

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**

Bakalářská práce

Autor: Václav Henych

Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Václav Henych

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Vliv stanoviště a pěstebních opatření na moduly pružnosti dřeva borovice lesní

Název anglicky

Impact of Site and Silvicultural Measures on the Modulus of Elasticity of Scots Pine Wood

Cíle práce

Cílem práce je posoudit především vliv aplikovaných pěstebních postupů a stanoviště na moduly pružnosti dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) z reprezentativních lokalit České republiky. Dále zhodnotit i případné další zdroje variability této pružnostní 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 a i nedestruktivní metodou stanovit moduly pružnosti dřeva.
- 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, moduly pružnosti, 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.

BUCUR, V. Acoustics of Wood, Springer Series in Wood Science, 2006. 393 s.

ČSN 49 0108: Dřevo. Zisťovanie hustoty.

ČSN 49 0116: Dřevo. Metóda zisťovania modulu pružnosti pri statickom ohybe.

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

FAKOPP Ultrasonic Timer user's guide

(<http://fakopp.com/docs/products/ultrasonic/UltrasonicGuide.pdf>).

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 27. 11. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv stanoviště a péstebních opatření na moduly pružnosti 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 všem kteří mě podporovali během tvorby bakalářské práce. Především vedoucímu bakalářské práce Ing. Vlastimilu Borůvkovi, PhD. za cenné rady a vedení práce. Chtěl bych poděkovat také své rodině za neutuchající psychickou podporu při studiu vysoké školy a pochopení.

Abstrakt

Předmětem této práce je zkoumání vlivu stanoviště a pěstebních opatření, na moduly pružnosti dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris L.*) a dalších zdrojů variability této pružnostní charakteristiky, včetně vlivu hustoty. Práce se skládá z teoretické a praktické části.

Teoretická část popisuje charakteristiku borovice lesní, především vzhled, rozšíření a využití. Dále popisuje makroskopickou a mikroskopickou stavbu dřeva, relevantní fyzikální a mechanické vlastnosti a nakonec specifikaci zkoumaných pěstebních postupů a lokalit.

Praktická část zkoumá rozdíly hustoty a modulů pružnosti mezi zvolenými lokalitami (Doksy a Plasy) a mezi pěstebními postupy (podrovním a holosečným). Jelikož je tato práce součástí rozsáhlejších výzkumů, stanovení hustoty a statického modulu pružnosti proběhlo s odchylkami od příslušných ČSN. Pro dynamický modul pružnosti neexistuje příslušná ČSN, a proto byl zjišťován pomocí postupu uvedeného v uživatelské příručce přístroje FAKOPP Ultrasonic Timer.

Z hodnot směrodatných odchylek vyplývá, že lokalita Doksy vykazuje nižší variabilitu výsledků, než lokalita Plasy. Profil hustoty a modulů pružnosti po šířce kmene dokládá, že podrovním pěstební postup vykazuje konstantnější tendenci, než postup holosečný. Nejenom lokalita, ale i pěstební opatření tedy zcela jistě ovlivňují hodnoty sledovaných veličin. U podrovním postupu má velký význam i správné načasování proclonění porostu.

Klíčová slova

dřevo, borovice lesní, moduly pružnosti, variabilita, pěstební postup

Abstract

The subject of this study is to investigate an influence of habitats and silvicultural measures on moduli of elasticity of Scots pine wood (*Pinus sylvestris L.*) and on other sources of variability of this elastic characteristic, including the influence of density. The work consists of a theoretical and a practical part.

The theoretical part describes characteristics of Scots pine, especially the visual appearance, distribution and useage of its wood. Moreover it describes the macroscopic and microscopic structure of the wood, relevant physical and mechanical properties and lastly specifications of the studied silvicultural measures and localities.

The practical part examines differences in density and the moduli of elasticity among selected localities (Doksy and Plasy), and between shelterwood and clear-cutting silvicultural measures. Since this work is part of more extensive research, determination of density and static modulus of elasticity was performed with deviations from a ČSN, and because there is no relevant ČSN for the dynamic modulus of elasticity determination, it was determined using the procedure given in a user manual of aFAKOPP Ultrasonic Timer.

Values of standard deviations show that the Doksy site shows less variability of results than the Plasy site. The density and moduli of elasticity profiles across the trunk width shows that the shelterwood silvicultural measure shows a more constant tendency than the clear-cutting process. Not only the location, but silvicultural measure affect the values of monitored quantities. In the shelterwood approach is great importance the correct timing of light preparatory cut.

Keywords

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

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíl práce	12
2.1. Obecné cíle.....	12
2.2. Konkrétní cíle.....	12
3. Rozbor problematiky	13
3.1. Borovice lesní (sosna) – <i>Pinus sylvestris</i>	13
3.1.1. Rozšíření	14
3.1.2. Využití.....	14
3.1.3. Popis dřeva	15
3.2. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva	15
3.2.1. Hustota dřeva.....	16
3.2.2. Vlhkost dřeva	16
3.2.3. Deformace dřeva	16
3.2.4. Pružnost dřeva	17
3.2.5. Akustické vlastnosti dřeva	17
3.3. Specifika zkoumaných lokalit a pěstebních postupů	17
3.3.1. Přírodní lesní oblasti	18
3.3.2. Specifika pěstebních postupů	18
4. Metodika	19
4.1. Zkušební materiál	19
4.2. Experimentální měření	20
4.2.1. Měření hustoty.....	20
4.2.2. Měření dynamického modulu pružnosti	20
4.2.3. Měření statického modulu pružnosti	22
4.2.4. Vyhodnocení dat	23
5. Výsledky a diskuze	24
5.1. Hustota.....	24
5.2. Dynamický modul pružnosti.	28
5.3. Statický modul pružnosti.....	31
6. Závěr.....	36
7. Použité zdroje	38

Seznam obrázků

Obrázek 1 – borovice lesní (<i>Pinus Sylvestris L.</i>) (Dendrologická databáze 2020)....	13
Obrázek 2 – rozšíření borovice lesní (Práce se dřevem 2004).....	14
Obrázek 3 – dřevo borovice lesní (Zeidler and Borůvka 2016).....	15
Obrázek 4 – dřevo borovice lesní (Zeidler and Böhm 2007).....	15
Obrázek 5 – vizualizace zkušebního tělesa.....	19
Obrázek 6 – číslování tělesa.....	19
Obrázek 7 – měření pomocí přístroje FAKOPP Ultrasonic Timer.....	21
Obrázek 8 – měření statického modulu pomocí univerzálního zkušebního stroje.....	23

Seznam grafů

Graf 1 – ukázka výpočtu korekce při měření přístrojem FAKOPP	21
Graf 2 – profil hustoty v horizontálním směru v bazální pozici	25
Graf 3 – profil hustoty v horizontálním směru v jedné třetině výšky stromu pro holosečný postup.....	27
Graf 4 – profil dynamického modulu pružnosti v horizontálním směru v bazální pozici.....	29
Graf 5 – profil dynamického modulu pružnosti v horizontálním směru v jedné třetině výšky stromu pro holosečný způsob	30
Graf 6 – profil statického modulu pružnosti v horizontálním směru v bazální pozici	32
Graf 7 – profil statického modulu pružnosti v horizontálním směru v jedné třetině výšky stromu pro holosečný postup.....	33
Graf 8 – korelace mezi statickým modulem pružnosti a hustotou	34
Graf 9 – korelace dynamického modulu pružnosti a statického modulu pružnosti ...	35

Seznam tabulek

Tabulka 1 – číslování tělesa	19
Tabulka 2 – základní statistické charakteristiky hustoty.....	24
Tabulka 3 – hustota uváděná v literatuře	24
Tabulka 4 – hustota v Doksech	25
Tabulka 5 – základní statistické charakteristiky dynamického modulu pružnosti.....	28
Tabulka 6 – dynamický modul pružnosti uváděný v literatuře.....	28
Tabulka 7 – základní statistické charakteristiky statického modulu pružnosti	31
Tabulka 8 – statický modul pružnosti uváděný v literatuře	31

Seznam zkratk a značek

f – frekvence	c – rychlost šíření zvukových vln
E – modul pružnosti	k – čas průchodu, při nulové vzdálenosti sond
d – vzdálenost	ΔF – rozdíl zatížení při 40 % a 10 %
t – čas	Δy – rozdíl velikosti průhybu při 40 % a 10 % zatížení
ρ – hustota	USA – United States of America
m – hmotnost	PLO – přírodní lesní oblast
V – objem	ÚHUL – Ústav pro hospodářskou úpravu lesů
W – vlhkost	FLD – Fakulta lesnická a dřevařská
l – délka tělesa	ČSN – Česká státní norma
b – šířka tělesa	SO – směrodatná odchylka
h – výška tělesa	
λ – vlnová délka	

Seznam rovnic

(3.2.1.1.) rovnice pro výpočet hustoty	16
(3.2.2.1.) rovnice pro výpočet absolutní vlhkosti dřeva.....	16
(3.2.2.2.) rovnice pro výpočet relativní vlhkosti dřeva	16
(3.2.5.1.) vztah podmiňující rychlost šíření zvuku.....	17
(3.2.5.2.) rovnice pro výpočet dynamického modulu pružnosti	17
(4.2.2.1.) rovnice pro výpočet rychlosti šíření zvuku (FAKOPP)	20
(4.2.3.1.) rovnice pro výpočet statického modulu pružnosti.....	22

1. Úvod

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je velice rozšířenou dřevinou v celé Eurasii, od severozápadní části Pyrenejského poloostrova až k Ochotskému moři. Dokáže se vyrovnat i s význačnými tepelnými rozdíly, o čemž svědčí její výskyt jak ve Španělské Sieře Nevadě, tak za polárním kruhem ve Skandinávii. (Musil and Hamerník 2003, Galdina and Khazova 2019)

V České republice se borovice lesní vyskytuje pouze ostrůvkovitě, bez tvorby souvislého lesního pásma. Vyhledává převážně suché, suťové, skalnaté a mělké lokality, často vápence a dolomity, ale můžeme ji nalézt i na okrajích rašelin. Výškově se vyskytuje mezi 200 a 1070 m. n. m. (Musil and Hamerník 2003)

Cenová dotační politika státu – usilující o optimální druhovou skladbu lesů – vede k tomu, že se procentuální podíl borovice lesní mezi lety 2000 a 2018 snížil o 1,4 % (asi 30 916 ha), přesto je v České republice borovice druhou nečastější dřevinou (Ministerstvo zemědělství 2019), a proto je potřeba hledět na kvalitu dodávaného dřeva. Nejčastější využití borového dřeva jsou stavební účely, a to všude tam, kde jsou kladeny vyšší nároky na odolnost proti houbám a plísním. Mechanické vlastnosti dodávaného dřeva se však mohou výrazně lišit, což může být způsobeno množstvím různých faktorů.

Klimatické podmínky v místě výsadby a samotná pěstební opatření mohou mít vliv na šířku letokruhů, podíl juvenilního dřeva, tlakového dřeva, jarního a letního dřeva, a tím i na hustotu a ostatní mechanické vlastnosti.

