

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Posouzení vlivu termické úpravy na tlakovou pevnost
dřeva břízy bělokoré**

Bakalářská práce

Autor: František Cais

Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

František Cais

Dřevařství

Název práce

Posouzení vlivu termické úpravy na tlakovou pevnost dřeva břízy bělokoré

Název anglicky

Assessment of the effect of heat-treatment on the compressive strength of European birch wood

Cíle práce

1. Vyhodnotit tlakovou pevnost podél vláken dřeva břízy, a to jak neupraveného, tak i termicky upraveného při teplotách úpravy 170 a 190 °C.
2. Posoudit faktor termo-úpravy s ohledem na vybranou vlastnost (veličinu).
3. Porovnat zjištěné výsledky s dostupnými údaji v odborné literatuře.
4. Zaujmout názor z pohledu využití poznatků v praxi.

Metodika

1. Zpracovat literární rešerši o zkoumané dřevině, termické úpravě dřeva, hodnocené vlastnosti a o faktorech ovlivňujících její proměnlivost.
2. Standardizovanými postupy na na-klimatizovaných, upravených i neupravených (referenčních), zkušebních tělesech naměřit rozměry a hmotnost, a na trhacím zkušebním stroji TIRA stanovit sílu na mezi pevnosti. Následně vypočítat pevnost v tlaku a hustotou dřeva při vlhkostním stavu odpovídajícímu klimatizování při relativní vlhkosti vzduchu 65 % a teplotě 20 °C.
3. Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.

Doporučený rozsah práce

40-50 stran

Klíčová slova

dřevo břízy, termická úprava, pevnost v tlaku, hustota, variabilita vlastností

Doporučené zdroje informací

Borůvka, V., and Babiak, M. (2016). Vlastnosti dřeva v příkladech, 1. vyd. Praha ČZU, 139 s. ISBN 978-80-213-2618-7

ČSN 49 0108: Dřevo. Zisťovanie hustoty.

ČSN 49 0110: Dřevo. Medza pevnosti v tlaku v smere vláknien.

Dinwoodie, J. M. (2000). Timber: Its nature and behavior, Taylor & Francis New York, USA, pp. 258. ISBN 0-419-25550-8

Kačíková, D., and Kačík, F. (2011). Chemické a Mechanické Zmeny Dreva pri Termickej Úprave [Chemical and Mechanical Changes of Wood due to the Thermal Modification], Technická Univerzita vo Zvolene, Zvolen, Slovakia. ISBN 978-80-228-2249-7

Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., and Babiak, M. (1997). Štruktúra a Vlastnosti Dreva [Structure and Properties of Wood], Príroda AS, Bratislava, Slovakia. ISBN 80-07-00600-1.

Reinprecht, L., and Vidholdová, Z. (2011). Termodrevo [ThermoWood], ŠMÍRA-PRINT, Czech Republic. ISBN 978-80-87427-05-7

Reinprecht, L. (2016). Wood Deterioration, Protection and Maintenance, John Wiley & Sons, Oxford, United Kingdom. ISBN 978-1-119-10653-1

Wagenführ, R. (2000). Holzatlas, Fachbuchverlag, Leipzig. pp. 707. ISBN 978-3446213906

Zobel, B. J., and Buijtenen, J. P. (1989). Wood Variation: Its Causes and Control, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 363. ISBN 978-3-642-74071-8

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 15. 04. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “Posouzení vlivu termické úpravy na tlakovou pevnost dřeva břízy bělokoré“ vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Vlastimila Borůvky, PhD., a za použití odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Souhlasím se zveřejněním bakalářské práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 18.4.2019

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Vlastimilu Borůvkovi, PhD., který moji bakalářskou práci vedl a dohlížel na správnosti postupu a vyhotovení. Další velký dík patří Ing. Tomáši Holečkovi, který mi pomáhal při měření a konzultoval ji se mnou. Dále bych chtěl poděkovat České zemědělské univerzitě v Praze, konkrétně Fakultě lesnické a dřevařské, za možnost studia a využití odborných metod pro zjištění výsledků.

Posouzení vlivu termické úpravy na tlakovou pevnost dřeva břízy bělokoré

Souhrn

Tato bakalářská práce má jak praktickou, tak teoretickou část. V praktické části se zjišťuje vliv termické úpravy na pevnosti v tlaku podél vláken a to u vzorků bez termické úpravy a u vzorků s termickou úpravou při teplotě 170 °C a 190 °C. Pro lepší orientaci ve výsledných hodnotách jsou vypracované grafy a tabulky, které přehledně ukazují námi hledané hodnoty. Teoretická část nám ukazuje, jak moc se liší naměřené hodnoty s hodnotami z literatury.

Klíčová slova

Dřevo břízy, termická úprava, pevnost v tlaku, hustota, variabilita vlastností.

Assessment of the effect of heat-treatment on the compressive strength of European birch wood

Summary

This bachelor thesis has both practical and theoretical parts. The practical part is focused on the influence of a thermal treatment on compressive strength along the fibers in samples without a thermal treatment and in samples with a thermal treatment at 170 °C and 190 °C. For better orientation in the final values, graphs and tables are elaborated, which clearly show the values we are looking for. The theoretical part shows us how much the measured values differ from the values given in the literature.

Keywords

Birchwood, thermal modification, strength pressure, density, variability of properties.

Obsah

1	ÚVOD	10
2	CÍL PRÁCE	11
3	ROZBOR PROBLEMATIKY	12
3.1	BŘÍZA BĚLOKORÁ (<i>BETULA PENDULA</i>)	12
3.1.1	<i>Dendrologická charakteristika Betula pendula</i>	12
3.1.2	<i>Zastoupení dřeviny břízy v ČR</i>	13
3.2	STAVBA DŘEVA	13
3.2.1	<i>Makroskopická stavba</i>	13
3.2.2	<i>Mikroskopická stavba</i>	15
3.3	VLASTNOSTI DŘEVA A VYUŽITÍ	16
3.4	PEVNOST	16
3.4.1	<i>Pevnost dřeva v tlaku</i>	17
3.4.2	<i>Pevnost v tlaku podél vláken</i>	18
3.5	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PEVNOST V TLAKU PODÉL VLÁKEN	19
3.5.1	<i>Vlhkost dřeva</i>	19
3.5.2	<i>Hustota dřeva</i>	20
3.5.3	<i>Teplota dřeva</i>	21
3.6	TERMICKÁ ÚPRAVA DŘEVA	21
3.6.1	<i>Procesy a klasifikace termických úprav</i>	22
3.6.2	<i>ThermoWood</i>	22
3.6.3	<i>Ostatní způsoby termických úprav</i>	24
4	METODIKA	27
4.1	VÝBĚR VZORKŮ	27
4.2	TERMICKÁ ÚPRAVA VZORKŮ	28
4.2.1	<i>Klimatizování</i>	29
4.3	MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	29
4.3.1	<i>Pevnost dřeva v tlaku podél vláken</i>	29
4.3.2	<i>Vlhkost</i>	31
4.3.3	<i>Hustota</i>	32

5	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	33
6	ZÁVĚR.....	39
	7.1 LITERATURA.....	40
	7.2 ELEKTRONICKÉ DOKUMENTY	42
	7.3 NORMY.....	42
8	PŘÍLOHY	43

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: PŘÍČNÝ ŘEZ	OBRÁZEK 2: RADIÁLNÍ ŘEZ	14
OBRÁZEK 3: TANGENCIÁLNÍ ŘEZ		14
OBRÁZEK 4: PŘÍČNÝ ŘEZ ZVĚTŠENÍ 100X.....	OBRÁZEK 5: TANGENCIÁLNÍ ŘEZ ZVĚTŠENÍ 100X	15
OBRÁZEK 6: RADIÁLNÍ ŘEZ ZVĚTŠENÍ 200X	OBRÁZEK 7: RADIÁLNÍ ŘEZ ZVĚTŠENÍ 100X	15
OBRÁZEK 8: OBECNÝ TVAR PRACOVNÍHO DIAGRAMU (POŽGAJ ET AL, 1997)		17
OBRÁZEK 9: REÁLNÝ TVAR KŘIVKY PEVNOSTI (AUTOR)		18
OBRÁZEK 10: PODÉLNÝ SMĚR ZATÍŽENÍ (MATOVIČ, 1993).....		19
OBRÁZEK 11: GRAF VÝROBNÍHO PROCESU (THERMOWOOD HANDBOOK, 2003) ...		23
OBRÁZEK 12: UKÁZKA VZORKŮ PO TERMICKÉ ÚPRAVĚ (AUTOR)		24
OBRÁZEK 13: SCHÉMA VÝROBY VZORKŮ Z FOŠNY (AUTOR)		28
OBRÁZEK 14: TERMICKY UPRAVENÝ VZOREK PRO ZKOUŠKU PEVNOSTI V TLAKU PODÉL VLÁKEN (AUTOR)		28
OBRÁZEK 15: KOMORA KATRES NA TERMICKOU ÚPRAVU (AUTOR)		29
OBRÁZEK 16: ČELISTI PRO MĚŘENÍ PEVNOSTI V TLAKU PODÉL VLÁKEN (AUTOR) ..		30
OBRÁZEK 17: UKÁZKA VZORKU PO ZKOUŠCE PEVNOSTI V TLAKU PODÉL VLÁKEN (AUTOR)		31

Seznam tabulek

TABULKA 1: ZAŘAZENÍ BŘÍZY BĚLOKORÉ DO SYSTÉMU ROSTLIN (ZICHA, 1999)...	12
TABULKA 2: HODNOTY PEVNOSTI V TLAKU PODÉL VLÁKEN V DOSTUPNÝCH ZDROJÍCH	34
TABULKA 3: PEVNOST V TLAKU PODÉL VLÁKEN S HUTOTA , STATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY	35
TABULKA 4: NAMĚŘENÁ VLHKOST	36
TABULKA 5: HODNOTY HUSTOTY BŘÍZY Z DOSTUPNÝCH ZDROJŮ.....	37

Seznam grafů

GRAF 1: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU PODÉL VLÁKEN NA STUPNI ÚPRAVY	35
GRAF 2: ZÁVISLOST HUSTOTY NA STUPNI ÚPRAVY	37
GRAF 3: VLIV HUSTOTY NA PEVNOST V TLAKU PODÉL VLÁKEN	38

1 Úvod

Stále větší obliba použití dřeva má za následek větší specializaci na jeho opracování a úpravu. Velkou výhodou dřeva je jeho přírodní původ, vzhled, že je obnovitelnou surovinou a ekologický význam hlavně při likvidaci. Naopak nedostatkem je degradace vlivem biotických i abiotických činitelů jako je voda, vítr, záření, hmyz, houby a plísně. Proto se stále více snažíme ochránit dřevo před těmito činiteli. Jedním z vhodných způsobů je termická úprava, kdy se dřevo vystavuje zvýšené teplotě, při které dochází k chemickým změnám. Tyto změny mají za následek omezení a snížení hygroskopicity, tím pádem zvýšení odolnosti proti biotickým činitelům. Také dochází ke zvýšení rozměrové stability, bohužel na úkor snížení pevnostních vlastností.

