

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Vliv stanoviště a pěstebních opatření na moduly
pružnosti dřeva borovice lesní**

Autor: Štěpán Nešpor

Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Štěpán Nešpor

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Vliv stanoviště a pěstebních opatření na pevnost v ohybu dřeva borovice lesní

Název anglicky

Impact of Site and Silvicultural Measures on the Bending Strength of Scots Pine Wood

Cíle práce

Cílem práce je posoudit především vliv aplikovaných pěstebních postupů a stanoviště na pevnost v ohybu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) z reprezentativních lokalit České republiky. Dále zhodnotit i případné další zdroje variability této pevnostní charakteristiky, včetně vlivu hustoty. Porovnat zjištěné hodnoty s dostupnými údaji v odborné literatuře.

Metodika

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

Doporučený rozsah práce

35 – 45 stran

Klíčová slova

dřevo, borovice lesní, pevnost v ohybu, variabilita, pěstební postup

Doporučené zdroje informací

ALDEN, H. A. Softwoods of North America. Madison, WI: U.S.D.A., Forest Service, Forest Products Laboratory, 1997. 151 s.

ČSN 49 0108: Dřevo. Zisťovanie hustoty.

ČSN 49 0115: Dřevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe.

DINWOODIE, J. M. Timber: Its nature and behavior, Taylor & Francis New York, USA, 2000. 258 s.

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

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 29. 11. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv stanoviště a pěstebních opatření na pevnost v ohybu dřeva borovice lesní“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vlastimila Borůvky, PhD. 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

.....

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Vlastimilu Borůvkovi Ph.D., který mi poskytoval cenné rady a trpělivě mě vedl v průběhu celé práce. Činil tak vydatně i navzdory pandemii, která zkomplikovala průběh druhé poloviny akademického roku. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Ondřeji Schönfelderovi za konzultaci při experimentálních měřeních.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za vytrvalou a laskavou podporu při studiu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na laboratorní měření, následné vyhodnocení a porovnání pevnosti v ohybu borovice lesní (*Pinus sylvestris L.*) mezi dvěma lokalitami jejího původu, Doksy a Plasy. Při srovnání výsledků bere zřetel nejen na místo původu daného vzorku, ale také na použitý pěstební postup, vertikální a horizontální polohu daného vzorku ve kmeni. Zjištěné hodnoty následně konfrontuje s hodnotami v literatuře a zaměřuje se na zdůvodnění variability. Teoretická část se zabývá charakteristikou dřeva borovice, specifikací pojmu hustoty, a také pevností dřeva. V praktické části jsou statistické výsledky naměřených hodnot, které jsou následně analyzovány a porovnány.

Klíčová slova

dřevo, borovice lesní, pevnost v ohybu, variabilita, pěstební postup

Abstract

This bachelor thesis focuses on laboratory measurements, subsequent evaluation and comparison of bending strength of Scots Pine Wood (*Pinus sylvestris* L.) between 2 different localities of its origin, Doksy and Plasy. When comparing the results, it takes into account not only the place of origin of the sample, but also the cultivation method used, vertical and horizontal position of the sample in the strain. It then compares the obtained values with the values in the literature and focuses on the justification of variability. The theoretical part deals with characteristics of pine wood, specification of the concept of density, as well as the strength of wood. In the practical part there are statistical results of measured values, which are then analyzed and compared.

Keywords

wood, scots pine, modulus of elasticity, variability, silvicultural approach

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíl práce	11
3. Rozbor problematiky	12
3.1 Dendrologická charakteristika dřeviny.....	12
3.2 Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti	14
3.2.1 Hustota dřeva	14
3.2.2 Pevnost dřeva ve statickém ohybu.....	15
3.3 Pěstební postupy.....	17
3.3.1 Podrostní způsob obnovy.....	17
3.3.2 Holosečný způsob obnovy	18
3.3.3 Pěstební zásahy.....	18
3.3.4 Prognóza	19
3.4 Vliv pěstebního stanoviště.....	19
4. Metodika	21
4.1 Charakteristika lokalit	21
4.2 Odebrání reprezentativních vzorníků	21
4.3 Příprava zkušebních těles	21
4.4. Stanovení hustoty.....	22
4.5 Stanovení pevnosti v ohybu	22
4.6 Statistické zpracování dat	23
5. Výsledky	24
5.1 Hustota.....	24
5.2 Pevnost v ohybu	28
6. Diskuse	31
6.1 Hustota.....	31
6.2 Pevnost v ohybu	33
6.3 Ekonomické zhodnocení.....	33
7. Závěr.....	35
8. Citovaná literatura.....	36
Použité normy	38
Elektronické prameny	38
9. Příloha	39

Seznam obrázků

Obrázek 1 Region Borovice Lesní (Matías & Jump 2012).....	12
Obrázek 2 Borovice lesní (http://deti.vls.cz).....	13
Obrázek 3 Borovice lesní - příčný řez (r.fld.czu.cz)	14
Obrázek 4 Borovice lesní - radiální řez (r.fld.czu.cz)	14
Obrázek 5 Zatížení dřeva při ohybu (Požgaj, 1997)	15
obrázek 6 Mapa lokalit (Schönfelder et al. 2019)	21
Obrázek 7 Schéma uložení tělesa ve zkušebním stroji dle ČSN 49 0115 (1979).....	22
Obrázek 8 Ohýbací zařízení Tira 2850 (autor)	23

Seznam grafů

Graf 1 Vliv stanoviště a pěstebního způsobu na hustotu	24
Graf 2 Vliv horizontální pozice na hustotu	25
Graf 3 Vliv vertikální pozice v rámci kmene na hustotu	26
Graf 4 Vliv stanoviště, pěstebního zp. a horizontální pozice na pevnost v ohybu ...	29
Graf 5 Závislost pevnosti v ohybu na hustotě	30
Graf 6 Vliv vertikální pozice na pevnost v ohybu	39

Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnoty hustoty v jednotlivých lokalitách a porostech.....	24
Tabulka 2 Hodnoty pevnosti v ohybu	28
Tabulka 3 Srovnání hodnot s literaturou.....	32

1. Úvod

Lesní hospodářství zaujímá v našem národním hospodářství významnou úlohu. Funkce lesa je nejen produkční, co se týká dřevní suroviny, ale také krajinyotvorná, ekologická a v neposlední řadě i odpočinková. A dřevo, jako materiál je jedinečnou surovinou s všestranným využitím, je vhodné jako stavební, konstrukční i dekorativní materiál. Nachází své uplatnění prakticky ve všech odvětvích průmyslu, a to pro jeho dobré fyzikální, mechanické i chemické vlastnosti. „Představuje pružný, pevný, a přitom lehký materiál, který má dobré tepelněizolační vlastnosti, je schopný snášet velké zatížení, tlumit vibrace, lehko se opracovává reznými nástroji“ (Požgaj et al. 1997). V důsledku toho je velmi obtížné nebo přímo nemožné jej v některých aplikacích nahradit jiným materiálem. Úskalím dřeva je reakce na měnící se vlhkostní podmínky, ohrožení dřevokaznými houbami a hmyzem a jeho anizotropie (Kask 2015). Ohrožení vlhkostí prostředí a dřevokaznými činiteli lze snížit pomocí použití vhodné úpravy dřeva nebo jeho impregnace. Anizotropii lze téměř eliminovat pomocí výroby produktů ze dřeva jako je papír, lepenka, dřevovláknité, dřevotřískové a překližované desky.

I přes své vynikající vlastnosti je dřevo stále nejvíce využíváno jako palivo. Dlouhodobě se však zlepšuje poznání a s ním související uvědomělost jeho využití, lepší zhodnocení vložené suroviny nebo její opětovné využití. V minulosti bylo napácháno mnoho škod i nerozumným hospodařením s lesy, ať už se jedná o přílišné mýcení, vysazování monokultur nebo plošné užívání holosečného způsobu obnovy bez důkladného uvážení (Bílek et al. 2018). Současný stav je však způsoben nejen chybami z minulosti, které byly často zapříčiněny nevědomostí, ale i globálním vývojem, zejména významným oteplováním. Vzhledem k tomu, že důsledkem činností člověka bylo často degradování přirozeného stavu lesů, je dobré přemýšlet nad tím, které postupy jsou při obnově a udržování lesů nejvhodnější, aby bylo dosaženo maximální výtěže a pevnostních charakteristik, ale také abychom rozvíjeli trvale udržitelný stav. Často po letech výzkumu shledáváme, že nejvhodnějším řešením je to, které již předtím, bez našeho přičinění, dával sám les.

2. Cíl práce

Cílem práce je:

1. posoudit především vliv aplikovaných pěstebních postupů, stanoviště a pozice v rámci kmene na pevnost v ohybu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) z lokalit Doksy a Plasy v České republice.
2. Zhodnotit i další zdroje variability této pevnostní charakteristiky včetně vlivu hustoty.
3. Srovnat výsledky ze stanovišť vzájemně tak, aby bylo hodnocení vlivů pěstebních postupů relevantnější.
4. V závěru též porovnat zjištěné hodnoty s dostupnými údaji v odborné literatuře.