Tato práce se zabývá popisem borovice lesní a vlivem aplikovaných pěstebních opatření a stanoviště na její vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti a od nich odvozené veličiny. Zkoumaná je hustota, statický a dynamický modul pružnosti. Tyto vlastnosti a veličiny jsou zjišťovány v horizontální i vertikální rovině kmene a jejich variabilita je porovnávána mezi jednotlivými stanovišti a pěstebními opatřeními.

2. Cíl práce

2.1. Obecné cíle

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

2.2. Konkrétní cíle

- Vybereme reprezentativní vzorky ze zvolených lokalit Doksy a Plasy. Při výběru vzorků se omezíme na podrostní a holosečný pěstební způsob.
- U vybraných vzorků zjistíme vybrané vlastnosti a to hustotu, statický a dynamický modul pružnosti.
- Porovnáme závislost výsledku s danými lokalitami a pěstebními opatřeními a vzájemnou závislost.
- Porovnáme vlastnosti v závislosti na horizontální a vertikální pozici v kmeni.

3. Rozbor problematiky

3.1. Borovice lesní (sosna) – *Pinus sylvestris*

Je to jehličnatá dřevina, která roste do výšek 40 – 45 metrů, s průměrem kmene v oddenkové části dorůstajícím až do 100 cm. Na některých stanovištích, například na hranici tundry a lesotundry, může být však pouze keřovitého vzrůstu. Dožívá se 300 (500) let. (Úradníček and Maděra. 2001, Musil and Hamerník 2003)

Koruna je v mládí pravidelná, štíhlá, kuželovitá. Ve stáří je pak naopak nepravidelná, deštníkového charakteru, se silnými větvemi, což se nejvíce projevuje ve středních a jižních oblastech výskytu. Větvení probíhá až v poslední čtvrtině. Dřevo je křehké, a proto nejsou výjimkou polomy způsobené sněhem. (Úradníček and Maděra 2001, Musil and Hamerník 2003)

Kmen je přímý, ovšem v extrémních lokalitách může být velice křivolaký. Kůra je na spodní části kmene velice silná a rozpukává, v horní části je tenká spíše s šupinovitou odlupčivostí a má nápadně rezavou barvu. (Musil and Hamerník 2003)

Kořenový systém je definován křovítkem, který sahá do hloubky 1,5 – 3 m. V suchých písčitých oblastech může jít kořen ještě hlouběji, naopak v rašelinných oblastech je hloubka zakořenění menší. Díky tomu dokáže v případě potřeby čerpat vodu z větších hloubek. Horizontální kořeny se vyskytují do 20 cm pod povrchem. Borovice netrpí vývraty a je proto považována za zpevňující dřevinu. (Úradníček and Maděra 2001, Musil and Hamerník 2003)



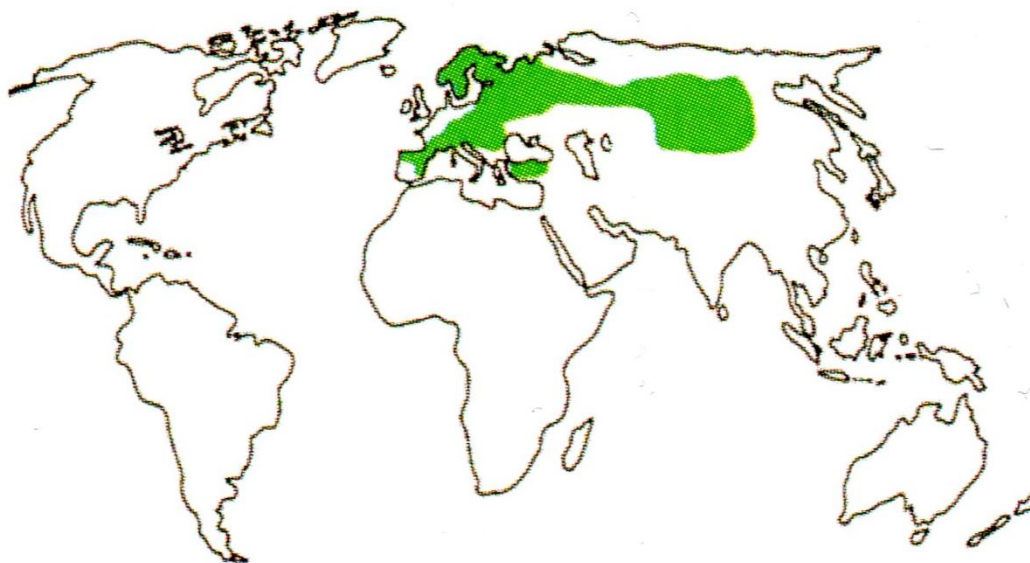
Obrázek 1 – borovice lesní (*Pinus Sylvestris L.*) (Dendrologická databáze 2020)

3.1.1. Rozšíření

Borovice je velice světlomilná dřevina. Díky dlouhému kořenu je schopna čerpat vodu i z veliké hloubky, takže dokáže okupovat i velice suché oblasti, ale nevádí ji ani oblasti podmáčené. (Úradníček and Maděra 2001)

Vyskytuje se ve značné části Eurasie, a to od severozápadní části Pyrenejského poloostrova až po Ochotské moře. Nejjižnější výskyt je zaznamenán ve Španělské Sieře Nevadě a nejsevernější je ve Skandinávii za polárním kruhem. Dosahuje až 1 300 m nadmořské výšky. (Musil and Hamerník 2003, Kremer 1995, Galdina and Khazova 2019)

V České republice se borovice lesní vyskytuje na 16,2 % z celkové plochy porostní půdy, což z ní činí druhou nejběžnější dřevinu. (Ministerstvo zemědělství 2019)



Obrázek 2 – rozšíření borovice lesní (Práce se dřevem 2004)

3.1.2. Využití

Na extrémních stanovištích borovice lesní plní funkci půdoochrannou a rekultivační. V parcích a rekreačních lesích má i funkci okrasnou. Dřevo je dobře odolné proti vodě. Používá se tedy na konstrukce v bednářství, výdřevy šachet, telegrafní sloupy, pražce (jádrové dřevo) a piloty. Dalším zpracováním je pilařská kulatina, vláknina a dýhy. Speciálním využitím je také těžba pryskyřice nebo pěstování pro vánoční stromky (hlavně v USA). (Musil and Hamerník 2003, Práce se dřevem 2004, Hejný et al. 1988)

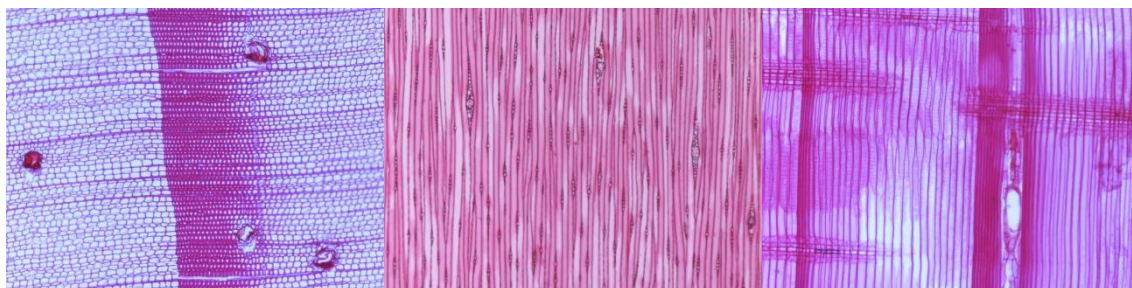
3.1.3. Popis dřeva

Dřevo borovice má širokou běl nažloutlé světlé barvy a úzké jádro hnědočervené barvy. Pryskyřičné kanálky jsou dobře rozlišitelné na všech řezech. Přechody mezi jarním a letním dřevem jsou poměrně náhlé. Samotné dřevo je měkké a lehké. Běl často zamodrává vlivem dřevozbarvujících hub. Jádro je v čerstvém stavu málo zřetelné a tmavne později. (Zeidler and Borůvka 2016)



Obrázek 3 – dřevo borovice lesní (Zeidler and Borůvka 2016)

Mikroskopická stavba se vyznačuje pryskyřičnými kanálky s tenkostěnným epitelem a náhlým přechodem mezi jarním a letním dřevem. Tracheidy nemají spirální ztluštění, ale příčné tracheidy mají ztluštění zubaté. Dřeňové paprsky jsou heterocelulární a v křížovém poli můžeme pozorovat oknový typ ztenčení. (Zeidler and Borůvka 2016)



Obrázek 4 – dřevo borovice lesní (zleva) příčný řez, tangenciální řez a radiální řez (Zeidler and Böhm 2007)

3.2. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva

Pro účely této práce jsou zde uvedeny pouze některé vlastnosti a veličiny klíčové k posouzení vlivu stanoviště a pěstebních postupů na moduly pružnosti.

3.2.1. Hustota dřeva

Hustota dřeva je hmotnost jeho objemové jednotky. U dřeva se hustota vyjadřuje v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, nebo $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a vždy se vztahuje k vlhkosti, při které je měřena. Vzorec pro výpočet hustoty dřeva při vlhkosti w vypadá takto:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}, \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}] \quad (3.2.1.1.)$$

kde m_w – hmotnost při vlhkosti w [kg, g],

V_w – objem při vlhkosti w [m^3 ; cm^3].

Hustota dřeva je velice významná charakteristika, která významným způsobem ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Je to také dobrý indikátor vhodnosti využití dřeva při praktických aplikacích, například nízká hmotnost v poměru ku pevnosti při použití ve stavebnictví nebo poměr hmotnosti a pružnosti při výrobě hudebních nástrojů. (Požgaj et al. 1993, ČSN 49 0108)

3.2.2. Vlhkost dřeva

Vlhkostí dřeva rozumíme obsah vody, který se v daném dřevě vyskytuje. V případě dřeva rozlišujeme dva způsoby vyjádření vlhkosti: absolutní vlhkost, která je vyjádřena poměrem hmotnosti vody ke hmotnosti absolutně suchého dřeva a relativní vlhkost, vyjádřenou poměrem hmotnosti vody ke hmotnosti mokrého dřeva. Oba tyto způsoby se vyjadřujeme v procentech. (Požgaj et al. 1993) Vzorce pro výpočet absolutní a relativní vlhkosti vypadají takto:

$$w_a = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.2.2.1.)$$

$$w_r = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.2.2.2.)$$

kde m_0 – hmotnost dřeva v absolutně suchém stavu [kg, g],

m_w – hmotnost dřeva při vlhkosti w [kg, g].

Voda ve dřevě je u rostoucího stromu jevem kladným, ale u vytěženého dřeva tomu tak není. Vysoká vlhkost vede k větší náchylnosti dřeva k napadení dřevokaznými houbami plísněmi a hmyzem. Dalším nežádoucím jevem je změna rozměrů. (Požgaj et al. 1993)

3.2.3. Deformace dřeva

Deformace dřeva je změna jeho tvaru a rozměrů vyvolaná působením mechanických sil. Rozlišujeme celkem tři typy deformace, a to deformaci pružnou, pružnou v čase a plastickou.

Pružnou (elastickou) deformací rozumíme, že se při ukončení působení vnějších sil dřevo navrátí do výchozího stavu.

Pružná deformace v čase (viskoelastická) je taková deformace, kde po ukončení působení vnějších sil se dřevo nevrátí do výchozího tvaru okamžitě, ale za nějaký čas.

