

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

KATEDRA ZÁKLADNÍHO ZPRACOVÁNÍ DŘEVA



TERMICKÁ ÚPRAVA TROPICKÝCH DŘEVIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor bakalářské práce: Maxim Moscovciuc

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

© Praha 2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:	Maxim Moscovciuc
Studijní program:	Dřevařství
Obor:	Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu
Vedoucí práce:	doc. Ing. Milan Gaff, PhD.
Garantující pracoviště:	Katedra základního zpracování dřeva
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Termická úprava tropických dřevin
Název anglicky:	Thermal treatment of tropical trees
Cíle práce:	Cílem práce je experimentálním způsobem zjistit vliv jednotlivých stupňů termické úpravy tropických dřevin na sledované charakteristiky (barvu, tvrdost, atp.).
Metodika:	<ol style="list-style-type: none">1. Úvod2. Analýza problematiky vlivu stupně termické modifikace na změny fyzikálních – mechanických vlastností různých druhů termicky modifikovaných dřevin.3. Přínosy a doporučení4. Závěr
Doporučený rozsah práce:	50
Klíčová slova:	tropické dřeviny, tvrdost, termická úprava, barva.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „**TERMICKÁ ÚPRAVA TROPICKÝCH DŘEVIN**“ vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Milana Gaffa, PhD. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

.....

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanu Gaffu, PhD. za odborný dohled a pomoc při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Adamu Sikorovi za pomoc při zpracovávání laboratorních výsledků zkoušek. Poděkování také patří rodičům a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

Termická úprava tropických dřevin

Thermal treatment of tropical woods

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá experimentálním zkoumáním vlivu jednotlivých stupňů termické úpravy tropických dřevin na sledované charakteristiky (barvu, tvrdost). K tomu byli použity speciální nástroje, které nám umožnili měření tvrdosti a barvy dřeva. Hlavním nástrojem pro měření tvrdosti bylo zařízení DuraVision-30. Dílensky tvrdoměr pro provedení zkoušky tvrdosti podle Brinella a spektrofotometrický nástroj pro měření barvy termicky modifikovaného dřeva.

Jako literární rešerše této bakalářské práci, byla prostudovaná historie termické modifikace, technologie výroby termické modifikace, výhody termické modifikace dřeva a struktura měření. Za účelem rozšíření poznatků o termické modifikaci byly prozkoumány mechanické a fyzikální vlastnosti termicky upravených tropických dřevin, což umožnilo zjistit více o jejich vlastnostech a výhodách. Všechny výše uvedené metody a literární rešerše umožnili provést studium kvality, plusy a minusy termické modifikace tropického dřeva.

Klíčová slova: tropické dřeviny, termická úprava, dřevo, struktura dřeva, tvrdost, barva.

Abstract:

Present bachelor thesis deals with the experimental research of the influence of individual stages of thermal treatment of tropical trees on its characteristics (color, density and durability). Special tools have been used to measure the hardness and color of the woods. The main instruments were the Dilen density test and instrument for measuring the woods color with the spectrophotometer.

As a literature research of this bachelor thesis, woods thermal treatment history, technology of thermal processing, advantages of wood thermal treatment and the structure of measurement were studied in details. For better results, mechanical and physical properties of tropical woods have been deeply explored, enabling us to learn more about their features and benefits. All the above-mentioned methods allow to make a scientific research and measure quality, pros and cons of the thermal treatment of the tropical wood.

Key words: woods, tropical woods, thermal, wood structure, hardness, color.

Obsah

Úvod.....	1
Cíl práce	3
1. Literární rešerše	4
1.1. Termická modifikace dřeva	4
1.1.1. Základní charakteristika dřevin	4
1.1.2. Základní charakteristika tropických dřevin	5
1.1.3. Termická modifikace dřeva z hlediska historie.....	5
1.1.4. Etapy termické modifikace dřeva.....	6
1.1.5. Technologie výroby TMD.....	6
1.2. Modifikace dřeva.....	9
1.2.1. Chemické změny v procesu TM.....	9
1.2.2. Výhody TM.....	11
1.2.3. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva.....	15
1.2.4. Charakteristika Iroko.....	27
2. Metodika	29
2.1. Tvrdost podle Brinella.....	29
2.1.1 Měření tvrdosti	30
2.2. Zjišťování změn barvy	32
2.2.1. Měření barvy	32
2.3. Termická modifikace.....	34
3. Diskuze a Výsledky.....	36
4. Závěr.....	45
5. Seznam literatury a použitých zdrojů	46

Seznam Obrázků

Obr. 1. Zařízení pro TMD. Zdroj: (TM TermoTech), 2012.....	7
Obr. 2. Uložiště pro TMD, vnitřní pohled. Zdroj: (www.lesprominform.ru), 2013	8
Obr. 3. Uložiště pro TMD, pohled během přípravy. Zdroj: (www.sm-piter.ru), 2014	9
Obr. 4. Podlahy pro terasy. Zdroj: (www.bouw.ru), 2018	12
Obr. 5. Schodiště. Zdroj: (www. distroy.ru), 2016	13
Obr. 6. Stůl. Zdroj: (www.pinterest.com), 2017	13
Obr. 7. Sauna. Zdroj: (www.salus.bg), 2018.....	13
Obr. 8. Hudební nástroje housle. Zdroj: (www.muswiki.ru), 2015	14
Obr. 9. Tvarové změny výřezů podle umístění na příčném řezu kmenem. Zdroj: (www.agrojournal.cz), 2006.....	21
Obr. 10. Výsušné trhliny. Zdroj: (www.agrojournal.cz), 2018.....	23
Obr. 11. Komorová sušárna. Zdroj: (www.webnode.cz), 2017	23
Obr. 12. Iroko. Zdroj: (www.exowood.p), 2017	28
Obr. 13. Iroko. Zdroj: (www.dailytrust.com.ng), 2018.....	28
Obr. 14. Model zkoušení Brinellovy zkoušky tvrdosti (www.cdp-praha.cz).....	29
Obr. 15. Tvrdoměr Duravision-30 pro měření tvrdosti podle Brinella (foto autor).....	30
Obr. 16. Princip zkoušení Brinellovou metodou (http://www.converter.cz)	31
Obr. 17. Upnutí zkušebního vzorku do přístroje, ukázka rozkreslené mřížky na tělese (foto autor)	31
Obr. 18. Grafické znázornění souřadnicového barevného prostoru CIE L*a*b* (www.tipyjakfotit.cz, 2106)	33

Seznam Tabulek

Tab. 1. Koeficient sesychání a bobtnání	25
Tab. 2. Kritéria pro vyhodnocení celkové změny barvy ΔE^*	32
Tab. 3. Vstupní technologické parametry	35
Tab. 4. Proces termické modifikace Iroko	35
Tab. 5. Průměrné hodnoty tvrdosti podle Brinella (Iroko).....	36
Tab. 6. Statistické zhodnocení vlivu faktorů na tvrdost podle Brinella	36
Tab. 7. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu změnách tvrdosti podle Brinella.....	37
Tab. 8. Změna souřadnice barevného prostoru L^* , a^* a b^* a celková změna barevného prostoru ΔE^*	38
Tab. 9. Významnost vybraného faktoru na změnu souřadnice L^*	38
Tab. 10. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu na změnách souřadnice L^*	39
Tab. 11. Významnost vybraného faktoru na změnu souřadnice a^*	40
Tab. 12. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu na změnách souřadnice a^*	41
Tab. 13. Významnost vybraného faktoru na změnu souřadnice b^*	41
Tab. 14. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu na změnách souřadnice b^*	42
Tab. 15. Významnost vybraného faktoru na změnu celkového barevného prostoru ΔE	43
Tab. 16. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu na změnách hodnot celkové změny barevného prostoru ΔE	44
Tab. 17. Vyhodnocení celkové změny barvy	44

Seznam Grafů

Graf 1. Průběh termické modifikace - Iroko	34
Graf 2. Vliv teploty termické úpravy na tvrdost podle Brinella.....	37
Graf 3. Grafické znázornění průběhu změny souřadnice L^* vzhledem k teplotě termické modifikace	39
Graf 4. Grafické znázornění průběhu změny souřadnice a^* vzhledem k teplotě termické modifikace	40
Graf 5. Grafické znázornění průběhu změny souřadnice b^* vzhledem k teplotě termické modifikace	42
Graf 6. Grafické znázornění průběhu celkové změny barevného prostoru ΔE vzhledem k teplotě termické modifikace	43

Seznam použitých zkratk a symbolů

aj - a jiné

apod - a podobně

atd. - a tak dále

BNV - pokles vlhkosti

cca – Cirka, přibližně

DTD - Dřevotřískové desky

event. – eventuálně

DVD - Dřevovláknitá deska

MNBS - nasycení buněčných stěn

MH - mezi hygroskopicity

např. - například

obr. – Obrázek

TMD - termická modifikace dřeva

Tab. – tabulka

tj - to je

tzv – tak zvaný

MPa - Megapascal

BH - Brinell hardness

ROV - rovnovážného obsahu vlhkosti

TM – termická modifikace

vzr. – vzorec

°C – stupeň celsia

mm – milimetr

ΔE – barevná odchylka

Úvod

Dřevo je jeden z nejvíce využívaných materiálů na světě. Člověka provází už tisíce let, z počátku jako palivo nebo na výrobu jednoduchých nástrojů, později se začalo využívat jako stavební materiál k budování obydlí, stavění lodí a využívá se dodnes (Rodd a Stackhouse, 2008). V posledních letech se u nás díky lepší dostupnosti zvyšuje obliba tropických dřevin, a to hlavně z důvodu jejich vlastností, které jsou povětšinou lepší než u tuzemských dřevin. Hlavní výhodou tropických dřevin je jejich výrazná barva a textura. Tyto dvě vlastnosti jsou z estetického hlediska pro výrobu nábytku a jiných dřevěných částí jak v interiéru, tak i v exteriéru nejdůležitější. Proto je důležité, aby se tyto vlastnosti v průběhu času neměnily (Zephyrus, 2012).

Změny odstínu a barvy jsou převážně způsobené vlivem UV záření, tyto změny se u různých dřevin projevují odlišně. U některých druhů dřevin jsou tyto změny nepatrné, pouhým okem nezjistitelné, naopak u tropických druhů dřevin s výraznou barvou dochází zpravidla k zásadním změnám barevnosti (Parkin *et. al.*, 2012). Změnu barevnosti mohou kromě UV záření vyvolat také zvýšená teplota, dřevokazné houby a jiné biotické činitele. Dřevo lze proti těmto změnám chránit povrchovou úpravou, která zabrání nebo alespoň zpomalí degradační procesy. Proto je velice důležité vybrat pro dané dřevo a jeho výsledné použití správnou povrchovou úpravu, aby si dřevo zachovalo co nejdéle své požadované vlastnosti (Jan *et. al.*, 2003). Exotické tropické dřeviny byly vysoce ceněné a oblíbené již za časů starých Egyptů. Ti dokonce v rámci úspory jako první zavedli výrobu řezaných dýh ze vzácných dřevin, aby pak jimi vykládali povrchy svých uměleckých výrobků. Dá se říci, že jejich hodnota byla vyvážena stejně ceněným zlatem. V současné době je jejich obliba rovněž vysoká a mají atraktivní vlastnosti pro konečného spotřebitele (Dehejia a Harsha, 2011). Jednou z oblastí základní inovační technologie dnes je technologie termické modifikace dřeva, která několikrát zvyšuje hloubku zpracování, zatímco kvalita dřevařských výrobků se několikrát zlepšuje. Výrobky z domácího dřeva s využitím tepelně ošetřeného dřeva přicházejí na novou konkurenční úroveň. Průmyslová výroba termoplastů v Evropě začala před více než 10 lety a výzkum v této oblasti byl proveden již ve 30. letech minulého století. Ale i dnes je tento výrobek mezi inovativními (Svoboda a Luboš, 2013).

Dřevo během termické modifikace se zpracovává pouze horkým vzduchem s přídavkem páry, bez použití chemických činidel a impregnačních prostředků, takže termo-dřevo je ekologicky šetrný stavební materiál (Jiao *et. al.*, 2011).

Nedávné době se zvýšil zájem o zvýšení kvality TM řaziva. Mluvíme-li o termické modifikaci dřeva (dále jen TMD), můžeme tento proces rozdělit do dvou oblastí. První z nich je TM, rychle rostoucích dřevin (bříza, smrk, osika, borovice). Takto termicky modifikované dřeviny se svými vlastnostmi blíží nebo dokonce překonávají hodnotnější dřeviny, pokud jde o jejich spotřebitelské vlastnosti - například buk, dub a některé druhy tropického dřeva. Náklady na TMD jsou tedy blízké cenám těchto druhů (Yang a Suann, 2012).

