

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nábytku, designu a bydlení

**Dokončování thermowoodu nátěrovými hmotami vytvrzovanými UV  
zářením**

**Bakalářská práce**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem práci na téma: Dokončování Thermowoodu nátěrovými hmotami vytvrzovanými UV zářením zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

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

V Brně, dne:.....

podpis studenta: .....

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat mé vedoucí práce doc. Ing. Daniela Tesařová, Ph.D. za poskytnutí všech informací a její odborné pomoci při sepsání bakalářské práce.

## **Abstrakt**

### **Autor:**

Martin Luňáček

### **Název bakalářské práce:**

Dokončování thermowoodu nátěrovými hmotami vytvrzovanými UV zářením.

Bakalářská práce se zabývá dokončování nátěrovými hmotami pomocí UV vytvrzování na vzorcích tepelně upraveného dřeva. Povrchová úprava byla použita transparentní, na bázi polyakrylátu a musí splňovat požadavky pro stavebně – truhlářskou výrobky. Cílem této práce je stanovit postup při dokončování transparentními nátěrovými hmotami vytvrzované pomocí UV záření na povrchu thermowoodu.

### **Klíčová slova:**

UV záření, vytvrzování, povrchová úprava, nátěrové hmoty, tepelně upravené dřevo

## **Abstract**

### **Author:**

Martin Luňáček

### **Title of the thesis:**

Finishing with thermowood painting material hardening UV radiation.

Bachelor thesis deals with the finishing coating with UV curing on heat-treated wood samples. Finishing the application of a transparent on based polyacrylate and should withstand the requirements for building - joinery production. The aim of this study is to determine the procedure for finalizing the transparent coating cured using UV radiation on the surface of thermowood.

### **Key words**

UV radiation, hardening, surface working, painting material, thermowood

# OBSAH

1	Úvod .....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Literární přehled .....	3
3.1	Nátěrová látky .....	3
3.1.1	Rozdělení podle vizuálních vlastností .....	3
3.1.2	Složení nátěrové hmoty .....	3
3.1.3	Důvod vzniku vysokosušinných nátěrových látek .....	4
3.2	Druhy záření.....	4
3.2.1	Ultrafialové záření .....	5
3.2.2	UV vytvrzovací lampy .....	5
3.2.3	Nátěrové hmoty vytvrzované pomocí UV zařízení .....	6
3.3	Výhody a nevýhody použití UV laků.....	8
3.4	Ekologické požadavky .....	8
3.4.1	Těkavé organické látky - VOC.....	8
3.5	Stavebně truhlářské výrobky.....	9
3.5.1	Požadavky na stavebně truhlářské výrobky .....	9
3.6	Modifikace dřeva .....	10
3.6.1	Tepelná modifikace dřeva .....	10
3.6.2	Výroba thermowoodu.....	10
3.6.3	Lepení Thermowoodu .....	11
3.6.4	Dokončování thermowoodu povrchovou úpravou .....	11
3.6.5	Thermowood a jeho vlastnosti .....	11
4	Postup řešení bakalářské práce .....	13
5	Zkušební materiály zkušební normy, postupy, použité stroje, přístroje a pomůcky.....	14
5.1	Použitý materiál.....	14

5.1.2	Použité nátěrové hmoty .....	14
5.2	Použité zkušební stroje a pomůcky při měření.....	14
5.3	Zkušební metody .....	19
ČSN 67 3074	Nátěrové hmoty, stanovení vnikající tvrdosti nátěru mikrotvrdoměrem na povrchu thermowoodu.....	19
	Stanovení drsnosti povrchu přístrojem SJ-201.....	19
ČSN 60 3075	Metoda stanovení povrchové tvrdosti nátěru tužkami.....	19
ČSN ISO 2409	Nátěrové hmoty, mřížková zkouška.....	20
ČSN EN 24624	Stanovení přilnavosti nátěrového filmu odtrhovou zkouškou.....	20
	Metodika stanovení obsahu emisí VOC.....	20
ČSN EN 12720	Zkoušení odolnosti proti studeným kapalinám .....	20
6	Příprava vzorků .....	22
6.1	Příprava podkladového materiálu.....	22
6.2	Postup nanášení nátěrové hmoty .....	22
7	Výsledky.....	24
7.1	Výsledky tvrdosti nátěru pomocí mikrotvrdoměru .....	24
7.2	Výsledky drsnosti povrchu.....	24
7.3	Stanovení vlastností povrchové úpravy thermowoodu UV zářením vytvrzované nátěrovými hmotami .....	27
7.3.1	Výsledky měření tvrdosti tužkami .....	27
7.3.2	Výsledky nátěrové hmoty, mřížková zkouška .....	28
7.3.3	Stanovení přilnavosti nátěrového filmu odtrhovou zkouškou.....	28
7.3.4	Zkoušení odolnosti proti studeným kapalinám.....	28
7.4	Výsledky obsahu emisí VOC .....	28
8	Řešení technologického postupu .....	31
9	Diskuze výsledků.....	34
10	Závěr.....	36
11	Summary.....	37