Plastická deformace (trvalá) je nenávratná změna tvaru, která se po ukončení působení vnějších sil nenavrátí do výchozího tvaru a těleso dostává nový tvar a rozměry. (Požgaj et al. 1993)

3.2.4. Pružnost dřeva

Pružnost dřeva definujeme jako schopnost dosáhnout původní tvar a rozměry, po skončení působení vnějších sil. Pro vyjádření pružnosti používáme moduly pružnosti (E), Poissonova čísla (μ), mez úměrnosti (σ_u) a energii pružné deformace (W_p). (Požgaj et al. 1993)

Moduly pružnosti vyjadřují vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci. Čím vyšší modul je, tím větší napětí je potřeba k vyvolání deformace. Moduly pružnosti se udávají v Pa, případně v MPa. Pro účel této práce jsou pro nás důležité pouze modul pružnosti ve statickém ohybu (E_s), který popisuje chování dřeva pod dlouhodobým zatížením a modul pružnosti v ohybu dynamickém (E_d), který popisuje pružnost pod proměnlivým zatížením. (Požgaj et al. 1993)

3.2.5. Akustické vlastnosti dřeva

Dřevo je materiál s vynikajícími akustickými vlastnostmi, což znamená, že dobře vede zvuk.

Zvuk je mechanické vlnění, které pomocí sluchových orgánů vnímáme jako zvukový vjem. Příčinou zvukového vlnění je uspořádaný pohyb molekul, které přenášejí zvuk vzájemným působením. Zvuk je charakterizován vlnovou délkou, frekvencí a rychlostí šíření. (Požgaj et al. 1993) Rychlost šíření zvukových vln je podmíněna vztahem:

$$c = \lambda \cdot f \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.2.5.1.)$$

kde λ – vlnová délka [m],

f – frekvence [Hz].

Rychlost šíření zvukových vln dřevem závisí na jeho hustotě a modulu pružnosti.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.2.5.2.)$$

kde E – modul pružnosti [Pa],

ρ – hustota dřeva [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

3.3. Specifika zkoumaných lokalit a pěstebních postupů

Pro tuto práci byly zvoleny lokality Doks a Plas. Zkoumané pěstební metody byly způsob podrovní a holosečný.

3.3.1. Přírodní lesní oblasti

Na základě geologických, klimatických, ortografických a fyto geografických podmínek je v rámci průzkumu lesních stanovišť Česká republika rozdělena do celkem 41 Přírodních lesních oblastí – PLO (ÚHÚL 2020)

Oblast Doks spadá do PLO 18, severočeské pískovcové plošiny, a Českého ráje, konkrétně do Jestřebské kotliny. Jestřebská kotlina je plocha tektonicky snížená s rašeliništi v povodí Robečského potoka. Časté jsou hřbety tvrdých železitých a křemitých pískovců, které přetínají dno kotliny, a tvoří tak přirozené hráze některých rybníků. Zemina je zde tvořena převážně sprašovou hlínou, vátými písky, rašelinou, říčními terasami a náplavovými kužely. Borovice lesní zabírá 56 % z celkové plochy lesů v PLO 18. (ÚHÚL 2001)

Oblast Plas je součástí PLO 6, západočeské pahorkatiny, konkrétně Kaznějovské pahorkatiny. Kaznějovská pahorkatina je charakterizována širokými rozvodnými hřebeny s plošnými zarovnanými povrchy, převážně v povodí dolní Střely a Berounky. Nachází se zde významné antropogenní tvary jako lomy nebo haldy. (ÚHÚL 2000)

3.3.2. Specifika pěstebních postupů

Specifikací pěstebních postupů se zabývá vyhláška 298/2018 Sb. o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů.

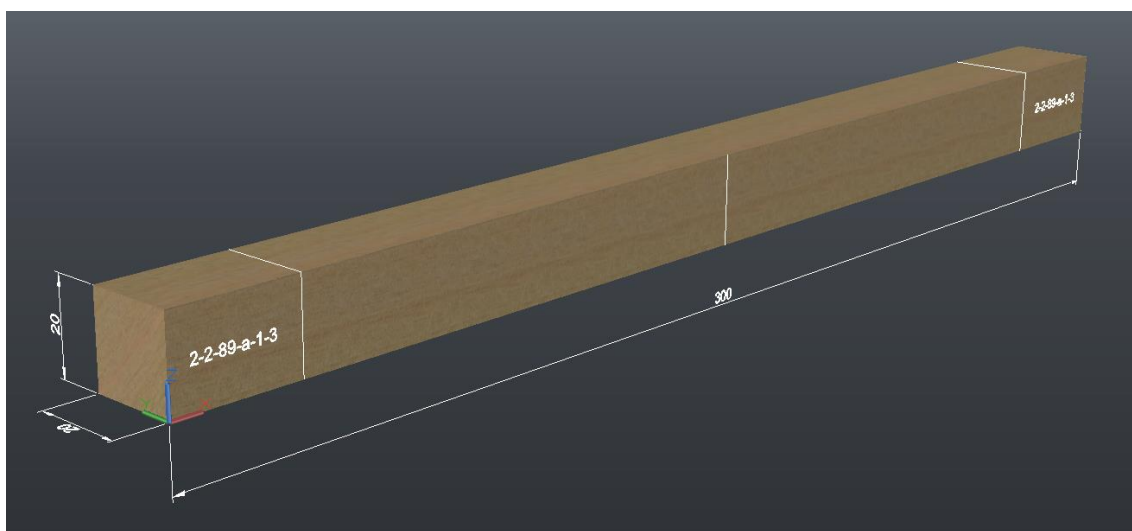
Holosečný způsob je definován tak, že při něm obnova lesních porostů probíhá na souvislé vytěžené ploše, která je širší než průměrná výška těžného porostu.

Podroštní způsob vyhláška definuje tak, že obnova lesních porostů probíhá pod ochranou těžného porostu.

4. Metodika

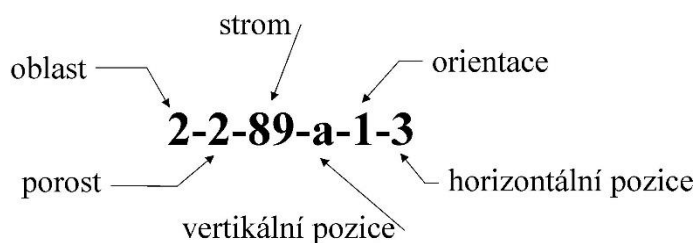
4.1. Zkušební materiál

Z vybraných lokalit Doks v PLO 18 a Plas v PLO 6 byly vytěženy reprezentativní stromy borovice lesní. Ty byly následně pilařsky zpracovány na fošny, které byly převezeny do truhlářské dílny Dřevařského pavilonu FLD České zemědělské univerzity v Praze, kde byly nadále zpracovány na celkem 293 zkušebních těles odpovídající normě ČSN 49 0116, o rozměrech 20x20x300 mm. Na zkušební tělesa byly dále naznačeny středové osy, pro snadnější umístění do univerzálního zkušebního stroje.



Obrázek 5 – vizualizace zkušebního tělesa

Dále byla zkušební tělesa očíslována, aby bylo zajištěno správné zařazení ke správné lokaci a pozici v kmenu.



Obrázek 6 – číslování tělesa

Tabulka 1 – číslování tělesa

oblast	porost	vertikální pozice	orientace	horizontální pozice
1 Doksy	1 podrostní	a bazál	1 sever	1 střed kmene
2 Plasy	2 holosečný	b	2 jih	4

4.2. Experimentální měření

4.2.1. Měření hustoty

Jelikož zkoumaná zkušební tělesa byla použita na několik rozdílných zkoušek, nebylo možno použít standartní rozměry, které udává norma ČSN 49 0108. Zkouška se proto provedla se zkušebními tělesy z podkapitoly Zkušební materiál.

Nejprve byla zkušební tělesa umístěna do klimatizační komory Climacell 707 (GMT Medical Technology s.r.o., Brno, Česká republika), nastavené na tvorbu prostředí při 20 ± 2 °C a 65 ± 5 % relativní vlhkosti vzduchu, což odpovídá cca 12 % absolutní vlhkosti dřeva, do té doby než dosáhly rovnovážné vlhkosti (již nedocházelo ke změně hmotnosti).

Po klimatizaci těles proběhlo měření objemu těles, ke kterému bylo použito pravítka a digitálního posuvného měřítka s přesností na setinu milimetru. Pro měření hmotnosti byla použita váha s přesností na tisícinu gramu.

Naměřené hodnoty byly pomocí vzorce (3.2.1.1.) převedeny na požadovaná data.

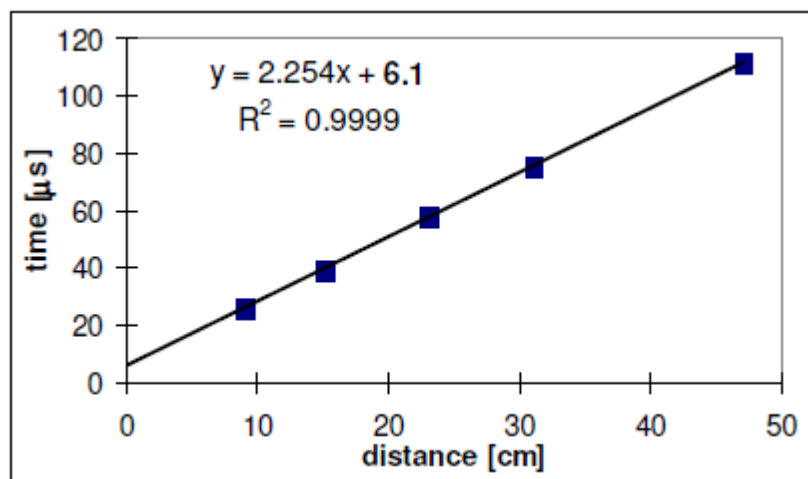
4.2.2. Měření dynamického modulu pružnosti

Pro toto měření byla použita naklimatizovaná zkušební tělesa z předchozího měření.

Jelikož měření dynamického modulu nezachycuje žádná ČSN, tak bylo v tomto případě postupováno podle uživatelské příručky měřicího přístroje FAKOPP UltraSonic Timer.

Přístroj FAKOPP provádí měření rychlosti průchodu ultrazvukových vln zkušebním tělesem. Měření probíhá tak, že se na zkušební těleso přiloží dvě měřící sondy, přičemž jedna z nich vyšle krátký ultrazvukový impulz a druhá sonda jej přijme s určitým časovým zpožděním, které se zobrazí na displeji přístroje.

Čas zobrazený na displeji zahrnuje však nejen rychlost průchodu materiálem, ale i samotnými měřicími sondami, proto je potřeba zjistit čas průchodu při nulové vzdálenosti sond. Tu zjistíme tak, že změříme čas průchodu zkušebním tělesem v pěti vzdálenostech (60, 100, 140, 180 a 220 mm). Závislost času na vzdálenosti pak zaneseme do grafu a proložíme jednotlivými body přímkou. Tato přímka nám protne časovou osu v bodu, který nám udává čas průchodu při nulové vzdálenosti sond. To se dá velice rychle spočítat programem Excel, který má přímo pro tento případ zabudovanou funkci INTERSECT. Toto měření a výpočet korekce se provádí pro všech 293 zkušebních těles.



