

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
Fakulta lesnická a dřevařská  
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Porovnání barvy, smáčení, drsnosti a tvrdosti  
neupraveného a termicky upraveného dřeva jedle  
obrovské**

Bakalářská práce

Autor: Josef Bárta

Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Josef Bárta

Dřevařství  
Dřevařství

Název práce

**Porovnání barvy, smáčení, drsnosti a tvrdosti neupraveného a termicky upraveného dřeva jedle obrovské**

Název anglicky

**Comparison of the color, wetting, roughness and hardness of untreated and heat-treated Grand fir wood**

---

### Cíle práce

Cílem práce je posoudit vliv tepelné úpravy (180 °C a 200 °C) na vybrané vlastnosti dřeva jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) z lokalit České republiky, zejména pak z pohledu užitkových vlastností.

### Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o dané dřevině a posuzovaných vlastnostech.
- 2) Odebrat reprezentativní vzorníky z vybraných lokalit a připravit zkušební tělesa, a na relevantním počtu provedení termické úpravy.
- 3) Normalizovanými (standardizovanými) postupy stanovit na zkušebních tělesech parametry barvy, smáčení, drsnosti a tvrdosti.
- 4) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabulární a grafické podobě.
- 5) Analyzovat rozdíly ve vlastnostech dřeva před a po termické úpravě, jejich možné příčiny pro danou dřevinu, a to i z pohledu užitkových vlastností.

**Doporučený rozsah práce**

40 – 50 stran

**Klíčová slova**

dřevo, tepelná úprava, jedle obrovská, barva, smáčení, drsnost, tvrdost, variabilita vlastností

---

**Doporučené zdroje informací**

- ČSN EN 1534 (492124). (2011). "Dřevěné podlahoviny – Stanovení odolnosti proti vtisku – Metoda zkoušení [Wood flooring – Determination of resistance to indentation – Test method]," Czech Office for Standards, Metrology and Testing, Prague, Czech Republic.
- ČSN 49 0103. (1979). Drevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach.
- ČSN 49 0108. (1993) Drevo. Zisťovanie hustoty.
- DINWOODIE, J. M. (2000). Timber: Its nature and behavior, Taylor & Francis New York, USA. 258 s.
- HILL, C.A.S. (2006). Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes; John Wiley & Sons: London, UK, 260 s.
- ITA (International Thermowood Association). (2003). Thermowood Handbook; International Thermowood Association: Helsinki, Finland; Dostupné online: [https://asiakas.kotisivukone.com/files/en.thermowood.palvelee.fi/downloads/tw\\_handbook\\_080813.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/en.thermowood.palvelee.fi/downloads/tw_handbook_080813.pdf) (přístupné k 6.11.2019).
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. (1997). Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vydání. Bratislava: Príroda. 485 s.
- REINPRECHT, L. (2016). Wood Deterioration, Protection and Maintenance, John Wiley & Sons, Oxford, United Kingdom. 376 s.
- TSOUMIS, G. (1991). Science and technology of wood – structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall. 497 s.
- ZOBEL, B. J., VAN BUITENEN, J. P. (1989). Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag. Berlin. 363 s.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2020/21 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Konzultant**

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 18. 2. 2020

**Ing. Radek Rinn**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2021

---

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Porovnání barvy, smáčení, drsnosti a tvrdosti neupraveného a termicky dřeva jedle obrovské“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vlastimila Borůvky, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 20. 4. 2021

.....

Josef Bárta

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Vlastimilu Borůvkovi, PhD. za odborné vedení práce a také fakultě FLD za zpřístupnění do laboratoří, při měření této práce. Dále také děkuji za odbornou pomoc technikovi Ing. Tomáši Holečkovi.

## **Abstrakt**

Dřevo jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) bylo tepelně upraveno při teplotách 180 °C a 200 °C po dobu 3 hodin v hlavní fázi odpovídající úpravě ThermoWood®. Měřeny byly fyzikální vlastnosti, a to hustota, barva, smáčení, drsnost a tvrdost. Cílem této práce bylo posoudit a porovnat vlastnosti jedle obrovské vzhledem ke dvou odlišným teplotám při modifikaci a jestli byly posuzované změny statisticky významné. Statistická významnost byla prokázána u barvy, tvrdosti, hustoty a smáčení. Jako statisticky nevýznamná se ukázala drsnost a rozdíl mezi úpravami při vyhodnocování kontaktního úhlu smáčení.

## **Klíčová slova**

barva, drsnost, dřevo, jedle obrovská, variabilita vlastností, smáčení, tepelná úprava, tvrdost

## **Abstract**

Wood of Grand fir (*Abies grandis* Lindl.) was thermally modified at temperatures 180 °C and 200 °C with the 3 hours long period requisites ThermoWood® proces. Physical properties were measured such as density, color, wettability, roughness and hardness. The aim of this work was to assess and compare properties of Grand fir due to two diferent temperatures in modification and whether the assessed changes were statistical significance. Statistical singificance was proved for color, hardness, density and wettability. The roughness and difference between modification when evaluating the wetting contact angle proved statistically insignificant.

## **Keywords**

color, grand fir, hardness, variability of properties, roughness, termal treatment, wettability, wood

# Obsah

<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam grafů .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>2 Cíle práce .....</b>	<b>14</b>
<b>3 Rozbor problematiky .....</b>	<b>15</b>
3.1 Jedle obrovská.....	15
3.2 Posuzované vlastnosti .....	17
3.2.1 Hustota .....	17
3.2.2 Barva .....	19
3.2.3 Tvrdost .....	21
3.2.4 Drsnost .....	22
3.2.5 Smáčení.....	23
3.3 Termická modifikace .....	24
3.4 Změny tepelně upraveného dřeva .....	28
<b>4 Metodika práce.....</b>	<b>32</b>
4.1 Uspořádání a příprava vzorků.....	32
4.2 Termická úprava .....	33
4.3 Měření vzorků.....	35
4.4 Statistické zpracování dat .....	41
<b>5 Výsledky a diskuze .....</b>	<b>42</b>
<b>Závěr.....</b>	<b>53</b>
<b>Použité zdroje .....</b>	<b>54</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>58</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>I</b>



## Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka stanovující rozdíl mezi barvami.....	20
Tabulka 2: Statistické vyhodnocení celkového barevného rozdílu podle tepelné úpravy.....	44

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Výskyt jedle obrovské na území severozápadního území severoamerického kontinentu.....	15
Obrázek 2: Vzhled dřeva jedle obrovské .....	16
Obrázek 3: Porovnání hustoty dřevin.....	17
Obrázek 4: Závislost mezi hustotou a šířkou letokruhů.....	18
Obrázek 5: CIE Lab 1976, barevný prostor ve tvaru koule .....	20
Obrázek 6: Druhy zkoušek tvrdosti.....	21
Obrázek 7: Přisedlá kapka a), přilínající bublina b).....	23
Obrázek 8: Schéma uspořádání dílčích procesu pro měření úhlu smáčení.....	24
Obrázek 9: Schéma výroby termo dřevo ThermoWood® .....	25
Obrázek 10: Rozdělení jednotlivých složek dřeva.....	28
Obrázek 11: Označení vzorků pro měření .....	32
Obrázek 12: Termokomora Katres S 400/03 .....	33
Obrázek 13: Výsledek úpravy pro 180 °C .....	34
Obrázek 14: Výsledek úpravy pro 200 °C .....	35
Obrázek 15: Graf teplot s jejich strmostí tepelné úpravy pro 200 °C .....	35
Obrázek 16: Klimatizace WEISS TECHNIK 12SD/15JU .....	36
Obrázek 17: Spektrofotometr Konica Minolta CM-600d .....	37
Obrázek 18: Měření drsnosti na předem označeném úseku.....	39
Obrázek 19: Drsnoměr Olympus OLS 40-SU .....	40
Obrázek 20: Detail měření smáčení na přístroji Krüss DSA30E.....	41

## Seznam grafů

Graf 1: Změna hustoty při jednotlivých termických úpravách (180 °C A, 200 °C B) .....	43
Graf 2: Změna parametru barvy L* barvy (180 °C A, 200 °C B).....	45
Graf 3: Tvrdost při tepelných úpravách (180 °C A, 200 °C B) .....	47
Graf 4: Změna drsnosti při tepelné úpravě pro parametr Rc (180 °C A, 200 °C B)..	48
Graf 5: Změny kontaktního úhlu smáčení (180 °C A, 200 °C B).....	50
Graf 6: Korelace mezi tvrdostí a hustotou neupraveného dřeva .....	51
Graf 7: Korelace mezi tvrdostí a hustotou po termické úpravě (200 °C) .....	52

# 1 Úvod

Termická úprava je považována za proces, při kterých je vlivem zvýšené teploty cíleně měněno vlastností dřeva. Tyto úpravy se používají u dřevin netrvanlivých a méně trvanlivých jako jsou například smrk, borovice, jedle, buk, bříza, osika a jasan. Termickou úpravou dřeva získává dřevo vlastnosti předurčující ho především pro použití v exteriéru, ale bez kontaktu se zemí. (Militz 2002, Scheiding a kol. 2005, Tiralová a Reinprecht 2005, Vernois 2001)

Změna vlastností dřeva vlivem termické úpravy byla zkoumána již na začátku 20. století. Roku 1920 Harry D. Tiemann přišel na to, že se při sušení dřeva mění vlastnosti dřeva, a to zejména při vyšší teplotě, než byla běžná. Měnila se rovnovážná vlhkost dřeva a také bobtnání. V nevydané publikaci od Laboratoře lesních produktů ze Spojených států (Forest products laboratory) datovanou již k roku 1916 je zmíněna termická úprava tupely lesní (*Nyssa silvatica*, *Black tupelo/Black gum*) při teplotě 205 °C, což vedlo ke snížení hygroskopicity. Rovnovážnou vlhkost zkoumali Stamm a Hansen (1937), mimo jiné také pozorovali bobtnání a sesychání dřeva, vlastnosti zkoumali při ohřevu v různých plynech. Stamm a kol. roku 1946 uvedli, že při termickém působení na dřevo dochází ke zlepšení rozměrové stability. (Kačíková a Kačík, 2011, Laboratoř lesních produktů, 1916 viz [www.fpl.fs.fed.us](http://www.fpl.fs.fed.us), Hill 2006)

V Německu již v roce 1930 vznikly komerční materiály jako Lignostone® (Zhuštěné laminované dřevo – Laminated densified wood) a Lingofol (Ztlačené laminované dřevo – Laminated compressed wood). V Americe zase vyrábějí Staypak (Neošetřené ztlačené dřevo – Untreated Compressed Wood) a Staybwood (Neošetřené termicky upravené dřevo – Untreated Heat Wood). (Przemysław Mania 2020, Hill 2006, Rowell 1999)

V různých publikacích se nachází různé teplotní rozdíly pro popis termické modifikace dřeva. Podle vysokoškolské učebnice *Ochrana dřeva 2*. vydání z roku 2012 od pana profesora Ladislava Reinprechta je rozmezí teplot při řízené termické modifikaci dřeva 180 až 280 °C. Při termické modifikaci je záměrem změnit strukturu dřeva tak, aby bylo více odolné vůči vodě a biologickým škůdcům. Interval doby úpravy se také liší a nejčastěji je 15 minut až 24 hodin. Již od teploty 110 °C se dřevo stává rozměrově stabilnější. Při vyšších teplotách vznikají esterové vazby, a to ještě

více prohlubuje zlepšené vlastnosti dřeva, zejména hygroskopicitu. (Hakkou a kol. 2005, Hale a kol. 2005, Mburu a kol. 2006, Reinprecht 1992)

Nejvíce komerčně významné jsou v dnešní době následující termické úpravy dřeva. Ve Finsku vznikla úprava ThermoWood®, V Holandsku Plato®wood, V Německu OHT (Oil heat treatment wood – Termicky upravené dřevo pomocí oleje) a ve Francii dvě metody Bois Perdure a Rectification. Nové metody jsou stále vyvíjeny například v Dánsku metody WTT, nebo například v Rakousku metoda Huber Holz. (Hill, 2006)

Termickou modifikaci využíváme u dřevin, které za normálních okolností není vhodné použít ve venkovní dispozici. Tato úprava se cení především díky tomu, že nepoužívá chemikálie ke zlepšení vlastností dřeva. V největší míře se využívá termická úprava ThermoWood®, která byla použita při úpravě dřeva, které bylo měřeno v této bakalářské práci. Tato bakalářská práce se zabývá změnou drsnosti, tvrdosti, barvy, smáčení a hmotnosti neupraveného a termicky upraveného dřeva jedle obrovské (*Abies grandis*). Bakalářská práce navazuje a doplňuje projekty Fakulty lesnické a dřevařské, kde, již byly zkoumány jiné dřeviny a změna jejich vlastností neupraveného a termicky upraveného dřeva, například bříza bělokorá (*Betula pendula*), smrk ztepilý (*Picea abies*), jedle bělokorá (*Abies alba*) ad.

Jedle obrovská by mohla najít své místo v uplatnění ve střední Evropě, zde je brána jako dřevina s velmi vysokým potenciálem produkce. Navíc by tato dřevina mohla přispět k druhové rozmanitosti v českých lesích. A to jsou právě důvody, mimo jiné, kvůli kterým vznikla například i tato akademická práce, aby se mohlo zkoumat uplatnění možných introdukovaných dřevin. (Fulín 2016)

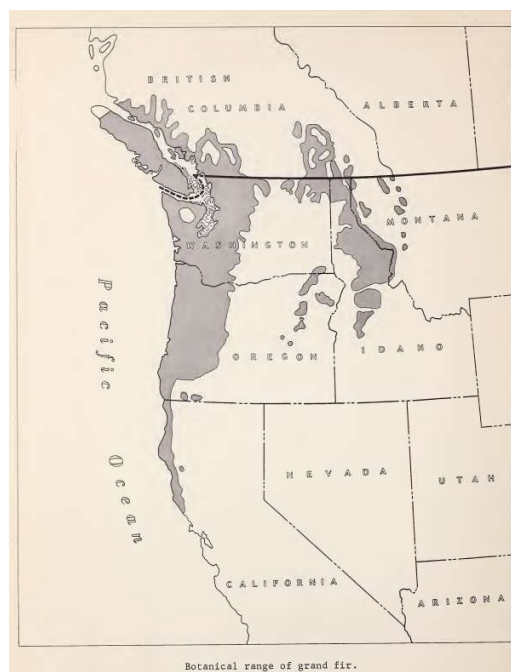
## **2 Cíle práce**

Cílem této práce je posoudit vliv tepelné úpravy pro 180 °C a 200 °C na dřevo jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) z lokalit České republiky. Posoudit také její vybrané vlastnosti, tj. barva, smáčení, drsnost a tvrdost. Statisticky zpracovat naměřené a vyzkoumané hodnoty a vyhodnotit pohled užitkových vlastností.

### 3 Rozbor problematiky

#### 3.1 Jedle obrovská

Jedle obrovská latinsky *Abies grandis*, anglicky nejčastěji *Grand fir* nebo *Giant fir*, německy *Große Küstentanne*. Jedle obrovská se vyskytuje na území severozápadního pobřeží severoamerického kontinentu. Zasahuje do těchto států USA (Idaho, Kalifornie, Montana, Oregon a Washington) a také do části států z Kanady (Britská Kolumbie, zejména ostrov Vancouver) viz obrázek 1. Objevení Jedle obrovské se datuje k roku 1805, v tento rok ji objevili badatelé Lewis a Clark v pohoří Bitterroot ve státě Washington. O 25 let později je znovuobjevena Davidem Douglasem a to roku 1830. 3 roky po tomto druhém objevu ji popisuje a pojmenovává Lindey jako *Grand fir*. (Fulín 2016, Beran 2006, Hofman 1963)



**Obrázek 1: Výskyt jedle obrovské na území severozápadního území severoamerického kontinentu**

*Zdroj: Foiles, 1959*

Jedle obrovská je introdukovaná dřevina, nejvyšší potenciál produkce je v podmínkách západní a střední Evropy, včetně České republiky. I přesto

se v českých porostech vyskytuje jen ve velmi malé míře. (Kouba a Zahradník 2011, Podráský a Remeš 2008)

### **Dřevo Jedle obrovské**

Barva dřeva je bílá až šedobílá, bývá ovšem i hnědošedá až červenohnědá viz obrázek 2. Jádra od běli nelze barvou rozeznat, jen čerstvě po pokácení je okem zřetelné jádro od běli. Dřevo se docela dobře suší, avšak během sušení se mohou objevovat nějaké závady. Dobře se opracovává a je lehce štípatelné. Je také lehké a měkké, středně odolné proti hmyzu a houbám. Vlivem absence pryskyřičných kanálků se dobře nejen opracovává, ale má dobré vlastnosti při lepení. (Vos a Kharazipour 2008, Fulín a kol. 2013, Meier 2015)

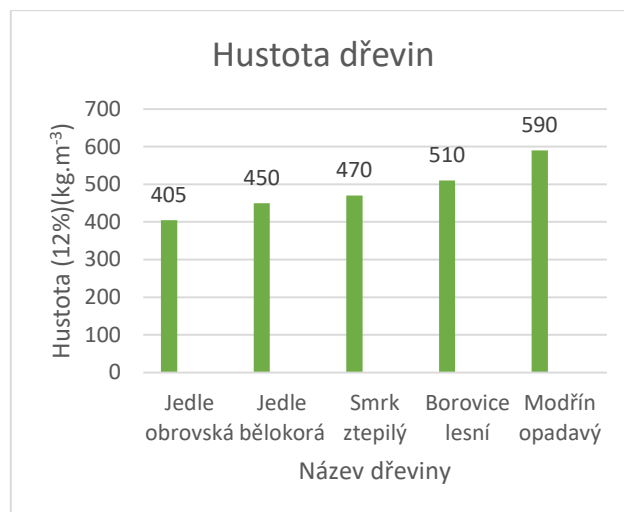


**Obrázek 2: Vzhled dřeva jedle obrovské**

*Zdroj: Meier 2015*

Podle dat Wagenföhra a Scheibera z roku 1974 má hustota jedle obrovské nejnižší hodnoty v porovnání s jedlí bělokorou, smrkem ztepilým, borovicí lesní a modřínem opadavým (seřazeno vzestupně dle grafu, viz obrázek 3).





**Obrázek 3: Porovnání hustoty dřevin**

*Zdroj: podle Wagenführ a Scheiber 1974*

Jedle obrovská roste vcelku rychle, a to ovlivňuje hustotu. V jejím přirozeném areálu dosahuje hustoty okolo 370 kg.m<sup>-3</sup>. V ČR je hustota jedle obrovské vyšší a to zhruba 405 kg.m<sup>-3</sup>. (Lukášek a kol. 2012, Alden 1997, Green a kol. 1999)

## 3.2 Posuzované vlastnosti

### 3.2.1 Hustota

Hustota patří mezi charakteristickou vlastnost posuzovanou u každé dřeviny. Ze vzorce hustoty je zřejmé, že udává hmotnost vztaženou na objem při určité vlhkosti. Její jednotky jsou často kilogramy na m<sup>3</sup>, nebo gramy na cm<sup>3</sup>.

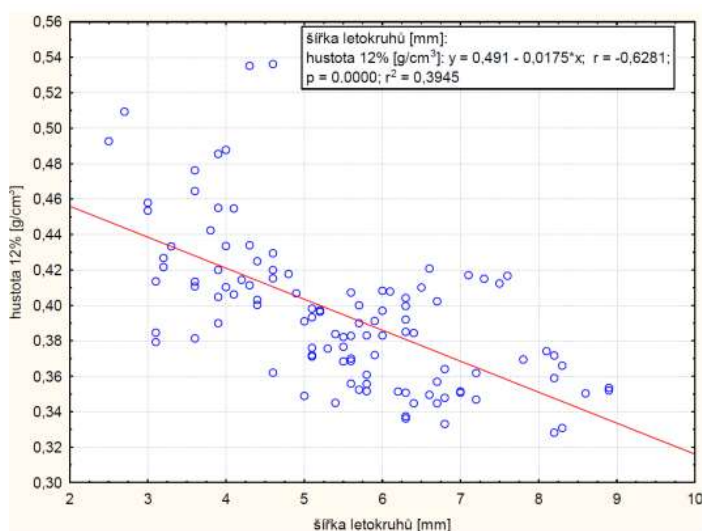
$$\rho = \frac{m}{V} [kg.m^{-3}, g.cm^{-3}]$$

Měření hustoty probíhá podle normy ČSN 49 0108. Hmotnost a rozměry se měří při vlhkosti dřeva v podmínkách odpovídajících 65 % relativní vlhkosti vzduchu a 20 °C, to odpovídá zhruba 12 % vlhkosti dřeva.