12	Seznam zkratek.....	38
13	Seznam literatury.....	39
14	Internetové zdroje.....	41
15	Seznam norem a zákonu.....	42
16	Seznam tabulek.....	43
17	Seznam obrázků.....	44
18	Seznam příloh.....	45



# 1 ÚVOD

Dřevo pro svoje vlastnosti je nejpoužívanější materiál ve stavebně – truhlářském odvětví. Každý materiál má svoje pozitivní, ale i negativní vlastnosti a to i dřevo, proto se dřevo snažíme chránit buď nátěrovými hmotami, nebo tepelnou modifikací dřeva. V dřívějších dobách chránili dřevo v ohni, když ho nechali zuhelnatět. V dnešní době už máme vyspělé technologie pro tepelnou modifikaci dřeva, a tomuto produktu říkáme thermowood. Nátěrové hmoty slouží k ochraně materiálu před nepříznivými vlivy a mají velký vliv na estetické vlastnosti konečného výrobku a tím mu přidávají na celkové ceně výrobku. Nátěroví hmoty dělíme podle způsobu tvorby nátěrového filmu na:

- Fyzikálním zasychání
- Chemickou reakcí se vzdušnou vlhkostí
- Chemickou reakcí s tužidlem, iniciátorem a urychlovačem
- Vytvrzování UV a ESB zářením

Technologie vytvrzování pomocí UV záření je při dodržení bezpečnostních opatření bezpečná nejen k životnímu prostředí, ale je to i velice rychlá technologie vytvrzování, která proběhne během několika vteřin do konečného stavu povrchové úpravy.

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat vlastnosti tepelně upraveného dřeva z hlediska možností dokončování pomocí nátěrových hmot vytvrzovaných UV zářením a analyzovat požadavky pro dokončování stavebně – truhlářské výrobky. Řešení bakalářské práce je zaměřena na dokončování povrchové úpravy nátěrovými hmotami vytvrzovanými UV zářením.

Výstupem práce bude postup dokončování tepelně upraveného dřeva povrchových úprav nátěrovými hmotami, které vytvrzují pomocí UV záření a zhodnocení přínosů do praxe. V rámci technologického postupu budou stanoveny časy, nánosy nátěrových hmot i nutná dávka záření. Součástí bude i stanovení ekologických vlastností a fyzikálně – mechanických vlastností povrchové úpravy dokončované podle navržené technologického postupu.

## **3 LITERÁRNÍ PŘEHLED**

### **3.1 Nátěrová látky**

Nátěrové látky se vyskytují v různých formách jako je kapalná, prášková nebo ve formě pasty, které po nanesení na podklad vytvoří nátěrový film mající ochranné, dekorativní nebo jiné speciální vlastnosti.

Nátěrový systém je skladba jednotlivých vrstev nátěrových hmot, které po zaschnutí nebo vytvrzení vytvoří nátěrový film. Jednotlivé vrstvy laku nátěrového systému musejí být navzájem sloučitelné, aby mohly splnit požadavky a ochranný dekorativní popřípadě jiné vlastnosti (Zemiar a kol. 2009).

#### **3.1.1 Rozdělení podle vizuálních vlastností**

- Transparentní

Jsou takové nátěrové hmoty, které jsou bez barevného odstínu a které nezakrývají texturu dokončovaného povrchu.

- Pigmentové

Obsahují v nátěrové hmotě pigmenty a barviva. Pigmentové nátěrové hmoty mají takovou vlastnost, že úplně zakryjí podkladový materiál a mění svůj barevný odstín podle typu nátěrové hmoty.

- Lazurovací

Jsou takové nátěrové směsi, které při aplikaci na povrchu dřeva vytvoří barevnou úpravu při zachování textury dřeva (Tesařová a kol. 2014).