3. Rozbor problematiky

3.1 Dendrologická charakteristika dřeviny

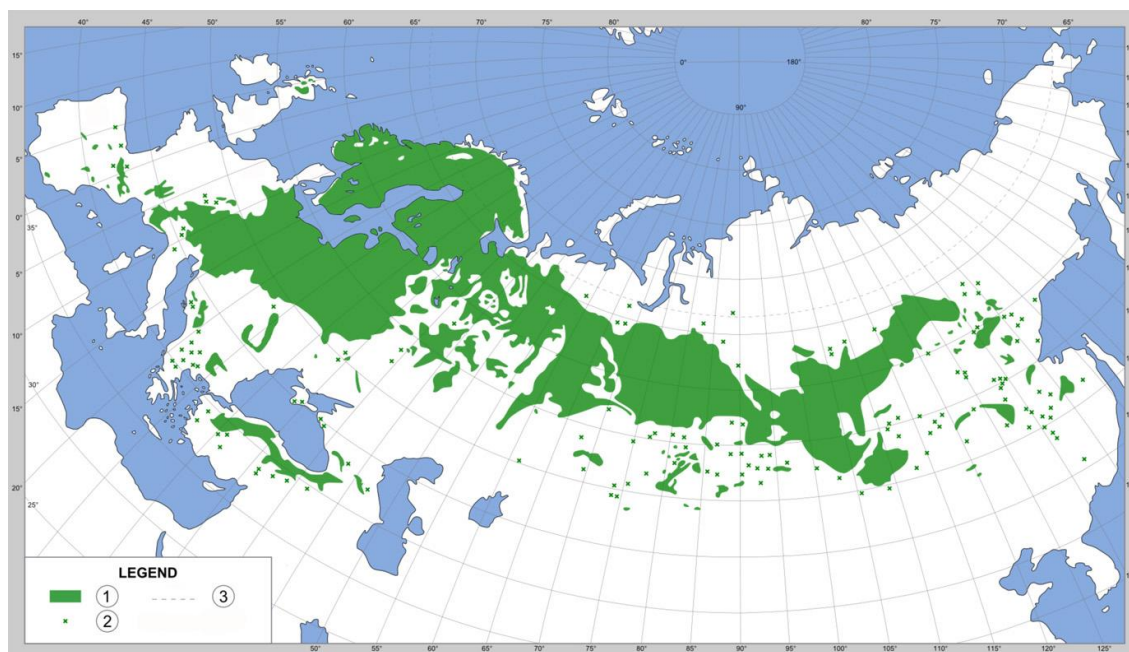
Rod: Borovice - Pinus

Stálezelené jehličnaté stromy, případně keře z čeledi borovicovité (pinaceae). Existuje zhruba 110 druhů, přičemž se nacházejí téměř výhradně jen na severní polokouli. V Evropě se vyskytuje 12-13 původních druhů. Podle Aldena (1997) tvoří rod kolem 95 druhů, přičemž v Euroasii se jich vyskytuje 35.

Jedná se o světlomilné stromy s velmi malými nároky na kvalitu půdy, které jsou schopné prosperovat i na mnohých nehostinných stanovištích. Z tohoto důvodu často plní roli tzv. „pionýrských“ dřevin. Na extrémních lokalitách jsou nízkého vzrůstu s křivolakými kmeny. Dožívají se věku 300-600 let (Úradníček et al. 2001; Požgaj et al. 1997).

Druh: Borovice lesní – Pinus sylvestris

Též nazývaná „sosna“ je velmi významná hospodářská dřevina, vyskytující se v Evropě a severní Asii. Je dokonce nejrozšířenější jehličnatou dřevinou na severní polokouli rostoucí od Atlantského oceánu až k Uralu a od Středozemního až k Barentsovu moři. Tvoří zhruba 20% hospodářských ploch lesů v Evropské unii (Bílek et al. 2018; Kask 2015). Jde o druh, který je ze všech borovic rozšířený na největším zeměpisném území (Matías & Jump 2012), její výskyt je znázorněn na obrázku č. 1.



Obrázek 1 Region Borovice Lesní (Matías & Jump 2012)

V České republice se jedná o druhou nejvíce zastoupenou hospodářskou dřevinu po smrku (Úředníček et al. 2001). Roční produkce činí v objemu těžby kolem 1,4 milionu m³ (Schönfelder et al. 2018).

Jedná se o dvou-jehličnatý druh čeledi s velkou variabilitou vzhledu, od pokroucených jedinců keřového charakteru, po vysoké 40 metrové jedince. Kůra tvoří ve spodní části kmene šedohnědou, deskovitě rozpukanou borku, v horní části a u větví má barvu rezavou a odlupuje se v papírovitých šupinách, konce větví jsou pokryté kůrou zelenou. Kořenový systém je tvořen jedním mohutným, dlouhým kořenem s bočními kořeny jdoucími do široka. Díky tomu je strom skvěle stabilizován a je spíše náchylný na zlomení, než na vyvrácení. Často je využíván jako zpevňující dřevina. Využívá mykorhizy s více než stovaceti druhy hub.



Obrázek 2 Borovice lesní
(<http://deti.vls.cz>)

Na hlubší, živné půdě dosahuje velkých rozměrů. V přírodě je ale často vytlačena z příznivých stanovišť klimaxovými, stín snášejícími druhy dřevin. (Úředníček et al. 2001)

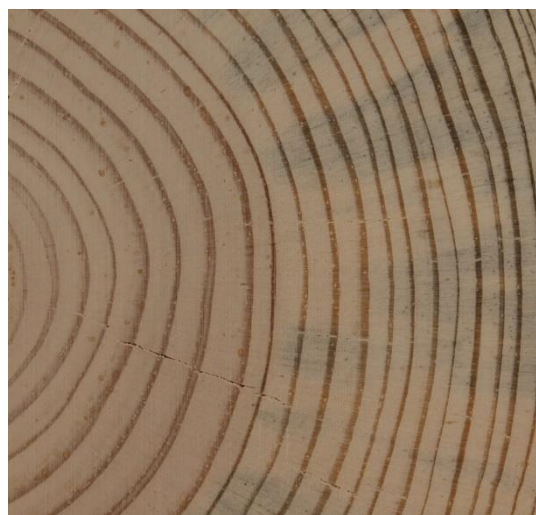
V České republice je borovice lesní vysazována na přibližně trojnásobné ploše, než je její přirozený areál. Roste na mělkých, chudých, sušších písčitých až kamenitých půdách. (Leugnerová 2007). Rozšířena je právě i díky nízkým nárokům na kvalitu půdy. Naproti tomu má však vysoké nároky na světlo, což je jedním z hlavních důvodů, proč je v jejím případě užíváno přirozeného způsobu obnovy poměrně zřídka (Bílek et al. 2018).

Makroskopický popis

Jehličnatá, jádrová dřevina, s výraznými pryskyřičnými kanálky viditelnými na všech řezech. Pozorujeme u ní poměrně náhlý přechod mezi jarním a letním dřevem. Jádro je poměrně úzké, červenohnědé, běl je široká, nažloutlá (Zeidler & Borůvka 2016). Dřevo borovice je měkké, lehké, pružné a trvanlivé.



Obrázek 4 Borovice lesní - radiální řez
(r.fld.czu.cz)



Obrázek 3 Borovice lesní - příčný řez
(r.fld.czu.cz)

Pro vysoký obsah pryskyřice je velmi odolné proti vlhkosti a vodě, a tudíž vhodné pro použití na místech, kde je více exponováno – vodní stavby, důlní výdřeva, stěžně.. (Leugnerová 2007). Nicméně je tím zároveň omezeno jeho využití ve výrobě nábytku a jiných prvků s vysokými estetickými nároky, jelikož před povrchovou úpravou je nutno pryskyřici odstranit a v některých případech i chemicky upravit povrch. Pryskyřice také ovlivňuje procesy lepení. Naproti tomu dřevo borovice vyniká dobrou proimpregnovatelností (Böhm et al. 2012; Schönfelder et al. 2018).

3.2 Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti

3.2.1 Hustota dřeva

Hustota dřeva je hmotnost jeho objemové jednotky (jelikož dřevo není homogenní), přičemž se nejčastěji vyjadřuje v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ anebo $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Tato charakteristika je často zkoumána v souvislosti s dalšími vlastnosti. Všeobecně se ukazuje, že hustší, a tedy pevnější a těžší dřevo bývá odolnější než dřevo lehké.

Hustota dřeva udává hmotnost jednotkového objemu dřeva při určité vlhkosti. Vypočítá se z podílu hmotnosti m_w a objemu dřeva V_w , přičemž hmotnost a objem dřeva je při té dané vlhkosti, dle následujícího vzorce č.1.

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (1)$$

Kde: ρ - hustota dřeva ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), m – hmotnost dřeva (kg), V – objem dřeva (m^3)
(Požgaj, 1997)

Tuto veličinu je u dřeva těžké určit, vzhledem k jeho hygroskopicitě. Proto je nutné brát při jejím určování zřetel na vlhkostní stav, nejčastěji určujeme hustotu při vlhkosti 0 nebo 12%. Hustota je ovlivněna také pórovitostí materiálu, přičemž objem lumenů buněk a mezibuněčných prostor často přesahuje objem buněčných stěn.

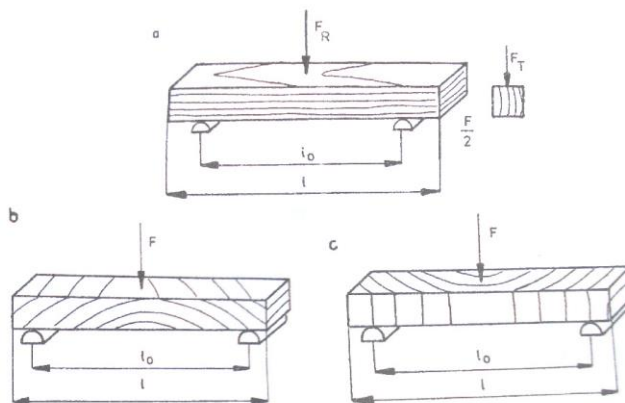
I přes obtížnost jednoznačného určení hustoty jde o jednu z nejvýznamnějších charakteristik dřeva s dopadem na jeho fyzikální a mechanické vlastnosti (Horáček 1998). Ačkoliv je však korelace mezi hustotou a fyzikálními a mechanickými vlastnostmi vysoká, nejedná se o přímou úměru. Nehomogenita dřeva a jeho různé vady, ať už způsobené růstem, zásahem z vnějšku nebo jen nerovnoměrným obsahem doprovodných látek, mohou způsobit, že i při vysoké hustotě dřevo vykáže malé pevnostní charakteristiky.

Na hustotu dřeva má vliv i poloha daného prvku v rámci kmene ať už vertikálně, nebo horizontálně. Zjišťujeme, že se vzrůstajícím věkem stromu od určitého stádia jeho hustota klesá (u borovice přibližně po 45 roce života). Vliv na hustotu má více faktorů, ať už stanoviště, zastínění nebo klimatické výkyvy (Požgaj et al. 1997).

3.2.2 Pevnost dřeva ve statickém ohybu

Pevnost v ohybu je jednou z nejzásadnějších vlastností dřeva pro účely jeho následného využití. Rozeznáváme tři způsoby jeho měření (viz obr 5), kdy síla působí ve směru:

- a – kolmo na vlákna v radiálním (nebo tangenciálním) směru,
- b – kolmo na osu tělesa (příčný řez je orientován ve směru působící síly),
- c – podél vláken (příčný řez je orientován kolmo k působící síle).



Obrázek 5 Zatížení dřeva při ohybu (Požgaj et al. 1997)

(F – tlaková síla [N], l_0 - vzdálenost mezi podpěrami zkušebního [mm], l – délka vzorku [mm])

Pevnost v případech b) a c) je velmi nízká, jen asi 5-10% z meze pevnosti v ohybu kolmo na vlákna. Proto tyto způsoby zatížení prakticky nepřipadají v úvahu pro užití v praxi (Požgaj et al. 1997).

