

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě



Nasycení dřeva pryskyřicí a vliv na mechanické vlastnosti

Bakalářská práce

2015/2016

Zdeněk Večeřa

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „Nasycení dřeva pryskyřicí a vliv na mechanické vlastnosti“ zpracoval 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 ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji 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 odst. 1 autorského zákona.

V Brně, květen 2016:

Podpis:

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Aleši Dejmalovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a laskavý přístup. Další poděkování patří Ing. Petru Pařilovi za konzultace a pomoc při uskutečnění mého zkoumání.

Abstrakt

Zdeněk Večeřa

Nasycení dřeva pryskyřicí a vliv na mechanické vlastnosti

Předmětem bakalářské práce je objasnit vliv nasycení dřeva pryskyřicí na jeho mechanické vlastnosti. Zvolenou dřevinou je buk. Vzorky byly rozděleny do tří skupin. Dvě skupiny byly nasycené pryskyřicí a jedna nenasyčená. Skupina nasycených pryskyřic se dále dělí na nasycené pryskyřicí syntetickou a přírodní. Skupiny byly porovnávány navzájem. Vzorky všech skupin byly podrobeny experimentálním zkouškám, které zahrnují zjištění tlaku napříč vláken. Získaná data byla podrobena statistickým analýzám.

Klíčová slova

Buk, impregnace dřeva, pryskyřice, tlak.

Abstract

Zdeněk Večeřa

Saturation of wood with resin and its effect on mechanical properties

The subject of the thesis is to clarify the influence of saturation of wood with resin on its mechanical properties. The selected tree species is beech. From the samples of beech I've created three groups, of which two groups were saturated with resin and one was unsaturated. Groups saturated with resins are further subdivided into saturated with synthetic and natural resins. The groups were compared with each other. The samples of all groups were subjected to experimental tests, which involve determining the compression across the fibers. The obtained data were subjected to statistical analysis.

Key words

Beech, saturation of wood, resin, compression

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	CÍL PRÁCE	8
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	9
3.1	Buk	9
3.1.1	Stavba dřeva buku.....	9
3.1.2	Fyzikální a mechanické vlastnosti bukového dřeva	11
3.1.3	Rozměrové změny bukového dřeva.....	12
3.1.4	Využití bukového dřeva v praxi	12
3.2	Impregnace dřeva přírodními a syntetickými látkami.....	12
4	MATERIÁL A METODIKA	16
4.1	Předmět experimentu.....	16
4.2	Zkušební tělíska (vzorky).....	16
4.2.1	Stanovení skupin vzorků a jejich označení.....	16
4.2.2	Měření rozměrů a hmotnosti zkušebních vzorků	17
4.3	Impregnace pryskyřicí.....	18
4.3.1	Příprava impregnačního roztoku.....	18
4.3.2	Postup podtlakové impregnace	18
4.4	Měření nasycených vzorků a jejich zhodnocení	22
4.5	Mechanické zkoušky	23
4.5.1	Tlak podél vláken.....	23
4.6	Vyhodnocení naměřených dat.....	25

5	VÝSLEDKY	27
5.1	Zhodnocení impregnace	27
5.1.1	Hmotnostní přírůstek	27
5.1.2	Rozdíl hustot u tělísek před a po modifikaci	27
5.2	Mechanické zkoušky	28
5.2.1	Výsledky v tlaku podél vláken	28
6	DISKUZE.....	35
7	ZÁVĚR.....	37
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	38

1 ÚVOD

Dřevo je nezastupitelnou surovinou v celých dějinách lidstva. Dřevo má nejen příjemný vzhled, ale také se snadno opracovává. Proto je dřevo velmi oblíbeným materiálem. Jeho možnosti využití jsou velmi různorodé. Dřevo lze využít jako zdroj energie nebo jako surovina pro výrobu dřevěných výrobků, jako je například nábytek. Ve své podstatě je dřevo velmi ekologickou surovinou. Je materiálem přírodním, obnovitelným a ekologickým. Ve své práci se zaměřuji na dřevo bukové. Bukové dřevo je jednou z nejrozšířenějších dřevin u nás. Ve zdravém stavu vykazuje velmi dobré technické vlastnosti.

Lidé se neustále snaží zlepšovat vlastnosti dřeva. Jsou prováděny různé experimenty, které ukazují změnu mechanických a fyzikálních vlastností dřeva. Jednou z metod je modifikace dřeva. Hlavním cílem modifikací je především zlepšit vlastnosti dřeva, tak aby bylo dřevo lépe využitelné v praxi. Ve své práci se zabývám modifikací pryskyřicí močovinoformaldehydovou a šelakovou. Následně zkoumám jejich vliv na bukové dřevo.

2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je nasycení dřeva buku pryskyřicí a zjišťování vlivu nasycení na jeho mechanické vlastnosti. U vzorků provedu tlakovou impregnaci pryskyřicí. Následně budu zjišťovat vliv na tyto mechanické vlastnosti: tlakovou pevnost dřeva. Srovnávat budu hodnoty u vzorků nasycených syntetickou pryskyřicí, přírodní a vzorků nenasycených. Za hlavní cíl si kladu zjistit, zda nasycení dřeva buku zlepší jeho mechanické vlastnosti. Sekundárním cílem je zhodnotit možnosti využití nasyceného dřeva v praxi.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

U dřeviny uvedu krátký úvod, stavbu dřeva (makroskopickou, mikroskopickou a také chemické složení). Dále se zaměřím na využití dřeva v praxi, jeho fyzikální a mechanické vlastnosti a rozměrové změny dřeva. Tuto kapitolu uzavřu teorií o impregnaci dřeva přírodními a syntetickými látkami.

3.1 Buk

Buk je jedna z nejpěstovanějších listnatých dřevin u nás. Dožívá se 300-400 let. Jeho dřevo je poměrně tvrdé. Patří do rodu *Fagus*, který čítá asi 10 druhů objevujících se v mírném pásu severní polokoule (*Patříčný, 2005*). Jedním z nejběžnějších druhů buku je Buk lesní (*Fagus sylvatica*). Tento buk je náš domácí druh. Velmi běžně je k vidění v našich lesích. Využívají se ale také pro parkovou výsadbu i do živých plotů velkých zahrad. Roste do výše 20 až 30 m. Jeho plody zvané bukvice mají jedlé jádro.

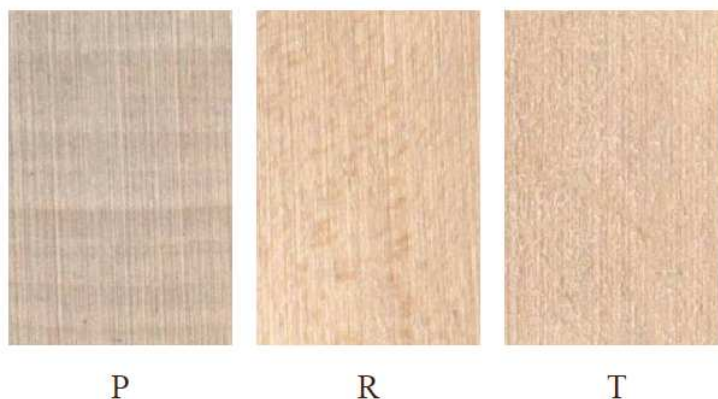


Obr. 1: listy buku lesního. <http://botanika.wendys.cz>

3.1.1 Stavba dřeva buku

Dřevo tvoří podstatnou část celého stromu, tedy kmene, větví a také kořenů dřevin. Stavba dřeva u jednotlivých dřevin je velmi rozmanitá. Stavba dřeva ovlivňuje dřevinu téměř ve všech jejích vlastnostech. Ovlivňuje fyzikální i mechanické vlastnosti, trvanlivost, odolnost, volbu jeho nejvhodnější ochrany a také výběr technologie zpracování. V souvislosti s odolností, trvanlivostí dřevin a jejího využití je nutné charakterizovat stavbu dřeva buku.