Druhým místem je TM, cennějších dřevin. Tyto produkty jsou určeny pro spotřebitele, jejichž příjmy jsou nadprůměrné. Zde je v první řadě důležitá exkluzivita TM na všech možných parametrech. V takovém případě je kupující připraven zaplatit přidanou hodnotu charakteristických vlastností TM. Koneckonců, termická modifikace umožňuje vyrábět dřevo, které se vyznačuje jinými vlastnostmi (některé vylepšené, některé zhoršené) než v případě dřeva bez TM (Zephyrus, 2012).

V Rusku se v současné době tyto tržní oblasti téměř nevyčerpávají, ale způsobují velkou poptávku a zájem o ně. Mnoho podniků má možnost nabídnout unikátní produkty z TMD v jednom z výše popsaných směrů. Použití termoplastu otevírá celý směr dřevozpracujícího průmyslu.

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je se sumarizovat literární poznatky a experimentálním způsobem zjistit vliv jednotlivých stupňů termické úpravy tropických dřevin na sledované charakteristiky, definovat základní charakteristiky, zohlednit analýzy základních charakteristik pomocí přímého měření. Cílem je také naučit se pracovat s odborným textem a vést diskuzi na dané téma.

1. Literární rešerše

1.1. Termická modifikace dřeva

Termické modifikované dřevo (TMD) je vysoce nový materiál. Jedná se o jeden z nejoblíbenějších dokončovacích materiálů ve všech rozvinutých zemích. To není překvapující, protože to je trvanlivější, užitečnější a krásnější materiál. Pokud přidáme cenovou dostupnost ke všem jeho výhodám, pak dohromady získáme ideální materiál. Termo-dřevo je unikátní materiál, který ve velmi blízké budoucnosti téměř úplně nahradí tradiční dřevo. Zkuste termo-dřevo v práci a pochopíte rozdíl. Dřevěná struktura, kterou vytvoříte, neztratí svůj tvar, nebude vyschnout a nebude bobtnat.

1.1.1. Základní charakteristika dřevin

Dřevo má různé vlastnosti, nejdůležitější jsou:

1. Mechanické: pevnost, tvrdost, deformovatelnost, charakteristiky výkonu, technologické charakteristiky, odolnost proti opotřebení, schopnost zadržovat spojovací prvky, pružnost;
2. Fyzikální: Vzhled (textura, lesk, zbarvení), vlhkost (smrštění, bobtnání, hygroskopičnost, hustota), tepelně (tepelná vodivost), zvuk (akustická impedance zvuku vodivost), elektrické (dielektrické vlastnosti, elektrická vodivost, dielektrické pevnosti) ;
3. Chemické vlastnosti.

Dřevo je anizotropní materiál tj. materiál s různými vlastnostmi ve směru vláken. (Například smrštění podél vláken je menší než u příčně vláken. A smrštění v radiálním směru je menší než v dotyčné.) V závislosti na směru vláken je také odlišné vodivost vlhkosti, paropropustnost, zvuková vodivost a některé další charakteristiky.

1.1.2. Základní charakteristika tropických dřevin

Tropické stromy rostou v neustále horkém klimatu, díky čemu se jejich dřevo stává velmi hustým, nebojí se hniloby, vlhkosti, teplotních změn a parazitního rázu. Hustota dřeva je velmi vysoká - dosahuje až 1000 kg / m³. Vzhledem k těmto vlastnostem nevyžaduje dřevo žádnou ochrannou impregnaci. (Josten, 2010). Další výhodou tropického dřeva je krása. Barva dřeva tropického dřeva může být červená, žlutá, zlatá a dokonce šedá. Kromě toho téměř všechno exotické dřevo obsahuje přírodní phytoncides, které mají antibakteriální vlastnosti. (Ulrich a Roger, 2008). Základem pro použití jednotlivých druhů dřeva je znalost vlastností a chování v konkrétních podmínkách, obrábění doporučenými nástroji, dodržení způsobu kotvení (Vigue, 2009).

1.1.3. Termická modifikace dřeva z hlediska historie

Termická modifikace dřeva byla již dávno známa - při výrobě dřevěných nástrojů bylo dřevo poprvé v oleji. To umožnilo dřevu téměř neabsorbovat vodu, což znamená, že výrobky z ní si udržovaly svůj tvar v jakýchkoli vlhkých podmínkách a byly odolné vůči rozkladu bez další impregnace (Gunduz, 2009).

Pokusy o zlepšení vlastností dřeva jsou známy odedávna. Dokonce i Vikingové využili účinek na dřevěné výrobky otevřeného ohně, aby se zvýšila jejich dlouhověkost. Indiáni vypalovali na otevřeném ohni konce kopí, aby je zpevnili. Mlýnská kola se zachovaly od starověku, protože materiál byl připraven na mnoho let, materiál procházel různými způsoby zpracování, jako je vaření, paření, sušení, impregnace olejem (Charles a Frihart, 2005).

Tepelné zpracování dřeva na vědeckém základě se začalo zkoumat ve 30. letech minulého století v Německu, poté ve 40. letech v USA. Kvalita materiálu a potenciální objemy výroby získané v důsledku experimentů nyní umožňují představit produkt, který vznikl jako výsledek dlouholetého testování, na trhu stavebních materiálů TMD - Termo Modified Wood (Hakkou *et. al.*, 2003).

1.1.4. Etapy termické modifikace dřeva

Existují tři hlavní etapy termické modifikace dřeva:

1. Sušení je nejdelší proces, jehož trvání závisí na různých faktorech: druhu a tloušťce stromu a množství vlhkosti obsažené v materiálu. Zde se používá pára a teplo, teplota v komoře se zvyšuje ze 100 na 130 stupňů, což vede k tomu, že se vlhkost dřeva sníží téměř na nulu.

2. Termická modifikace - během této fáze teplota v komoře stoupá na 180-240 ° C. Pára v tomto případě, stejně jako v procesu sušení, slouží jako ochranné prostředí a zabraňuje spálení dřeva. Doba trvání této fáze je zpravidla 2-3 hodiny.

3. Chlazení - teplota během zavlažování postupně klesá na 80-90 stupňů. Výsledkem je, že vlhkost dřeva z nuly mírně stoupá - až na 4-8%. To je nezbytné, protože úplně suché dřevo je obtížné podrobit jakémukoli zpracování. Doba trvání této fáze se může pohybovat od 5 do 15 hodin (Petrisans *et. al.*, 2005).

1.1.5. Technologie výroby TMD

V současnosti existuje velké množství různých technologií nejrozšířenějšími v našich dnech jsou finská, americká, holandská, německá, francouzská a dánská technologie (Bondar, 2015).



Obr. 1. Zařízení pro TMD. Zdroj: (TM TermoTech), 2012

a) Finská technologie Thermowood.

Velice známá technologie, kterou používá velký počet výrobců. Stellac Oy je společnost, která je vývojářem a hlavním výrobcem potřebného vybavení. Tekmaheat Oy, Valutec Oy, italská společnost Baschild, francouzská společnost BCI-MBS (Le Bois technologie Perdyur). Technologie je zesílena zpracováním měkkých dřevin. Teplota stoupá na 180-215 stupňů, proces trvá 45 hodin, někdy doba tepelného zpracování dosahuje 96 hodin. Hlavní zařízení pro výrobu termické modifikovaného dřeva představují takové zařízení (Bongers *et. al.*, 2003).

b) Holandská technologie PLATO.

Holandská společnost PLATO Wood je vývojářem této technologie, a proto se zabývá výrobou potřebného vybavení. Technologie je určena pro zpracování měkkých druhů dřevin. Pára se zahřeje na 170-210 stupňů. Cyklus trvá 5-8 dní. Jeho vlastností je termická modifikace cyklickou hydrotermolýzou (tepelná hydrolýza) dřeva (Chanrion *et. al.*, 2002).

c) Francouzská síťová technologie.

Francouzský developer REI nabízí zpracování dřeva pomocí inertního plynu. Někdy jeho aplikace vede k tvorbě dusíku v dřevě, což je hlavní nevýhoda technologie. Teplota je 180-220 stupňů, tepelné zpracování trvá od 40 do 62 hodin. Firma REI aktivně propaguje na trhu komory recertifikace dřeva o objemu užitečného zatížení od 1,5 do 8 m³ (Hill, 2004).

d) Německá technologie Menz-Holz.

V případě použití technologie německé společnosti se sušení provádí v organickém prostředí, stojí za to si uvědomit - neškodné oleje. Doba cyklu je 32-54 hodin, teplota je 180-230 ° C. Všestrannost technologie spočívá také v tom, že je vhodná pro zpracování i jehličnatých a cenných druhů tvrdého dřeva (Gsöls *et. al.*, 2003).

e) Americká Westwood technologie.

Jedna z prvních technologií, která se vyvinula před 20 lety a opakovaně podstoupila různá zlepšení. S pomocí této technologie se zpracovává především tvrdé dřevo. Při použití této metody se dřevo pomalu zahřívá při teplotě 220-240 ° C. Doba trvání termické modifikace je asi 48 hodin (Logliv, 2003).

V ostatních evropských zemích v Kanadě a v Rusku byly zavedeny různé technologie termické modifikace blízkých výše uvedeným technologiím. Způsoby termické modifikace dřeva mohou být rozděleny následujícím způsobem: zvýšení teploty v komoře na 130-150 ° C a sušením při vysoké teplotě s poklesem na téměř nulové vlhkosti. Následkem toho se zvýší teplota v komoře a v důsledku toho samotné dřevo v nasycené vodní páře na teplotu 200-240 ° C. V tomto případě je v komoře vytvořen mírný přebytek tlaku ve srovnání s atmosférickým tlakem. V této fázi dřeva jsou dány určité vlastnosti a barvy, tj. E. získává se nový materiál – termo - dřevo. Potom se teplota snižuje a vlhkost dřeva se zvýší na 4-6%.

TMD se prodává a zpracovává více než 10 let v zemích jako Belgie, Francie, Finsko a Anglie. Ale i dnes je tento výrobek mezi inovačními. Ve všech evropských zemích byly průběžně prováděny různé studie a práce na zdokonalení technologie pro získání TM (Van Acker, 2002).



Obr. 2. Uložiště pro TMD, vnitřní pohled. Zdroj: (www.lesprominform.ru), 2013



Obr. 3. Uložiště pro TMD, pohled během přípravy. Zdroj: (www.sm-piter.ru), 2014

1.2. Modifikace dřeva

1.2.1. Chemické změny v procesu TM

Hlavní změny ve fyzikální a chemické struktuře dřeva vznikají při termické modifikaci. Termická modifikace (nebo tepelné zpracování) ze dřeva - je proces vystavení páře, teplotě a podtlaku, a to bez použití chemických látek nebo impregnací. Jedná se o proces šetrný k životnímu prostředí (Yasuda a Minato, 1994).

Celulóza je složka dřeva, kterou se během termické modifikace podaří lehce zlomit, když se teplota zvýší na 240-250 ° C.

Jak se teplota procesu zvýší na 240 ° C, stupeň polymerace celulózy klesá. To je způsobeno skutečností, že tvořené hydrolýzou hemicelulózy kyselinou octovou, depolymerování celulózy mikrofibřily na amorfních částech. V důsledku toho se délka polymerních řetězců snižuje a zvyšuje se krystalinita celulózy, zvyšuje se její chemická odolnost a aktivita se snižuje. Současně se odstraní vázaná voda, oxid a oxid uhličitý. Tyto změny mají pozitivní vliv na výkon a stabilitu rovnovážného obsahu vlhkosti dřeva. Tvrdost dřeva se mírně zvýší s mírným poklesem pevnosti. Prostory mezi celulóзовými mikrofibřily jsou naplněny ligninem bez uhlovodíkových polymerů, stejně jako hemicelulózy (Křupalová, 2008).

Zvýšením teploty procesu na 120 ° C, z acetylované hemicelulózy vytvořené hydrolyzou kyseliny octové, která slouží jako katalyzátor pro hydrolyzu hemicelulózy na rozpustných cukrů (arbidózy, galaktóza, xylóza, mannóza) s dalším zvýšením teploty procesu. Tyto cukry se odstraňují z procesu rozpustností ve vodě (Yan, 2015).

Teplota úplného rozkladu hemicelulózy v závislosti na podmínkách procesu se pohybuje od 200 do 260 ° C. Pouze malá část hemicelulózy zůstává v něm, ale to neovlivní získání nového kvalitního dřeva, za určitých podmínek tepelného zpracování dřeva. Výsledek - výrazně snižuje množství materiálu, který je citlivý na houby, což vede k vyšší (o několik řádů) odolnosti proti degradaci způsobené houbou ve srovnání s měkkým dřevem se suší v konvenční sušárně. Lignin je amorfnní polymer. Je to druh pojiva mezi celulózovými vlákny, které dodávají pevnost a tuhost buněčné stěně.