Termickou úpravou můžeme dřevo břízy udělat odolnější, tím pádem bude mít mnohem větší využití. Tato práce se zabývá zjištěním vlivu termické úpravy na pevnost dřeva v tlaku podél vláken. Výsledky mohou napovědět k jakému použití by byla termicky upravená bříza vhodná.

2 Cíl práce

Hlavní cílem této bakalářské práce bylo zjistit a ověřit hodnoty pevnosti břízy podél vláken. Vzorky byly rozděleny do tří stejně početných skupin a to podle stupně termické úpravy. První skupina termicky upravena nebyla vůbec, zbylé dvě ano a to na teplotu 170 °C a 190 °C. Po zjištění daných hodnot bylo potřeba ověřit tyto výsledky s dostupnou literaturou.

3 Rozbor problematiky

3.1 Bříza bělokorá (*Betula pendula*)

Tabulka 1: Zařazení břízy bělokoré do systému rostlin (Zicha, 1999)

Druh	Bříza bělokorá (<i>Betula pendula</i>)
Říše	rostliny (<i>Plantae</i>)
Podříše	cévnaté (<i>Tracheobionta</i>)
Oddělení	krytosemenné (<i>Magnoliophyta</i>)
Třída	vyšší dvouděložné (<i>Rosopsida</i>)
Řád	bukovité (<i>Fagales</i>)
Čeleď	břízovité (<i>Betulaceae</i>)
Rod	bříza (<i>Betula</i>)

3.1.1 Dendrologická charakteristika *Betula pendula*

Nenáročná listnatá opadavá dřevina z čeledi břízovitých, se schopností odolávat nepříznivému klimatu. Možným důvodem odolnosti je nápadně bíle zbarvená kůra, která odráží velkou část dopadajícího slunečního záření. Dorůstá výšky až 20 (30) metrů a dožívá se až 150 let.

Nejčastěji se nachází na slunných a suchých stanovištích. Mezi další lokality výskytu patří skály, rašeliniště nebo pastviny. Lze ji nalézt i na extrémních stanovištích, kde může růst neohroženě, co se týče jiných dřevin. Horní hranice výskytu je až 1100 m n. m. Původním stanovištěm je Evropa a Malá Asie. V Evropě se vyskytuje od polárního kruhu na severu až po Pyreneje na jihu a východně po Rusko. (Úradníček, 2001)

Kmen má přímý a korunu řídkou nepravidelně uspořádanou s charakteristickým vejcovitým tvarem. Vyznačuje se svou bílou odlupující se kůrou, která nakonec borkovatí a černá. Mladé větve jsou tenké, převislé a nejčastěji lysé. Listy jsou široce vejčité, nejširší v dolní části čepele. Jsou 30-70 x 25-55 milimetru velké, jemně zašpičatělé na klínovité bázi. Okraje mají pilovité s

5-12 páry žilek. Začíná plodit v 10-15 letech a to prakticky každý rok. Plodem jsou jehnědy, samčí 1-3 na koncích větví, dorůstají 3-7 centimetrů. Samičí jehnědy se vyskytují jednotlivě na postranních větvích a dorůstají 15-40 x 7-14 milimetrů. Začíná kvést už na začátku dubna a kvete až do začátku června. (Větvička, 2005)

3.1.2 Zastoupení dřeviny břízy v ČR

V roce 2017 byla celková výměra lesních pozemků 2 671 659 ha. Lesnatost v ČR (podíl lesních pozemků na celkové rozloze země) dosáhl 34%. Podle současných údajů má bříza procentuální zastoupení 2,8%, což je 71 783 ha. Doporučené zastoupení břízy se shoduje s přirozeným výskytem je 0,8%, což je 21 373 ha. Rozdíl 2% mezi reálnou a doporučenou skladbou je ten, že se zvyšuje lesnatost ale i střední věk březových porostů. Veškeré informace jsou z oficiální zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství pro rok 2017. Jelikož ve zprávě nejsou rozděleny druhy bříz, ale jedná se pouze o břízu jako celek, budou se reálné informace přímo pro břízu bělokorou (*Betula pendula*) nepatrně lišit. (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství pro Českou republiku pro rok 2017)

3.2 Stavba dřeva

Stavba dřeva břízy patří mezi roztroušeně pórovité dřeviny. Póry nelze rozeznat pouhým okem. Patří mezi bělové dřeviny, které nevytvářejí jádro. Nepravé jádro může vytvořit v případě nepříznivých podmínek růstu. Nepravé jádro omezuje využití a snižuje hodnotu dřeva. (Zeidler, 2016)

3.2.1 Makroskopická stavba

Dřevo má bělavou barvu, může se objevit i bělavá barva se žlutavým nádechem. Přestože jsou letokruhy široké, nelze je snadno rozlišit viz obrázek č. 1. Cévy jsou rovnoměrně rozloženy na příčném řezu a vypadají jako poprašek mouky. Cévy na podélných řezech jsou znatelné jako krátké trhlínky. Na příčném nebo tangenciálním řezu nelze vidět dřeňové paprsky, ty jsou rozeznatelné pouze na radiálním řezu jako lesklé čárky. Přestože je kresba dřeva nevýrazná můžeme zde najít na podélných řezech tmavé dřeňové skvrny. Radiální a tangenciální řez

na obrázku č. 2 a 3 mají lesklý charakter. Reálné vyobrazení všech řezů je na obrázcích č. 1 - 3. (Balabán, 1955)



Obrázek 1: Příčný řez



Obrázek 2: Radiální řez

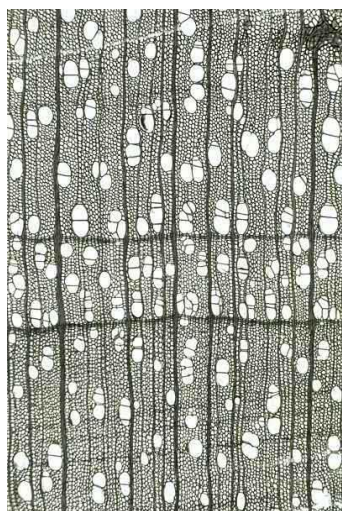


Obrázek 3: Tangenciální řez

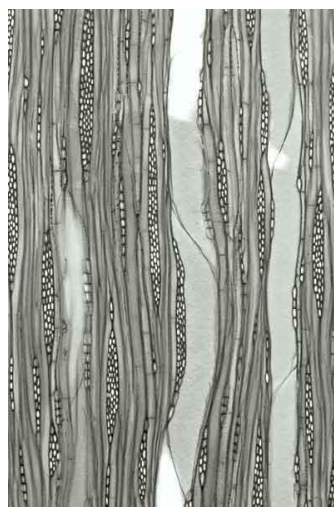
Zdroj: *Lesnická a dřevařská fakulta Mendelovy univerzity v Brně: Výuka anatomické stavby dřeva* [online], [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: http://ldf.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba_dreva/lexikon/makro/index.html?dr evina=br

3.2.2 Mikroskopická stavba

Tracheje viditelné na obrázku č. 4 jsou úzké, vyskytují se ve skupinách po 2-3, ojediněle až po 7 v radiálních řadách. Charakteristická pro břízu je mřížková perforace na obrázku č. 6 a 7 s malými dvojtečkami na tangenciálních stěnách. Dřeňové paprsky jsou složeny z tlustostěnných buněk a jsou jedno a třívrstvé (čtyřvrstvé). Dřevní parenchym je nevýrazný. Librifórní vlákna řídce dvojtečkovaná. Cévy neobsahují thyly a to ani v jádrovém dřevě. (Balabán, 1955)



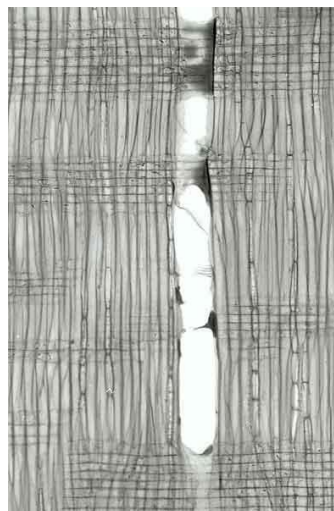
Obrázek 4: Příčný řez zvětšení 100x



Obrázek 5: Tangenciální řez zvětšení 100x



Obrázek 6: Radiální řez zvětšení 200x



Obrázek 7: Radiální řez zvětšení 100x

Zdroj: *Wood anatomy: Species List* [online], [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <http://www.woodanatomy.ch/species.php?code=BEPE#>

3.3 Vlastnosti dřeva a využití

Bříza má charakter středně tvrdého dřeva (podle Brinella 23 N/mm²) a těžké s hmotností sušiny (640 kg/m³). V závislosti na vysoké hustotě je lepení obtížnější. Vyznačuje se dobrou štípatelností a houževnatostí. Vlivem vyšší vlhkosti může způsobovat barevné změny. Nevýhodou je velká náchylnost na napadení biotickými činiteli (třída trvanlivosti 5). (Fellner, 2007)

Bříza nemá využití pouze jako dřevní surovina, ale dají se využít i větvičky, kůra nebo listy. Dřevo břízy je čím dál tím více využíváno, což je spojeno se zvýšením výsadby a větší produkce dřeva.