Když začneme dřevěný nosník zatěžovat v ohybu, začne se deformovat. Na vnější straně přitom vzniká tahové, zatímco na vnitřní straně tlakové napětí. V příčném řezu nosníku bychom přitom mohli nalézt nedeformovatelnou část, kterou nazýváme neutrální vrstvou S . S tím, jak se blížíme k okraji se napětí (a tedy i deformace) zvyšuje.

Pokud napětí v dřevě překročí mez úměrnosti a přiblíží se k napětí na mezi pevnosti, okrajová vlákna na tlakové zóně se deformují tak, že vzniknou trvalé plastické deformace a teprve až poté se materiál poruší.

Charakter porušení dřeva při zatížení může být různý a závisí na geometrickém tvaru nosníku, rozložení působících vnějších sil, na štíhlosti, ale i na struktuře dřeva. Někdy pozorujeme porušení ve střední zóně tělesa po okrajích, které vznikly vlivem smykových napětí jako důsledek výskytu trhlin na čelních řezech. Dalším druhem zlomu může být roztrhnutí vláken v tahové zóně tělesa anebo zlom po celé výšce tělesa, který může být vláknitý nebo tupý.

Mez pevnosti dřeva v ohybu kolmo na vlákna je větší (1,5-2 krát) než mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny a zároveň je menší než tahová pevnost rovnoběžně s vlákny (asi 1,5 krát). Průměrná hodnota meze pevnosti v ohybu se pro naše dřeviny pohybuje od 50 do 130 MPa, přičemž při vlhkosti 12% můžeme uvažovat s variabilitou 10-17%.

Pro jehličnaté dřeviny platí, že pevnost v radiálním směru je o 10-12% nižší, než při tangenciálním. Toto se dá vysvětlit opakujícími se vrstvami jarního a letního dřeva rovnoběžnými s neutrální osou při tangenciálním směru namáhání, ty jsou tak namáhány současně.

Lze také pozorovat významnou korelaci mezi hustotou a pevností dřeva v ohybu (Požgaj et al. 1997).

Pevnost v trojbodovém ohybu zjišťujeme dle normy ČSN 49 0115. Vypočítat ji lze podle následujícího vzorce (č.2).

$$\sigma_w = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} [MPa] \quad (2)$$

(F_{max} – maximální zatížení v N, l - vzdálenost mezi podpěrami zkušebního stroje [mm], h -výška zkušebního tělesa [mm], b -šířka zkušebního tělesa [mm]. σ_w – pevnost v ohybu)

3.3 Pěstební postupy

3.3.1 Podrovní způsob obnovy

Podrovní, jinými slovy přirozený způsob obnovy je dán schopností současných stromů produkovat semena a jejich následnou proměnou v nové jedince s cílem udržení vlastního druhu. (Rojo & Montero 1993). Jeho opodstatněnost spočívá jednak ve snížených nákladech na obnovu a jednak v udržení genotypu, který předává i přizpůsobení původních jedinců na podmínky konkrétního stanoviště (Bílek et al. 2018).

Nevýhodou tohoto způsobu obnovy je nákladnější způsob mýcení vybraných jedinců v návaznosti na omezené možnosti využití těžké lesnické mechanizace a nároků na kvalifikaci pracovníků, kteří mýcení vykonávají. Nevýhodou jsou také omezené možnosti ovlivnění rozmístění porostu. V důsledku extrémních výkyvů počasí v posledních letech také dochází k úhynu semenáčků při působení dlouhotrvajícího sucha, kterému jsou dospělí jedinci schopni odolat a které je při umělé výsadbě sadebního materiálu možno eliminovat.

Dále se může zdát nevýhodou zpomalení růstové fáze v důsledku menšího přístupu světla ve stínu mateřského porostu, nicméně toto „odložení dospívání“ má dle výzkumů pozitivní dopad na vývoj jedince, jeho pevnostní charakteristiky a vitalitu v pozdějším období růstu (Agestam et al. 1998). Navíc zpomalení růstové fáze a nižší roční přírůstky vedou ke zvyšování hustoty přirůstajícího dřeva, a tedy i ke zvýšení jeho pevnostní charakteristiky (Bílek et al. 2018).

Nelze však jednoznačně říct, že by takto pěstovaný porost dosahoval vyšší hustoty, přínos je spíše v jejím stejnoměrnějším průběhu.

Tento způsob obnovy je běžný v severských státech, ale ve střední Evropě teprve nalézá své uplatnění. Současný stav je způsoben i nedostatkem odborné literatury a výzkumu, který by se tomuto problému v minulých letech věnoval. Zatím se užívá pouze okrajově spíše na specifických stanovištích. Je třeba poznamenat, že pro hospodářské využití je vhodné tomuto procesu „pomoci“ eliminací konkurenčního mechového a bylinného patra a vhodnou úpravou půdy. (Bílek et al. 2018)

Co se týče obmýtní doby, u podrovního způsobu obnovy není tak jednoznačná, jako u způsobu holosečného. Děláme postupně 4 zásahy.

První zásah v 95 letech (seč přípravná spojená se sečí semennou), těžíme 20% hmoty.

Druhý a třetí vždy po 10 letech (seč uvolňovací), těžíme po 40% ze zbývajících hmoty.

Čtvrtý zásah, opět po 10 letech je sečí domýtnou.

3.3.2 Holosečný způsob obnovy

Je způsobem, který podporuje silný a intenzivní zásah do procesu přirozené obnovy lesa (Rojo & Montero 1993). Na holině je uměle vysazen stejnověký porost, který je následně „vychován“ pomocí různých pěstebních opatření. Jedná se zejména o „probírky podúrovňového typu slabého až středního stupně, kterým ve stadiu mlazin až tyčkovin předcházely zásahy do úrovně za účelem odstranění netvárných předrostů“ (Chroust 2002). Na rozdíl od způsobu násečného, kde je šířka mýtiny omezena maximálně na výšku mýceného porostu, je u holoseče omezení pouze plošné – do velikosti 1 ha, v případech stanovených zákonem do 2 ha (Ldf.mendelu.cz 2001).

Rozšíření tohoto způsobu proběhlo ve 20. století. Hlavním důvodem byl nedostatek suroviny v důsledku obou světových válek a potřeba porost urychleně obnovit.

Výhodou holosečného způsobu je jednoduchý způsob mýcení, při kterém je možné využít libovolné mechanizační prostředky a který není náročný na kvalifikaci pracovníků. Navíc má nižší náklady na výchovu porostu. Naproti tomu však stojí náklady na pořízení sazenic a jejich následná vysoká mortalita v důsledku nedostatku vláhy, přílišného přístupu světla a přílišných výkyvů vlhkosti a teplot, jež způsobuje absence vzrostlého porostu (Bílek et al. 2018).

V prvních letech života vykazují jedinci, zejména vlivem přímého přístupu slunečního světla, větší roční přírůsty ve srovnání s podrostním způsobem. To ovšem souvisí i s nižší hustotou přirůstajícího dřeva.

Obmýtní doba je u borovice 110 let (Ldf.mendelu.cz 2001).

3.3.3 Pěstební zásahy

Zásahy mají za cíl podporovat růst nových jedinců a ovlivňovat jejich prostředí tak, aby se dosáhlo co nejlepších výsledků v ohledu kvality dřevní suroviny, jakož i celkového ročního přírůstu. Vliv na kvalitu dřeva má například hustota výsadby (Agestam et al. 1998). V poslední době se setkáváme s koncepcí doporučující „pěstovat mladé porosty v poměrně značné hustotě se zásahy jen negativním výběrem v nad-úrovni a úrovni. Zásahy v podúrovni se nemají provádět, protože jsou údajně biologicky škodlivé a ekonomicky nežádoucí.“ (Chroust 2002). Z výsledků dlouhodobých experimentů je patrné, že celková hmotová produkce se silnějšími zásahy do porostu se nezvyšuje, ale naopak snižuje, a to o 5 až 10%. Těmito zásahy však můžeme docílit podpoření konkrétních cílových jedinců (Chroust 2002; Wiedemann & Pretzsch 2002).

Je třeba pamatovat, že zásahy mohou vytvořit optimální podmínky pro růst, ale také mohou zmařit původní záměr. Pokud například rychle uvolníme mladý podrostní porost, mohou se jeho projevy, a tudíž i vlastnosti rychle změnit až na takové, jaké vykazuje způsob holosečný.

V posledních letech se však klade důraz na výběr takových zásahů, které co nejméně sníží biodiverzitu a které i v hospodářském lese přiblíží stav přírodního nebo blízce-přírodního hospodaření. Klade se důraz na vyšší strukturální diferenciaci v rámci hospodářských lesů. (Bílek et al. 2016)

3.3.4 Prognóza

V průběhu následujících 90 let můžeme očekávat zvýšení teplot o 2-6 °C, což zásadním způsobem ovlivní podmínky pro růst. V důsledku toho se pravděpodobně změní struktura našich lesů. I to je zásadním důvodem pro uplatnění přirozené obnovy, jelikož populační dynamika se bude pravděpodobně měnit (Matías & Jump 2012).

Borovice lesní má z hlediska globálních změn stále narůstající význam. Díky své odolnosti proti stresu ze sucha a díky schopnosti prosperovat i na méně bonitních stanovištích je perspektivní dřevinou pro budoucí stav našich lesních ploch (Vítámvás et al. 2019).

Nicméně její odolnost proti suchu je limitována existencí spodní vody, na jejímž přísunu je borovice závislá. Žádná z tuzemských dřevin není schopná odolávat dlouhotrvajícímu suchu v kombinaci s absencí podzemní vody.

3.4 Vliv pěstebního stanoviště

Podle Zobela a van Buitenen (1989) je určení vlivu stanoviště jedním z nejobtížněji určitelných faktorů, majících vliv na vlastnosti dřeva. Jedná se o souhrn faktorů jako je výživnost a charakter půdy, nadmořská výška, stav oslunění, vliv teploty a větru atd. Narážíme na problém s nejednoznačností výsledků měření z různých stanovišť. Je tedy velmi obtížné prokázat přímý vliv stanoviště na vlastnosti dřeva. Každý jedinec, rostoucí v rámci stejného stanoviště, totiž vykazuje odlišnou hustotu, a v souvislosti s tím i odlišné vlastnosti.