#### **3.1.2 Složení nátěrové hmoty**

Jeden z důležitých faktorů, který ovlivňuje vlastnosti nátěrových hmot následně povrchových úprav, je jejich složení. Směsi nátěrových hmot obsahují zejména tyto přísady: Pojivo a pryskyřice, barviva, rozpouštědla a ředidla, plniva, matovala, UV iniciátory a fotoiniciátory, UV absorbéry, povrchně aktivní látky, tužidla, tvrdidla, urychlovače a iniciátory. (Tesařová a kol. 2014)

### 3.1.3 Důvod vzniku vysokosušinových nátěrových látek

Vývoj těchto nátěrových hmot byl jedním z požadavků přísnějších zákonů na ochranu životního prostředí ve světě a úsporou energie vynaložené při vytvrzování. Ze zákonných opatření bývá často citován známý zákon Los Angeles Rule 66, který nám vypovídá o tom, že obsah sušiny v nátěrových látkách musí být alespoň 80 % (Jaroušek, 1987).

Vysokosušinové nátěrové hmoty tvoří nátěrový film:

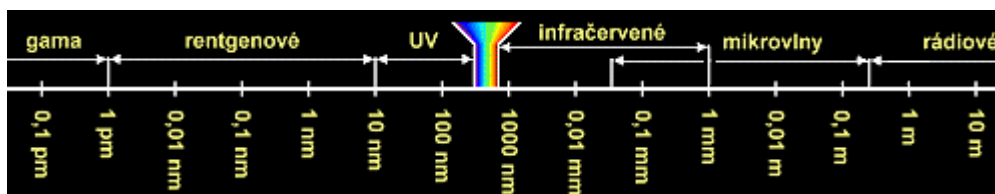
- Fyzikálním zasychání
- Oxidačně-polymerační reakcí
- Chemickou reakcí s tužidlem
- Vytvrzování UV zářením

Malé rozšíření vysokosušinových nátěrových hmot při dokončování materiálů na bázi dřeva, je dáno jejich technologickými vlastnostmi, vyplývající z přírodních zákonů, což omezuje jejich použití. Délka polymerního řetězce představuje významný faktor. Čím je delší polymerní řetězec, tím má vyšší hmotnost a tím poskytuje vláčnost a pružnost filmu.

Velkou nevýhodou při nanášení vysokosušinových nátěrových hmot je nanášení velkých nánosů, tedy silných vrstev nátěrového filmu, které způsobují tvorbu pomerančové kůry (Tesařová a kol. 2010).

## 3.2 Druhy záření

Elektromagnetické vlnění zahrnuje různé druhy záření, tvořící spektrum s vlnami o různé délce. Nejvyšší vlnovou délku mají radiovlny (od několika  $10^3$  do několika  $10^3$  m). Dělí se na vlny radiové, mikrovlny, infračervené, ultrafialové, rentgenové a gama záření. (Matovič, 1993).



Obr.1 Druhy elektromagnetického vlnění -

(<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k11.htm>)

Pro UV laky se na vytvrzení nátěrové hmoty používá ultrafialové záření s délkou zářením od 200 nm do 420 nm.

### 3.2.1 Ultrafialové záření

Ultrafialové záření je elektromagnetické záření, jehož vlnová délka se pohybuje v rozpětí od 100 nm do 420 nm. Z tohoto spektra se na vytvrzování nátěrových hmot schopných radikálovou polymerací se využívá záření vlnové délky od 200 nm do 420 nm (Horák, 1981).

### 3.2.2 UV vytvrzovací lampy

Existují různé typy UV lamp, jako jsou Galiové, železné a rtuťové a LED lampy. Nejčastější zářiče bývají rtuťové, které obvykle zvyšují účinek jednoduchými nebo několikanásobnými reflektory. Jejich funkcí je optimální usměrnění zářiče na plochu dílce. Další rozdělení rtuťových zářičů - nízkotlakové a vysokotlakové zářiče. Technologické tunely mohou být vybaveny oběma typy zářiči, přičemž nejvíce používané jsou vysokotlaké (Trávník, 2003).

