehličnatými dřevinami jsou zjištěné hodnoty meze pevnosti v ohybu oproti smrku a jedli (72,9 a 69,4 MPa podle Požgaje, 1997) srovnatelné až mírně vyšší. Podle stejného autora však borovice běžně dosahuje vyšších hodnot, a to 100,1 MPa. Podle výsledků podobného výzkumu D. Autyho (2008) jsou však hodnoty zjištěné v tomto

výzkumu srovnatelné. Hodnoty z tohoto výzkumu spadají i do poměrně širokého rozmezí 59,4 – 101,5 MPa, které uvádí nedávný Estonský výzkum (Kask, 2015).

V oblasti Plasy byl rozdíl mezi porosty zjištěn jako statisticky významný, porosty 1 a 2 však vykazovaly rozdíl zjevně menší, než porost 3, který dosahoval zjevně nejvyšších hodnot.

Z hlediska statistické významnosti byly stejně vyhodnoceny i porosty v Chvojnu, kde však žádný z porostů tak markantně vyšší nebo nižší hodnoty nevykazoval.

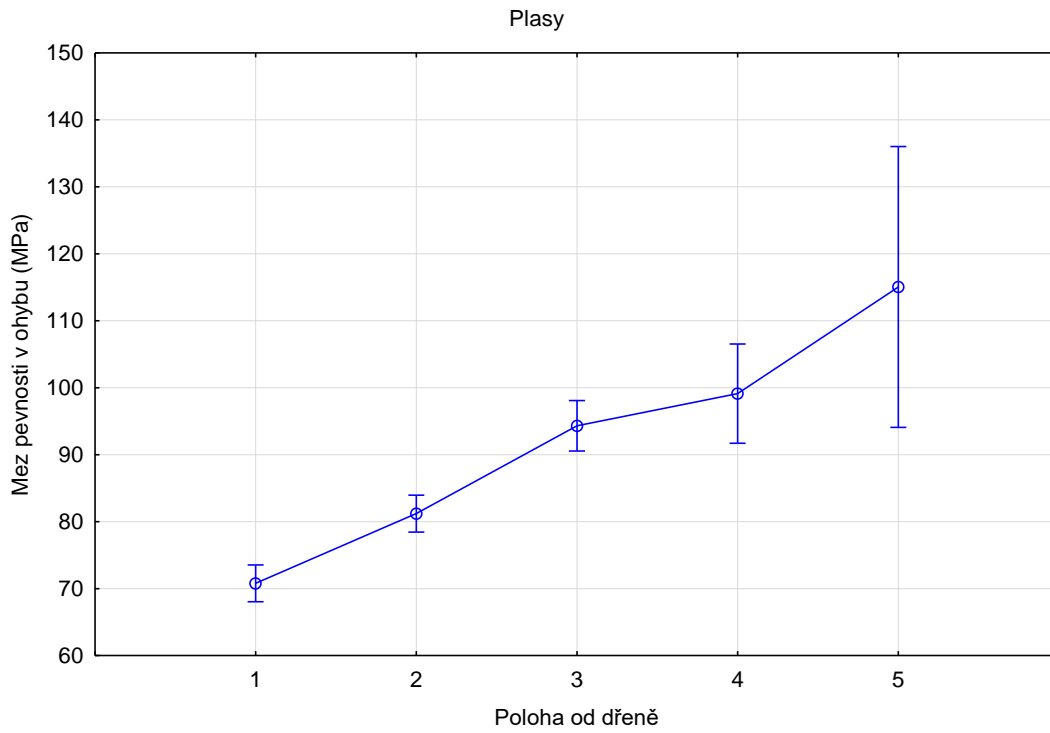


Graf 6: porovnání meze pevnosti v ohybu v obou oblastech

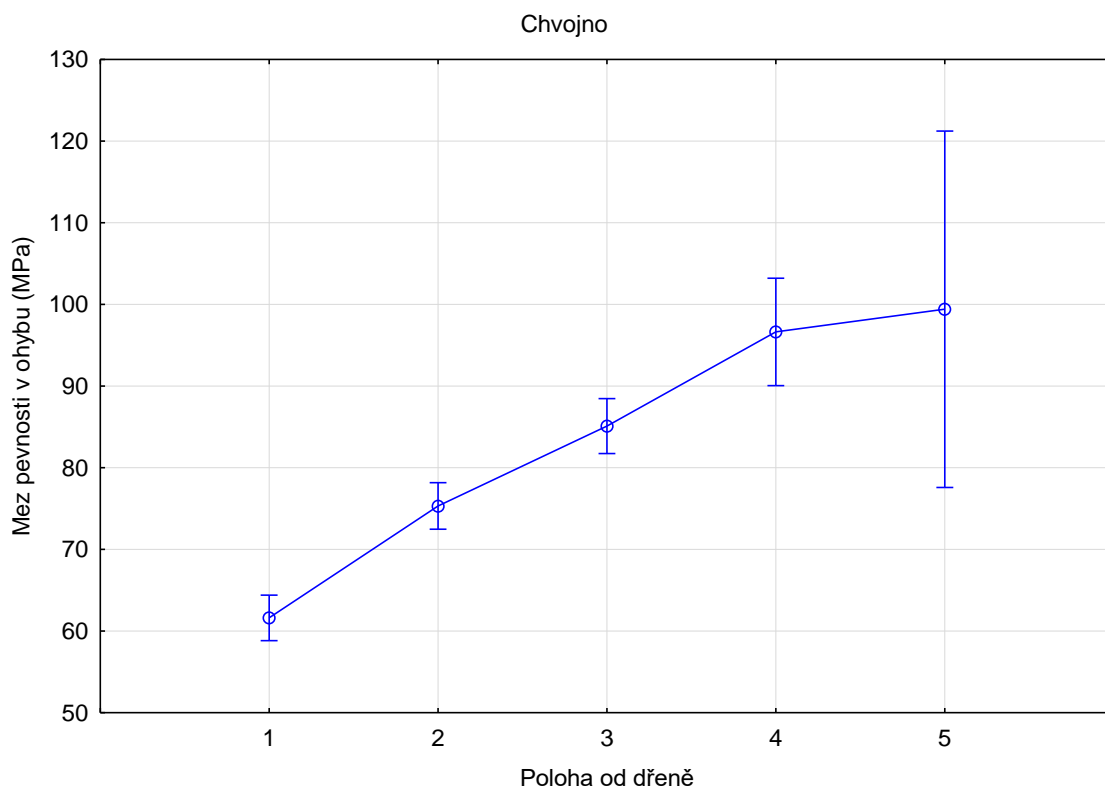
Rozdíl v mezi pevnosti v ohybu v oblasti plasy 81 MPa a v oblasti Chvojno 74 MPa byl vyhodnocen jako statisticky významný, což je zřejmé i z grafu (Graf 6).

Co se týče vertikální variability, byl rozdíl mezi oddenkovou a středovou částí kmenů v obou oblastech vyhodnocen jako statisticky významný tak, že hodnoty v oddenkové části byly vyšší než v části středové. Toto zjištění odpovídá identickému zjištění u hustoty i předpokladu, že mechanické vlastnosti jsou hustotou dřeva významně ovlivněny.

V oblasti Plasy byl opět zjištěn statisticky významný rozdíl mezi porosty s tím, že porost 3 dosahoval hodnot výrazně vyšších, než porosty 1 a 2, tedy zde pozorujeme stejný jev, jako u hustoty. V oblasti Chvojno byly také rozdíly mezi porosty statisticky významné, žádný porost však tak markantně nedosahoval vyšších nebo nižších hodnot meze pevnosti v ohybu.



Graf 7: Mez pevnosti v ohybu v závislosti na vzdálenosti od dřene v oblasti Plasy



Graf 8: Mez pevnosti v ohybu v závislosti na vzdálenosti od dřene v oblasti Chvojno

V obou oblastech byl zjištěn stoupající trend v hodnotách meze pevnosti v ohybu od dřene směrem ke kůře. Tento trend byl zjištěn i u hustoty a jiných mechanických vlastností, což potvrzuje, že mechanické vlastnosti jsou ovlivněny hustotou. Tento trend je obdobný, jako bylo zjištěno například v podobném výzkumu v severním Skotsku (Auty, 2008).

Všechna tělesa v souboru z obou oblastí vykazovala statisticky významný rozdíl při testování vlivu polohy vůči světovým stranám. Tělesa dosahovala vyšších hodnot na straně stromu orientované na sever.