Hustota dřeva se počítá podílem hmotnosti ku objemu dřeva při stejné vlhkosti. Pro teoretické výpočty se používá i hustota v absolutně suchém stavě, kdy se počítá jako podíl hmotnosti ku objemu dřeva v absolutně suchém stavu. Dále tu je i hustota

redukována, ta se počítá jako podíl hmotnosti absolutně suchého dřeva ku objemu dřeva při určité vlhkosti (Požgaj a kol. 1997)

Hustota dřevní substance je nejvyšší hustota, které může dřevo dosáhnout. Je to zhruba  $1\,548\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a v porovnání s ní je například hustota *Guajaka* (*Kvajak* zastarale)  $1\,363\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  v absolutně suchém stavu, a naopak nejnižší hustota Balsy  $130\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Pórovitost dřeviny je velmi důležitá a hraje zásadní roli při dané hustotě dřeviny. Udává se jako objem pórů v jednotce objemu dřeva. Vliv má samozřejmě i vlhkost dřeva, hustota se zvyšuje vlivem vlhkosti, ale hmotnost a objem dřeva se mění ne zcela stejně. Zatímco objem dřeva roste do meze nasycení buněčných stěn (MNBS), jeho hmotnost roste až do úplného nasycení dřeva. Také šířka letokruhů ovlivňuje hustotu dřeva viz obrázek 4. U jedle je to většinou o něco významnější než u jiných jehličnatých dřevin. (Požgaj a kol. 1997).



**Obrázek 4: Závislost mezi hustotou a šířkou letokruhů**

*Zdroj: podle Lukáška 2012*

Vliv na hustotu má i zastoupení jarního a letního dřeva ve dřevině. Podle Edlina je hustota letního dřeva oproti jarnímu dřevu až dvakrát vyšší (Edlin, 1965). Böhm, Zeidler 2018)

### 3.2.2 Barva

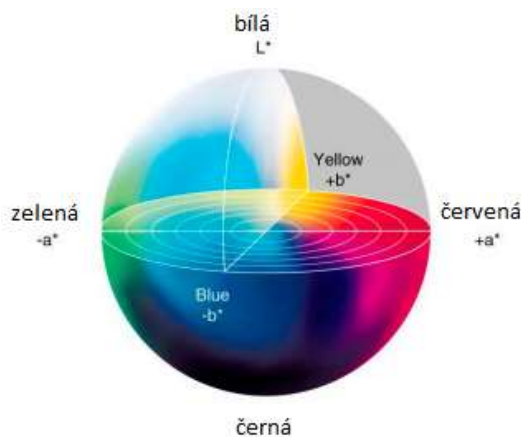
Barva je vlastnost charakterizující dřevinu, je to prakticky spektrální složení odražených světelných paprsků. Lidské oko je schopné vnímat světlo v rozmezí 400–700 nm, což zahrnuje všechny nám známé barvy, od fialové barvy 400–450 nm po červenou barvu 630–700 nm. Barvu dřeva určuje jeho složení, celulóza, hemicelulóza, lignin a doprovodné složky. Nejzastoupenější složkou je celulóza, ta má ovšem barvu bílou, a proto bývá zakryta složkami s výraznější barvou. Pro dřevo je typické, že absorbuje spektrum 400 nm a emituje spektrum zhruba 575–585 nm, to představuje žlutou část spektra, a navíc ještě teplé barevné tóny. Pro určení barvy dřeva se používá trichromatické soustavy CIE, ta je schopná rozložit jakoukoliv barvu do tří hlavních složek, červené ( $R=red$ ), zelené ( $G=green$ ) a modré ( $B=blue$ ), také někdy jednoduše označována jako RGB. (Horáček 2008)

Zjednodušeně řečeno barva ve viditelném spektru je to, co určitá látka nebo předmět emituje zpět do prostoru. Např. předmět absorbuje celkové spektrum a část zpět emituje, a to lidé vnímají jako barvu.

#### CIE (Lab)

Počítá se jako tříložková metoda pro složky L,  $a^*$  a  $b^*$ , proto zkrácené Lab. Pro složku L nabývají hodnoty  $\langle 0,100 \rangle$  a pro složky  $a^*$  a  $b^*$   $\langle -128,128 \rangle$ . Složka L zastupuje světlost, kde hodnota 0 znamená černou barvu a hodnota 100 bílou barvu. složky  $a^*$  a  $b^*$  odstín barvy. Složka  $a^*$  se nachází v odstínech (zelená, červená), čím je hodnota vyšší, kladná tím je vzorek více červený. Složka  $b^*$  zase (modrá, žlutá), kde zase čím je hodnota vyšší, kladná, tím je barva více žlutá. (Žára 2004, Zmeškal a kol. 2002).

Výsledek barvy si můžeme představit v barevném spektru koule nebo rozcestníku viz obrázek 5.



Obrázek 5: CIE Lab 1976, barevný prostor ve tvaru koule

Zdroj: Pedro 2014

Objektivní měření barvy má velký význam při posuzování změn barvy dřeva vystaveného venkovního prostředí, nebo odhalování chyb a vad dřevin. Při termické úpravy dřeva se výrazně mění barva, s nárůstem teploty a doby ohřevu se zvyšuje odstín hnědé barvy termicky upraveného dřeva. (Požgaj a kol. 1997, Reinprecht 1992).

To je jeden z důvodů termické úpravy dřeva, ovlivnění estetičnosti u dřevin jinak tolik nevynikajících svou barvou. Zejména je to proto, že takto upravené dřevo je možné použít do venkovních prostor, kde by za normálních okolností, tedy bez termické úpravy, měnilo svou barvu spíše do šedých, ne příjemných odstínů barvy.

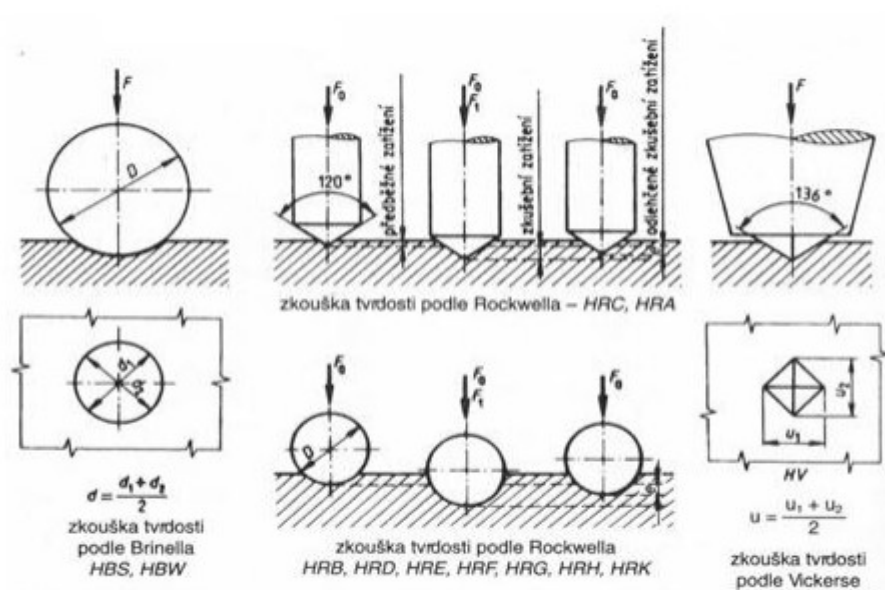
Tabulka 1: Tabulka stanovující rozdíl mezi barvami

$\Delta E^*$	rozdíl	$\Delta E^*$	rozdíl
0,0 až 0,2	nepostřehnutelný		
0,2 až 0,5	velmi slabý	0,2 až 1,0	postřehnutelný
0,5 až 1,5	slabý	1,0 až 2,0	rozeznatelný
1,5 až 3,0	jasně postřehnutelný	2,0 až 4,0	ještě nerušící
3,0 až 6,0	střední	4,0 až 8,0	mírně rušící
6,0 až 12,0	výrazný		
12,0 až 16,0	velmi výrazný		
větší než 16,0	rušící		

Zdroj: Podle Zmeškala a kol. 2002

### 3.2.3 Tvrdost

Tvrdost materiálu je jeho odolnost proti vniknutí jiného tělesa. Tuto definici používá A. Požgaj i S. Rejtó. Tato vlastnost se zjišťuje především kvůli dalšímu použití dřeviny, ale také kvůli opracovatelnosti. Totiž čím tvrdší dřevo, tím hůře nástroj vniká a také se více opotřebovává. Tvrdost je závislá zejména na hustotě a vlhkosti dřeva. Platí, že čím je dřevo hustší, tím je tvrdost vyšší a čím je vlhkost vyšší, tím je tvrdost naopak nižší. (Josten 2010)



Obrázek 6: Druhy zkoušek tvrdosti

Zdroj. podle Kohla 2014

Zjednodušeně se dřeviny dělí do dvou skupin podle tvrdosti, a to měkké a tvrdé. Dále se ovšem rozdělují podrobněji na velmi měkké, měkké, středně tvrdé, tvrdé a velmi tvrdé. Při zkoušce tvrdosti se rozlišuje i směr vniknutí tělesa do dřeviny na směr podél vláken a kolmo na vlákna. Rozlišujeme také zkoušku dynamickou a statickou, relativní a absolutní. Zkouška tvrdosti dřeva pochází ze zkoušek tvrdosti minerálů. Jako první byla stupnice pomocí relativních zkoušek, takzvaná Mohsova stupnice podle rakouského mineraloga C. F. Mohse. Tato zkouška byla relativní proto, že zkoušel, zda jeden materiál je schopný rýpat do druhého a naopak. Podle toho stanovil stupnici 1 až 10. V této práci se používá Absolutní statická zkouška podle Brinella. Podle materiálu se nastaví určitá síla, která kontinuálně vniká do měřeného

materiálu. Měří se se plocha otláčení, která vznikne po vtlačení kuličku s průměrem 1 cm konstantní silou do dřeva o vlhkosti 12 %. Další metody jsou například Büsgen, Janka, Meyer, Ludwik ad. (Josten 2010, Vörös 2020)

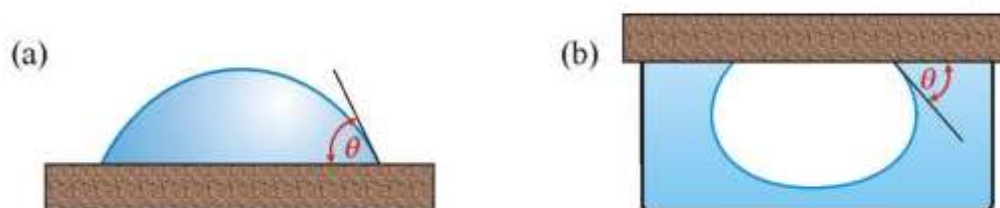
Dřeviny se podle tvrdosti rozdělují na měkké, středně tvrdé a tvrdé. Dřeviny s tvrdostí do 40 MPa se označují jako měkké a patří sem například smrk, jedle, topol, lípa ad. Do těchto dřevin jde poměrně lehce vytvořit rýhu pouhým nehtem. Středně tvrdé s tvrdostí 40–80 MPa, do této kategorie patří jasan, jilm, dub, ořech ad. V tomto případě pouhý nehet neudělá žádnou rýhu do těchto dřevin. Nad 80 MPa se dřeviny již označují tvrdé, patří sem akát, habr, tis ad. (Khestl a Mec 2013)

### 3.2.4 Drsnost

Drsnost dřeva je hranice nebo plocha mezi dřevní substancí a okolním prostředím. Dělíme ji na vnitřní a vnější, a právě anatomická stavba a způsob opracování dřeva ovlivňují konečnou drsnost povrchu. Nejmenší nerovnosti v drsnosti vznikají při procesu výroby. Řezný nástroj zanechává na povrchu stopy, které mají charakter nahodilý, nebo periodicky se opakující. Parametry drsnosti povrchu se značí písmenem R. Při kvantitativním zjišťování drsnosti povrchu udělal největší změnu laser. Stroj s laserovým měřením byl použit i v této akademické práci. I v dnešní době není jednotné měření drsnosti povrchu dřeva. I tak se používá několik kvantitativních metody měření drsnosti povrchu. Jde o metody *mechanické*, které registrují pohyby zapisovače na povrchu materiálu, anebo o metody *optické*, ty měří odrazy světelných paprsků dopadajících pod určitým úhlem na povrch materiálů. Jedna z metod se provádí tím, že úzkým paprskem světla se svítí na povrch dřeva pod úhlem a v mikroskopu se zkoumá odraz tohoto světla. Další metodou je analýza obrazu, ta spočívá v tom, že světlo z kolimovaného zdroje dopadá pod úhlem na povrch. 3D obraz je zaznamenávám přístrojem a data jsou potom zpracována řadou procedur kódování, další filtrací, segmentací a také odstraňování nesouvisejících obrázků s drsností. Nevýhodou může například být nedostatečná škála šedé barvy pro stanovení drsnosti. (Požgaj a kol. 1997, Gurau 2017, Horáček 2008)

### 3.2.5 Smáčení

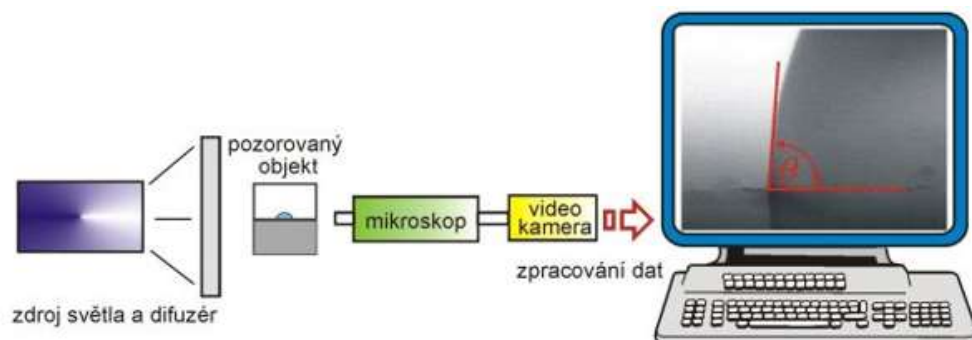
Smáčení je pojem, který používáme k popisování toho, co se stane, když se dostane tekutina na povrch dřeva. Tento pojem je důležitý například pro stanovení smáčení lepidla do povrchu dřeva, nebo například jak bude vnikat povrchová úprava a dané dřevině. Úhly smáčení jsou jedny z mála metod, díky kterým můžeme měřit vlastnosti fázového rozhraní pevná látka/kapalina/plyn. Měří se přímo goniometrickými měření, nebo nepřímo tenziometrickými metodami. Měření úhlu smáčení na přisedlé kapce nebo přilínající bublině viz následující obrázek. V tomto případě je přisedlá kapka nebo bublina přilínající k tuhé látce do kapaliny. To je pozorováno mikroskopem, který je vybaven goniometrickým okulárem, a to umožňuje přímé odečtení úhel smáčení. Úhel je také možno vyhodnocovat z fotografie kapky. Nevýhodou této metody je fakt, že je závislá na zkušenostech experiminetátora, to snižuje přesnost. (Bartovská a kol. 2005, Liptáková a kol. 1994)



Obrázek 7: Přisedlá kapka a), přilínající bublina b)

*Zdroj: Bartovská a kol. 2005*

Pro vyhodnocování kapky se používá videokamera, obraz se digitalizuje a jeho přesnost je zhruba  $1^\circ$ . Při měření se musí dbát i na hysterezi. Tedy musí se brát v potaz, zda jde o kapalinu postupující nebo ustupující. Například u nakloněné roviny je tento úhel kapaliny rozdílný až o  $50^\circ$ . Větší část měření a publikací hovořících o smáčení ovšem popisují experimenty s kapalinou postupující. Obecně je doporučování, aby kapka měla průměr alespoň 5 mm. (Bartovská a kol. 2005)



Obrázek 8: Schéma uspořádání dílčích procesu pro měření úhlu smáčení

Zdroj: Bartovská a kol. 2005

### 3.3 Termická modifikace

V následující podkapitole bude zmíněno, co to termická modifikace je, jaké jsou typy modifikace a k čemu slouží. Markantním ukazatelem termo dřeva je jeho produkce, podle starších dat byla produkce k roku 2007 okolo 72 000 m<sup>3</sup>. Údaje hovořící k roku 2019 vzrůstají k hodnotě 220 000 m<sup>3</sup> vyprodukovaného termicky upraveného dřeva. Do toho procesu se čím dál více zapojují i jiné země než jen Finsko, které v roce 2001 zabralo až 40 % veškeré výroby dřeva s patentovanou úpravou ThermoWood® a ostatní státy Evropské unie měly podíl 55 %. K roku 2019 se uvádí, že Finsko vyrábí s poklesem 35 %, tedy 5 % a 80 % z veškeré výroby dřeva ThermoWood® poskytují ostatní státy Evropské unie. Větší část než Finsko, tedy 15 % mají nyní ostatní státy mimo Evropskou unii. (Ala-Viikari 2019, Kačíková a Kačík 2011)

Účelem termicky modifikovaného dřeva je zlepšení jeho vlastností, především odolnost vůči vodě a biologickým škůdcům. To termicky upravené dřevo předurčuje pro venkovní použití. Dalším znakem termické úpravy je změna barvy. Podle způsobu modifikace získává dřevo tmavší barvu, samozřejmě platí, čím vyšší teplota, tím tmavší barva. V dnešní době je známa termická a hydrotermická úprava v rozmezí 150 °C až 260 °C. Vzniklý produkt také ovlivňuje prostředí, ve kterém se termicky upravuje. Prostedí může být vakuum, inertní atmosféra, vzduch, voda, olej ad. Výsledek termicky modifikovaného dřeva také ovlivňuje čas a teplota během úpravy. Již zmíněné prostředí, ve kterém se úprava provádí. Otevřený nebo zavřený systém

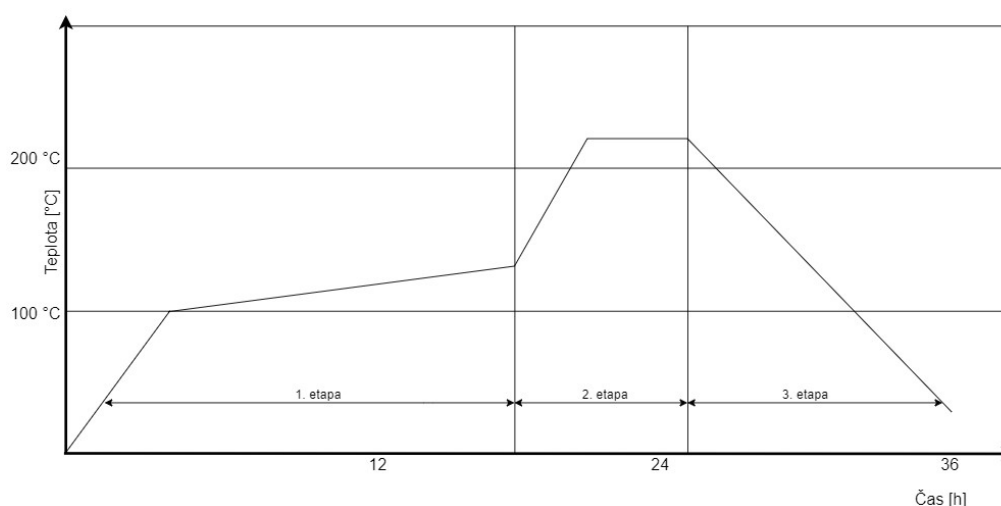


úpravy. Druh použitého dřeva, ale také jeho rozměry a jako poslední použití katalyzátorů. (Kačíková a Kačík 2011, Hill 2006)