Graf 1 – ukázka výpočtu korekce při měření přístrojem FAKOPP (Uživatelská příručka FAKOPP Ultrasonic Timer n. d.)

Vzorec pro výpočet rychlosti šíření zvuku je tedy:

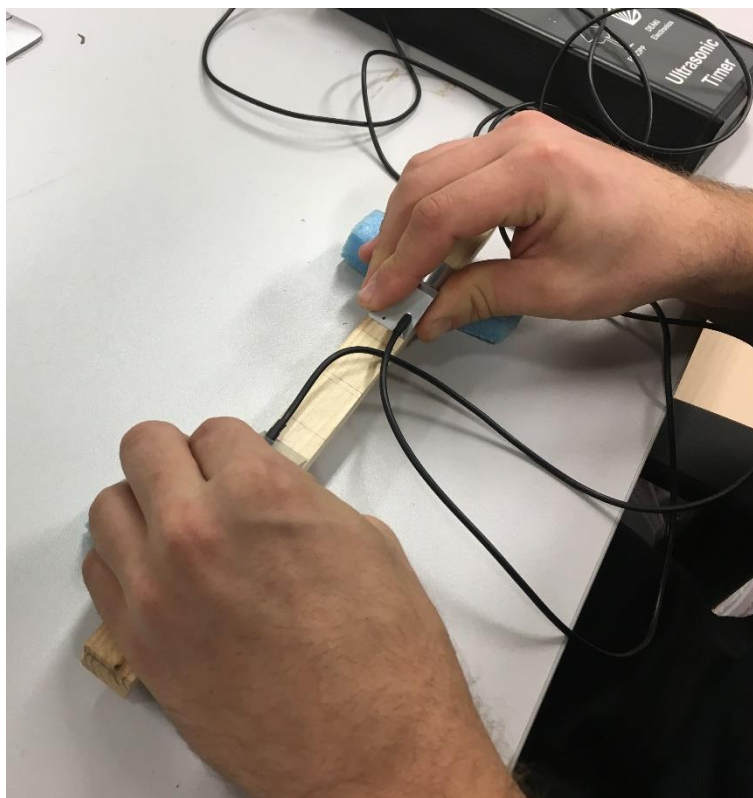
$$c = \frac{d}{t-k} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (4.2.2.1.)$$

kde d – vzdálenost měřících sond [m],

t – čas průchodu ultrazvukových vln [s],

k – čas průchodu ultrazvukových vln při nulové vzdálenosti sond [s].

Pro určení dynamického modulu pružnosti dále postupujeme podle vzorce (3.2.5.2.)



Obrázek 7 – měření pomocí přístroje FAKOPP Ultrasonic Timer

4.2.3. Měření statického modulu pružnosti

Jelikož zkušební tělesa byla součástí rozsáhlejších měření, mezi které patří i zkouška pevnosti v ohybu, nebyl použit čtyřbodový ohyb, jak udává norma ČSN 49 0116, ale ohyb trojbodový podle normy ČSN 49 0115.

Pro toto měření byla použita naklimatizovaná tělesa z předchozích dvou měření.

Měření statického modulu pružnosti bylo provedeno pomocí univerzálního zkušebního stroje vybaveného přípravkem pro trojbodový ohyb Tira 2850 (Tira GmbH, Schalkau, Německo).

Zkušební stroj je ovládán přes vlastní software, pomocí kterého lze nastavit zkušební rychlost a který zaznamenává, jak velkou silou mu klade dřevo odpor v čase.

Rozměry zkušebních těles jsme již před tímto měřením měli k dispozici z předchozího měření hustoty.

Zkušební těleso jsme vložili do přípravku na trojbodový ohyb tak, aby byl střed radiální plochy v ose zatěžovacího trnu, a stroj spustili.

Zátěžový trn se spouštěl konstantní rychlostí proti podpěrám, vzdáleným 240 mm od sebe a zatěžoval tak radiální plochu tělesa do té doby, než je poklesla zatěžovací síla o 10 %, což indikovalo, že byla porušena pevnost tělesa. Posuvná rychlost byla zvolena tak, aby zkouška trvala maximálně 60 ± 30 s. Software zkušebního stroje zaznamenal maximální hodnotu zatížení a čas zkoušky, což se poté využilo k dalším výpočtům.

Měření vlhkosti jsme neprováděli, protože jsme použili naklimatizované vzorky z měření hustoty. Měření proběhlo na všech 293 tělesech. Výsledky měření byly poté dosazeny do následujícího vzorce:

$$E_{oh} = \frac{\Delta F \cdot l_0^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta y} \quad [\text{MPa}] \quad (4.2.3.1.)$$

kde E_{oh} – statický modul pružnosti [MPa],

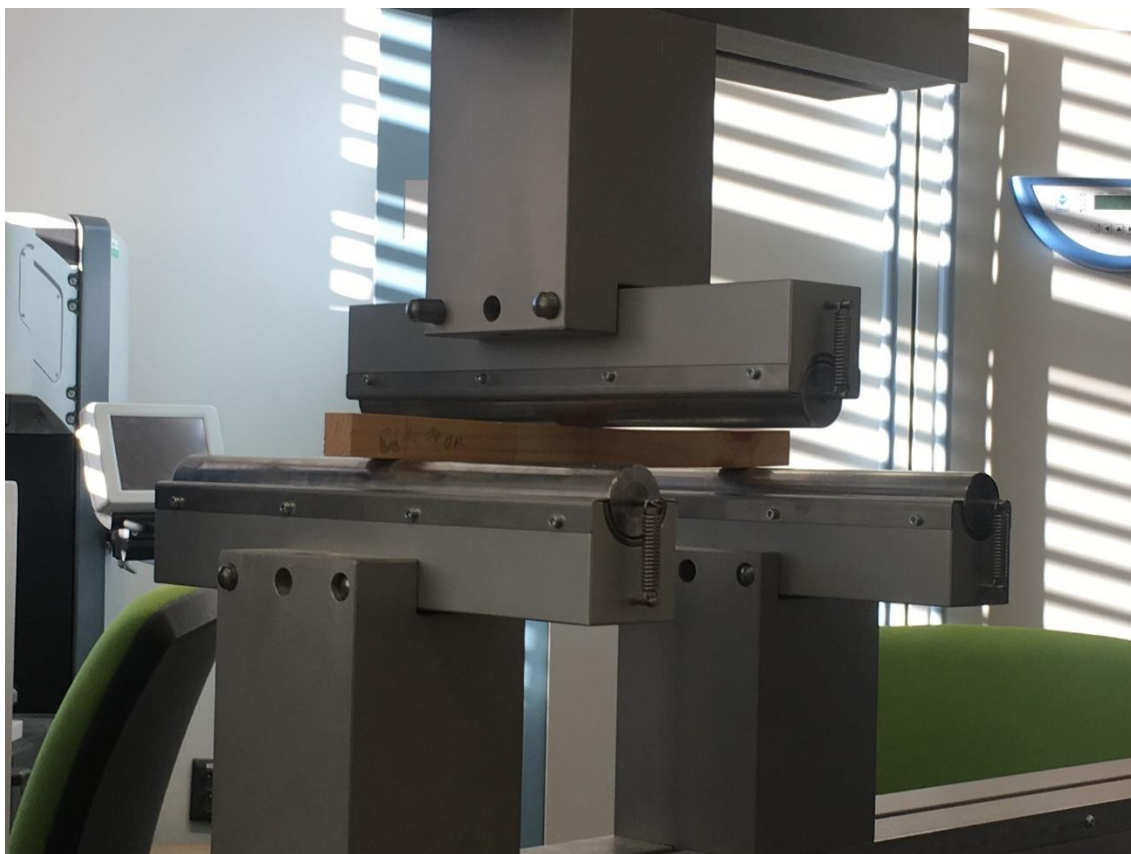
ΔF – rozdíl zatížení při 40 % a 10 % [N],

l_0 – vzdálenost středů podpěr = $12 \cdot h$ [mm],

b – šířka zkušebního tělesa [mm],

h – výška zkušebního tělesa [mm],

Δy – rozdíl velikosti deformace (průhybu) při 40 % a 10 % zatížení [mm].



Obrázek 8 – měření statického modulu pomocí univerzálního zkušebního stroje

4.2.4. Vyhodnocení dat

Výsledky naměřených hodnot byly v případě základních statistických charakteristik zpracovávány do tabelární podoby. Dále byl počítán korelační koeficient a pro vyhodnocení vlivů více faktorová ANOVA, pro které byla zvolena grafická podoba. Pro analýzu dat, tvorbu grafů a některých tabulek byl použit program Statistica společnosti Tibco (USA). Zbývající tabulky byly zpracovány v programu Excel od společnosti Microsoft (USA).

5. Výsledky a diskuze

Tabelární formou se vyjadřují veškeré základní statistické charakteristiky. Kromě aritmetického průměru obsahuje i směrodatnou odchylku, variační koeficient, medián, minimum a maximum. Grafická forma je použita pro názorné porovnávání vlivu stanoviště a porostu.

5.1. Hustota

Příslušné základní statistické charakteristiky zachycuje následující tabulka:

Tabulka 2 – základní statistické charakteristiky hustoty [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

lokality	porost	průměr	medián	min.	max.	směrodatná odchylka	variační koeficient
Doksy	podrovní	548	543	495	639	31	0,057
	holosečný	533	531	440	679	52	0,097
	oba	538	536	440	679	46	0,085
Plasy	podrovní	520	517	428	640	46	0,089
	holosečný	494	479	402	644	61	0,123
	oba	504	502	402	644	57	0,113

Průměrná hustota se zdá být v Doksech vyšší než v Plasech a to o $34 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tento rozdíl je však nižší než směrodatná odchylka, a proto není významný. Srovnáme-li však na velikosti směrodatných odchylek, vidíme, že holosečný porost vykazuje vyšší variabilitu výsledků.

Podíváme-li se na hodnoty uváděné ve výběru z odborné literatury, nacházíme určitou variabilitu hodnot:

Tabulka 3 – hustota uváděná v literatuře

pramen	ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
Horáček 2008	535
Kafka 1989	520
Wagenführ 2002	510
Borůvka and Zeidler 2016	543
Dřevařská technická příručka 1970	470

Rozptyl uváděných hodnot se pohybuje od $470 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ až po $543 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tyto hodnoty jsou uvedeny pro relativní vlhkost dřeva 12 %, s výjimkou Kafky (1989), který uvádí hodnoty kolem 15 % relativní vlhkosti. V žádném z těchto pramenů nejsou rozlišovány pěstební postupy.

Schönfelder et al. (2018) uvádějí hodnoty naměřené v Doksech, s rozdělením na pěstební postupy.