Makroskopická stavba dřeva je odrazem vnitřního složení dřeva. Mezi základní charakteristiky řadíme letokruhy, dřeň, dřeňové paprsky, dřeňové skvrny, jádro, vyzrálé dřevo, běl, pryskyřičné kanálky (pouze u jehličnanů), cévy, kambium, kůru a lýko. Letokruhy jsou považovány za nejdůležitější znaky makroskopické stavby dřeva. Podle stavby letokruhů v příčném řezu se bukové dřevo řadí do skupiny listnatých dřevin s roztroušeně pórovitou stavbou. V letokruhu nelze téměř rozlišit jarní dřevo od letního. Buk patří mezi celobělové dřevo. Znamená to, že buk nemá jádro. Bělové dřevo je propustné pro kapaliny a snadno podléhá hnilobě. U buku se také často vyskytuje nepravé jádro, což je řazeno mezi vady dřeva. Dřeňové paprsky jsou u buku široké, viditelné na všech řezech. Na tangenciálním řezu jsou rozměry dřeňových paprsků u buku šířka 1 mm, výška 5 až 12 mm. Letní cévy jsou u buku menší, jsou viditelné spíše jako bílé tečky. Barva bukového dřeva je narůžovělá, nahnědlá až červenohnědá. Buk patří také mezi lesklá dřeva (*Požgaj a kol., 1997*).



Obr. 2: Cévy bukového dřeva v řezu příčném, radiálním a tangenciálním

Mikroskopická stavba dřeva listnatých dřevin se od dřeva jehličnanů liší především složitější strukturou a přítomností cév. Mezi základní elementy dřeva mikroskopické stavby dřeva patří cévy, libriformní vlákna, tracheidy a parenchymatické buňky. Cévy se vyskytují jen u listnatých dřevin a jejich hlavním úkolem je vedení vody. Tracheidy u buku jsou cévovité. Jsou poměrně krátké do 5 mm. Průměr cév buku dle Nečesaného (1958) je 20- 90 μm . Libriformní vlákna mají zpevňovací funkci. Jejich podíl ve dřevě záleží na druhu dřeviny. Bukové dřevo jich má 37 až 44 % (*Požgaj a kol., 1997*).

Chemické složení dřeva tvoří celuloza, hemiceluloza a lignin. Mezi doprovodné složky dřeva patří anorganické a organické látky. Zastoupení celulosy v listnácích je 41-48 %. Hemicelulosu dělíme na xylany, které u listnáčů tvoří až 35 %, manany, které tvoří 3-5 % u listnáčů a galaktany. Galaktany mají malý podíl konkrétně u buku (0,5 – 3 %). Zastoupení ligninu v listnácích je 19-28 %. U listnáčů vykazuje lignin větší variabilitu svého složení než

je tomu u jehličnanů. Buk obsahuje 39,2 % celulosy, 35,3 % hemicelulosy a 20,9 % Ligninu (Požgaj a kol., 1997).

3.1.2 Fyzikální a mechanické vlastnosti bukového dřeva

Mezi fyzikální vlastnosti dřeva zařadím pro účely této práce hustotu a propustnost pro kapaliny. Mezi mechanické vlastnosti zařadím pevnost a pružnost.

Hustota dřeva se popisuje ve třech vlhkostních stavech, kterými jsou hustota dřeva v suchém stavu, při vlhkosti 12 % a hustota dřeva vlhkého. Buk patří do skupiny dřev se střední hustotou pohybující se okolo 540 – 750 kg.m⁻³ při vlhkosti 12 %. Průměrná hodnota hustoty dřeva *Fagus sylvatica* je při suchém stavu 685 kg.m⁻³ a při vlhkosti 12 % to je 720 kg.m⁻³ (Horáček, 2008).

Propustnost pro kapaliny u listnáčů je vyšší než u dřeva jehličnanů. Tato skutečnost je dána přítomností cév v listnatých dřevinách. Samozřejmě je propustnost pro kapaliny závislá na anatomické stavbě dřeva, hustotě dřeva a na sušení dřeva (Horáček, 2008). Jak jsem již zmínil výše, u buku se objevuje nepravé jádro. Toto nepravé jádro je typické svou nízkou propustností pro kapaliny. Tento fakt nízké propustnosti je dán tvorbou thyl a jádrových buněk ve dřevě. V bukovém jádře jsou velké rozdíly výskytu thyl. V hraničních částech nepravého jádra jsou cévy ucpány thylami (Matsunaga et. al. 2005).

Pružnost dřeva vyjadřuje výši napětí, které potřebujeme pro ohnutí dřeva. Údaj o pružnosti dřeva je klíčový při plánování stropů a krokví. Modul pružnosti bukového dřeva v ohybu je 13 100 MPa (Novák, 2013).

Pevnost dřeva může být charakterizováno jako maximální napětí, které působí na určitou plochu a dané těleso toto napětí může vydržet. Faktory, které nejvíce ovlivňují pevnost dřeva, je jeho druh, vlhkost a hustota. Vliv teploty je také klíčový. Pevnost se zvyšuje s klesající teplotou (Holan, 2008). V následující tabulce je možné vidět průměrné hodnoty pevnosti u buku lesního při vlhkosti dřeva 12 %.

Tab. 1: Pevnost bukového dřeva

Pevnost bukového dřeva v MPa					
Pevnost v ohybu	Pevnost v tahu		Pevnost v tlaku		Pevnost ve smyku
123	podélná	příčná	podélná	příčná	8,0
	135	7,0	62	9,5	

zdroj: http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/2.pdf

3.1.3 Rozměrové změny bukového dřeva

Rozměrové změny bukového dřeva nastávají při změně vlhkosti dřeva. Koeficient bobtnání u buku má v objemovém sesychání hodnotu 0,47 %/1 % w, v radiálním sesychání to je 0,17 %/1 % w a v tangenciálním 0,32 %/1 % w. U bobtnání jsou koeficienty sesychání objemového 0,55 %/1 % w, radiálního 0,18 %/1 % w a tangenciálního 0,35 %/1 % w (Horáček, 2008).

3.1.4 Využití bukového dřeva v praxi

Buk může dosáhnout stáří až 800 let. Oproti smrku je délka stáří u buku dvojnásobná. I přesto je bukové dřevo netrvanlivé. Přirozená trvanlivost se stanovuje na základě hmotnostního úbytku dřeva ve stanovené době (Horáček, 2008). Pro svou barvu se využívá v nábytkářství. Je dobře ohybatelný, což je dobré při výrobě ohýbaného nábytku, například židlí nebo křesel. Je jednou z nejdůležitějších surovin pro výrobu dých, překližek, parket, dřevotřískových a dřevovláknitých desek. Bukové dřevo se také využívá na výrobu drobných předmětů, jako jsou hračky, hole, knoflíky. Vyrábí se z něj také pažby k loveckým zbraním.

3.2 Impregnace dřeva přírodními a syntetickými látkami

Impregnovatelnost dřeva je schopnost přijímat kapalné látky. Anatomická stavba dřeva výrazně ovlivňuje impregnovatelnost. Podle hloubky průniku se rozdělují dřeviny do několika tříd impregnovatelnosti. Základní členění je na lehce impregnovatelné (lehko se proimregnuje dřevo úplně), středně lehce impregnovatelné (po 2 až 3 hodinách je dřevo naimpregnováno tlakovou impregnací u dřeva jehličnanů do 6 mm a u listnatých dřevin do všech cév), obtížně impregnovatelné (po 3 až 4 hodin tlakové impregnace se dosáhne bočního průniku 3-6 mm) a extrémně obtížně impregnovatelné (po 4 až 6 hodinách tlakové impregnace je zaznamenán minimální boční i čelní průnik), (Holan, 2008). Dále je důležitá zóna dřeva, tu rozdělujeme na bělové dřevo, zralé dřevo a jádrové dřevo a nepravé jádro. Smrkové bělové dřevo se řadí do obtížně impregnovatelného dřeva, zralé dřevo smrku patří do skupiny extrémně obtížně

impregnovatelného dřeva. Bukové bělové dřevo i zralé je lehce impregnovatelné dřevo. Co se týče jádrového dřeva a nepravého jádra, tak to patří do skupiny extrémně obtížně impregnovatelné (Reinprecht, 2008).