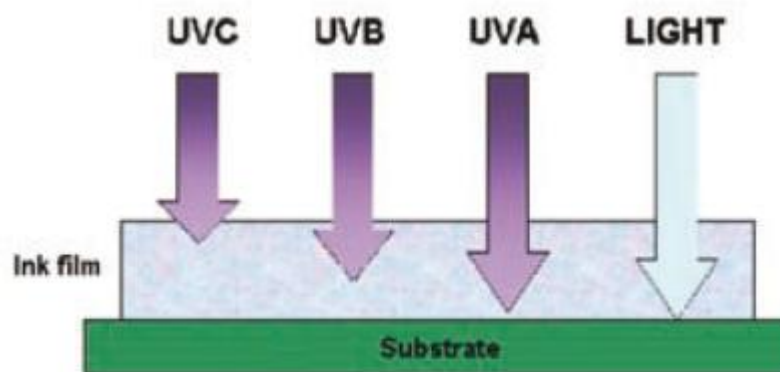
Ultrafialové záření můžeme rozdělit podle prostupnosti do tří skupin:

- krátkovlnné záření je 200 nm – 280 nm (UV – C) – Je to jedno ze dvou záření, který způsobuje vznik ozonu. Krátkovlnné záření je karcinogenní a dokáže proniknout jen několika vrstvami buněk podkladového materiálu. Toto ultrafialové záření je na výrazném ústupu.
- středněvlnné záření je 280 nm – 315 nm (UV – B) – Proniká hlouběji do vrstvy a je zodpovědné za přiměření vytvrzování a to i ve vyšších vrstvách.
- dlouhovlnné záření je 315 nm – 400 nm (420) nm (UV – A) – Je nejméně škodlivé.

Dlouhovlnné záření nejvíce pronikne do materiálu.

Spektrální složení záření od UV lampy je:

- UV – A: 40 – 60 % záření
- UV – B: 30 – 40 % záření
- UV – C: 5 – 20 % záření



Obr. 2 Schéma penetrační hloubky spektrálních rozsahů UV záření - (<http://www.interconti.cz>)

### 3.2.3 Nátěrové hmoty vytvrzované pomocí UV zařízení

V minulosti vévodily nátěrové látky vytvrzované UV zářením z polyesterové pryskyřice. V současné době tato skupina nátěrových látek, při aplikaci na povrchovou úpravu dřeva se značně rozšířila. Mezi pryskyřice vhodné pro vytvrzování UV zářením jsou: epoxyakrylátové, olejové, polyesterakrylátové, akrylakrylátové, polyeterakrylátové a urétanakrylátové (Zemiar a kol. 2003).

Nátěrové hmoty vytvrzované UV zářením tvoří současnou skupinu nátěrových látek pro povrchovou úpravu nábytku a dalších výrobků ze dřeva. Základní filmtvornou složkou je všeobecně nenasycená pryskyřice rozpuštěná v reaktivním rozpouštědle, nebo ve vodných nenasycených oligomerech. Průběh vytvrzování je z chemického hlediska fotochemickou reakcí. Iniciace polyreakce radikálová - polymerace je navozena pomocí fotoiniciátrů, které působením ultrafialového záření odpovídající délky se rozpadají na radikály. Tyto radikály se dále rozkládají na nenasycené dvojité vazby, které obsahují pryskyřice a v reaktivním rozpouštědle anebo v oligomerech způsobující extrémně rychlé vytvrzování nátěrových látek (Trávník, 2008).

Proces vytvrzování, trvající zlomek sekundy, probíhá ve 4 krocích:

- Fotoiniciátor absorbuje UV záření o vlnové délce 200 nm – 400 nm a rozpadá se na vysoce reaktivní radikály.
- Radikály reagují s monomery a oligomery a startují vytvrzovací proces.

- Vyvolaná reakce vede k řetězové polymeraci lakové vrstvy, vytváří se síťová struktura molekul.
- Posledním krokem procesu je do vytvrzování, během něhož nabývá laková vrstva pevnost. Dovytvrzování doznívá ještě asi 24 hodin. Během této doby dochází dále ke zvyšování povrchové tvrdosti a přilnavosti laku nebo barvy (Tesařová a kol. 2008).

Plniče pórů, se používají jako základ pro materiály skoro se 100 % sušinou neobsahující žádné těkavé organické látky. Na vrchních nátěrových látkách vytvrzovaných UV zářením se do směsi přidává 1-2 % těkavých organických látek ve formě aditiv pro zlepšení aplikačních vlastností. Funkci aditiv plní směs esterů, ketonů a aromátů (Hartman a kol. 1988).