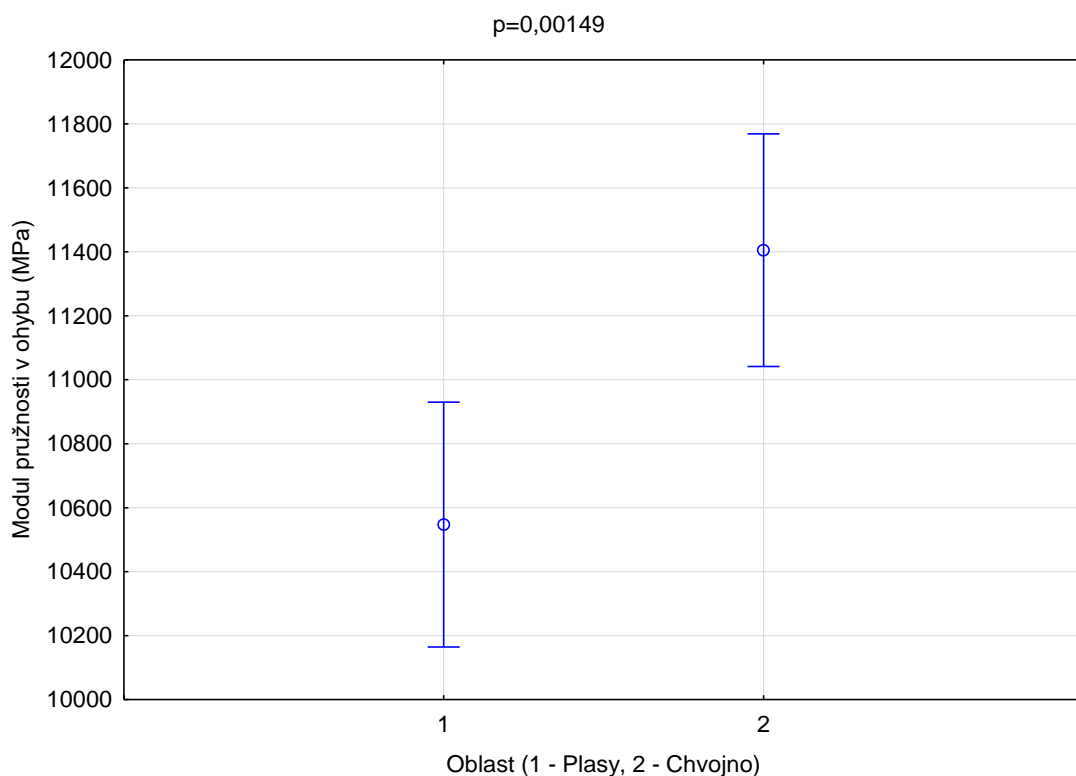
3.2.2 Statický modul pružnosti v ohybu

Základní statistické údaje modulu pružnosti podle oblasti a porostu zobrazuje následující tabulka (Tabulka 6).

Tabulka 6: Ukazatele popisné statistiky statického modulu pružnosti podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů

Statický modul pružnosti v ohybu			
		Plasy	Chvojno
Porost 1 (Podrostní)	Aritmetický pr. (MPa)	8675	12379
	Medián (MPa)	8509	12017
	Směrodatná odch. (MPa)	1961	2919
	Rozptyl (MPa²)	3848445	8523728
	Variační koeficient (%)	22,6	23,6
	Min. ((MPa)	5249	4829
	Max. (MPa)	12844	19201
	Počet ks.	56	69
Porost 2 (Holosečný)	Aritmetický pr. (MPa)	8355	11842,51
	Medián (MPa)	8340	12115,57
	Směrodatná odch. (MPa)	2194	3408,521
	Rozptyl (MPa²)	4814977	11618015
	Variační koeficient (%)	26,3	28,8
	Min. ((MPa)	4603	5420
	Max. (MPa)	14508	20203
	Počet ks.	86	135
Porost 3 (Holosečný)	Aritmetický pr. (MPa)	12252	10528
	Medián (MPa)	12603	10509
	Směrodatná odch. (MPa)	2900	4022
	Rozptyl (MPa²)	8412688	16181428
	Variační koeficient (%)	23,7	38,2
	Min. ((MPa)	6253	3640
	Max. (MPa)	17770	22201
	Počet ks.	172	144

Zjištěná hodnota 10998 MPa u celého souboru je nižší se srovnání s jinými dřevinami podle Kollmanna (1951) autor uvádí hodnotu u modřínu přes 13500 MPa. Hodnoty statického modulu pružnosti jsou mírně vyšší ve srovnání s ostatními ekonomicky významnými domácími jehličnany – podle stejného autora dosahuje statický modul pružnosti u smrku hodnot přesahujících 10500 MPa. Ve srovnání s borovicí podle téhož autora je hodnota mírně nižší, u borovice se uvádí 11500 MPa. Ve srovnání s výzkumem z posledních let ale není hodnota zjištěná v lokalitách v Čechách nijak nízká, D. Auty (2008) uvádí ve Skotsku nejvíce vzorků s modulem pružnosti mezi 7500 a 8500 MPa v obdobném výzkumu.



Graf 9: Srovnání statického modulu pružnosti mezi oblastmi

Při srovnání statického modulu pružnosti mezi oblastmi se potvrdil statisticky významný rozdíl, kdy vyšších hodnot dosahovaly vzorky z oblasti Chvojno (11410 MPa).

Při zjišťování vertikální variability modulu pružnosti v ohybu bylo zjištěno, že vyšších hodnot dosahují tělesa ze středových výřezů z obou oblastí. Ve variabilitě v horizontálním směru byl pozorován stoupající trend směrem od dřeně ke kůře v obou oblastech, tento trend byl výraznější u vzorků z oblasti Plasy. Tento trend kopíruje trend ostatních popsanych mechanických a fyzikálních vlastností, především hustoty.

Při srovnání jednotlivých porostů v příslušných oblastech je výsledek obdobný jako u ostatních vlastností – rozdíl mezi porosty je statisticky významný. Navíc v oblasti Plasy výrazně vyšších hodnot nabývá porost 3, zatímco ve Chvojně žádný z porostů takto markantně nevyniká.

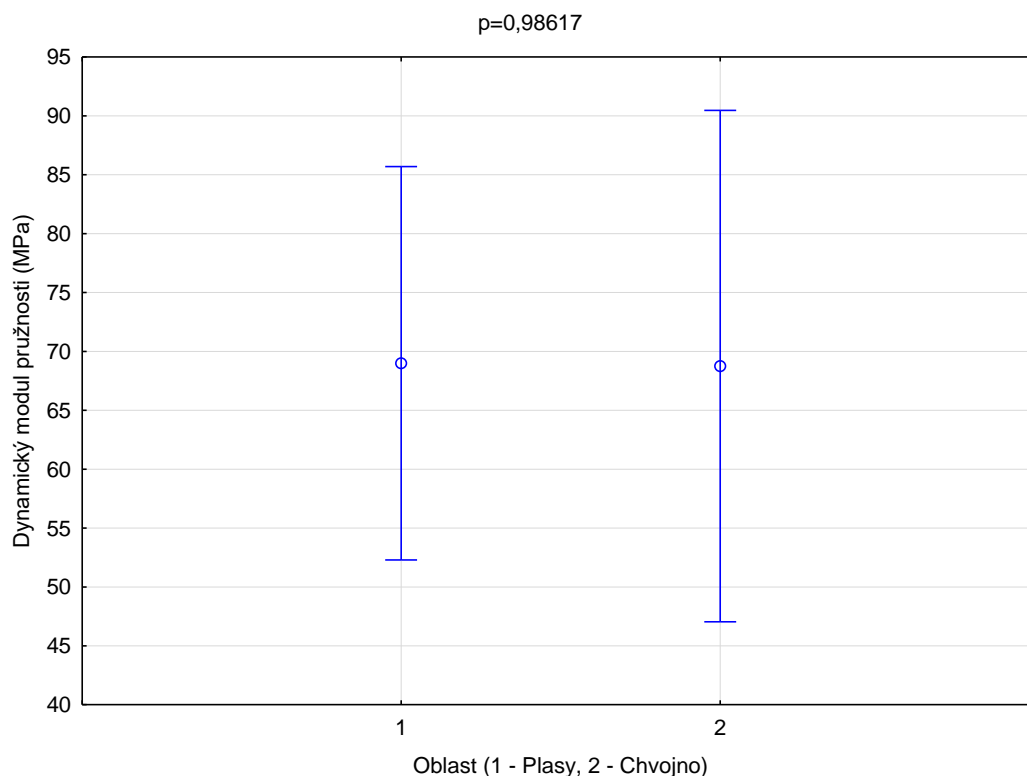
U modulu pružnosti v ohybu bylo zjištěno, že vyšších hodnot dosahují tělesa, která byla ve stromech orientovaná na sever. Bylo tak zjištěno u souboru vzorků z obou oblastí a rozdíl byl prokázán jako statisticky významný.

3.2.3 Dynamický modul pružnosti v ohybu

Tabulka (Tabulka 7) uvádí zjištěné základní ukazatele popisné statistiky podle oblastí a porostů:

Tabulka 7: Ukazatele popisné statistiky dynamického modulu pružnosti podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů

Dynamický modul pružnosti v ohybu			
		Plasy	Chvojno
Porost 1 <i>(Podrostní)</i>	Aritmetický pr. (MPa)	35,2	58,0
	Medián (MPa)	34,2	53,7
	Směrodatná odch. (MPa)	19,5	16,8
	Rozptyl (MPa²)	380,3	282,6
	Variační koeficient (%)	55,3	29
	Min. ((MPa)	11,2	27,2
	Max. (MPa)	95,2	93,2
	Počet ks.	23	14
Porost 2 <i>(Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (MPa)	40,9	78,7
	Medián (MPa)	38,5	73,0
	Směrodatná odch. (MPa)	16,5	28,1
	Rozptyl (MPa²)	273,7	787,1
	Variační koeficient (%)	40,4	35,6
	Min. ((MPa)	16,3	40,4
	Max. (MPa)	77,1	131,5
	Počet ks.	29	14
Porost 3 <i>(Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (MPa)	91,4	69,6
	Medián (MPa)	85,8	68,4
	Směrodatná odch. (MPa)	37,9	28,6
	Rozptyl (MPa²)	1437,5	820,2
	Variační koeficient (%)	41,5	41,2
	Min. ((MPa)	38,2	21,9
	Max. (MPa)	156,2	133,5
	Počet ks.	14	14



Graf 10: Srovnání dynamického modulu pružnosti podle oblastí

Při srovnání oblastí podle hodnot dosahovaných při zjištění dynamického modulu pružnosti se projevil rozdíl mezi oblastmi jako statisticky nevýznamný. Oblast Plasy sice vykazovala mírně vyšší hodnoty, tento rozdíl je však téměř nezatelný i z grafického vyjádření porovnání.

Při zjištění vlivu vertikální polohy se porovnávaly hodnoty z oddenkového výřezu proti hodnotám zjištěným u středového výřezu a přesto, že tělesa ze středové části v obou oblastech dosahovala mírně vyšších hodnot, tak rozdíl byl zjištěn jako statisticky nevýznamný a vliv vertikální polohy nebyl u této vlastnosti potvrzen.

