

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Vliv impregnace přírodní a syntetické pryskyřice na
vybrané mechanické a fyzikální vlastnosti bukového dřeva

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

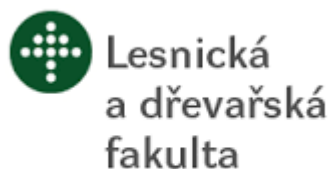
2016/2017

Jakub Syrovátko

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě



**Vliv impregnace přírodní a syntetické pryskyřice na vybrané
mechanické a fyzikální vlastnosti bukového dřeva**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Čermák, Ph.D.

Vypracoval:

Jakub Syrovátko

V Brně roku 2017

Čestné prohlášení

*Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „**Vliv impregnace přírodní a syntetické pryskyřice na vybrané mechanické a fyzikální vlastnosti bukového dřeva**“, vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s §47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

Jsem si vědom, že se na mojí práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova Univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odstavce. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) se vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případně příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne

Podpis:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svým rodičům, kteří mě po celou dobu mého studia podporovali a povzbuzovali. Dále veliké poděkování patří chlapcům z Ústavu nauky o dřevě a to především svému vedoucímu Ing. Petrovi Čermákovi, Ph.D., a konzultantovi Ing. Petrovi Pařilovi, Ph.D a Ing. Martinovi Brabcovi, Ph.D za jejich nabídku bakalářské práce, odborné vedení, cenné připomínky a čas při řešení problematiky. V neposlední řadě jim děkuji, za trpělivost mě věnovanou při vzniku této bakalářské práce.

Abstrakt

Jakub Syrovátko

Vliv impregnace přírodní a syntetické pryskyřice na vybrané mechanické a fyzikální vlastnosti bukového dřeva

Předmětem bakalářské práce byla analýza vlivu impregnace přírodní a syntetické pryskyřice na vybrané materiálové vlastnosti dřeva. Pro tento výzkum bylo použito dřevo buku (*Fagus sylvatica* L.), jenž je nejlépe impregnovatelná dřevina pro zkoumání této vlastnosti. Zkušební tělesa o rozměrech 20 × 20 × 30 mm byla vakuově impregnována přírodní a syntetickou pryskyřicí při 20 kPa po dobu 1,5 hod. Následně byl hodnocen hmotnostní přírůstek (WPG) a experimentálně stanoveny hodnoty meze pevnosti a modulu pružnosti v tlaku podél vláken. Naměřená data byla statisticky analyzována a výsledky diskutovány a porovnány s literaturou.

Klíčová slova: Buk; impregnace dřeva; pryskyřice; mez pevnosti; modul pružnosti; tlak

Abstract

Jakub Syrovátko

Influence of natural and synthetic resins impregnation on selected mechanical and physical properties of beech wood

The aim of this thesis was to analyze the influence of natural synthetic resins impregnation on selected material properties of wood. Beech (*Fagus sylvatica* L.) wood used in present study, as a wood species considered as easy to be impregnated. Specimens with dimensions of 20 × 20 × 30 mm were vacuum impregnated by natural and synthetic resins at 20 kPa for 1.5 hours. Afterwards, the weight percentage gain (WPG) was evaluated and modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) in compression parallel to the grain were experimentally determined. Obtained data sets were statistically analyzed and results were discussed and compared to relevant literature.

Key words: Beech; wood impregnation; resin; modulus of rupture; modulus of elasticity compression

OBSAH

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 1 |
| 2 | CÍL PRÁCE | 2 |
| 3 | LITERÁRNÍ PŘEHLED | 3 |
| 3.1 | Buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i> L.) | 3 |
| 3.1.1 | Stavba dřeva buku | 4 |
| 3.1.2 | Fyzikální a mechanické vlastnosti bukového dřeva..... | 5 |
| 3.1.3 | Rozměrové změny bukového dřeva | 6 |
| 3.1.4 | Využití bukového dřeva v praxi..... | 6 |
| 3.2 | Impregnace dřeva přírodní a syntetickou pryskyřicí | 7 |
| 4 | MATERIÁL A METODIKA..... | 10 |
| 4.1 | Zkušební tělíska | 10 |
| 4.1.1 | Měření rozměrů a hmotnosti zkušebních vzorků | 11 |
| 4.2 | Impregnace dřeva pryskyřicí | 12 |
| 4.2.1 | Příprava impregnačních látek..... | 12 |
| 4.2.2 | Postup vakuové impregnace..... | 13 |
| 4.3 | Měření nasycených vzorů a jejich zhodnocení | 16 |
| 4.4 | Mechanické vlastnosti dřeva | 18 |
| 4.4.1 | Tlak podél vláken | 18 |
| 4.5 | Vyhodnocení naměřených dat | 20 |
| 4.6 | Statistické vyhodnocení | 21 |
| 5 | VÝSLEDKY | 23 |
| 5.1 | Zhodnocení impregnace bukových tělísek | 23 |
| 5.1.1 | Hmotností přírůstek WPG..... | 23 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.1.2 | Rozdíl hustot u tělísek před a po modifikaci..... | 23 |
| 5.2 | Mechanické zkoušky | 24 |
| 5.2.1 | Výsledky v tlaku podél vláken..... | 24 |
| 6 | DISKUZE | 30 |
| 7 | ZÁVĚR | 32 |
| 8 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 33 |

1 ÚVOD

Dřevo je těžko zastupitelná surovina v dějinách lidstva. Víme, že dřevo je nejen krásné napohled kvůli struktuře, ale také se snadno opracovává. Lze ho využívat nejen jako zdroj energie či tepla, ale především k výrobě dřevěných prvků pro stavební účely, konstrukcí nábytku, výrobu nástrojů a nářadí, atd. Dřevo je v porovnání s ostatními materiály přírodní, obnovitelný, snadno opracovatelný, estetický a ekologický materiál.

Předkládaná bakalářská práce se zabývá dřevem Buku (*Fagus sylvatica* L.), který je ve střední Evropě velmi rozšířený. V nejbližších letech bude buk tvořit 20-30% celkové těžby v ČR a jeho další využití pro zpracování bude velice žádané. Hlavním problémem je nestálost bukového dřeva při vystavení povětrnostním vlivům, ať se již jedná o bobtnání, kroucení či praskání, biologickou odolnost, apod. Naproti tomu je bukové dřevo jako základní surovina dřevem s vysokou hustotou a vykazuje velkou pevnost, což se jeví jako vhodná vlastnost pro venkovní zatěžované konstrukce. Díky nízké odolnosti proti povětrnostním vlivům, tento materiál není zcela vhodný, pro venkovní použití.

V současné době se vývoj v oblasti vědy a výzkumu věnuje problematice cílené změny materiálových vlastností (modifikace dřeva) za účelem zvýšení užitných vlastností v konečném výrobku. Závěrečná práce se zabývá analýzou vlivu močovino-formaldehydové pryskyřice a smolnaté pryskyřice (výtažek ze dřeva smrku, modřínu a borovice) na vybrané vlastnosti dřeva. Předkládaná bakalářská práce by měla rozšířit základní poznatky z oblasti impregnace dřeva, modifikace vlastností dřeva a možnosti uplatnění dřeva buku na trhu.

2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je analýza vlivu impregnace pomocí smolnaté (výtažek ze dřeva smrku, modřínu a borovice) a močovino-formaldehydové pryskyřice na vybrané materiálové vlastnosti dřeva buku (*Fagus sylvatica* L.). Vliv přírodní a syntetické pryskyřice bude sledován pomocí hmotnostních přírůstků (WPG) a vyhodnocen pomocí mechanické zkoušky v tlaku podél vláken (mez pevnosti, modul pružnosti).

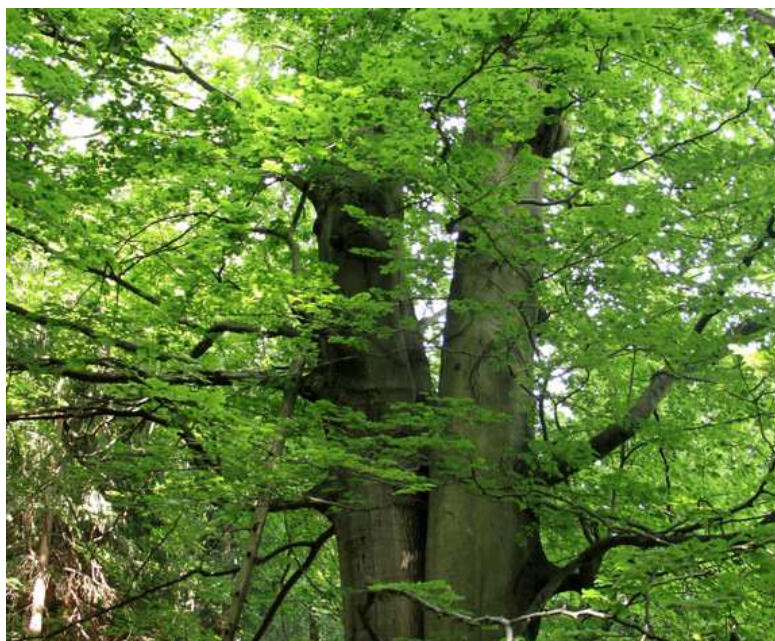
Dílním cílem je zhodnocení možnosti využití přírodní pryskyřice, obsažené v jehličnatém dřevě, pro změnu materiálových vlastností dřeva a případném využití v praxi.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

Následující kapitola se věnuje bližšímu seznámení s materiálem, využitým v bakalářské práci. U dřeva buku uvedeme krátký úvod, nejprve začneme stavbou samotného dřeva (makroskopickou, mikroskopickou stavbu a chemické složení). Dále se zaměříme na fyzikální a mechanické vlastnosti, dále na využití dřeva buku v praxi. Závěrem budou představeny základní poznatky z oblasti impregnace dřeva přírodní a syntetickou pryskyřicí.

3.1 Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.)

Buk je to jedna z nejpěstovanějších listnatých dřevin u nás. Samotná dřevina se může dožít zhruba 300 až 400 let. Dřevo je poměrně tvrdé, ale i velmi pevné. Patří do rodu *Fagus*, kde v mírném pásu severní polokoule se objevuje až 10 různých druhů této dřeviny (Patričny, 2005). Nejběžnější druh vyskytující se u nás je Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.). Patří do našeho domácího druhu. Těžko tuto dřevinu přehlédneme v naší krajině. Roste do výše 20 až 30 metrů. Plody v jádře bukvic jsou jedlé. Tato dřevina je velmi oblíbená na okrasu naší krajiny, zahrad, školních a jiných areálů, díky jeho vzhledu.