Způsoby impregnace dřeva se dělí do dvou velkých skupin, a to na beztlakovou impregnaci a tlakovou impregnaci. Mezi beztlakovou impregnaci patří natírání, stříkání, ponořování, máčení, bandážování a injektáž. Natírání, stříkání a ponořování nezabezpečí dostatečnou hloubku impregnace, proto nejsou vhodné pro sanační ochranu dřeva. Tento způsob impregnace je spíše povrchový. Pokud chráněné dřevo ještě nebylo napadeno, tak v tom případě tato ochrana účinná je. Máčení se zpravidla provádí v kádích, kam dřevo úplně ponoříme a zatížíme, aby nevyplavalo. Rozdíl mezi ponorem a máčením je v době ponoření dřeva. Pokud se jedná o ponor, trvá pouze několik vteřin až minut. U máčení je doba ponoření půl hodiny až tři hodiny. Bandážování je metoda, která spočívá v obalení mokrého dřeva porézní látkou (bandáží) napuštěnou ochrannou látkou a následně se obalí do fólie, které je nepropustná. Bělové dřevo se tímto způsobem ve většině případu proimregnuje úplně. Je nejpoužívanější metodou na ochranu dřevěných sloupů zapuštěných do země. Poslední z metod beztlakové impregnace je injektáž. Injektáž probíhá vpravováním ochranných látek do předem navrtaných otvorů ve dřevě. Do otvorů o průměru 8-10 mm se impregnační látka vpravuje pomocí injekční stříkačky nebo přístroje, který pracuje na stejném principu jako infuze. Při vpravování látky do dřeva hrozí únik látky přes možné trhliny ve dřevě. Tlaková impregnace je výhodná z hlediska hloubky impregnace. Metody tlakové impregnace patří mezi průmyslové metody impregnace. Těchto způsobů impregnace je několik, uvedu pouze některé z nich. Impregnace hydrostatickým tlakem podle Boucheriho. Tato metoda se vykonává vtláčováním ochranné látky do čel čerstvě pokácených kmenů, které nejsou odkořeněné. Ochranná látka je umístěna vysoko ve věži a právě výškovým rozdílem se vytváří tlak, pomocí kterého je látka vpravována do dřeva. Právě u bělového dřeva smrku je tato impregnace velmi vhodná. Metoda vakuové impregnace se provádí pomocí impregnačního zařízení, ve kterém se vytvoří podtlak a poté se do prostoru napustí impregnační látka. Současně s napouštěním se uvolňuje podtlak a dřevo se napouští ochrannou látkou. U této metody bývají nasycené lumeny buněk ve dřevě, což zvyšují příjem impregnační látky. Tlaková impregnace podle Bethela je metoda, která nasycuje buňky černouhelným dehtovým olejem. Dřevo musí být odkořeněno. Bukové dřevo touto metodou přijímá nadměrné množství oleje, protože jde o dřevo bez jádra. Olej, který je ve dřevě navíc, poté vytéká ze dřeva ven a způsobuje jeho znečištění. U smrkového dřeva se tlakovou impregnací podle Bethela látka dostane pouze do jeho povrchových vrstev. Bethelova metoda

je jednou z metod, která ošetřovanému dřevu dává vysokou trvanlivost. Impregnace podle Rüpinga. Podobně jako u Bethela se dřevo napouští, tentokrát dehtovým olejem. V této metodě ale stačí, aby se napustily buněčné stěny a tím se vytvořila tenká vrstva oleje. Tato vrstva má ochrannou funkci. Následně se zvýšením tlaku olej dostává do větší hloubky ve dřevě. Tímto procesem se také stlačí vzduch. Po uvolnění tlaku se začne stlačený vzduch roztahovat a vytlačí tím přebytečný olej. Oproti Bethela je při této metodě spotřeba oleje minimální. Pro dřeva, která jsou těžce impregnovatelná, se používá metoda dvojitý Rüping. Metoda je stejná jako u jednoduchého Rüpinga s tím rozdílem, že se proces opakuje dvakrát a zvyšuje se tlak stlačení a teplota oleje (Holan, 2008).

Přírodní látky pro impregnaci dřeva. Mezi přírodní látky se používají nejvíce rostlinné oleje, vosky, rostlinné pryskyřice, živočišné pryskyřice a polysacharidy. Dnešní pokrok v chemickém průmyslu zapříčinil používání spíše syntetických látek. I přesto se z přírodních látek stále hodně využívá včelí vosk v různých kombinacích, například s šelakem, nebo damarou. Včelí vosk se tvoří roztopením včelích plátů ve vařící vodě. Ve většině případů se používá pouze na menší dřevěné předměty. Při dlouhodobém užívání křehne a vlivem vyšších teplot se stává lepkavým. Další přírodní látkou je Kalafúna. Jde o látku, která vzniká destilací z terpentýnového balzámu jehličnatých stromů z rodu Pinus. Jednou z největších nevýhod kalafúny je její nestálost, po čase hnědne a stává se křehčí. Damar, která se často užívá v kombinaci s včelím voskem, je látka získávána z listnatých stromů jihovýchodní Asie. Šelak je získáván z povrchového ochranného krytu larev hmyzu *Lacifer lacca*, což je hmyz, který parazituje na stromech a keřích v Indii, Thajsku, a jižní Číně. Šelak je díky své tvrdosti, ale i relativní křehkosti používán pouze na zpevnění menších dřevěných předmětů. (Reinprecht, 2008)

Syntetické látky pro impregnaci dřeva mají mnohé výhody. Jsou dostupné, za přijatelné ceny a mají lepší fyzikální vlastnosti a povětrnostní vlastnosti v porovnání s přírodními látkami. Většina syntetických látek jsou polymery, které se vzájemně liší chemickou strukturou, nadmolekulovou strukturou a způsobem vzniku. Nadmolekulovou strukturou se dělí na termoplasty a reaktoplasty. Způsob vzniku může být trojí. Polymerizací, polykondenzací a polyadící. Právě polymerizací různých esterů kyseliny akrylové a metakrylové se připravují polyakryláty. Jsou bezbarvé a tvrdé. Pro konzervaci dřeva se používají, jako granule či prášek, které se rozpouštějí v organických rozpouštědlech. Do dřeva se zavádí injektováním. Polyakryláty jsou odolné proti povětrnostním vlivům a také proti vysoké teplotě. Styren se polymerizací změní z toxického styrenu na netoxický polystyren. Přítomnost styrenu ve dřevě způsobí zvýšení pevnosti dřeva. Na konzervaci dřeva

se styren používá pouze v kombinaci s nenasycenými polyestery. Polykondenzací formaldehydu s vhodnou organickou aminosloučeninou vznikají roztoky aminoplastů. 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

V této části bude uveden předmět experimentu, použitý materiál a metodika prováděných impregnací, metodika mechanických zkoušek a další informace potřebné pro tuto práci.

4.1 Předmět experimentu

Předmětem experimentu je objasnit vliv nasycení dřeva pryskyřicí na jeho mechanické vlastnosti. Mechanickými zkouškami bude zkoumán tlak podél vláken. Použitými laboratorními zařízeními a pomůckami budou laboratorní váhy, posuvné měřidlo, klimatizační zařízení MTH 24000, univerzální zkušební stroj Zwick Z050 a vakuově tlaková linka.

4.2 Zkušební tělíska (vzorky)

Tělíska byla vyrobena na kotoučové formátovací pile z řeziva vysušeného cca na 8 % vlhkosti z dřeva buku lesního (*Fagus sylvatica*). Následně byla opracována na srovnávací a tloušťkovací frézce pro dosažení hladkého povrchu. Viditelné vady dřeva byly vymanipulovány, aby neovlivnily výsledky zkoušek. Celkem bylo vybráno 60 ks tělísek o rozměrech 30×20×20 mm. Byla vybrána tělíska, která neměla smolníky, suky a trhliny.

4.2.1 Stanovení skupin vzorků a jejich označení

Vzorky se roztřídily do jednotlivých skupin. Pro možnost porovnání byly stanoveny 3 skupiny, z čehož 2 skupiny zastupují dřevinu nasycenou pryskyřicí a jedna skupina nenasyčenou pryskyřicí. Ze dvou skupin stejného dřeva je jedna skupina nasycená pryskyřicí přírodní a jedna pryskyřicí syntetickou. Skupiny byly označeny R, M, S a konkrétní označení tělíska bylo ve tvaru R. 1 – 20., M. 1- 20., S. 1 – 20, kde R, M, S je označení skupiny a 1-20 je pořadové číslo tělíska. Rozdělení tělísek uvádí následující tabulka.