V oblasti Plasy byl zjištěn rozdíl mezi porosty jako statisticky významný, porost 1 dosahoval hodnot nejnižších a porost 3 hodnot nejvyšších. V oblasti Chvojno byly nejnižší hodnoty zjištěny v porostu 1 a nejvyšší v porostu 2, rozdíl mezi porosty byl určen jako statisticky významný.

Bylo testováno, jestli má na velikost dynamického modulu pružnosti vliv orientace vzhledem ke světovým stranám. Byl sice zjištěn drobný rozdíl mezi tělesy umístěnými ve stromech na severní straně a mezi těmi na jižní, nepotvrdil se však jako statisticky významný.

Trend stoupajících hodnot ve směru od dřeně ke kůře se u této vlastnosti nepotvrdil.

3.2.4 Pevnost v tlaku

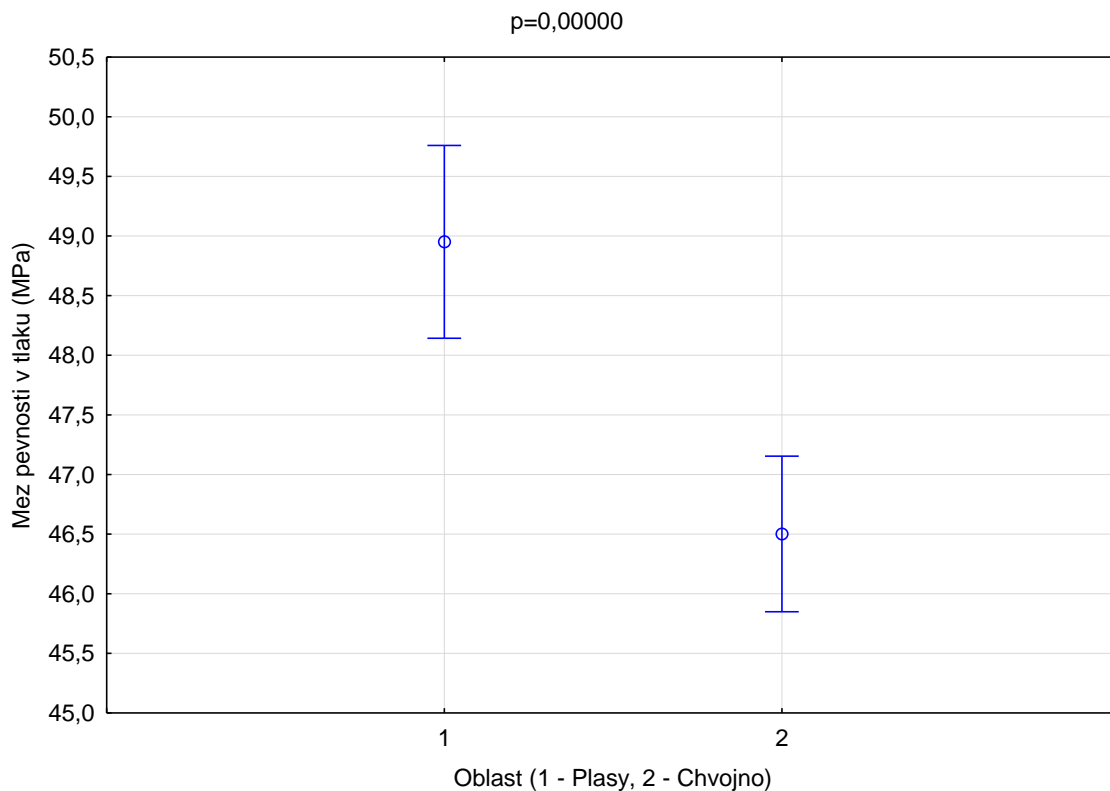
Základní ukazatele popisné statistiky ve zkoumaných oblastech podle porostů znázorňuje tabulka (Tabulka 8):

Tabulka 8: Ukazatele popisné statistiky pevnosti v tlaku podél vláken podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů

Pevnost v tlaku podél vláken			
		Plasy	Chvojno
Porost 1 <i>(Podrovní)</i>	Aritmetický pr. (MPa)	43,2	47,8
	Medián (MPa)	43,6	47,3
	Směrodatná odch. (MPa)	7,1	6,5
	Rozptyl (MPa²)	50,0	42,8
	Variační koeficient (%)	16,4	13,7
	Min. ((MPa)	28,1	31,9
	Max. (MPa)	57,3	67,1
	Počet ks.	77	235
Porost 2 <i>(Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (MPa)	46,0	48,9
	Medián (MPa)	44,9	48,7
	Směrodatná odch. (MPa)	8,4	10,2
	Rozptyl (MPa²)	69,9	103,9
	Variační koeficient (%)	18,2	20,9
	Min. ((MPa)	31,4	10,4
	Max. (MPa)	71,8	77,2
	Počet ks.	148	332
Porost 3 <i>(Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (MPa)	51,4	43,1
	Medián (MPa)	50,2	41,3
	Směrodatná odch. (MPa)	11,0	9,8
	Rozptyl (MPa²)	122,0	96,3
	Variační koeficient (%)	21,5	22,7
	Min. ((MPa)	27,3	18,6
	Max. (MPa)	79,9	69,0
	Počet ks.	358	329

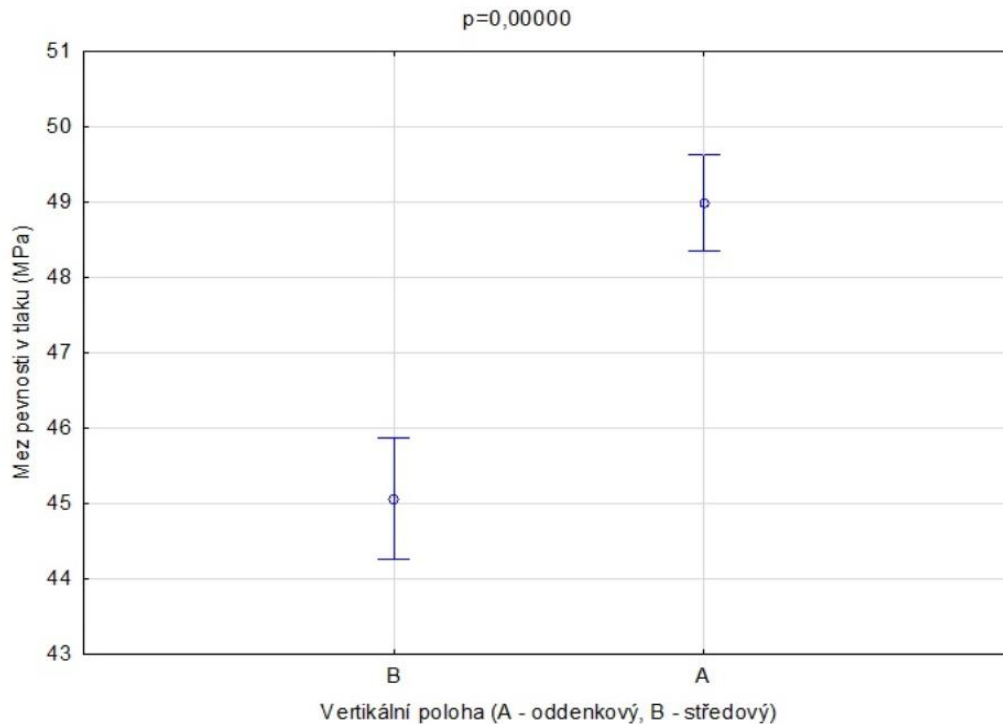
Ve srovnání s dostupnými údaji je hodnota ze všech vzorků 47,5 MPa nižší oproti Kollmannovi (1951), který uvádí hodnotu 55 MPa, i oproti Wagenfuhrovi (2006), který uvádí u borovice stejnou hodnotou, Ve srovnání s ostatními domácimi ekonomicky významnými dřevinami se jedná o hodnotu srovnatelnou s douglaskou (47 MPa podle Kollmanna, 1951) a nižší než modřín – 55 MPa podle téhož autora. Donce se jedná o hodnotu mírně nižší než u smrku, kde se uvádí 50 MPa (Wagenfuhr, 2006). Srovnatelnou dřevinou je v tomto ohledu

jedle s hodnotou 47 MPa (Wagenfuhr, 2006). Je však na místě zmínit, že v tomto výzkumu byly použity vzorky z poměrně mladých stromů v předmýtním věku. Velmi podobnou hodnotu pak uvádí R. Kask z výzkumu borovice v Estonsku, kdy pevnost v tlaku zjistil 46,5 MPa u bělového dřeva mimo zónu juvenilního dřeva (Kask, 2015). Vyšší je hodnota oproti vzorkům borovice z velmi mladého porostu (25 let) v Polsku, kde byla zjištěna hodnota pouze 32,2 MPa (Mederski 2015).



Graf 11: Srovnání meze pevnosti v tlaku podle oblastí

Rozdíl mezi oblastmi byl stanoven jako statisticky významný, hodnoty vzorků z oblasti Plasy dosahovaly vyšších hodnot meze pevnosti v tlaku. Tento trend se navíc shoduje s trendem popsáním u meze pevnosti v ohybu.