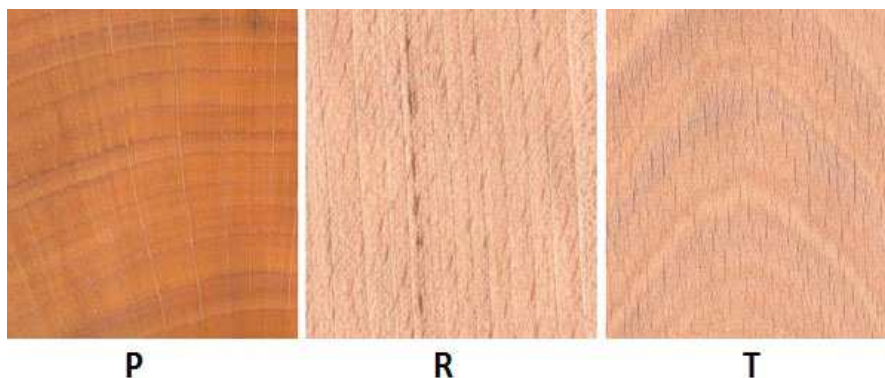


Obr. 1 Koruna stromu buku lesního (*Fagus sylvatica* L.)

3.1.1 Stavba dřeva buku

Jak již bylo zmíněno výše, stavba dřeva je u jednotlivých dřevin různorodá. Každá stavba dřeva má jiné fyzikální i mechanické vlastnosti, odolnost, trvanlivost. Dále však také technologii zpracování dřeviny a její nejvhodnější ochranu. Dále bude vysvětlena stavba dřeva buku na makroskopické a mikroskopické úrovni a jeho chemického složení.

Makroskopická stavba dřeva je pohled na dřevo, kde od něho se odvíjí i vnitřní složení dřeva. Mezi prvotní charakteristiky řadíme zaprvé letokruhy, jádro, běl, pryskyřičné kanálky (pouze u jehličnatých dřevin), samotnou dřeň, dřeňové paprsky, dřeňové skvrny, vyzrálé dřevo, cévy, kambium, kůru a lýko. Podle letokruhů se odvíjí další makroskopická stavba, je to nejdůležitější znak, který hodnotíme při prvním pohledu. Buková stavba letokruhů patří do skupiny dřevin listnatých s roztroušeně pórovitou stavbou. U roztroušeně pórovité skupiny dochází ke špatně rozlišitelnému přechodu jarního dřeva od letního v letokruzích. Buk patří mezi bělové dřevo, což znamená v našem případě, že buk nemá jádro, ale však nevyzrálé jádro. Bělové dřevo je snadno impregnovatelné, čili snadno propustné pro kapalinu, ale také náchylné na hnilobu. Jak bylo již dříve zmiňováno, u buku se vyskytuje často nepravé jádro, což pro nás znamená vadu dřeva. Dřeňové paprsky jsou velmi dobře viditelné na všech řezech dřeva buku (podélný, radiální a tangenciální). Dřeňové paprsky u buku mohou mít šířku 1 mm, výšku 5 až 12 mm na tangenciálním řezu. Letní cévy v našem případě jsou velmi špatně vidět pouhým okem, ale můžeme je vidět jako malinkaté bílé tečky. Barva bukového dřeva je narůžovělá, nahnědlá, v některých případech červenohnědá (pařené dřevo červeně zbarvené), u starých stromů bývá častý výskyt nepravých jader. Buk patří také mezi lesknoucí se dřeva (Požgaj et al., 1997).



Obr. 2 Bukového dřeva v řezu příčném, radiálním a tangenciálním

Mikroskopická stavba dřeva je u listnatých a jehličnatých dřevin odlišná, především složitější strukturou a přítomností cév. Základní elementy dřeva mikroskopické stavby dřeva

jsou cévy, libriforní vlákna, tracheidy a parenchymatické buňky. Hlavní funkcí cévy je vedení vody, avšak cévy se vyskytují jen u listnatých dřevin. Tracheidy jsou u bukového dřeva révovité, poměrně krátké do 5 mm. Libriforní vlákna mají funkci stabilizace a zpevnění, kde podíl těchto vláken je mezi 37 až 44 %, avšak záleží vždy na druhu dřeviny (Požgajet al., 1997).

Chemické složení dřeva je tvořeno pomocí celulózy, hemicelulózy a ligninu. Doprovodné složky dřeva jsou především anorganické a organické látky. Zastoupení celulózy u listnatých dřevin je 41-48 %. Hemicelulózu dělíme na maněny, které tvoří 3-5 % u listnáčů, xylany, které u listnáčů tvoří až 35 %, a galaktany. Zastoupení galaktanů pro buk je velmi malé, zhruba (0,5 – 3 %). Dále lignin pro listnaté dřeviny má již větší podíl okolo 19-28 %, který má větší variabilitu svého složení než-li je u jehličnatých dřevin. Bukové dřevo obsahuje 39,2 % celulózy, 35,3 % hemicelulózy a 20,9 % ligninu (Požgaj et al., 1997).

3.1.2 Fyzikální a mechanické vlastnosti bukového dřeva

K fyzikálním vlastnostem dřeva je pro nás nyní důležitá hustota dřeva a propustnost pro kapalinu, dále z pohledu mechanických vlastností nás zajímá především pevnost a pružnost dřeva.

Hustota dřeva může být popsána ve třech vlhkostních stavech, avšak je to hustota dřeva v suchém stavu, dále při vlhkosti 12 % a hustota dřeva vlhkého. Bukové dřevo patří do skupiny dřev se středně pohybující se hustotou a to od 540 do 720 kg.m⁻³ při vlhkosti 12 %. Průměrná hodnota hustoty dřeva Buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) je při suchém stavu 685kg.m⁻³ a při vlhkosti 12 % to je 720 kg.m⁻³ (Hill, 2006).

Propustnost pro kapaliny u listnatých dřevin je podíl propustnosti vyšší než-li u jehličnatých dřevin. Tento fakt je dán v přítomnosti cév u listnáčů obecně. Propustnost dřeva závisí na anatomické stavbě dřeva, hustotě dřeva a na sušení dřeva (Horáček, 2001). U buku víme, že obsahuje nepravé jádro, které jsme již zmiňovali. Díky nepravému jádru je buk známý nízkou propustností pro kapaliny. V nepravém jádře se nachází thyly, kde dochází k zathylování a tedy špatné propustnosti dřeva. Dále významnou roli hraje tvorba jádrových buněk ve dřevě. Dále thyly se vyskytují jen ve vyvinutém nepravém jádře.

Pružnost dřeva nám vyjadřuje velikost napětí, které si můžeme představit při ohýbání dřeva. Pružnost obecně a dále hodnota pružnosti je hlavní a klíčová pro navrhování konstrukčních prvků staveb, konstrukcí nábytku, atd. Modul pružnosti pro buk v ohybu je 13 100 MPa (Novák, 2013).

Pevnost dřeva je charakterizována jako maximální napětí dřeva, které působí na danou plochu a dané těleso, jenž toto napětí může vydržet. Faktory, které z největší části ovlivňují pevnost dřeva, je druh dřeva, vlhkost a hustota. Teplota je zde také klíčová a odpovídající. Pevnost se zvyšuje s klesající teplotou (Holan, 2008). V Tab. 1 jsou zobrazeny průměrné hodnoty pevnosti pro buk lesní při vlhkosti dřeva 12 %.

Tab. 1: Pevnost bukového dřeva při vlhkosti 12% (Ugolev, 1975)

| Pevnost bukového dřeva v MPa při w = 12 % | | | | | | | |
|---|----------------|-----------|-----------------|------------|------------------|-----------|-------------|
| Pevnost v ohybu | Pevnost v tahu | | Pevnost v tlaku | | Pevnost ve smyku | | |
| | | | | | ve směru | napříč | stříhová |
| 109 | podélná | R / T | podélná | R / T | R / T | R / T | R / T |
| | 123 | 4,4 / 3,4 | 55,5 | 12,9 / 8,5 | 11,6 / 14,5 | 7,7 / 7,6 | 52,3 / 47,1 |

3.1.3 Rozměrové změny bukového dřeva

Rozměrové změny bukového dřeva nastávají při bobtnání a sesychání dřeva, tedy při změně vlhkosti. Sesychání u bukového dřeva má v podélném směru hodnotu 0,3 %, ve směru radiálním je hodnota 5,0%, v posledním směru a to tangenciálním hodnotu 11,8% (Lexa, 1952). U koeficientů sesychání v objemu 0,55 %/1 %w, radiálního 0,18 %/1 %w a tangenciálního 0,35 %/1 %w (Perelygin, 1960).

3.1.4 Využití bukového dřeva v praxi

Buk má velmi dlouhou životnost, některé údaje píší až 800 let. Buk oproti jehličnatým dřevinám, nebo spíše smrku, může mít až dvojnásobnou délku žití. I přesto může být bukové dřevo netrvanlivé. Přirozená trvanlivost je stanovena pomocí základního úbytku dřeva ve stanovené době (Horáček, 2008). Využití bukového dřeva díky jeho krásné barvě se nejvíce používá v nábytkářství a to především pro ohýbaný nábytek (např. křesla, židle, různé dekorace, atd.). Buk je nejdůležitější surovinou pro výrobu dýh, dřevotřískových a dřevovláknitých desek, parket a překližek. Bukové dřevo se využívá pro výrobu hraček, v domácnostech, ale i na výrobu pažeb zbraní, atd.

3.2 Impregnace dřeva přírodní a syntetickou pryskyřicí

Impregnovatelnost dřeva je schopnost přijímat kapalné látky. Základní anatomická stavba dřeva nám už v prvopočátku určuje, jak bude schopná přijímat jiné látky, tedy impregnovatelnost samotná. Dřeva lze dělit do různých tříd či skupin, jak jsou schopná impregnovat. Základní třídění dřev lze dělit, na lehce impregnovatelné (dřevo se proimpregnuje v celém svém objemu), středně lehce impregnovatelné (dřevo impregnované po dobu 2 až 3 hodin pomocí tlaku, kde u jehličnanů se dřevo proimpregnuje cca 6 mm hluboko a u listnatých dřevin pouze do cév), obtížně impregnovatelné (boční průnik kapaliny může dosahovat v rozmezí 3 až 6 mm po tlakové impregnaci v rozsahu 3 až 4 hodin) a extrémně obtížně impregnovatelné (u extrémně obtížně dochází po době 4 až 6 hodin pouze k minimálnímu bočnímu a čelnímu průniku (Holan, 2008). Další specifikací, která nám určuje impregnovatelnost je dělení zóny dřeva a to je buď bělové dřevo, jádrové dřevo, nepravé dřevo a dřevo zralé. Buk je velmi dobře impregnovatelný, jenž má bělové dřevo a zralé. Jádrové a nepravé dřevo zařadíme do skupiny extrémně obtížně impregnovatelného (Reinprecht, 2008).