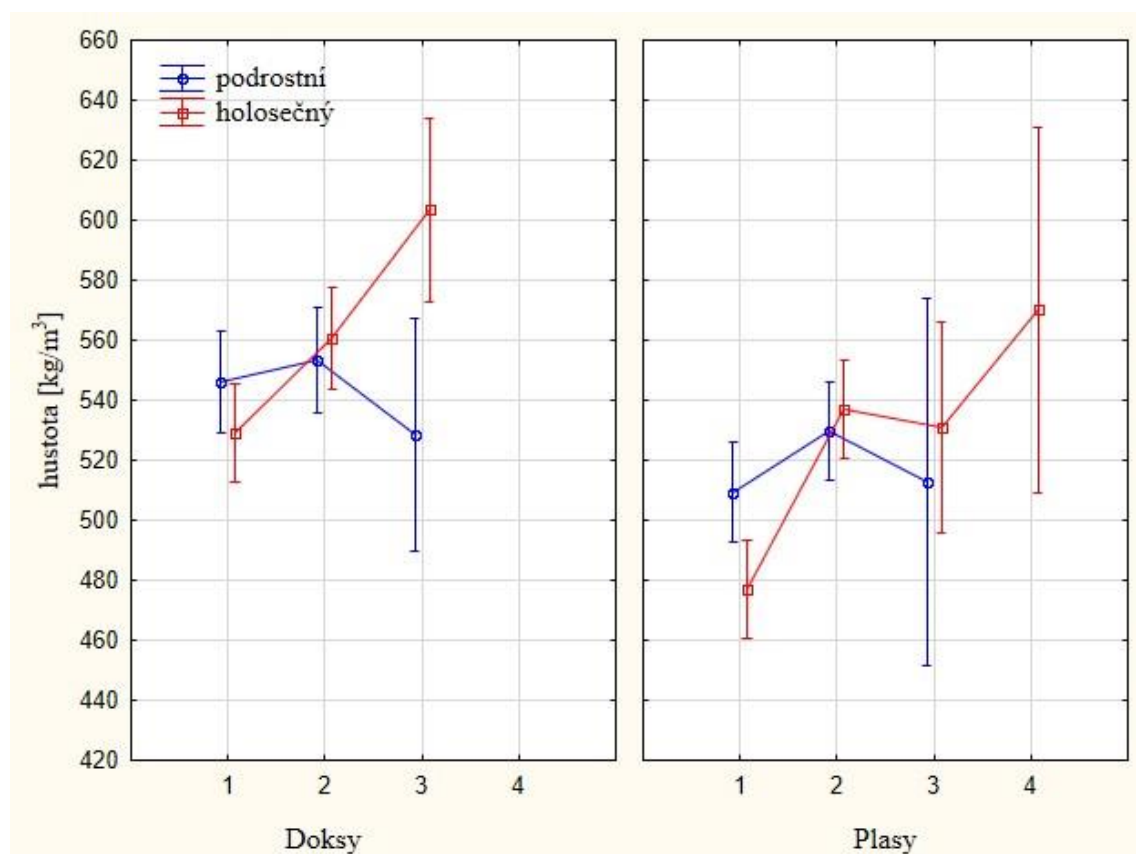
Tabulka 4 – hustota v Doksech (Schönfelder et al. 2018)

pěstební postup	podrostní	holosečný
hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] \pm SO	489 ± 40	506 ± 50

Srovnáme-li uvedené hodnoty s průměrnou hustotou dřeva v Doksech a Plasech, zjistíme, že se obě hodnoty nachází v rozmezí určeném literaturou. Směrodatná odchylka v Doksech je však poněkud nižší než v Plasech, což by mohlo být způsobeno stálejšími klimatickými podmínkami.

Podíváme-li se na hustotu přímo v Doksech a porovnáme z hodnotami uvedenými Schönfelderem et al. (2018), všimneme si, že obě charakteristiky hustoty nám vycházejí vyšší. Vzhledem k velikosti směrodatné odchylky je ovšem větší rozdíl pozorován u podrostního postupu.

Když se podíváme na rozložení hustoty v horizontálním směru, nacházíme toto:



Graf 2 – profil hustoty v horizontálním směru v bazální pozici

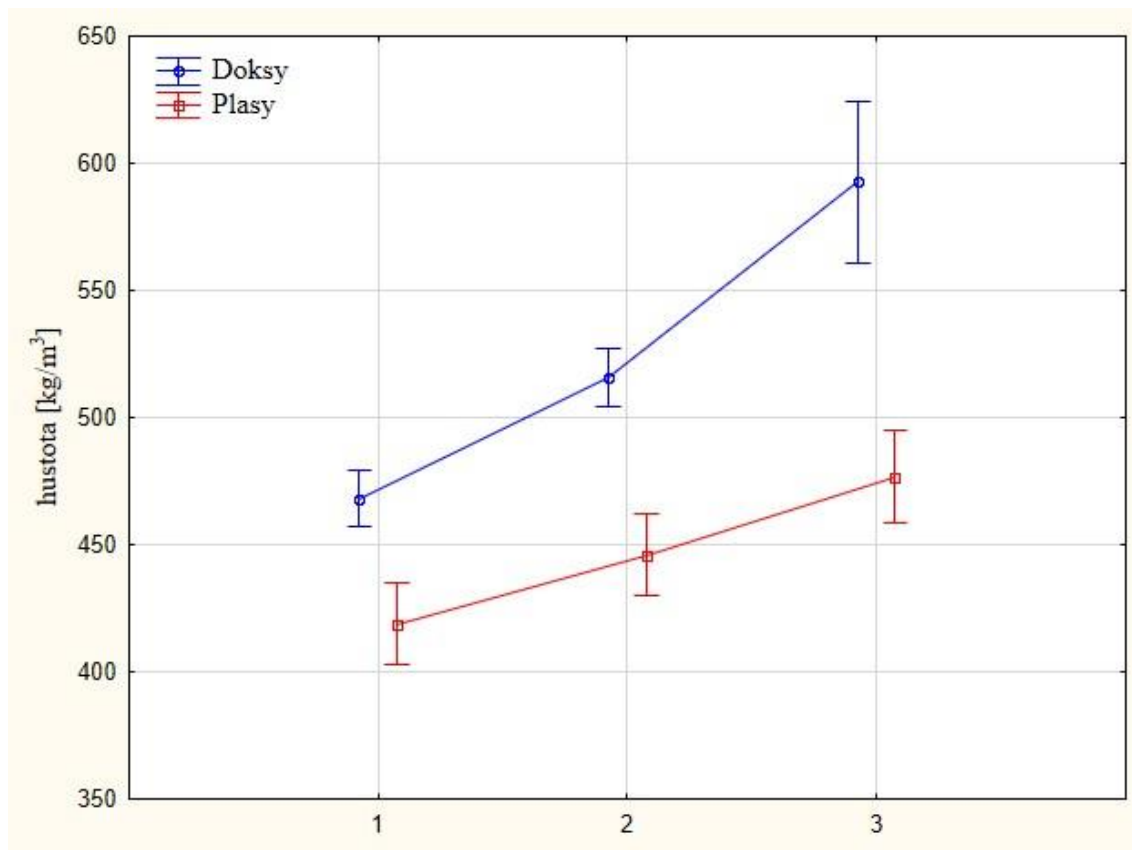
Z tohoto grafu je na první pohled zřejmé, že holosečný pěstební postup má co se hustoty týče rostoucí tendenci, zatímco podrovní postup má poněkud konstantnější průběh. Podrovní postup vykazuje z počátku vyšší hodnoty, ale holosečný postup díky své rostoucí tendenci má vyšší hodnoty konečné.

Požgaj et al. (1997) uvádí, že se hustota v rámci kmene mění v důsledku odlišnosti fyziologických a mechanických vlastností jeho různých částí. Borovice má podle něj stejnou tendenci jako smrk, a to vzrůstající hustotu s rostoucím věkem, což je způsobeno tím, že čím je strom starší, tím má menší přírůsty, a tudíž jemnější letokruhy. Menší přírůsty mohou být pak do jisté míry ovlivňovány tím, že si koruny stromů vzájemně stíní.

Holosečný porost má nižší počáteční hodnoty, protože mladé stromy mají dostatek světla a rostou rychle. Se zvyšujícím věkem si však začínají víc a více stínit, což vede k užším letokruhům a tudíž rostoucímu trendu hustoty.

Podrovní způsob na druhou stranu vykazuje vyšší počáteční hodnoty, protože jsou stromy jako mladé stíněny mateřským porostem, a proto mají užší letokruhy, než způsob holosečný. Příčiněním toho je také trend konstantnější. U pozice 3 pak pravděpodobně došlo k proclonění, což významným způsobem ovlivnilo variabilitu.

Z reprezentativních vzorků stromů, byla také odebrána zkušební tělesa, z jedné třetiny výšky stromu, pokud byl pro tento účel průměr kmene dostatečný. To bylo v našem případě provedeno pouze u holosečného pěstebního postupu z obou lokalit:



Graf 3 – profil hustoty v horizontálním směru v jedné třetině výšky stromu pro holosečný postup

Požgaj et al. (1997) uvádí, že se hustota dřeva s rostoucí výškou stromu zmenšuje. To si můžeme ověřit porovnáním počátečních hodnot v grafu 2 a grafu 3. Dále pozorujeme opětý rostoucí trend charakteristický pro holosečný postup, způsobený zjemňováním letokruhů. Rozptyl hodnot je v jedné třetině výšky stromu mnohem nižší.

5.2. Dynamický modul pružnosti.

Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 5 – základní statistické charakteristiky dynamického modulu pružnosti [MPa]

lokality	porost	průměr	medián	min.	max.	směrodatná odchylka	variační koeficient
Doksy	podrovní	11471	11186	6693	18765	407	0,036
	holosečný	12535	12187	5626	22737	349	0,028
	oba	12147	11860	5626	22737	270	0,022
Plasy	podrovní	10562	10398	4672	17927	409	0,039
	holosečný	11563	11202	6156	18447	323	0,028
	oba	11168	10792	4672	18447	256	0,023

Průměrné hodnoty dynamického modulu pružnosti jsou v Doksech vyšší, než v Plasech a to o 979 MPa. Jedná se o významný rozdíl s přihlédnutím ke směrodatné odchylce.

Směrodatná odchylka je však na rozdíl od statického modulu pružnosti poněkud vyšší, což poukazuje na vyšší rozptyl hodnot než v případě statického modulu pružnosti.

Literatura pro porovnání, použita v předchozích dvou případech, bohužel neobsahuje dynamický modul pružnosti, nicméně Kafka (1989) a Zeidler and Borůvka (2016) uvádějí rychlost průchodu zvuku v podélném směru, z čehož můžeme pomocí vzorce (3.2.5.2.) dynamický modul vypočítat.