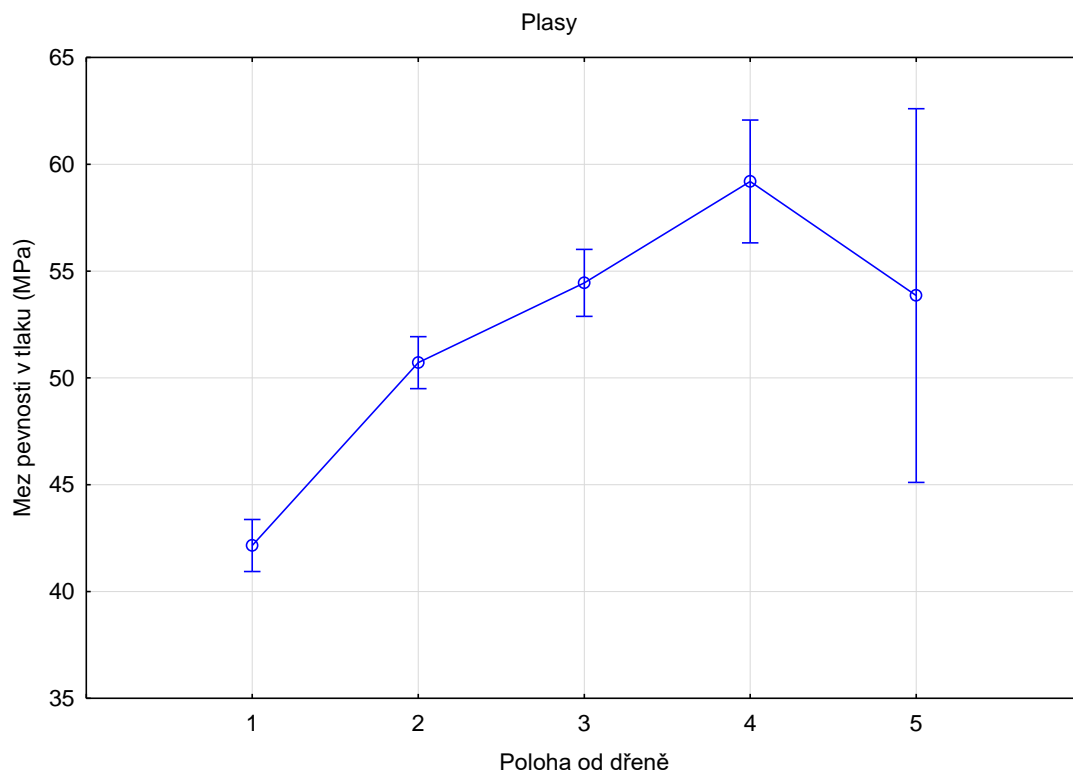


Graf 12: Srovnání meze pevnosti podle vertikální pozice v kmeni

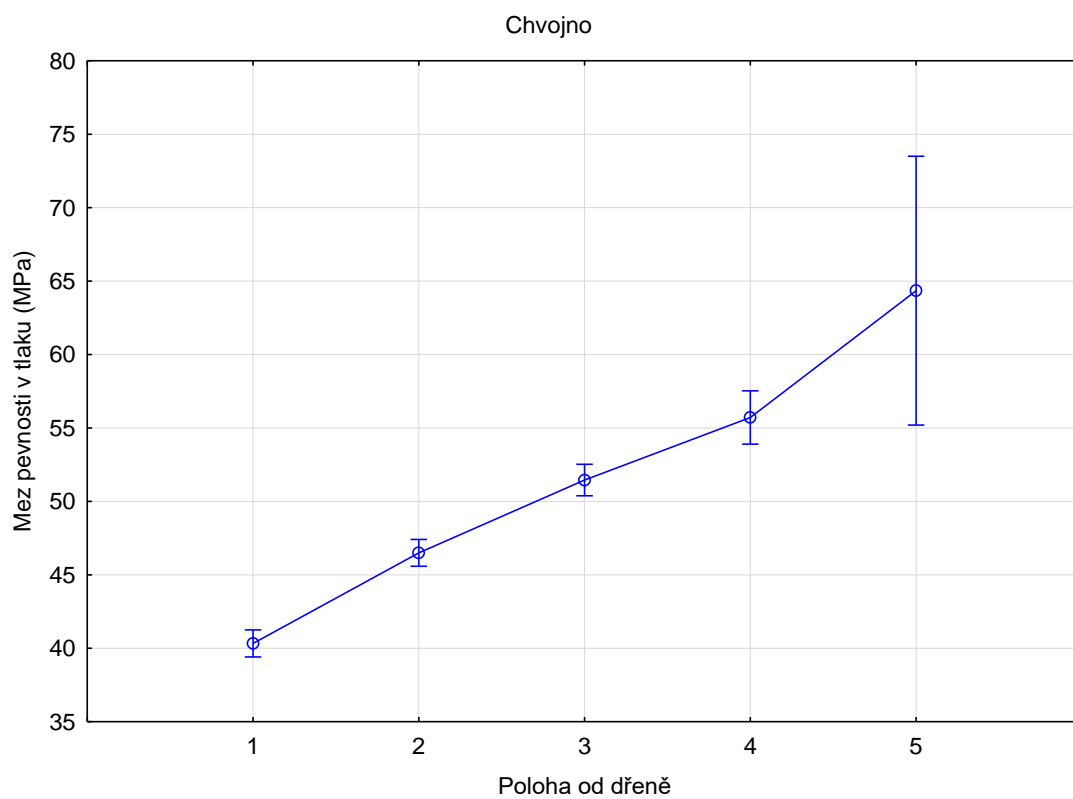
Vliv vertikální polohy byl zjištěn takový, že oddenková část vykazuje vyšší hodnoty meze pevnosti v tlaku než část středová (Graf 12), kdy rozdíl mezi oběma polohami je u vzorků z obou oblastí statisticky významný. Podobnou zákonitost jsme pozorovali i u hodnot hustoty z obou oblastí.

O souboru vzorků z obou oblastí se zjistilo, že vzhledem k zeměpisné orientaci vykazují vyšší hodnoty pevnosti v tlaku tělesa, která byla ve stromech umístěna na severní straně. Rozdíl oproti tělesům na jižní straně byl zjištěn jako statisticky významný.

Jednotlivé porosty v Plasech vykazují statisticky významné rozdíly v hodnotách meze pevnosti v tlaku, porost 1 vykazuje hodnoty nejnižší, zatímco porost 3 hodnoty nejvyšší. Opačně je tomu v oblasti Chvojno, kde jsou rozdíly sice také statisticky významné, ale u porostu 3 jsou hodnoty nejnižší.



Graf 13: Mez pevnosti v tlaku v závislosti na poloze od dřeně v oblasti Plasy



Graf 14: Mez pevnosti v tlaku v závislosti na poloze od dřeně v oblasti Chvojno

Z grafů (Graf 13 a Graf 14) znázorňujících rozložení hodnot meze pevnosti v tlaku v závislosti na poloze od dřene je zřejmý stoupající trend, který je plynulejší u vzorků z oblasti Chvojno. Tento trend je shodný s trendem průběhu hustoty od dřene ke kůře z obou oblastí a s průběhem hodnot dalších mechanických vlastností.

3.2.5 Rázová houževnatost

Tabulka (Tabulka 9) zobrazuje základní ukazatele popisné statistiky podle oblastí a porostů:

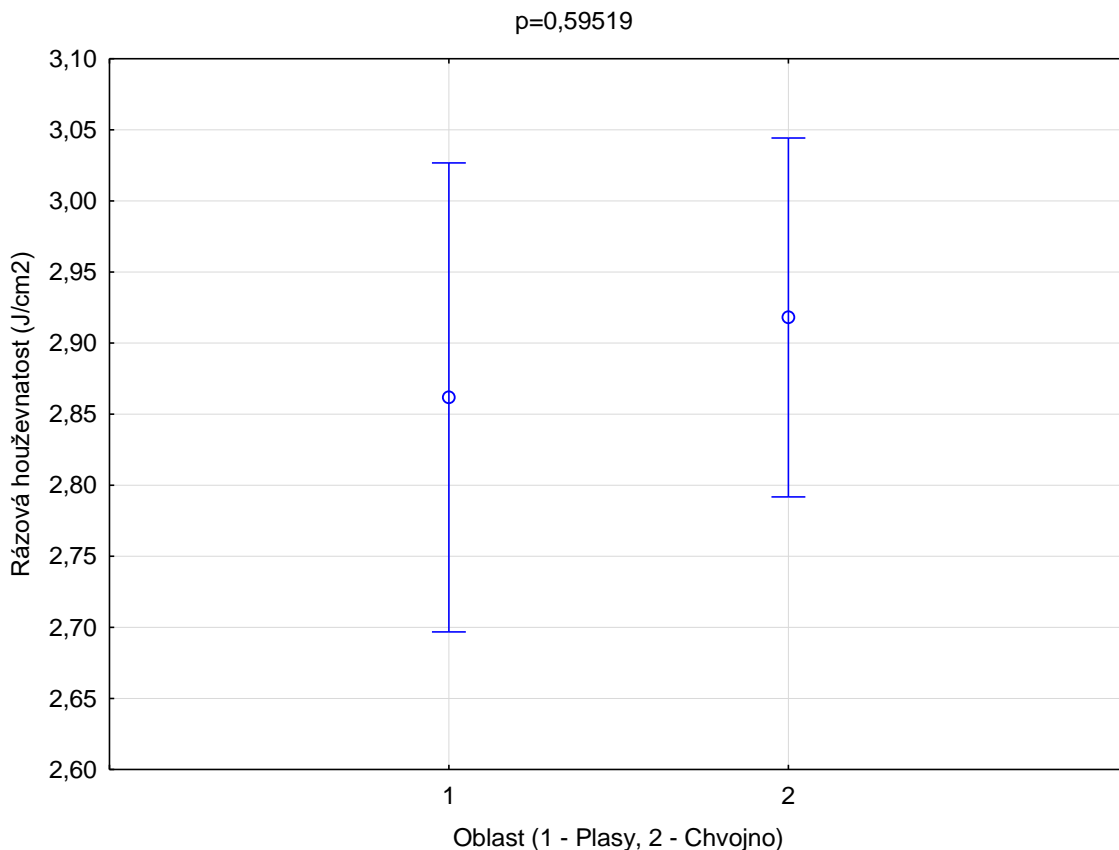
Tabulka 9: Ukazatele popisné statistiky rázové houževnatosti podle oblastí a porostů s uvedením hospodářských způsobů