Pro své dobré vlastnosti, co se týče ohebnosti, houževnatosti a nepřítomnost jádra je dřevo ceněné v truhlářské výrobě, ale i v oblasti dýchárenství pro své kořenice. Suchou destilací dřeva i kůry se dá získat březový dehet, který se využívá k napouštění kůží. Je známo, že březová kůra hoří, i když není suchá. Kůra se dále využívala pro výrobu nádob k různým účelům.

Suché listy se pro svůj značný podíl vitamínu A a C používají ve farmaceutickém průmyslu. Naopak mladé listy jsou droga, protože po konzumaci mají diuretický účinek. Dále se listy používají při koupeli pro své účinky na revma a otoky. Z proutí se vyrábějí košťata. Rašící bříza roní sladkou šťávu, ze které se vyrábí sirup. V neposlední řadě se používá březová voda a to především v kosmetice.

Zdroj: Herbar Wendys: Betula pendula - bříza bělokorá [online], [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://botanika.wendys.cz/index.php/14-herbar-rostlin/502-betula-pendula-briza-belokora>

3.4 Pevnost

Pevnost dřeva je vlastnost proti trvalému porušení. Kvantitativně je pevnost vyjádřena jako napětí, při kterém dojde k porušení dřeva (napětím na mez pevnosti). Zjišťuje se pomocí zkoušky (reálná pevnost dřeva), při které se sleduje napětí v okamžiku porušení tělesa. Pevnost dřeva můžeme rozdělit podle různých

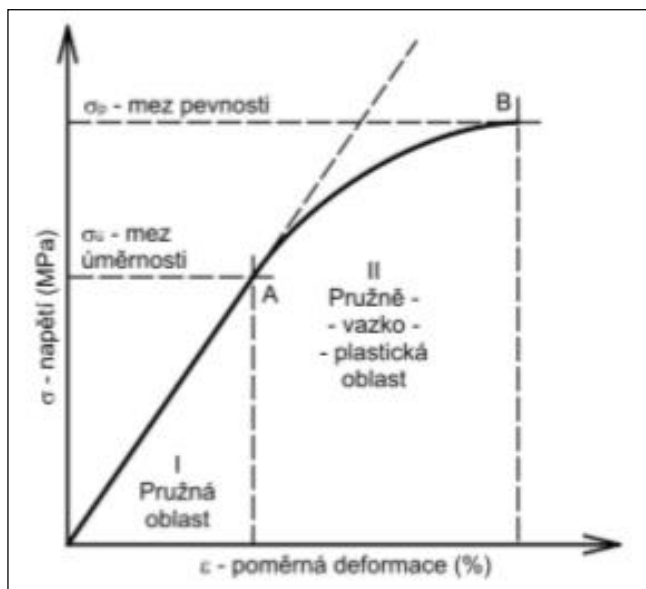
kritérií, a to stav napjatosti (jednoosý, víceosý), časového způsobu zatížení (statické, dynamické), způsobu zatížení (tlak, tah, krut, ohyb, smyk), či účinku zatížení (destruktivní, nedestruktivní). (Gandelová, 2009)

3.4.1 Pevnost dřeva v tlaku

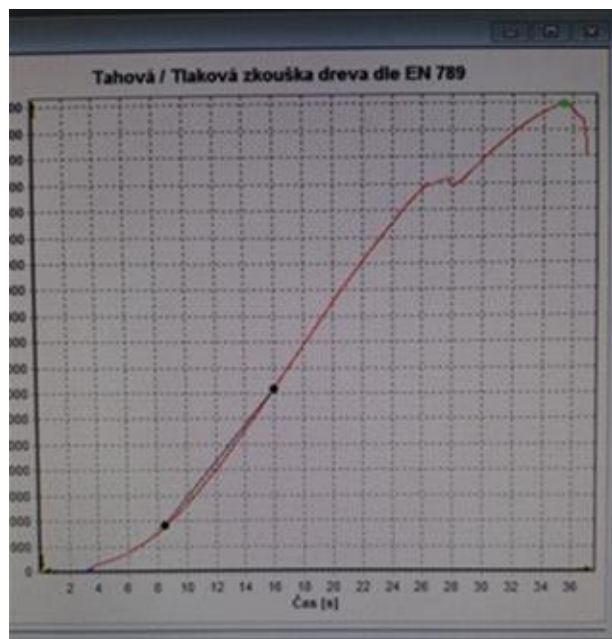
Dřevo je anizotropní a nehomogenní materiál, proto u něj rozlišujeme pevnost v tlaku s ohledem na orientaci dřevních vláken:

- pevnost v tlaku podél vláken,
- pevnost v tlaku napříč vláken (radiální nebo tangenciální směr).

Pevnost dřeva lze zjistit graficky, pomocí pracovního diagramu obrázek č. 8.



Obrázek 8: Obecný tvar pracovního diagramu (Požgaj et al, 1997)



Obrázek 9: Reálný tvar křivky pevnosti (autor)

3.4.2 Pevnost v tlaku podél vláken

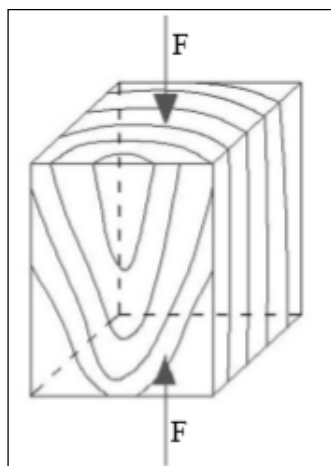
Jednou z nejdůležitějších pevností je právě pevnost v tlaku podél vláken. Při působení tlaku ve směru podél vláken dochází k deformaci, která se projevív zkrácením délky tělesa viz obrázek č. 10. Jak značná deformace bude, závisí na druhu dřeviny a jakosti tělesa. Síla působící ve směru hlavních stavebních elementů dřeva, tracheid, cév a libriformních vláken.

Vzniklé napětí v tělese je přenášeno především tlustšími elementy, jako jsou tracheidy. Pevnost těchto elementů je zejména ovlivněna sekundární vrstvou buněčné stěny S2, která má nejsilnější charakter.

Pro porovnání pevnosti dřeva lze použít rozdělení podle pórovitosti:

- Roztroušeně pórovité dřeviny se vyznačují nejlepší pevnostními vlastnostmi, které zabezpečuje především pravidelná struktura a vysoké specializaci anatomických elementů.
- Kruhovitě pórovité dřeviny mají o něco horší pevnostní vlastnosti a to především kvůli nepravidelné struktuře.
- Jehličnaté dřeviny představují z pevnostního hlediska nejhorší dřevo, a to vše kvůli jednoduchosti anatomických elementů.

Pevnost dřeva břízy podél vláken je 56,3 MPa při vlhkosti 8% a 23,3 MPa při vlhkosti 30%. (Fink, 2016)



Obrázek 10: Podélný směr zatížení (Matovič, 1993)

Pevnost dřeva podél vláken se stanoví podle vzorce:

$$\sigma_p = \frac{F_{max}}{a \cdot b} [MPa]$$

kde: F_{max} — maximální zatížení [N],

a, b — příčné rozměry tělesa [mm].

Pro stanovení pevnosti dřeva v tlaku podél vláken v praxi se používá norma ČSN 49 0110. Tato norma nám udává základní způsoby a postupy zkoušky, jako jsou vzorce pro stanovení veličiny vymežující tuto vlastnost, který je uveden výše. (Gandelová, 2009)

3.5 Faktory ovlivňující pevnost v tlaku podél vláken

3.5.1 Vlhkost dřeva

Dřevo je hygroskopický materiál a proto dokáže v okolního prostředí absorbovat nebo odevzdávat vodu. Voda to může být ve formě kapalné nebo plynné. Vlhkost dřeva lze charakterizovat jako určitý podíl vody ve dřevě. (Horáček, 2004)

Absolutní vlhkost dřeva se stanoví podle vzorce:

$$W_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_0} \cdot 100 [\%]$$

V praxi se spíše využívá relativní vlhkost podle vzorce:

$$W_{rel} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_w} [\%]$$

kde: m_w — hmotnost vlhkého dřeva [kg],

m_0 — hmotnost absolutně suchého dřeva [kg],

m_v — hmotnost vody [kg]. (Matovič, 1993)

Zásadní vliv má právě vlhkost, jelikož se stoupající vlhkostí až do meze hygroskopicity se pevnost snižuje. Při změně obsahu vody vázané v rozsahu 9-15% lze uvažovat o lineárním vztahu. Mimo tento interval považujeme změnu za nelineární. Zpravidla se změnou vlhkosti o 1% se pevnost změní průměrně o 3-4%. Přepočet na 12% vlhkost, se kterou se běžně v praxi pracuje, provádíme podle vztahu:

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

kde: w —absolutní vlhkost dřeva v době zkoušení [%],

σ_w — pevnost dřeva při zkoušení [Pa;MPa],

α — opravný koeficient pro daný způsob zatížení (pro tlak podél vláken $\alpha = 0,04$). (Horáček, 2002)

3.5.2 Hustota dřeva

Hustotu dřeva lze charakterizovat jako podíl hmotnosti na objemu. Pro výpočet hustoty dřeva platí vztah:

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

kde: ρ — hustota dřeva [kg.m⁻³],

m — hmotnost dřeva [kg],

V — objem dřeva [m^3].