Přesto různé studie prokazují trendy, pozorovatelné na různých stanovištích, které dokazují tento vliv pro použití v praxi. Jedná se například o studii prokazující významný rozdíl mezi hustotou borovice lesní z Finska a z Ruska (Hautamaki et al. 2014). I další studie prokazují, že například se stoupající výškou stanoviště klesá hustota přirůstajícího dřeva. Při porovnání výživnosti stanoviště vyplývá, že na méně výživných lokalitách

hustota dřeva stoupá, to koresponduje s menšími přírůsty, které na takových stanovištích zaznamenáváme (Schönfelder et al. 2019; Tomczak et al. 2013).

4. Metodika

Mnou prováděná činnost a výzkum jsou součástí rozsáhlého lesnického projektu, v jehož rámci se řeší i další vlastnosti borovice lesní a jejich vzájemné souvislosti.

4.1 Charakteristika lokalit

Při výběru vhodných lokalit byla kladena pozornost na oblasti, které jsou pro růst borovice lesní v České republice charakteristické. Zkoumané vzorky pochází ze dvou lokalit – Plasy (LČR, s.p. Lesní správa Plasy a Choceň) a Doksy (Městské lesy Doksy s.r.o.) převzato Schönfelder et al. 2019. Výběr ploch byl zaměřen na především porosty s výraznou diferenciací, tedy na porosty s dvou až třítážovou strukturou. Obě lokality tak poskytují vzorky odebrané z jedinců pěstovaných podrobním i holosečným způsobem.



obrázek 6 Mapa lokalit (Schönfelder et al. 2019)

4.2 Odebrání reprezentativních vzorníků

Nejprve byly z určených jedinců odebrány jednotlivé sekce, vždy o délce 120 cm. Konkrétně se jedná o sekci oddenkovou, středovou a korunovou. K těžbě vybraných jedinců došlo v zimním období, aby se co nejvíce předešlo poškození lesního porostu. Odebrané sekce byly z uvedených lokalit odvezeny na následný pořez, sušení a uskladnění do fakultní dílny FLD na ČZU.

4.3 Příprava zkušebních těles

Z nařezaných fošen byla následně vymanipulována zkušební tělesa normovaných rozměrů 20×20×300 mm, přičemž nejdelší rozměr je ve směru podél vláken a zbylé dva tvoří průřez pravoúhlého čtverce, dle požadavků normy ČSN 49 0115 (1979).

Každé zkušební těleso bylo označeno kódem, jenž jednoznačně definoval strom, ze kterého bylo odebráno a jeho pozici v rámci výřezu – jak vertikální, tak horizontální.

Vzorky byly umístěny do klimatizační komory, kde byly klimatizovány do dosažení rovnovážného stavu vlhkosti. při teplotě 20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) a relativní vlhkosti 65 % (± 5 %). Těmto podmínkám odpovídá vlhkost dřeva 12%. Stejně podmínky byly zajištěny i při průběhu samotné zkoušky, aby nedošlo ke zkreslení výsledků.

Vzorky byly vybrány tak, aby odpovídaly požadavkům normy ČSN 49 0101 (1980), (Dřevo. Základní požadavky pro fyzikální a mechanické zkoušky) a aby neobsahovaly vady růstu, poškození nebo tlakové dřevo.

4.4. Stanovení hustoty

Ke stanovení hustoty se dle normy ČSN 49 0108 nebylo možno použít tělesa standartních rozměrů, které norma doporučuje. Kvůli jejich absenci bylo k určení hustoty použito samotných zkušebních těles, jejichž rozměry jsou uvedené v podkapitole 4.3. Jak již bylo zmíněno, tato tělesa byla klimatizována a to pomocí klimatizační komory Climacell 707 tak, aby bylo dosaženo 12% absolutní vlhkosti dřeva.

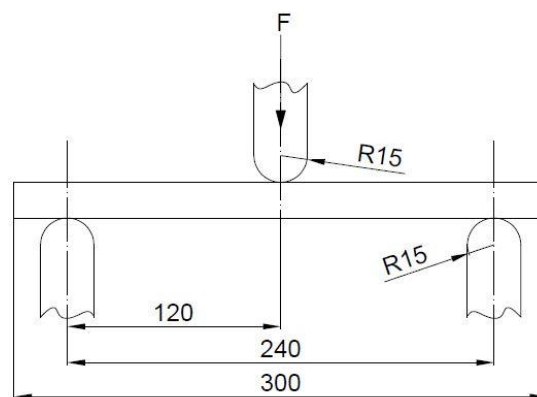
Po vyjmutí z klimatizační komory byly vzorky přeměřeny pomocí posuvného měřítka s přesností na setiny milimetru a pravítka pro změření délky tělesa. Následně byly zváženy na laboratorní váze s přesností na tisícinu gramu.

Naměřené hodnoty byly následně použity dle vzorce 1 v podkapitole 3.2.1 k výpočtu hustoty.

4.5 Stanovení pevnosti v ohybu

Cílem zkoušky je zjistit maximální zatížení před porušením zkušebního tělesa a vypočítat odpovídající napětí dle normy ČSN 49 0115 (1979).

Zkouška probíhá dle požadavků normy ČSN 49 0115 na ohýbacím zařízení opatřeném dvěma podporami v osové vzdálenosti 240 mm, přičemž uprostřed působí v opačném směru zatěžovací hlava silou F . Podpěry i hlava mají jako dotykovou plochu válečky o poloměru 15 mm (viz schéma). Zkušební těleso se do zkušebního trhacího stroje TIRA 2850



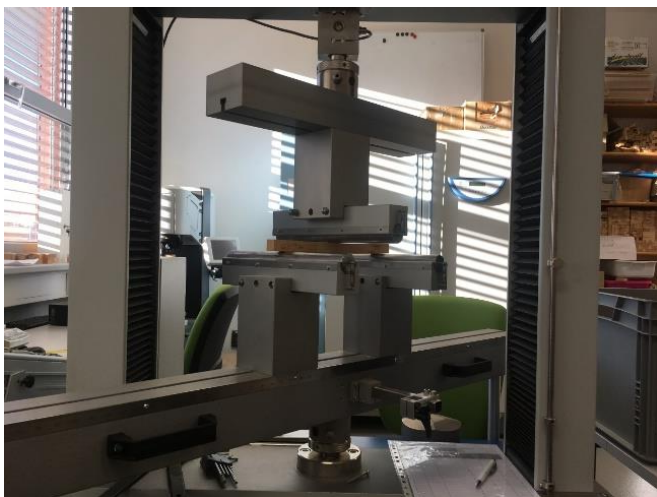
Obrázek 7 Schéma uložení tělesa ve zkušebním stroji dle ČSN 49 0115 (1979)

(dle

vkládalo tak, aby zatěžovací hlava působila na jeho radiální plochu, tj v tangenciálním směru.

Síla F působí rovnoměrně na zkušební těleso, přičemž se zvyšuje posunem zatěžovací hlavy směrem proti tělesu. Tato rychlost se nastaví tak, aby k porušení tělesa došlo za 1-2 minuty od začátku zatěžování, tato doba je optimální

Po naměření byla data importována přímo do softwaru, který vyhodnocuje výsledky včetně určení pevnosti ve statickém ohybu (výpočet dle dříve uvedeného vzorce) a grafického znázornění průběhu zkoušky. Pro účely této práce byly potřebné výsledky maximálního zatížení v době lomu a odpovídající hodnota pevnosti v ohybu. Výpočet pevnosti se provádí dle vzorce č.2, uvedeného v podkapitole 3.2.2.



Obrázek 8 Ohýbací zařízení Tira 2850 (autor)

4.6 Statistické zpracování dat

Získaná data byla následně zapsána do souhrnné tabulky tak, aby byla jednoznačně přiřazena k danému zkušebnímu tělesu. Po shromáždění všech dat byla vyhodnocena základní statistika uvádějící průměrné hodnoty hustoty a pevnosti v ohybu ve vazbě na stanoviště a pěstební způsob. Kromě těchto průměrných hodnot byly sledovány i nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty a stanovena směrodatná odchylka a variační koeficient. Pro srovnání vzájemného vlivu těchto charakteristik jakožto i vzájemné porovnání hodnot na obou stanovištích byla použita statistická metoda, konkrétně dvou-faktorová analýza rozptylu (ANOVA). Touto metodou byl vyhodnocen vliv horizontální a vertikální polohy (pouze pro holosečný způsob) v rámci výřezu. Pevnostní charakteristiky byly zároveň posuzovány s ohledem na vliv hustoty z hlediska rozptylu.

5. Výsledky

5.1 Hustota

Průměrná hustota při cca 12% vlhkosti u měřeného souboru dosahovala hodnoty $0,524 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Jedná se o hodnotu bez ohledu na lokalitu a pěstební způsob.

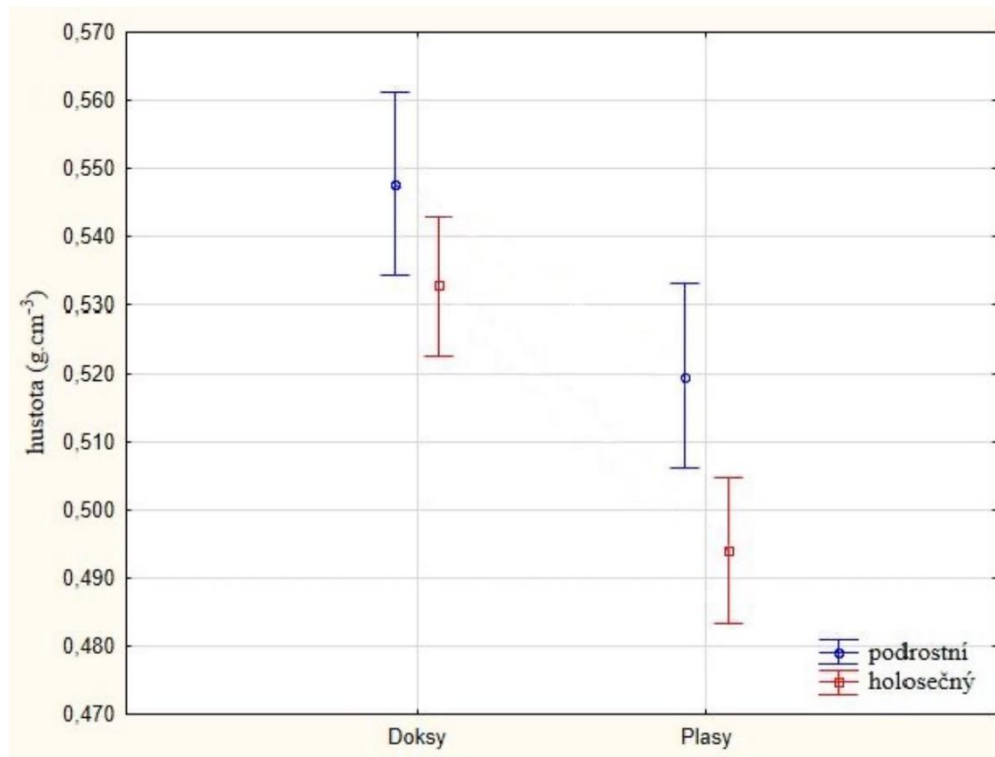
Na následující tabulce č.1 jsou rozepsány hodnoty hustoty pro jednotlivé lokality a pěstební způsoby. Vyplývá z ní, že vyšší průměrné hustoty dosahovaly vzorky odebrané z lokality Doksy s hodnotou $0,540 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Nejvyšší hustoty přitom dosáhly vzorky ze stromů pěstovaných podrostním způsobem, s průměrnou hodnotou $0,548 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, jež