Tab. 2: Rozdělení vzorků do skupin

Rozdělení vzorků do skupin		
Nenasycené	R (Referenční)	20 ks
Nasycené	M (Močovinoformaldehydová pryskyřice)	20 ks
	S (Šelaková pryskyřice)	20 ks



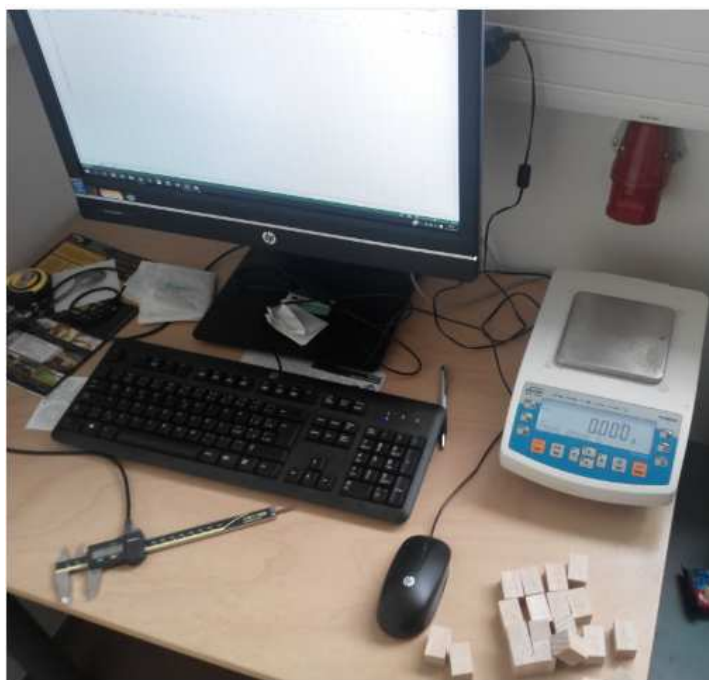
Obr. 2: označení vzorků připravených k modifikaci.

4.2.2 Měření rozměrů a hmotnosti zkušebních vzorků

Měření rozměrů bylo provedeno v souladu s platnou normou ČSN 49 0108. Pro zjištění rozměrů bylo použito certifikované měřidlo. Dále byla zjišťována hmotnost tělísek, také podle výše uvedené normy. Získané hodnoty byly zapsány do tabulek, které byly vytvořeny v programu Excel. Z těchto hodnot mohly být následně vypočítány hustoty jednotlivých tělísek. Výpočet hustoty byl určen dle následujícího vzorce.

$$\rho = \frac{m}{V} [kg \cdot m^{-3}]$$

kde: ρ – hustota vzorku ($kg \cdot m^{-3}$), m – hmotnost vzorku (kg), V – objemová hmotnost vzorku (m^3)



Obr. 3: Měření rozměrů a hmotností zkušebních vzorků.

4.3 Impregnace pryskyřicí

V následující kapitole popíšu přípravu impregnačního roztoku a samotný postup impregnace.

4.3.1 Příprava impregnačního roztoku

Impregnační roztoky byly dva. Prvním roztokem byla syntetická pryskyřice a druhým přírodní pryskyřice. Syntetická pryskyřice byla močovinoformaldehydová, která měla obsah sušiny 65 %. Do močovinoformaldehydové pryskyřice jsem přidal tvrdidlo. Do celého objemu pryskyřice, to je 660 g jsem přidal 8 % tvrdidla, to je 40 g. Roztok bylo nutné pořádně promíchat. Přírodní pryskyřicí byl šelak. Roztok se skládal ze sušiny šelaku a lihu v poměru 1 : 2.

4.3.2 Postup podtlakové impregnace

Impregnace probíhala v zařízení vakuově tlaková linka. Tělíska byla naskládána do nízké kádinky s výlevkou s tekutým roztokem močovinoformaldehydové pryskyřice a šelakové pryskyřice. Tělíska bylo nutné zatížit. Aby vzorky byly ponořeny pod hladinou.



Obr. 4: Zkušební vzorky naskládáné do kádinky.

Následně byly kádinky vloženy do nerezových vaniček. V těchto vaničkách jsme vzorky naskládali do vakuově tlakové linky. V zařízení vzniká podtlak, při kterém se tělíska modifikují. Vzorky byly v zařízení řádně uzavřeny a po 90 minut pod tlakem – 90 KPa. Po ukončení byly vzorky vyjmuty z nádoby. Vzorky byly osušeny a následně změřeny a zváženy. Poté jsme vzorky nechali klimatizovat 24 hodin. Před samotnou mechanickou zkouškou jsme vzorky nechali v klimatizačním zařízení po dobu 14 dnů. Při relativní vlhkosti vzduchu 65 % a teplotě 20 °C. Vzorky dosáhly vlhkosti 12 %, což bylo potřebné pro plnění norem pro námi určenou mechanickou zkoušku.



Obr. 5: Naplněné kádinky pryskyřicemi se zkušebními vzorky vložené do nerezových vaniček.



Obr. 6: Laboratorní vakuově tlaková linka.



Obr. 7: Klimatizační zařízení.

Pro lepší znázornění prostupu pryskyřic jsme vybrali náhodné vzorky a ponořili je do připravených roztoků. Do kterých jsme přidali barvivo a následně rozštípli dřátem. Barvivo nám ukázalo hloubku prostupu pryskyřic.



Obr. 8: vybrané zkušební vzorky napuštěné šelakovou pryskyřicí s přidaným barvivem.



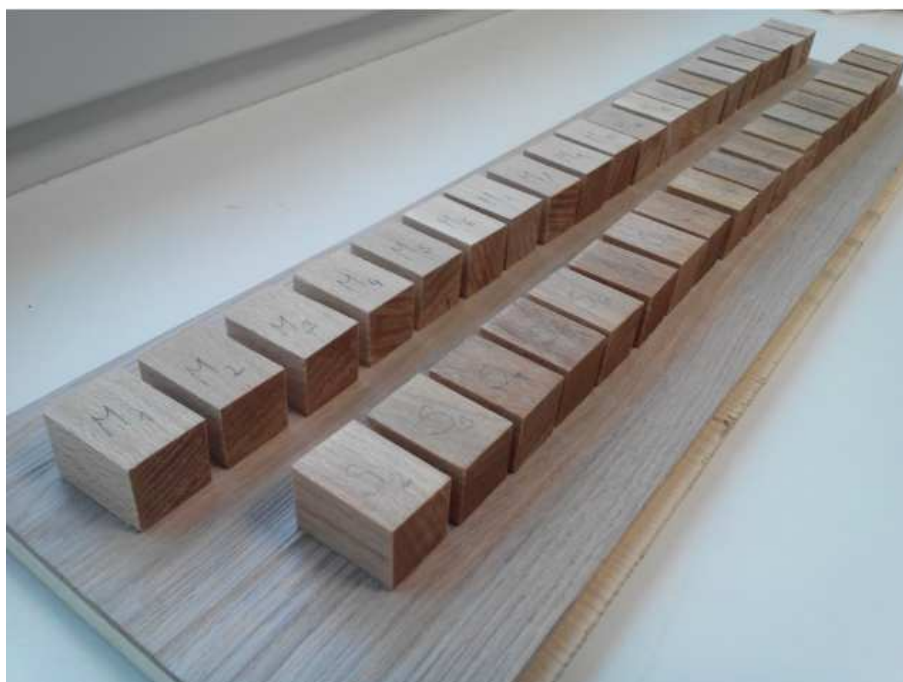
Obr. 9: vybrané zkušební vzorky napuštěné močovinoformaldehydovou pryskyřicí s přidaným barvivem.

4.4 Měření nasycených vzorků a jejich zhodnocení

Naimpregnované vzorky po odležení byly znovu změřeny a také byla určena jejich hmotnost. Určení hmotností a měření probíhalo obdobně jako u vzorků před impregnací a bezprostředně po ní. I v těchto případech byla vypočítána hustota jednotlivých vzorků. Pro zhodnocení impregnace se vypočítal hmotnostní přírůstek WPG. Výpočet se provádí určením rozdílu hmotností vzorku nasyceného a nenasyceného a hmotností vzorku nenasyceného. Poté se výsledek vynásobí stem a získá se procentuální vyjádření hmotnostního zisku impregnační látky vůči hmotnosti nenasyceného vzorku. Vzorec pro výpočet hmotnostního přírůstku je:

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

kde: WPG – hmotnostní přírůstek (%), m_m – hmotnost modifikovaného tělíska (g), m_n – hmotnost nemoifikovaného tělíska.



Obr. 10: Zkušební vzorky po modifikaci.

4.5 Mechanické zkoušky

Námi určenou mechanickou zkouškou je tlak podél vláken.