I přes stejnou hustotu mohou mít dva vzorky odlišné pevnostní vlastnosti a to z důvodu odlišné anatomické stavby dřeva. Největší vliv hustoty je u suchého dřeva, pokud se dostaneme nad MH, je tento vliv zanedbatelný. Se zvyšující se hustotou roste i pevnost dřeva. (Horáček, 2002)

3.5.3 Teplota dřeva

Dřevo se změnou teploty nejčastěji setkává při různých technologických operacích (plastifikace, lisování, sušení), což ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti. Nejmenší a pouze dočasné změny nastávají, pokud je dřevo vystaveno teplotě do 70 °C. K trvalým změnám dochází, pokud je dřevo vystaveno teplotě nad 100 °C. Největší změny nastávají při teplotě nad 200 °C, kdy dochází k pyrolýze dřeva. S teplotou také souvisí doba, po kterou bylo dřevo teplotě vystaveno. S delší dobou působení tepla jsou změny výraznější. (Požgaj et al., 1997)

3.6 Termická úprava dřeva

Principy dnešních úprav už znali například Vikingové, kteří používali oheň pro opálení povrchu dřeva a tím zlepšovali jeho odolnost a to i pro použití v exteriéru. Už na počátku 20. století se začala termická úprava dřeva zkoumat nejprve v Německu a později i v USA. V Německu se studii věnovali až do 70. let. Největšího pokroku však v poslední době uspěl výzkum z Finska, kde vznikla značka ThermoWood®, která byla následně patentována. (ThermoWoodHandbook, 2003)

Termickou úpravou se rozumí změna struktury dřeva, které se zabezpečuje technologickými operacemi. Celý proces je založen na působení vysokých teplot, za předem definovaných podmínek, které zahrnují působení zvýšenou teplotou 160-280 °C za určitý čas 2-24 hodin. (Reinprecht, 2011)

Termická úprava se provádí za účelem zlepšení vlastností dřeva, přeměnou jeho struktury. Mezi hlavní změny patří snížení hygroskopicity, zvýšení odolnosti

vůči biotickým činitelům nebo zvýšení rozměrové stability. V neposlední řadě se mění i barva dřeva, což bereme jako výhodu, protože můžeme napodobit dražší exotické dřeviny.

Uplatnění termicky upraveného dřeva je jak v interiéru, tak i v exteriéru. V interiéru jej můžeme použít na podlahy, obklady nebo nábytek. V exteriéru nalezneme uplatnění hlavně jako fasádní obklad nebo podlahy teras, okna a dveře. (Reinprecht, 2011)

3.6.1 Procesy a klasifikace termických úprav

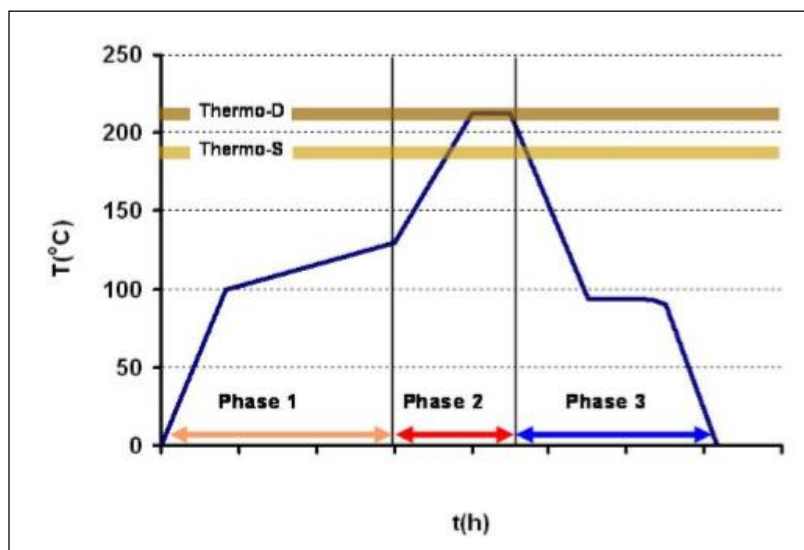
V dnešní době je více možností jak termicky namodifikovat dřevo. Hlavními rozdíly mezi těmito způsoby jsou způsoby přípravy, prostředí modifikace a médium, které se k modifikaci používá. Dalšími rozdíly jsou odlišné fáze samotného procesu, jinak také rozdílné teploty a doba působení na materiál.

V současnosti je nejpoužívanější způsob ThermoWood (Finsko), který je v evropských zemích využíván až z 90% z celkové produkce termicky upraveného dřeva. Dalšími významnými metodami jsou PlatoWood (Holandsko), OHT (Německo) nebo RetificatedWood (Francie). (Kačíková, 2011)

3.6.2 ThermoWood

Tento způsob byl vymyšlen a patentován ve Finsku. Jako prostředek se v tomto způsobu používá horký vzduch a vlhké atmosféry v podobě páry. Po celou dobu úpravy proudí plynné médium stanovenou rychlostí a to nejméně $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tento proces modifikace je možné rozdělit do tří částí, které jsou vidět na obrázku č. 11:

- 1. fáze – zvýšení teploty a sušení,
- 2. fáze – tepelné zpracování,
- 3. fáze – chlazení a kondicionování.



Obrázek 11: Graf výrobního procesu (ThermoWood Handbook, 2003)

1.fáze – zvýšení teploty a sušení

V komoře je za přivádění tepla a páry zvyšována teplota na hodnotu okolo 100 °C, následuje postupné zvyšování teploty na hodnotu okolo 130 °C. Tento proces zabezpečuje sušení dřeva až na hodnotu absolutní vlhkosti 0%. Celá první část je časově nejvíce náročná ze všech tří procesů a dá se označit jako sušení při vysoké teplotě. Doba procesu je odvozena od počáteční vlhkosti dřeva, druh dřeviny a rozměrů materiálu. Vodní pára v tomto procesu je velice důležitá, jelikož minimalizuje počet a vznik trhlin dřeva při sušení.

2.fáze – tepelné zpracování

Poté, co je v materiálu dosaženo požadované vlhkosti, se teplota zvýší na 185-215 °C. Po dosažení této meze se udržuje tato teplota po dobu 2-3 hodin. Doba se odvíjí od požadavků na místo použití materiálu. I v této fázi je stále přítomna pára a plní ochranný charakter.

3. fáze – chlazení a kondicionování

Při této fázi následuje postupné ochlazování a to k teplotám okolo 80-90 °C. K ochlazování přispívá systém trysek, který rozprašuje vodu v celé komoře. Po dosažení stanovené teploty dochází ke zvlhčování materiálu a to na úroveň absolutní vlhkosti 4-7%. Pokud by se vlhkost materiálu nezvýšila, bylo by nebezpečí, že materiál rozpraská vlivem vyrovnání teploty a vlhkosti s okolním

prostředí. Finální fáze trvá 5-15 hodin s ohledem na rozměry materiálu a původní teplotu. (ThermoWood Handbook, 2003; Reinprecht, 2011; Kačíková, 2011)



Obrázek 12: Ukázka vzorků po termické úpravě (autor)

Třídy ThermoWood

Jsou dvě varianty, jak lze ThermoWood vyrábět. První varianta je Thermo – S. Písmeno S znamená stabilitu. Využívá se v interiéru, kde se dbá na stabilitu a vzhled materiálu. Druhá varianta je Thermo-D. Písmeno D vyjadřuje trvanlivost. Využívá se především v exteriéru. Obě varianty se od sebe liší a to především technologickým procesem modifikace. Samotný proces ovlivňuje použití rozdílných teplot, časů a dalších faktorů. (ThermoWood Handbook, 2003)

3.6.3 Ostatní způsoby termických úprav

PlatoWood

Pro tuto metodu se nejčastěji používají dřeviny fraké, smrk méně často i borovice, bříza a topol. Typická barva dřeva po použití této modifikace je tmavě hnědá a pro dřevo vystavené exteriérovým podmínkám převážně povětrnosti je typická barva šedá. (Kačíková, 2011)

Celý proces se skládá ze 4 částí:

- hydrotermická úprava,
- sušení,

- vytvrzování,
- klimatizování.

1. Hydrotermická úprava

Dřevo se ve speciálním autoklávu ohřívá nasycenou parou při tlaku 0,6-0,9 MPa dokud nedosáhne konečné teploty 150-180 °C. Tato teplota se udržuje 4-5 hodin v závislosti na druhu dřeviny a rozměrech dřeva.

2. Sušení

Dřevo se uloží do sušící komory, kde se ohřívá a suší na absolutní vlhkost 8-10% po dobu 5-21 dní.

3. Vytvrzování

Dřevo se přemístí do velkokapacitních autoklávů, kde se ohřívá při teplotě 150-190 °C a atmosférickém tlaku. Tím se vlhkost dřeva přiblíží k absolutní vlhkosti 1%. Hladina kyslíku je udržována na hladině 2% pomocí vstřikování přehřáté páry, čímž se zabezpečí ochrana proti vznícení dřeva. Tento proces trvá 12-16 hodin.