Tabulka 1 Hodnoty hustoty v jednotlivých lokalitách a porostech

Hustota (g/cm^3)								
	postup	n	Průměr	Medián	Min	Max	Sm.odchyl.	Var. koef. (%)
Doksy	holosečný	96	0,533	0,531	0,440	0,679	0,005	9,7
	podrostní	55	0,548	0,543	0,495	0,639	0,004	5,8
Plasy	holosečný	86	0,494	0,479	0,402	0,644	0,007	12,4
	podrostní	56	0,520	0,517	0,428	0,640	0,006	9,0

zároveň vykazovaly menší odchylky.

Na obou stanovištích lze sledovat vyšší hodnotu hustoty pro podrostní způsob pěstování. Tento trend je o to významnější, vezmeme-li v potaz, že hodnocené vzorky pěstované podrostním způsobem mají nižší věkový průměr, a tudíž lze předpokládat



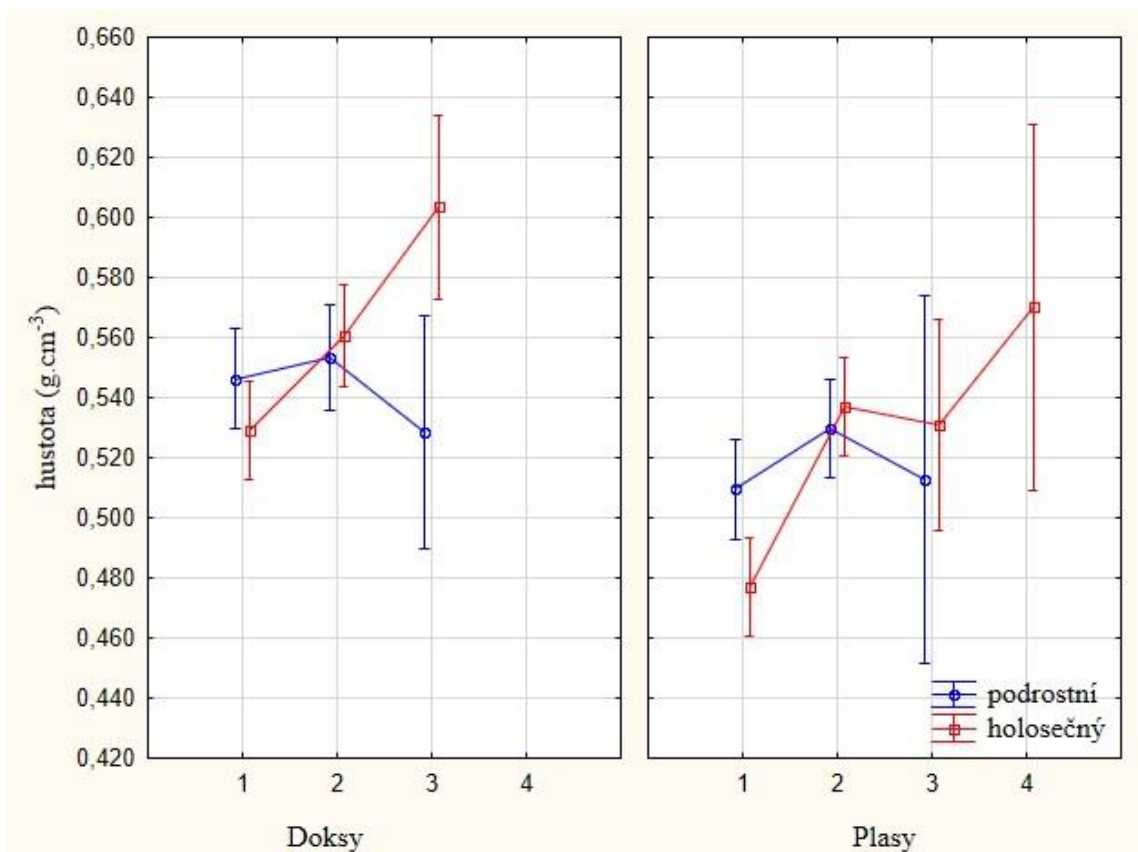
Graf 1 Vliv stanoviště a pěstebního způsobu na hustotu

zvýšený vliv juvenilního dřeva. Tento vliv však snižuje fakt, že u podrostního způsobu pěstování se dle dosavadních výzkumů právě zóna juvenilního dřeva zužuje (Zobel 1992).

Vliv pěstebního postupu a stanoviště je Graficky vyjádřen na Grafu 1.

Na Grafu č.1 lze sledovat již popsany rozdíl mezi stanovišti Doksy (celkově vyšší hustota) a Plasy. Zajímavé je srovnání výsledků na stanovišti Plasy, kde je spodní hranice rozsahu hustoty pro podrovní způsob nad horní hranicí pro způsob holosečný. Pro lokalitu Doksy není rozdíl tak markantní.

Následující Graf č.2 zohledňuje horizontální pozici vzorků v rámci výřezu. Prokazuje rovnoměrnější průběh hustoty pro podrovní způsob. Jak ukazují související studie, zvýšená hustota dřeva v pozdějším stádiu života je spojena s nižšími ročními přírůsty (Bílek et al. 2018). Ačkoliv tedy v případě holosečného způsobu dřevo vykazuje v zóně „starší“ (vzdálenější od dřeně) vyšší hustotu (a tedy téměř přímo úměrně i pevnost), nemusí mít lepší uplatnění. Pro náročnější aplikace je vhodnější dřevo rovnoměrné hustoty, a tedy i vlastností. Navíc je z hospodářského hlediska výhodnější dosahovat v pozdějším věku vyšších přírůstů, čehož zpravidla u podrovního způsobu díky lepší vitalitě získáváme.

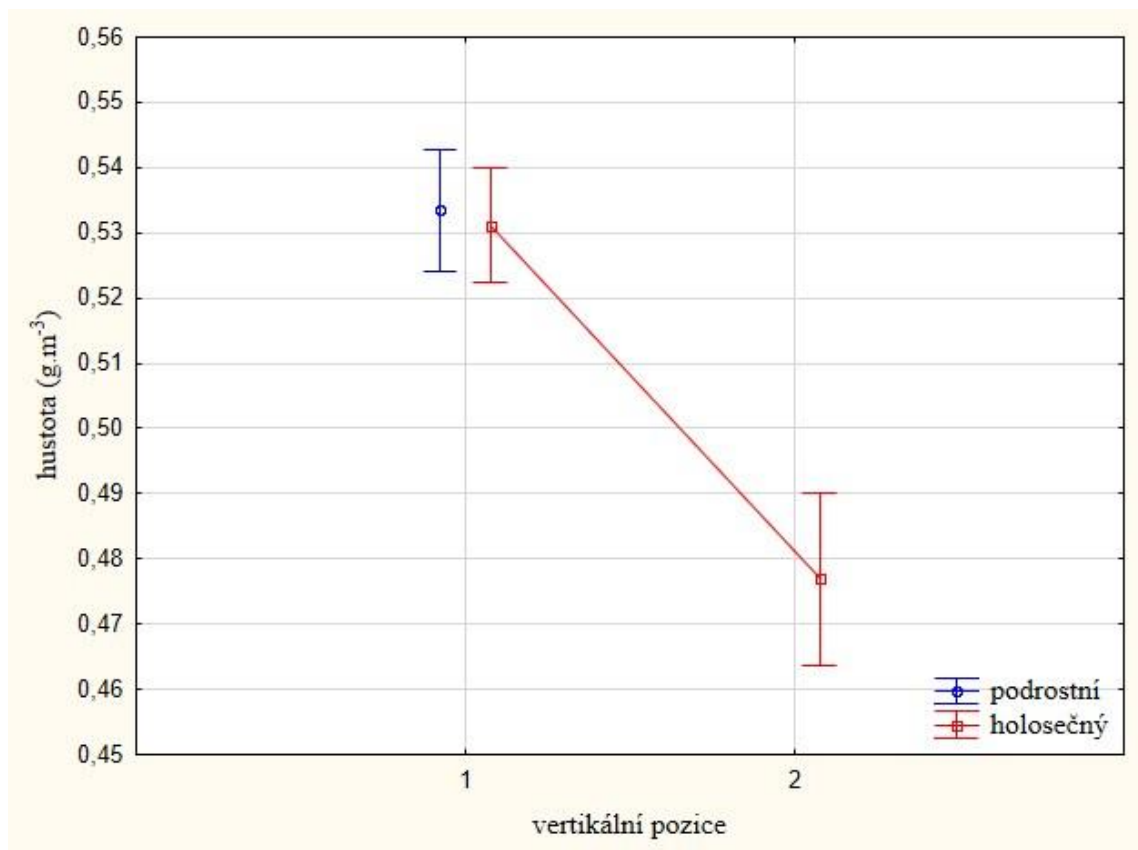


Graf 2 Vliv horizontální pozice na hustotu (1-4 jsou horizontální pozice směrem od dřeně)

Vyšší hustota v zóně blíže dřeně u podrostonního způsobu též potvrzuje dříve zmíněný jev, že u podrostonního způsobu se zužuje zóna juvenilního dřeva. Děje se tak v důsledku vyššího zastínění, a tudíž i nižších ročních přírůstků v prvních letech života. Nižší přírůsty také zvyšují hustotu přirůstající dřevní hmoty.