4.5.1 Tlak podél vláken

Po 14 denní klimatizaci jsem každý ze vzorků znovu změřil a zvážil. Zvážené a změřené vzorky jsem jednotlivě vkládal do zkušebního stroje Zwick Z050, na kterém probíhalo měření pevnosti v tlaku podél vláken. Průběh této zkoušky se zaznamenal v počítačovém programu, který je součástí stroje. Měření probíhalo v souladu s normami ČSN 49 0111 Modul pružnosti v tlaku podél vláken a s ČSN 490110 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken.



Obr. 11: univerzální zkušební stroj Zwick Z050.



Obr. 12: uložení zkušebního vzorku napuštěného močovinoformaldehydovou pryskyřicí ve zkušebním stroji Zwick.

4.5.1.1 Modul pružnosti v tlaku podél vláken

Aby platil Hookeův zákon, musí být 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. Průměrné hodnoty modulu pružnosti v tahu a tlaku ve směru vláken se pohybují v rozpětí 10 000 – 15 000 MPa při průměrné 12% absolutní vlhkosti. (Gandelová a kol. 2009).

4.5.1.2 Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken

Pevnost dřeva je odpor dřeva proti jeho trvalému porušení. Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken je druh deformace probíhající zkrácením rozměru tělesa v podélném směru vláken. Deformace je závislá na tvaru a struktuře dřevěného materiálu. Dalšími ovlivňujícími elementy je také hustota a vlhkost dřeva. (Gandelová a kol. 2009).



Obr. 11: působení tlaku podél vláken tělesa.

4.6 Vyhodnocení naměřených dat

Pro vyhodnocení naměřených dat bylo nutné výsledky vypočítat pomocí následujících vzorců.

Poměrná deformace vzorku:

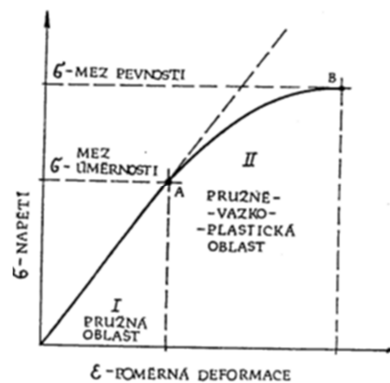
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} * k$$

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

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 jsme použili k sestrojení pracovního diagramu, který slouží pro stanovení modulu pružnosti.



Obr. 12: pracovní diagram.

Určení modulu pružnosti

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [MPa]$$

$$E = \frac{(\sigma_{\dot{u}} - \sigma_d)}{(\varepsilon_{\dot{u}} - \varepsilon_d)} (MPa)$$

kde: E – modul pružnosti v tlaku (MPa), σ - napětí v tlaku (MPa), ε - poměrná deformace (%), σ_d - napětí dolní meze úměrnosti, $\varepsilon_{\dot{u}}$ - poměrná deformace meze úměrnosti, ε_d - poměrná deformace dolní meze úměrnosti.

5 VÝSLEDKY

Naměřené a vypočítané hodnoty byly zpracovány a uspořádány v programu MS Excel.

5.1 Zhodnocení impregnace

5.1.1 Hmotnostní přírůstek

V následující tabulce (Tab. 3) jsou uvedeny vybrané charakteristiky popisné statistiky. Již na první pohled lze pozorovat vyšší hmotnostní přírůstek u vzorků M. Čili vzorků modifikovaných močovinoformaldehydovou pryskyřicí.

Tab. 3: Hmotnostní přírůstek u vzorků modifikovaných šelakem (S) a močovinou (M)

BUK	S		M	
	WPG (%)	příjem (kg/m ³)	WPG (%)	příjem (kg/m ³)
aritmetický průměr	11,83	82,85	22,95	159,01
směrodatná odchylka	0,89	5,75	4,83	29,97
maximum	13,72	95,26	29,53	197,64
minimum	10,81	77,22	13,53	100,21
variační koeficient %	7,56	6,94	21,03	18,85

Tab. 4: Bulking u vzorků modifikovaných šelakem (S) a močovinou (M)

BULKING %	M	S
aritmetický průměr	0,025	0,014
směrodatná odchylka	0,010	0,003
maximum	0,044	0,019
minimum	0,013	0,008
variační koeficient %	38,2	21,3

5.1.2 Rozdíl hustot u tělísek před a po modifikaci

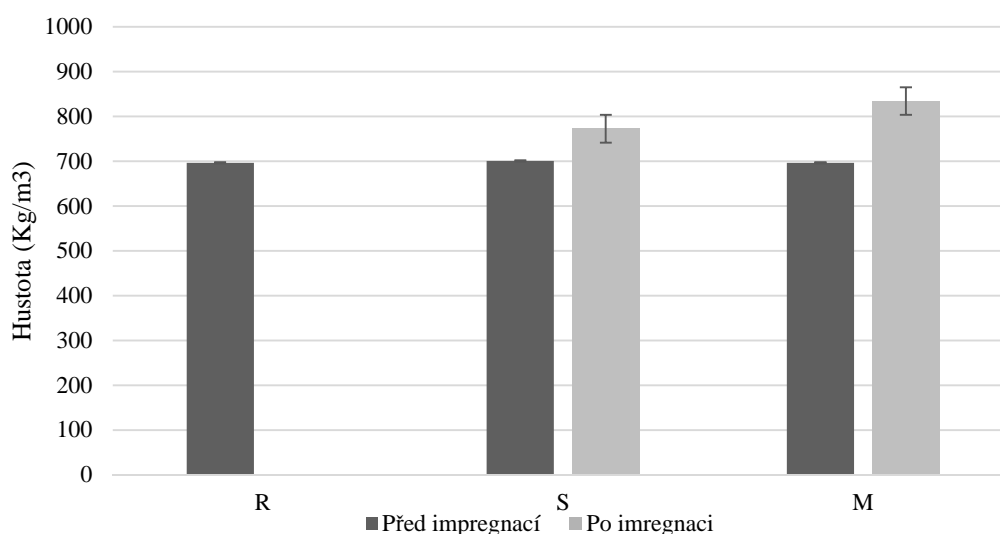
Všechna potřebná data pro výpočet hustoty jsme zjistili zvážením a změřením jednotlivých tělísek. Máme vypočítanou hustotu u všech vzorků před a po modifikaci. Následně jsme tyto hodnoty porovnali. Tím jsme zjistili, jak se hustota liší pro každý jednotlivý vzorek. Hodnoty jsme dále statisticky zpracovali viz. tab. 5.

Tab. 5: Rozdíl hustot u tělísek R, S a M před a po impregnaci

HUSTOTA	R	S		M	
		před impregnací	po impregnaci	před impregnací	po impregnaci
aritmetický průměr	696,23	700,77	772,63	696,54	834,41
Směrodatná odchylka	21,78	11,94	12,27	19,83	18,82
maximum	735,10	718,54	785,20	740,42	875,08
minimum	664,56	677,85	745,97	664,45	800,22
variační koeficient %	3,13	1,70	1,59	2,85	2,26

Na následujícím grafu (graf 1) lze pozorovat zvýšení hustoty vlivem impregnace pryskyřicemi. Mnohem vyšší nárůst hustoty je viditelný u vzorků naimpregnovaných močovinoformaldehydovou pryskyřicí.

Rozdíl hustot u tělísek referenčních (R), šelakových (S) a močovinných (M)



Graf 1: Rozdíl hustot u tělísek R, S a M před a po impregnaci

5.2 Mechanické zkoušky

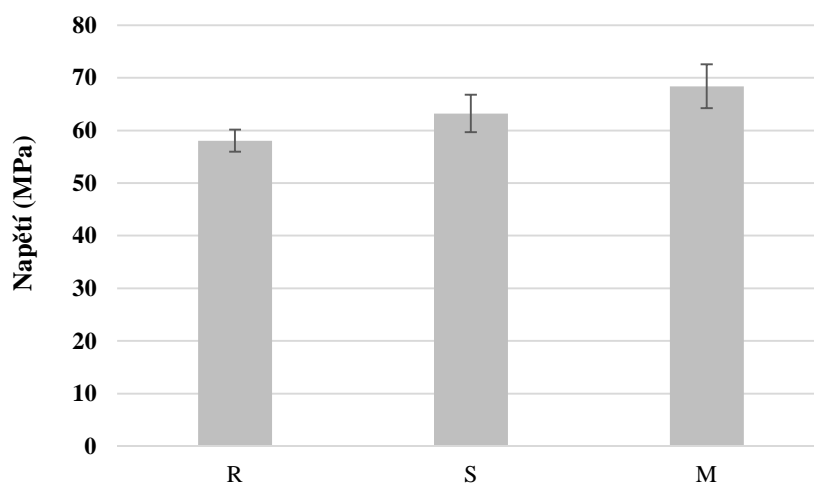
5.2.1 Výsledky v tlaku podél vláken

V následujících tabulkách (tab. 6 a 7) je zobrazena popisná statistika pro výsledné hodnoty meze pevnosti a modulu pružnosti u všech vzorků. Tyto statistické popisy jsou také znázorněny graficky (graf 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, a 9).