4. Klimatizování

Pomalým vlhčením se upraví vlhkost dřeva na absolutní vlhkost 3-5%. Klimatizace probíhá v průběhu 3 dnů. (Reinprecht, 2011)

OHT Wood

Dřevo je uloženo v impregnační nádobě a ohřívá se na teplotu 180-220 °C pomocí horkého rostlinného oleje. Horký olej zabezpečuje přenos tepla a zároveň zabraňuje přístupu kyslíku ke dřevu, který by způsoboval nežádoucí termooxidační reakce. Ve dřevě je zapotřebí udržovat teplotu kolem 200 °C po dobu 2-4 hodin. Používá se řepkový slunečnicový nebo lněný olej. Nevýhodou může být výrazný zápach po oleji. (Kačíková, 2011)

RetificatdWood

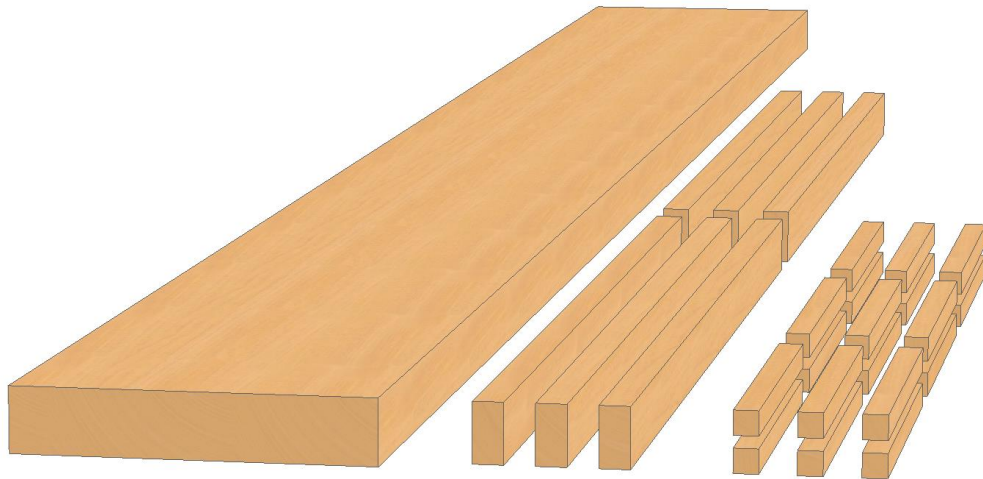
Dřevo se musí předsušit na absolutní vlhkost 12%. Proces retifikace je založen na postupném ohřevu dřeva v interním prostředí dusíku při teplotách až 210-260 °C. při přítomnosti kyslíku do 2%. Částečná pyrolyzace dřeva vede k malým termo-oxidačním reakcím, tím pádem dochází k menšímu poklesu pevnostních vlastností. Celý tento proces trvá 7-14 hodin. (Kačíková, 2011)

4 Metodika

Zkoušky byly prováděny v souladu s platnými normami. Měření probíhalo v co nejkratší době, která závisela na vytíženosti laboratoře a časovým možnostem studenta. Školení a měření se uskutečnilo pod odborným dohledem Ing. Vlastimila Borůvky, PhD., nebo Ing. Tomášem Holečkem. Příprava vzorků probíhala v truhlářské dílně Dřevařského pavilonu České zemědělské univerzity v Praze. Jelikož zkoumaná vlastnost byla součástí rozsáhlejšího výzkumu, tak se nepřipravovaly vzorky jen pro zkoušku pevnosti v tlaku podél vláken, ale pro celý rozsáhlejší výzkum. Po vyhotovení vzorků došlo k jejich přesunutí na školní pracoviště v Kostelci nad Černými lesy, kde se vzorky termicky upravovaly. Po termické úpravě se vzorky převezly zase zpět na Dřevařský pavilon v Praze, kde na nich byla provedena zkouška pevnosti. Před samotným měřením se vzorky nechaly klimatizovat. Po klimatizaci následovalo změření a zvážení vzorků, pro zjištění hustoty na následné zkoušky. Celkem bylo zpracováno 720 zkušebních vzorků rozdělených do 3 sad, z nichž byly 2 sady tepelně upravené.

4.1 Výběr vzorků

Všechny vzorky byly připraveny v souladu s platnou normou ČSN 49 0101. Schéma výroby vzorků viz obrázek č. 13. Z fošen pocházejících z Kostelce nad Černými lesy se z osmi kmenů nařezáním vyhotovily hranolky o rozměrech 25 x 50 x 1000 milimetrů. Příčným i podélným řezáním se z každého hranolu vyřezalo 6 zkušebních těles s podélnými rozměry 300 milimetrů a příčnými 20x20 milimetrů. V těchto formátech se vzorky odvážely na termickou úpravu. Po změření pevnosti v ohybu a rázové houževnatosti se odřezaly konce zkušebních těles. Část těchto odřezaných vzorků o rozměrech, byly 20 x 20 x 30 milimetrů a byly určeny pro pevnost dřeva v tlaku podél vláken, jak je vidět na obrázku č. 14.



Obrázek 13: Schéma výroby vzorků z fošny (autor)



Obrázek 14: Termicky upravený vzorek pro zkoušku pevnosti v tlaku podél vláken (autor)

4.2 Termická úprava vzorků

Před úpravou byly vzorky klimatizovány při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65%. Tepelná úprava probíhala v komoře od firmy Katres, která se nachází ve školním pracovišti v Kostelci nad Černými lesy a lze ji vidět na obrázku č. 15. Vzorky se rozdělily na 3 stejné sady, z čehož jedna sada zůstala bez termické úpravy a zbylé dvě se modifikovali finskou metodou v komoře. Jedna sada se v komoře modifikovala na 170 °C a druhá na 190 °C.



Obrázek 15: Komora KATRES na termickou úpravu (autor)

4.2.1 Klimatizování

Tento proces probíhá po tepelné úpravě a provádí se v klimatizační skříni. Klimatizování probíhá při teplotě 20 °C s relativní vlhkostí vzduchu 65%. Doba klimatizace se určuje průběžným vážením vybraných vzorků až do doby, kdy se jejich hmotnost už nemění. Tím pádem bylo dosaženo rovnovážné vlhkosti. Klimatizace je velice důležitá operace před samotným zkoušením vzorků. Docílí se stejných počátečních podmínek pro všechny vzorky a eliminují se chyby, které by mohly nastat vlivem rozdílných podmínek.

4.3 Měření mechanických vlastností

Zkouška pevnosti podél vláken se uskutečnila ve dřevařském pavilonu České zemědělské univerzity v Praze. Byla prováděna ve specializované laboratoři, určené k měření pevnosti dřeva. Všechny vzorky byly před zahájením zkoušky naklimatizovány na teplotu 20 °C s relativní vlhkostí vzduchu 65%, což jsou podmínky určené k měření.

4.3.1 Pevnost dřeva v tlaku podél vláken

Změřeno bylo 720 vzorků o rozměrech 20 x 20 x 30 milimetrů. Tyto rozměry byly pouze informativní, proto bylo potřeba všechny vzorky přeměřit

pomocí digitálního posuvného měřítka a následně zapsat reálné rozměry. Vlastní měření probíhalo na univerzálním trhacím stroji UTS-50, se kterým spolupracuje software TIRA, který vyhodnocuje a zpracovává výsledky. Speciální čelisti jsou určeny pro tuto zkoušku a zabezpečují předepsané zatěžování vzorků, vidíme je na obrázku č. 16. Metoda této zkoušky je založena na působení síly v podélném směru zkušebního tělesa, a to až do porušení meze pevnosti, kdy je zkouška pro tento vzorek ukončena. Pevnost vzorku následně zjistíme dosazením zjištěné síly do známého vzorce:

$$\sigma_p = \frac{F_{max}}{a \cdot b} [MPa]$$

kde: F_{max} - maximální zatížení [N],

a, b- příčné rozměry tělesa [mm]. (ČSN 49 0110)



Obrázek 16: Čelisti pro měření pevnosti v tlaku podél vláken (autor)



Obrázek 17: Ukázka vzorku po zkoušce pevnosti v tlaku podél vláken (autor)

4.3.2 Vlhkost

Stanovení vlhkosti dřeva probíhalo podle platné normy ČSN 49 0103. Měření bylo prováděno na vzorcích o rozměrech 20 x 20 x 30 milimetrů. Samotnému měření předcházelo klimatizování všech vzorků na jednotnou vlhkost 12% v klimatizační komoře. Po klimatizaci následovalo zvážení vzorků pomocí digitální laboratorní váhy Kern s přesností 0,01 g. Další operací po vážení bylo měření rozměrů pomocí digitálního posuvného měřítka Kinex s přesností měření 0,01 milimetru. Následně byly vzorky klimatizovány v klimatizační komoře na absolutní vlhkost 0%. Dosažení této vlhkosti se zjišťovalo pravidelným měřením hmotnosti vybraných vzorků do bodu, kdy už se hmotnost neměnila. Při klimatizování na stanovenou vlhkost došlo k opětovnému vážení a měření vzorků. Rozměry vzorků byly dále používány ke stanovení bobtnání a sesychání. Znaměřených výsledků bylo možné vypočítat absolutní vlhkost podle vzorce:

$$W_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 [\%]$$

kde: m_w — hmotnost vlhkého dřeva [kg],

m_0 — hmotnost absolutně suchého dřeva [kg]. (ČSN 49 0103)

Všechny vzorky byly klimatizovány v klimatizační komoře při vlhkosti 12% a relativní vlhkosti vzduchu 65%, tím pádem vlhkost 12% měly pouze termicky neupravené vzorky, protože termicky upravené vzorky měly svou vlhkost menší.

Tento fakt byl brán v úvahu a vlhkost všech vzorků se nepřepočítávala na vlhkost 12%, čímž se projevila výhoda termicky upraveného dřeva.