V grafu č.2 také můžeme sledovat čtvrtou pozici, která se vyskytuje pouze u holosečného způsobu na lokalitě Plasy. Vykazuje sice vysokou hustotu, ale nikoliv úměrnou pevnost (což je vidět v porovnání s grafem závislosti Pevnosti v ohybu na horizontální pozici v rámci kmene). Tato čtvrtá poloha také vykazuje největší rozptyl výsledků, přičemž nejnižší hodnoty se dostávají na úroveň hustoty na pozici první. Součástí této práce nebylo vyhodnocení šířky letokruhů a srovnání zóny jarního a letního dřeva, ale při porovnání s pracemi, jež se na toto téma zaměřují, vyplývá, že vyšší hustota v pozdějších letech u holosečného způsobu souvisí i s nižšími ročními přírůsty, které strom v pozdějším stádiu života vykazuje (Chroust 2002; Bílek et al. 2018).

Při porovnání obou lokalit je z grafu patrné, že vyšší variabilitu hustoty a také více rozptýlené výsledky můžeme pozorovat na lokalitě Plasy. Zde jsou zároveň dosaženy hodnoty o poznání nižší.



Graf 3 Vliv vertikální pozice v rámci kmene na hustotu (pozice 1 - bazál, 2 - 1/3 výšky kmene)

Graf č. 3 vyhodnocuje vliv vertikální pozice vzorku v kmeni. Jak je z grafu patrné, obě dvě vertikální pozice jsou k dispozici pouze pro jedince pěstované holosečným způsobem. V důsledku toho není možné objektivně posoudit rozdíly v tomto ohledu mezi pozorovanými způsoby obnovy. Z grafu je však patrné, že druhá vertikální pozice vykazuje výrazně nižší hustotu s vyšší variabilitou, než je tomu v bazální sekci. Nižší hustota může být spojena s vyššími ročními přírůsty ve vyšší části kmene.

5.2 Pevnost v ohybu

Průměrná pevnost v ohybu dosáhla hodnoty 74,2 MPa, přičemž variační koeficient činí 14,9%. Průměrné naměřené hodnoty z jednotlivých stanovišť jsou uvedeny v tabulce č.2.

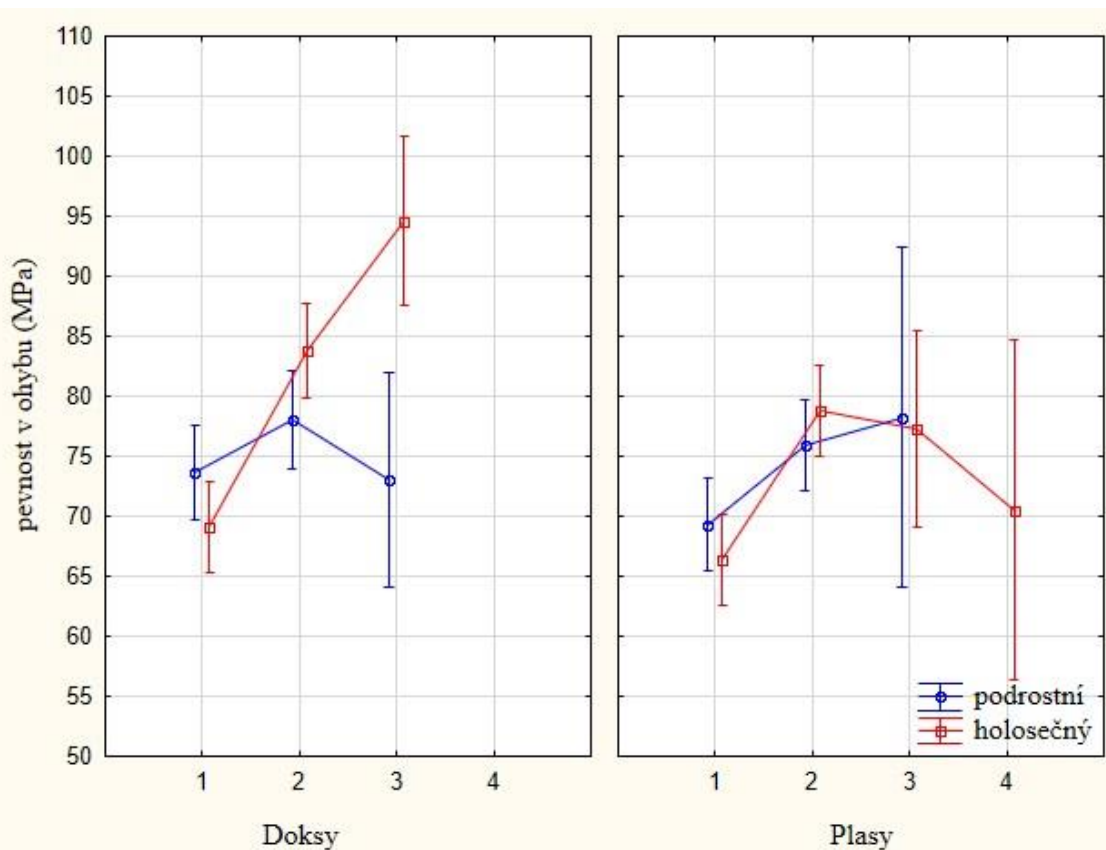
Tabulka 2 Hodnoty pevnosti v ohybu

Pevnost v ohybu (MPa)								
	postup	n	Průměr	Medián	Min	Max	Sm.odchyl.	Var. koef. (%)
Doksy	holosečný	96	77,366	75,832	54,275	110,264	1,234	15,6
	podrovní	55	75,471	73,988	43,514	94,422	1,316	12,9
Plasy	holosečný	86	70,868	69,978	37,248	105,840	1,328	17,4
	podrovní	56	72,939	73,302	52,305	91,275	1,318	13,5

Vyšší hodnoty opět dosáhla lokalita Doksy. To souvisí s vysokou korelací mezi hustotou a pevností, jak je rozebíráno dále. Nelze prokázat jednoznačně vyšší hodnoty pro jeden z pěstebních způsobů. V případě stanoviště Doksy dosahuje vyšší hodnoty způsob holosečný. Tato skutečnost ovšem opět souvisí s věkem vybraných jedinců. Zatímco jedinci pěstovaní holosečným způsobem dosahovali stáří 49 let, ti pěstovaní podrovní způsobem pouze 25 let. O to zajímavější je poté celková vyšší hodnota hustoty pro tyto mladší jedince. Pevnost však negativně ovlivnila přinejmenším zóna juvenilního dřeva.

Jak je vidět na následujícím grafu č.4, na stanovišti Plasy dosahuje vyšší pevnosti podrovní způsob. Zde však naopak byly starší stromy pěstované podrovní způsobem, věku 36 let, zatímco holosečným pouze 25 let. Objektivněji lze tedy výsledky posoudit spíše podle vlivu horizontální pozice v rámci kmene.

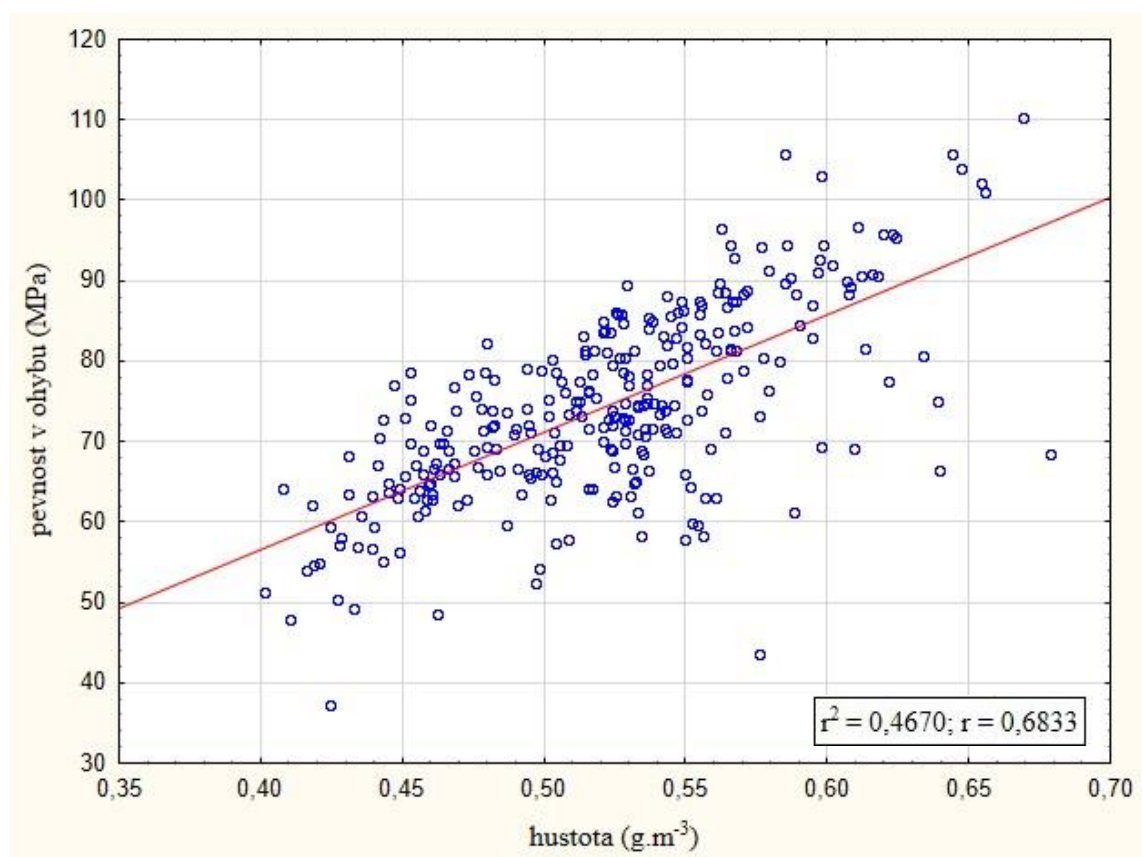
Ty můžeme posoudit ze stejného grafu č.4, vypovídají o vývoji, který jsme mohli sledovat v blízké podobě i u vlivu na hustotu. Zajímavá je čtvrtá pozice (pouze holosečný způsob), která prudce klesá. Všechny vzorky, které tuto pozici obsahovaly, byly odebrány ze stanoviště Doksy. To souvisí i s faktem, že se jednalo o starší stromy. Překvapivá je vysoká variabilita jejich pevnosti. Výsledky však nevykazují výrazné rozdíly mezi jednotlivými jedinci. Velké výkyvy jsou pozorovatelné u každého samostatného jedince. Může to souviset s vyšším výskytem suků v této oblasti nebo vlivem klimatických změn a znečištění ovzduší v posledních letech. Dle výzkumu Regina Kaska, který zkoumal borové porosty v Estonsku, má znečištění v podobě vyššího obsahu fosforu a vyššího Ph v půdě vliv především na jádrovou část kmene borovice. Zvýšený obsah draslíku a vápníku zase ovlivňuje proces lignifikace (Kask 2015).