Způsoby impregnace dřeva dělíme do dvou velkých skupin a to beztlaková a tlaková impregnace. Do beztlakové impregnace patří máčení, ponořování, natírání, stříkání, bandážování a injektáž. Máčení je prováděno především v kádích, kde se dřevo ponoří a zatíží, abychom eliminovali vyplavení na hladinu. Oproti tomu ponor lze snadno rozeznat od máčení a to dobou ponoru. Ponor trvá zlomek času, jedná se zhruba od několika sekund do pár minut. U máčení trvá ponor půl hodiny a déle. Natírání a stříkání, ale i ponořování má negativní dopad na nedostatečnou hloubku impregnace. V této kategorii není dřevo vhodné pro sanační ochranu, hodí se pouze pro povrchový účel. Bandážování, jak si můžeme vysvětlit, je proces, při kterém se dřevo obalí porézní látkou (bandáží), která je napuštěna speciální chemickou látkou, dřevo je většinou mokré pro jeho lepší mísení pomocí difúze. Bandáž se dále obalí folií, která je nepropustná a zaručí přilnutí bandáže ke dřevu. U bandážového způsobu je velmi známé, že tato metoda se používá, když bude dřevo čelit negativním vlivům podzemní vody, tedy bandáž se používá na sloupy, které jsou zapuštěny do země. Vhodné pro bělové dřevo. Injektáž je proces, kde je látka vpouštěna do dřeva pomocí dřívě vyvrtaných otvorů ve dřevě. Do otvorů o velikosti 8 až 10 mm je vpravována látka pomocí injekční stříkačky, anebo speciálního přístroje, který je podobný infuzi ve zdravotnictví. Při injektáži hrozí únik látky přes možné trhliny ve dřevě. Tlaková impregnace je nejvhodnější z hlediska hloubky nasycení látky ve dřevě. Tlaková impregnace patří k velmi častým průmyslovým metodám.

Známa tlaková impregnace je pomocí hydrostatického tlaku podle Boucheriho. Metoda Boucheriho je známá vtačováním látky do čel čerstvě pokáceného dřeva, které nejsou odkorněny. Ochranná látka je v nádrži vysoko, kde je velký výškový rozdíl, a díky tlaku je látka vháněna do čel kmenů. Tato tlaková impregnace je velmi vhodná u bělových dřev, například smrk. Mezi další tlakové impregnace patří impregnace vakuová, která je prováděna pomocí podtlaku ve speciálním zařízení. Pomocí podtlaku je dále vháněna ochranná látka do dřeva, tedy při postupném uvolňování tlaku je dřevo napouštěno ochrannou látkou. U dané metody dochází k nasycení buněk lumenu ve dřevě, kde dochází k zvýšenému příjmu impregnační látky.

Další známá tlaková impregnace je podle Bethela, kde buňky jsou nasyceny černouhelným dehtovým olejem. V tomto případě musí být dřevo odzrněné, pro bukové dřevo velmi vhodné, jenž příjem je nadměrný, kde jde o dřevo, které nemá jádro. Olej, kterého je ve dřevě nadbytek, následně vytéká ze dřeva a dřevo je znečišťováno. U smrkového dřeva se látka dostává pouze do jeho povrchových vrstev. Metoda podle Bethela dodává dřevu vysokou trvanlivost

V poslední řadě metoda Rüpinga je podobná jako Bethel, ale je napouštěna dehtovým olejem. V této metodě stačí aby došlo k nasycení buněčné stěny, kde dochází k vytvoření tenké vrstvy oleje, která má funkci ochrannou. Při postupné zvyšování tlaku dochází k protlačování oleje do větší hloubky. U tohoto procesu dochází ke stlačování vzduchu, kde po uvolnění tlaku je způsobeno, že stlačený vzduch se začne roztahovat a vytlačí přebytečný olej ve dřevě. V metodě Rüpinga je minimální spotřeba oleje. U dřev s těžkou impregnovatelností použijeme Rüpingovu metodu dvakrát za sebou. Jediný rozdíl je, že zvýšíme tlak stlačením a teplotu oleje (Holan, 2008).

Přírodní látky pro impregnaci dřeva. Mezi přírodní impregnační látky řadíme nejvíce rostlinné oleje (tungový, kameliový, světlicový, pomerančový), dále vosky, rostlinné pryskyřice, živočišné pryskyřice, lněnou fermež. Chemický průmysl dnes spíše přináší látky syntetické. Na přírodní bázi se dnes hodně využívá včelí vosk v různých kombinacích například s oleji a pryskyřicemi. Včelí vosk se tvoří rozehráním včelích plátů ve vařící vodě. Používá se především na menší dřevěné předměty. Při dlouhodobém užívání křehne a vlivem vyšších teplot se stává lepkavým. Další přírodní látkou je terpentýn. Jde o látku, která je výtahem z jehličnatých stromů, tedy se stromů borovice převážně. Nevýhoda u terpentýnu je v jeho nestálosti, po čase hnědne a stává se křehčí. Terpentýn můžeme však mísit s včelým voskem či lněnou fermeží. Další přírodní látka je Damara, jde o látku získávanou z listnatých

stromů, které rostou na Novém Zélandu, či v Indonésii. Poslední přírodní látka je Šelak. Jde o jedinou přírodní pryskyřice živočišného původu. Šelak nabývá tvrdosti, jen je velmi křehký, proto se používá pouze na zpevnění menších dřevěných předmětů (Reinprecht, 2008).

Smolnatá pryskyřice lidově „smůla“ je přírodní produkt, jenž produkují pouze jehličnaté stromy (smrk, borovice, jedle a modřin). Smolnatá pryskyřice se používá zpravidla na výrobu laků a lepidel. Pryskyřice má velikou viskozitu, která je tvořena terpeny, ve kterých jsou rozpuštěné netěkavé látky, díky kterým je pryskyřice lepivá. Největší procentuální zastoupení pryskyřice ve dřevě má borovice (3-8%), smrk 1-2% a poslední jedle 1%. Při poklesu teploty pod 12 °C se zvyšuje vazkost pryskyřice, a proto se snižuje její výron ze stojících stromů. Samotný obsah pryskyřice ve stromě se používá na obranu stromu. Pokud je stromová kůra odtržena, strom v reakci na tento útok začne ronit smůlu na její obranu, kde vytvoří povlak a zabrání nežádoucím účinkům, jako je hniloba. Podle Naučného slovníku lesnického (1960 - ČSAV v SZN Praha) je přírodní pryskyřice směs pevných nebo polotuhých látek složených z uhlíku, vodíku a kyslíku i látek aromatických (balzámy) vytvořená v pletivech dřeva, nerozpustná ve vodě, ale pouze v organických rozpouštědlech.

Syntetické látky pro impregnaci dřeva jsou v dnešní době velmi výhodné. Syntetické látky mají lepší fyzikální vlastnosti v porovnání s přírodními látkami. Syntetických látek můžeme získat polyinsercí, polykondenzací a polyadící. Jde především o polymery, které se vždy liší svojí chemickou strukturou, nadmolekulovou strukturou a způsobem vzniku. Syntetické nemolekulové látky je velmi široký pojem. Patří sem plasty, syntetické vlákna a syntetické kaučuku. Většinou jde o termoplasty a reaktoplasty. Právě polymerizace je chemická reakce, při které reagují monomery na polymery bez vedlejšího produktu. Dělíme je na homopolymerace a kopolymerace. Pro konzervaci či impregnaci dřeva používáme především granule či prášek, které jsou rozpustitelné pouze v organických rozpouštědlech. Do dřeva se impregnujeme pomocí dutých jehel, které buď navrtají a dále injektují, nebo vyvrtáním otvorů a následně provedeme napouštění. V našem případě jsme použili močovino-formaldehydové pryskyřice (aminoplast), která vzniká polykondenzací močoviny nebo jejich derivátů s formaldehydem. Rozdíl mezi fenoplasty a aminoplasty je v bezbarvosti látky. Používáme je jako lepidla, dekorační a nátěrové hmoty. Fenoplasty vznikají podobně, polykondenzací formaldehydu s fenolovou látkou. Velké uplatnění mezi syntetickými látkami mají epoxidy. Ve formě roztoku se používají především na zpevnění interiérového a exteriérového dřeva. Další využití epoxidů je ve formě lepidla nebo výplňové tmely (Reinprecht, 2008).

4 MATERIÁL A METODIKA

Kapitola materiál a metodika poskytuje přehled o materiálu použitém při experimentálních měřeních a metodické postupy použité k naplnění cílů bakalářské práce, tj. rozměry, značení a počet zkušebních vzorků, způsob a parametry impregnace dřeva, způsob stanovení mechanických vlastností a statistické vyhodnocení.

4.1 Zkušební tělíska

Zkušební buková (*Fagus sylvatica* L.) tělíska o rozměrech 20 × 20 × 30 mm byla vyrobena standartním postupem (srovnávací a tloušťkovací frézka). Při výrobě zkušebních vzorků bylo dbáno na odstranění nežádoucích vad dřeva (suky, výsušné či jiné trhliny, atd.), které mohou ovlivnit výsledky experimentálního měření. Celkem bylo vyrobeno 34 zkušebních těles o daných rozměrech, které byly dále rozděleny do skupin.

Zkušební vzorky byly rozříděny do tří skupin po 10 vzorcích. Jedna skupina obsahovala vzorky neupravené (referenční) a další dvě skupiny byly nasycené pryskyřicí. Ze dvou skupin, nasycené pryskyřicí, byla první skupina impregnována močovino-formaldehydovou a druhá smolnatou pryskyřicí (výtažek ze dřeva smrku, modřínu a borovice). Skupiny byly označeny písmeny R (referenční), M (močovino-formaldehydová), S (smolnatá) a označení tělísek bylo ve tvaru S. 1 – 10, M. 11 – 20, R. 21 – 30. Rozdělení tělísek uvádí následující tabulka (Tab. 2). Každá skupina určená pro impregnaci pryskyřicí obsahovala 2 zkušební vzorky použité pro identifikaci stupně proimpregnování – modré barvivo přidané do impregnační látky a následné rozštípnutí zkušebního vzorku.