Lignin je nerozpustný ve vodě a organických rozpouštědlech, je odolný vůči působení enzymů, nezúčastňuje se metabolismu (Reinprecht a Vidholdová, 2008).

Při nízkých provozních teplotách (až do 200 ° C), se ukázal jako hlavní reakce hydrolytický rozklad dřeva sacharidů a částečná depolymerace ligninu produkovat fragmenty s nízkou molekulovou hmotností, které mohou být rozpuštěny v organických rozpouštědlech (dioxan - voda, ethanol-voda, aceton-voda) ve vodných alkalických roztocích. Zvýšení teploty procesu zvyšuje stupeň degradace dřeva sacharidů, a mezitím lignin začne depolymerační reakci konkurovat jeho repolymerizační reakci. Z tohoto důvodu, změna teploty procesu na 200 ° C v množství ligninu ve dřevě klesá, a vzroste množství ligninu výrazně se zvyšující se teplotou procesu a dosáhl 33,0 - 36,0%. Zdá se, že tato skutečnost může být vysvětlena tím, že dřevo v průběhu tepelného zpracování téměř neztrácí své vlastnosti v tahu, jakož i obsah jakého si ve své struktuře zůstává prakticky beze změny (Baar, 2011).

Dřevo obsahuje malé množství složek s malou molekulou. Extrakční látky tvoří méně než 5% dřeva. Extrakční látky jsou heterogenní u různých druhů dřeva a počet kompozitních struktur je velmi velký. Těžké látky nejsou konstrukčními prvky dřeva, většina kompozitních struktur se snadno odpařuje během tepelného zpracování (Gryc, 2011).

1.2.2. Výhody TM

Termické modifikované dřevo (TMD) je přírodní materiál, který je naprosto šetrný k životnímu prostředí a má řadu jedinečných vlastností ve srovnání s tradičním dřevem z okrasných a stavebních materiálů (Mahmood, 2013).

Hlavní výhody:

- ✓ snížení rovnovážné vlhkosti na úrovni 3-5%,
- ✓ tvrdost se při termické modifikaci dřeva mírně zvyšuje. Termická modifikace vede k poklesu rovnovážného obsahu vlhkosti dřeva o 40-50% v porovnání s neošetřeným dřevem. V TMD je to asi 3-5%,
- ✓ odolnost proti rozkladu,
- ✓ stabilní geometrie výrobků v provozu bez ohledu na rozdíly teploty a vlhkosti u tepelně ošetřeného dřeva se výrazně zlepšuje tangenciální i radiální rozměrová stabilizace (o 10-15 krát),
- ✓ schopnost získat odstíny od světle žluté až po téměř černé bez ohledu na druh dřeva k celé hloubce produktu,
- ✓ proces termické modifikace výrazně zlepšuje estetickou hodnotu stromu. Účinně odhaluje strukturu dřeva. Stín není způsoben tónováním, ale změnou struktury samotného dřeva. Barva je stejnoměrná v celém řezu a stává se více rozsáhlá,
- ✓ nízká hygroskopicitá - schopnost některých látek absorbovat vodní páru ze vzduchu a proto snižuje průnik vody (3-5 krát),
- ✓ snížená tepelná vodivost - Zkoušky ukázaly, že tepelná vodivost tepelně ošetřeného dřeva je o 20-25% nižší než u neupraveného dřeva (Esteves *et. al.*, 2009),
- ✓ biologická trvanlivost. Zkoušky v normách EN 113, ENV 807 v laboratorních podmínkách ukázaly významné zvýšení biologické trvanlivosti (o 15-25 krát),
- ✓ termické modifikované dřevo nepotřebuje žádnou chemickou ochranu. Absolutní odolnost vůči biologickým lézím (Anonymus, 2003),
- ✓ nízké obsahy pryskyřice v jehličnatých formacích.

Vzhledem k vysokým teplotám zpracování se hemicelulózy rozkládají v dřevě, které na pozadí nízké rovnovážné vlhkosti eliminuje podmínky pro vznik a reprodukci hub a mikroorganismů.

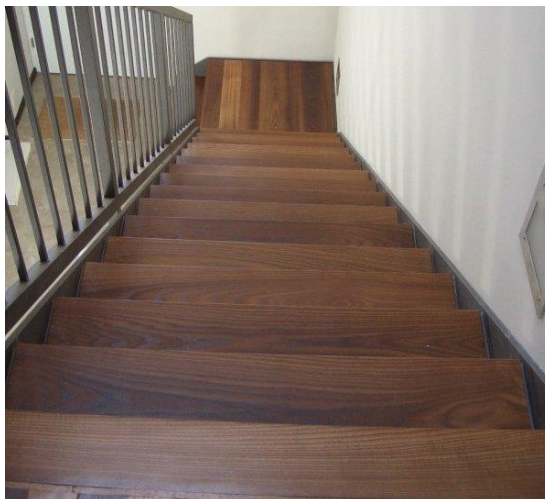
Kvůli těmto vlastnostem má termální strom v evropských zemích širokou škálu použití a začal se používat v Rusku.

Používá se termické modifikované dřevo:

- ✓ v konstrukci a obložení domů (vnitřní a vnější dekorace domu, falsh-fachwerks, dekorativní trámy, podšívka, blokový dům, stěnové panely, imitace baru, zimní zahrady, schody, altány),
- ✓ pro výrobu dveří, oken, jiných konstrukčních prvků, kde je důležitá stabilní geometrie produktu,
- ✓ pro výrobu nábytku (včetně kuchyňského nábytku, pultu, koupelnového nábytku a umyvadel z masivního dřeva, nábytku do interiéru a zahrady),
- ✓ pro dokončení saun, van, bazénů, koupelen, kotvicích lodí, jachet, člunů, lodí a jiné předměty, které mají přímý kontakt s vodou,
- ✓ pro výrobu podlah (parkety, parketové desky, vlysy, podlahové desky), včetně různých teplých podlah,
- ✓ při restaurování,
- ✓ pro výrobu hudebních nástrojů,
- ✓ pro jakékoliv konstrukční řešení,
- ✓ oplocení,
- ✓ návrh krajiny,
- ✓ zboží šetrné k životnímu prostředí pro děti (nábytek, hračky).



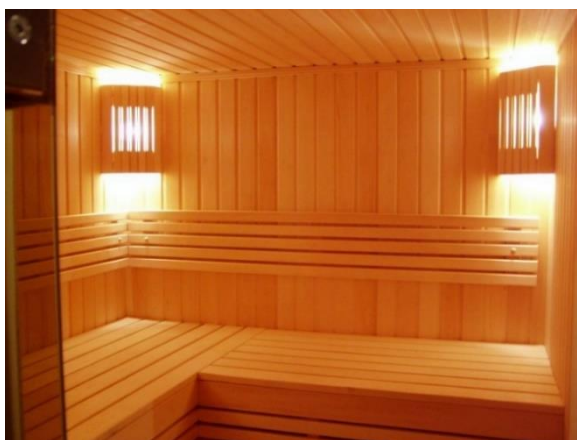
Obr. 4. Podlahy pro terasy. Zdroj: (www.bouw.ru), 2018



Obr. 5. Schodiště. Zdroj: (www.distroy.ru), 2016



Obr. 6. Stůl. Zdroj: (www.pinterest.com), 2017



Obr. 7. Sauna. Zdroj: (www.salus.bg), 2018



Obr. 8. Hudební nástroje housle. Zdroj: (www.muswiki.ru), 2015

Produkty z termické modifikovaného dřeva se používají bez omezení v jakýchkoli klimatických podmínkách. Nepotřebují antiseptikum, impregnaci, tónování ani barvení. Už tak jsou velmi krásné. Hydrotermální úprava zdůrazňuje a odhaluje krásu přírodního dřeva a činí to ještě atraktivnější.

Výhody termické modifikovaného dřeva před obvykle sušeným dřevem:

1. Vysoké fyzikálně mechanické a provozní vlastnosti. Z praktického hlediska to znamená: rozšíření užívání dřeva; Úspora ochranných prostředků; Možnost poskytnutí dlouhodobé záruky na výrobky bez dalších podmínek.

2. Estetický vzhled. Proces termické modifikace výrazně zlepšuje estetickou hodnotu dřeva, čímž se materiál stane odolnější vzhledem k dřevu vystavenému stárnutí. Textura dřeva stoupá. Stín není způsoben tónováním, ale změnou struktury samotného dřeva. Barva je v celé sekci homogenní. Levná odrůda dřeva vypadá jako cenný druh.

3. Materiály šetrné k životnímu prostředí. Takové dřevo je ekologicky šetrné a neutrální vzhledem k lidskému tělu (Tjeerdsma a Boonstra, 1998).

1.2.3. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva

Fyzikální Vlastnosti

Dřevo je cenný přírodní materiál, má výjimečné fyzikální vlastnosti, je obnovitelný a dá se všestranně využívat. Každý kousek dřeva je unikátní. Pro dřevo je charakteristické, že se jeho vlastnosti v jednotlivých směrech liší a jeho vnitřní struktura ovlivňuje výsledné materiálové vlastnosti, s čímž je třeba počítat při posuzování jeho vlastností. Do fyzikálních vlastností dřeva a materiálů na bázi dřeva se zařazují: povrchové a vzhledové vlastnosti, vlhkost a vlastnosti a s ní spojené, hustota, barva, textura, atd. (Kamden *et. al.*, 2002).

Barva dřeva

Barva dřeva je charakteristická pro jednotlivé dřeviny. Je vlastností velmi proměnlivou, mění se vlivem světla, vzduchu a vlhkosti. Také je podmíněna klimatickými podmínkami, ve kterých je dřevo uloženo. Dřeviny mírného pásma mají zpravidla světlejší zbarvení než dřeviny tropického pásma. Barva se mění také v důsledku technologických operací, jako je paření, moření a další způsoby povrchové úpravy dřeva. Bělové dřevo některých dřev je náchylné na napadení dřevoz-barvujícími houbami. Tyto houby svou činností způsobují barevné změny, ale nemění vlastnosti dřeva. Poškození má tedy výhradně estetický charakter. Například u dřeva borovic často dochází k tzv. zamodraní běli, dubové dřevo v důsledku sloučení tríslování se solemi železa a působením vody černá, barva bělového borového dřeva je po plavení nažloutlá, dřevo břízy zoranžoví. Pařením dřeva buku se dosáhne rovnoměrného načervenalého zbarvení. V nábytkářství se dřevo často barví chemikáliemi nebo se moří. Moření dřeva může být povrchové a hloubkové (impregnace). Velmi dobře se barví dřeva listnáčů s roztroušeně porovitou stavbou například dřevo olše se imituje na mahogon, hrušky na eben. Nejhůře se upravují dřeva jehličnanů. A při pomoci spektrofotometra můžeme měřit barvu dřeva (Horaček, 2008).

Textura

Textura dřeva se vytváří kombinací jednotlivých makroskopických znaků. Je typická pro určitý řez a druh dřeva. Texturu pozorujeme nejlépe na povrchu opracovaného dřeva. U některých dřevin je základní struktura dřeva obohacena například o zvláštní texturu. Mezi zvláštnosti textury řadíme například tyto speciální struktury:

- ✓ Očková kresba: Pro svoji zajímavou texturu je velmi vyhledávána v nábytkářském průmyslu. Očka představují zárodky nevyvinutých větví, tzv. zarostlé spící pupeny. Je typická pro dřevo javoru, kde mohou očka ojediněle dosahovat větších rozměrů, nebo se vyskytuje větší množství drobných oček. Očková kresby se také může vyskytovat u dřeva topolu, vrby, ořešáku aj.,
- ✓ Kořenice: Toto dřevo se získává z oddenkové části kmene (místo mezi kmenem a kořeny)- Rozmanitá kresba je výsledkem vrůstání letokruhů kořenů do spodní kmenové části. K charakteristickým znakům kořenicové dýhy patří i vlnitý lesk. Kořenicová dýha je v nábytkářství velmi ceněna. Kořenicí lze získat z jakékoliv dřeviny, ale nejčastěji se získává ze dřeva ořešáku, jasanu, javoru, topolu a břízy (Horaček *et. al.*, 2008).

Vlhkost dřeva

Při zpracování dřeva a nenásledném užívání má velký význam vlhkost. Vlhkostí dřeva (w) se nazývá přítomnost vody ve dřevě, která je vyjadřována podílem hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu. Udává se v procentech. Vodu obsaženou ve dřevě rozdělujeme podle jejího uložení ve dřevě do tří skupin na:

- ✓ vodu vázanou v chemických sloučeninách, kterou lze ze dřeva odstranit pouze spálením,
- ✓ vodu vázanou v buněčných stěnách,
- ✓ vodu volnou, která ve dřevě po zaplnění buněčných stěn vyplňuje prázdný vnitřní prostor buněk a mezibuněčné prostory.