Graf 4 Vliv stanoviště, pěstebního způsobu a horizontální pozice na pevnost v ohybu 1-4 horizontální pozice směrem od dřevě

Další proměnnou, jejíž vliv můžeme posuzovat je vertikální pozice v rámci kmene. U měřených vzorků byl v této oblasti bohužel nedostatek – pro podrostní způsob máme pouze pozici první, tedy z bazální části kmene. Nicméně i z hodnot pro holosečný způsob lze pozorovat výrazný pokles pevnosti pro druhou, tedy část kmene v 1/3 výšky. Pokles činí v průměru přibližně 5 MPa. Tento jev je způsoben především vlivem suků, které tato vyšší, korunová část obsahuje. Graf č 5, který vyjadřuje tuto závislost, je v příloze této práce.

V rámci vyhodnocení naměřených dat byla zjištěna i vzájemná závislost hustoty a pevnosti v ohybu. Dle očekávání byla vypočtena poměrně vysoká korelace, koeficient dosáhl hodnoty **0,683**. Jak vyplývá z Grafu č.5, výjimek od trendu bylo jen zanedbatelné množství. Lze tedy potvrdit, že vzájemná úměra mezi těmito veličinami je velmi vysoká. Dle dalších studií vyplývá, že podobně koreluje hustota i vůči dalším pevnostním charakteristikám a můžeme ji tedy používat jako významný indikátor pro jejich odhad (Schönfelder et al. 2019; Kask 2015; Rojo & Montero 1993).



Graf 5 Závislost pevnosti v ohybu na hustotě

6. Diskuse

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv pěstebních podmínek a vliv stanoviště na pevnost v ohybu borovice lesní. Jak práce prokázala, existuje blízká korelace mezi pevností v ohybu a hustotou dřeva. Dále bylo cílem posoudit vliv pěstebního stanoviště. Je možné potvrdit, že stanoviště významným způsobem ovlivňuje růst a pevnostní charakteristiky stromu. Mezi ovlivňující faktory patří zejména půda, zdroje vody, světelné podmínky, teplota a znečištění prostředí. Pro borovici, stejně jako pro většinu tuzemských dřevin, platí, že čím příznivější podmínky má, tím lépe prosperuje. Nicméně se jedná o tzv. „průkopnickou“ dřevinu, a proto špatně odolává klimaxové konkurenci. Naproti tomu je schopná prosperovat i ve velmi nepříznivých podmínkách, a proto je na taková nehostinná stanoviště často vysazována (Bílek et al. 2018). Nelze tedy pouze srovnávat výsledné hodnoty – lze předpokládat, že na příznivých lokalitách budou tyto hodnoty vyšší. Je třeba brát v úvahu, zda by vůbec bylo možné danou lokalitu využít jiným hospodářským způsobem, například pro zemědělské účely nebo pro výsadbu jiných dřevin a s jakými výsledky. V tomto srovnání dosahuje borovice vynikajících výsledků. (Chroust 2002; Úředníček et al. 2001).

6.1 Hustota

Průměrná hustota všech odebraných vzorků činila **0,524** g·cm⁻³, přičemž nejvyšší byly hodnoty pro podrostní způsob na lokalitě Doksy. Naměřená hodnota hustoty odpovídá údajům v literatuře, například Zeidler & Borůvka uvádějí hustotu 0,543 g·cm⁻³(2016), Wagenführ poté 0.510 g·cm⁻³ (2002). Dle výzkumů z jiných zemí, se hustota může měnit v závislosti na regionu (Hautamaki et al. 2014; Agestam et al. 1998). Jak je patrné z příložené tabulky č.3, výsledná pevnost v ohybu vyhodnocovaných vzorků byla nižší v porovnání s uvedenými zdroji. Nikoli však průměrná hustota, hodnoty hustoty s uvedenými zdroji korespondují. Pevnost v ohybu však výrazně ovlivňuje vybraný porost – jeho věk, stanoviště a další podmínky. Navíc v rámci jednoho kmene můžeme pozorovat vysokou variabilitu pevnosti – v závislosti na vertikální a horizontální pozici. Tuto variabilitu můžeme sledovat v tabulce výsledků, při sledování maximálních a minimálních hodnot. Dále bych uvedl příklad měření z Polska (Tomczak et al. 2013), který mě zaujal, protože nejnižší měřená hodnota (vybráno pouze ze spodní sekce do 1,2m výšky stromu) byla 22,5 MPa a nejvyšší 91,9 MPa. S ohledem na vysokou variabilitu tedy není možné dělat relevantní závěry. Pokud by byl měřen kupříkladu starší porost, pak by výsledky byly odlišné.

Pro optimální srovnání výsledků pro podrostní a holosečný způsob by bylo vhodné nalézt jedince na stejném stanovišti a stejného věku. Tuto možnost bohužel stanoviště posuzovaná v této práci neposkytovala. Proto je nutné uvažovat vliv jednotlivých rozdílů mezi měřenými jedinci.

Přesto je možné potvrdit, že užitý pěstební způsob má na hustotu dřeva prokazatelný vliv. Podrostní způsob obnovy prokázal vyšší hustotu v ranných letech života a rovnoměrnější průběh hustoty v rámci horizontálního průřezu. Tato informace je významná pro zpracovatelský průmysl. V tom se obecně považuje středové (juvenilní) dřevo za nežádoucí – vlivem nižší hustoty, a tedy i nižší pevnosti spolu s rychlým poklesem dochází k nerovnoměrnosti hustoty směrem k obvodové části kmene. Tento jev je však významný zejména pro holosečný způsob, u podrostního se díky zpomalení první růstové fáze snižuje, až mizí. Dřevo vypěstované tímto způsobem je tedy homogennější, a tudíž lépe využitelné.

Tabulka 3 Srovnání hodnot s literaturou

		Hustota (g·cm ⁻³)	Pevnost v ohybu (MPa)	
Tato práce	Doksy	Holosečný	0.533	77.4
	Plasy	Holosečný	0.494	70.0
	Doksy	Podrostní	0.548	75.5
	Plasy	Podrostní	0.520	73.0
Wagenführ (2002)		0.510	80.0	
Ugolev (1975,1986)		0.540	86.0	
Zeidler et al. (2016)		0.543	100.1	
Kask (2015)		0.471	85.0	

6.2 Pevnost v ohybu

Hlavní posuzovanou veličinou byla pevnost v ohybu. Průměrná hodnota byla **74,2** MPa.

Kromě rozdílů daných stanovištěm a polohou vzorku ve kmeni, je třeba uvažovat i vliv genetiky daného stromu (Tomczak et al. 2013). Každý strom tak může vykazovat odlišné vlastnosti, přestože je pěstován stejným způsobem na stejném stanovišti. Lze však vyhodnocovat trendy, získané při srovnání více jedinců, kteří nám umožní objektivní porovnání. A právě z tohoto důvodu byla pevnost posuzována na vzorcích z 28 jedinců – 14 pro podrovní způsob a 14 pro holosečný. Jak již bylo zmíněno, oproti hodnotám v literatuře dosáhla naměřená data nižších hodnot pevnosti, ale tento pokles do značné míry ovlivnil věk těchto jedinců. Zatímco doporučená doba obmýtí je pro borovici stanovena kolem 110 let, průměrný věk měřených jedinců byl necelých 34 let. Přitom platí, že mladší jedinci dosahují spíše nižší hustoty, a tedy i nižších pevnostních charakteristik.

6.3 Ekonomické zhodnocení

Tato práce se nezabývá důkladným ekonomickým rozbohem problematiky, například kalkulací nákladů spojených s uplatněním konkrétního způsobu hospodaření. Jak nicméně vyplývá z prací, které se zpracovávají touto tematikou souvisí, je možné vyhodnotit zjevné rozdíly, které mají významný ekonomický dopad.

Jak ve své práci popisují doc. Bílek a jeho kolegové, je třeba vzít v úvahu mnoho faktorů, například dopad ekologických změn, znehodnocení dřeva škůdci, nebo změny cen na trzích (Bílek et al. 2018). Tyto změny je však obtížné predikovat a můžeme s nimi počítat pouze v omezené míře.

Pro holosečný způsob hospodaření vznikají vyšší výdaje za sadební materiál. Ten je totiž třeba pěstovat uměle a vysadit na určené mýtině. S tím jsou spojené i náklady na dělníky, kteří sadbu provedou. Naproti tomu u způsobu podrovního necháváme vysemenit původní jedince a sadební materiál tedy získáváme bez dalších nákladů.

V dalším stádiu růstu však již podrovní způsob vyžaduje více pozornosti. Jak popisuje Ing. Chroust, je třeba se vyvarovat náhlému uvolnění porostu, které by mělo za následek degradaci vlivu pěstebního opatření (Chroust 2002). Několika postupnými probírkami vybíráme cílové jedince, jejichž růst podporujeme. Větší počet citlivějších zásahů s sebou nese i zvýšené náklady.

Když přijde na obmýtí, holosečný způsob je jednoznačně levnější variantou. Při stáří porostu kolem 110 let se jednoduše vytěží všichni jedinci. Naproti tomu u podrostního způsobu se postupně realizují celkem 4 zásahy. Tyto zásahy navíc nelze provést těžkou technikou jako u způsobu holosečného, a tudíž stoupá cena těchto výkonů.

Náklady na holosečný způsob obnovy jsou celkově nižší než výdaje spojené se způsobem podrostním (ve vyjádření ceny na hektar porostu). Porosty pěstované podrostním způsobem však dosahují vyššího ročního přírůstu, a tedy i výsledné vytěžené hmoty. Navíc jsou pro své lepší charakteristiky často řazeny do vyšší kvalitativní třídy. Obecně tedy platí, že hodnotový přínos podrostního způsobu převyšuje jeho zvýšené náklady (Bílek et al. 2018).