Tabulka 6 – dynamický modul pružnosti uváděný v literatuře

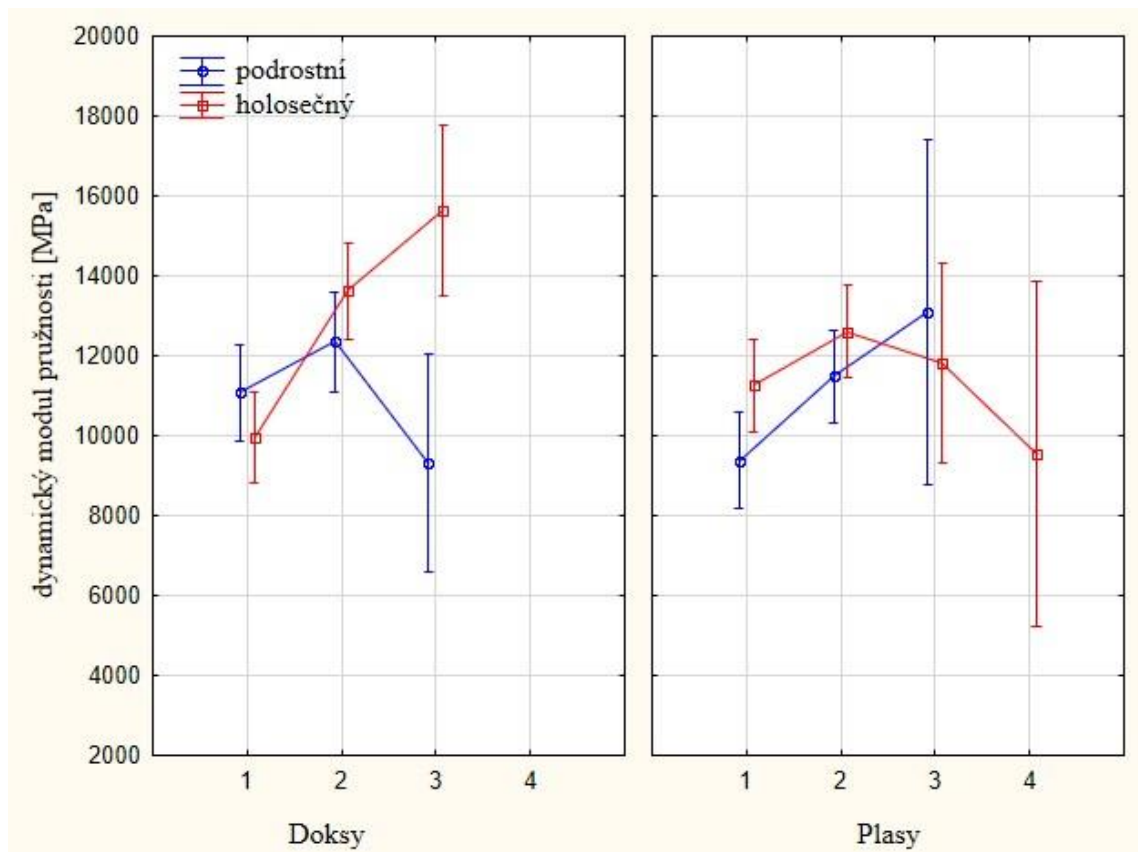
pramen	E_{dyn} [MPa]
Kafka 1989	12 103
Borůvka and Zeidler 2016	11 590

Naměřené průměrné hodnoty dynamického modulu pružnosti v Doksech jsou o 44 MPa vyšší než vyšší hodnota v literatuře, tedy Kafka (1989). Ovšem s přihlédnutím ke směrodatné odchylce se nemusí jednat o výrazný rozdíl.

Naopak průměrná hodnota v Plasech je nižší, než uvádějí Zeidler and Borůvka (2016) a to o 422 MPa, což směrodatná odchylka již nepokryje.

Důvodem této odlišnosti je fakt, že literatura nedělí výsledky na jednotlivé oblasti, ale uvádí průměr z několika oblastí. Porovnáme-li hodnoty tedy s průměrem z obou stanovišť, tedy 11 673 MPa, vidíme že tato hodnota se již do udaného rozmezí vejde.

Podíváme-li se na rozložení dynamického modulu pružnosti v horizontálním směru:



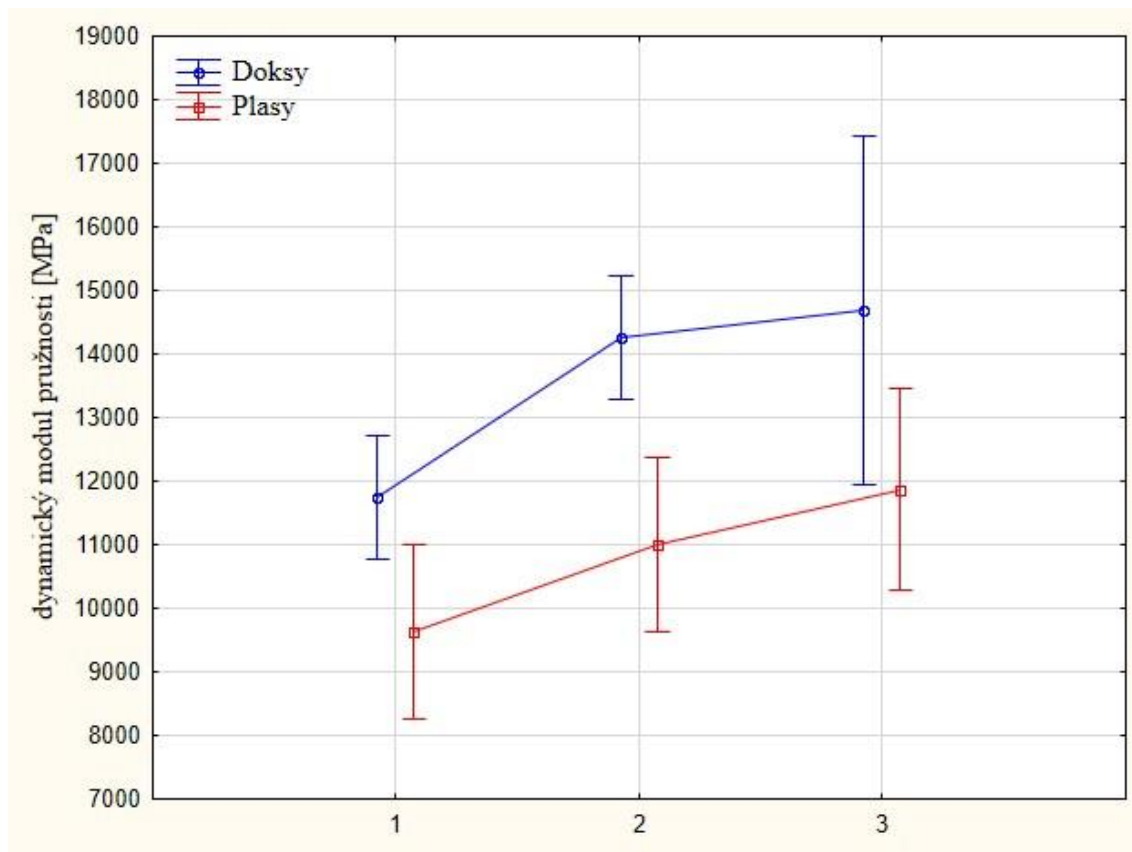
Graf 4 – profil dynamického modulu pružnosti v horizontálním směru v bazální pozici

pozorujeme opět charakteristický nárůst u holosečného postupu v Doksech, avšak opět v Plasech vidíme nestandardní pokles s nárůstem variability jako u statického modulu pružnosti.

Podrostní postup opět sleduje konstantnější průběh, ale zas jako v případě statického modulu pružnosti vidíme na třetí pozici v Doksech pokles a v Plasech výrazný nárůst variability, nejspíš opět způsobený procloněním.

V tomto grafu jsou opět vidět podobné trendy, jako u statického modulu pružnosti (graf 4) a hustoty (graf 2), což opět poukazuje na možnou korelaci.

Dynamický modul pružnosti v jedné třetině výšky stromu jsme opět zjišťovali pouze pro holosečný způsob v obou lokacích:



Graf 5 – profil dynamického modulu pružnosti v horizontálním směru v jedné třetině výšky stromu pro holosečný způsob

U tohoto grafu můžeme opět pozorovat růstovou tendenci charakteristickou pro holosečný pěstební postup. Hodnoty v Doksech jsou opět trochu vyšší než hodnoty v Plasech. Na třetí pozici však můžeme u Doks pozorovat výrazný nárůst variability, zatímco Plasy mají variabilitu konstantnější.

Podobnost tohoto grafu se statickým modulem pružnosti (graf 5) a hustotou (graf 3) opět poukazují na možnou korelaci. Závislost dynamického modulu pružnosti na hustotě je již popsána jeho vzorcem (3.2.5.2.). Z něj je zřejmé, že modul pružnosti roste, čím je rychlost průchodu zvukových vln a hustota dřeva vyšší.

5.3. Statický modul pružnosti

Výsledky měření statického modulu pružnosti zachycuje následující tabulka:

Tabulka 7 – základní statistické charakteristiky statického modulu pružnosti [MPa]

lokality	porost	průměr	medián	min.	max.	směrodatná odchylka	variační koeficient
Doksy	podrovní	9814	9569	5390	13772	288	0,029
	holosečný	9999	10261	5013	16011	250	0,025
	oba	9931	10070	5013	16011	190	0,019
Plasy	podrovní	9489	9277	5709	14124	293	0,031
	holosečný	9061	8925	5010	15665	254	0,028
	oba	9230	9068	5010	15665	192	0,021

V tomto případě pozorujeme výrazný rozdíl mezi průměrnými hodnotami obou lokací a to 701 MPa. Jedná se o významný rozdíl, což můžeme soudit z velikosti směrodatné odchylky. Směrodatná odchylka je v porovnání s hustotou poměrově nižší, z čehož se může vyvodit poměrově nižší variabilita hodnot než v případě hustoty.

Odborná literatura uvádí pro statický modul pružnosti tyto hodnoty:

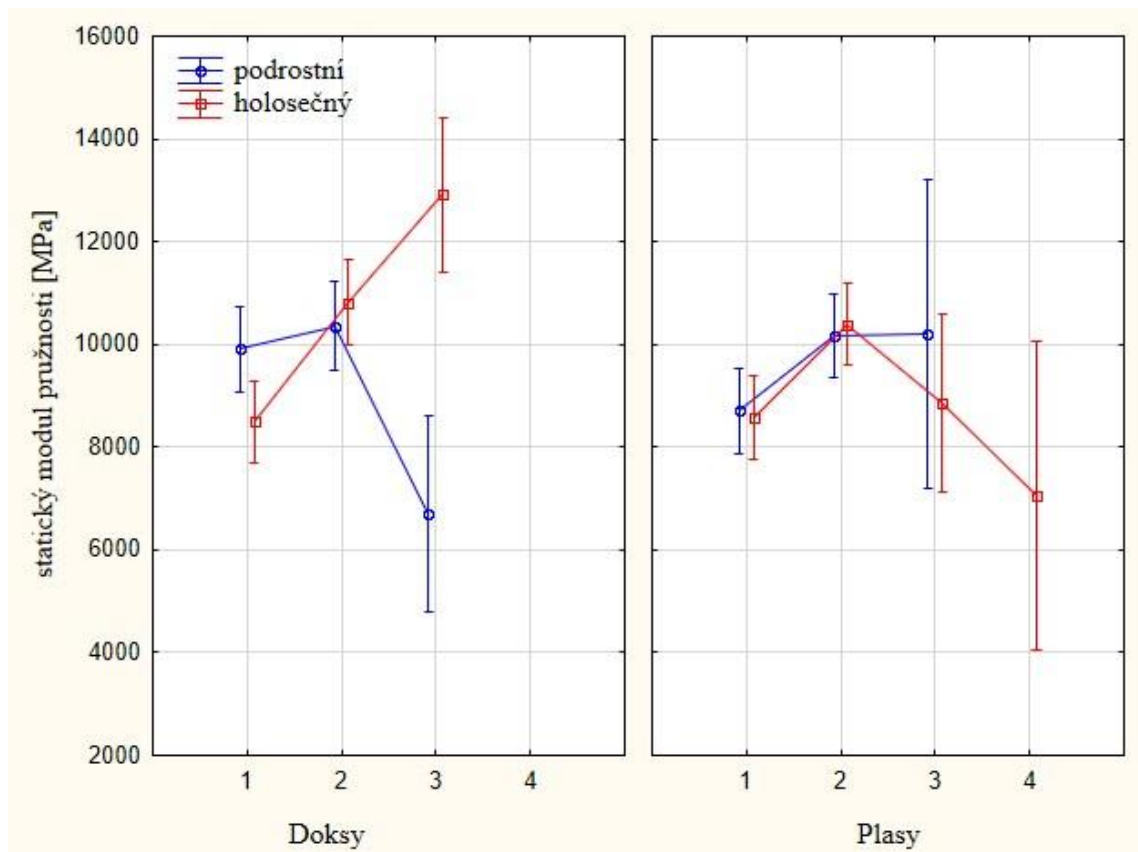
Tabulka 8 – statický modul pružnosti uváděný v literatuře

pramen	E_{oh} [MPa]
Horáček 2008	15 000
Kafka 1989	12 000
Wagenführ 2002	12 000
Borůvka and Zeidler 2016	10 620
Dřevarařská technická příručka 1970	12 000

Hodnoty v literatuře se pohybují v rozpětí 10 620 až 15 000 MPa, což jsou hodnoty výrazně vyšší než hodnoty naměřené. Jako v případě hustoty jsou uvedené hodnoty pro 12 % relativní vlhkosti dřeva, s výjimkou Kafky (1989), který uvádí hodnoty pro 15 %.