Tab. 2: Rozdělení vzorků do skupin

| Rozdělení vzorků do skupin | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------|--------------------------------|
| Způsob úpravy | Označení | Počet vzorků | Vzorky pro identifikaci |
| Neupravené | R (Referenční) | 10 ks | |
| Upravené | M (Močovino-formaldehydová pryskyřice) | 10 ks | 2 ks |
| | S (Smolnatá pryskyřice) | 10 ks | 2 ks |



Obr. 3 Označení vzorků připravených k impregnaci přírodní a syntetickou pryskyřicí

4.1.1 Měření rozměrů a hmotnosti zkušebních vzorků

Měření rozměrů tělísek bylo prováděno v souladu s platnou normou ČSN 49 0108. Pro zjištění rozměrů bylo použito certifikované digitální posuvné měřidlo (Mitutoyo 150). Dále byla zjištěna hmotnost tělísek pomocí digitální elektronické váhy (Radwag 210R2) s přesností 0,001 g. Získané hodnoty byly zaznamenány a následně využity pro výpočet hustoty dřeva. Výpočet hustoty dřeva byl určen dle následujícího vzorce.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} [kg \cdot m^{-3}]$$

kde: ρ_0 – hustota vzorku ($kg \cdot m^{-3}$), m_0 – hmotnost vzorku (kg), V_0 – objem vzorku (m^3)



Obr. 4 Měření rozměrů a hmotností zkušebních vzorků k impregnaci

4.2 Impregnace dřeva pryskyřicí

Další částí metodiky práce je vlastní příprava impregnačních látek, proces vakuové impregnace zkušebních tělísek a popsání samotného postupu experimentu.

4.2.1 Příprava impregnačních látek

Impregnační látky vybrané pro bakalářskou práci jsou přírodní a syntetická pryskyřice. První látka, tj. přírodní smíchaná smolnatá pryskyřice, byla tvořena přibližně 50% výtažků ze smrku, další podíl tvořila borovice v hodnotě asi 35% a poslední byla ze dřeva modřínu 15%. Druhá látka, tj. syntetická pryskyřice, je močovino-formaldehydová, která měla obsah sušiny 65%. Obsah látek byl následně v laboratorních kádinkách rozmíchán pomocí etanolu v poměru 1 : 1, tj. 200ml pryskyřice a 200ml etanolu.



Obr. 5 Buková tělíska vyskládaná ve skleněné kádince

4.2.2 Postup vakuové impregnace

Buková tělíska byla vložena do skleněných laboratorních kádinek o obsahu 500 ml, kde došlo k rozmíchání obou látek tj. močovino-formaldehydové a smolnaté pryskyřice, etanolem (viz. kapitola 4.4.1). Na dno kádinek byla vložena plastová perlina, aby nedocházelo k přímému styku zkušebních tělísek se skleněným dnem, kde by mohlo docházet ke špatnému přístupu látky ze vzorku a tak nesprávné impregnaci. Po umístění zkušebních tělísek do kádinek došlo k zatížení, aby bylo zabezpečeno dostatečné ponoření zkušebních těles v impregnační látce.



Obr. 6 Vzorky ponořené ve smolnaté a syntetické pryskyřici připravené na vakuovou impregnaci

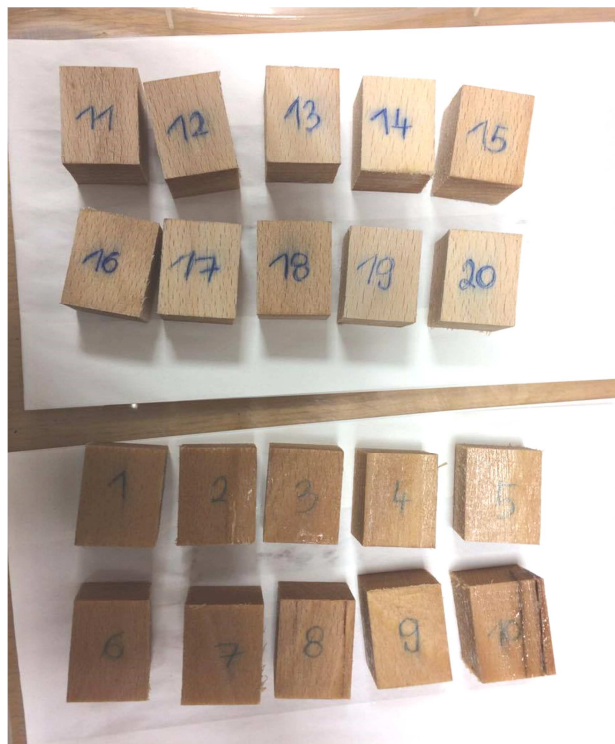
Následně byly obě kádinky vloženy do vakuové sušárny VacuCell 22. Ve vakuové sušárně bylo možné zvýšit teplotu pro lepší impregnaci, ale také podtlak. Zvolen byl absolutní podtlak 20 kPa a zkušební vzorky byly následně impregnovány po dobu 120 minut. Prostor sušárny byl důkladně hermeticky uzavřen, aby nedocházelo k poklesu podtlaku do okolí během impregnace. Po 120 minutách byl podtlak pomocí manuálního ventilu odpuštěn a tělíska následně vyndána ze skleněných nádob. Tělíska byla důkladně osušena a opět pečlivě zvážena. Následně byly vzorky umístěny do klimatizační místnosti s odpovídajícími podmínkami pro následující mechanické zkoušky, tj. relativní vzdušná vlhkost (dále již RVV) 65% a teplota prostředí 20°C. Tělíska byla klimatizována po dobu 5ti týdnů.



Obr. 7 Vzorky umístěné v prostoru sušárny na vakuovou impregnaci

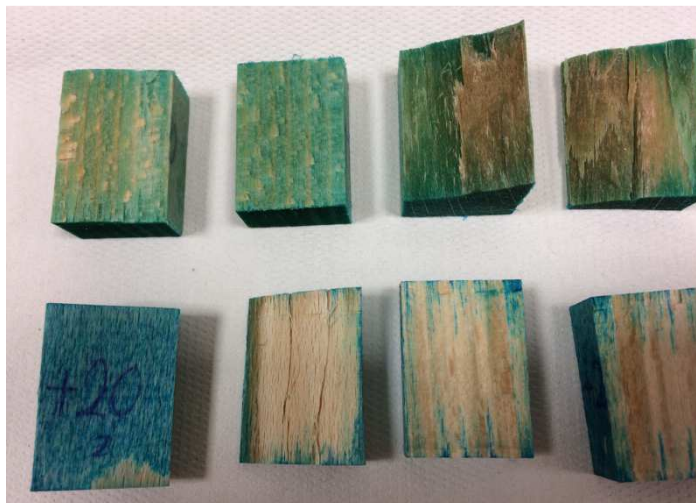


Obr. 8 Vakuová sušárna značky VacuCell použitá pro podtlakovou impregnaci dřeva



Obr. 9 Naimpregnovaná zkušební tělíska po vyjmutí z vakuové sušárny

Aby byl možné lépe pozorovat stupeň proimpregnování, tj. prostup pryskyřice přes strukturu dřeva, byla vybraná tělíska ponořena do připravených kádinek s pryskyřicemi, která byla obarvena modrým barvivem - inkoust. Po impregnaci byla zkušební tělíska vyjmuta z kádinky a následně rozštípnuta a vizuálně hodnocen prostup pryskyřice.



Obr. 10 Vybraná zkušební tělíska napuštěná v první řadě smolnatou pryskyřicí s přidaným barvivem, v druhé řadě napuštěná močovino-formaldehydovou pryskyřicí s přidaným barvivem (Acid Blue 9).

4.3 Měření nasycených vzorků a jejich zhodnocení

Naimpregnovaná tělíska byla po 5 týdnech opět změřena a zvážena. Proces měření a vážení probíhal stejným způsobem jako před impregnací a hned po ní. Z hodnot byly dále vypočítány hustoty jednotlivých tělísek. Stupeň impregnace u jednotlivých tělísek byl hodnocen na základě hmotnostního přírůstku, který je vypočten pomocí tzv. WPG (weight percentage gain). Hodnota WPG udává procentuální nárůst hmotnosti zkušebního tělíska v porovnání s váhou před impregnací. Výsledek je uváděn vždy v procentech (%)

Vzorec pro výpočet WPG – hmotnostního přírůstku:

$$WPG = \frac{m_m - m_n}{m_n} \cdot 100 (\%)$$

kde: WPG – hmotnostní přírůstek (%), m_m – hmotnost modifikovaného tělíska (g), m_n – hmotnost nemodifikovaného před impregnací (g)



Obr. 11 Zkušební tělíska klimatizovaná při relativní vlhkosti 65% a teplotě 20°C po dobu 5 týdnů



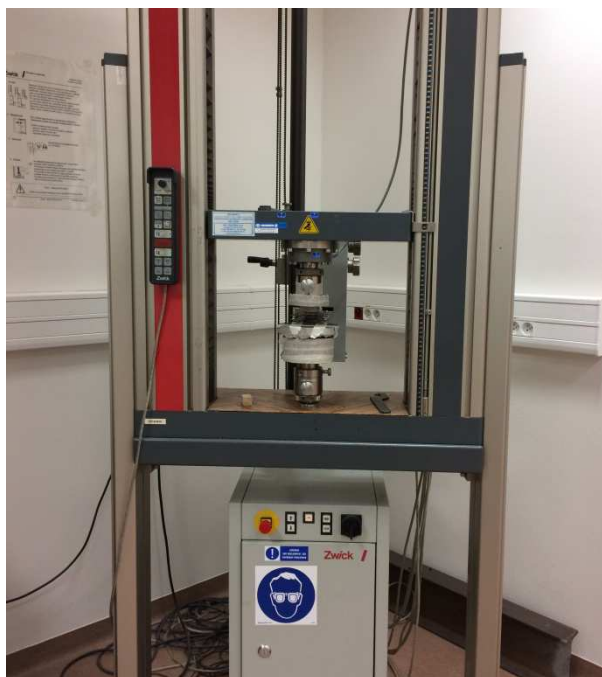
Obr. 12 Měření rozměrů vzorků před měřením pevnosti dřeva v tlaku – po 5 týdnech klimatizování

4.4 Mechanické vlastnosti dřeva

Zkušební vzorky naimpregnované přírodní a syntetickou pryskyřicí budou testovány v tlaku podél vláken dle platných norem.