Navíc je třeba vzít v úvahu klimatické změny. Pokud chceme i nadále dosahovat ekonomicky úspěšného hospodářství, je nutné najít trvale udržitelné metody hospodaření, včetně způsobu obnovy porostu. Vezmeme-li v úvahu zvyšující se mortalitu uměle sázených sazenic, podrostní způsob obnovy představuje stále významnější přínosy.

Borovici je vhodné využívat pro sadbu na méně bonitních stanovištích. Dosahuje zde sice nižších hodnot, ale využíváme tak stanoviště, která by se jinak neuplatnila. Borovice je také perspektivní dřevinou při stále zhoršující se situaci se stavem vody na našem území.

7. Závěr

V následujících větách shrnuji relevantní závěry předložené práce.

1. Srovnáním hodnot vzorků pěstovaných holosečným a podrovním způsobem se prokázalo, že u podrovním způsobu se dosahuje vyšší počáteční hustoty a jejího rovnoměrnějšího průběhu po horizontálním průřezu kmenem.

2. Rozdíly mezi hodnotami hustoty a pevnosti v ohybu pro jednotlivé pěstební způsoby nebyly statisticky významné a v podstatě zanedbatelné z hlediska dalšího zpracování a uplatnění suroviny. Nicméně je třeba poznamenat, že rovnoměrný průběh u podrovním způsobu zvyšuje využitelnost suroviny.

3. Existuje prokazatelná pozitivní korelace mezi hustotou a pevností v ohybu u borovice lesní.

4. Má-li mít podrovním způsob prokazatelně příznivý vliv na vlastnosti stromu, je nutné provádět pouze kvalifikované zásahy do porostu a vyvarovat se například příliš rychlého uvolnění, protože poté by tento způsob a s ním zvýšené náklady na produkci ztrácely význam.

Nejdůležitějším zjištěním, které má práce potvrzuje, je, že u podrovním způsobu je rovnoměrnější průběh vlastností po průřezu kmene.

8. Citovaná literatura

1979. ČSN 49 0115 Zjišťování ohybu pevnosti ve statickém ohybu. 1979.

Agestam, E., Eko, P., Johansson, U. 1998. *Timber quality and volume growth in naturally regenerated and planted Scots pine stands in S.W. Sweden.* Uppsala : Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forestry, 1998. ISBN 91-576-5555-3.

Alden, Harry Arthur. 1997. *Softwoods of North America.* místo neznámé : U.S. Department of Agriculture, Forest service, Forest products Laboratory, 1997.

Bílek, L., Vacek, S., Vacek, Z., Remeš, J., Král, J., Bulušek, D., Gallo, J. 2016. *How close to nature is close-to-nature pine silviculture?* Praha : Journal of forest science , 2016. 10.17221/98/2015-JFS.

Bílek, L., Zeidler, A. 2018. Pěstební a ekonomické aspekty clonné obnovy borovice lesní. *Lesnický průvodce.* 2018, Sv. 4, ISBN 978-80-7417-169-7.

Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J. 2012. *Materiály na bázi dřeva.* Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6.

ČSN 49 0101 Dřevo. Všeobecné požadavky na fyzikálne a mechanické zkúšky. 1980.

ČSN 49 0108 Dřevo. Zisťovanie hustoty . 1993.

Hautamaki, S., Kilpelainen, H., Verkasalo, E. 2014. *Factors and Models for the Bending Properties of Sawn Timber from Finland and North-Western Russia. Part II: Scots Pine.* místo neznámé : Baltic Forestry, 2014. 20(1):142-156.

Horáček, Petr. 1998. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I.* . Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1998. ISBN 80-7157-347-7.

Chroust, Luděk. 2002. *Jak dál ve výchově borových porostů?* Mimoň : VULHM Opočno, 2002.

is.mendelu.cz. *Mendelova univerzita v Brně.* [Online] Mendelova univerzita v Brně. [Citace: 3. 3 2020.] [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?fit_w=1;cast=9190.](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?fit_w=1;cast=9190)

Kask, Regino. 2015. *The influence of growth conditions on physico-mechanical properties of Scots Pine (Pinus sylvestris L.) wood in Estonia .* Tartu : Estonian University of Life Sciences, 2015.

Ldf.mendelu. 2001. Pěstební systémy - Tvary lesa a hospodářské způsoby. *Ldf.mendelu.cz.* [Online] LDF - MZLU Brno, 2001. [Citace: 15. 1 2020.] [https://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani_v_heslech/pestsyst/pestsyst_tvarylesaahs.html.](https://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani_v_heslech/pestsyst/pestsyst_tvarylesaahs.html)

Leugnerová, Gabriela. 2007. Pinus sylvestris L. - borovice lesní (sosna). *Botany.cz*. [Online] 3. 7 2007. [Citace: 20. 1 2020.] <https://botany.cz/cs/pinus-sylvestris/>.

Matias, L., Jump, M. 2012. 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*. 282 10-22, 2012.

Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., Babiak, M. 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava : Príroda, 1997. ISBN 80-07-00600-1.

Royo, A., Montero, G. 1993. *Natural regeneration in Pinus sylvestris L.* Madrid : Instituto Nacional de Investigación y Tecnología y Alimentación Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1993. 1131-7965.

Schönfelder, O., Zeidler, A., Borůvka, V. 2019. *Impact of silvicultural measures on the quality of Scots Pine wood*. Praha : Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of forestry, 2019.

Schönfelder, O., Zeidler, A., Borůvka, V., Bílek, L., Lexa, M. 2018. *Shrinkage of Scots pine wood as an effect of different tree growth rates, a comparison of regeneration methods*. místo neznámé : Journal of forest science, 2018. 64, 2018 (6): 271-278.

Tomczak, A., Jelonek, T., Pazdowski, W. 2013. *Bending strength of Scots pine wood - relationship between values calculated at different height of the trunk*. Warszawa : Warsaw University of Life Sciences, 2013. No 84, 2013: 247-252.

Úřadníček, L., Maděra, P., Kolibáčová, S., Koblížek, J., Šefl, J. 2001. *Dřeviny České republiky*. Písek : Matice Lesnická s.r.o., 2001. ISBN 80-86271-09-9.

Vítámvás, J., Bílek, L., Ulbrichová, I., Bažant, V., Dreslerová, J., Vacek, Z. 2019. *Vzcházení, přežívání a kořenový systém semenáčků Borovice lesní (Pinus sylvestris L.) při různých intenzitách slunečního záření a závlahy*. Praha : Zprávy lesnického výzkumu, 2019. 64, 2019 (2): 102-110.

Wagenführ, R. 2002. *Dřevo - obrázkový lexikon*. Praha : Grada publishing, 2002. 348 pp..

Wiedemann, Pretzsch. 2002. *Diversität und Produktivität von Waldern*. [autor knihy] Wiedemann. *Diversität*. Mníchov : Technischen Universität München, 2002.

Zeidler, A., Borůvka, V. 2016. *Stavba a vlastnosti dřeva*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016. ISBN 978-80-213-2674-3.

Zobel, Bruce. 1992. *Silvicultural effects on wood properties*. Raleigh : North Carolina State University, 1992.

Použité normy

ČSN 49 0101 *Drevo. Všeobecné požiadavky na fyzikálne a mechanické zkušky.* 1980.

ČSN 49 0108 *Drevo. Zisťovanie hustoty .* 1993.

ČSN 49 0115 *Zjišťování ohybu pevnosti ve statickém ohybu.* 1979.

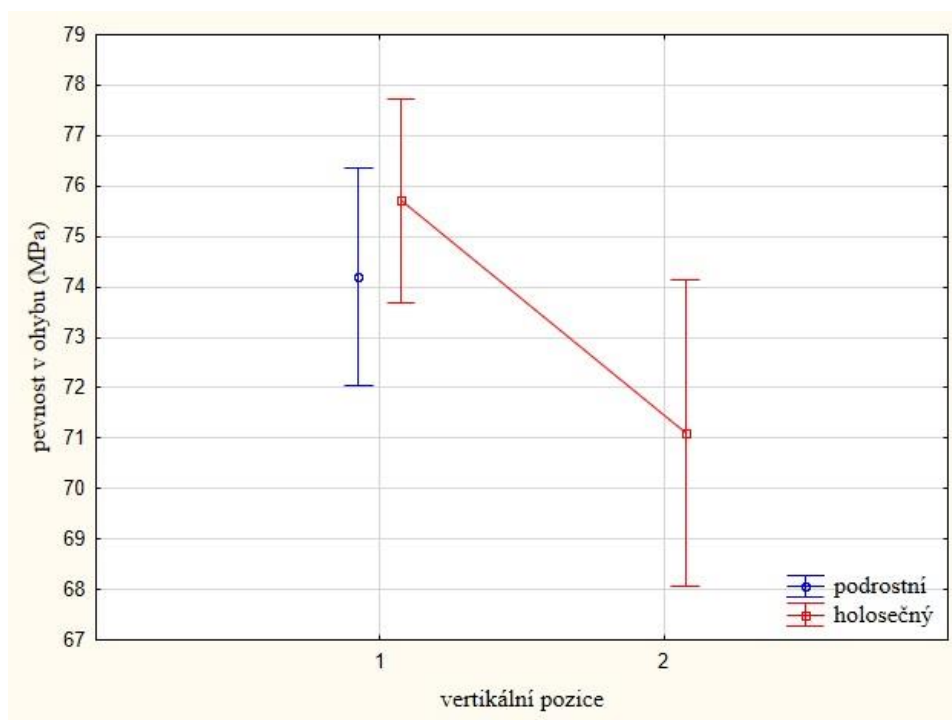
Elektronické prameny

Ldf.mendelu 2001. Pěstební systémy - Tvary lesa a hospodářské způsoby. *Ldf.mendelu.cz.* [Online] LDF - MZLU Brno, 2001. [Citace: 15. 1 2020.] https://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani_v_heslech/pestsyst/pestsyst_tvarylesaahs.html.

Leugnerová, Gabriela. 2007. Pinus sylvestris L. - borovice lesní (sosna). *Botany.cz.* [Online] 3. 7 2007. [Citace: 20. 1 2020.] <https://botany.cz/cs/pinus-sylvestris/>.

is.mendelu.cz. Mendelova univerzita v Brně. [Online] Mendelova univerzita v Brně. [Citace: 3. 3 2020.] https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?fit_w=1;cast=9190.

9. Příloha



Graf 7 Vliv vertikální pozice na pevnost v ohybu (pozice 1 –bazál, 2–1/3 výšky kmene)