Tab. 6: Popisná statistika meze pevnosti

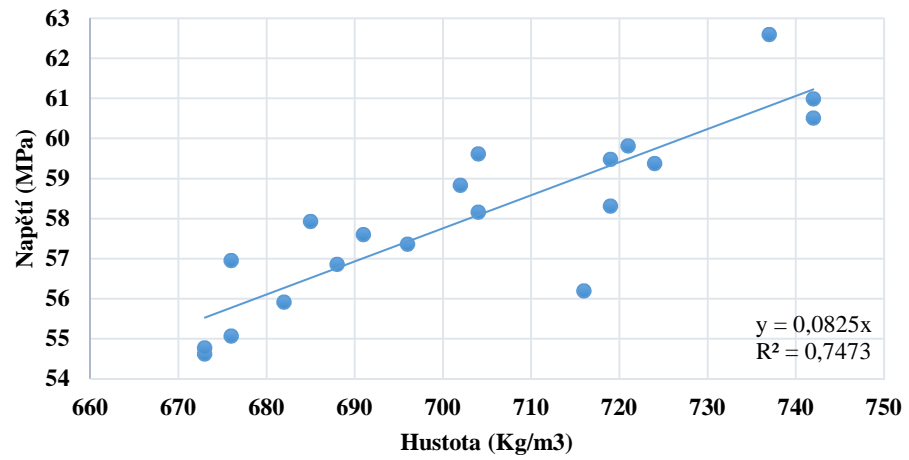
Mez pevnosti (MPa)			
	R	M	S
průměr	58,0	68,4	63,2
směrodatná odchylka	2,1	4,2	3,6
maximum	62,6	74,0	73,2
minimum	54,6	55,4	57,4
variační koeficient %	3,6	6,1	5,6

Mez pevnosti u vzorků referenčních (R) a modifikovaných šelakem (S) a močovinou (M)



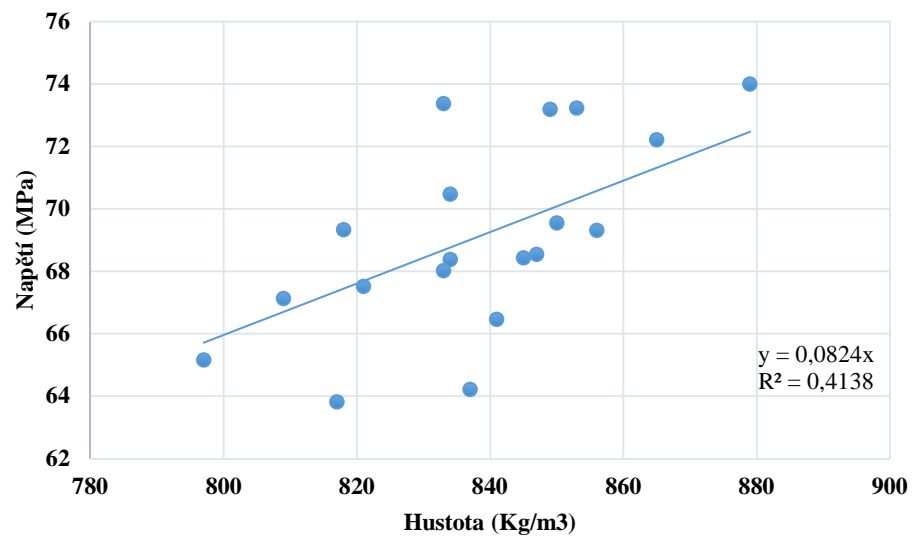
Graf 2: Mez pevnosti vzorků referenčních (R), šelakových (S) a močovinových (M)

Mez pevnosti u referenčních vzorků (R)



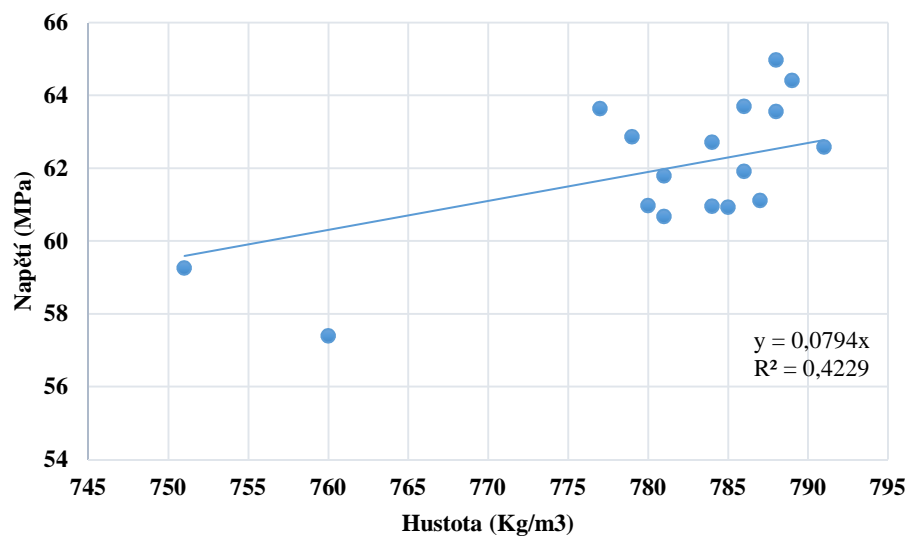
Graf 3: Mez pevnosti u referenčních vzorků (R)

Mez pevnosti u močovinných vzorků (M)



Graf 4: Mez pevnosti u močovinných vzorků (M)

Mez pevnosti u šelakových vzorků (S)

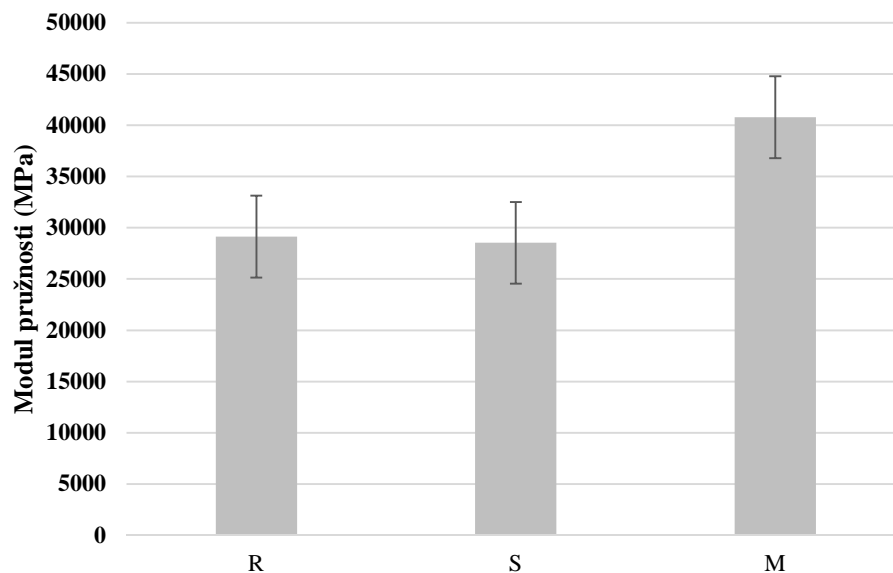


Graf 5: Mez pevnosti u šelakových vzorků (S)