4.3.3 Hustota

Stanovené hustoty dřeva probíhalo podle platné normy ČSN 49 0108. Tato norma udává, jak se zjistí hustota dřeva ze základních parametrů jako je hmotnost a objem dřeva při dané vlhkosti. Proto byly vzorky klimatizovány na stanovenou a jednotnou vlhkost. Po klimatizaci následovalo zvážení vzorků pomocí digitální laboratorní váhy Kern s přesností 0,01 g. Další operací po vážení bylo měření rozměrů pomocí digitálního posuvného měřítka Kinex s přesností měření 0,01 milimetru. Z naměřených výsledků bylo možné vypočítat hustotu podle vzorce:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} [kg \cdot m^{-3}]$$

kde: m_w — hmotnost vlhkého dřeva [kg],

V_w — objem vlhkého dřeva [m³]. (ČSN 49 0108)

5 Výsledky a diskuze

Tato kapitola pojednává o stanovených hodnotách a jejich porovnání. Výsledky byly zpracovány pomocí programů STATISTICA a EXCEL. Z těchto programů jsou výsledky ve formě grafů a tabulek. Hlavním úkolem bylo zjistit vliv termické úpravy na dřevo břízy, a to při namáhání v tlaku podél vláken. Byly porovnávány vzorky bez termické úpravy a vzorky s termickou úpravou. Jedna sada tepelně upravených vzorků byla tepelně upravena na 170 °C a druhá sada na 190 °C. Vlivem termické úpravy a následným chemickým změnám ve dřevě došlo ke změně vlastností ve prospěch termicky upravených vzorků dřeva. Tento fakt je zřetelně znám z grafů č. 1, 2 a 3 a je možné si jej ověřit u v tabulce č. 3, ve které je pro každou sadu vzorků určen počet vzorků, aritmetický průměr, maximum, minimum, směrodatná odchylka a variační koeficient. Pro grafické zpracování statické analýzy byla použita hladina významnosti 0,05. Naměřené hodnoty byly porovnány s hodnotami z dostupné literatury. Z důvodu neznámých výsledků u termicky upravené břízy v dostupné literatuře jsou výsledky porovnány se známými výsledky, a to termicky upraveného smrku. Nelze přímo porovnávat listnaté a jehličnaté dřevo, ale k porovnání mezi neupravenými vzorky a termicky upravenými vzorky lze toto porovnání použít.

Pevnost

Tabulka č.3 zobrazuje výsledné hodnoty pro neupravené vzorky (REF) břízy a pro termicky upravené vzorky (170 °C a 190 °C). Pevnost v tlaku podél vláken břízy u neupravených vzorků byla v rozmezí 32,1 až 80,6 MPa. Z důvodu možného výskytu extrémních hodnot, byl vypočítán aritmetický průměr získaných dat, se kterým byly následně porovnávány hodnoty z odborné literatury. Výsledná hodnota aritmetického průměru vyšla 59,6 MPa. U termicky upravených vzorků byla hodnota aritmetického průměru pevnosti v tlaku podél vláken pro 170 °C 63,1 MPa a pro 190 °C 62,9 MPa. Z těchto hodnot je patrné zlepšení mechanických vlastností v tlaku podél vláken při termické modifikaci dřeva břízy.

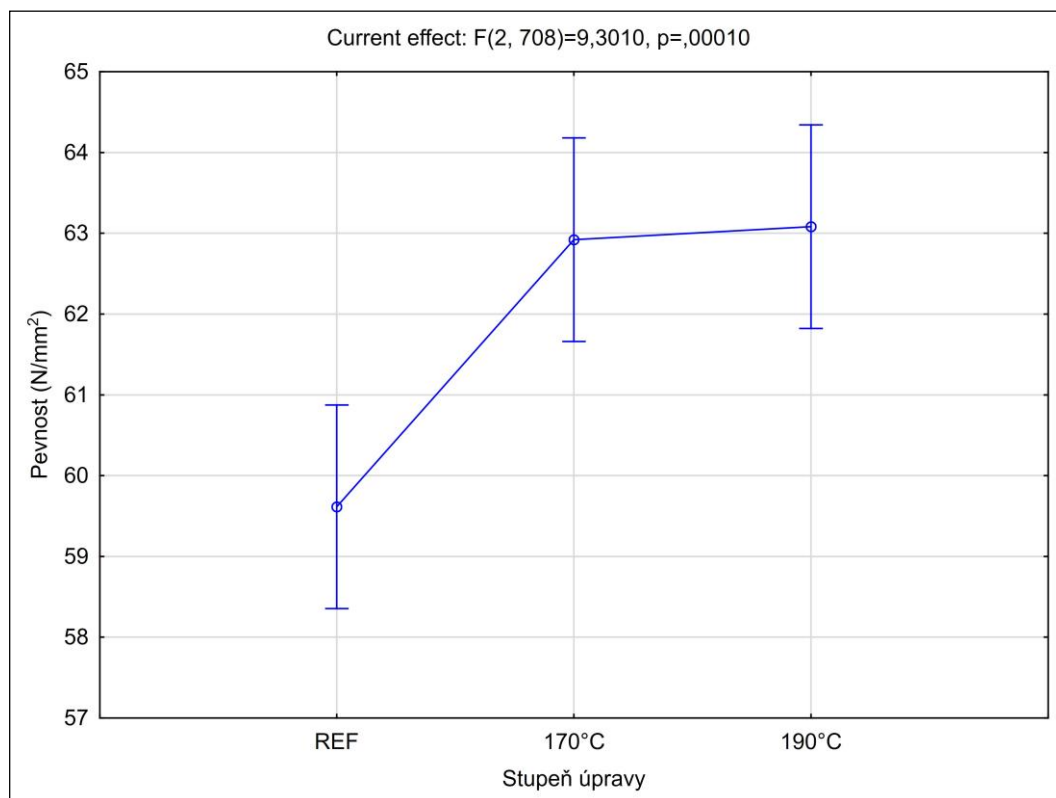
Pro srovnání s tepelně upraveným dřevem smrku na 195 °C po dobu 3 hodin, kdy se pevnost v tlaku podél vláken zvýšila o 30% oproti dřevu tepelně neupravenému. (ThermoWood Handbook, 2003)

Při tepelné úpravě na 170 °C se pevnost v tlaku podél vláken zvýšila o 5,8% a při úpravě na 190 °C se pevnost v tlaku podél vláken zvýšila o 5,5% oproti neupraveným vzorkům jak lze vidět v grafu č. 1. Nárůst pevnosti není tak velký jako u dřeva smrku, ale pořád je vyšší než u vzorků bez termické úpravy. Z tabulky č.3 je zřejmé, že při teplotě nad 170 °C se pevnost v tlaku podél vláken mírně zhoršila o 0,3%, což je zanedbatelné.

Podle získaných dat v bakalářské práci lze tvrdit, že se získaná data neliší od dat uváděných v odborné literatuře u různých autorů. Provedená měření lze považovat za úspěšná, neboť nebyla zjištěna výraznější odchylka od dat z odborných zdrojů. Tabulka č. 2 souhrnně zobrazuje hodnoty pevnosti v tlaku podél vláken různých autorů, se kterými byla získaná data porovnávána.

Tabulka 2: Hodnoty pevnosti v tlaku podél vláken v dostupných zdrojích

	Pevnost v tlaku podél vláken [MPa]
Tsoumis (1991)	56,0
Bodig (1982)	56,3
Williamson (2002)	39,2
Fink (2016)	55,5
W. Green (1999)	56,3



Graf 1: Závislost pevnosti v tlaku podél vláken na stupni úpravy

Tabulka 3: Pevnost v tlaku podél vláken a hustota, statistické charakteristiky

	Hustota REF	Pevnost REF	Hustota 170	Pevnost 170	Hustota 190	Pevnost 190
Počet vzorků	237	237	237	237	237	237
Průměr	652	59,6	647	63,1	636	62,9
Minimum	518	32,0	492	19,2	461	39,9
Maximum	813	80,6	773	88,9	768	85,8
Směrodatná odchylka	52	9,2	52	11,6	58	8,5
Variační koeficient [%]	8,1	15,4	8,2	18,4	9,1	13,5

Vlhkost

Vlivem tepelné úpravy došlo k poklesu vlhkosti tepelně modifikovaných vzorků. Pro porovnávání změny vlhkosti musely být všechny vzorky naklimatizovány za stejných podmínek a to při vlhkosti 12% a relativní vlhkosti

vzduchu 65%. Jak je patrné z tabulky č. 4, tak naměřené hodnoty vlhkosti po klimatizaci klesaly ve prospěch tepelně upravených vzorků. Tepelně neupravené vzorky měly vlhkost 12,6%, což odpovídá podmínkám klimatizování. Tepelně upravené vzorky při 170 °C měly vlhkost 10,6% a vzorky upravené na 190 °C měly vlhkost 9,6%.

Procentuální pokles u termické úpravy není zanedbatelný. U termicky upravených vzorků při 170 °C vůči neupraveným vzorkům se vlhkost změnila o 13,5% a u termické úpravy při 190 °C vůči neupraveným vzorkům se vlhkost změnila o 23,8%.

Tabulka 4: Naměřená vlhkost

	Stupeň úpravy	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
Vlhkost [%]	REF	12,6	0,3	2,0
	170	10,9	0,4	3,8
	190	9,6	0,7	7,2