Z ekonomického hlediska se jeví jako optimální metoda vytvrzování s použitím fotoiniciátoru a je jednou z nejvíce používaných metod v praxi. Mechanismus tohoto děje spočívá v tom, že působením UV záření se fotoiniciátory, které mají za běžných podmínek stabilní, fotolyticky rozkládají.

Vytvrzování těchto nátěrových látek závisí na:

- Zdroji UV záření
- Intenzitě UV záření
- Volbě druhu a koncentraci fotoiniciátoru

Vytvrzování filmu probíhá nerovnoměrně. Začíná od povrchu nanesené vrstvy nátěrové látky a pronikne jen do takové hloubky, jak pronikne UV záření. Při dané vlnové délce závisí na vlastnosti nátěrové látky (Hartman a kol. 1988).

Vytvrzování nátěrových látek UV zářením doprovází vznik ozonu. Toto tvrzení neplatí pro LED lampy.

Nátěrové filmy vytvrzované UV zářením se vyznačují malou tloušťkou, ale za to velmi dobrými mechanickými a chemickými vlastnostmi (Zemiar a kol. 2009).

Cílem UV transparentní a pigmentové nátěrové hmoty je vytvořit povrchovou úpravu, která vydrží více než 8 let (<http://www.european-coatings.com/Editorial-archive/New-UV-curing-wood-coatings-for-exterior-applications>).

### 3.3 Výhody a nevýhody použití UV laků

#### Výhody UV laků

- malý až žádný obsah VOC
- okamžité vytvrzení všech povrchů
- šetrné k životnímu prostředí
- malá spotřeba energie
- snadná úprava a nastavitelnost intenzity lamp
- nátěrový film neobsahuje žádná nebo jen minimální množství organických rozpouštědel
- vysoká chemická a mechanická odolnost

#### Nevýhody:

- omezenost průmyslového použití
- vysoká investice

### 3.4 Ekologické požadavky

Tyto vlastnosti jsou velmi sledovanou vlastností nátěrové hmoty. Dále jsou těkavé organické látky určeny v zákoně 385/2005 Sb., který se měnil se zákonem o ovzduší.

Podle sbírky zákonů čísla 385/2005 je těkavou organickou látkou VOC jakákoliv sloučenina nebo směs organických sloučenin s výjimkou methanu, jejíž počáteční bod varu je menší nebo roven 250 °C, při normálních podmínkách atmosférického tlaku 101,3 kPa.

#### 3.4.1 Těkavé organické látky - VOC

VOC látky se skládají se z většího množství nízkomolekulárních sloučenin a tzv. fotoiniciátorů, což jsou látky, jež ve styku s UV zářením vyvolávají rychlý přechod nízkomolekulárních sloučenin ve vysokomolekulární.

Těkavé organické látky jsou chemické látky, které za běžných podmínek jak v interiéru, tak i v exteriéru se snadno vypařují a přecházejí do plynného stavu. Z venkovního ovzduší vstupuje do budovy přes 50 % organických těkavých látek. Mají typické aroma, kterým může být pro někoho vůně a pro jiné zápach. Mnohé VOC látky nejsou přírodního původu, jako je (aceton, formaldehyd, benzen atd.)



Vliv těchto látek na člověka může vážně poškodit jeho zdraví. VOC látky ve vyšších koncentracích jsou jedovaté a dále mohou být karcinogenní jako např. benzen.

Škodliviny obsažené v ovzduší jsou největším znečišťovatelem vnitřního a vnějšího prostředí člověka a jsou to VOC látky (těkavé organické sloučeniny). Vzduch nese více druhů škodlivin, avšak právě těkavé organické sloučeniny se ve vztahu k lidskému zdraví a celému životnímu prostředí ukazují se značně negativními účinky. Z tohoto důvodu se společnost v poslední době stále více snaží zkoumat šíři vlivu VOC látek na lidský organismus. Tyto VOC látky se vyskytují i v nátěrových hmotách. (Jokl, 2002)

### **3.5 Stavebně truhlářské výrobky**

Za stavebně truhlářské výrobky považujeme okna, dveře, podlahy, schody, pergoly, ploty, terasy, atd.

#### **3.5.1 Požadavky na stavebně truhlářské výrobky**

Požadavky na stavebně truhlářské výrobky neurčuje žádná norma, ale řídíme se podle norem, které řeší problematiku stavebnictví nebo vnitřního a vnějšího nábytku. V případě povrchových úprav slouží jako východiska technické listy jednotlivých nátěrových hmot. V těchto technických listech jsou popsány postupy, které je nutné dodržet pro zajištění záruky na povrchovou úpravu.