Vlastnosti dřeva významně ovlivňuje především vázaná voda. Vlhkost dřeva, při které jsou buněčné stěny zcela zaplněny vodou, se vyjadřuje mezi nasycení buněčných stěn (MNBS) nebo mezi hygroskopicitou (MH). Mez hygroskopicity našich dřevin se pohybuje v rozmezí 22 až 35% (za všeobecnou se považuje hodnota 30%).

Dřevo je navlhavý materiál, který má schopnost měnit svoji vlhkost podle vlhkosti okolního prostředí. S každou změnou relativní vlhkosti a teploty vzduchu se mění také rovnovážná vlhkost dřeva. Vlhkost dřeva v závislosti na relativní vlhkosti a teplotě vzduchu můžeme určit z nomogramu. Pokud se mění množství vázané vody ve dřevě, a tím i míra vlhkosti, tak dřevo v důsledku přijímání nebo odevzdávání vody (přibližně 0 až 30% podílu vody) podléhá rozměrovým změnám – sesychá nebo bobtná. Podél vláken jsou rozměrové změny velmi malé, pro naše dřeviny se udává 0,1 až 0,4%. V příčných směrech dřevo mění své rozměry mnohem více – v radiálním směru 3 až 6%, v tangenciálním 6 až 12% (Gendelová, 1996).

Podle velikosti rozměrových změn můžeme naše dřeviny rozdělit do tří skupin:

- ✓ dřeva málo sesychavá – tis, olše, vrba, topol, kaštanovník, střemcha, limba, akát,
- ✓ dřeva středně sesychavá – borovice, smrk, jedle, dub, jilm, jasan, javor, ořešák, osika, jeřáb,
- ✓ dřeva velmi sesychavá – modřín, bříza, buk, habr, líska, lípa.

V důsledku většího či menšího sesychání nebo bobtnání v různých směrech dochází ke změnám tvaru dřevěného sortimentu (borcení dřeva). Ve výrobní praxi se pro svoji jednoduchost a rychlost nejvíce využívá způsob měření vlhkosti dřeva pomocí vlhkoměrů. Rozsah vlhkosti, ve kterém se vlhkost dřeva může spolehlivě zjišťovat, je u odporových vlhkoměrů přibližně 5 až 30% a u dielektrických vlhkoměrů 0 až 30%. Při měření je zapotřební vždy zajistit spolehlivý kontakt mezi elektrodami a dřevem. Při zpracování dřeva je vhodné, aby vlhkost dřeva při výrobě byla shodná s vlhkostí, kterou bude mít dřevo při užívání. Tím se předejde nežádoucím deformacím v důsledku kolísání teploty a relativní vlhkosti prostředí. Množství vody ve dřevě (hmotnost vody) vztažené k hmotnosti dřeva téhož vzorku se nazývá vlhkost dřeva (w). Rozeznáváme vlhkost absolutní a vlhkost relativní (Matovič, 1993).

Absolutní vlhkost dřeva se rozumí množství vody ve dřevě vyjádřené v procentech z hmotnosti absolutně suchého dřeva, spočítat to můžeme podle vzorce 1:

$$w_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Kde W_{abs} - vlhkost absolutní (%)

m_w – hmotnost dřeva vlhkého (kg, g)

m_0 – hmotnost dřeva absolutně suchého (kg, g)

m_v – hmotnost vody (kg, g)

Relativní vlhkostí dřeva se rozumí množství vody ve dřevě vyjádřené v procentech z hmotnosti dřeva vlhkého, spočítat to můžeme podle vzorce 2:

$$w_{rel} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_w} \cdot 100 \quad (2)$$

Kde W_{rel} - vlhkost relativní (%)

m_w – hmotnost dřeva vlhkého (kg, g)

m_0 – hmotnost dřeva absolutně suchého (kg, g)

m_v – hmotnost vody (kg, g)

V důsledku většího či menšího sesychání nebo bobtnání v různých směrech dochází ke změnám tvaru dřevěného sortimentu (borcení dřeva). Ve výrobní praxi se pro svoji jednoduchost a rychlost nejvíce využívá způsob měření vlhkosti dřeva pomocí vlhkoměrů. Rozsah vlhkosti, ve kterém se vlhkost dřeva může spolehlivě zjišťovat, je u odporových vlhkoměrů přibližně 5 až 30% a u dielektrických vlhkoměrů 0 až 30%. Při měření je potřebné vždy zajistit spolehlivý kontakt mezi elektrodami a dřevem. Při zpracování dřeva je vhodné, aby vlhkost dřeva při výrobě byla shodná s vlhkostí, kterou bude mít dřevo při užívání. Tím se předejde nežádoucím deformacím v důsledku kolísání teploty a relativní vlhkosti prostředí. Množství vody ve dřevě (hmotnost vody) vztažené k hmotnosti dřeva téhož vzorku se nazývá vlhkost dřeva (w). Rozeznáváme vlhkost absolutní a vlhkost relativní (Gendelová, 1996).

Absolutní vlhkostí dřeva se rozumí množství vody ve dřevě vyjádřené v procentech z hmotnosti absolutně suchého dřeva.

Hustota dřeva

Hustota dřeva je jednou z nejvýznamnějších charakteristik dřeva, která významně ovlivňuje většinu fyzikálních a mechanických vlastností dřeva. Můžeme ji tedy považovat za nejlepší kritérium pro posuzování vlastností dřeva. Vyjadřuje se podílem hmotnosti dřeva a jeho objemu a udává se zpravidla v kg/m³. Hustota dřeva se ovšem mění s jeho vlhkostí, a proto je nutné vždy uvádět, pro jakou vlhkost dřeva je uvedená hustota platná. Běžně se udává hustota při vlhkosti 12%, protože to je průměrná hodnota vlhkosti, při které jsou výrobky užívány. Hustotu dřeva při dané vlhkosti je možné odečíst z nomogramu. V našich podmínkách se hustota dřeva pohybuje v širokém intervalu (Hugh, 2016).

Bobtnání dřeva

Bobtnání dřeva spočívá ve zvětšování lineárních rozměrů, plochy a objemu sortimentu při zvyšování obsahu vázané vody ve dřevě. Bobtnání se vysvětluje tím, že pohlcovaná voda se ukládá mezi mikrofibrily v buněčných stěnách, odtlačuje je a dochází ke zvětšování jak jednotlivých elementů, tak dřeva jako celku. Dřevo bobtná až do meze hygroscopicity, dalším zvyšováním vlhkosti dřeva, zvýšením obsahu volné vody ve dřevě, již k bobtnání nedochází. Objem nabobtnalého dřeva je něco menší než součet objemu dřeva před bobtnáním a objemu pohlčené vody (Požgaj, 1997).

Bobtnání se vyjadřuje vzhledem k původní hodnotě sledované veličiny k hodnotě před bobtnáním, spočítat to můžeme podle vzorce 3, uvádí se nejčastěji v %.

$$\alpha_i = \frac{a_{iw_2} - a_{iw_1}}{a_{iw_1}} \cdot 100 = \frac{da_{iw}}{a_{iw_1}} \cdot 100 \quad (3)$$

kde a_i – bobtnání tělesa v daném směru, ploše nebo objemu při změně vlhkosti z w_1 na w_2 (%)

a – rozměr tělesa (cm) nebo jeho plocha (cm²) nebo objem (cm³)

i – index udávající směr rad, tg, pd nebo plochu rad, tg, pd nebo objem tělesa

w_1 – vlhkost tělesa před bobtnáním ($MH > w_1 \geq 0$) (%)

w_2 – vlhkost tělesa po ukončení bobtnání ($w_2 \leq MH$) přičemž $w_2 > w_1$ (%)

da_i – zvětšení rozměrů (cm) nebo jeho plocha (cm²) nebo objem (cm³) tělesa po bobtnání.

Koeficient bobtnání $K\alpha$ vyjadřuje procentickou změnu rozměrů při změně vlhkosti o 1%, spočítat to můžeme podle vzorce 4 nebo 5:

$$K_{\alpha_i} = \frac{\alpha_i}{w_2 - w_1} = \frac{\alpha_i}{dw} \quad (4)$$

kde K_{α_i} – koeficient bobtnání v příslušném směru, ploše nebo objemu (% bobtnání na 1% vlhkosti)

α_i – bobtnání tělesa v daném směru, ploše nebo objemu při změně vlhkosti z w_1 do w_2 (%)

w_1 – vlhkost tělesa před bobtnáním (%)

w_2 – vlhkost tělesa po ukončení bobtnání (%)

dw – rozdíl vlhkosti z w_1 do w_2 (%)

$$K_{\alpha_i} = \frac{\alpha_{max}}{MH} \quad (5)$$

kde α_{max} – celkové bobtnání (od w_0 do MH) (%)

MH – vlhkost na mezi hygroskopicity (%)

Výpočet a použití koeficientu bobtnání předpokládá, že změny rozměrů těles pod mez hygroskopicity jsou lineárně úměrné změnám vlhkosti, tento předpoklad není zcela přesný, ale jeho použití v praxi je dostačující.

Bobtnání má anizotropní charakter: podél vláken nepřesahuje 1% (pro naše dřeviny 0,1-0,4%), v příčném radiální směru je 3-6% a v příčném tangenciálním směru je 6-12%. Bobtnání v jednotlivých anatomických směrech vyjadřujeme poměrem:

$$\alpha_t : \alpha_r : \alpha_l = 20 : 10 : 1$$

Součtem lineárních bobtnání získáme přibližnou hodnotu objemového bobtnání, spočítat to můžeme podle vzorce 6:

$$\alpha_V = \alpha_T + \alpha_R + \alpha_L \quad (6)$$

Exaktní vztah pro výpočet objemového bobtnání ze známých bobtnání lineárních můžeme spočítat podle vzorce 7:

$$\alpha_V = \alpha_T + \alpha_R + \alpha_L - 0.01(\alpha_L\alpha_R + \alpha_T\alpha_R + \alpha_T\alpha_L) \quad (7)$$

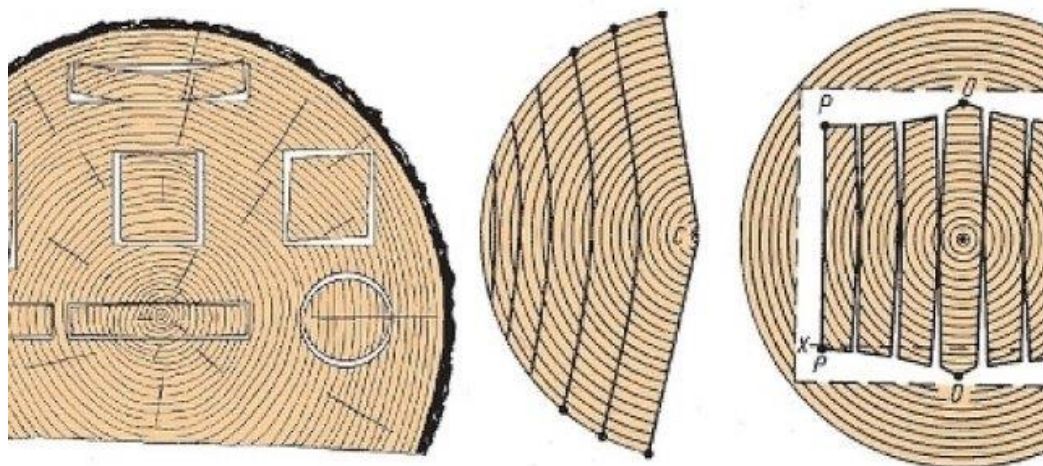
poměr bobtnání v příčných směrech, radiálním a tangenciálním, se nazývá diferenciální bobtnání, které můžeme spočítat podle vzorce 8:

$$\alpha_{dif} = \frac{\alpha_T}{\alpha_R} \quad (8)$$

Hodnota diferenciálního bobtnání závisí na hustotě dřeva, s rostoucí hustotou se snižuje (Matovič, 1993).

Sesychání dřeva

S ohledem na velmi vysoký podíl vody v dřevní hmotě živých stromů (jádro až 50 %, běl až 200 %) a s ohledem na značné tvarové změny dřeva při vysychání je v naprosté většině případů nutné dřevo před zpracováním sušit. Sušení dřeva je značně sofistikovanou disciplínou, která v různých modifikacích provází lidstvo prakticky od počátku jeho existence (Pecina *et. al.*, 2006).