Rázová houževnatost			
		Plasy	Chvojno
Porost 1 <i>(Podrostní)</i>	Aritmetický pr. (J/cm²)	3,8	3,2
	Medián (J/cm²)	3,7	3,0
	Směrodatná odch. (J/cm²)	1,3	1,6
	Rozptyl (J²/cm⁴)	1,7	2,5
	Variační koeficient (%)	34,1	49,5
	Min. (J/cm²)	1,3	0,5
	Max. (J/cm²)	8,5	10,5
	Počet ks.	50	234
Porost 2 <i>(Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (J/cm²)	3,1	2,9
	Medián (J/cm²)	2,8	2,5
	Směrodatná odch. (J/cm²)	1,3	1,9
	Rozptyl (J²/cm⁴)	1,8	3,5
	Variační koeficient (%)	42,8	63,8
	Min. (J/cm²)	0,8	0,3
	Max. (J/cm²)	8,0	10,5
	Počet ks.	57	286
Porost 3 <i>(Holosečný)</i>	Aritmetický pr. (J/cm²)	3,4	2,7
	Medián (J/cm²)	3,4	2,1
	Směrodatná odch. (J/cm²)	1,5	1,8
	Rozptyl (J²/cm⁴)	2,2	3,3
	Variační koeficient (%)	43	67,9
	Min. (J/cm²)	0,6	0,4
	Max. (J/cm²)	10,0	10,4
	Počet ks.	277	269

Při srovnání s jinými domácími ekonomicky významnými jehličnany je hodnota z tohoto výzkumu (3,0 J/cm²) nízká oproti jedli, která dosahuje 4,2 J/cm² (Požgaj 1997) i borovici

z jiných výzkumů - $4,0 \text{ J/cm}^2$ podle Kollmanna (1951). Smrkové dřevo podle stejného autora dosahuje dokonce ještě vyšší hodnoty rázové houževnatosti, a to $4,6 \text{ J/cm}^2$.

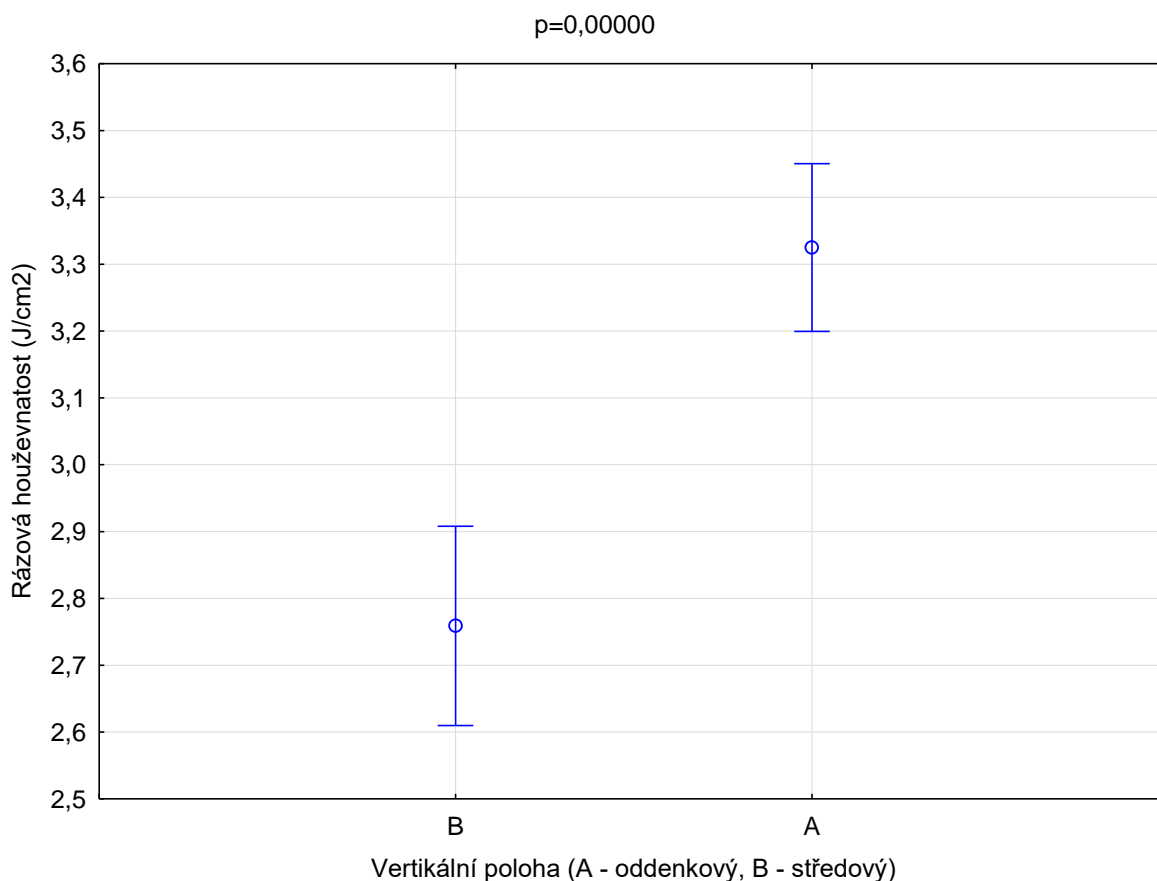
Podle Požgaje (1997) je však rázová houževnatost ovlivněna několika dalšími faktory, jako odklon vláken nebo teplota a zmiňuje také, že dřeva dosahující vysokých kvalit ve statických zkouškách s vysokou hustotou se mohou u této zkoušky jevit jako křehčí.



Graf 15: Srovnání rázové houževnatosti podle oblastí

Při zkoumání hodnot v obou oblastech se prokázalo, že i když mírně vyšších hodnot dosahovaly vzorky z oblasti Chvojno, rozdíl byl stanoven jako statisticky nevýznamný.

Při srovnávání jednotlivých porostů se v oblasti Plasy potvrdil statisticky významný rozdíl mezi porosty, kdy porost 1 dosahoval nejvyšších hodnot a porost 3 nejnižších. V oblasti Chvojno byly rozdíly menší, stále však statisticky významné a porosty vykazovaly podobný trend jako v Plasech – porost 1 dosahoval nejvyšších hodnot, porost 3 nejnižších. V obou oblastech tedy dosahovaly nejlepších hodnot porosty s podrobným hospodářským způsobem.



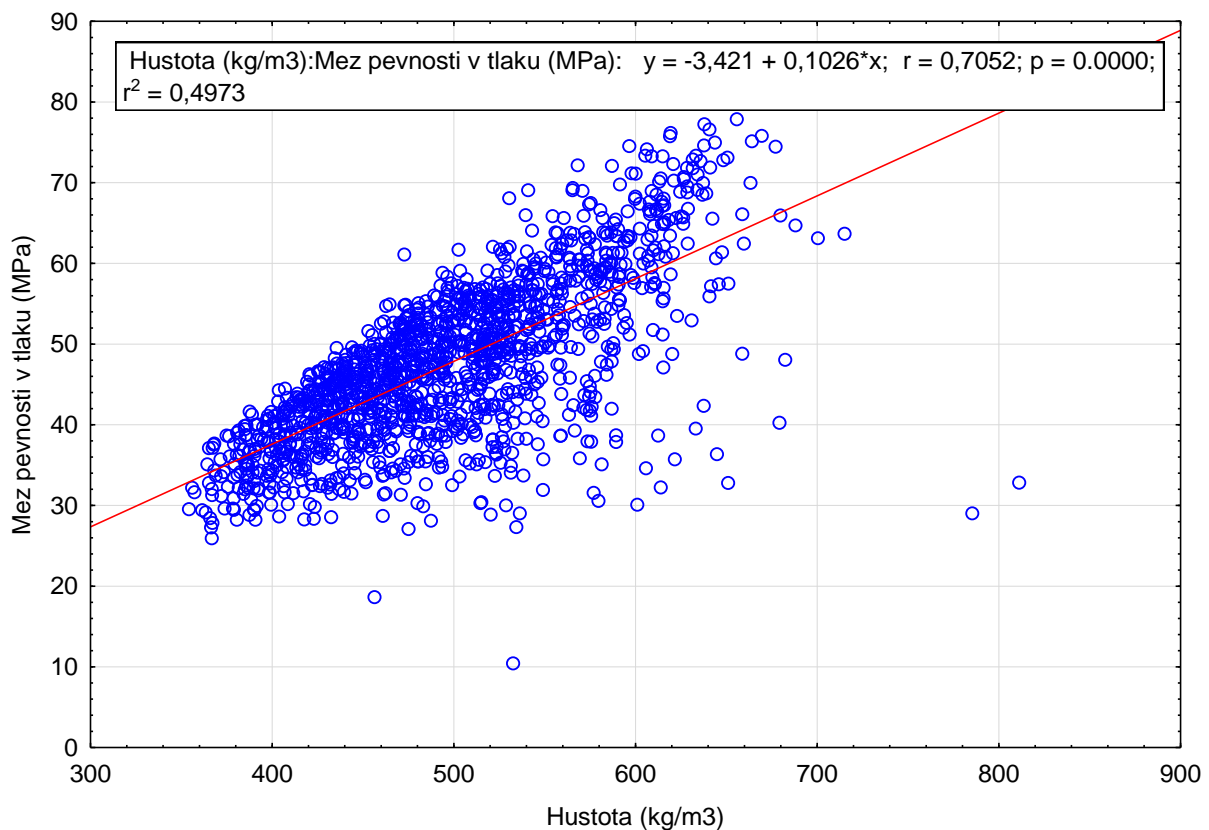
Graf 16: Rázová houževnatost v závislosti na vertikální poloze v kmeni

Při zkoumání závislosti rázové houževnatosti na vertikální poloze vykazoval oddenkový výřez vyšší hodnoty. Rozdíl mezi výřezy byl stanoven jako statisticky významný, potvrdil se tak trend, který jsme prokázali i u ostatních mechanických vlastností.