Komerčně se popisuje 5 hlavních termických úprav. Nejzastoupenější je ThermoWood® z Finska, dále Plato® Wood z Holandska, OHT wood (Oil Heat Treatment) z Německa a ve Francii 2 druhy modifikace, a to Bois Perdure a Rectification. Mimo tyto hlavní metody se vyvíjí i další, např. WTT v Dánsku a Huber Holz v Rakousku. (Kačíková a Kačík 2011)

### ThermoWood® úprava

V této práci bylo dřevo upraveno metodou ThermoWood®. Tuto metodu patentoval roku 1997 Viitaniemi a kol. Jako registrační značka spadá pod International ThermoWood association, ta vznikla v prosinci roku 2000, kontroluje především kvalitu výrobků nesoucí známku ThermoWood®. Tato modifikace patří do kategorie hydrotermické modifikace, protože během úpravy se používá pára. Pára působí proti oxidační degradaci dřeva a také snižuje procentuální zastoupení vzduchu v prostředí na 3-5 %. Modifikace probíhá bez zvýšeného tlaku a s rychlostí proudění plynného média minimálně  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Celý proces obsahuje 3 etapy. (Hill 2006, Kačíková a Kačík 2011)



Obrázek 9: Schéma výroby termo dřeva ThermoWood®

Zdroj: podle Hilla 2006

Při **první etapě** se zvyšuje teplota a dřevo se vysouší. Nejdřív se teplota rychle zvedá na 100 °C a následuje pozvolné zvyšování teploty na 130 °C. V první etapě se dřevo vysouší na téměř nulovou vlhkost. Během **druhé etapy** se zvyšuje teplota a podle požadavku na výslednou úpravu se pohybuje kolem 185 °C až 230 °C po dobu 2-3 hodin, nebo 150 °C až 240 °C po dobu 0,5-4 hodin. V poslední, tedy v **etapě třetí**, dochází ke snižování teploty a k úpravě vlhkosti. Postupně se teplota snižuje a při teplotě 80-90 °C dochází k vlhčení dřeva tak, aby jeho konečná vlhkost byla mezi 4-7 %. Tyto tři etapy jsou znázorněny na obrázku 9 nad tímto odstavcem. (Reinprecht 2012, Kačíková a Kačík 2011)

Během tepelné úpravy dochází k chemickým změnám ve dřevě a zároveň se dřevo stává rozměrově stabilnější při změnách vlhkosti. To znamená, že se snižuje schopnost rozměrových změn dřeva. Při úpravě se rozkládá hemicelulóza a v důsledku nedostatku živin, dřevo nenapadají houby způsobující hniloby. Dřevo je nicméně chráněno před hnilobou i díky tomu, že neabsorbuje tolik vody, a navíc nemusí být chemicky upraveno. V celém průřezu je dřevo probarvenou nově získanou barvou, kterou lze měnit nastavením teploty při úpravě. (Kačíková a Kačík 2011)

Thermo dřevo je možno dělit na Thermo-S a Thermo-D zvláště pro jehličnany a listnáče. Thermo-S má označení podle anglického slova *stability*, tedy stabilita. Tato úprava se využívá pro dřevo používané spíše do interiéru a do prostor bez dlouhodobého působení vody. Používá se tedy tam, kde se klade důraz na vzhled a stabilitu. Thermo-D má označení podle anglického slova *durability*, tedy trvanlivost. Této úpravy se využívá především pro exteriérové využití, respektive tam, kde se vyžaduje vysoká odolnost a stabilita. Předpokládaná životnost venkovních obkladů s označením Thermo-D je 30 let. Možnost použití pro ThermoWood® je následující: nábytek, obklady, podlahy, sauny, zahradní nábytek, dětská hřiště ad. (Hill 2006, Reinprecht a kol. 2012, Kačíková a Kačík 2011, Kučerka a Očkajová 2018)

### **PLATO® úprava**

Termín PLATO znamená, PLATO® = Providing lasting advanced timber option. Tato úprava byla vyvinuta společností Royal Dutch Shell, obecně se úprava připisuje k Holandsku. Tato úprava má 4 fáze a využívá se normálního anebo zvýšeného tlaku. První fází je *hydrotermolýza*, při ní se částečně odbourává hemicelulóza, lignin

se aktivuje štěpením jeho vazeb a celulóza se mění jen minimálně. Druhá fáze je *sušení*, kdy se dřevo suší po dobu 3 až 5 dní, někdy i více, na vlhkost 8 až 10 %. Při třetí fázi, tedy *vytvrzování*, vlhkost dřeva klesá na 1 %, a to při teplotě 150 až 190 °C po dobu 12 až 16 hodin, to vše bez přítomnosti vlhkosti. Poslední fází je *kondicionování*, po zhruba 3 dnech se v sušárně dřevo dostává na vlhkost 4 až 6 %. (Hill 2006, Reinprecht a kol. 2012, Kačíková a Kačík 2011)

### **OHT úprava**

Zde termín OHT znamená, OHT = Oil Heat Treatment. Tento proces byl vyvinut v Německu. Během této úpravy se využívá přenosu tepla pomocí oleje, přičemž teplota oleje je většinou 200 až 220 °C, ve středu dřeva by se měla udržovat teplota 180 až 200 °C. Během této úpravy se udržuje ve dřevě menší množství kyslíku, a proto je zabráněno termooxidačním procesům. Nejvíce používaná olej je lněný olej, jehož nejvhodnější vlastností je to, že rovnoměrně přenáší teplo k buňkám a omezuje přítomnost kyslíku ve dřevě. Podle dalších zdrojů je možno rozdělit úpravu olejem do dvou kategorií, a to na *modifikaci* a *ošetření*. Při *modifikaci* se dřevo mění chemicky a při *ošetření* se dřevo jako taková chemicky nemění. (Hill 2006, Reinprecht a kol. 2012)

### **Retification® a Le Bois Perdure**

Retification® byl vyvinut ve Francii a při této úpravě se využívá inertního prostředí dusíku v komoře a musí být zajištěno maximálně 2 % kyslíku v komoře. Dřevo musí být předsušeno na vlhkost 12 %. Úprava se provádí mezi teplotami 210 až 260 °C. Le Bois Perdure byla vyvinuta společností sídlící v Quebecu. Tato úprava používá čerstvé dřevo, které se rychle suší parou a spaliny při teplotách 20 až 230 °C. (Hill 2006, Reinprechta kol. 2012, Kačíková a Kačík 2011)

### **Jiné metody úpravy**

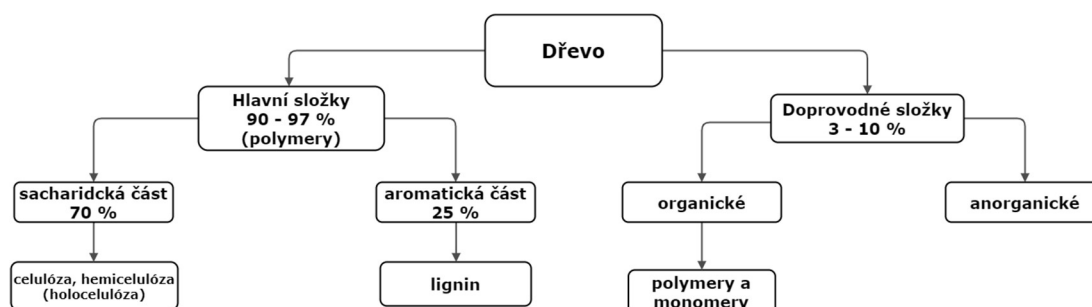
Další možnou úpravou může být například Royal proces. Úprava probíhá během sníženého tlaku a pomocí oleje. To vše při nízké teplotě 60 až 90 °C. (Reinprecht a kol. 2012)

V začátcích jsou také procesy jako Menz Holt a Ecotan. (Hill 2006)

### 3.4 Změny tepelně upraveného dřeva

#### Vliv na chemické složky dřeva

Dřevo se skládá z celulózy, hemicelulózy, ligninu a doprovodných složek. Jejich rozdělení je možno udělat dle následujícího obrázku, viz obrázek 10.



Obrázek 10: Rozdělení jednotlivých složek dřeva

Zdroj: podle Požgaje a kol. 1997

Celulóza se ve dřevě nejčastěji nachází v rozmezí 45–50 % u jehličnanů a 40–45 % u listnáčů. Skládá se z  $\beta$ -D-glukopyranózy, základní molekulou je složení 2 těchto jednotek do *celulózové makromolekuly*. Ve dřevě se vyskytují 2 typy celulózy, krystalická a amorfní. Podíl krystalické složky celulózy je zhruba 69–71 %. Celulóza je při termickém působení odolnější než hemicelulóza. Do teploty 250 °C je její rozklad nepatrný, až mezi teplotami 250-350 °C je její rozklad největší. (Požgaj a kol. 1997, Reinprecht a kol. 2012, Kačíková a Kačík 2011)

Obecně je brána celulóza jako vysoce odolná vůči tepelné degradaci, nicméně se předpokládá, že část celulózy degraduje již při nižších teplotách, ale jen velmi pomalu. Amorfní část celulózy je náchylnější na tepelnou degradaci. Při zahřívání na vzduchu dochází k produkci karbonylových (-CO-) a karboxylových skupin (R-COOH) a také krátkodobě se vyskytujících hydroperoxidových skupin (ROOH), které vznikají během oxidace OH skupin. Při delší úpravě vzniká více karbonylových skupin a méně karboxylových skupin. Tyto látky způsobující zežloutnutí termicky upraveného dřeva. Při teplotách vyšší jak 170 °C se vytvářejí plyny oxidu uhlíku, CO a CO<sub>2</sub>. Během degradace celulózy se vytváří také levoglukosan, ale také další anhydroglukózy, furan a deriváty furanu. (Hill 2006)

Hemicelulóza je další sacharidickou složkou dřeva. Oproti celulóze má menší relativní molekulovou hmotnost a kratší řetězce. Hemicelulóza má nízkou termickou odolnost. Její procentuální zastoupení ve dřevě je v rozmezí 20-35 %, vyšší zastoupení je u listnáčů než u jehličnanů. Interval jejího rozkladu je 170-240 °C. Jej stavební složky se dělí na xylány, manány, galaktány. (Kelemen 2016, Požgaj a kol. 1997)

Hemicelulóza degraduje jako první a produkuje látky jako metanol, kyselinu octovou a další řadu těkavých heterocyklických látek. Degradace hemicelulózy roste s teplotou a dobou, při které je vysoké teplotě vystavěna. V uzavřených systémech je katalýza hemicelulóz rychlejší vlivem zvýšení koncentrace kyselých plynů. (Hill 2006)

Lignin je už zástupcem aromatické složky. Jeho podíl ve dřevě je 20-30 % a naopak, než tomu bylo u hemicelulózy, je jeho podíl vyšší u jehličnanů než u listnáčů. Chemicky je to složen z fenylypropanových jednotek, avšak jeho celková struktura není zcela popsána. Jedná se o amorfní polymer. Termicky je ze všech 3 hlavních složek dřeva nejodolnější, aktivní rozklad tohoto polymeru je v rozmezí teplot 300-400 °C. (Požgaj a kol. 1997, Kačíková a Kačík 2011)

Lignin je nejodolnější ze složek dřeva, jak již bylo zmíněno. Při pokusech bylo zjištěno, že i tak dochází k mírné degradaci ligninu i při nižších teplotách a vznikání různých produktů, které se tvoří rozpadem fenolu. Při teplotách okolo 175-195 °C se část monomerního ligninu rozpadá, okolo teploty 220 °C dochází ke štěpení aryl-alkyetherových vazeb, ale methoxylové skupiny nebyly rozloženy do teploty až 335 °C. Při teplotách nad 200 °C dochází k degradaci ligninu, ale také k repolymerizaci, to pravděpodobně způsobují reakce furfurylu s dalšími polysacharidy vznikajícími při degradaci jiných chemických složek dřeva. (Hill 2006)

Doprovodné složky tvoří anorganické a organické sloučeniny. Mezi organické sloučeniny patří sacharidy, fenoly, terpeny, acyklické kyseliny, alkoholy a bílkoviny. Dalšími látkami mohou být cyklitoly, aldehydy a alkaloidy. Další látkou ve dřevě je pektin, ten je zastoupen především v mladém dřevě a postupem času se jeho obsah ve dřevě snižuje. (Požgaj a kol. 1997)

Na povrch dřeva se dostávají při tepelné úpravě tuky a vosky. Dále se měří emise VOC (*volatile organic compound* = těkavé organické sloučeniny). Emise VOC byla jen velmi nízká. Na povrch se dostávají také extraktivní látky, které způsobují pryskyřičné skvrny, které se musejí odstranit hoblováním. (Hill 2006)

## **Fyzikální vliv termické úpravy**

### *Úbytek hmotnosti a rozměrové změny*

Úbytek hmotnosti je důležitá změna při termické úprava a bývá uváděna ke kontrole kvality procesu. Obecně je platné, že úbytek hmotnosti ovlivňuje zejména druhy dřeviny, prostředí, teplota a čas, při kterém byl proces prováděn. Pro stejný proces platí, že větší úbytek hmotnosti zaznamenávají listnáče oproti jehličnanům. Větší úbytek hmotnosti při stejné teplotě a času je vyšší v uzavřených systémech. Výrazná korelace je mezi úbytkem hmotnosti a změnou rozměrů. S úbytkem hmotnosti se zmenšují rozměry upravovaného dřeva, a to je způsobeno ztrátou materiálu z buněčné stěny. (Hill 2006, Kačíková a Kačík 2011)

### *Barva*

Barvy dřeva tmavne při termické úpravě a zvyšuje se s dobou trvání procesu a se změnou teploty. Změna barvy souvisí tedy s procesem úpravy, ale také s mírou krystalinity celulózy, mírou polymerizace a obsahem hydroxylových skupin OH. Změna barvy je pro termicky upravené dřevo typická a často esteticky vyhledávaná právě proto, že připomíná exotické dřeviny jako týku nebo túje. Avšak pokud je takto upravené dřevo přímo vystavěno do venkovní dispozice, ztrácí časem své typické zbarvení. (Reinprecht a kol. 2012, Hill 2006)

### *Hygroskopicitá*

Snížení hygroskopicity termicky upraveného dřeva je v závislosti na době a teplotě procesu. Dokonce bylo zjištěno, že sorpce termicky upraveného dřeva byla nižší, když byla teplota a doba procesu zvýšena, a to nehledě na to, jestli bylo prostředí se vzduchem, nebo bez něho. Hygroskopicitá je důležitá vlastnost, která se pozoruje po úpravě dřeva. Hygroskopicitá ovlivňuje další vlastnosti, jako třeba rozměrovou stabilitu nebo odolnost vůči biologickým činitelům. Pro rostlé dřevo bez úpravy při teplotě zhruba 20 °C a relativní vlhkosti 60-65 % platí, že je jeho rovnovážná vlhkost 10 – 12,5 %. U termicky upravené dřevo procesem Retifikačním nebo ThermoWood® je rovnovážná vlhkost značně nižší, je to zhruba 3–5 %. Rozměrová

stabilita je na hodnotě 50–90 % z původních hodnot dřeva. (Reinprecht a kol. 2012, Hill 2006)

### *Smáčení*

Snížení smáčení je u termicky upraveného dřeva v důsledku snížení hydroxylových skupin (OH). Při nižší teplotě je snížení smáčení způsobeno posunem extraktivních látek lipofilního charakteru na povrch, naopak u vyšší teploty je snížení smáčení způsobeno změnou makromolekulární buněčné stěny, a tedy snížení hydroxylových skupiny (OH). Snížení obsahu hydroxylových skupiny (OH) je také způsoben efekt, že se sníží povrchová energie materiálu, a to také sníží smáčení povrchu. (Hill 2006)

### *Technologické vlastnosti*

Některé vlastnosti termicky upraveného dřeva se mění vlivem snížené hustoty a úbytku hemicelulózy k horšímu. Právě snížení obsahu hemicelulózy má za následek nižší pevnost v ohybu a v tahu. Také úbytek celulózy má vliv na termicky upravené dřeva. Nicméně zesíťování ligninu, které zapříčiňují polykondenzační reakce zlepšují vlastnosti termicky upraveného dřeva, a to zejména v podélném směru. Některé vlastnosti se mohou zlepšovat při úpravě s nižší teplotou, při vyšších teplotách se však zase zhoršují. (Reinprecht a kol. 2012, Kačíková a Kačík 2011)

## 4 Metodika práce

### 4.1 Uspořádání a příprava vzorků

V této akademické práci byly měřeny vlastnosti dřeviny jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.). Vzorky na měření měly rozměry 100x20x300, kde 100 mm byla šířka, 20 mm výška a 300 mm délka. Označovány byly nejdříve číslicí, která označovala strom, následně A a B, kde tato písmena označovala paralelně ležící vedle sebe. Vzorky byly řezány paralelně za sebou. Poslední číslice označovaly již číslo vzorku, celkově tedy například 30A1 atd. Vlastnosti vzorků ležících vedle sebe byly tak podobné a bylo možné je následovně porovnávat pro jednotlivé úpravy, číselně pro označení A byla úprava 180 °C a pro označení B úprava 200 °C. Jako referenční vzorky posloužily vzorky, které byly následně tepelně upraveny, a to z důvodu toho, že zkoušky na nich prováděné byly většinou nedestruktivní. Měření barvy, smáčení, drsnosti a tvrdosti. Jediná tvrdost byla zkouškou destruktivní, ale bylo možné měřit tvrdost po úpravě na podobném místě, jelikož se všechny zkoušky na vzorcích označovaly tužkou. Označování bylo důležité i proto, že po úpravě se musela barva, smáčení, drsnost a tvrdost měřit na stejném místě tak, aby bylo jejich porovnání věrohodné.



Obrázek 11: Označení vzorků pro měření

*Zdroj: Vlastní*



## 4.2 Termická úprava

Zvoleny byly dva stupně termické úpravy, a to první při teplotě 180 °C a druhý při teplotě 200 °C. Teploty byly vybrány podle zkušeností a empirie z minulých výzkumů na fakultě s přihlédnutím na odbornou literaturu. Několik dní před tepelnou úpravou byly vzorky vyndány z klimatizačního přístroje, aby svévolně snížily svou vlhkost, a to z důvodu, že by přebytečná vlhkost mohla prodloužit a tím změnit tepelnou úpravu. Termická úprava byla provedena v termokomoře od firmy Katres s označením S 400/03 viz obrázek 12. Do jednoho ze spodních vzorků a do druhého vzorku z vrchních řad byl vyvrtán otvor pro vložení teploměru, jelikož teplota byla rozdílná při změnách termoúpravy. Nicméně se muselo postupovat tak, aby teploty neměly příliš velký rozdíl. To by mohlo nepříznivě ovlivnit kvalitu výsledného termodřeva.



Obrázek 12: Termokomora Katres S 400/03

*Zdroj: Vlastní*

Úprava při 180 °C probíhala v několika fázích. Počáteční ohřev na 40 °C měl strmost 80 °C/h, následovala fáze ohřevu na 130 °C se strmostí 15 °C/h, ta trvala 6 hodin. Další část ohřevu do 180 °C probíhala se strmostí 20 °C po dobu 2,5 hodiny. Fáze termoúpravy byla po dobu 3 hodin. Při poslední fázi ochlazování se strmostí 25 °C/h se po 2 hodinách začala přidávat pára pro zvlhčení dřeva. První proces pro 180 °C viz následující obrázek 13.