Hustota

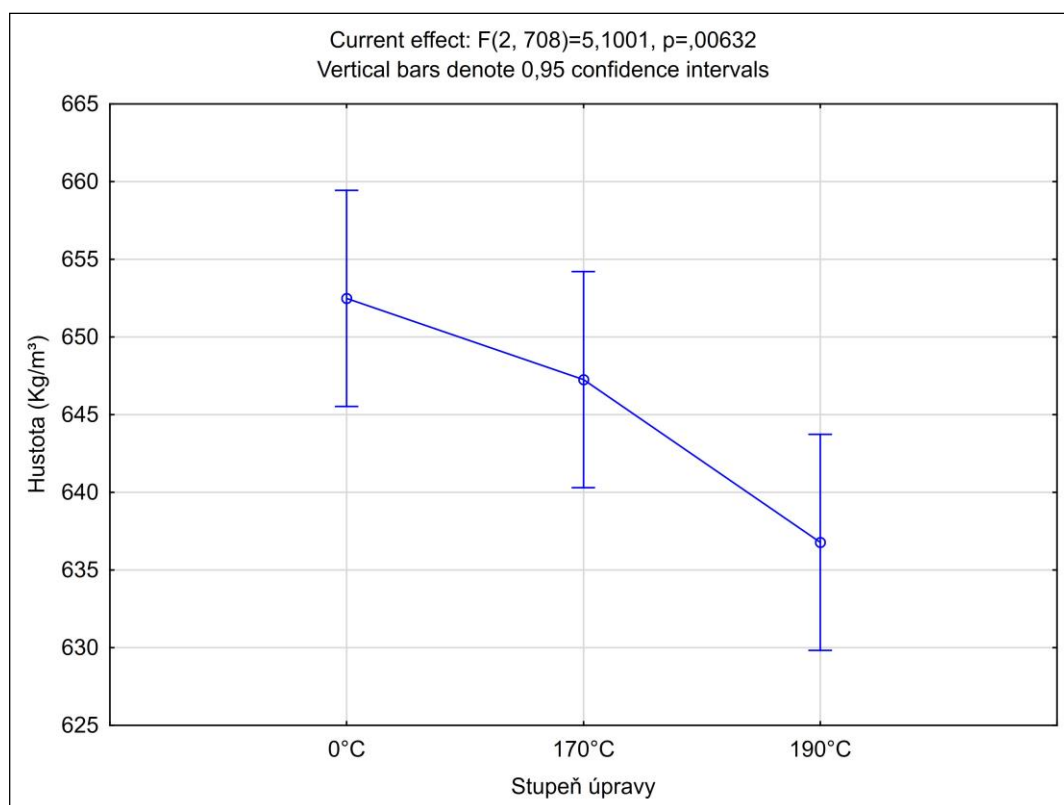
Na základě získaných výsledků bylo potvrzeno, že vlivem termické úpravy dochází ve dřevě k chemickým změnám, které mají vliv na snížení hustoty. Snížení hustoty bylo zapříčiněno zejména rozkladem hemicelulóz a dalšími chemickými vlivy. Se zvyšující se teplotou do určité hodnoty se hustota snižuje, jak je možné vidět v tabulce č. 3. Hustota břízy u neupravených vzorků byla v rozmezí 518 až 813 kg/m³, tyto hodnoty odpovídají hustotám z odborné literatury tabulka č. 4. Z důvodu možného výskytu extrémních hodnot, byl vypočítán aritmetický průměr získaných dat, se kterým byly následně porovnávány hodnoty z odborné literatury. Výsledná hodnota aritmetického průměru vyšla 652 kg/m³, což je patrné z tabulky č. 3. U termicky upravených vzorků byla hodnota aritmetického průměru hustoty pro 170 °C 647 kg/m³ a pro 190 °C 636 kg/m³. (ČSN 49 0108, 1993)

Při tepelné úpravě na 170 °C se hustota snížila o 0,8% a při úpravě na 190 °C se hustota snížila o 2,5% oproti neupraveným vzorkům, jak lze vidět v grafu č. 2.

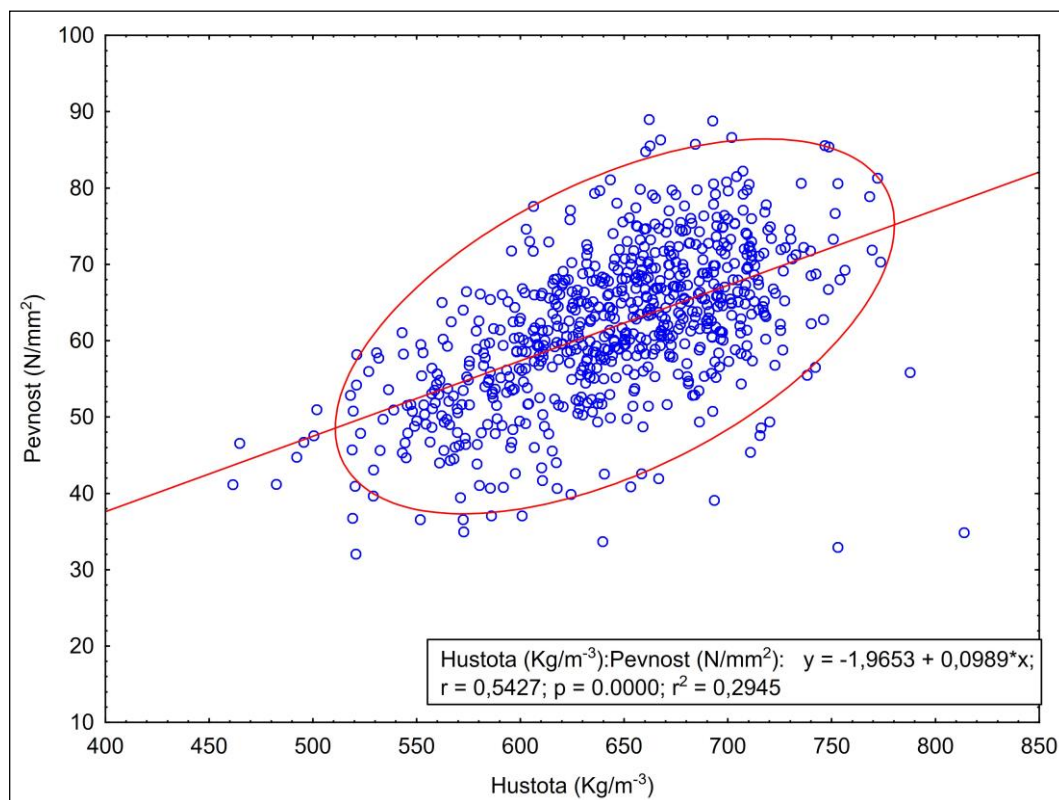
Z tabulky č. 3 je zřejmé, že při teplotě nad 170 °C se hustota snížila o 1,6%, což je dvakrát více než z neupraveného stavu na termickou úpravu při 170 °C.

Tabulka 5: Hodnoty hustoty břízy z dostupných zdrojů

	Hustota [kg/m ³]
Tsoumis (1991)	620
Bodig (1982)	550
Williamson (2002)	480
Požgaj (1997)	500-600



Graf 2: Závislost hustoty na stupni úpravy



Graf 3: Vliv hustoty na pevnost v tlaku podél vláken

6 Závěr

Během působení zvýšených teplot na dřevo dochází k chemickým změnám, které jsme schopni využít v náš prospěch. Obecně je známo, že při tepelné úpravě dřeva se zvýšením teploty některé mechanické vlastnosti zlepšují a jiné naopak zhoršují. Z výsledků této bakalářské práce je zřejmé, že při termické úpravě dřeva břízy došlo ke zvýšení pevnosti v tlaku podél vláken jak při 170 °C tak i 190 °C, přestože u vyšší uvedené teploty už nárůst nebyl tak velký jako u nižší teploty. U hustoty dřeva při tepelné úpravě je trend klesající, což se potvrdilo u obou stupňů termických úprav, a to v nemalé míře. Se zvyšující se teplotou klesala rovnovážná vlhkost dřeva oproti termicky neupravenému dřevu. Tento fakt může být hlavním důvodem pro upřednostnění termicky upraveného dřeva z hlediska náchylnosti na dřevokazné škůdce, jakožto hmyz, plísně nebo houby.

O použití termicky upravené břízy není zatím takový zájem. Ani fakt, že dřevina není hojně zastoupena v českých lesích, nezvýší zájem o její využití. Díky zjištěným hodnotám z této bakalářské práce by mohla termicky upravená bříza najít větší využití, a to především pro zvyšující se pevnost v tlaku podél vláken. Nepoužívání termického dřeva pro nosné konstrukce by se mohlo v budoucnu změnit pro určité dřeviny a určitou teplotu tepelné úpravy. Vše závisí na vývoji zkoumání termicky modifikovaného dřeva, jelikož se jeví tento směr úpravy dřeva jako efektivní a ekologický.

7 Použité zdroje

7.1 Literatura

- BALABÁN, Karel. *Nauka o dřevě*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1955. Lesnická knihovna (Státní zemědělské nakladatelství).
- BODIG, Jozsef a Benjamin JAYNE. *Mechanics of wood and wood composites*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982. ISBN 0-442-00822-8.
- EHRHART T., G. Fink, R. Steiger, and A. Frangi, “Experimental investigation of tensile strength and stiffness indicators regarding European beech timber,” in WCTE, 2016.
- FELLNER, Josef, Alfred TEISCHINGER a Walter ZSCHOKKE. *Spektrum dřevin: vyobrazení, popis a srovnávací údaje*. Viedeň: proHolz Austria, 2007. Pro lignum. ISBN 978-3-902320-44-5.
- GANDELOVÁ, Libuše a Petr HORÁČEK. *Nauka o dřevě*. 2. nezm. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 80-7157-577-1.
- GANDELOVÁ, Libuše a Jarmila ŠLEZINGEROVÁ. *Stavba dřeva*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. 187 s. ISBN 978-80-7375-966-7.
- KAČÍKOVÁ, Danica a František KAČÍK. *Chemické a mechanické zmeny drevapri termickej úprave*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 71 s. ISBN 978-80-228-2249-7
- MATOVIČ, Anton. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva: Určeno pro posl. les. fak. obor dřevař a les*. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993. ISBN 80-7157-086-9.