Obr. 9. Tvarové změny výřezů podle umístění na příčném řezu kmenem. Zdroj: (www.agrojournal.cz), 2006

Mezi hlavní důvody pro sušení dřeva patří:

- ✓ Omezení rozměrových změn daných zejména samovolným sesycháním,
- ✓ Omezení napadení houbami, hmyzími škůdci a dalšími patogeny,
- ✓ Výrazné zvýšení kvality lepených spojů,
- ✓ Výrazně lepší kvalita obráběných povrchů,
- ✓ Umožnění moření, broušení a dalších povrchových úprav,
- ✓ Levnější doprava daná nižší hmotností,
- ✓ Snazší manipulace,
- ✓ Zvýšení odolnosti kovových prvků,
- ✓ Lepší tepelně-izolační vlastnosti.

Sušení

Vlhkost dřeva je vždy žádoucí přizpůsobit jeho budoucímu určení. Vlhkost dřeva na výrobu nábytku by měla být dost odlišná od dřeva na venkovní instalace. Všeobecně se dá říct, že sušení by mělo materiál co nejvíce přiblížit podmínkám, ve kterých bude hotový výrobek umístěn.

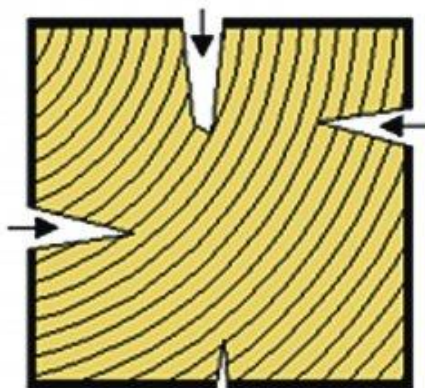
Optimální vlhkost dřeva pro různé instalace:

- ✓ Hudební nástroje, speciální lékařské pomůcky: 5–7 %,
- ✓ Dřevo pro výrobu nábytku, kuchyňských linek, podlah, ložnic a podobně: 10 %,
- ✓ Materiál na venkovní okna a dveře: 13 %,
- ✓ Zahradní nábytek, palety, přepravní schránky: 16 %,
- ✓ Pergoly, plotové dílce, dětské prolézačky, mostní dílce: cca 18 %.

Vlhkost kolem 18 % označujeme jako vzduchosuchou, to znamená vzniklou přirozenou cestou sušením na volné ploše (Pecina *et. al.*, 2006).

Umělé sušení

Při umělém sušení napomáháme snižování množství vody ve dřevě ať už zvýšenou teplotou, tlakem nebo řízenou cirkulací vzduchu, případně pomocí chemických látek a podobně. Umělé sušení je rychlejší, účinnější a je pomocí něj možné dosáhnout výrazně menší vlhkosti dřeva než při sušení přirozeném. Zároveň lze celý proces sušení kontrolovat a dosahovat tak stanovených výsledků. Zásadní nevýhodou umělého sušení je jeho náročnost na zařízení, energii a obsluhu. Při vysokoteplotním sušení může navíc docházet ke změnám barvy. Výřezy větších dimenzí mohou reagovat na rychlé snižování vlhkosti značnou tvarovou deformací. Povrchové vrstvy materiálu se vysuší rychleji, a tudíž začnou sesychat, zatímco střed výřezu vysychá pomaleji a brání vrchním vrstvám v sesychání, vzniká tak tahové napětí na povrchové vrstvy s následným vznikem výsušných trhlin (obr. 10). V druhé fázi sušení naopak dochází k rychlejšímu sesychání jádra výřezu, které je tak vystaveno tahovým silám a může tak docházet ke vzniku vnitřních trhlin (Klement, 2007).

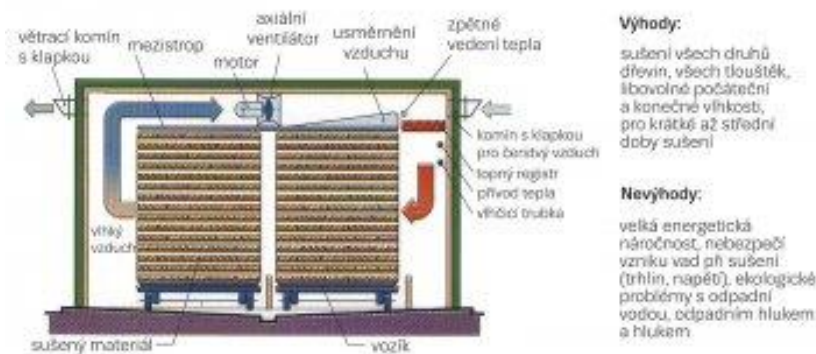


Obr. 10. Výsušné trhliny. Zdroj: (www.agrojournal.cz), 2018

Z hlediska teploty rozdělujeme umělé sušení na:

- ✓ Sublimační 30–40 °C,
- ✓ nízkoteplotní 40–50 °C,
- ✓ teplovzdušné 50–100 °C,
- ✓ vysokoteplotní 100–130 °C.

Nejběžnějším zařízením pro umělé sušení dřeva je komorová sušárna (obr. 11). Speciálními modifikacemi můžou být například sušárny vakuové, solární a podobně. Sušárna by měla být navržena tak, aby:



Výhody:

sušení všech druhů dřevin, všech tloušťek, libovolné počáteční a konečné vlhkosti, pro krátké až střední doby sušení

Nevýhody:

velká energetická náročnost, nebezpečí vzniku vad při sušení (trhlin, napětí), ekologické problémy s odpadní vodou, odpadním hlukem a horkem

Obr. 11. Komorová sušárna. Zdroj: (www.webnode.cz), 2017

- ✓ Její plášť dobře izoloval a zabraňoval ztrátám tepla,
- ✓ Byla zhotovena z odolného, ideálně nerezavějícího materiálu,
- ✓ Byla vybavena řídicím systémem pro přesné ovládání teploty a vlhkosti prostředí,
- ✓ Byla vybavena zvlhčovacím zařízením,
- ✓ Byla vybavena odsávacími a nasávacími komínky o dostatečném průřezu,
- ✓ Topné médium musí mít vysokou teplotu.

Sušení by mělo probíhat tak, aby minimalizovalo poškození materiálu a zároveň, aby bylo co nejvíce efektivní a výsledná vlhkost materiálu byla pokud možno konstantní, to znamená, nekolísala v rámci průřezu materiálem. Fáze vysokoteplotního sušení dřeva:

- ✓ Ohřev – při teplotách pod 100 °C, voda kondenzuje na povrchu dřeva, zamezuje tvorbě trhlin na povrchu, je vhodné doplnit vlhkost prostředí párou, zejména pro již předsušený materiál,
- ✓ První fáze sušení – při 100 °C probíhá rychlé zasušení povrchu,
- ✓ Druhá fáze – teplota povrchu se zvyšuje na 130 °C, jádra na 100 °C, pokles vlhkosti pod BNV,
- ✓ Třetí fáze – vyrovnává se teplota v celém průřezu materiálu,
- ✓ Konečné dosušení – teploty kolem 100 °C, při zvýšené vlhkosti prostředí se upravuje konečná vlhkost materiálu (Detvaj, 2007),
- ✓ Ochlazování – postupné snížení teploty na hodnotu vhodnou pro expedici.

Z hlediska poškození materiálu sledujeme následující vady:

- ✓ Tvarová deformace,
- ✓ trhliny,
- ✓ kolaps,
- ✓ napadení houbami a dalšími patogeny,
- ✓ výron pryskyřice,
- ✓ vypadavé suky,
- ✓ zapaření,
- ✓ barevné změny.

Sesycháním β nazýváme proces, při kterém se zmenšují lineární rozměry, plocha nebo objem tělesa v důsledku ztráty vody vázané. Podobně jako bobtnání můžeme sesychání spočítat podle vzorce 9:

$$\beta_i = \frac{a_{iw_2} - a_{iw_1}}{a_{iw_1}} \cdot 100 = \frac{da_{iw}}{a_{iw_1}} \cdot 100 \quad (9)$$

Sesychání se řídí podobnými zákonitostmi jako bobtnání a rozeznáváme stejně definované další charakteristiky-koeficient sesychání $K_{\beta i}$ a diferenciální sesychání β_{dif} , které můžeme spočítat podle vzorce 10 a 11:

$$K_{\beta i} = \frac{\beta_i}{w_2 - w_1} = \frac{\beta_i}{dw} \quad (10)$$

$$\beta_{dif} = \frac{\beta_T}{\beta_R} \quad (11)$$

Hodnoty sesychání a bobtnání lze navzájem přepočítat podle vzorce 12 a 13:

$$\alpha_i = \frac{100\beta_i}{(100 - \beta_i)} \quad (12)$$

$$\beta_i = \frac{100\alpha_i}{(100 + \alpha_i)} \quad (13)$$

Tab. 1. Koeficient sesychání a bobtnání

Druh dřeva	Koeficient sesychání a bobtnání					
	objemového		radiálního		tangenciálního	
	K_β	K_α	K_β	K_α	K_β	K_α
Modřín	0,52	0,61	0,19	0,2	0,35	0,39
borovice	0,44	0,51	0,17	0,18	0,28	0,31
Smrk	0,43	0,5	0,16	0,17	0,28	0,31
Bříza	0,54	0,64	0,26	0,28	0,31	0,34
Buk	0,47	0,55	0,17	0,18	0,32	0,35
Jasan	0,45	0,52	0,18	0,19	0,28	0,31
Dub	0,43	0,5	0,18	0,19	0,27	0,29
Osika	0,41	0,47	0,14	0,15	0,28	0,3

koeficienty sesychání a bobtnání u vybraných druhů dřev (podle Ugoleva 1975)

Na základě hodnot koeficientu objemového sesychání můžeme rozdělit dřeva do následujících skupin (Matovič, 1993):

- ✓ dřeva málo sesychavá ($K_{\beta} < 0,4$) - tis, olše, vrba, topol, kaštanovník, limba akát,
- ✓ dřeva středně sesychavá ($K_{\beta} 0,4-0,47$) - borovice, smrk, jedle, dub, jilm, jasan, javor, ořešák, osika,
- ✓ dřeva hodně sesychavá ($K_{\beta} > 0,47$) - modřín, bříza, buk, habr, lípa.

Mechanické vlastnosti dřeva

Mechanické vlastnosti charakterizují schopnost dřeva odolávat účinkům vnějších sil. Tyto síly deformují dřevo v závislosti na odporu jeho vnitřní struktury a výsledkem tohoto procesu jsou dočasné nebo trvalé změny tvaru dřeva.

Rozlišujeme pevnost, pružnost, tvrdost, houževnatost a technologické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva.

Ne všechny dále uvedené charakteristiky vlastností se používají i u materiálů na bázi dřeva. Je třeba mít na zřeteli skutečnost, že s ohledem na různou strukturu materiálů na bázi dřeva, mohou být charakteristiky vlastností poněkud modifikovány (napr. Vlastnosti materiálů na bázi dřeva se udávají ve směru desky nebo kolmo na rovinu desky) (Požgaj, 1997).

Pevnost

Pevnost charakterizuje schopnost dřeva a materiálů na bázi dřeva odporovat jejich porušení vlivem mechanických zatížení. Ukazatelem této vlastnosti je mez pevnosti. Ta představuje maximální hodnotu zatížení, které vydrží těleso bez destrukce. Mez pevnosti se stanovuje pro tlak, tah, smyk, ohyb a kroucení. Dřevo a některé materiály na bázi dřeva jsou anizotropní nebo částečně anizotropní (DVD, DTD) materiály. Mez pevnosti dřeva pro uvedené charakteristiky se stanovuje podél vláken, napříč vláken ve směru radiálním a tangenciálním. Mez pevnosti a charakteristik u překližek, lat'ovek a aglomerovaných materiálů se stanovuje kolmo na rovinu desky a ve směru roviny desky (Lukášek, 2012).

Pružnost

Pružnost je schopnost materiálu odolávat deformacím a nabývat počáteční tvar a rozměry po přerušení působení vnějších sil. Někdy se tato skupina vlastností označuje jako deformovatelnost, což je schopnost dřeva a materiálů na bázi dřeva při působení vnějších sil měnit rozměry a tvar.

Pružnost dřeva a materiálů na bázi dřeva při krátkodobých zatíženích je charakterizována modulem pružnosti, modul pružnosti ve smyku a koeficientem příčné deformace. Průběh deformací při dlouhodobých zatíženích charakterizují reologické vlastnosti (Šlezingerová, 2001).

Tvrдость

Tvrдость dřeva je jedna z mechanických vlastností, která příslušný druh dřeva předurčuje ke konkrétnímu využití. Měkké dřevo se snáze opracovává, získává se z většiny našich jehličnanů a některých listnatých stromů (lípa, topol nebo vrba), zatímco trvanlivější tvrdé dřevo pochází především z listnáčů.