4.4.1 Tlak podél vláken

Zkušební tělíska byla před testováním klimatizována po dobu 5 týdnů ve standartních podmínkách (RVV 65% a $T=20^{\circ}\text{C}$). Následně byla tělíska znovu změřena a zvážena. Měření pevnosti v tlaku podél vláken bylo testováno pomocí univerzálního zkušebního stroje Zwick Z050. Celý průběh experimentu (síla, posunutí) byl zaznamenán v počítačovém programu TestXpert, který je součástí zkušebního stroje. Měření probíhalo v souladu s normami o Modulu pružnosti v tlaku podél vláken ČSN 49 0111 a Mezi pevnosti v tlaku ve směru vláken ČSN 49 0110. Univerzální testovací stroj použitý při experimentu je zobrazen na Obr. 13 a 14.



Obr. 13 Univerzální zkušební stroj ZWICK Z050



Obr. 14 Uložení tělíška naimpregnovaného smolnatou pryskyřicí ve zkušebním stroji Zwick

4.4.1.1. Modul pružnosti v tlaku podél vláken

Hookův zákon platí, pokud jsou složky napětí přímo úměrné složkám deformace z hlediska pružných deformací. V praxi je závislost mezi napětím a deformací konstanty Youngova modulu pružnosti E , smykovému modulu pružnosti G a Poissonova čísla μ . Modul pružnosti vyjadřuje vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci. Hodnoty modulu pružnosti v tlaku a tahu ve směru vláken se pohybují v průměrném rozpětí okolo 10000 – 15000 MPa při přibližné 12% absolutní vlhkosti (Gandelová et al., 2009).

4.4.1.2. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken

Pevnost dřev lze také odvodit jako odpor dřeva proti trvalému porušení. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken je určitý druh deformace, který probíhá v podélném směru vláken ve zkráceném rozměru tělesa. Deformace je závislá na tvaru a stavbě dřeva, či její struktuře. Ovlivňující elementy jsou především hustota a vlhkost dřeva (Gandelová et al., 2009).



Obr. 15 Působení tlaku podél vláken zkušebního tělesa o rozměrech $20 \times 20 \times 30$ mm

4.5 Vyhodnocení naměřených dat

Aby bylo dosaženo odpovídajících hodnot za použití výsledků uložených programem TestXpert, je nutné využít následující vzorce pro výpočet:

1. Poměrná deformace vzorku:

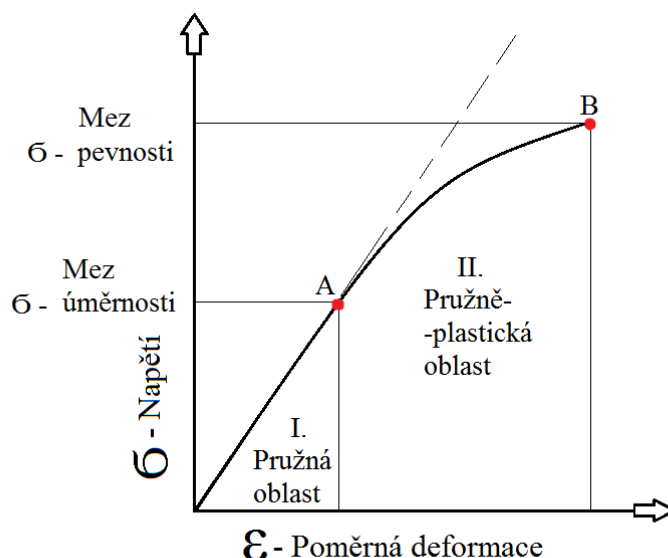
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} * k$$

kde: L – rozměr vzorku ve směru síly, k – opravný koeficient 0,1(korekce chyby měření posunutí příčnicku).

2. Určení smluvního napětí (dle ČSN 49 01 20)

$$\sigma = \frac{F}{S} [N/mm^2] \Rightarrow [Mpa]$$

kde: σ – smluvní napětí (MPa), F – síla (N), S – plocha (mm^2). Výsledky napětí a poměrné deformace byly použity k sestavení pracovního diagramu, který slouží pro stanovení modulu pružnosti.



Obr. 16: Obecný pracovní diagram zatížení dřeva v tlaku.

3. Určení modulu pružnosti

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [MPa] E = \frac{(\sigma_u - \sigma_d)}{(\varepsilon_u - \varepsilon_d)} (MPa)$$

kde: E – modul pružnosti v tlaku (MPa), σ – napětí v tlaku (MPa), ε – poměrná deformace (%), σ_d – napětí dolní meze úměrnosti, ε_u – poměrná deformace meze úměrnosti, ε_d – poměrná deformace dolní meze úměrnosti.

4.6 Statistické vyhodnocení

Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí počítačového programu MS Office and tabulkového nástroje MS Excel verze 2013.

Průměrné hodnoty byly vypočítány dle následujícího vzorce.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

Kde \bar{x} je výsledná průměrná hodnota, x_i je zkoumaná hodnota a n je počet vzorků.

Informace o variabilitě souboru data dává směrodatná odchylka, u souborů s normálním rozdělením četnosti platí, že v intervalech směrodatné odchylky okolo aritmetického průměru se nachází určitá část hodnot. Směrodatná odchylka je počítána dle následujícího vzorce.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Kde S je výsledná směrodatná odchylka, \bar{x} je průměrná hodnota, x_i je zkoumaná hodnota vlastnosti a n je počet vzorků. K porovnání více vzorků s různou úrovní slouží variační koeficient, který udává, z kolika procent se podílí směrodatná odchylka na aritmetickém průměru.

Variační koeficient je vypočítán dle následujícího vzorce.

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

Kde V je variační koeficient (%), S je směrodatná odchylka a \bar{x} je průměrná hodnota

5 VÝSLEDKY

5.1 Zhodnocení impregnace bukových tělísek

5.1.1 Hmotností přírůstek WPG

V následující tabulce (Tab.3) jsou uvedeny základní statistické charakteristiky pro WPG po impregnaci. Tabulka dále obsahuje hodnoty přepočtené na příjem v kg/m^3 . Z výsledků je patrné, že hmotností přírůstek je větší u přírodní smolnaté pryskyřice, kde WPG dosahuje téměř 34%, zatímco pro syntetickou pryskyřici pouze 10%.

Tab. 3: Hmotnostní přírůstky u tělísek upravených pomocí přírodní smolnaté (S) a močovino-formaldehydovou (M) pryskyřicí

| BUK | S | | M | |
|-----------------------|---------|----------------------------|---------|----------------------------|
| | WPG (%) | příjem (kg/m^3) | WPG (%) | příjem (kg/m^3) |
| Aritmetický průměr | 33,9 | 204,8 | 10,0 | 48,6 |
| Směrodatná Odchylka | 9,5 | 60,6 | 4,9 | 27,7 |
| Maximum | 53,6 | 296,7 | 19,1 | 108,6 |
| Minimum | 21,3 | 66,5 | 3,1 | 17,4 |
| Variační koeficient % | 28,1 | 29,6 | 49,5 | 57,0 |

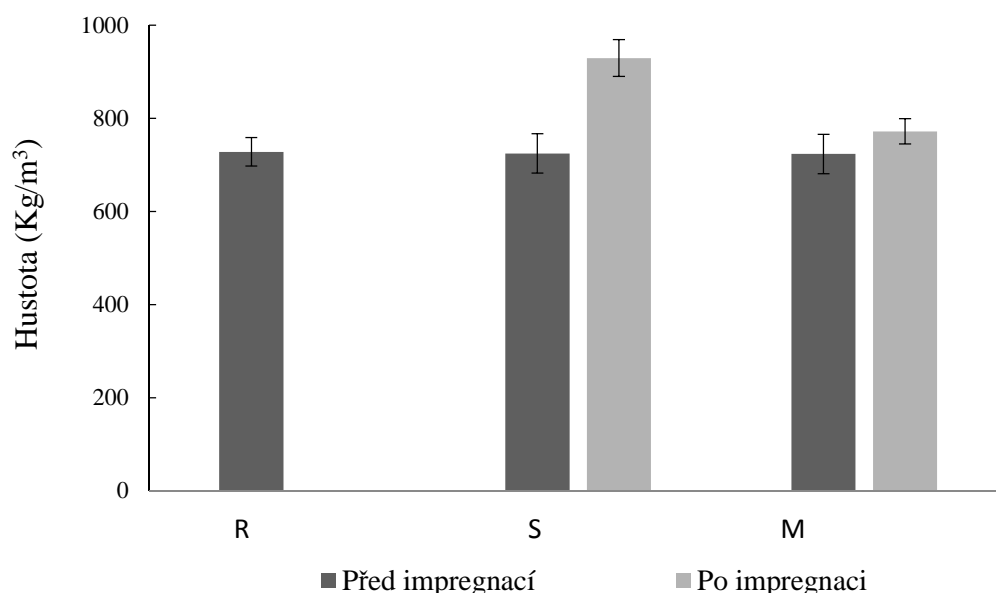
5.1.2 Rozdíl hustot u tělísek před a po modifikaci

Všechna potřebná data byla zjištěna po zvážení a změření zkušebních těles. Následně byly vypočteny hustoty dřeva před a po impregnaci všech tělísek. Výsledné hodnoty hustoty jednotlivých analyzovaných skupin, včetně základních statistických charakteristik, jsou zobrazena v Tab. 4.

Tab. 4: Hustoty zkušebních tělísek referenčních (R), smolnatých (S) a močovino-formaldehydových (M) před a po impregnaci

| HUSTOTA | Referenční | Smolnatá | | Močovino-formaldehydová | |
|-----------------------|------------|-----------------|---------------|-------------------------|---------------|
| | | před impregnací | po impregnaci | před impregnací | po impregnaci |
| Aritmetický průměr | 728,1 | 724,8 | 929,6 | 723,6 | 772,2 |
| Směrodatná Odchylka | 30,5 | 42,2 | 39,5 | 42,3 | 27,2 |
| Maximum | 773,3 | 788,5 | 986,0 | 790,6 | 808,0 |
| Minimum | 689,7 | 677,3 | 855,0 | 680,2 | 736,0 |
| Variační koeficient % | 4,2 | 5,8 | 4,2 | 5,8 | 3,5 |

Průměrné hodnoty lze vidět na následujícím grafu, který nám zobrazuje přírůstek pryskyřice před a po impregnaci v podtlaku 20 kPa po dobu 120 min. Velmi viditelný nárůst hustoty je u tělísek naimpregnovaných smolnatou pryskyřicí oproti močovino-formaldehydovou pryskyřicí, což odpovídá výsledkům procentuálního přírůstu hmotnosti (WPG).