**Obrázek 13: Výsledek úpravy pro 180 °C**

*Zdroj: Vlastní*

Úprava při 200 °C probíhala podobně, jen s malými změnami strmosti při jednotlivých fázích viz obrázek 14. Změny byly pouze u ohřevu na 130 °C se strmostí 9 °C/h a strmostí při hlavní fázi termoúpravy, a to 15 °C/h. Doba hlavní fáze byla stejná jako u první úpravy, a to 3 hodiny.



Obrázek 14: Výsledek úpravy pro 200 °C

Zdroj: Vlastní

200 °C												
Č.	Fáze	Doba hod	Teplota °C	Strmost °C/hod	Otáčky %	Reverze hod	Podtlak			Paření %	Vlhčení	
							nast. Pa	min. %	kdapka %		zap. sek	vyp. sek
1	Ohřev	0.00	40.0	80	100	0.0	30.0	50	60	0	0	0
2	Ohřev	0.00	130.0	9	100	0.0	0.0	50	80	5	0	0
3	Thermo	3.00	200.0	15	90	0.0	10.0	50	15	0	20	35
4	Ochlazení	0.00	130.0	25	80	0.0	5.0	0	40	5	0	0
5	Ochlazení	0.00	60.0	25	90	0.0	0.0	0	60	0	0	0
6		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
7		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
8		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
9		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
10		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
11		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
12		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
13		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
14		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
15		0.00	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0

Obrázek 15: Graf teplot s jejich strmostí tepelné úpravy pro 200 °C

Zdroj: Vlastní

### 4.3 Měření vzorků

Měření hodnot na vzorkách bylo prováděno na půdě České zemědělské univerzity v Praze, v laboratořích fakulty lesnické a dřevařské. Hodnoty byly měřeny v období od února 2020 až do prosince 2021. Před každých měřeních byly vzorky nejdříve

klimatizovány v klimatizační komoře WEISS TECHNIK s označením 12SD/15JU viz obrázek 15. Tepelně upravené vzorky byly klimatizovány při teplotě 20 °C a relativní vzdušné vlhkosti 65 %, tyto podmínky odpovídají pro neupravené dřevo absolutní vlhkosti zhruba 12 %.



**Obrázek 16: Klimatizace WEISS TECHNIK 12SD/15JU**

*Zdroj: Vlastní*

Rozměry byly měřeny posuvným měřítkem značky Kinex s označením 6040-27-150 s přesností 0,01 mm, posuvné měřítko bylo připojeno k počítači. Hmotnost byla měřena digitální vahou KERN PCB 2500-2 s přesností 0,01 g, přístroj byl též spojen s počítačem.

### **Měření hustoty**

Měření hmotnosti, rozměry vzorků a následný výpočet hustoty bylo provedeno dle normy ČSN 49 0108. Hmotnost vzorku v gramech byl vydělen objemem vzorku v  $\text{cm}^3$ . Měření probíhalo při vlhkosti vzorku, které bylo klimatizováno v klimatizační komoře při podmínkách 20 °C a 65 % relativní vzdušné vlhkosti, to by mělo

odpovídat 12 % absolutní vlhkosti dřeva. Výpočet hmotnosti byl proveden viz následující vzorek:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} [g \cdot cm^{-3}]$$

Kde:  $\rho_w$  – hustota vzorku při dané vlhkosti [ $g \cdot cm^{-3}$ ]

$m_w$  – hmotnost vzorku při dané vlhkosti [g]

$V_w$  – objem vzorku při dané vlhkosti [ $cm^3$ ]

### Měření barvy

Měření barvy bylo provedeno přístrojem Konica Minolta CM-600d, který pracoval v trichromatické soustavě CIE (lab), a to podle normy ČSN EN ISO 11664-4. Přístroj byl nastaven viz D65 illuminant, observer angle  $10^\circ$  a color index  $8^\circ$  gloss, metoda SCI. Každý vzorek byl označen na třech místech a měřen na horní část, uprostřed a v dolní části. Výsledná barva byla zprůměrována z těchto tří získaných hodnot. Měření před a po úpravě bylo prováděno na stejných místech, které byly předem označeny proto, aby bylo možné porovnávat naměřené hodnoty před a po termické úpravě. Měřeny a následně porovnávány byly hodnoty  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ .



Obrázek 17: Spektrofotometr Konica Minolta CM-600d

Pro výpočet barevné změny byl použit následující vzorec:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*_{*2} - L^*_{*1})^2 + (a^*_{*2} - a^*_{*1})^2 + (b^*_{*2} - b^*_{*1})^2}$$

Kde:  $\Delta E^*$  - barevná změna

$L^*$  - světlost (bílá/černá)

$a^*$  - pro barvu (červená/zelená)

$b^*$  - pro barvu (žlutá/modrá)

### Měření tvrdosti

Dle normy ČSN EN 1534 byly měřeny vzorky. Typ metody byla podle Brinella, to znamená, že byla vtlačena ocelová kulička o průměru 10 mm při stanovené síle. Síla byla nastavena na 250 N. Měření na referenčních vzorcích probíhalo velmi dobře, nicméně po termické úpravě se muselo měření někdy vícekrát opakovat na blízkém místě, protože přístroj často nemohl hodnotu správně změřit. Na vzorku byly stejně jako u barvy označeny tři místa, na kterých se měřila tvrdost před úpravou, po úpravě se zrcadlově naproti místu stejně na třech místech, ne blíže než 20 mm od původního vtisku. Nové místo bylo většinou voleno nad nebo pod původním místem tak, aby byl průběh vláken stejný jako na původním místě. K měření tvrdosti byl použit tvrdoměr Struers Duravision-30, který udával po měření hodnotu v  $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ , tu bylo potřeba vynásobit tíhovým zrychlením, tím se výsledek převedl na hodnotu MPa stanovenou pro tvrdost dle Brinella.

Pro výpočet byl použit následující vzorec:

$$H_B = \frac{2 \cdot F}{g - \pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Kde:  $F$  – síla působící na kulovou plochu [N]

$g$  – tíhové zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

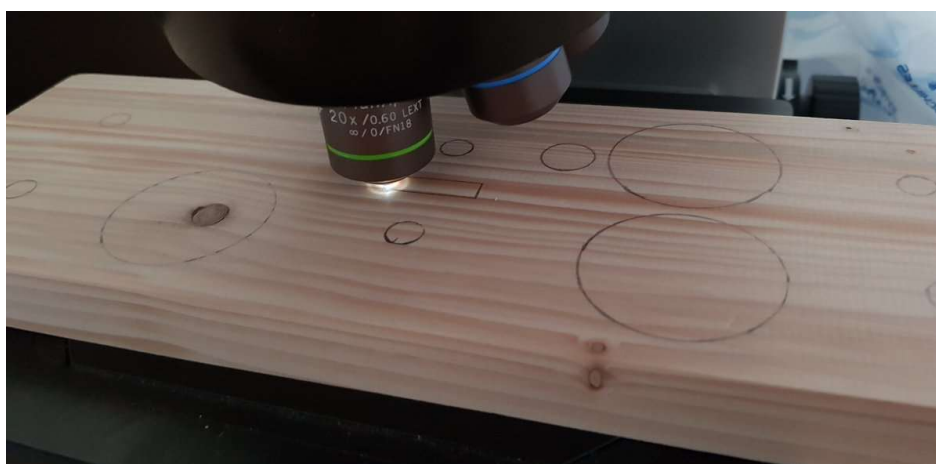
$D$  – průměr kulové plochy [mm]

$d$  – průměr vtisknu vytvořeného ve dřevě [mm]



## Měření drsnosti

Měření drsnosti bylo prováděno dle normy ČSN EN ISO 4287 na konfokálním laserovém mikroskopu Olympus OLS 40-SU s nastaveným objektivem MPlanApo N 50x. Parametry byly nastaveny viz 11,6 mm délka celkového měření, počet úseků 12, pre/post travel 1,000 mm a  $\delta_c = 0,800$  mm. Ve výsledném profilografu byla provedena korekce sklonu a z vypočtených hodnot byly vybrány pouze parametry R s indexy z, c, a, sm. Ra – průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu, Rc – průměrná výška prvků profilu, Rsm – průměrná šířka prvků profilu a Rz – největší výška profilu. Na vzorcích bylo vyznačeno místo, na kterém byly měřeny hodnoty a to tak, aby bylo místo měřeno před a po úpravě na co nejvíce podobném místě viz následující obrázek.



**Obrázek 18: Měření drsnosti na předem označeném úseku**

*Zdroj: Vlastní*



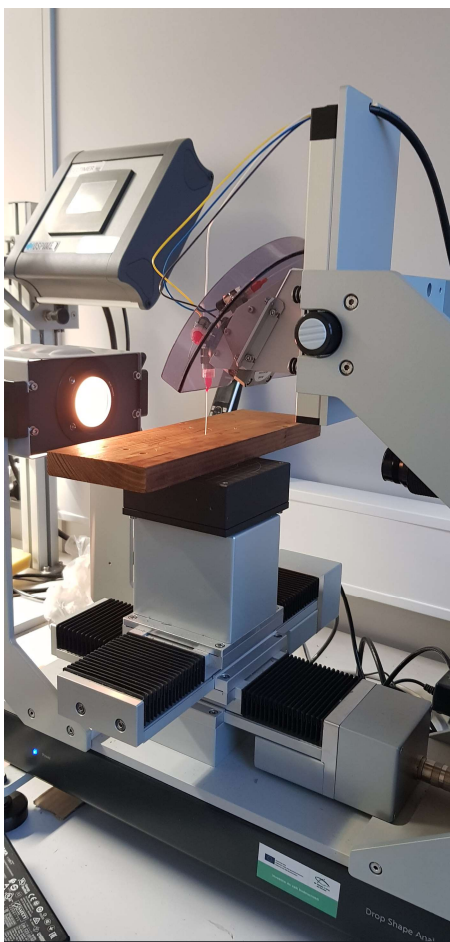
**Obrázek 19: Drsnoměr Olympus OLS 40-SU**

*Zdroj: Vlastní*

### **Měření smáčení**

Měření smáčení bylo provedeno dle metody přisedlé kapky. Použitý přístroj byl Krüss DSA30E. Pomocí přístrojové hadičky byla kapka vložena na povrch dřeva, kapka měla objem  $\mu\text{l}$  a po 5 vteřinách byly pomocí kamer připojených k počítači změřeny kontaktní úhly. Na dřevě byly označeny tři místa, na kterých se měřilo smáčení před a po úpravě.





**Obrázek 20: Detail měření smáčení na přístroji Krüss DSA30E**

*Zdroj: Vlastní*

#### **4.4 Statistické zpracování dat**

Pro zpracování dat byla použita metoda dvou-faktorové analýzy rozptylu (ANOVA). Kvantitativně byl posuzován vliv teploty a stromu na změřené hodnoty dřeva jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.). V této práci byl také použit Duncanův test.

Dále byla určena korelace tvrdosti na hustotě daného vzorku.

Pro všechny statistické modely byla použita hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ , které se běžně uvádí ve většině vědeckých prací. Počet vzorků, na kterých byly měřeny hodnoty byl více než 30, což je minimálně nutný pro výpočet statistiky.

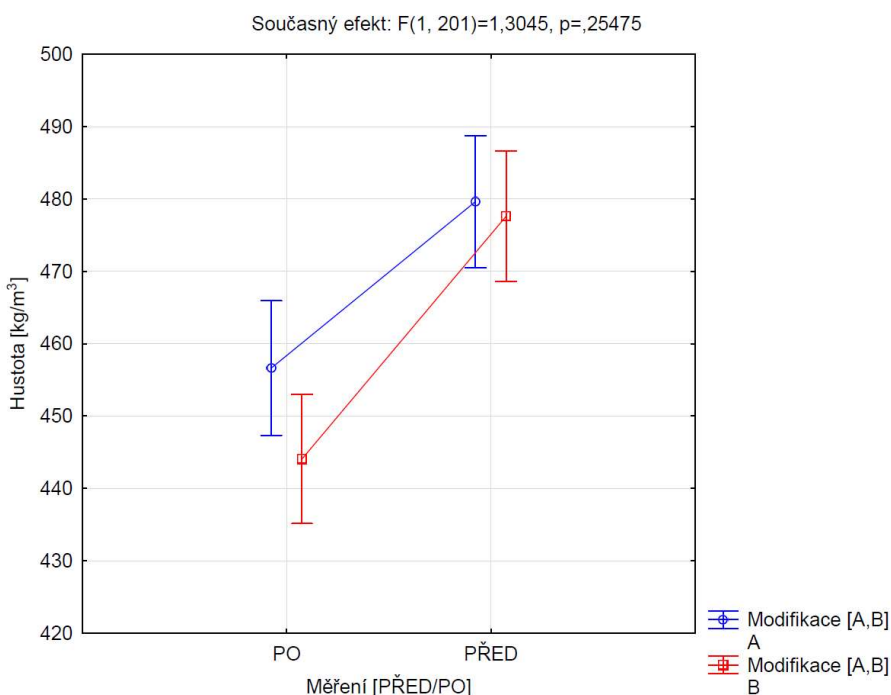
## 5 Výsledky a diskuse

V této kapitole se nachází souhrnná data ze statistického zpracování hodnot, které byly naměřeny. Korelace mezi tvrdostí a hustotou vzorků a tabulka barevné změny podle modifikace dané dřeviny. U každé z posuzovaných vlastností tedy barvy, smáčení, tvrdosti a drsnosti se nachází jeden posuzovaný graf, další grafy jsou součástí přílohy. Grafy jsou výstupem ANOVY. Grafy jsou zpracovány v programu Statistica dvoufaktorově. Hodnoty jsou srovnány s údaji z odpovídající literatury. V diskuzi se autor pokouší shrnout a vysvětlit výsledky této akademické práce, zároveň se snaží posoudit možnou využitelnost zkoumané dřeviny. V přílohách se nachází tabulky s metodou zvanou Duncanův test, příloha statistiky a grafy na které je odkazováno v textu, anebo v textu nebyly použity.

## Hustota

Hustota se po termické modifikaci snižovala, mírně při tepelné úpravě 180 °C a více u tepelné úpravy při 200 °C. Tento trend odpovídá hodnotám v literatuře, podle Reinprechta (2012), ThermoWood® handbook (2003) a Guller (2012). Z předchozích kapitol je zřejmé, že rozdílná hustota je způsobena především úbytkem materiálu z buněčné stěny, zejména potom hemicelulózou.

Změna hustoty po termických úpravách viz graf 1.



**Graf 1: Změna hustoty při jednotlivých termických úpravách (180 °C A, 200 °C B)**

*Zdroj: Vlastní*

Průměrná hodnota pro soubor hodnot A byla před termickou úpravou 480 kg/m<sup>3</sup> a po úpravě 457 kg/m<sup>3</sup>. Pro soubor hodnot skupiny B byla průměrná hodnota před termickou úpravou 478 kg/m<sup>3</sup> a po úpravě 444 kg/m<sup>3</sup>.

Hodnota  $p=0,25475$  vyšla příznivě proto, že je statistický význam změny hustoty před a po termické úpravě a mezi úpravami. Tento trend lze sledovat i v práci (Kanát 2020).

Hustotu jedle obrovské rozepisuje i (Horák 2020), jako průměrnou hodnotu udává 496 kg/m<sup>3</sup>, to dostatečně potvrzuje hodnoty v této práci kolem 480 kg/m<sup>3</sup> před úpravou.

## Barva

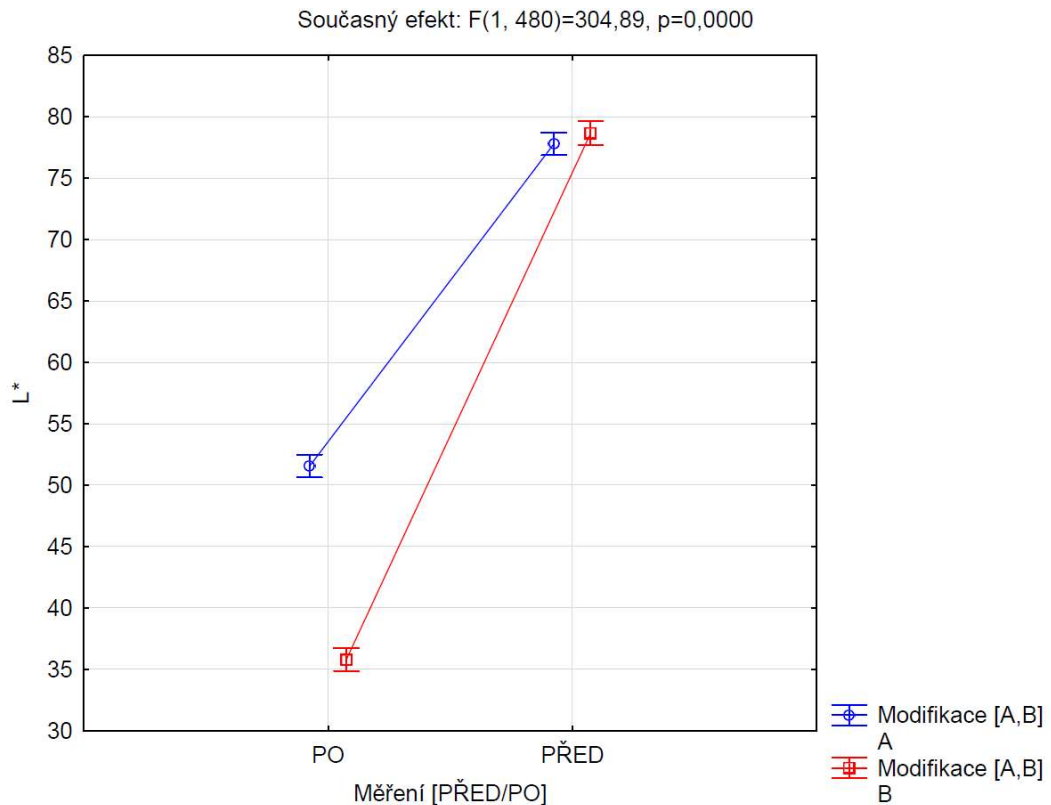
Posuzování barevné změny bylo prováděno pro jednotlivé složky, ale také celkově jako barevná změna. Změna barvy byla viditelná laicky pouhým okem a potvrzená grafy a tabulkou barevné změny. Barevná změna pro tepelnou úpravu 180 °C a 200 °C viz následující tabulka 2.

**Tabulka 2: Statistické vyhodnocení celkového barevného rozdílu podle tepelné úpravy**

	Počet vzorků	Aritmetický průměr	Rozptyl	Směrodatná odchylka	Min.	Max.
180 °C	120	27,88	33,45	5,8	12,06	39,52
200 °C	112	43,99	24,67	4,99	30,65	56,29

*Zdroj: Vlastní*

Barevná změna  $\Delta E^*$  byla nižší u tepelné úpravy při 180 °C a vyšší u tepelné úpravy při 200 °C. To samozřejmě souvisí s parametry, ze kterých se tato barevná změna vypočítává, a to  $L^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$ . Podle obr. 7: Tabulka stanovující rozdíl mezi barvami může označit barevné změny od minimální 12,06 jako velmi výraznou a další hodnoty až jako rušící, tento pojem by však změnit na více než velmi výraznou změnu, nebo změnu vyšší, než je velmi výrazná, protože hodnoty naměřené v této akademické práci se při posuzování barevné změny pohybovaly výrazně mimo hodnoty stanovující barevnou změnu metodou CIE (Lab).



**Graf 2: Změna parametru barvy L\* barvy (180 °C A, 200 °C B)**

*Zdroj: Vlastní*

Průměrná hodnoty pro soubor hodnot A byla před termickou úpravou 77,80 a po úpravě 51,56. Pro soubor hodnot B byla před termickou úpravou 78,65 a po úpravě byla hodnota 35,80.