Je to schopnost dřeva a materiálů na bázi dřeva odporovat vnikání jiného tělesa do jeho struktury. Mírou tvrdosti jsou hodnoty statické a dynamické tvrdosti. Pro zjištění konkrétních hodnot se používá několik systémů měření, jejichž výsledky někdy nelze přímo porovnávat a je nutné je přepočítat. Metody měření tvrdosti je Brinellova metoda a Janka (Woods, 2017).

1.2.4. Charakteristika Iroko

Existuje hodně z tropických dřevin a každé z nich mají své unikátní funkce, jedním z těchto dřevin je Iroko. Je to zcela obecné jméno, dokonce ani vědci se dosud nedohodli, jak jej nazvat. Tento obří strom má obrovské množství jmen z Afriky. Vyrůstá až 50 metrů vysoko. U řady vlastností je srovnatelný s dubem a teakem, zatímco je o něco levnější. Bělové dřevo Iroko je žlutavě bílé, zatímco jádrové dřevo je zlato-oranžové, někdy přechází až do hnědé barvy. Tento druh dřeva má sprážená zrna a je mírně lesklý a má celkem obyčejnou, mírně hrubou texturu. Iroko roste v západní Africe. Středně těžké

dřevo zvláště odolávající deformacím. Charakteristické přirozenou stálostí, která z něj dělá ideální materiál pro dřevěné podlahy (Walker, 2009).

Vlastnosti:

Dřevo Iroko je přirozeně odolné vůči rozkladu a je proslulé tím, že je vysoce odolné vůči termitům. Toto dřevo velmi dobře vysychá. Jako druh podlahy je dřevo z Iroko jádrné a odolné. Je přibližně o dvacet pět procent tvrdší než dřevo Amerického Dubu.

Zpracovatelnost:

Dřevo Iroko lze dobře řezat, lze do něj i poměrně snadno přibíjet hřebíky, je snadné ho také lepit. Velice dobrý materiál pro výrobu podlah.



Obr. 12. Iroko. Zdroj: (www.exowood.p), 2017



Obr. 13. Iroko. Zdroj: (www.dailytrust.com.ng), 2018

2. Metodika

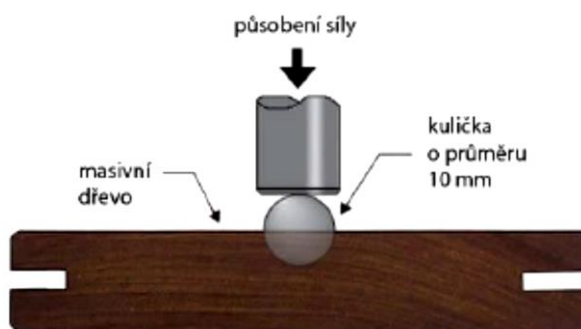
2.1. Tvrdost podle Brinella

Materiály

Pro tuto zkoušku byla použita zkušební tělesa vyrobená podle normy EN 1534 (2010) s rozměry 200 x 100 mm a délce minimálně 20 mm ve směru vláken. Měření probíhalo na vzorcích iroka. Tyto vzorky byly dále rozděleny na podsoubory podle teploty termické úpravy na 160 °C, 180 °C, 210 °C a na vzorky neupravené. Vzorky prošly totožnou termickou úpravou, která je popsána v oddíle 2.3. Pro vykonání zkoušky bylo použito 36 měření. Zkušební vzorky byly náležitě označeny, poté změřeny posuvným měřítkem a následně zváženy na digitálních laboratorních vahách s přesností 0,01 g a výsledky zapsány do tabulek.

Metody

Tvrdost podle Brinella neboli Brinell hardness (BH) spočívá v zatlačování kuličky z kalené oceli nebo ze slinutých karbidů (pro tvrdší materiály) s daným průměrem statickým zatížením v našem případě do tangenciálních ploch dřeva, tedy v radiálním směru (obr. 14).



Obr. 14. Model zkoušení Brinellovy zkoušky tvrdosti (www.cdp-praha.cz)

Způsob provedení této zkoušky sjednocuje norma ČSN EN ISO 6506-1 (2005). Těleso při zkoušce musí být pevně uchyceno a podloženo pevnou podložkou, aby se zamezilo jeho pohnutí. Je důležité, aby byl povrch hladký a rovný bez nečistot a cizích těles. Měření probíhalo dle normy EN 1534 (2010) s určitými změnami. Na měření tvrdosti byl použit tvrdoměr značky DuraVision-30 s karbidovým indikátorem od firmy

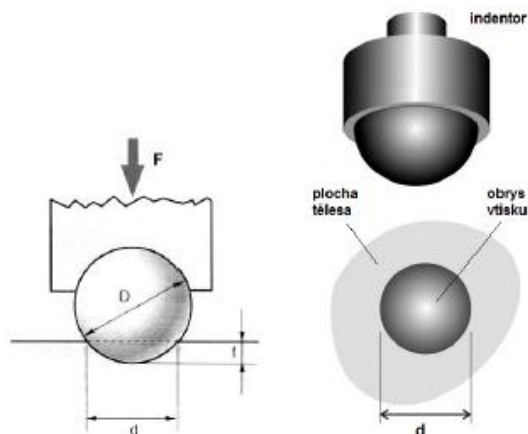
Struer. Jeho součástí je pevná testovací hlava s automatickým vyhodnocováním výsledků. Tvrdoměr je umístěn v nových laboratořích dřevařského pavilonu ČZU. Duravision patří mezi univerzální tvrdoměry, které jsou určeny pro měření několika metodami (Obr. 15).



Obr. 15. Tvrdoměr Duravision-30 pro měření tvrdosti podle Brinella (foto autor)

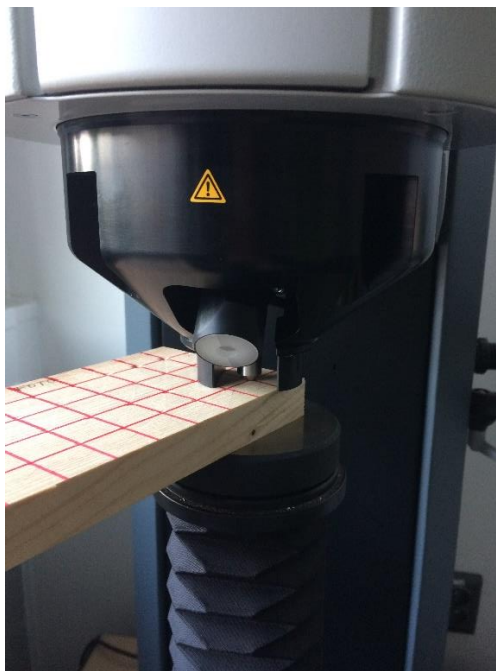
2.1.1 Měření tvrdosti

Postup zkoušení se skládal z několika dílčích činností. Před samotným měřením byly nastaveny parametry pro měření. Zkušební vzorek se vložil a upnul na pracovní desku tvrdoměru. Poté se na dotykovém displayi vedle přístroje spustí měření tvrdosti, získané hodnoty byly zapsány do tabulky v MPa. Vzorek byl uvolněn z upnutí a postup se opět opakoval. Vyjma manuálního upínání zkušebních vzorků je tvrdoměr plně automatický. Výsledky tvrdosti byly zpracovány rovnou na dotykovém displayi. Přístroj automaticky snímá předepsanou sílu zatěžování, měří hloubku a průměr otláčení a poté je z těchto informací schopen vypočítat hodnotu tvrdosti (Obr. 16).



Obr. 16. Princip zkoušení Brinellovou metodou (<http://www.converter.cz>)

Kalibrace a vtisk indikátoru trval průměrně 1 minutu. Samotný proces vtisku indikátoru do zkušebního tělesa 10 sekund. Měření probíhalo na tělesech na několika zkušebních místech, aby byla stanovena variabilita tvrdosti. Na tělesa byla rozkreslena mřížka po cca 20 x 20 mm (Obr.17) v protnutí probíhalo měření tvrdosti. Parametry měření tvrdosti podle Brinella jsou uvedeny v Tab. 5.



Obr. 17. Upnutí zkušebního vzorku do přístroje, ukázka rozkreslené mřížky na tělese (foto autor)

2.2. Zjišťování změn barvy

Materiály

Experiment byl tvořen základním souborem zkušebních vzorek (Iroko), tento soubor se dělil na podsoubory podle teploty termické modifikace (20, 160, 180, 210 °C). Každý podsoubor byl tvořen deseti zkušebními vzorky o rozměrech 20 x 100 x 200 mm.

Tyto vzorky byly klimatizovány v klimatizační komoře ($\phi = 65 \pm 3\%$ and $t = 20 \pm 2$ °C) pro dosažení vlhkosti 12 %.

2.2.1. Měření barvy

Barva se nejprve měřila před samotnou termickou úpravou, abychom dostali referenční hodnoty potřebné k přepočtu celkové barevné změny ΔE^* . Měřili jsme na každé vzorce ve třech místech a pro zabezpečení co nejpřesnějších výsledků, měření probíhalo na stanovených místech. Celková změna barvy ΔE^* byla hodnocena podle (Babiak *et. al.*, 2004) (Tab. 2).

Tab. 2. Kritéria pro vyhodnocení celkové změny barvy ΔE^*

$\Delta E < 0,2$	Neviditelný rozdíl
$0,2 < \Delta E < 2$	Malý rozdíl
$2 < \Delta E < 3$	Barevná změna viditelná s vysoko kvalitním filtrem
$3 < \Delta E < 6$	Barevná změna viditelná se středně kvalitním filtrem
$6 < \Delta E < 12$	Vysoká barevná změna
$\Delta E < 12$	Odlišná barva

Barevné rozdíly byly hodnoceny podle celkové barevné změny, která byla vypočítána podle vzr. 14 (Hiller *et. al.*, 1972)

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}} \quad (14)$$

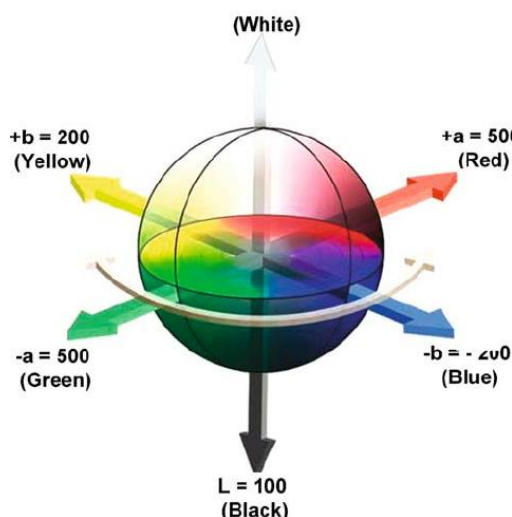
kde ΔE^* je celková změna barvy a ΔL^* , Δa^* a Δb^* jsou rozdíly mezi referenčními hodnotami a hodnotami získanými po termické úpravě vzorků a jsou získané přepočtem základních souřadnice podle vzr. 15.

$$\Delta a^* = a_{po\ TM} - a_{před\ TM}$$

$$\Delta b^* = b_{po\ TM} - b_{před\ TM} \quad (15)$$

$$\Delta L^* = L_{po\ TM} - L_{před\ TM}$$

Naměřené hodnoty byly vyhodnocovány v programu Statistica. Hodnoty byly vyhodnocovány jedno – faktorovou analýzou. Faktorem analýzy byl způsob termické modifikace (20 °C, 160 °C, 180 °C a 210 °C). Vyhodnocované hodnoty byly změny souřadnic barevného prostoru L^* , a^* , b^* a celková změna barevného prostoru ΔE^* (Obr.18).



Obr. 18. Grafické znázornění souřadnicového barevného prostoru CIE $L^*a^*b^*$
(www.tipyjakfotit.cz, 2106)

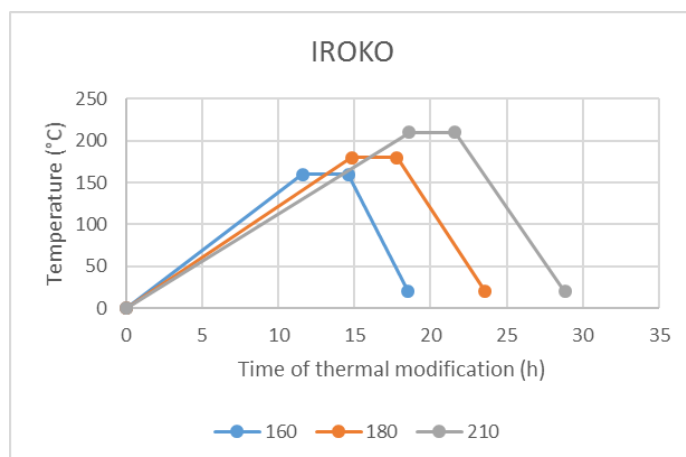
2.3. Termická modifikace

1. Ohřev a sušení – V této fázi se zvyšuje teplota v sušárně přibližně na 100 °C, při působení páry. Sušícím médiem je horký vzduch. Po celou dobu této fáze se dřevo suší na přibližně nulovou vlhkost.