Trend stoupající rázové houževnatosti směrem od dřene ke kůře se potvrdil u obou oblastí stejně jako u ostatních mechanických vlastností zkoumaných v této práci.

Při zkoumání vlivu zeměpisné orientace na rázovou houževnatost se zjistilo, že i když byl mezi tělesy ze severní části stromů z obou oblastí a těmi z té jižní drobný rozdíl, nepotvrdil se tento rozdíl jako statisticky významný.

3.3 Závislost vybraných mechanických vlastností na hustotě

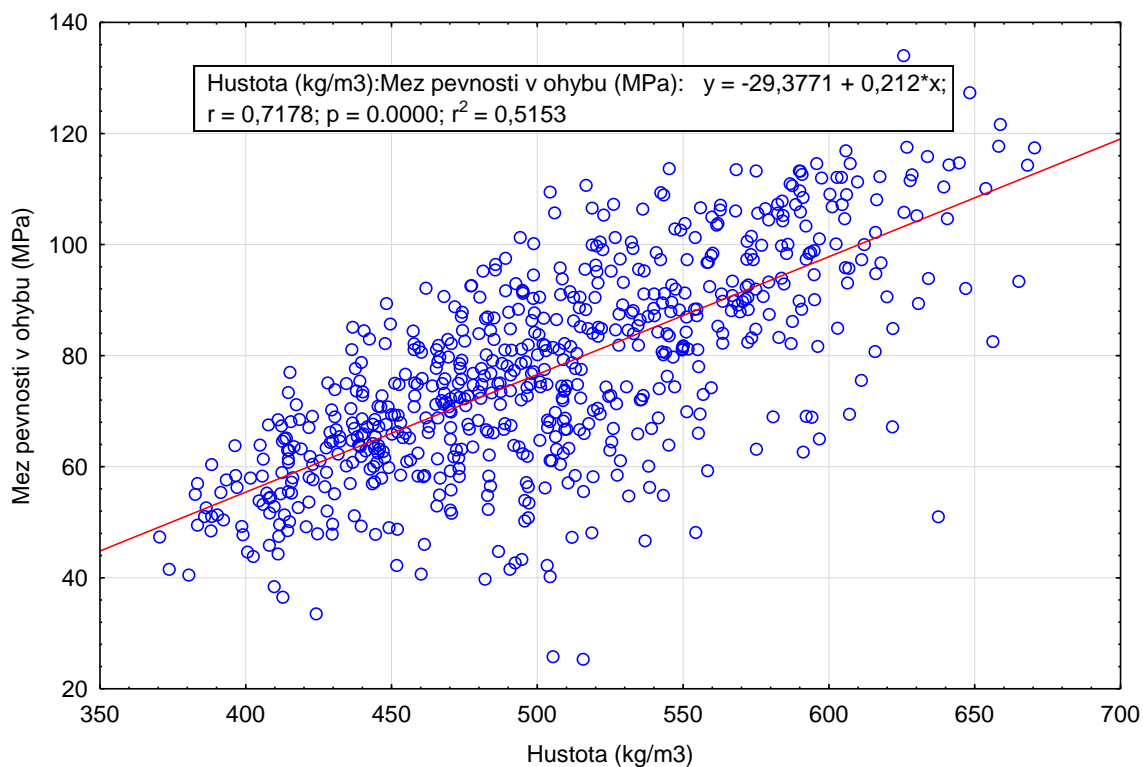


Graf 17: Mez pevnosti v tlaku v závislosti na hustotě u obou oblastí

Z grafického vyjádření je zřejmá závislost meze pevnosti v tlaku na hustotě s korelačním koeficientem $r=0,7052$, proto lze tuto závislost považovat za středně silnou. Při tomto korelačním koeficientu je tedy $r^2=0,49$. Podobná závislost byla pozorována i v jednotlivých oblastech, kdy Plasy vykazovaly mírně nižší závislost než Chvojno. U obou oblastí byla závislost stanovena jako středně silná.

Podobnou závislost, dokonce velmi silnou ($r^2=0,92$) popsal i autor výzkumu borovice z porostů v Polsku, kde byla popsána u rychle rostoucího mladého porostu (25 let) s nízkými hodnotami hustoty i mechanických vlastností (Mederski 2015).

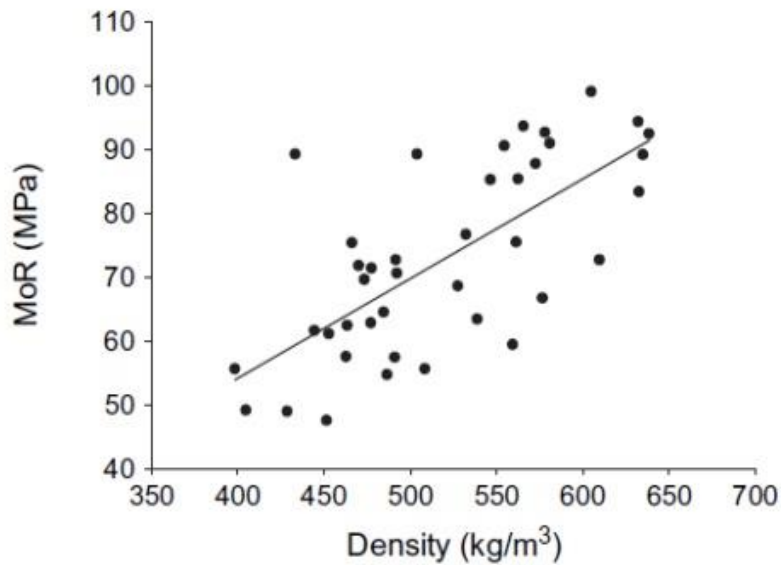
Závislost meze pevnosti v tlaku na hustotě v dobré míře potvrzuje i nedávný výzkum u stejné dřeviny v Estonsku (Kask, 2015).



Graf 18: Závislost meze pevnosti v ohybu na hustotě u obou oblastí

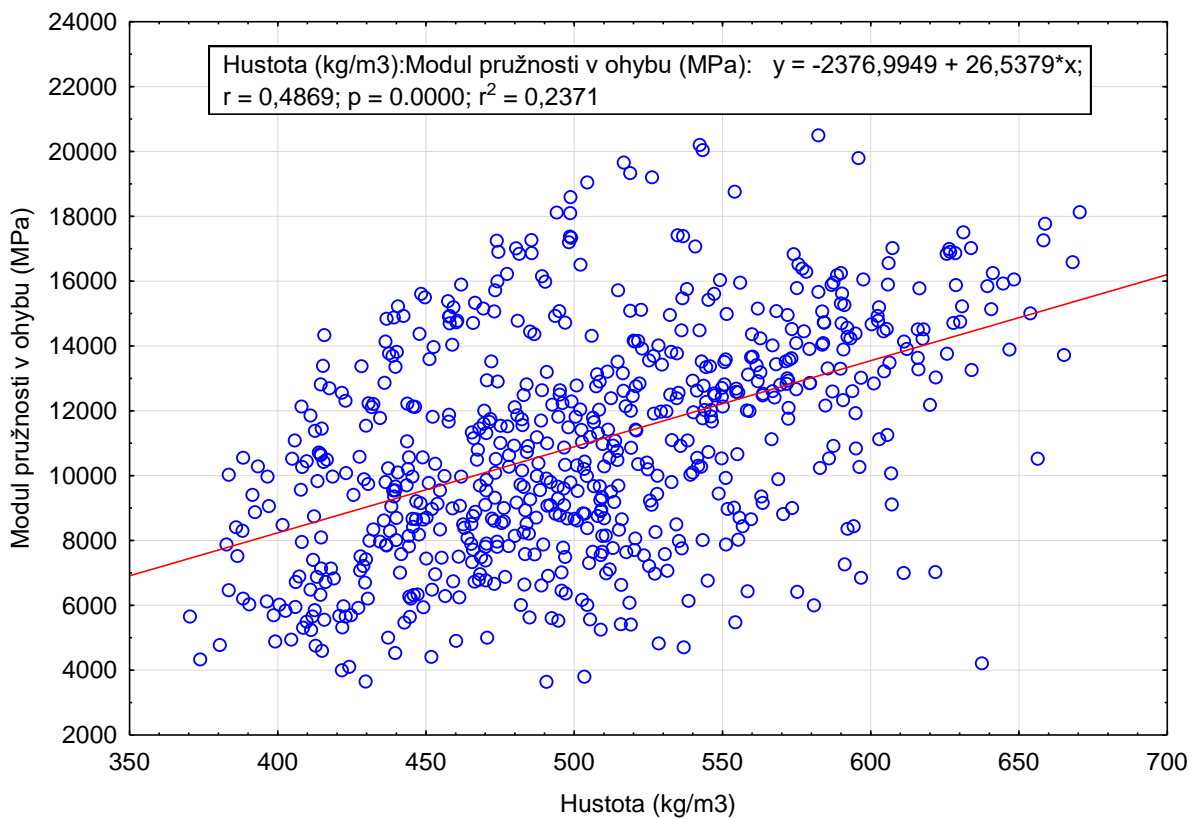
Mez pevnosti v ohybu vykazuje s korelačním koeficientem $r=0,72$ a s $r^2=0,52$ závislost vyšší než u meze pevnosti v tlaku, nicméně i zde je vyhodnocena jako středně silná. V oblasti Plasy byla tato závislost mírně vyšší než v oblasti Chvojno, nicméně u obou oblastí byla vyhodnocena shodně jako středně silná.