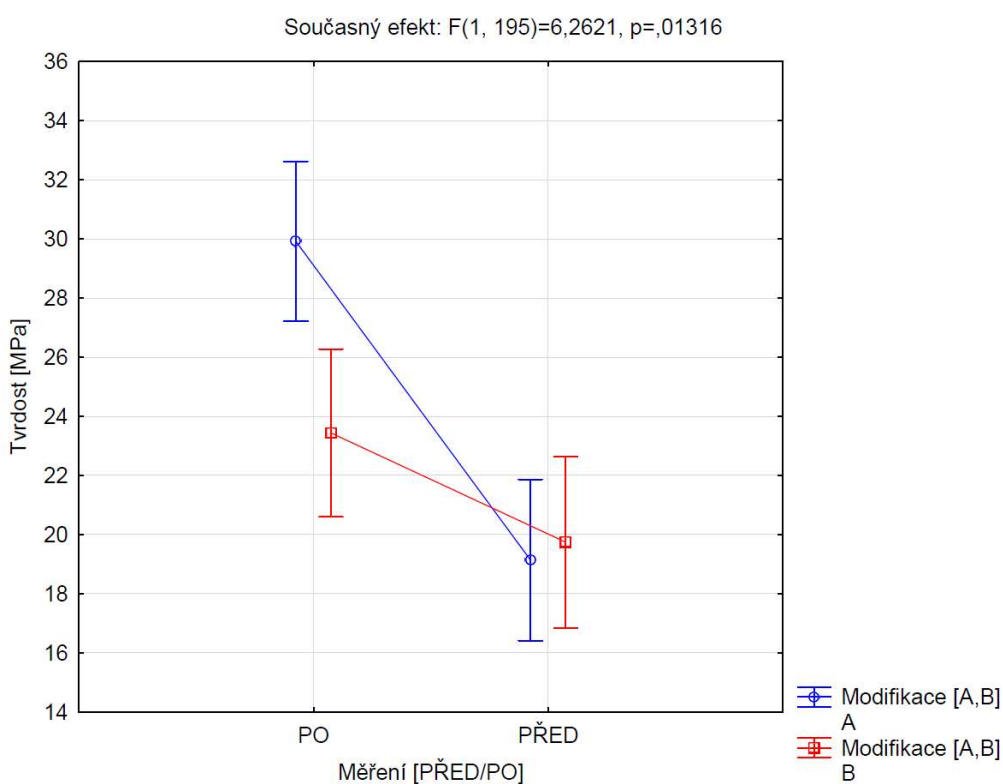
Na předchozích grafu 2 lze velmi dobře demonstrovat změny barevné světlosti při termické modifikaci dřeva. Oba číselné soubory, jak A, tak B začínají téměř ve stejné výchozí pozici se světlostí mezi 75 a 80. Z kapitoly 3.2. *Posuzované vlastnosti* je dáno, že hodnoty nabývají od 0 do 100, přičemž čím bližší číslo 100, tím blíže k barvě bílé. Naopak bližší číslo k 0, tím je barva blíže k černé. Výchozí pozice vzorků tedy byla mezi 75 a 80, to odpovídá velmi světlé barvě horní hranice světlosti. Při termické úpravě při teplotě 180 °C světlost vzorků klesla na hodnotu mezi 50 až 55, to odpovídá barvě o tmavší. Pro termickou úpravu při teplotě 200 °C tato hodnota L\* klesla až k hranici 35, to odpovídá ještě tmavší barvě, než byla při první úpravě. Tyto hodnoty odpovídají grafům a hodnotám pocházejících z ThermoWood® handbook (2003).

Další grafy pro parametry a\*, b\* se nacházejí v příloze této akademické práce.

$p = 0,0000$  znamená, že je zde významný statistický rozdíl barvy před termickou úpravou a po ní, tento výsledek byl zřejmý pouhým okem. Statisticky významná je v tomto případě změna světlosti vzorků v případě před úpravou a po tepelné úpravě při 180 °C. Zároveň je zde statisticky významný i druhý případ, tedy změna světlosti vzorků pro tepelnou úpravou při 200 °C. Výrazný barevný rozdíl tedy byl pro jednotlivé úpravy, menší změny pro tepelnou úpravu 180 °C a vyšší barevná změny pro tepelnou úpravu 200 °C.

## Tvrdość

Tvrdość se při tepelné úpravě při 180 °C zvýšila a při tepelné úpravě při 200 °C byla skoro stejná, jen o trochu vyšší než referenční vzorky viz následující graf 3. Podle Kačíkové a Kačíka (2011) se právě tvrdość může při tepelných úpravách nejdříve zvyšovat a od určité teploty zase snižovat až pod úroveň původních vzorků. Průměrná tvrdość pro skupinu A před úpravou byla 19 MPa a po úpravě byla tato hodnota 30 MPa. Pro skupiny vzorků s označením B byla nejdřív průměrná tvrdość 20 MPa a po termické úpravě 23 MPa.



**Graf 3: Tvrdość při tepelných úpravách (180 °C A, 200 °C B)**

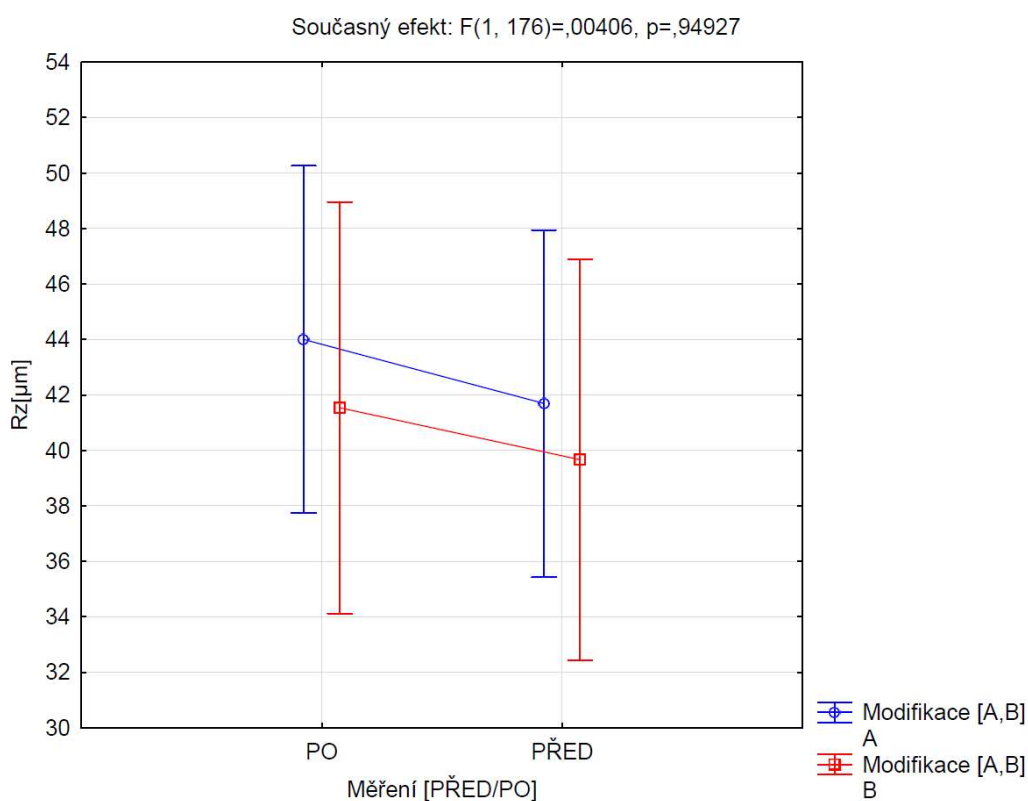
*Zdroj: Vlastní*

Při měření po tepelné úpravě občas hodnota nebyla naměřena, to mohlo být způsobeno tím, že výsledná hodnota byla pod 10 MPa, avšak tuto hodnotu už počítač nemohl zaznamenat. Počet chybných měření byl však velmi malý, a proto příliš neovlivnil výsledky.

Zde byla hodnota  $p=0,01316$ . Statistická významnost platí pro oba tepelné stupně a vzniká významný rozdíl podle stupně tepelné úpravy.

## Drsnost

Během posuzování hodnot drsnosti po termické úpravě dřeva nebyly nalezeny žádné statisticky významné trendy. Podle práce Barčík a kol. (2014) by se měla drsnost vlivem termické úpravy snižovat, to bylo možné pozorovat jen v některých případech, jindy zůstávala drsnost neměnná, nebo se mírně zvýšila. Změny drsnosti je ukázána na grafu 4.



**Graf 4: Změna drsnosti při tepelné úpravě pro parametr Rc (180 °C A, 200 °C B)**

*Zdroj: Vlastní*

Průměrná hodnota pro soubor A před termickou úpravou byla 41,69  $\mu\text{m}$  a po úpravě 44,00  $\mu\text{m}$ . Pro soubor hodnot B byla průměrná hodnota 39,67  $\mu\text{m}$  a po úpravě 41,54  $\mu\text{m}$ .

Další grafy pro parametry Ra, Rsm a Rz se nacházejí v příloze této akademické práce. Zde vyšla hodnota  $p=0,94927$ , v tomto případě není významný rozdíl v drsnosti před a po termické úpravě. Drsnost tedy nevykazuje žádný zajímavý trend, nebo statistickou významnou. Hodnoty v některých případech rostou a v jiných zase klesají,

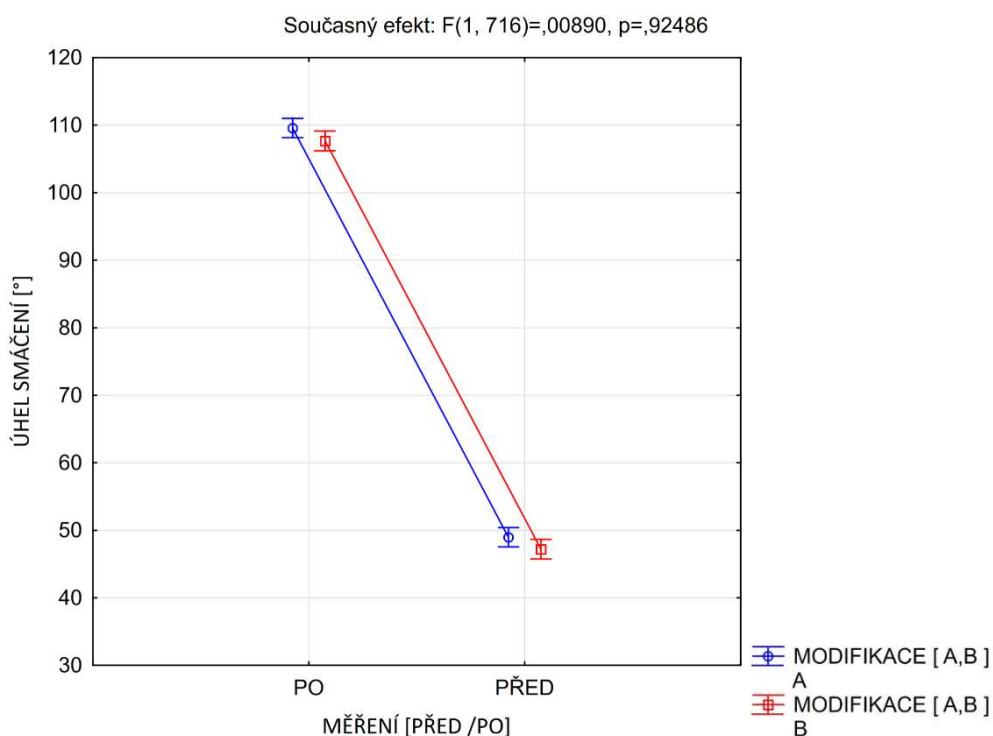


obojí jen v malé míře. Důležité v tomto případě je, že není významný rozdíl v tom, jaký stupeň úpravy se použije. Statistická významnost se nepotvrdila ani mezi vzorky před úpravou a po tepelné úpravě.

Podobný výsledek posuzování drsnosti při termické úpravě měla i práce (Kanát 2020). Ten v práci posuzoval stejné vlastnosti na smrku ztepilém (*Picea abies*) a jedli bělokoré (*Abies alba*).

## Smáčení

Trend byl pro obě tepelné úpravy podobný. Nicméně pro vyšší tepelnou úpravu byly kontaktní úhly smáčení vyšší. Růst hodnoty kontaktního úhlu pozoroval i Kocafe a kol. (2008). Podle něho i výsledných dat může být uveden závěr, že právě kontaktní úhel se při tepelné úpravě zvyšuje a má vliv i teplota úpravy. Kontaktní úhel smáčení se tedy zvyšuje, to ale znamená, že smáčení dřeva se snižuje, jelikož kapalina zůstává svou větší částí na povrchu dřeva a neabsorbuje se. Graf změny smáčení viz následující graf 5. Pro tento graf vyšla hodnota  $p=0,92486$  což naznačuje, že není statistický rozdíl mezi úpravami, avšak rozdíl je výrazný pro údaje před a po termické úpravě, kdy se úhel smáčení více než zdvojnásobil od hodnot před termickou úpravou. Další graf úhlu smáčení se nachází v přílohách.



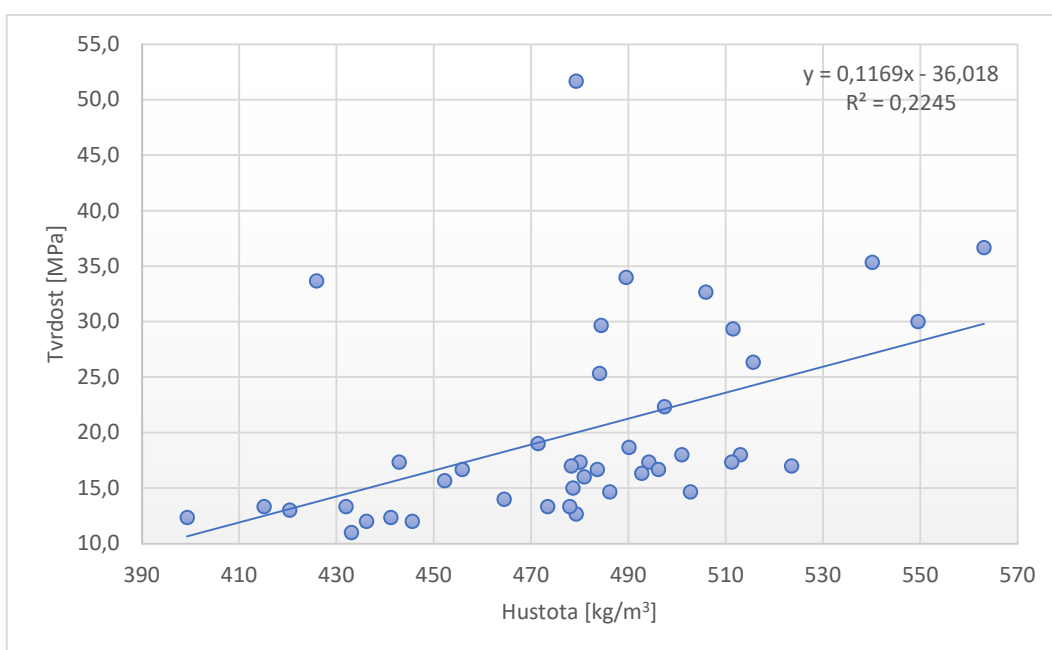
**Graf 5: Změny kontaktního úhlu smáčení (180 °C A, 200 °C B)**

*Zdroj: Vlastní*

Průměrná hodnota pro soubor hodnot A před termickou úpravou byla 48,98 ° a po úpravě 110,11 °. Pro soubor hodnot B byla průměrná hodnota před úpravou 47,20 ° a po úpravě 107,67 °.

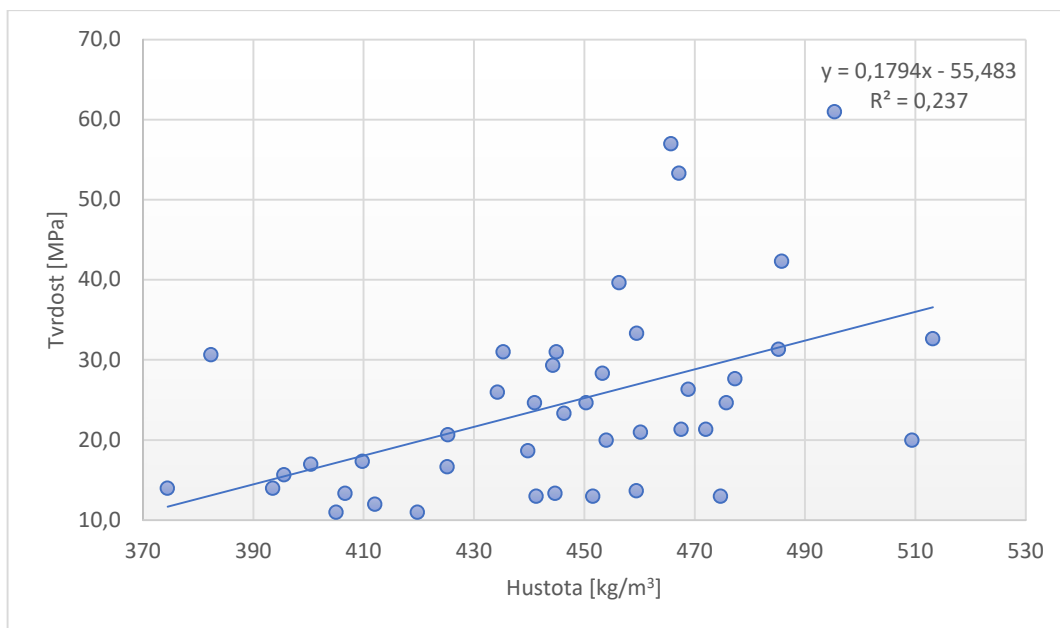
## Korelace mezi tvrdostí a hustotou

Korelace mezi tvrdostí a hustotou se podle Lukáška (2012) se nejvíce projevuje na radiální ploše. Při měření v této práci nebyly plochy při měření rozlišovány. I tak je z grafu 6 zřejmá korelace ale také i kauzalita mezi danými jevy, jelikož jsou na sobě závislé. Korelaci mezi tvrdostí a hustotou znázorňují následující dva grafy před termickou úpravou při teplotě 200 °C a po ní. Další dva grafy pro termickou úpravu při teplotě 180 °C se nacházejí v příloze této akademické práce.



**Graf 6: Korelace mezi tvrdostí a hustotou neupraveného dřeva**

*Zdroj: Vlastní*



**Graf 7: Korelace mezi tvrđostí a hustotou po termické úpravě (200 °C)**

*Zdroj: Vlastní*

## Závěr

Podle dat, která byla shrnuta ve výsledcích této akademické práce může celkově říct, že barva se měnila ve velké míře. Všechny tři parametry  $L^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$  se měnily po termické úpravě jak pro 180 °C tak i pro 200 °C. Také celková barevná změna byla výrazná. Především tato vlastnost termicky upraveného dřeva mu zvyšuje estetičnost, takto je možné z ne příliš výrazné textury dřevin jako smrk, jedle, borovice ad. vytvořit esteticky velmi příjemně, tmavě až exoticky vypadající dřevo. Z hlediska tvrdosti byla v této práci naměřena vyšší hodnota tvrdosti pro termickou úpravu 180 °C i 200 °C. Tato vlastnost zase termicky upravené dřevo posunuje k využití v sektoru podlahovin. Drsnost v této práci měla tendenci trochu narůstat, nebo lehce klesat. Avšak nijak výrazně, proto není změna drsnosti nějak významná vlastnost při posuzování termické úpravy, jediná změna by mohla být při drsnosti povrchu při řezání dřeva pilou, frézou a dalšími nástroji. Jednou z důležitých vlastností je smáčení, kontaktní úhel se při termické úpravě zvýšil výrazně z hodnot okolo 50 ° až nad 100 °, tedy více jak dvojnásobně. Tato vlastnost pomáhá termicky upravenému dřevu k jeho využití jak v interiéru, tak v exteriéru, například pro obklady, či podlahu v koupelnách nebo saunách, jako podlaha kolem bazénu ad. Může se tedy říct, že termo dřevo má větší využití nejen v exteriéru, ale i v interiéru. V této práci byla zkoumána jedle obrovská (*Abies grandis Lindl.*), jakožto posuzovaná dřevina, by mohla najít využití v Evropě právě i díky termické úpravě ThermoWood®. S trendem větší výroby termicky upraveného dřeva procesem ThermoWood® by časem mohlo pomoci i při využití této dřeviny. Až časem se ukáže, jestli Covid-19 zmohl ekonomiku natolik, aby lidé tolik neinvestovali do rekonstrukcí stávajících bydlení, tvoření nových konstrukcí nebo k všeobecnému stavění domů. Pokud by však trend vzrůstajícího stavění pokračoval tak jako do doby před Covidem-19, mohlo by své uplatnění nalézt právě i jedle obrovská (*Abies grandis Lindl.*) a to znamená, že by čeští pěstitelé lesů mohli více zakomponovávat tuto dřevinu.