Zkušební tělesa pro tato měření byla vybrána tak, aby reprezentovala průřez kvalitami řeziva. Nebyl tedy kladen důraz na bezvadnost těchto zkušebních těles, což vede k nižším průměrným hodnotám statického modulu pružnosti.

Jako v případě hustoty porovnáme i rozložení statického modulu pružnosti v horizontálním směru:

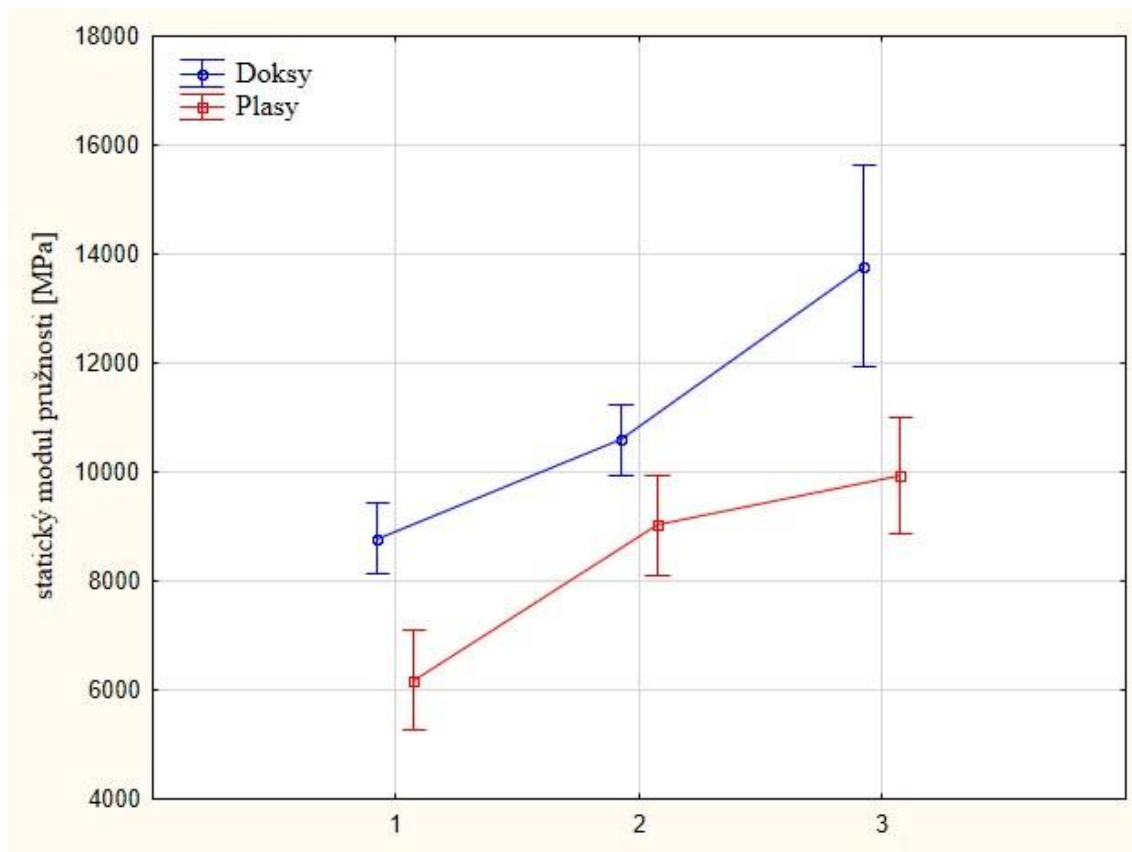


Graf 6 – profil statického modulu pružnosti v horizontálním směru v bazální pozici

Statický modul pružnosti má u holosečného postupu v oblasti Doks opět rostoucí tendenci, avšak v Plasech pozorujeme klesající tendenci a výrazný nárůst variability, což není standartní. Podrovní postup vykazuje opět konstantnější průběh, ovšem ve třetí pozici pozorujeme v oblasti Doks výrazný pokles a v oblasti Plas veliký rozptyl, oboje pravděpodobně způsobeno procloněním.

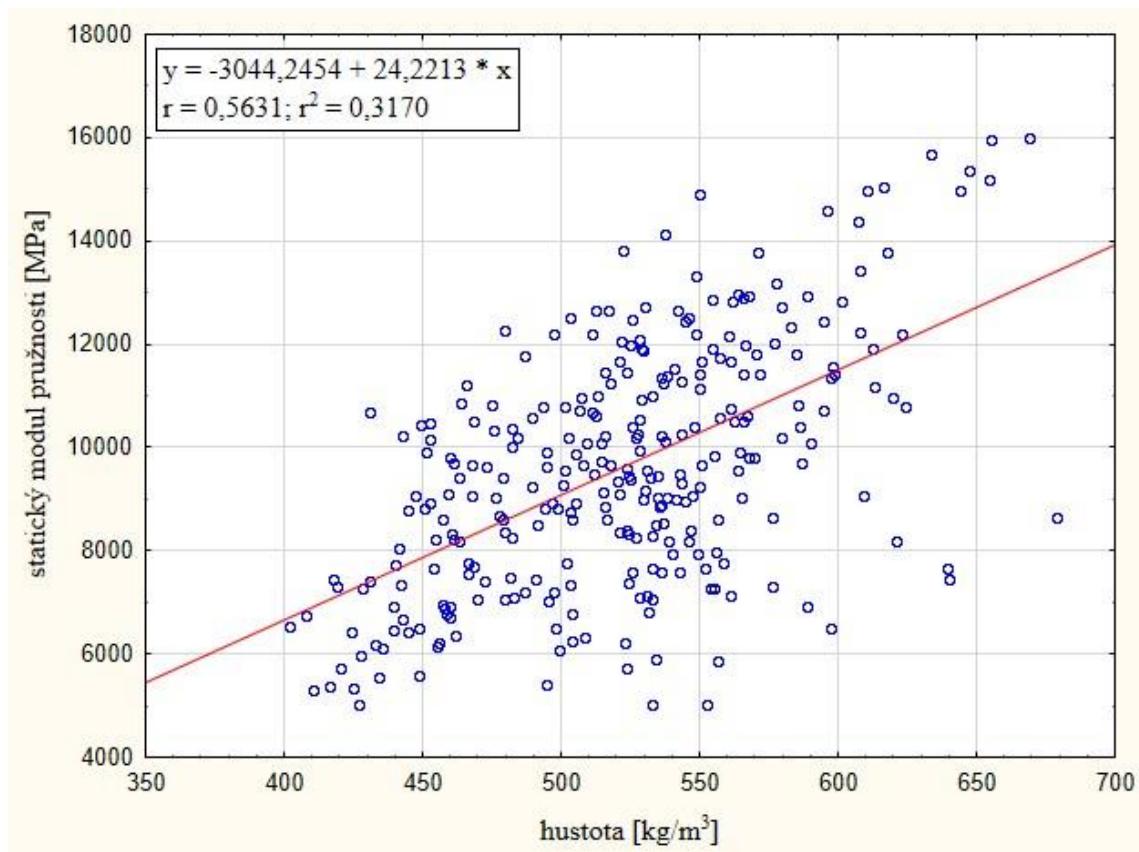
Porovnáme-li horizontální profil statického modulu pružnosti s horizontálním profilem hustoty (graf 2), můžeme pozorovat určité podobnosti, což napovídá možné korelaci mezi těmito dvěma veličinami.

Jako v případě hustoty byla pro měření statického modulu pružnosti v jedné třetině výšky stromu k dispozici pouze zkušební tělesa holosečného pěstebního postupu z obou lokalit:



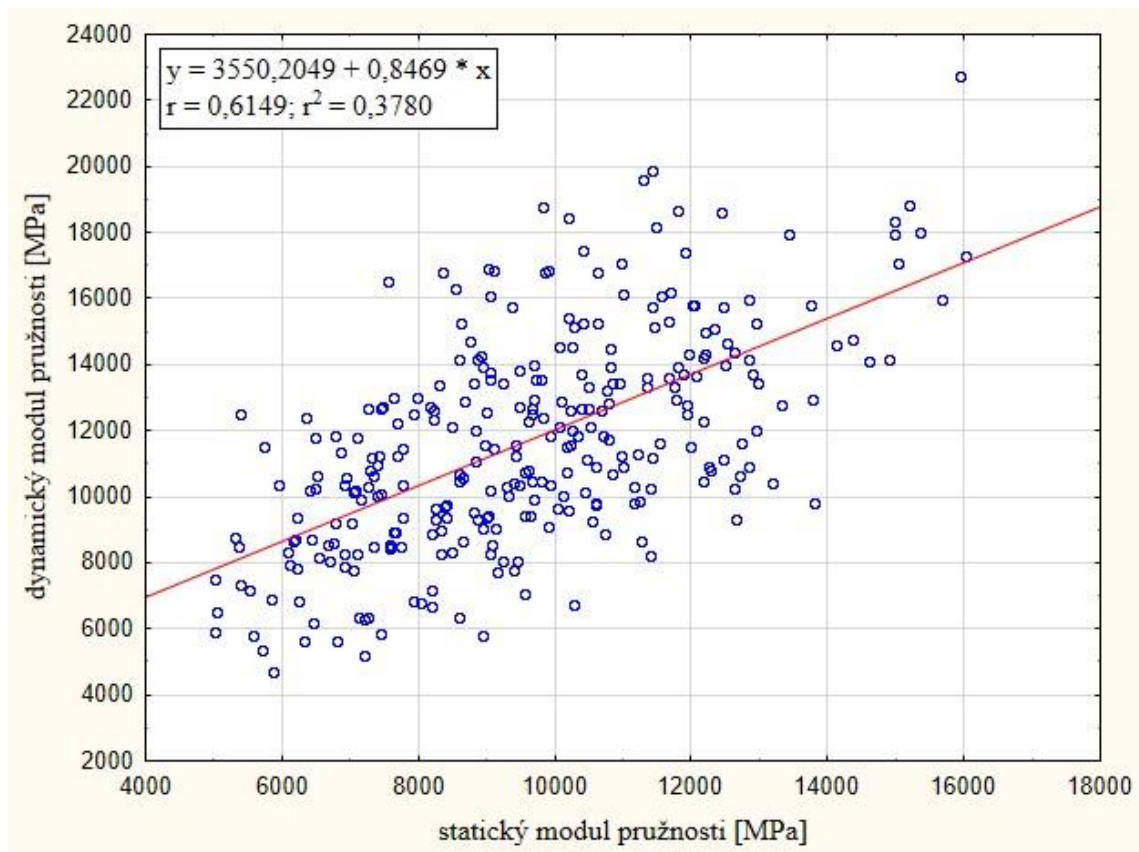
Graf 7 – profil statického modulu pružnosti v horizontálním směru v jedné třetině výšky stromu pro holosečný postup