Je zřejmé, že závislost je velmi podobná té, kterou popsal v severním Skotsku D. Auty (2008) pro tutéž dřevinu, jak lze vidět z grafu (Graf 19), kde závislost byla popsána s $r^2=0,49$, tedy s hodnotou velmi podobnou tomuto výzkumu, jen mírně nižší.



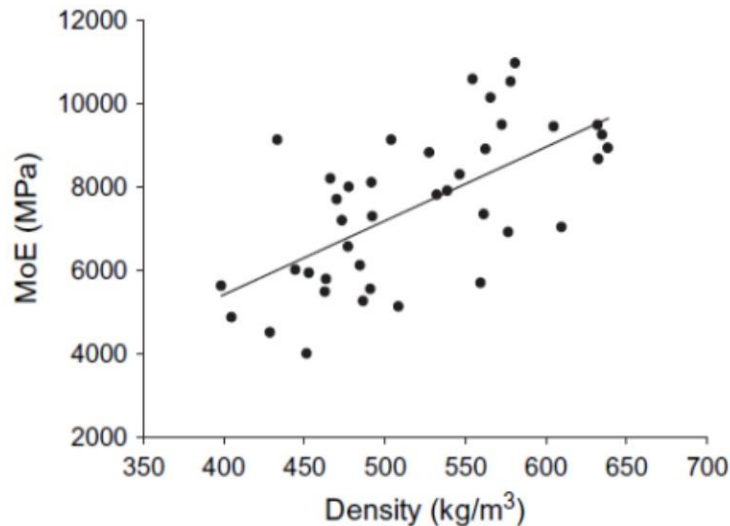
Graf 19: Závislost meze pevnosti na hustotě ve Skotsku (Auty, 2008)

Závislost meze pevnosti v ohybu na hustotě v dobré míře potvrzuje i nedávný výzkum u stejné dřeviny v Estonsku (Kask, 2015).



Graf 20: Závislost modulu pružnosti na hustotě u obou oblastí

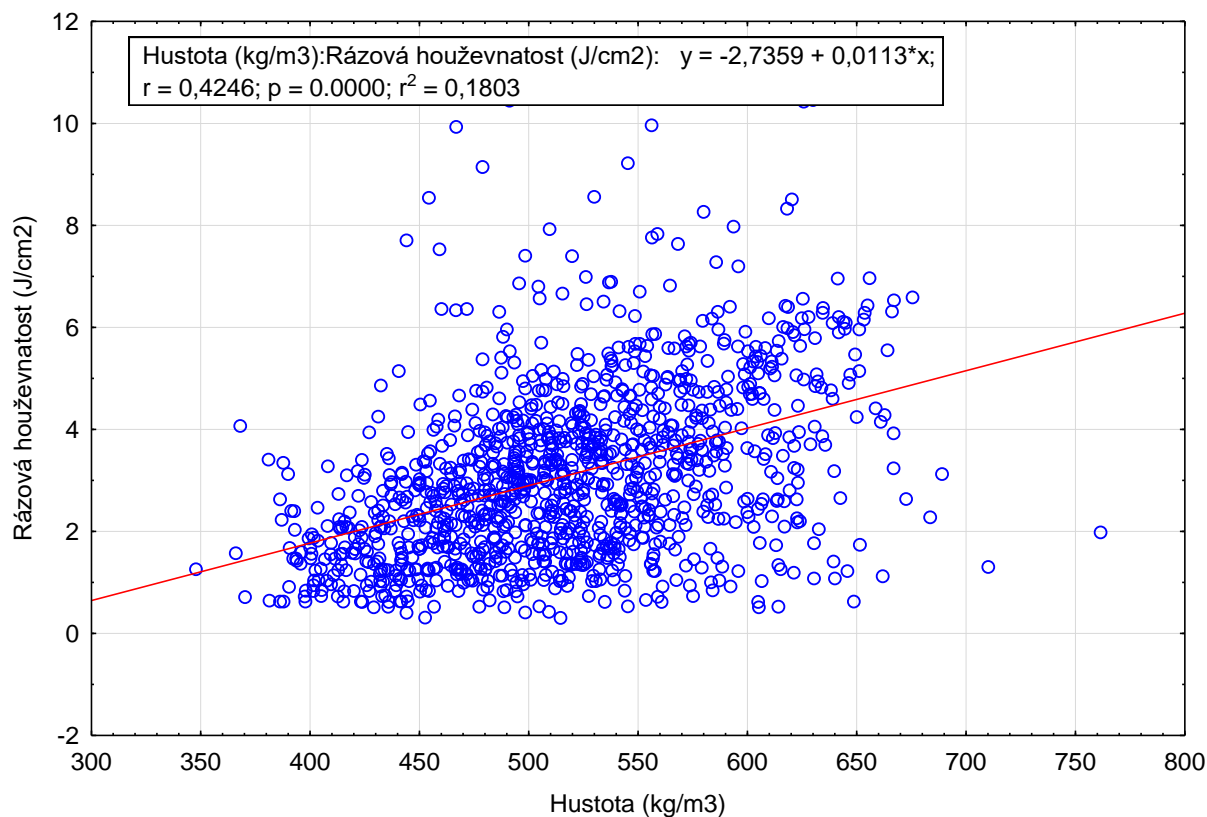
Závislost modulu pružnosti v ohybu na hustotě je popsána korelačním koeficientem $r=0,49$ lze tak tuto závislost popsat jako slabou. U oblasti Plasy byla však tato závislost výrazně silnější ($r^2=0,46$) než o oblasti Chvojno, kde byla velmi slabá ($r^2=0,16$).



Graf 21: Závislost modulu pružnosti na hustotě ve Skotsku (Auty, 2008)

Z grafu (Graf 21) je zřejmé, že závislost je velmi podobná té zjištěné u stejné dřeviny ve Skotsku, kde bylo zjištěno $r^2=0,41$ (v ČR v tomto výzkumu a $r^2=0,24$), tedy ještě těsnější závislost než u tohoto výzkumu (Auty 2008).

Požgaj (1997) uvádí jasně prokázanou závislost modulu pružnosti na hustotě, která se u tohoto výzkumu prokázala jen v omezené míře a především lépe v oblasti Plasy.



Graf 22: Závislost Rázové houževnatosti na hustotě

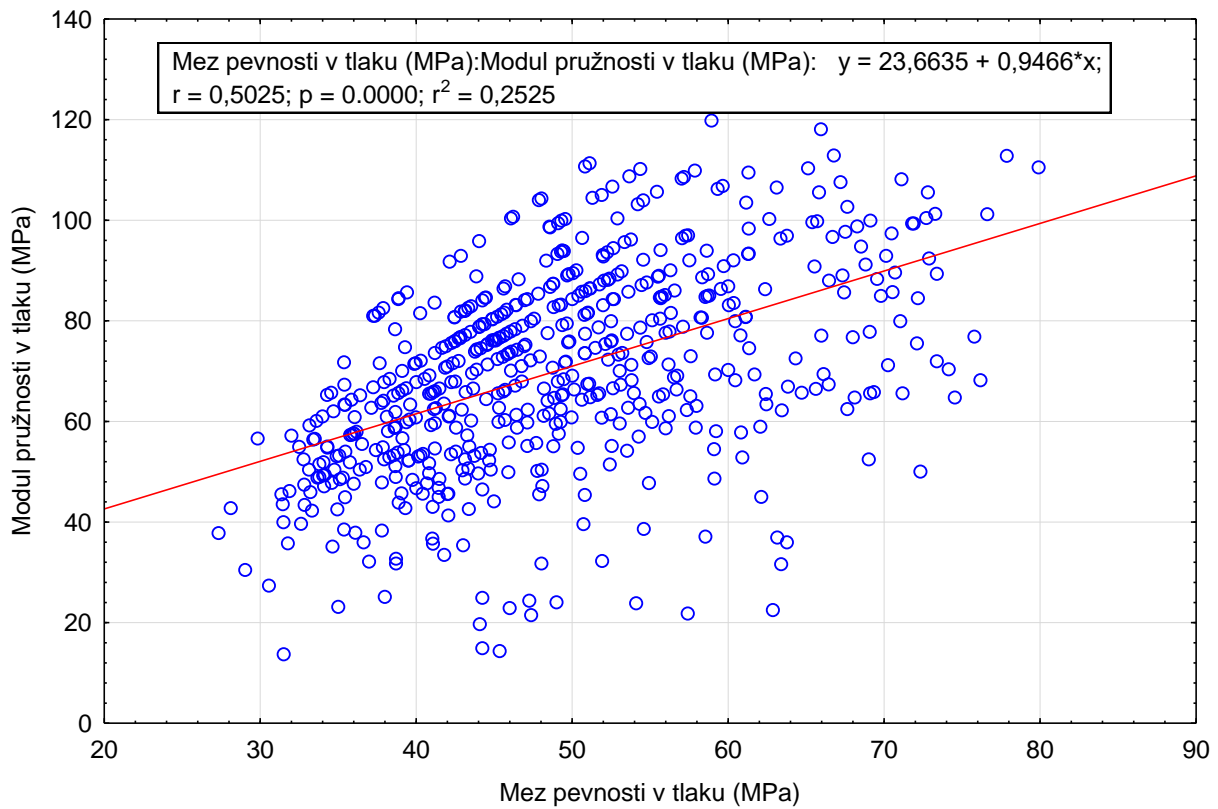
Závislost rázové houževnatosti na hustotě se prokázala ve slabé míře, tedy s variačním koeficientem $r=0,42$ a $r^2=0,18$ kdy obě oblasti vykazovaly závislost velmi podobnou (Plasy $r^2=0,16$ a Chvojno $r^2=0,17$). To může být dáno i faktem, že samotná rázová houževnatost vykazuje poměrně vysokou variabilitu.