Tab. 7: Popisná statistika modulu pružnosti

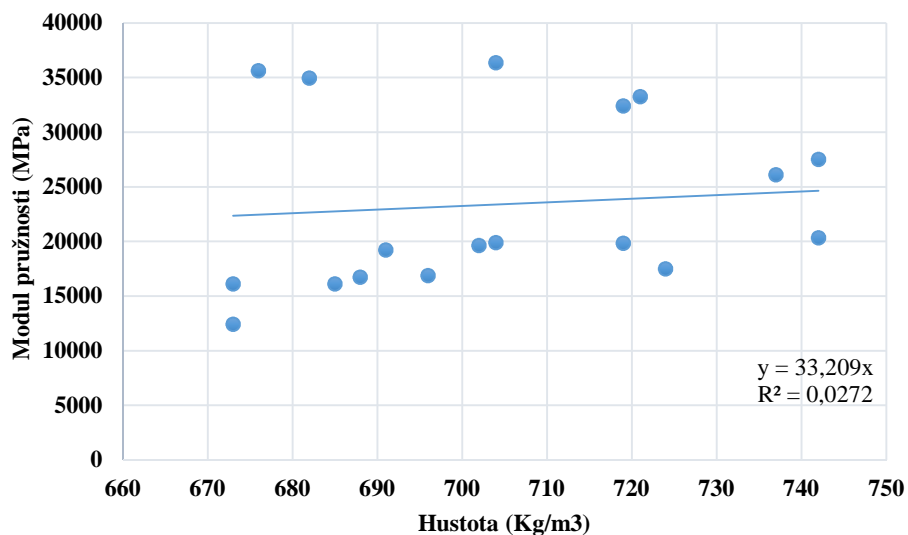
Modul pružnosti (MPa)			
	R	M	S
průměr	29133	40781	28530
směrodatná odchylka	19082	69036	27217
maximum	91789	321051	143492
minimum	12415	5543	11907
variační koeficient %	65	169	95

Modul pružnosti u vzorků referenčních (R) a modifikovaných šelakem (S) a močovinou (M)



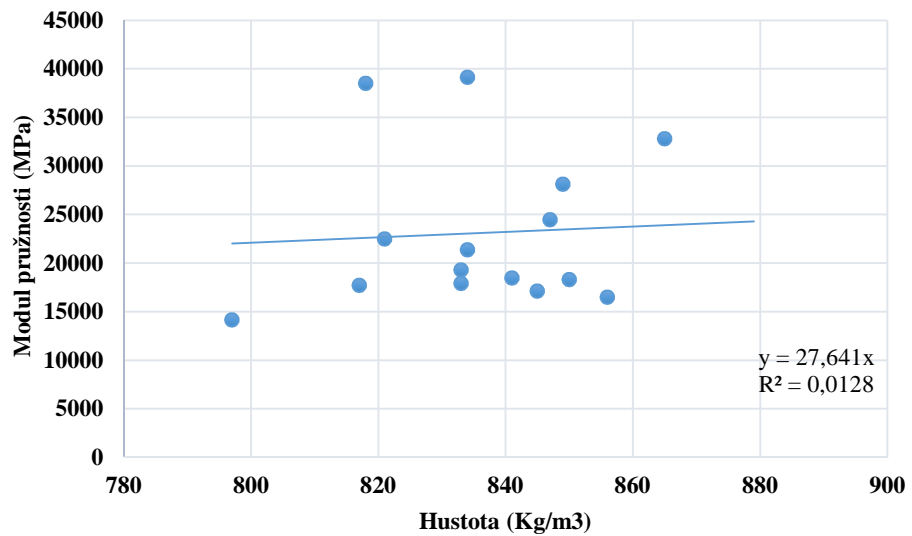
Graf 6: Modul pružnosti v tlaku ve směru vláken referenčních (R), šelakových (S) a močovinných (M) vzorků

Modul pružnosti v tlaku ve směru vláken referenčních vzorků (R)



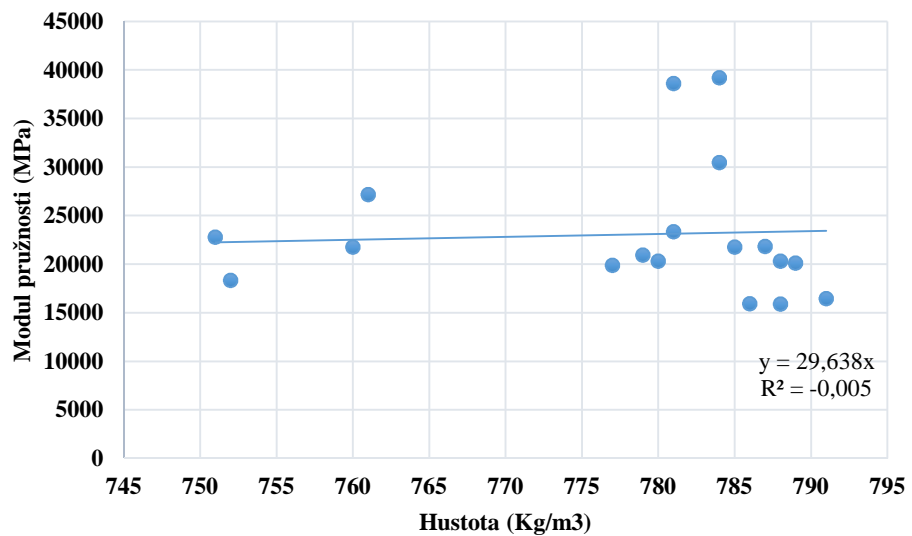
Graf 7: Modul pružnosti v tlaku ve směru vláken referenčních vzorků (R)

Modul pružnosti v tlaku ve směru vláken močovinových vzorků (M)



Graf 8: Modul pružnosti v tlaku ve směru vláken močovinových vzorků (M)

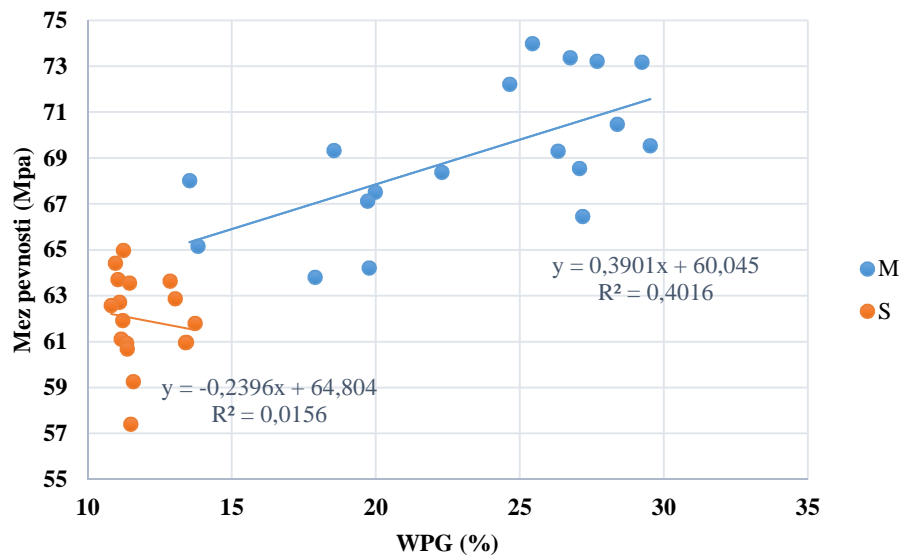
Modul pružnosti v tlaku ve směru vláken šelakových vzorků (S)



Graf 9: Modul pružnosti v tlaku ve směru vláken šelakových vzorků (S)

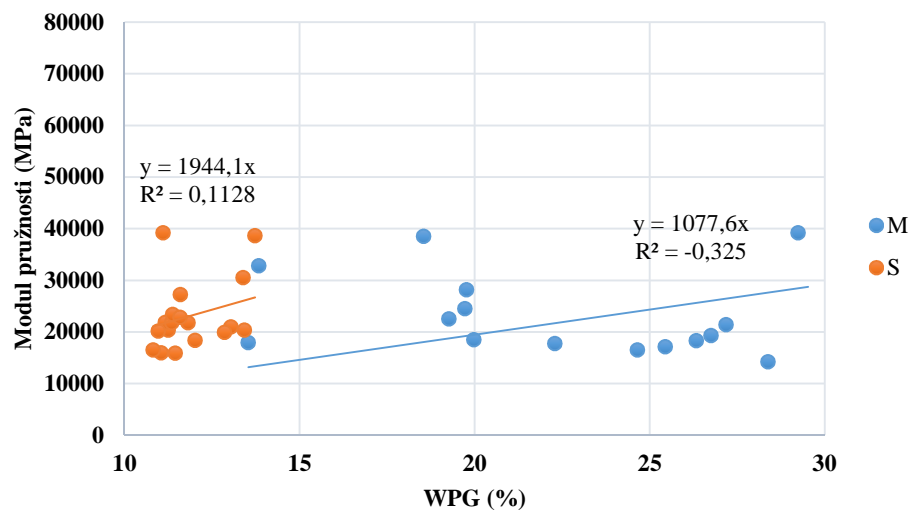
Další analýzou bylo potřeba zjistit závislost meze pevnosti a modulu pružnosti na hmotnostním přírůstku tělísek. Následující dva grafy (graf 10 a 11) tyto závislosti vyjadřují graficky.