Graf. 1: Rozdíl hustot u zkušebních tělísek referenčních (R), smolnatých (S) a močovino-formaldehydových (M) před a po impregnaci

5.2 Mechanické zkoušky

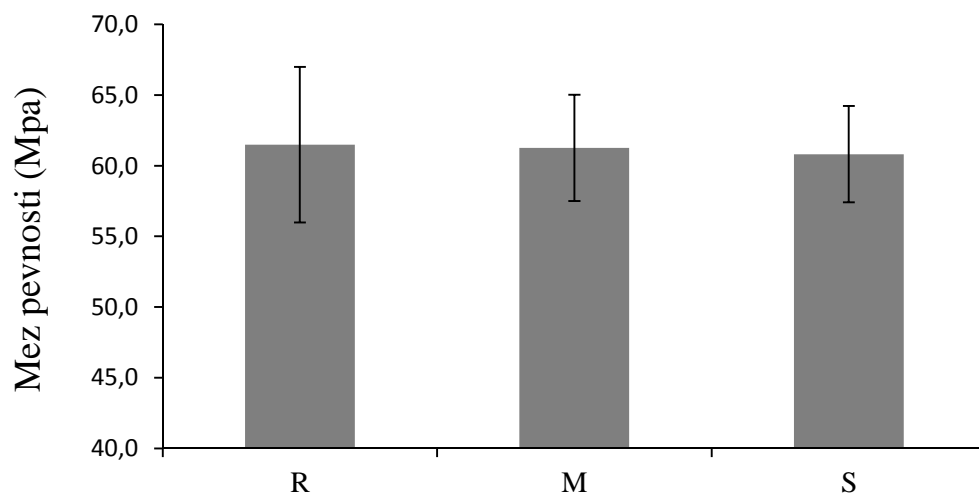
5.2.1 Výsledky v tlaku podél vláken

V následujících tabulkách (Tab. 5 a 6) lze vidět popisnou statistiku pro výsledné hodnoty meze pevnosti a modulu pružnosti pro všechna analyzovaná tělíska.

Tab. 5: Popisná statistika meze pevnosti u tělísek referenčních (R), smolnatých (S) a močovino-formaldehydových (M)

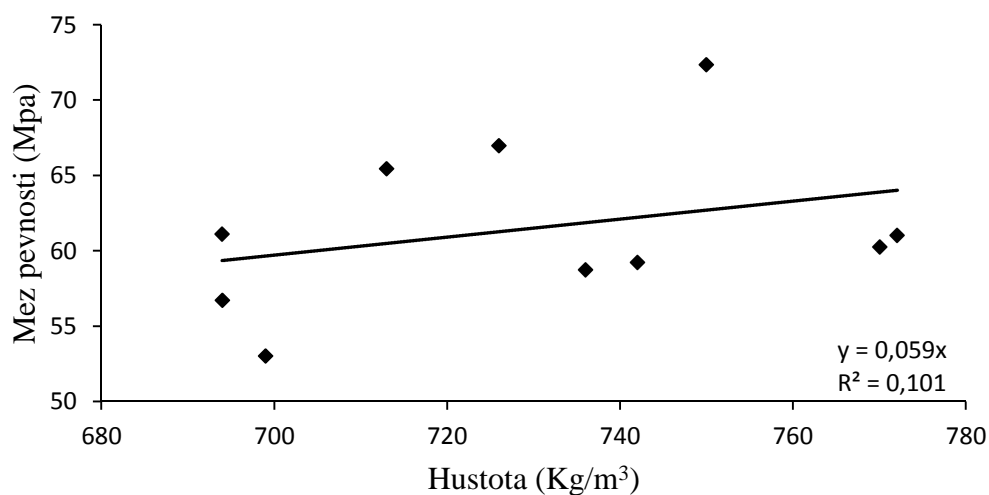
| Mez pevnosti dřeva v tlaku podél vláken (MPa) | | | |
|---|------|------|------|
| | R | M | S |
| Aritmetický průměr | 61,5 | 61,3 | 60,8 |
| Směrodatná odchylka | 5,5 | 3,8 | 3,4 |
| Maximum | 72,4 | 67,5 | 65,7 |
| Minimum | 53,0 | 54,3 | 56,4 |
| Variační koeficient % | 9,0 | 6,1 | 5,6 |

Mez pevnosti u vzorků referenčních (R), močovino-formaldehydových (M) a smolnatých (S)



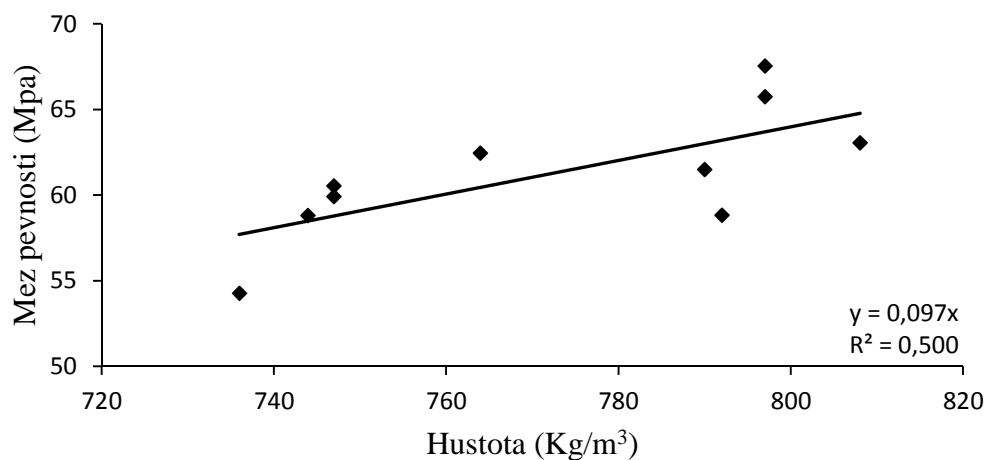
Graf. 2: Výsledky meze pevnosti analyzovaných vzorků - referenční (R), močovino-formaldehydové (M) a smolnaté (S)

Mez pevnosti u referenčních vzorků (R)



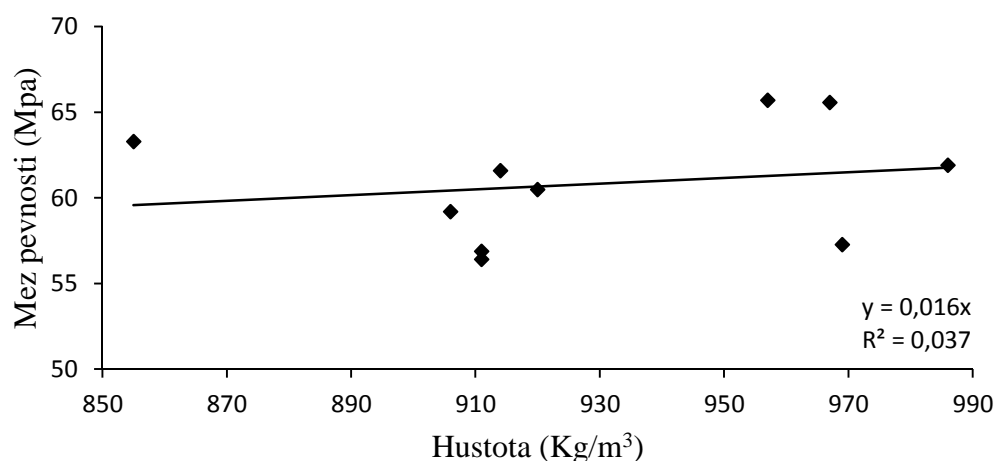
Graf. 3: Závislost meze pevnosti na hustotě zkušebních vzorků (referenční)

Mez pevnosti u močovino—formaldehdyových vzorků (M)



Graf. 4: Závislost meze pevnosti na hustotě zkušebních vzorků (močovino-formaldehdyové)

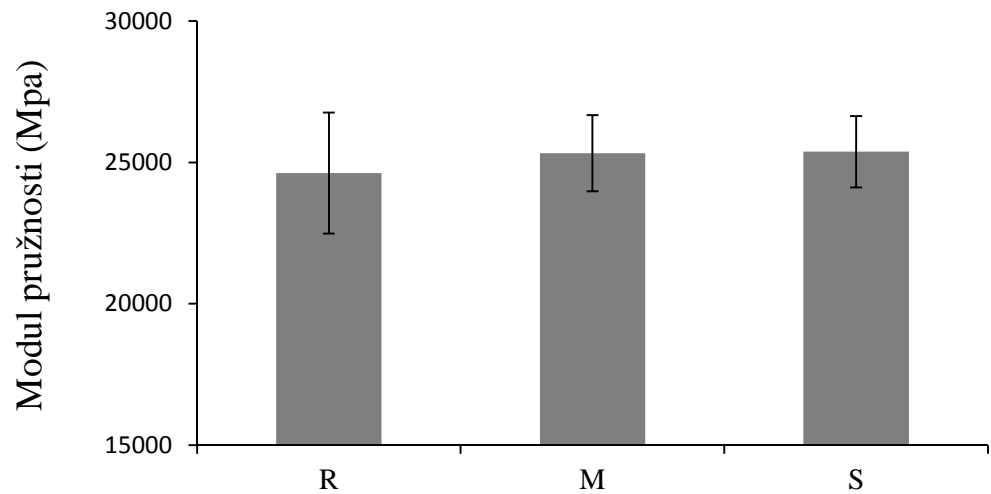
Mez pevnosti u smolnatých vzorků (S)



Graf. 5: Závislost meze pevnosti na hustotě zkušebních vzorků (smolnaté)

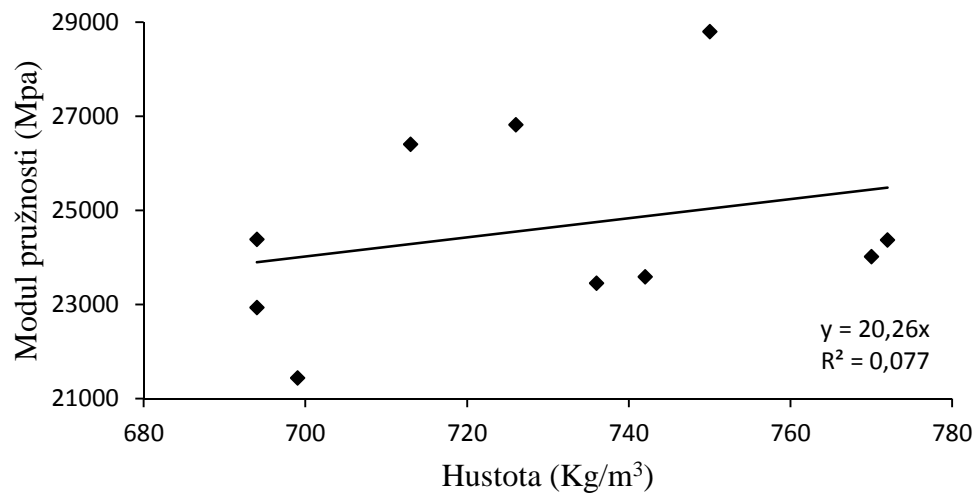
Tab. 6: Popisná statistika modulu pružnosti u zkušebních tělísek referenčních (R), smolnatých (S) a močovino-formaldehdyových (M)

| Modul pružnosti (MPa) | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| | R | M | S |
| Aritmetický průměr | 24623 | 25329 | 25378 |
| Směrodatná odchylka | 2142 | 1347 | 1265 |
| Maximum | 28800 | 27733 | 27329 |
| Minimum | 21443 | 23269 | 23824 |
| Variační koeficient % | 9 | 5 | 5 |