## Použité zdroje

- AGUDO, Juan Enrique, Pedro J. PARDO, Héctor SÁNCHEZ, Ángel Luis PÉREZ a María Isabel SUERO. *A Low-Cost Real Color Picker Based on Arduino* [online]. Mérida, 2014 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/263697963\\_A\\_Low-Cost\\_Real\\_Color\\_Picker\\_Based\\_on\\_Arduino](https://www.researchgate.net/publication/263697963_A_Low-Cost_Real_Color_Picker_Based_on_Arduino)
- BARCÍK, Štefan, Miroslav GAŠPARÍK, Aleš HOUSKA, Evgeny RAZUMOV, Miroslav SEDLECKÝ. Vliv technologických faktorů na kvalitu opracování povrchu při frézování termicky modifikovaného borovicového dřeva. *Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva* 9(1), Zvolen, Slovakia, 2014, pp. 11-22, ISBN 978-80-228-2658-7.
- ČSN 49 0108 Drevo. Zisťovanie hustoty. 1993
- ČSN EN 1534 Parkety a jiné dřevěné podlahoviny - Stanovení odolnosti proti vtisku (Brinell) - Zkušební metoda
- ČSN EN ISO 11664-4 Kolorimetrie - Část 4: Kolorimetrický prostor CIE 1976 L\*a\*b\*
- ČSN EN ISO 4287 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu
- EDLIN, H.L. *The Summerwood: Springwood Ratio in Conifers: How it arises, varies, and affects end use for timber, board, and paper* [online]. [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.840.2254&rep=rep1&type=pdf>
- FOILES, Marvin V. *Silvics of Grand fir* [online]. Utah, 1959 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_exp\\_for/priest\\_river/exp\\_for\\_priest\\_river\\_1959\\_foiles.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs_exp_for/priest_river/exp_for_priest_river_1959_foiles.pdf)
- FULÍN, Martin, Jiří ŘEMEŠ, Pavel TAUCHMAN. *RŮST A PRODUKCE JEDLE OBROVSKÉ (ABIES GRANDIS LINDL.) VE SROVNÁNÍ S JINÝMI JEHLIČNANY* [online]. Praha, 2013 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GIMAcKpDgzWJ:https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/01/308.pdf+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>

- FULÍN, Martin. *Růst a environmentální vlivy pěstování jedle obrovské v podmínkách České republiky*. Praha, 2016 [cit. 2021-03-13]. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.
- GULLER, Bilgin. *Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of Pinus nigra wood* [online]. Isparta, 2012 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/100591>
- GURAU, Lidia, Mark IRLE. *Surface Roughness Evaluation Methods for Wood Products: a Review* [online]. Brasov, 2017 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/315838510\\_Surface\\_Roughness\\_Evaluation\\_Methods\\_for\\_Wood\\_Products\\_a\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/315838510_Surface_Roughness_Evaluation_Methods_for_Wood_Products_a_Review)
- HADJISKI, Mincho, Nencho DELIISKI. *Advanced Control of the Wood Thermal Treatment Processing* [online]. Sofia, 2016 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/303940099>
- HORÁK, Petr. *Porovnání hustotního profilu dřeva jedle bělokoré a jedle obrovské*. Praha, 2020. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.
- HILL, Callum A. S. *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. Chichester: John Wiley, 2006. ISBN 0-470-02172-1.
- International Thermowood association. *Thermowood Handbook*. Helsinki: Finnish Thermowood Association 2010 [online]. [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.thermowood.fi/esitteet-ja-kirjat>
- JONES, Dennis, Parviz NAVI. *COST Action FP0904 – Increasing the Understanding of Thermo-Hydro- Mechanical Wood Behaviour and Processing* [online]. Stockholm, 2013 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/329075634>
- KAČÍKOVÁ, Danica, František KAČÍK. *Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej uprave*. Zvolen: Technická univerzita ve Zvolenu, 2011. ISBN 978-80-228-2249-7.
- KANÁT, Vojtěch. *Porovnání tepelně upraveného dřeva jedle a smrku z pohledu jeho užitkových vlastností*. Praha, 2020. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

- KHESTL, Filip, Pavel MEC. *Stavební hmoty II* [online]. 2013 [cit. 2021-03-13].  
Dostupné z: <https://docplayer.cz/13240792-Fast-vs-b-technicka-univerzita-ostrava-fakulta-stavebni-stavebni-hmoty-ii-filip-khestl-pavel-mec.html>
- KOHL, Daniel. *Měření nanotvrdosti PA 12* [online]. 2014 [cit. 2021-03-13].  
Dostupné  
z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28472/kohl\\_2014\\_dp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28472/kohl_2014_dp.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce  
Doc. Ing. David Maňas, Ph.D.
- KUČERKA, Martin, Alena OČKAJOVÁ. *Thermowood and granularity of abrasive wood dust* [online]. 2018 [cit. 2021-03-13]. Dostupné  
z: [https://www.researchgate.net/publication/328928744\\_Thermowood\\_and\\_granularity\\_of\\_abrasive\\_wood\\_dust](https://www.researchgate.net/publication/328928744_Thermowood_and_granularity_of_abrasive_wood_dust)
- LUKÁŠEK, Jiří. *Posouzení variability vybraných vlastností dřeva jedle obrovské (Abies grandis (Douglas) Lindl.) z oblasti Černokostelecka* [online]. Praha, 2012 [cit. 2021-03-13]. Dostupné  
z: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hHUZ6XYeNMEJ:dl.webcore.czu.cz/file/emxjZnAwdmJpMzg9+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>.  
Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce  
Doc. Ing. Štefan Barčík, CSc.
- MANIA, Przemysław, Miłosz WRÓBLEWSKI, Adam WÓJCIAK, Edward ROSZYK, Waldemar MOLINSKI. *Hardness of Densified Wood in Relation to Changed Chemical Composition* [online]. Poznan, 2020 [cit. 2021-03-13].  
Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/341121023\\_Hardness\\_of\\_Densified\\_Wood\\_in\\_Relation\\_to\\_Changed\\_Chemical\\_Composition](https://www.researchgate.net/publication/341121023_Hardness_of_Densified_Wood_in_Relation_to_Changed_Chemical_Composition)
- PLŠEK, Matěj. *HODNOCENÍ ÚPRAVY POVRCHU DŘEVA POMOCÍ NEDESTRUKTIVNÍCH METOD* [online]. Brno, 2017 [cit. 2021-03-13].  
Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp\\_id=105240&aid\\_redir=1](https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=105240&aid_redir=1). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.
- POSPÍŠIL, Petr. *PŘEVOD BAREVNÝCH OBRÁZKŮ NA ČERNOBÍLÉ*. Brno, 2016 [cit. 2021-03-13]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Martin Čadík, Ph.D.



- POŽGAJ, Alexander; CHOVANEC, Dušan; KURJATKO, Stanislav; BABIAK, Marián. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava: Príroda, 1997. 488 s. ISBN 80-07-00600-1.
- REINPRECHT, Ladislav. *Ochrana dreva*. 2. vydání. Zvolen: Technická univerzita ve Zvolenu, 2012. ISBN 978-80-228-2351-7.
- ROUSEK, Miroslav, Jacek WILKOWSKI, Vít NOVÁK a Karel KRONTORÁD. *VLIV OTUPENÍ NOŽŮ NA DRSNOST POVRCHU DŘEVA PŘI ČELNÍM FRÉZOVÁNÍ* [online]. Zvolen, 2014 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://kod.tuzvo.sk/sites/default/files/rousek\\_wilkowski\\_novak\\_krontorad.pdf](https://kod.tuzvo.sk/sites/default/files/rousek_wilkowski_novak_krontorad.pdf)
- ROWELL, Roger M. *Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of Pinus nigra wood* [online]. 1999 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/2406362\\_Specialty\\_Treatments](https://www.researchgate.net/publication/2406362_Specialty_Treatments)
- SEDLAR, Tomislav, Vjekoslav ŽIVKOVIC, H. TURKULIN a Josip MIKLEČIĆ. *Innovative test methods for determination of the wood hardness and density* [online]. 2015 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/283517155>
- SHI, Sheldon, Douglas GARDNER. *DYNAMIC ADHESIVE WETTABILITY OF WOOD* [online]. Tokyo, Získáno 2000 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/265550144\\_Dynamic\\_adhesive\\_wettability\\_of\\_wood](https://www.researchgate.net/publication/265550144_Dynamic_adhesive_wettability_of_wood)
- VÖRÖS, Ágnes, Róbert NÉMETH. *The History of Wood Hardness Tests* [online]. 2020 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/505/1/012020>
- ZMEŠKAL, Oldřich, Michal ČEPPAN, Petr DZIK. *Barevné prostory a správa barev* [online]. Brno, 2002 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://www2.fch.vut.cz/lectures/imagesci/download/stud06\\_rozn02.pdf](https://www2.fch.vut.cz/lectures/imagesci/download/stud06_rozn02.pdf)

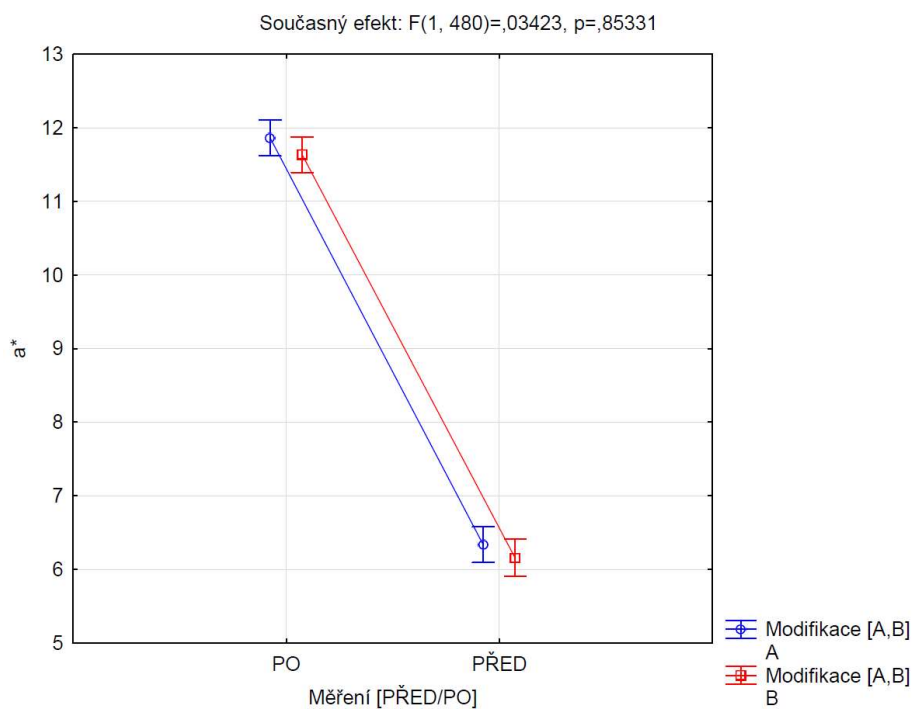
## Seznam příloh

Příloha 1 Změna parametru $a^*$ barvy .....	I
Příloha 2 Změna parametru $b^*$ barvy .....	I
Příloha 3 Barevná změna $\Delta E^*$ .....	II
Příloha 4 Změna drsnosti parametru $R_a$ .....	II
Příloha 5 Změna drsnosti parametru $R_c$ .....	III
Příloha 6 Změna drsnosti parametru $R_{sm}$ .....	III
Příloha 7 Změna parametru $a^*$ barvy .....	IV
Příloha 8 Změna parametru $b^*$ barvy .....	IV
Příloha 9 Změna parametru $L^*$ barvy .....	V
Příloha 10 Změna drsnost pro parametr $R_a$ .....	V
Příloha 11 Změna drsnosti pro parametr $R_c$ .....	VI
Příloha 12 Změna drsnosti pro parametr $R_{sm}$ .....	VI
Příloha 13 Změna drsnosti pro parametr $R_z$ .....	VII
Příloha 14 Změny hustoty při jednotlivých tepelných úpravách .....	VII
Příloha 15 Změna kontaktního úhlu pro jednotlivé úpravy .....	VIII
Příloha 16 Změna tvrdosti pro jednotlivé modifikace .....	VIII
Příloha 17 Duncanův test kontaktního úhlu .....	IX
Příloha 18 Duncanův test hodnot tvrdosti .....	IX
Příloha 19 Duncanův test barvy parametru $L$ .....	IX
Příloha 20 Duncanův test hodnot hustoty .....	IX
Příloha 21 Statistika hodnot barvy před termickou úpravou pro skupinu 180 °C .....	IX
Příloha 22 Statistika hodnot barvy před termickou úpravou pro skupinu 200 °C .....	X
Příloha 23 Statistika hodnot barvy po termické úpravě pro skupinu 180 °C .....	X
Příloha 24 Statistika hodnot barvy po termické úpravě pro skupinu 200 °C .....	X
Příloha 25 Statistika hodnot tvrdosti před termickou úpravou pro skupinu 180 °C ...	X
Příloha 26 Statistika hodnot tvrdosti před termickou úpravou pro skupinu 200 °C ...	X
Příloha 27 Statistika hodnot tvrdosti po termické úpravě pro skupinu 180 °C .....	XI
Příloha 28 Statistika hodnot tvrdosti po termické úpravě pro skupinu 200 °C .....	XI
Příloha 29 Statistika hodnot drsnosti před termickou úpravou pro skupinu 180 °C ..	XI
Příloha 30 Statistika hodnot drsnosti před termickou úpravou pro skupinu 200 °C ..	XI
Příloha 31 Statistika hodnot drsnosti po termické úpravě pro skupinu 180 °C .....	XI
Příloha 32 Statistika hodnot drsnosti po termické úpravě pro skupinu 200 °C .....	XII

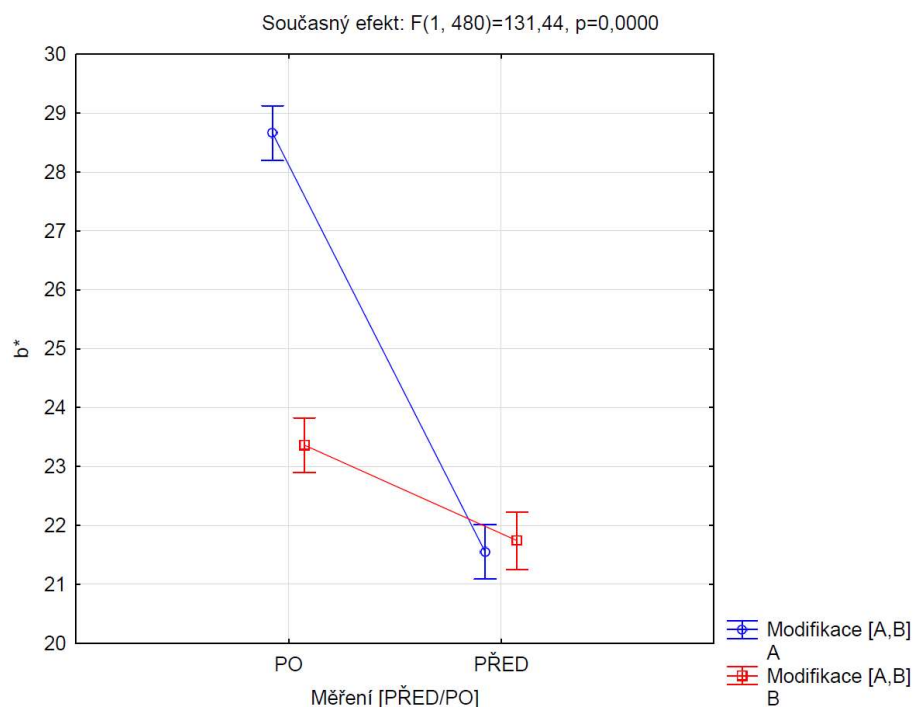
Příloha 33 Statistika hodnot kontaktního úhlu před termickou úpravou pro skupinu 180 °C .....	XII
Příloha 34 Statistika hodnot kontaktního úhlu před termickou úpravou pro skupinu 200 °C .....	XII
Příloha 35 Statistika hodnot kontaktního úhlu po termické úpravě pro skupinu 180 °C .....	XII
Příloha 36 Statistika hodnot kontaktního úhlu po termické úpravě pro skupinu 200 °C .....	XIII
Příloha 37 Statistika hodnot rozměrů, váhy a hustoty před termickou úpravou pro skupinu 180 °C .....	XIII
Příloha 38 Statistika hodnot rozměrů, váhy a hustoty před termickou úpravou pro skupinu 200 °C .....	XIII
Příloha 39 Statistika hodnot rozměrů, váhy a hustoty po termické úpravě pro skupinu 180 °C .....	XIII
Příloha 40 Statistika hodnot rozměrů, váhy a hustoty po termické úpravě pro skupinu 200 °C .....	XIV
Příloha 41 Korelace mezi tvrdostí a hustotou neupraveného dřeva.....	XIV
Příloha 42 Korelace mezi tvrdostí a hustotou po termické úpravě (180 °C) .....	XIV