Závislost meze pevnosti na WPG



Graf 10: Závislost meze pevnosti na WPG u vzorku šelakových (S) a močovinových (M)

Závislost modulu pružnosti na WPG



Graf 11: Závislost modulu pružnosti na WPG u vzorku šelakových (S) a močovinových (M)

6 DISKUZE

Výsledné hodnoty hmotnostního přírůstku (WPG) byly v rozmezí 11, 8 % až 22, 9 %. Hodnoty WPG u vzorků modifikovaných šelakem byly poloviční oproti WPG u vzorků modifikovaných močovinoformaldehydovou pryskyřicí. Tato skutečnost může být ovlivněna několika faktory. Hustotou impregnovaného roztoku nebo jeho koncentrací. Bezprostředně po impregnaci jsme naměřili příjem pryskyřice u vzorků šelakových v průměru okolo 280 kg/m^3 a u vzorků močovinoformaldehydových v průměru okolo 300 kg/m^3 . Důsledkem následující aklimatizace vzorků v interiéru po dobu jednoho týdne se výsledné hodnoty změnilly. I tento fakt může mít vliv na rozdílnost WPG a příjmů u obou skupin modifikovaných vzorků. Příčinami mohou být vypařená rozpouštědla aplikovaná v roztocích připravených k impregnaci. U močovinoformaldehydové pryskyřice může jít o vypařování vody a u šelaku o líh. Pro zjištění průniku pryskyřic do dřeva jsme do jednotlivých roztoků pryskyřic přidali barvivo. Výsledkem je znatelný průnik obou pryskyřic pouze do jarního dřeva. Příčinou průniku pouze do jarního dřeva je velký obsah makrocév v jarním dřevě buku. Molekuly pryskyřic jsou velké na to, aby prošly mikrocévami letního dřeva buku. Dále jsme provedli výpočet bulkingu, který se ukázal pro náš pokus nevýznamný. Hodnoty totiž byly velmi nízké.

Průměrná hustota buku uváděna *Horáčkem (2008)* se pohybuje okolo 720 kg/m^3 při vlhkosti 12 %. Námi naměřené hodnoty se u všech vzorků před impregnací pohybují v rozmezí 696 až 701 kg/m^3 . Po modifikaci pryskyřicemi se průměrná hustota zvýšila. U tělísek modifikovaných močovinoformaldehydovou pryskyřicí je průměrná hustota 834 kg/m^3 . U tělísek modifikovaných šelakovou pryskyřicí je průměrná hustota 773 kg/m^3 .

Mechanickou zkouškou, kterou jsme na vzorcích prováděli, byla mez pevnosti v tlaku podél vláken. Výsledky prokazovaly zvýšení meze pevnosti vlivem modifikace. U referenčních vzorků byla průměrná mez pevnosti 58 MPa. Ve srovnání s výše uvedenou literaturou se pevnost v tlaku podél vláken bukového dřeva se vzorky referenční a šelakové shodují s hodnotou uvedenou v Tab. 1. U vzorků modifikovaných se zvýšila na 68 MPa u vzorků impregnovaných močovinoformaldehydovou pryskyřicí. Na 63 MPa se pevnost v tlaku zvýšila u vzorků impregnovaných šelakem. Vyšší významnost regrese se projevila pouze v grafech 3, 4, 5. Kde R^2 čili koeficient determinace se pohybuje v intervalu od 0 do 1. Nejvyšší koeficient determinace je u meze pevnosti u vzorků referenčních. Činí 0,7, což nám potvrzuje větší úspěšnost regrese. Se zvyšující se hustotou modifikovaných vzorků rostla také

jejich pevnost. Ze zjištěných výsledků jsme vypočítali modul pružnosti. Zjištěním je, že pružnost je nejvyšší u vzorků impregnovaných močovinoformaldehydovou pryskyřicí. A to 40781 MPa. Zvýšení pružnosti u modifikovaných vzorků je nejspíše způsobena ztvrdnutím pryskyřice ve vodivých cestách buku. Vzorky modifikované přírodní pryskyřicí tedy šelakem mají průměr modulu pružnosti nejnižší. Je to 28530 MPa. Regrese u modulu pružnosti není příliš významná. Koeficient determinace se pohybuje velmi nízko. U šelakových vzorků je dokonce v záporných hodnotách. Ve výsledku je tedy regrese u modulu pružnosti nevýznamná.

7 ZÁVĚR

Bylo prokázáno, že vlivem modifikace se zvyšuje mez pevnosti. A také, že se zvyšuje modul pružnosti jenom u vzorků impregnovaných močovinoformaldehydovou pryskyřicí. Se zvyšujícím se podílem WPG se zvyšuje mez pevnosti a modul pružnosti. Přírodní pryskyřice, zastoupená šelakem, vykazovala nižší procento WPG. Průměrný příjem šelaku byl 83 kg/m^3 . Vzorky modifikované šelakovou pryskyřicí vykazovaly nejnižší modul pružnosti ze všech zkoumaných vzorků. Oproti tomu syntetická pryskyřice, zastoupena močovinoformaldehydovou pryskyřicí, vykazovala vyšší procento WPG. Průměrný příjem pryskyřice je 159 kg/m^3 . Což je téměř dvojnásobný nárůst oproti pryskyřici šelakové. Samozřejmě s takto vysokým příjmem pryskyřice se navýšila také hodnota hustoty těchto tělísek. Ze všech zkoumaných tělísek, měli tělíška modifikované močovinoformaldehydovou pryskyřicí nejvyšší mez pevnosti. Na rozdíl od vzorků modifikovaných šelakovou pryskyřicí, prokazovaly vzorky modifikované močovinoformaldehydovou pryskyřicí vyšší modul pružnosti. Nejvyšší modul pružnosti byl prokázán u vzorků impregnovaných močovinoformaldehydovou pryskyřicí. Výsledkem mého zkoumání bylo prokázáno, že se zvyšujícím se podílem pryskyřic ve dřevě buku se zvyšuje pevnost tohoto dřeva. Důsledkem je ztvrdnutí pryskyřice v anatomických elementech dřeva. S tímto souvisí samozřejmě vyšší pevnost dřeva.

Sekundárním cílem bylo zhodnotit možnosti využití nasyceného bukového dřeva v praxi. Možné užití by mohlo toto modifikované dřevo mít v konstrukčních materiálech, které mají vysoké požadavky na zvýšenou pevnost dřeva. Pro konkrétní užití v praxi by bylo zapotřebí zkoumat u těchto vzorků také ohyb. Po finanční stránce je užití šelakové pryskyřice velmi nákladné. Šelak se řadí mezi dražší přírodní pryskyřice. Pro účely mého zkoumání jsem zakoupil litr šelakové pryskyřice za téměř 600 Kč. Proto nedoporučuji užití konkrétně této pryskyřice. Oproti tomu močovinoformaldehydová pryskyřice je daleko levnější než šelak. Náklady na močovinoformaldehydovou pryskyřici byly asi 660 Kč za 10 kg pryskyřice. Navíc vzorky modifikované touto pryskyřicí vykazovaly lepší mez pevnosti.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

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

Dřevo, fyzikální a mechanické vlastnosti, vady dřeva, vlhkost a sušení dřeva. [online] citováno 4. ledna 2016. Dostupné na:
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/2.pdf

GANDELOVÁ, L., HORÁČEK, P. a ŠLEZINGEROVÁ, J. 2009. Nauka o dřevě. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.

HOLAN, J., 2008: Ochrana dřeva. 93 s.

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 World Wide Web: <http://www.m-pgoldbrand.com/news.pdf>

MATSUNAGA, M., MATSUNAGA, H., KATAOKA, Y., MATSUI, H., 2005: Improved water permeability of sugi heartwood by pretreatment with supercritical carbon dioxide. Journal of Wood Science 51, 2005. pp. 195-197

NEČESANÝ, V., 1958: Jádru buku, struktura, vznik a vývoj. SAV, Bratislava, 256 s.

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>

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

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

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