Podíváme-li se na pozici v jedné třetině výšky kmene, tak vidíme, že v oblasti Doks je opět, jako v případě hustoty, průměrná hodnota vyšší, než v oblasti Plas. Rozptyl hodnot je opět nižší a můžeme zde pozorovat pro holosečný postup charakteristickou rostoucí tendenci, a to i v případě Plas, kde byla v bazální pozici (graf 4) klesající. Rostoucí tendence stejně jako v případě hustoty (graf 3) opět poukazuje na možnou korelaci statického modulu pružnosti a hustoty:



Graf 8 – korelace mezi statickým modulem pružnosti a hustotou

Pozitivní korelační koeficient poukazuje na to, že se tyto dvě veličiny do jisté míry ovlivňují. Statický modul bude tedy ovlivňován stejnými skutečnostmi, jako hustota zejména pak zastínění a proclonění. Pěstební postup má tedy vliv na statický modul pružnosti.



Graf 9 – korelace dynamického modulu pružnosti a statického modulu pružnosti

Korelace statického modulu pružnosti a dynamického modulu pružnosti nám vychází ještě lépe než korelace statického modulu pružnosti a hustoty (graf 6). Obě tyto veličiny jsou na sobě docela výrazně závislé.

Doplňkovými faktory ovlivňujícími hustotu i moduly pružnosti může být výskyt juvenilního dřeva, které se může vyskytovat až do patnáctého roku růstu borovice a má obecně nižší hustotu a hůře vede zvuk. Dalším podobným fenoménem je dřevo reakční. (Bucur 2006, Požgaj et al. 1993).

6. Závěr

Cílem práce bylo posoudit vliv stanoviště a pěstebních opatření na moduly pružnosti dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) v lokalitách Doks a Plas a u pěstebních opatření holosečného a podrostního a dále zhodnotit i případné další zdroje variability těchto vlastností, včetně vlivu hustoty.

Naměřené hodnoty hustoty odpovídaly rozpětí hodnot udávaných v literatuře. Profil hustoty dřeva po šířce kmene odpovídá tomu, co uvádí Požgaj et al. (1993) a to, že průměrné hodnoty hustoty stoupají je kraji kmene.

Průměrné hodnoty v Doksech byly o něco málo vyšší než průměrné hodnoty v Plasech, což ovšem nemusí být významné vzhledem k velikosti směrodatné odchylky. Nižší hodnoty směrodatné odchylky v Doksech, než v Plasech však poukazuje na menší variabilitu výsledků. Lokalita tedy, i když jen v malé míře, má vliv na hustotu dřeva.

Výraznější je však profil hustoty po šířce kmene, který má u holosečného pěstebního postupu rostoucí tendenci, avšak u postupu podrostního je tendence konstantnější, což poukazuje na to, že pěstební postupy hustotu ovlivňují.

Průměrné hodnoty statického modulu pružnosti jsou nižší, než jsou hodnoty uváděné v literatuře. U profilu po šířce kmene opět pozorujeme u holosečného postupu rostoucí trend a u podrostního postupu trend poněkud konstantnější. Holosečný postup v oblasti Plas má však neobvyklou klesající tendenci s nárůstem variability. Při vzájemné korelaci statického modulu a hustoty pozorujeme kladný korelační koeficient, což poukazuje na to, že je statický modul do jisté míry na hustotě dřeva závislý. Průměrné hodnoty z jednotlivých lokalit se výrazně liší, přihlížíme-li ke směrodatné odchylce. Tyto skutečnosti opět poukazují na to, že statický modul pružnosti je závislý na lokalitě a pěstebním postupu.

Průměrné rozdíly mezi stanovišti u dynamického modulu byly největší a opět významné, i když variabilita výsledků byla v tomto případě vyšší. Profil hustoty po šířce kmene vykazoval stejné trendy, jako u statického modulu pružnosti. Holosečný pěstební postup opět vykazoval nárůst, ovšem v Plasech opět nestandardní pokles, kdežto podrostní postup měl opět konstantnější průběh.

Průměrná hodnota dynamického modulu u Doks byla vyšší, než udává literatura, ovšem vzhledem k velikosti směrodatné odchylky to nemuselo být významné. U Plas byly však průměrné hodnoty dynamického modulu pružnosti výrazně nižší. Stanoviště ovlivňuje dynamický modul asi v nejvyšší míře.

Všechny zkoumané vlastnosti a veličiny vykazovali vyšší hodnoty v Doksech než v Plasech. V případě hustoty to nemuselo být významné, vzhledem k velikosti rozptylu, ovšem statický a dynamický modul vykazují rozdíly větší. Pro tyto vlastnosti a veličiny proto vychází lokalita Doks lépe než lokalita Plas.

O pěstebních postupech se dá obecně říct, že všechny zkoumané vlastnosti a veličiny vykazovali u holosečného postupu nárůst, až na nestandardní výjimku u Plas, kde hodnoty statického a dynamického modulu pružnosti vykazovaly neobvyklý pokles a nárůst rozptylu.

Podrovní postup se vyznačoval konstantnějším průběhem. Výraznou roli u podrovního postupu hraje, kdy došlo k proclonění.

7. Použité zdroje

Bucur, V. 2006. *Acoustics of Wood*. Springer Series in Wood Science, 2006. ISBN 978-3-540-30594-1.

ČSN 49 0108. *Dřevo. Zisťovanie hustoty.*

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

ČSN 49 0116. *Dřevo. Metóda zisťovanie modulu pružnosti pri statickom ohybe.*

Dendrologická databáze. 2020. Detail druhu. *Dendrologická databáze*. [Online] ČZU, 2020. [Cited: 26. duben 2020] https://hsmap.cz/app/czu/foto_pz/orig/pinsyl_habitus3.jpg.

Dřevařská technická příručka. 1970. Praha : SNTL, 1970. 04-821-70.

FAKOPP Ultrasonic Timer User Guide. FAKOPP Ultrasonic Timer User Guide;. [Online] [Cited: 20 Duben 2020.] <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiBiKaKrIPpAhVIDmMBHbCBBbwQFjABegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Ffakopp.com%2Fdocs%2Fproducts%2Fultrasonic%2FultrasonicGuide.pdf&usg=AOvVaw1IsZMnA0GsvbZw4gOsfHk>.

Galdina, T. and Khazova, E. 2019. Adaptability of *Pinus sylvestris* L. to various environmental conditions. Conf. Ser. Earth Environ. Sci., 2019, p. 316.

Hejný, S., Slavík, B., Chrtěk, J., Tomšovic, P. and Kovanda, M. 1988. *Květena České socialistické republiky*. Praha : Academia, 1988.

Horáček, P. 2008. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I* . Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 3-1204.126.

Kafka, E., Coufal, R., Čermák, J., Drahoš, V., Hajšl, V., Havlíček, V., Hejma, J., Jankovský, J., Kafka, E., Korger, M., Koukal, M., Koželuh, B., Kubín, J., Kučera, S., Kudrna, J., Lukavský, L., Medonos, V., Mikula, J., Nagy, V., Nečesaný, V., Novotný, M., Pěnička, K., Prokeš, S., Samek, J., Sochor, M., Stojčev, A., Straka, J., Skripeň, J., Šteller, Š., Trnobranský, K., Vávra, A., Velemínský, Z. and Viktorin, Z. 1989. *Dřevařská příručka část 1*. Praha : SNTL, 1989. ISBN 80-03-00009-2 .

Kremer, B. 1995. *Stromy: v Evropě zdomácnělé a zavedené druhy*. Praha : Knižní klub, 1995. ISBN 80-7176-184-2.

Ministerstvo zemědělství. 2019. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018*. Praha : Ministerstvo zemědělství, 2019. ISBN 978-80-7434-530-2.

Musil, I. and Hamerník, J. 2003. *Lesnická dendrologie 1. Jehličnaté dřeviny.* Praha : Česká zemědělská univerzita, 2003. pp. 47 – 53. ISBN 80-213-0992-X – 2. ed..

Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S. and Babiak, M. 1993. *Štruktúra a vlastnosti dreva.* Bratislava : Příroda, 1993. ISBN 80-07-00600-1.

Práce se dřevem. 2004. *Práce se dřevem: encyklopedie : průvodce truhlářstvím a řezbářstvím pro domácí dílnu.* Praha : Columbus, 2004. ISBN 80-7249-187-3.

Schönfelder, O., Zeidler, A., Borůvka, V., Bílek, L. and Lexa, M. 2018. Shrinkage of Scots pine wood as an effect of different tree growth rates, a comparison of regeneration methods. *JOURNAL OF FOREST SCIENCE.* 64, 2018, pp. 271-278.

ÚHÚL. 2020. Naše činnost. *Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem.* [Online] Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, 2020. [Cited: 1 duben 2020.] <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/97-oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo>.

— **2001.** OPRL – Severočeská pískovcová plošina a Český ráj. [Online] duben 2001. [Cited: 1 duben 2020.] http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/oprl_oblasti/OPRL-LO18-Severoceska_piskovcova_plosina_a_Cesky_raj.pdf.

— **2000.** OPRL – Západočeská pahorkatina. [Online] 2000. [Cited: 1 duben 2020.] <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo/163-prirodni-lesni-oblast-c-6-zapadoceska-pahorkatina>.

Úradníček, L., and Maděra, P. 2001. *Dřeviny České republiky.* Písek : Matice Lesnická, s.r.o., 2001. ISBN 80-86271-09-9.

Wagenführ, R. 2000. *Holzatlas.* Leipzig : Fachbuchverlag, 2000. ISBN 10: 3446213902 / ISBN 13: 9783446213906.

Zeidler, A. and Böhm, M. 2007. Mikroskopická stavba dřevin. *Mikroskopický atlas dřevin.* [Online] ČZU, 2007. [Cited: 26 duben 2020.] http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/atlas_drev/index5317.html?sekce=atlas&drevina=BOROVICE_LESNI.

Zeidler, A. and Borůvka, V. 2016. *Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin - podklady pro cvičení.* Praha : Česká zemědělská univerzita; Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016. ISBN 978-80-213-2674-3.