- POŽGAJ, A. a kol. (1997). Štruktúra a vlastnosti dreva, Príroda a.s., Bratislava 1993, 485 s. ISBN 80-07-00600-1
- REINPRECHT, Ladislav a Zuzana VIDHOLDOVÁ. Termodrevo: Thermowood.[1. vyd.]. S. l.: Šmíraprint, 2011c. 89 s. ISBN 978-80-87427-05-7.
- TSOUMIS, George T. *Science and technology of wood: structure, properties, utilization*. New York: Van Nostrand Reinhold, c1991. ISBN 0-442-23985-8.
- ÚRADNÍČEK, Luboš a Petr MADĚRA. *Dřeviny České republiky*. Písek: Matice Lesnická, 2001. ISBN 80-86271-09-9
- VĚTVIČKA, Václav. *Stromy a keře, mé životní lásky*. Ilustroval Zdeněk BERGER, ilustroval Zdeňka KREJČOVÁ, ilustroval Jan MAGET, ilustroval Jan MAŠEK, ilustroval Věra NIČOVÁ, ilustroval Anna SKOUMALOVÁ-HADAČOVÁ, ilustroval Pavel ŽILÁK. Praha: Aventinum, 2017. ISBN 978-80-7442-093-1
- WILLIAMSON, Thomas G. *APA engineered wood handbook*. New York: McGraw-Hill, c2002. ISBN 0-07-136029-8.
- ZEIDLER, Aleš a Vlastimil BORŮVKA. *Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin - podklady pro cvičení*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2674-3.
- Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky: Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic : stav k Praha: Ministerstvo zemědělství nakladatelství Lesnická práce, 2018. 128 s. ISBN 978-80-7434-477-0

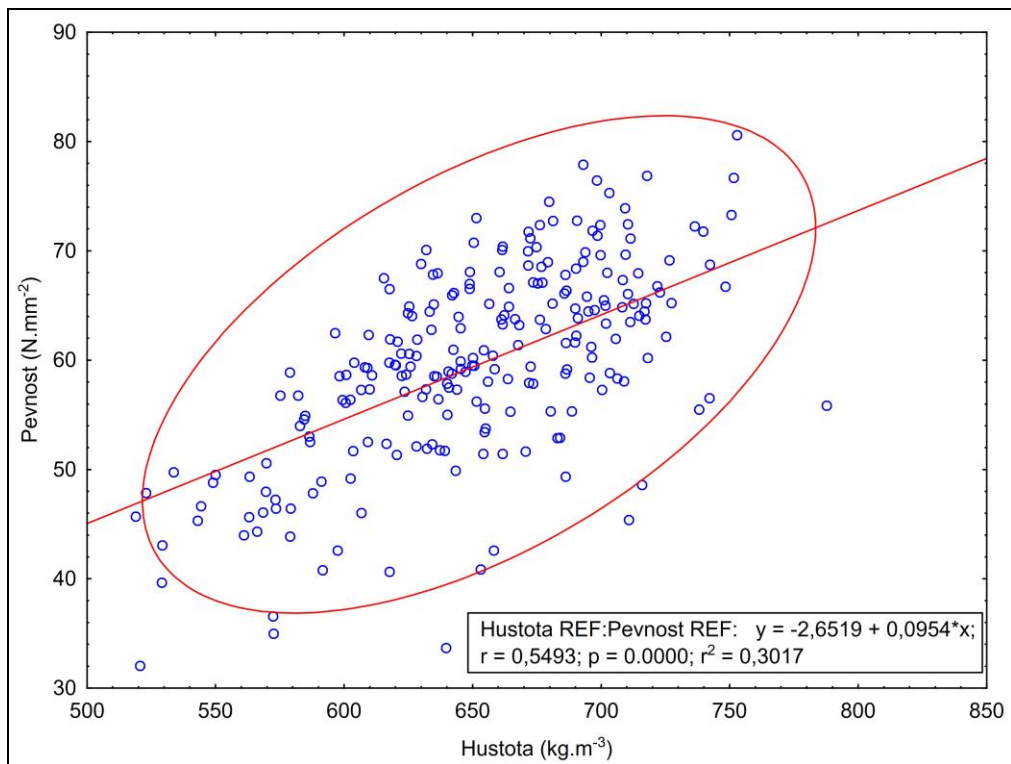
7.2 Elektronické dokumenty

- *Herbář Wendys: Betula pendula - bříza bělokorá* [online], [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://botanika.wendys.cz/index.php/14-herbar-rostlin/502-betula-pendula-briza-belokora>
- *Lesnická a dřevařská fakulta Mendelovy univerzity v Brně: Výukaaanatomické stavby dřeva* [online], [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: http://ldf.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=br
- *Thermowood Handbook*. Helsinki: Finnish Thrmowood Association 2003 [online]. [cit. 6. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.thermowood.fi/esitteet-ja-kirjat>
- *Wood anatomy: Species List* [online], [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <http://www.woodanatomy.ch/species.php?code=BEPE#>
- ZICHA, Ondřej, ed. *Tilia (lípa) - Zařazení v systému: Taxonomic tree of plants and animals with photos*. BioLib.cz [online]. Praha: BioLib, 1999 [cit.2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxonposition/id39311/>

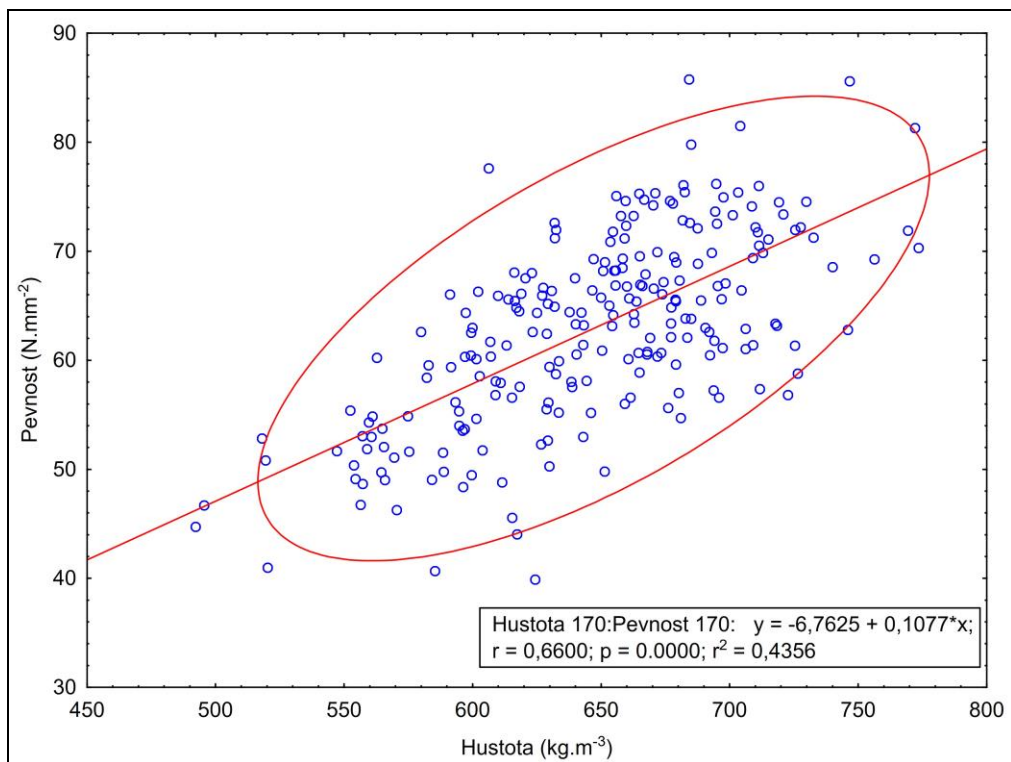
7.3 Normy

- ČSN 49 0101 Drevo. Všeobecné požiadavky na fyzikálne a mechanické skúšky.1980
- ČSN 49 0103 Drevo. Zist'ovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškách. 1979
- ČSN 49 0108 Drevo. Zist'ovanie hustoty. 1993
- ČSN 49 0110 Drevo. Medza pevnosti v tlaku v smere vláknien. 1980

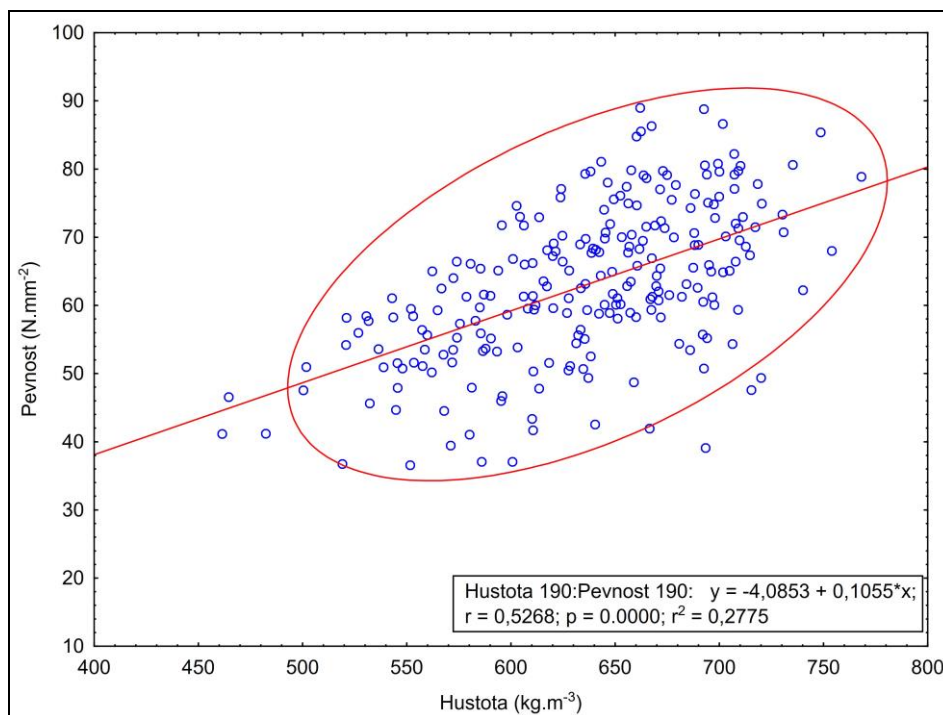
8 Přílohy



Příloha 1: Pevnost na hustotě bez termické úpravy



Příloha 2: Pevnost na hustotě při termické úpravě na 170 °C



Příloha 3: Pevnost na hustotě při termické úpravě na 190 °C

	REF	170 °C	190 °C
REF		0,000275*	0,000202*
170 °C	0,000275*		0,859113
190 °C	0,000202*	0,859113	

Příloha 4: Duncanův test napětí na stupni úpravy

* hodnoty jsou významné při $p < 0,05$

	REF	170 °C	190 °C
REF		0,296375	0,002444*
170 °C	0,296375		0,036467*
190 °C	0,002444*	0,036467*	

Příloha 5: Duncanův test hustota na stupni úpravy

*hodnoty jsou významné při $p < 0,05$