# Přílohy

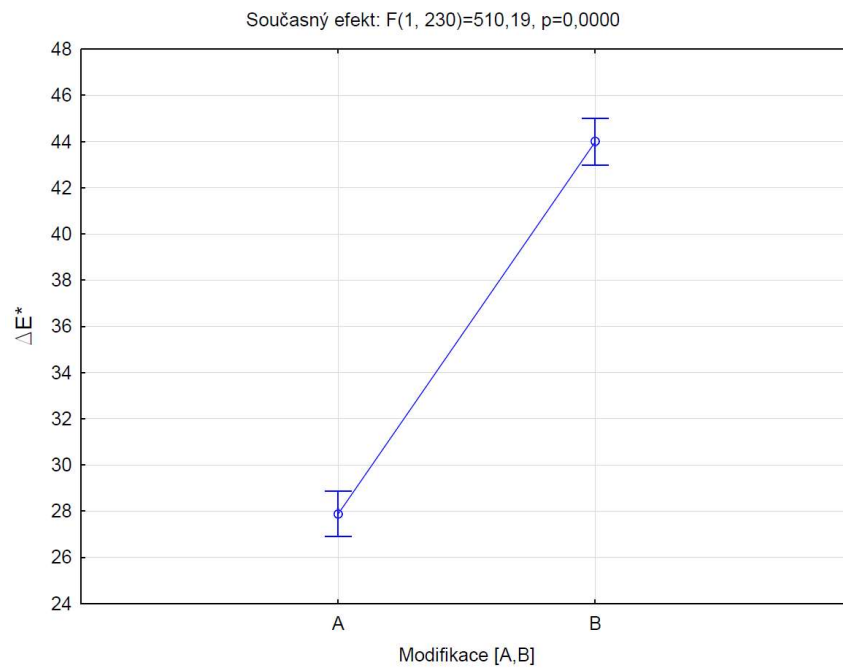
## Příloha 1 Změna parametru a\* barvy



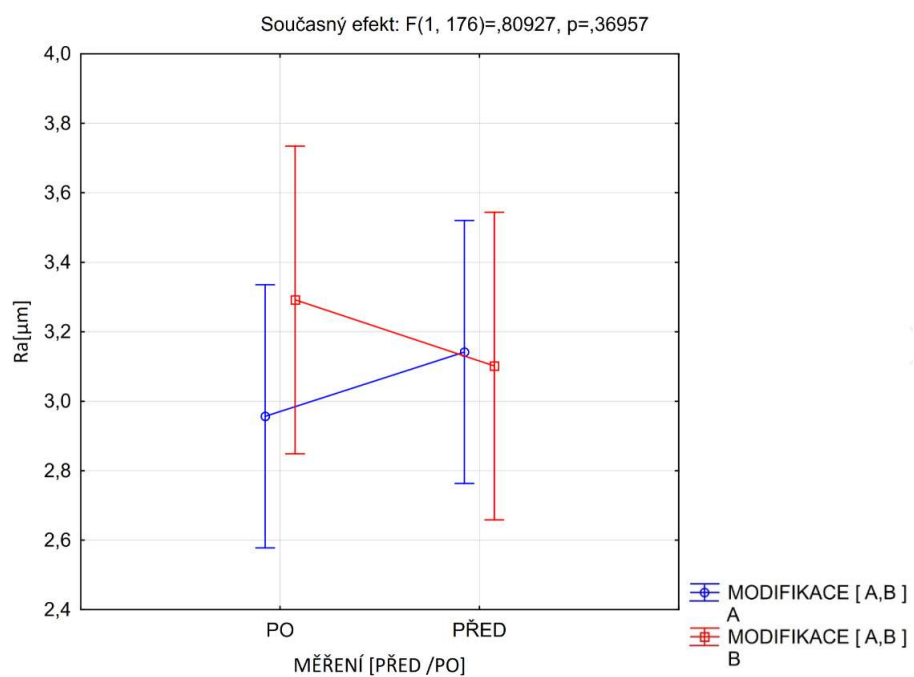
## Příloha 2 Změna parametru b\* barvy



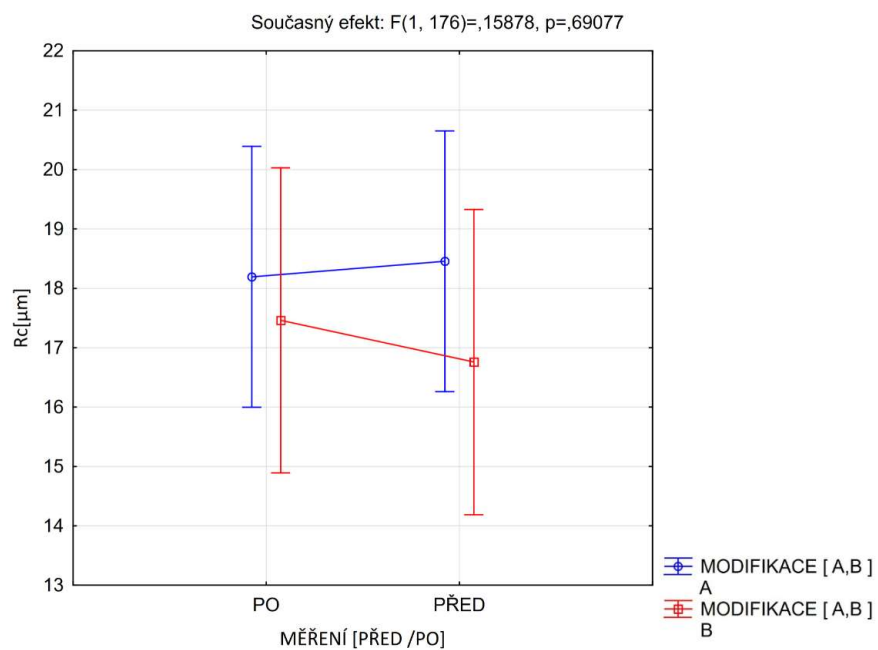
### Příloha 3 Barevná změna $\Delta E^*$



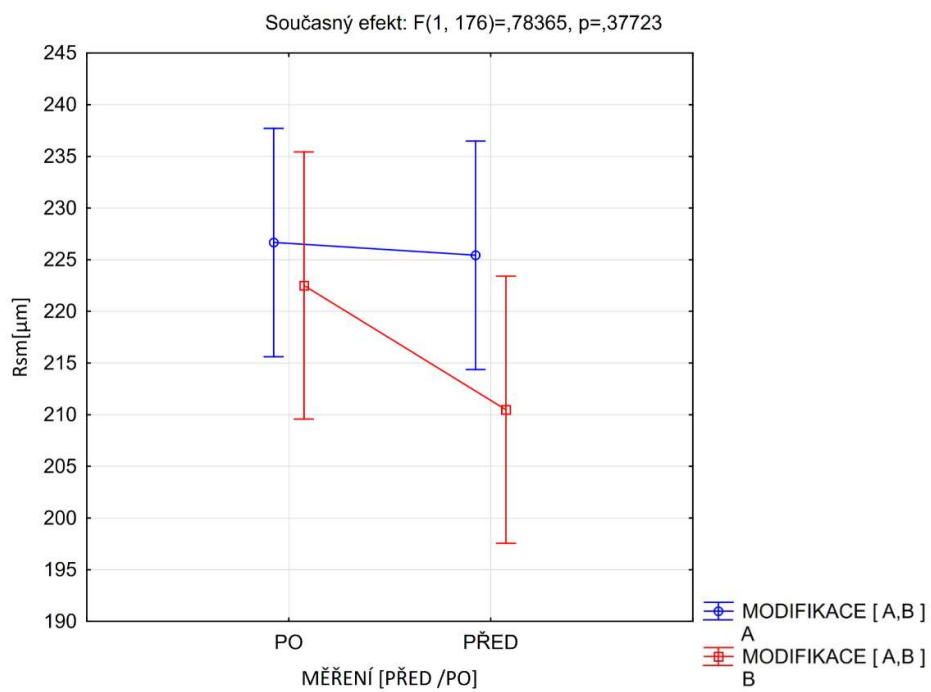
### Příloha 4 Změna drsnosti parametru Ra



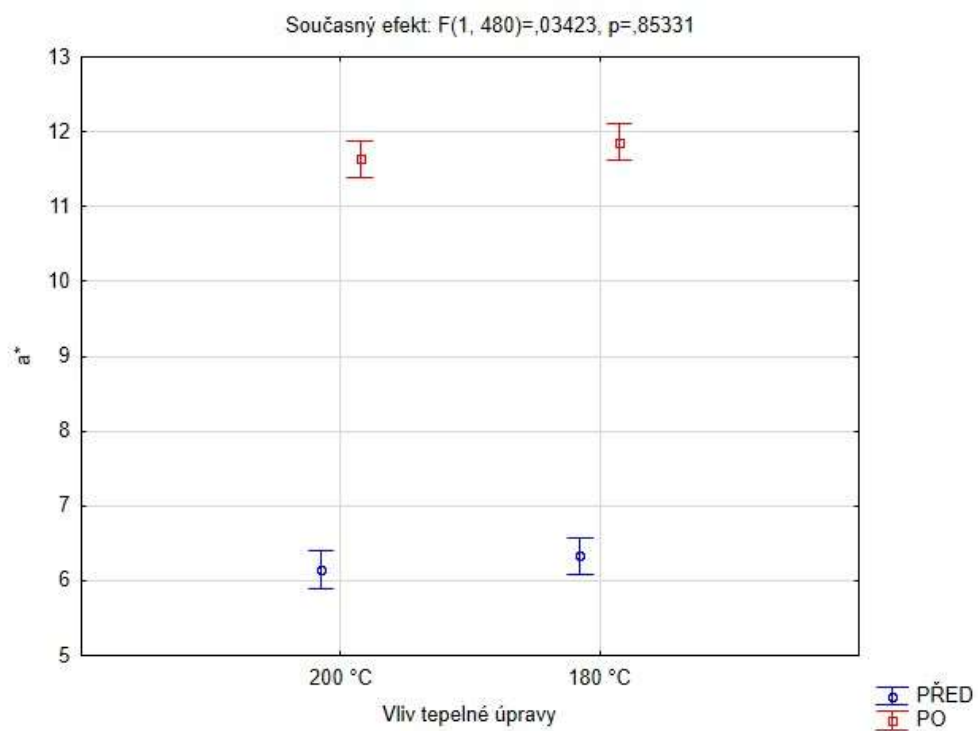
## Příloha 5 Změna drsnosti parametru Rc



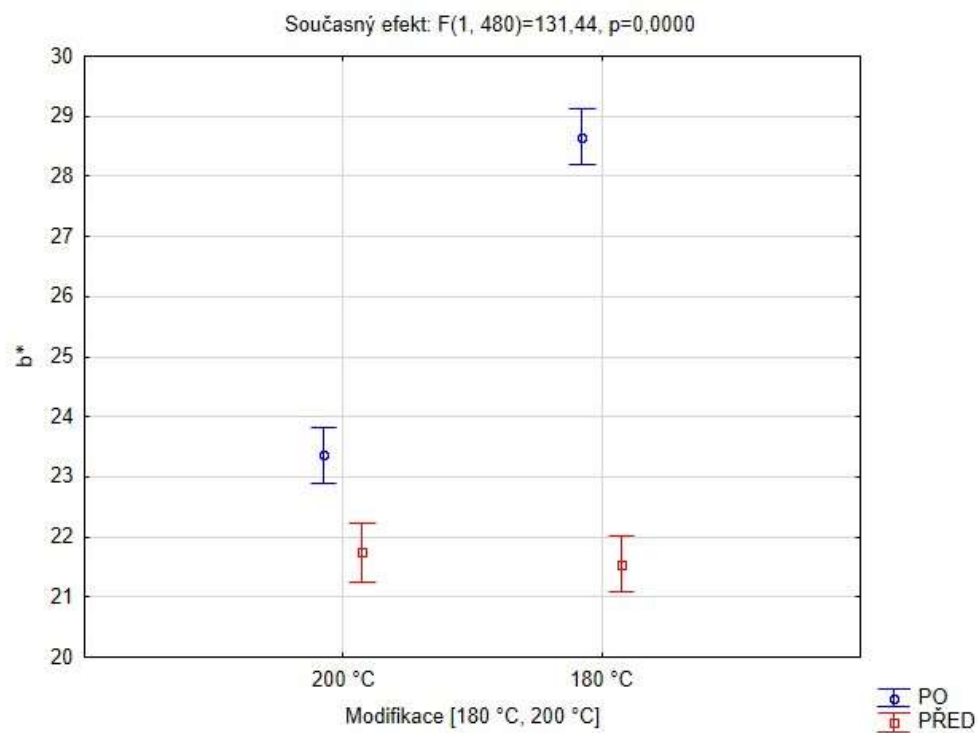
## Příloha 6 Změna drsnosti parametru Rsm



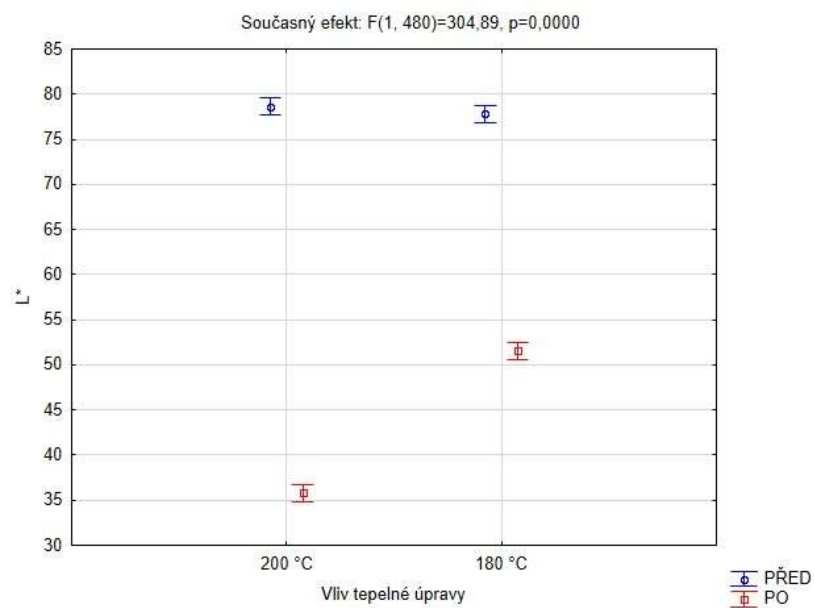
## Příloha 7 Změna parametru a\* barvy



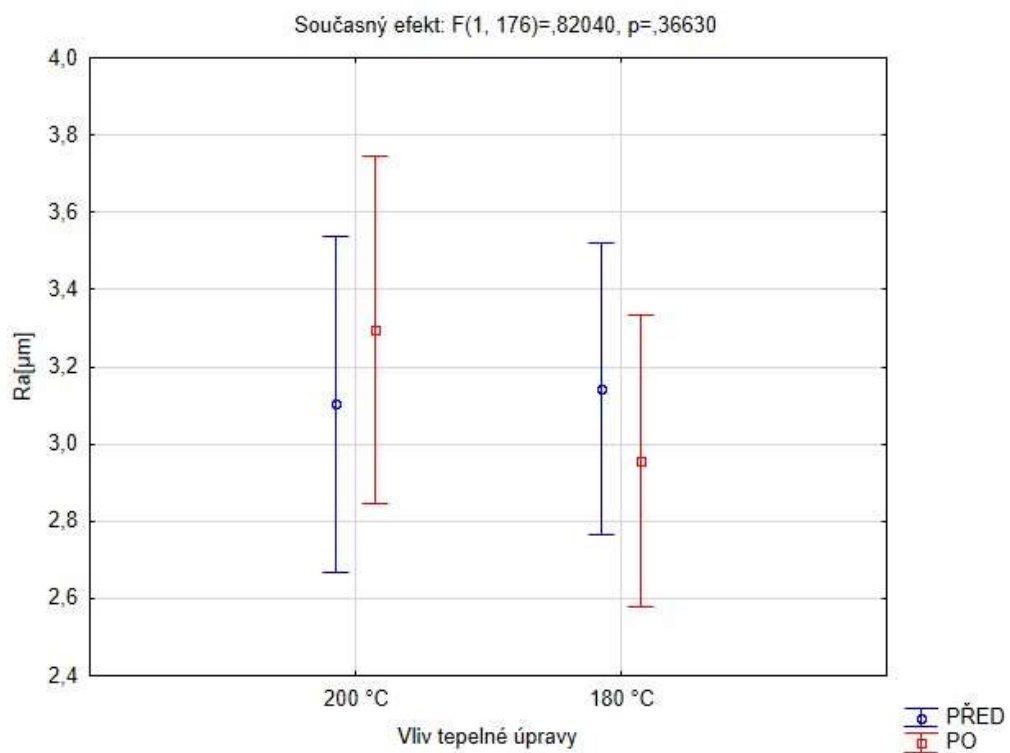
## Příloha 8 Změna parametru b\* barvy



## Příloha 9 Změna parametru L\* barvy

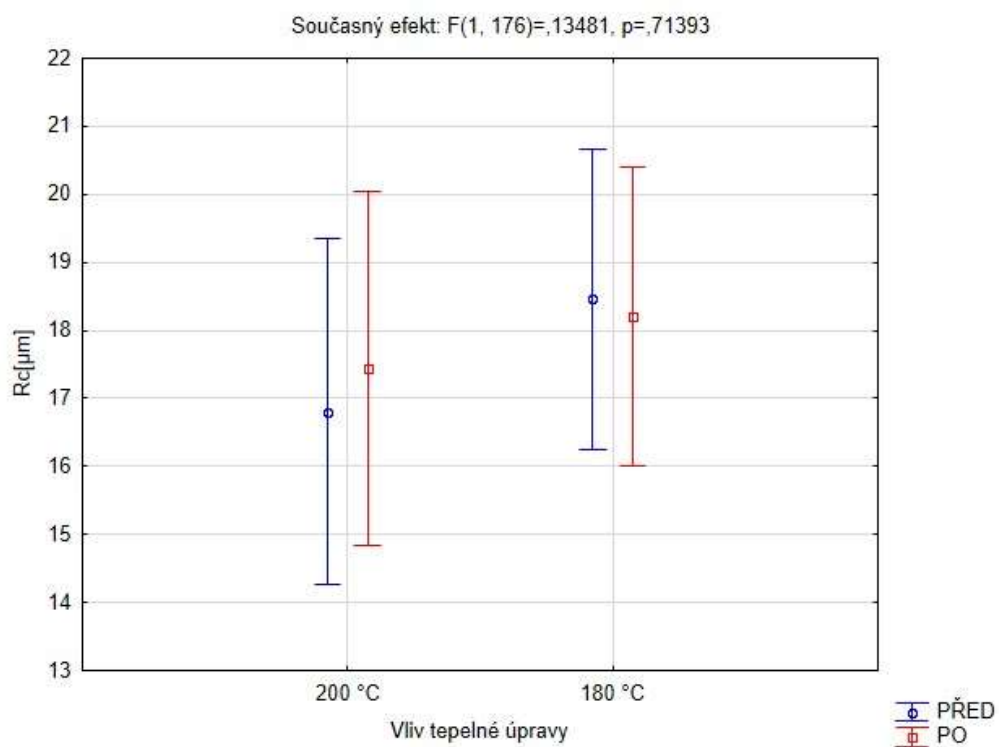


## Příloha 10 Změna drsnost pro parametr Ra

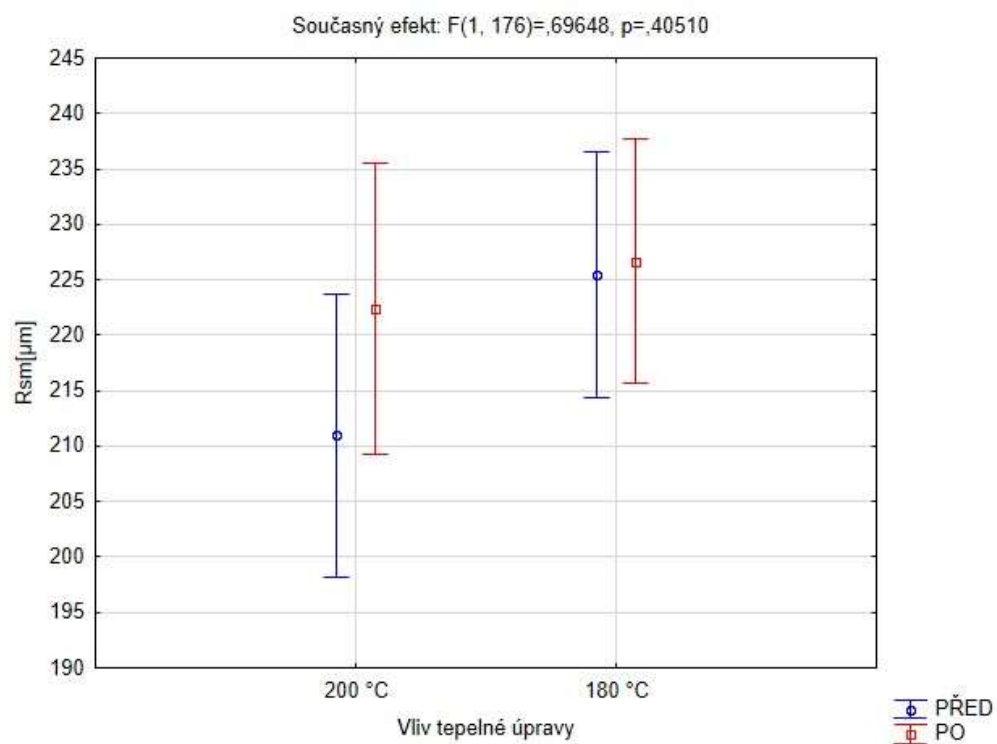




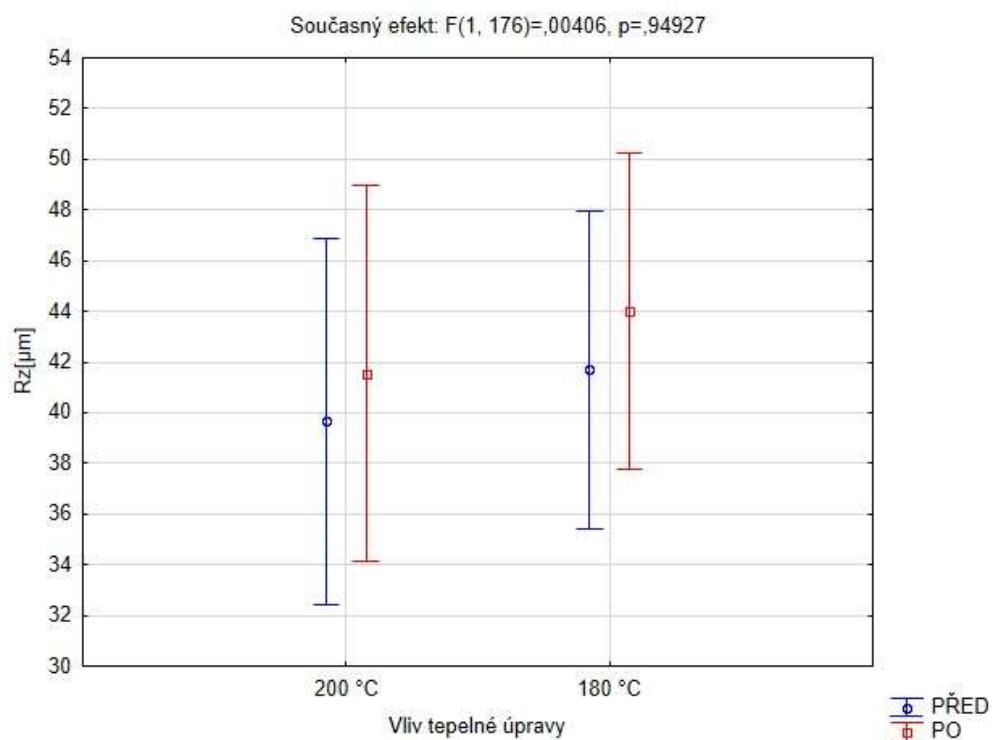
## Příloha 11 Změna drsnosti pro parametr Rc