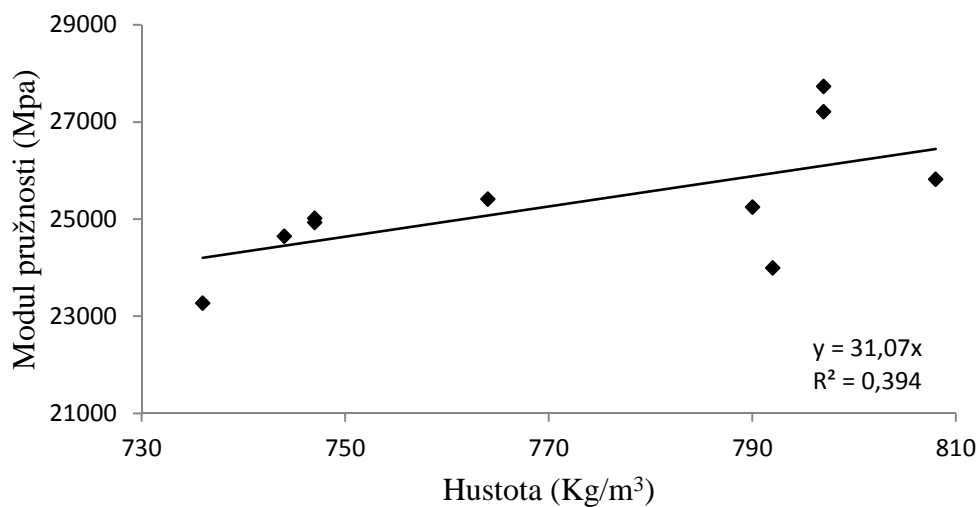
Graf. 6: Výsledky modulu pružnosti pro vzorky referenční (R), močovinoformaldehydové (M) a smolnaté (S) zatěžované v tlaku podél vláken

Modul pružnosti u referenčních vzorků (R)



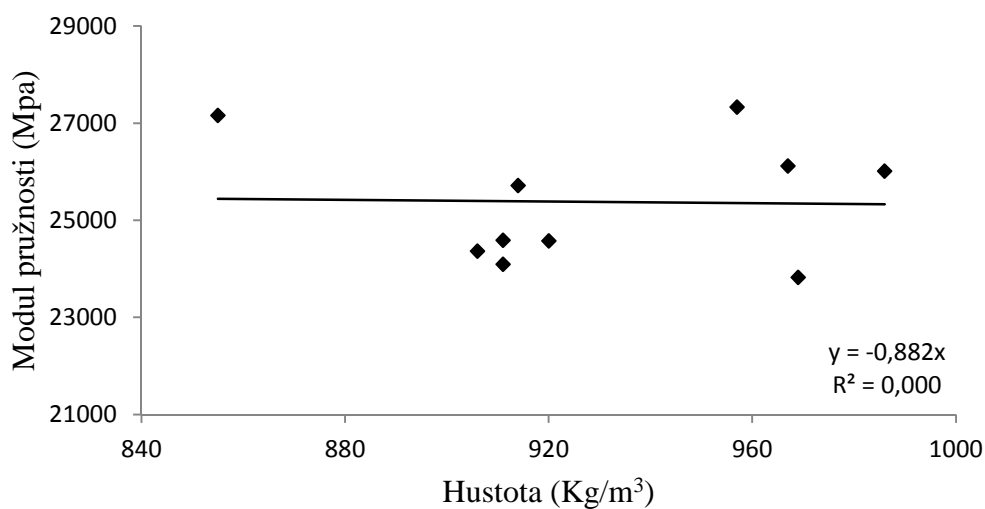
Graf. 7: Závislost modulu pružnosti na hustotě dřeva pro vzorky referenční (R) v tlaku podél vláken

Modul pružnosti u močovino-formaldehydových vzorků (R)



Graf. 8: Závislost modulu pružnosti na hustotě dřeva pro vzorky močovino-formaldehydové (M) v tlaku podél vláken

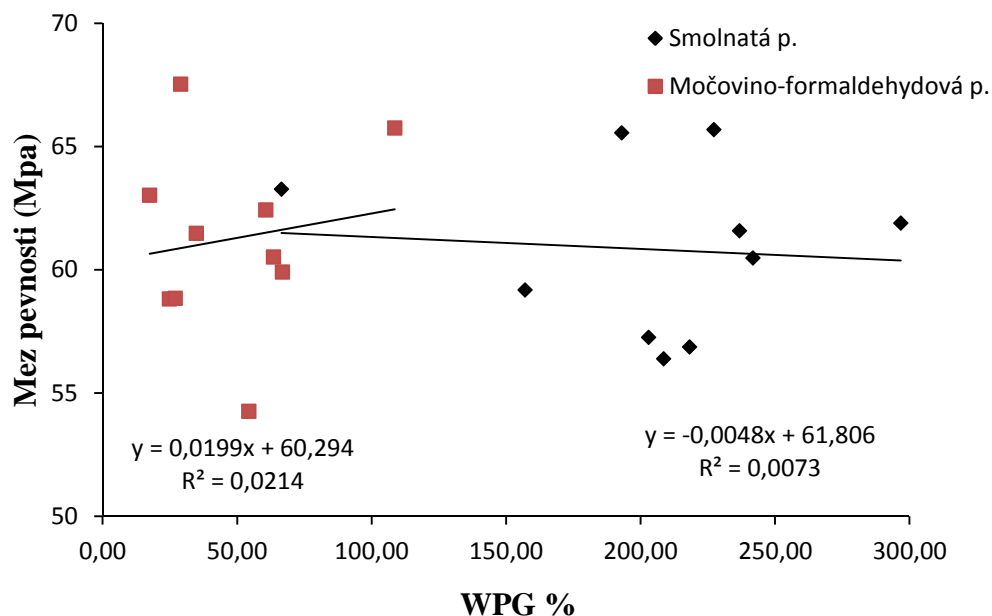
Modul pružnosti u smolnatých vzorků (R)



Graf. 9: Závislost modulu pružnosti na hustotě pro vzorky smolnaté (S) v tlaku podél vláken

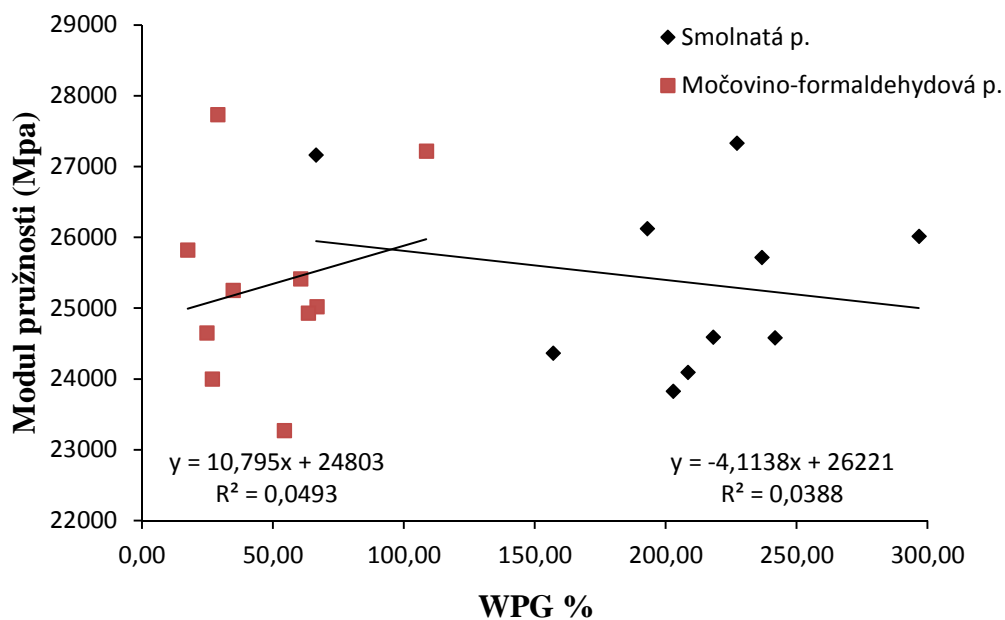
Dále byla sledována závislost meze pevností zkušebních vzorků (mez pevnosti) a modulu pružnosti v závislosti na hmotnostním přírůstkem po impregnaci pryskyřicí (WPG %). Následující grafy (Grafy 10 a 11) tyto závislosti vyjadřují graficky.

Závislost meze pevnosti na WPG



Graf. 10: Závislost meze pevnosti na hmotnostním přírůstkem po impregnaci dřeva (WPG)

Závislost modulu pružnosti na WPG



Graf. 11: Závislost modulu pružnosti na hmotnostním přírůstkem po impregnaci dřeva (WPG)

6 DISKUZE

Výsledné hodnoty příjmu impregnační látky (WPG) byly u smolnaté pryskyřice rovny 33,9% a u močovino-formaldehydové pryskyřice 10,0%. Velký rozdíl příjmu různých druhů pryskyřic mohl být zapříčiněn nižší viskozitou smolnaté pryskyřice oproti pryskyřici močovino-formaldehydové. Po vyjmutí z impregnační látky byl změřen celkový příjem pryskyřice, kdy při impregnaci pryskyřicí smolnatou tělíska dosahovala hodnot hustoty 474,1 kg/m³ a u močovino-formaldehydové pryskyřice 166,3 kg/m³. Následně byla tělíska vložena do klimatizované místnosti o relativní vzdušné vlhkosti (RVV) 65% a teplotě 20 °C. Tělíska byla takto klimatizována po dobu 5-ti týdnů a po následném měření bylo zjištěno, že došlo k úbytku hmotnosti zkoumaných vzorků. Tento fakt mohl být zapříčiněn vypařením rozpouštědla (v tomto případě ethanolu), které bylo aplikováno za účelem rozmíchání obou látek pro lepší příjem impregnační látky. U močovino-formaldehydové pryskyřice může dojít i k vypaření vody, u pryskyřice smolnaté pouze k vypaření ethanolu. Pro zjištění průniku pryskyřice a sledování tak stupně proimpregnování dřeva, jsme do obou látek přidali modré barvivo (Acid Blue 9). Na Obr.10 je možné sledovat rozdílný příjem smolnaté a močovino-formaldehydové pryskyřice. Prostup impregnační látky (v tomto případě pryskyřice) skrze strukturu dřeva je v případě buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) umožněn díky otevřeným vodivým cestám (cév), ovšem, lze předpokládat, že průměr vodivých cest (cévy mají v průměru 10 – 500 μm (Požgaj et al., 1997), je příliš malý na to, aby jimi dokázaly prostoupit jednotlivé částice „kapičky“ smolnaté pryskyřice. Díky tomuto omezení anatomických elementů nebyla použita metoda účinná, neboť nebylo dosaženo požadovaných výsledků.