2. Termická modifikace – Ve druhém stupni se teplota zvýší na úroveň 185-230 °C na dobu 2-3 hodin. Výška teploty a trvání účinků jsou dány požadavky třídy výrobků Thermowood (Thermo-S a Thermo-D).

3. Chlazení a klimatizace – Ve třetí fázi, se dřevo postupně ochladí na teplotu 80-90 °C a vlhkost vzduchu je stabilizovaná tak, že konečný obsah vlhkosti se ustálí na 4-7 %.

Tento proces rozdělený do třech fází popsaných výše je znázorněn graficky na Graf. 1



Graf 1. Průběh termické modifikace - Iroko

Tab. 3. Vstupní technologické parametry

Technologické parametry		
Iroko	Vlhkost dřeva	2 až 4 %
Termo komora	Kapacita	0.8 m ³
	Ohřev	do 260 °C
	Ochlazování	do 20 °C
	Maximální dosažená teplota	210 °C

Tab. 4. Proces termické modifikace Iroko

Finální teplota termické modifikace (°C)	Termická modifikace			
	I fáze (h)	II fáze (h)	III fáze (h)	Čas modifikace (h)
160 °C	11.6	3	3.92	18.52
180 °C	14.8	3	5.76	23.56
210 °C	18.6	3	7.2	28.8

3. Diskuze a Výsledky

V Tab. 5 jsou uvedeny průměrné hodnoty naměřených tvrdostí a hustoty, stejně tak je uveden příslušný variační koeficient.

Tab. 5. Průměrné hodnoty tvrdosti podle Brinella (Iroko)

* Hodnoty v závorkách jsou variační koeficienty (CV) v %

Dřevina	Teplota (°C)	Tvrdość podle Brinella (Mpa)	Hustota (Kg/m ³)
Iroko	20	6.8 (11.4)	636
Iroko	160	7.3 (8.7)	623
Iroko	180	6.8 (15.3)	622
Iroko	210	6.4 (18.1)	612

* Hodnoty v závorkách jsou variační koeficienty (CV) v %

V Tab. 6 je uvedena významnost jednotlivých faktorů na sledovaný parametr. Na základě hodnot hladiny významnosti „P“, můžeme konstatovat, že druh dřeviny stejně tak jako termická modifikace mají statisticky velmi významný vliv na hodnoty sledované charakteristiky. Významným účinkem se projevila i interakce obou sledovaných faktorů.

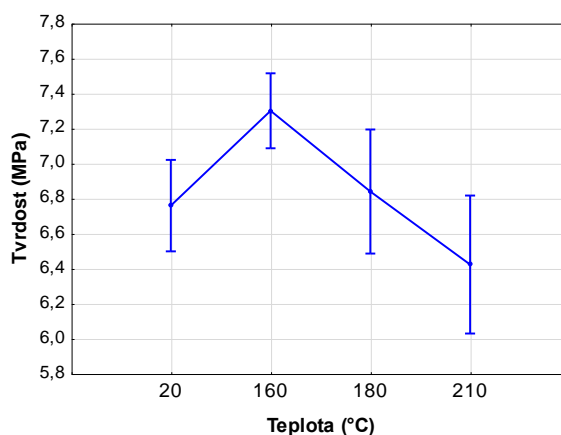
Tab. 6. Statistické zhodnocení vlivu faktorů na tvrdost podle Brinella

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fisherův F- Test	Hladina významnosti P
Abs. Člen	6717.168	1	6717.168	7799.307	***
Termická modifikace, TM	14.126	3	4.709	5.467	***
Chyba	120.575	140	0.861		

NV – nevýznamné, *** - významné, p<0.005

Jak můžeme vidět na grafu číslo 2 při 160°C byl patrný nárůst hodnot tvrdosti vzhledem k referenčním údajům. Z grafu je zřejmé že hodnoty tvrdosti měřeny na vzorcích termicky modifikovaných na 180°C byly přibližně stejné jako hodnoty získané

na referenčních vzorcích. Zato v případě termické modifikace prováděné při 210°C bylo zřejmé, že hodnoty tvrdosti dosahovaly nejnižších hodnot.



Graf 2. Vliv teploty termické úpravy na tvrdost podle Brinella

Pro hlubší analýzu vlivu teploty termické úpravy na sledované charakteristiky byl použit Duncanův test, jehož výsledky jsou zaneseny v (Tab. 7). Výsledkem můžeme konstatovat, že se neprokázal statisticky významný rozdíl mezi referenčními hodnotami a hodnotami získaných na vzorcích termicky modifikovaných při 180°C. Dále nebyl prokázán statisticky významný vliv mezi hodnotami získanými na referenčních vzorcích a termicky modifikovaných vzorcích při 210°C a vzorcích termicky modifikovanými při 180°C a 210°C. Rozdíly všechny zbývajících hodnoty tvrdosti ovlivněny účinkem aplikovaných teplot byly statisticky velmi rozdílné.

Tab. 7. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu změnách tvrdosti podle Brinella

Dřevina	Teplota (°C)	Tvrdost (MPa)			
		(1)	(2)	(3)	(4)
		6.758	7.300	6.838	6.422
Iroko	20		0.018	0,713	0.124
Iroko	160	0.018		0.035	0.000
Iroko	180	0.713	0.035		0.071
Iroko	210	0.124	0.000	0.071	

Barva

V Tab. 8 jsou uvedeny průměrné hodnoty souřadnic barevného prostoru L*, a*, b* a průměrné hodnoty celkové změny barvy ΔE^* pro různé tepelné modifikace Iroka.

Tab. 8. Změna souřadnice barevného prostoru L*, a* a b* a celková změna barevného prostoru ΔE^*

Dřevina	Teplota (°C)	Barevné souřadnice			Celková barevná změna
		L*	a*	b*	ΔE^*
Iroko	20	58.72	9.11	23.85	-
	160	51.48	11.19	23.62	12.25
	180	42.40	11.02	17.50	22.26
	210	32.45	7.50	9.20	38.7

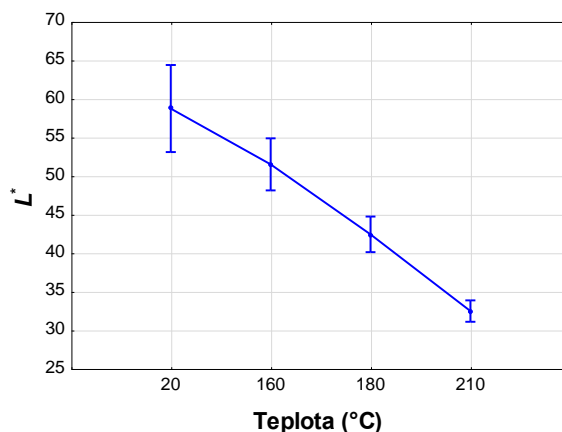
Po porovnání hodnot hladiny významnosti „p“ můžeme říci, že byl zjištěn statistický významný účinek jednotlivých stupňů termické modifikace na změny souřadnice barevného prostoru L*. (Tab. 9)

Tab. 9. Významnost vybraného faktoru na změnu souřadnice L*

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fisherův F- Test	Hladina významnosti P
Abs. Člen	85608.76	1	85608.76	3470.871	***
Termická modifikace „TM“	3879.13	3	1293.04	52.424	***
Chyba	887.94	36	24.66		

NV – nevýznamné, *** - významné, $p < 0.005$

Na grafu zobrazeném na Graf 3. je zobrazena změna souřadnice barevného prostoru L^* . Tato souřadnice vykazovala se stoupající teplotou stálý pokles jejich hodnot.



Graf 3. Grafické znázornění průběhu změny souřadnice L^* vzhledem k teplotě termické modifikace

Výsledky Duncanového testu uvedené v tabulce číslo 10 ukazují, že rozdíl všech hodnot souřadnice L^* ovlivněný účinkem aplikovaných teplot byl statisticky velmi rozdílný s hladinou významnosti $P = 0.000$.

Tab. 10. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu na změnách souřadnice L^*

Dřevina	Teplota (°C)	Průběh změny souřadnice L^*			
		(1)	(2)	(3)	(4)
		58.716	51.480	42.401	32.453
Iroko	20		0.003	0.000	0.000
Iroko	160	0.003		0.000	0.000
Iroko	180	0.000	0.000		0.000
Iroko	210	0.000	0.000	0.000	

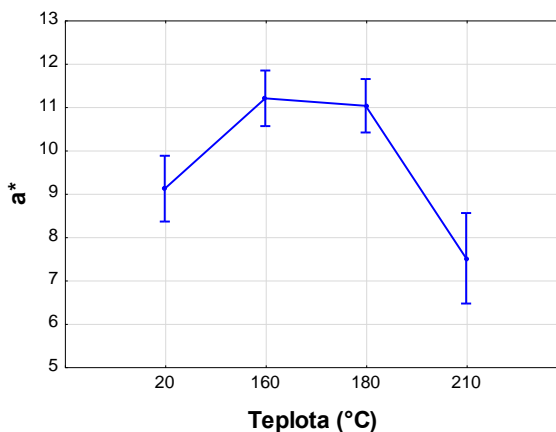
Po porovnání hodnot hladiny významnosti „p“ můžeme říci, že byl zjištěn statistický významný účinek jednotlivých stupňů termické modifikace na změny souřadnice barevného prostoru a^* . (Tab. 11)

Tab. 11. Významnost vybraného faktoru na změnu souřadnice a^*

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fisherův F- Test	Hladina významnosti P
Abs. Člen	3768.063	1	3768.063	3139.129	***
Termická modifikace „TM“	91.538	3	30.513	25.420	***
Chyba	43.213	36	1.200		

NV – nevýznamný, *** - významný, $p < 0.005$

Na grafu zobrazeném na Grafu 4. je zobrazena změna souřadnice barevného prostoru a^* . Tato souřadnice vykazovala se stoupající teplotou nejprve výrazný vzestup na hodnoty, které si udržela jak na teplotě 160°C tak na 180°C. Za to na teplotě 210°C byl, zaznamenám velmi výrazný pokles pod hodnoty naměřené na referenčních vzorcích.



Graf 4. Grafické znázornění průběhu změny souřadnice a^* vzhledem k teplotě termické modifikace

Výsledky Duncanového testu uvedené v tabulce číslo 12 ukazují, že rozdíl hodnot souřadnice a^* ovlivněný účinkem aplikovaných teplot byl statisticky velmi rozdílný s hladinou významnosti $P = 0.000$ s výjimkou termické modifikace na 160°C a 180°C , kde byl zjištěn statisticky nevýznamný rozdíl.

Tab. 12. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu na změnách souřadnice a^*

Dřevina	Teplota ($^\circ\text{C}$)	Průběh změny souřadnice a^*			
		(1)	(2)	(3)	(4)
		9.108	11.192	11.021	7.501
Iroko	20		0.000	0.001	0.002
Iroko	160	0.000		0.728	0.000
Iroko	180	0.001	0.728		0.000
Iroko	210	0.002	0.000	0.000	

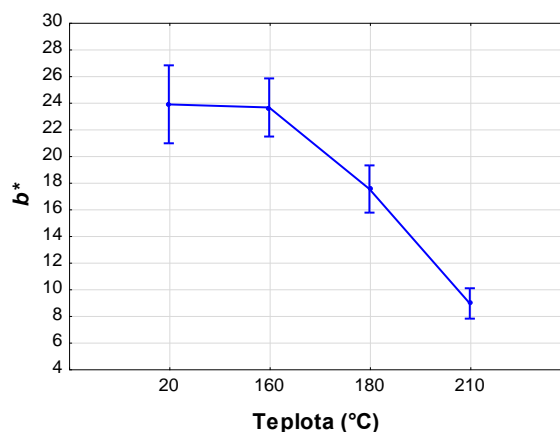
Po porovnání hodnot hladiny významnosti „ p “ můžeme říci, že byl zjištěn statistický významný účinek jednotlivých stupňů termické modifikace na změny souřadnice barevného prostoru b^* . (Tab. 13)

Tab. 13. Významnost vybraného faktoru na změnu souřadnice b^*

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fisherův F- Test	Hladina významnosti P
Abs. Člen	13639.85	1	13639.85	1576.476	***
Termická modifikace „TM“	1479.02	3	493.01	56.981	***
Chyba	311.48	36	8.65		

NV – nevýznamný, *** - významný, $p < 0.005$

Na grafu zobrazeném na Grafu 5 je zobrazena změna souřadnice barevného prostoru b^* . Tato souřadnice si při teplotě 160°C nejprve udržovala nejprve podobné hodnoty jako na referenčních vzorcích, ale poté se vzrůstající teplotou byl zaznamenán velmi výrazný pokles hodnot.