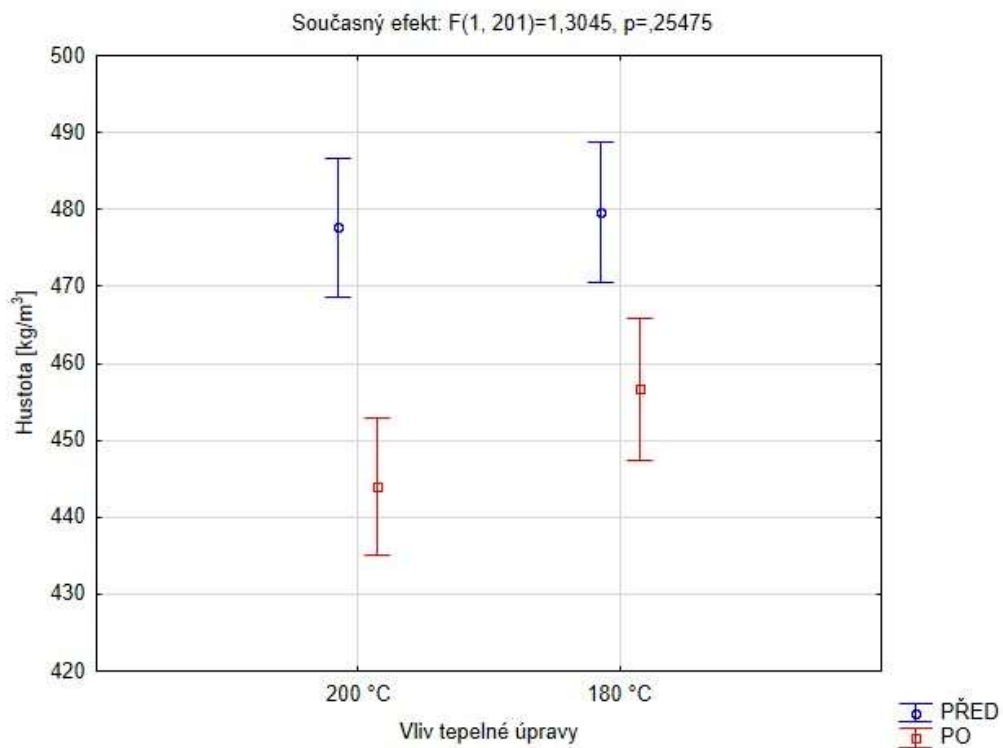
## Příloha 12 Změna drsnosti pro parametr Rsm



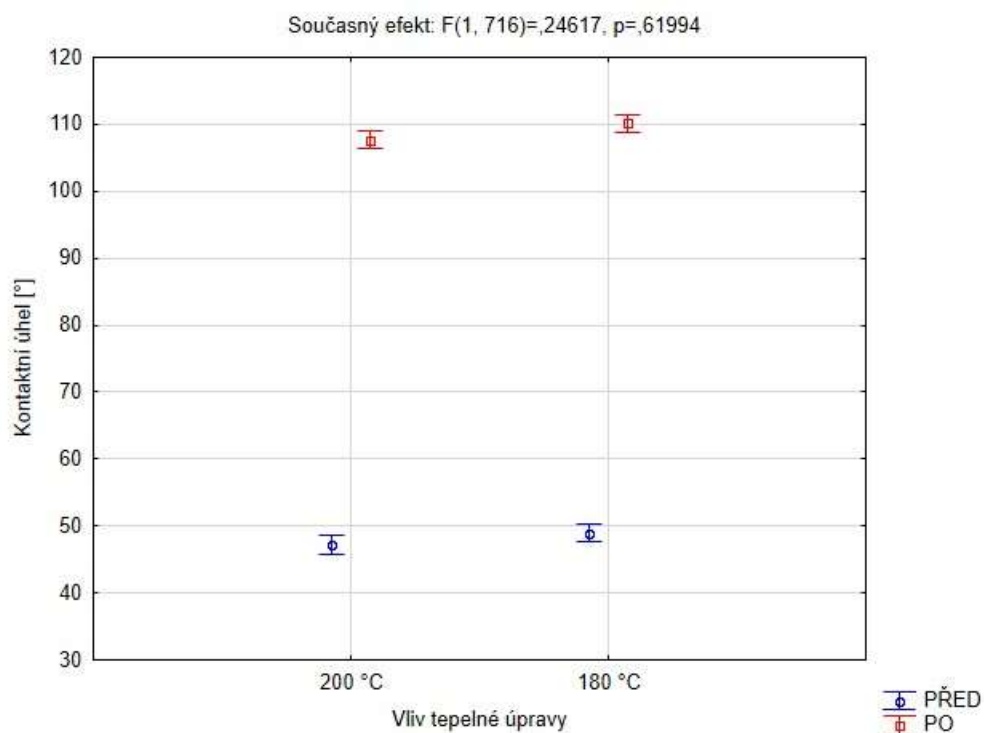
### Příloha 13 Změna drsnosti pro parametr Rz



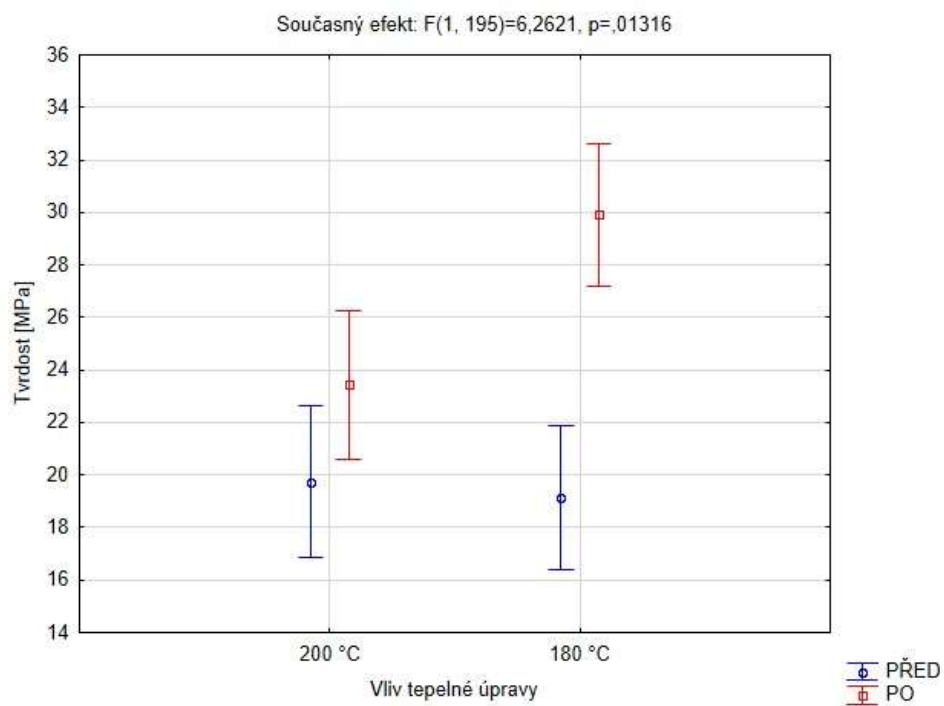
### Příloha 14 Změny hustoty při jednotlivých tepelných úpravách



## Příloha 15 Změna kontaktního úhlu pro jednotlivé úpravy



## Příloha 16 Změna tvrdosti pro jednotlivé modifikace



### Příloha 17 Duncanův test kontaktního úhlu

200 °C	PŘED		0,000011	0,066349	0,000003
200 °C	PO	0,000011		0,000009	0,011168
180 °C	PŘED	0,066349	0,000009		0,000011
180 °C	PO	0,000003	0,011168	0,000011	

### Příloha 18 Duncanův test hodnot tvrdosti

200 °C	PŘED		0,065389	0,762515	0,000011
200 °C	PO	0,065389		0,041370	0,001214
180 °C	PŘED	0,762515	0,041370		0,000003
180 °C	PO	0,000011	0,001214	0,000003	

### Příloha 19 Duncanův test barvy parametru L

PŘED	200 °C		0,203465	0,000003
PŘED	180 °C	0,203465		0,000011
PO	200 °C	0,000003	0,000011	
PO	180 °C	0,000011	0,000009	0,000009

### Příloha 20 Duncanův test hodnot hustoty

200 °C	PŘED		0,000011	0,755738	0,001299
200 °C	PO	0,000011		0,000003	0,054067
180 °C	PŘED	0,755738	0,000003		0,000614
180 °C	PO	0,001299	0,054067	0,000614	

### Příloha 21 Statistika hodnot barvy před termickou úpravou pro skupinu 180 °C

	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Výpočet barvy
Aritmetický průměr	77,80	6,34	21,55	28,03
Směrodatná odchylka	3,47	1,45	1,80	7,53
Min	65,08	3,53	17,71	2,48
Max	83,70	11,30	28,55	49,70

**Příloha 22 Statistika hodnot barvy před termickou úpravou pro skupinu 200 °C**

	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Výpočet barvy
Aritmetický průměr	78,65	6,15	21,74	4,50
Směrodatná odchylka	3,83	1,50	1,89	7,78
Min	60,48	3,05	18,30	0,11
Max	84,24	11,92	28,32	76,64

**Příloha 23 Statistika hodnot barvy po termické úpravě pro skupinu 180 °C**

	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Výpočet barvy
Aritmetický průměr	51,56	11,86	28,66	27,52
Směrodatná odchylka	6,35	1,30	2,03	6,33
Min	34,76	8,15	21,73	5,59
Max	71,07	14,98	33,61	39,52

**Příloha 24 Statistika hodnot barvy po termické úpravě pro skupinu 200 °C**

	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Výpočet barvy
Aritmetický průměr	35,80	11,64	23,36	6,13
Směrodatná odchylka	6,36	1,20	4,03	5,51
Min	20,82	5,30	6,70	0,64
Max	55,68	14,52	33,84	38,85

**Příloha 25 Statistika hodnot tvrdosti před termickou úpravou pro skupinu 180 °C**

Číslo měření	1	2	3
Aritmetický průměr	18,7	17,9	20,9
Směrodatná odchylka	9,2	8,3	12,4
Min	11,0	10,0	10,0
Max	63,0	52,0	60,0

**Příloha 26 Statistika hodnot tvrdosti před termickou úpravou pro skupinu 200 °C**

Číslo měření	1	2	3
Aritmetický průměr	19,5	20,9	18,8
Směrodatná odchylka	13,2	16,2	10,8
Min	11,0	10,0	10,0
Max	71,0	76,0	73,0

**Příloha 27 Statistika hodnot tvrdosti po termické úpravě pro skupinu 180 °C**

Číslo měření	1	2	3
Aritmetický průměr	29,7	29,2	31,2
Směrodatná odchylka	19,1	18,9	19,0
Min	10,0	10,0	10,0
Max	78,0	76,0	74,0

**Příloha 28 Statistika hodnot tvrdosti po termické úpravě pro skupinu 200 °C**

Číslo měření	1	2	3
Aritmetický průměr	23,5	21,8	25,0
Směrodatná odchylka	15,8	12,9	18,0
Min	10,0	10,0	10,0
Max	68,0	63,0	78,0

**Příloha 29 Statistika hodnot drsnosti před termickou úpravou pro skupinu 180 °C**

	Rz[ $\mu\text{m}$ ]	Rc[ $\mu\text{m}$ ]	Ra[ $\mu\text{m}$ ]	Rsm[ $\mu\text{m}$ ]
Aritmetický průměr	41,69	18,46	3,14	225,43
Směrodatná odchylka	24,04	8,80	1,41	38,53
Min	9,99	5,76	0,92	157,45
Max	106,51	41,72	6,80	351,82

**Příloha 30 Statistika hodnot drsnosti před termickou úpravou pro skupinu 200 °C**

	Rz[ $\mu\text{m}$ ]	Rc[ $\mu\text{m}$ ]	Ra[ $\mu\text{m}$ ]	Rsm[ $\mu\text{m}$ ]
Aritmetický průměr	39,67	16,80	3,10	210,94
Směrodatná odchylka	20,88	6,37	1,46	41,71
Min	10,29	5,52	1,16	134,15
Max	116,96	29,62	7,26	340,58

**Příloha 31 Statistika hodnot drsnosti po termické úpravě pro skupinu 180 °C**

	Rz[ $\mu\text{m}$ ]	Rc[ $\mu\text{m}$ ]	Ra[ $\mu\text{m}$ ]	Rsm[ $\mu\text{m}$ ]
Aritmetický průměr	44,00	18,19	2,96	226,66
Směrodatná odchylka	24,33	8,31	1,27	41,05
Min	13,57	7,10	1,26	149,02
Max	124,63	41,72	6,72	329,02

**Příloha 32 Statistika hodnot drsnosti po termické úpravě pro skupinu 200 °C**

	Rz[ $\mu\text{m}$ ]	Rc[ $\mu\text{m}$ ]	Ra[ $\mu\text{m}$ ]	Rsm[ $\mu\text{m}$ ]
Aritmetický průměr	41,54	17,43	3,30	222,35
Směrodatná odchylka	19,58	7,59	1,35	38,32
Min	14,09	6,52	1,17	145,48
Max	97,30	36,61	7,54	303,81

**Příloha 33 Statistika hodnot kontaktního úhlu před termickou úpravou pro skupinu 180 °C**

	M	L	R
Aritmetický průměr	48,98	48,61	49,34
Směrodatná odchylka	8,30	8,63	8,40
Min	28,13	23,91	25,69
Max	78,47	80,05	76,90

**Příloha 34 Statistika hodnot kontaktního úhlu před termickou úpravou pro skupinu 200 °C**

	M	L	R
Aritmetický průměr	47,21	47,14	47,28
Směrodatná odchylka	7,20	7,82	7,47
Min	33,05	27,15	30,78
Max	69,25	76,26	67,66

**Příloha 35 Statistika hodnot kontaktního úhlu po termické úpravě pro skupinu 180 °C**

	M	L	R
Aritmetický průměr	110,12	109,96	109,81
Směrodatná odchylka	10,49	10,85	10,76
Min	79,01	78,57	79,45
Max	138,65	138,64	138,67

**Příloha 36 Statistika hodnot kontaktního úhlu po termické úpravě pro skupinu 200 °C**

	M	L	R
Aritmetický průměr	107,67	107,70	107,64
Směrodatná odchylka	10,02	10,12	10,00
Min	74,09	73,70	74,48
Max	129,48	129,41	129,54

**Příloha 37 Statistika hodnot rozměrů, váhy a hustoty před termickou úpravou pro skupinu 180 °C**

	Délka (mm)	Šířka (mm)	Výška (mm)	Váha (g)	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )
Aritmetický průměr	299,98	100,09	20,06	288,99	480
Směrodatná odchylka	0,14	0,59	0,09	21,03	34
Min	299,00	96,41	19,89	251,87	417
Max	300,00	100,65	20,30	336,81	556

**Příloha 38 Statistika hodnot rozměrů, váhy a hustoty před termickou úpravou pro skupinu 200 °C**

	Délka (mm)	Šířka (mm)	Výška (mm)	Váha (g)	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )
Aritmetický průměr	299,95	100,14	20,09	288,19	478
Směrodatná odchylka	0,18	0,58	0,07	20,59	34
Min	299,00	97,07	19,96	242,08	399
Max	300,00	100,83	20,27	341,24	563

**Příloha 39 Statistika hodnot rozměrů, váhy a hustoty po termické úpravě pro skupinu 180 °C**

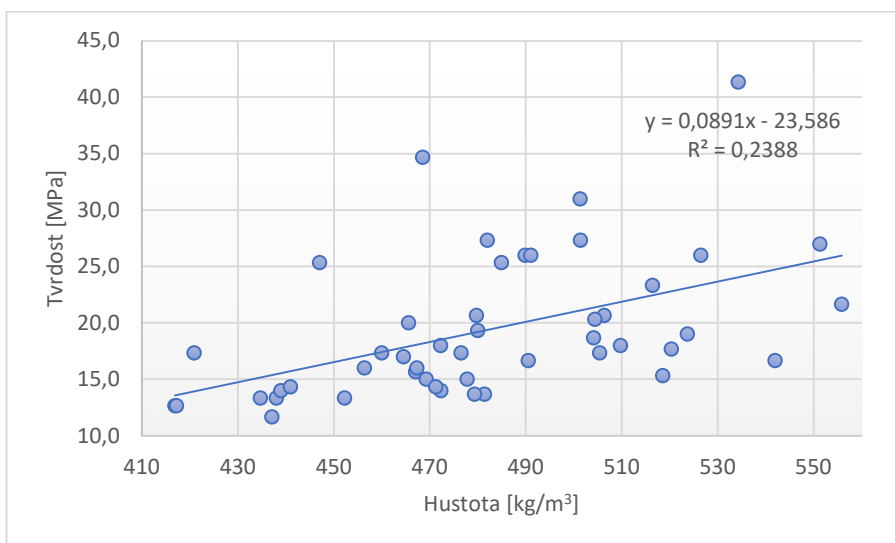
	Délka (mm)	Šířka (mm)	Výška (mm)	Váha (g)	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )
Aritmetický průměr	300,16	98,14	19,75	265,68	457
Směrodatná odchylka	0,42	0,63	0,13	18,38	32
Min	299,00	94,81	19,46	231,63	391
Max	301,00	98,85	20,03	304,28	524



**Příloha 40 Statistika hodnot rozměrů, váhy a hustoty po termické úpravě pro skupinu 200 °C**

	Délka (mm)	Šířka (mm)	Výška (mm)	Váha (g)	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )
Aritmetický průměr	300,09	97,42	19,68	255,47	444
Směrodatná odchylka	0,29	0,74	0,19	17,62	31
Min	300,00	94,07	19,21	215,34	374
Max	301,00	98,60	20,21	295,15	513

**Příloha 41 Korelace mezi tvrdostí a hustotou neupraveného dřeva**



**Příloha 42 Korelace mezi tvrdostí a hustotou po termické úpravě (180 °C)**