Průměrná hustota buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) se pohybuje kolem hodnot 720 kg/m³ při vlhkosti 12 % (Horáček, 2008). Naše hodnoty naměřené před impregnací se pohybovaly v rozsahu 680-790 kg/m³ a analyzovaný materiál lze považovat za standartní. Po samotné impregnaci pryskyřicemi byla průměrná hodnota vyšší. U vzorků impregnovaných pryskyřicí smolnatou došlo ke zvýšení hustoty o 470 kg/m³ a při impregnaci močovino-formaldehydovou došlo ke zvýšení hustoty pouze o 160 kg/m³. Po 5-ti týdenním klimatizování tělísek, ve standartních podmínkách, došlo ke změně jejich hustoty, a to tak, že u vzorků s pryskyřicí smolnatou hodnoty dosahovaly v průměru 929 kg/m³ a vzorky s močovino-formaldehydovou pryskyřicí měly naměřenou hustotu 772kg/m³.

Mechanická zkouška byla prováděna na pevnost v tlaku podél vláken. Výsledkem práce mělo být - objasnit, zda dřevo naimpregnované pryskyřicí (smolnou a močovino-formaldehydovou) bude mít vyšší pevnost v tlaku v porovnání se dřevem neupraveným. Výsledky byly interpretovány v podobě naměřených hodnot modulů pružnosti a mezi

pevnosti. U impregnovaných tělísek však nebyla pozorována zvýšená pevnost, neboť se hodnoty mezí pevnosti a modulů pružnosti pohybovaly ve stejném rozmezí jako před impregnací. Dle hodnot, které uvádí odborná literatura (Tab. 1), je průměrná hodnota pro mez pevnosti v tlaku u buku 55,5 MPa. U referenčních (nenaimpregnovaných) vzorků dosahovala průměrná hodnota meze pevnosti 61,5 MPa, u močovino-formaldehydové pryskyřice 61,3 MPa a u smolnaté pryskyřice pouze 60,8 MPa. Vyšší determinace se projevila pouze u grafu č. 4, kde R^2 nebo-li koeficient determinace, který je v rozmezí od 0 do 1, přičemž čím více se hodnota koeficientu determinace blíží 1, tím je pevnost dřeva vyšší. U vzorků impregnovaných močovino-formaldehydovou pryskyřicí hodnota koeficientu determinace dosahovala 0,5. U ostatních grafů byly hodnoty koeficientu determinace velmi nízké, pohybující se kolem 0-0,1.

Závěrečnou částí práce, bylo zjistit modul pružnosti dle výpočtů z naměřených dat. Ani v tomto případě nebylo docíleno výrazné změny v hodnotách modulu pružnosti. Nedošlo k žádnému zvýšení hodnot modulů pružnosti impregnovaných tělísek oproti vzorkům referenčním. Výsledky dle předpokladů měly dosahovat alespoň o polovinu větších hodnot, kde dle mínění měla pryskyřice způsobit ztvrdnutí ve vodivých cestách, zpevnění buněčné stěny a zabránění tak rychlé deformaci. U všech grafů modulů pružnosti (Graf 7, 8 a 9) je velmi nízký koeficient determinace, kdy u Grafu 9 je hodnota dokonce nulová. Pro nás tedy determinace u modulu pružnosti je statisticky nevýznamná. Hodnoty pro modul pružnosti nalezneme v Tab. 6.

U posledních dvou grafů (Graf 10 a 11) lze spatřit závislost meze pevnosti a modulu pružnosti zkušebních tělísek na hmotnostním příjmu pryskyřice (WPG). U močovino-formaldehydové pryskyřice lze pozorovat, že s nabývajícím přírůstkem WPG stoupají i hodnoty mezí pevnosti a modulů pružnosti. Oproti tomu u smolnaté pryskyřice je tento jev je zcela opačný, kde s přírůstkem WPG klesá hodnota jak meze pevnosti, tak modulu pružnosti.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo objasnit, zdali modifikace dřeva přírodní a syntetickou pryskyřicí vede ke zvýšení pevnosti bukového dřeva zatěžovaného v tlaku podél vláken. Dané výsledky nám však zvýšení pevnosti nepotvrdily. Ke zvyšování pevností mělo docházet především u tělísek impregnovaných močovino-formaldehydovou pryskyřicí, ale i u pryskyřice smolnaté. Výrazný nárůst hustoty byl u tělísek, která byla impregnována přírodní smolnatou pryskyřicí, kde docházelo v průměru až k 205% příjmu impregnační látky oproti močovino-formaldehydové syntetické látce, kde hodnota dosahovala pouze 49%. U smolnaté pryskyřice, kde hodnoty příjmu látky byly takto významné, došlo také k výraznému nárůstu hodnoty hustoty těchto tělísek. Hodnota dosahovala v průměru 930 Kg/m³. Smolnatá pryskyřice měla nepatrně vyšší modul pružnosti o hodnotu řádově 700 MPa oproti referenčním hodnotám. Výsledkem předkládané závěrečné práce bylo objasnit, zda-li se budou naměřené hodnoty pevnosti dřeva lišit, když budou porovnány vzorky impregnované přírodní smolnatou a syntetickou pryskyřicí.

Sekundárním cílem bylo vyhodnotit, jak lze bukové dřevo po impregnaci využít v praxi. Impregnované dřevo bychom mohli využívat pro exteriérové aplikace, konstrukční spoje, atd. U konstrukčních spojů je žádoucí, aby přenášeli velkou pevnost v tlaku v daných konstrukčních spojkách (čep a dlab, atd.), dále v exteriérovém využití můžeme zahrnout jako venkovní nábytek, kde buk je snadno impregnovatelný a tím pádem vhodné na jeho venkovní využití. Pro další možnosti využití impregnovatelného dřeva, bychom mohli experimentálně stanovit pevnost takto upraveného dřeva v ohybu a porovnat tak výsledky s hodnotami referenčními.

Pro výzkum bylo zapotřebí smolnaté pryskyřice, která se velmi obtížně shání. Strom „roní“ smolnatou pryskyřicí pouze v letním období, kdy jsou vysoké teploty od 15 °C. Smolnatá pryskyřice přestává téct při zhruba 10 °C, dle viskozity, proto je pro tento výzkum výhodnější zakoupit močovino-formaldehydovou pryskyřicí např. 10 kg balení, které stojí zhruba necelých tisíc korun. Pro snadnější aplikaci použijeme močovino-formaldehydovou pryskyřicí, které má velmi dobré aplikační účinky na této bázi impregnace.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

HILL, C A S. *Wood modification : chemical, thermal and other processes*. Chichester, England: John Wiley&Sons, 2006. 239 s. Wiley series in renewable resources. ISBN 978-0-470-02172-9.

ROWEL, R. -- BARBOUR, J. *Archeological Wood: properties, chemistry, and preservation*. American Chemical Society, 1990. 476 s.

PAŘIL, P. -- DEJMAL, A. Comparison of physical properties of poplar wood vacuum-pressure impregnated with sucrose and sodium chloride. In *Interaction of Wood with Various Forms of Energy*. 1. vyd. Zvolen, Slovakia: Technical University in Zvolen, 2012,

RADEMACHER, P. -- SABLÍK, P. -- PASCHOVÁ, Z. -- ROUSEK, R. -- PAŘIL, P. -- BAAR, J. -- ČERMÁK, P. -- KOIŠ, V. -- DÖMÉNY, J. Improvement of properties of selected wood species using different modification techniques First results: Impregnation of Beech Wood with Robinia extracts. In *Proceedings of the 57th International Convention of Society of Wood Science and Technology*. 1. vyd. Zvolen, Slovakia: 2014, s. 788--798. ISBN 978-0-9817876-4-0.

GOODELL, B. -- NICHOLAS, D D. *Wood deterioration and preservation : advances in our changing world*. Washington, DC: American Chemical Society, 2003. 465 s. ACS symposium series. ISBN 978-0-8412-3797-1.

PAŘIL, P. -- DEJMAL, A. Moisture absorption and dimensional stability of poplar wood impregnated with sucrose and sodium chloride. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2014. sv. 16, č. 3, s. 299--311. ISSN 0718-221X.

RICHARDSON, B A. *Wood Preservation*. 2. vyd. London: E&FN SPON, 1993. 12 s. ISBN 0-419-17490-7.

PATŘIČNÝ, M., 2005: *Dřevo krásných stromů 3. přeprac. vyd.* Praha, Grada Publishing, 144 s. ISBN 8024711931.

D HOLAN, J. VAVRČÍK, H. BRUNECKÝ, P. TESAŘOVÁ, D., 2006 : *Dřevo v domácnosti ochrana, údržba, renovace*, 93 s. ISBN 80-7366-049-0

POŽGAJ, A. a kol., 1997: *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda, a.s., 488 s. ISBN 8007009604

HORÁČEK, P., 2008: Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

KOTILAINEN, R.: Properties of thermally modified wood [online] citováno 8. ledna 2016. Dostupné na WorldWide Web: <http://www.m-pgoldbrand.com/news.pdf>

České stavby.cz.[online] citováno 7. ledna 2016. Dostupné na: <http://www.ceskestavby.cz/rostliny/fagus/>

NOVÁK, P., 2013. Mechanické vlastnosti dřeva domácích dřevin. [online] citováno 6. 1. 2016. Dostupné na: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin>

REINPRECHT, L., 2008. Ochrana dřeva. Zvolen, Technická univerzita. 453 s. ISBN 9788022818636

Lexa, J., a kolektiv, 1952 : Mechanické a fyzikálne vlastnosti dřeva I. Drevárský výzkumný ústav v Bratislave, 433s.

Perelygin L. M., 1960 : Náuka o dreve. Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 385s.