Graf 5. Grafické znázornění průběhu změny souřadnice b^* vzhledem k teplotě termické modifikace

Výsledky Duncanového testu uvedené v tabulce číslo 14 ukazují, že rozdíl hodnot souřadnice b^* ovlivněný účinkem aplikovaných teplot byl statisticky velmi rozdílný s hladinou významnosti $P = 0.000$ s výjimkou termické modifikace na 20°C a 160°C, kde byl zjištěn statisticky nevýznamný rozdíl.

Tab. 14. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu na změnách souřadnice b^*

Dřevina	Teplota (°C)	Průběh změny souřadnice b^*			
		(1)	(2)	(3)	(4)
		23.848	23.618	17.495	8.903
Iroko	20		0.863	0.000	0.000
Iroko	160	0.863		0.000	0.000
Iroko	180	0.000	0.000		0.000
Iroko	210	0.000	0.000	0.000	

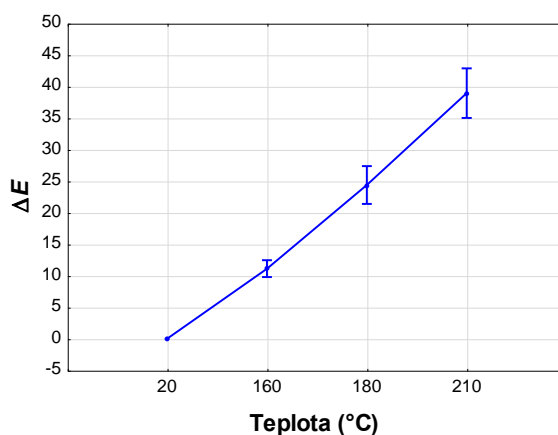
Po porovnání hodnot hladiny významnosti „p“ můžeme říci, že byl zjištěn statistický významný účinek jednotlivých stupňů termické modifikace na celkovou změnu barevného prostoru ΔE^* . (Tab. 15)

Tab. 15. Významnost vybraného faktoru na změnu celkového barevného prostoru ΔE

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fisherův F- Test	Hladina významnosti P
Abs. Člen	13839.74	1	13839.74	1081.751	***
Termická modifikace, „TM“	8486.64	3	2828.88	221.113	***
Chyba	460.58	36	12.79		

NV – nevýznamný, *** - významný, $p < 0.005$

Celková změna barevného prostoru ΔE , se velmi výrazně mění se stoupající teplotou termické modifikace, jak je možné vidět na grafu zobrazeném na Grafu číslo 6.



Graf 6. Grafické znázornění průběhu celkové změny barevného prostoru ΔE vzhledem k teplotě termické modifikace

Výsledky Duncanového testu uvedené v tabulce číslo 16 ukazují, že rozdíl všech hodnot změny barevného prostoru ΔE ovlivněný účinkem aplikovaných teplot byl statisticky velmi rozdílný s hladinou významnosti $P = 0.000$.

Tab. 16. Porovnání vlivů teploty termické modifikace pomocí Duncanového testu na změnách hodnot celkové změny barevného prostoru ΔE

Dřevina	Teplota (°C)	Průběh změny hodnot ΔE			
		(1) 0.000	(2) 11.107	(3) 24.367	(4) 38.930
Iroko	20		0.000	0.000	0.000
Iroko	160	0.000		0.000	0.000
Iroko	180	0.000	0.000		0.000
Iroko	210	0.000	0.000	0.000	

Jak vidíme z Tab. 17 celková změna barvy ΔE se měnila velice výrazně s rostoucí teplotou termické úpravy. Podle běžně používaných kritérií, hodnoty celkové změny barvy ukazují, že při všech stupních termické modifikace bylo dosaženo nejvyššího stupně změny barvy (Tab. 7). Nejvyšší stupeň změny barvy odpovídá zcela odlišné barvě, vzhledem k barvě zkušebních vzorků před termickou modifikací.

Tab. 17. Vyhodnocení celkové změny barvy

Dřevina	Teplota (°C)	Celková barevná změna	Vyhodnocení	
		ΔE^*	Kritéria	Popis
Iroko	160	12.25	$\Delta E < 12$	Odlišná barva
	180	22.26	$\Delta E < 12$	Odlišná barva
	210	38.7	$\Delta E < 12$	Odlišná barva

4. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo analyzovat změnu barvy ΔE po termické modifikaci na dřevině Iroko. Změna barvy se nejprve měřila před samotnou termickou úpravou, abychom dostali referenční hodnoty potřebné k přepočtu celkové barevné změny ΔE . Vedle barevných změn dřeva byl pozorován vliv termické modifikace na tvrdost podle Brinella.

Celková změna barvy ΔE se měnila velice výrazně s rostoucí teplotou termické úpravy. Podle běžně používaných kritérií, naměřené hodnoty celkové změny barvy ukazují, že při všech stupních termické modifikace nastala barevná změna odpovídající nejvyššímu stupni změny barvy. Největší změnu barvy ΔE (38.7) jsme zaznamenali u termické modifikace při 210 °C.

Nejvyšší stupeň změny barvy odpovídá zcela odlišné barvě, vzhledem k barvě zkušebních vzorků před termickou modifikací. U změn v tvrdosti Iroka zapříčiněného termickou modifikací, můžeme říct že se při termické modifikaci na 160 °C výrazně zvýšila tvrdost testované dřeviny, ale při termické modifikaci na 180 a 210 °C jsme zaznamenali výrazný pokles tvrdosti.

Svou bakalářskou práci bych rád použil jako podklad pro další výzkum fyzikálních a mechanických vlastností termicky modifikovaných tropických dřevin.

5. Seznam literatury a použitých zdrojů

1. BAAR, a GRYC. *The analysis of tropical wood discoloration caused by simulated sunlight. European Journal of Wood and Wood Products.* 2017. s. 263-269.
2. Bongers a Beckers. *Mechanical properties of acetylated solid wood treated on pilot plant scale. Proceedings of the first European Conference on Wood Modification, Ghent, Belgium.* 2003 s. 25.
3. Chanrion P. a Schreiber J. *Bois traité par haute température. Éditions CTBA.* 2003. s. 115. ISBN 2- 85684-053-1.
4. Dehejia a Harsha V. *The sacred tree.* 2011. s. 54.
5. ESTEVES, B., M., PEREIRA, H., M. *Wood modification by heat treatment: A Review. Bioresource .* 2009. s.370-404.
6. Gsöls, I., Rätzsch, M. and Ladner, C. *Interactions between wood and melamine resins - effect on dimensional stability properties and fungal attack. Proceedings of the first European Conference on Wood Modification, Ghent, Belgium.* s. 221-225.
7. GUNDUZ, G., D., AYDEMIR, KARAKAS, G. *The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (Pyrus elaeagnifolia Pall.) wood and changes in physical properties.* 2009. pp. 4391–4395.
8. GENDELOVÁ, Libuše., HORÁČEK, Petr a ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila. *Nauka o dřevě.* 2014. s.176. ISBN 978-80-7375-312-2.

9. HILLER, C. *Relationships in black walnut heartwood between color and other physical and anatomical characteristics. Wood Fiber* 1972. no 4. s. 38–42.
10. HAKKOU, M., PÉTRISSANS, M., EL BAKALI, I., GÉRARDIN, P., AND ZOULALIAN, A. *Evolution of wood hydrophobic properties during heat treatment. Abstracts of the First European Conference on Wood Modification, Ghent, Belgium.* 2003. s. 76-80.
11. HAKKOU, M., PÉTRISSANS, M., ZOULALIAN, A., GÉRARDIN, P. *Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. Polymer Degradation and Stability.* 2005. no 89. s. 1-5.
12. Hugh D. Young; Roger A. Freedman. *University Physics with Modern Physics Archived April at the Wayback Machine.* 2012. p. 374. ISBN 978-0-321-69686-1.
13. CHARLES, R., FRIHART. *Wood Adhesion and Adhesives. Handbook of wood chemistry and wood composites.* 2005. s. 215-278.
14. BABIAK, M., KUBOVSKÝ, I., MAMOŇOVÁ, M. *Farebný priestor vybraných domácich drevín. Interaction of wood with various Forms of Energy.* 2004. s. 113-117.
15. Bondar S.A. *A convoluted convection chamber of periodic actions for drying wood in the environment of combustion products of liquefied or natural gas.* 2015. s. 45-56.
16. Hill, C.A.S., Hale, M. and Forster, S.C. *Investigations of the role of cell wall moisture content and micropore blocking in the decay protection mechanism of anhydride modified wood. Presentation given at the Final Conference of COST Action.* 2004. s. 65.

17. POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 1997. s. 485. ISBN 80-07-00960-4.
18. HORAČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 2008. s. 124. ISBN 80-7157-347-7.
19. Vigue J. *Praktická kniha o dřevě*. 2009. s. 73.
20. Ulrich, Roger B. *Roman Woodworking*. Yale University. 2008. s. 85. ISBN 9780300134605.
21. Jan. *Památné stromy v Čechách na Moravě a Slezsku*. 2003. s. 67-69.
22. Jiao, Y.; Wickett, N. J.; Ayyampalayam, S., Chanderbali, A. S., Landherr, L., Ralph, P. E., Tomsho, L. P., Hu, Y., Liang, H., Soltis, P. S., Soltis, D. E.; Clifton, S. W., Schlarbaum, S. E., Schuster, S. C.; Ma, H., Leebens-Mack, J., dePamphilis, C. W. *Ancestral polyploidy in seed plants and angiosperms*. 2011. s. 97–100.
23. KLEMENT, I., a DETVAJ, J. *Technológia prvostupňového spracovania dreva*. 2007. s. 40-45. ISBN 978- 80-228-1811-7.
24. KAMDEN, D., PIZZI, A., JERMANNAUD, A. *Durability of heat-treated wood*. 2002. no. 60. s. 1–6.
25. ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ L. *Stavba dřeva*. 1. vyd. 2001. s. 187. ISBN 80-7157-636-0.

26. KŘUPALOVÁ, Z. *Nauka o materiálech*. 2008. s. 256.
27. Mahmood, MR . *Thermal Stability and Decay Resistance Properties of Tropical Wood Polymer Nanocomposites (WPNC)*. 2013. s. 56-59.
28. MATOVIČ, A. *FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA A MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA*. 1993. s. 65-73. ISBN 80-7157-086-9.
29. LUKÁŠEK, J. *Posouzení variability vybraných vlastností dřeva jedle obrovské*. 2012. s. 138.
30. Woods, Sarah. *A History of Wood from the Stone Age to the 21st Century*. 2017.
31. Parkin, D., Parkin, Marilyn. *"Fire". How do the seeds disperse to form new plants?* 2015.
32. PECINA P., PECINA J. *Materiály a technologie – dřevo*. vyd. Brno: Masarykova univerzita .2006. s. 132. ISBN 80-210-4013-0.
33. REINPRECHT L., VIDHOLDOVÁ Z. *Termodrevo – příprava, vlastnosti a aplikace*. vyd. Technická univerzita vo Zvolene. 2008. s. 28. ISBN 978-80-228-1920-6.
34. ŠULCOVÁ P. *Vlastnosti anorganických pigmentů a metody jejich hodnocení*. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice. 2008. ISBN 978-80-7395-057-6.
35. Svoboda, Luboš, *Stavební hmoty*. 2013. s. 37.

36. TJEERDSMA, B., BOONSTRA, M., PIZZI, A., TEKELY, P., MILITZ, H. *Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement*. 1998. ISSN 0018-3768.
37. Tony Rodd, Jennifer Stackhouse. *Trees: A Visual Guide*. vyd. University of California 2008. s. 112. ISBN 978-0-520-25650-7.
38. Van Acker, J. *The way forward: testing and specifying wood protective systems*. vyd. Presentation given at the Workshop of COST Action E22, Reinbek, Germany. 2002. s. 43.
39. WALKER, A. *Dřevo Velká encyklopedie*. vyd. London. 2009. ISBN 978-80-247-2858-2.
40. Yan, YT. *Enhancement of mechanical and thermal properties of Poplar through the treatment of glyoxal-urea/nano-SiO₂*. 2015. s. 42-50.
41. Yang, Suan. *Seed Dispersal by Animals: Behavior Matters*. 2012.
42. E. Josten. *Dřevo a jeho obrábění*. vyd. Praha. 2010. s. 37.
43. Yasuda, R., Minato, K. *Chemical modification of wood by nonformaldehyde crosslinking reagents - Part I. Improvement of dimensional stability and acoustic properties*. *Wood Science and technology* .1994. s. 101-110.
44. Zephyrus A. *The tropical rain forest*. vyd. Marietta College. 2012.