3.4 Vzájemné závislosti vybraných mechanických vlastností



Graf 23: Závislost modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu

Závislost ohybových charakteristik, tedy modulu pružnosti na mezi pevnosti v ohybu, je vyhodnocena jako silná - definovaná korelačním koeficientem $r=0,8271$ a $r^2=0,6841$.



Graf 24: Závislost modulu pružnosti na mezi pevnosti v tlaku

Závislost tlakových charakteristik modulu pružnosti určeného ze zkoušky tlakem a meze pevnosti v tlaku je vyhodnocena jako slabá s korelačním koeficientem $r=0,5025$ a $r^2=0,2525$.

4. Závěr

Tato práce se zabývala hodnocením vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva borovice z různých stanovišť, závislostí na poloze v kmeni, na stanovišti, na vlivu pěstebních opatření a na poloze vzhledem ke světovým stranám.

Tyto vlastnosti byly zjištěny a vyhodnoceny v závislosti na zmíněných faktorech a zjištěné výsledky byly srovnány s dostupnými známými hodnotami z literatury a závislosti popsány v porovnání s literaturou zabývající se vlivem stanoviště a pěstebních opatření na vlastnosti dřeva především ze zahraničí.

Hustota jakožto fyzikální vlastnost byla zjištěna u obou oblastí vyšší, než se uvádí u jiných lokalit a byla vyšší i v porovnání s ostatními domácími jehličnany.

Mechanické vlastnosti, především modul pružnosti, mez pevnosti, a to v tlaku i v ohybu a rázová houževnatost dosahovaly hodnot mírně nižších, než se pro borovici uvádí a srovnatelných s ostatními významnými domácími jehličnany.

Závislosti mechanických vlastností se potvrdily tak, jak je popisuje literatura, pouze v některých případech nebyly ukazatele závislosti tak silné, jako u výzkumů z jiných oblastí. Nižší míru závislosti, než je běžné u jiných výzkumů, vykazovaly především vlastnosti zjištěné statickými mechanickými zkouškami ve vztahu k hustotě. Vysokou variabilitu a nevýznamné rozdíly mezi porosty pak měly hodnoty dynamického modulu pružnosti.

Rozložení v kmenech stromů jak horizontální (poloha od dřeně) tak vertikální dobře odpovídalo trendům popisovaným v literatuře.

Při zjišťování rozdílů mezi porosty, se téměř vždy potvrdil rozdíl a podpořil tak tvrzení, že stanoviště ovlivňuje kvalitu dřeva stejně tak, jako se až na výjimky potvrdily významné rozdíly mezi jednotlivými porosty, kde byla zavedena rozdílná pěstební opatření. Většinou nejlepších hodnot dosahoval u vlastností zjišťovaných staticky porost s podrobným způsobem hospodaření, univerzální vzorec pro doporučení nejlepšího způsobu výchovy pro borovici na podobných stanovištích však tato práce nestanovila.

Můžeme tedy potvrdit, že z podobných výzkumů lze v určité míře čerpat zpětnou vazbu pro subjekty produkující dřevo, aby se zvýšila efektivita celého lesnicko-dřevařského odvětví tím, že se budou pro konkrétní dřeviny a účely volit vhodná stanoviště a pěstební opatření.

Pro úplné pochopení problematiky a aplikování v praxi je ale potřeba vzít v potaz výsledky rozsáhlejších výzkumů, které ale v této problematice ku prospěchu věci již na našem území probíhají. Především je potřeba provádět výzkum na porostech v mýtním věku.

V tomto ohledu může tato práce sloužit k nastínění jak se k podobné činnosti stavít a spolu s pracemi jí podobnými jako podklad pro produkci kvalitní suroviny ze dřeva borovice na obdobných typech stanovišť.

5. Zdroje

Tištěné zdroje mimo normy

- AUTY D., ACHIM A., MACDONALD E., CAMERON A., GARDINER B., Models for predicting wood density variation in scots pine, 2014, Institute of Chartered Foresters, Forestry 2/2014 10 s.
- AUTY D., ACHIM A., The relationship between standing tree acoustic assessment and timber quality in Scots pine and the practical implications for assessing timber quality from naturally regenerated stands, 2008, Institute of Chartered Foresters, Forestry 4/2008, 13 s.
- ERIKSSON D., LINDBERG H., BERGSTEN U., Influence of silvicultural regime on wood structure characteristics and mechanical properties of clear wood in *Pinus sylvestris*, 2006. *Silva Fennica* 40/4 čl. 743 – 762, 20s.
- FELLNER, J.; TEISCHINGER, A.; ZSCHOKKE, W. 2007. *Spektrum dřevin: vyobrazení, popis a srovnávací údaje*. Vídeň: proHolz Austria. 111 s. ISBN 978-3-902320-44-5.
- GANDELOVÁ L. *Nauka o dřevě*. Brno: Mendelova Zemědělská a Lesnická Univerzita v Brně. 2002. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.
- GROSS J., ROČEK I., *Lesní hospodářství*, 2000, Praha – ČZU, 144 s. ISBN 80-213-0586-7
- HORN K. 2009: *Stavba a vybrané vlastnosti juvenilního a vyzrálého dřeva vybraných jehličnatých dřevin*, diplomová práce, MENDELU, 130 s.
- KANTOR P., 2014. *Pěstění lesů*. Brno, LDF Mendelu v Brně, 153 s.
- KARLSSON L., MOERLING T., BERGSTEN U., Influence of silvicultural regimes on the volume and proportion of juvenile and mature wood in boreal Scots pine, 2013. *Silva Fennica* 47/4 čl. 938, 17s.
- KASK, R. 2015. *The influence of growth conditions on physico-mechanical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood in Estonia*, 164 s. ISBN: 978-9949-536-80-1.
- KOLLMANN, F. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe Erste Band*. Berlin: Springer-Verlag, 1951. 1050 s.
- KOVÁŘ K., HRDINA V., BUŠINA F., 2013. *Pěstování lesů*, Písek, Vyšší odborná škola lesnická a Střední lesnická škola Bedřicha Schwarzenberga Písek, 194 s.

- KRETSCHMANN ET. AL., D. E. 1998. *Techline - Properties and Use of Wood, Composites, and Fiber Products* [online]. In: . [cit. 2017-03-10]. 1 s. Dostupné z: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/techline/properties-of-juvenile-wood.pdf>
- LEXA, J., NEČESANÝ, V., PACLT, J., TESAŘOVÁ, M., ŠTOFKO, J. *Technologia dreva I. – Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva*. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.
- MEDERSKI P. ET AL., Density and mechanical properties of scots pine wood from a seedling seed orchard, *Drewno* vol. 58, No. 195, 2015, 8 s.
- MUSIL, I. 2003. *Lesnická dendrologie 1 - jehličnaté dřeviny*. Praha: Česká zemědělská univerzita. 285 s. ISBN 80-213-0992.
- NOVÁK, V. 1970. *Dřevařská technická příručka*. Praha: SNTL. 748 s. ISBN 04-821-70.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D, KURJATKO, S., BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s. ISBN 8007009604
- SAVILL P., *Silviculture*, 2004, Oxford, Oxford Forestry Institute, Elsevier Ltd., 9s.
- SLÁVIK M. BAŽANT V. Soubor map – zastoupení hospodářských dřevin v ČR. Praha: Česká Zemědělská Univerzita v Praze. 2012. 52 s.
- SLODIČÁK M., *Výchova porostů borovice lesní*, 2013, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Strnady, 23s.
- ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L., HORÁČEK P. 2004: *Nauka o dřevě*. Dotisk 2. vydání. Brno: MZLU Brno, 184 s.
- TSOUMIS, G. 1991. *SCIENCE AND TECHNOLOGY OF WOOD: Structure, Properties, Utimalization*. New York: Chapman and Hall. 497 s. ISBN 0-412-07851-1.
- WAGENFÜHR, R. *Holzatlas*. Leipzig: Fachbuchverlag, 2006. 707 s. ISBN 3446406492.
- ZEIDLER A. *Lexikon dřeva*. Praha: Česká Zemědělská Univerzita v Praze. 2012. 61 s.

Normy

- ČSN 49 0103: Drevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach, Úrad pro normalizaci a měření, 1979.
- ČSN 49 0108: Drevo. Zisťovanie hustoty, Federální úrad pro normalizaci a měření, 1993.

- ČSN 49 0110. Drevo : medza pevnosti v tlaku v smere vlákien. Praha : Úradu pre normalizáciu a meranie, 1979. 4 s.
- ČSN 49 0115: Drevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe, Úrad pro normalizaci a měření, 1979.
- ČSN 49 0116: Drevo. Metóda zisťovania modulu pružnosti pri statickom ohybe, Úrad pro normalizaci a měření, 1982.
- ČSN 49 0117: Drevo. Rázová húževnatosť v ohybe, Úrad pro normalizaci a měření, 1982.
- ČSN EN 310 (490147): Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu, Český normalizační institut, 1995.

Internetové zdroje

- BioLib – Jakub Horák. www.biolib.cz, 26.3.2017 22.00, dostupné z <http://www.biolib.cz/cz/image/id22540/>
- BioLib. www.biolib.cz, 26.3.2017 21.00, dostupné z <http://www.biolib.cz/cz/taxon/id2348/>
- Botany.cz, 5.3.2017 16.00, dostupné z: <http://botany.cz/cs/pinus-sylvestris/>
- Dendrologie.cz, 5.3.2017 15.00, dostupné z: <http://database.dendrologie.cz/index.php?menu=5&id=29292>
- Fakopp Enterprise. www.fakopp.com, 15.3.2017 8.00, dostupné z <http://www.fakopp.com/site/timer>
- www.prolignum.cz: Dřevo jako stavební materiál. 20.3.2017 16.00, dostupné z: http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/Holzbaukurs/Kapitel_1-PK.pdf