Pro použití nátěrových hmot do exteriéru se využije průměrná tloušťka nánosu > 60 um což je vysoká tloušťka nánosu a do interiéru se použije střední tloušťka nánosu od 20 um do 60 um (ČSN EN 927-2).

Výsledná kvalita povrchové úpravy vytvrzované UV zářením nezávisí na způsobu nanášení, ale také na:

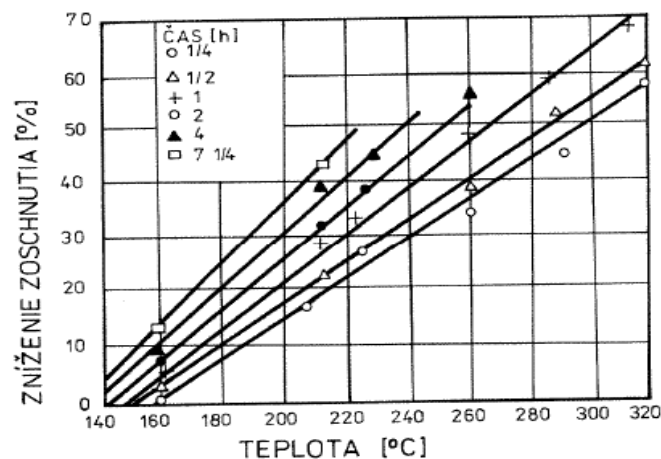
- Na kvalitě povrchu (substrátu)
- Na nanesené vrstvě laku
- Druhu nátěrových hmot a jejich parametrům
- Na době klidu naneseného laku před jeho vytvrzením (Tesařová a kol. 2008)

### 3.6 Modifikace dřeva

Cílem modifikace dřeva je zachovat pozitivní vlastnosti (pevnost, tvrdost, atd.) a eliminaci negativních vlastností jako je zvýšení odolnosti vůči dřevokaznému, dřevo zbarvujícímu hmyzu a proti houbám a plísním. Modifikaci dělíme na tepelnou, chemickou, hydrotermickou, v elektromagnetické poli, pomocí impregnační látky, atd. Při modifikaci se mění chemické složení dřeva. Dřevo začíná degradovat při 165 °C. Pro výrobu thermowoodu je důležitá tepelná modifikace dřeva (Reimprecht, 2008).

#### 3.6.1 Tepelná modifikace dřeva

Nejjednodušší a relativně nejlacinější metoda je tepelná úprava dřeva. Při tepelné úpravě se vytvoří chemické vazby, které stabilizují rozměry. Stabilitu dosáhneme zahříváním dřeva na teplotu 160 °C až 315 °C bez přístupu vzduchu. Takto stabilizované dřevo se zbarví do hnědé barvy a sníží hmotnost. Pevnost a tvrdost dřeva však poklesne přibližně o 25 % až 30 %. Při působení vysokých teplot je tento rozdíl výraznější (Požgaj a kol. 1997).



Obr. 3 Znázorňující vzorky borovice v závislosti snižování sesychání na teplotě (Požgaj a kol. 1997).

#### 3.6.2 Výroba thermowoodu

Samostatnou skupinou technologických operací s dřevní hmotou jsou termické operace rostlého dřeva při teplotách od 150 °C do 260 °C. Když záměrně thermowood

upravujeme, tak se mění jeho chemické složení. Dřevo se při tom stává hydrofobnější a současně odolnější vůči biologickým škůdcům.

Hlavním záměrem termických modifikací rostlého dřeva na výrobu thermowoodu, je připravit materiál takový, který by splňoval tyto kritéria: nižší hygroskopicitu, vyšší rozměrovou stabilitu, vyšší odolnost vůči dřevokazným houbám, dřevozbarvujícím houbám a plísním, vyšší odolnost vůči dřevokaznému hmyzu a mořským škůdcům, zachování popřípadě i zlepšení mechanických vlastností jako pevnost, tuhost a tvrdost, zachování anebo zlepšení estetické stránky jako se barva, textura, lesk a minimální podíl trhlín (Reinrecht, 2011).

### **3.6.3 Lepení Thermowoodu**

Při lepení thermowoodu se používají lepidla typu polyuretanové a fenol-formaldehydové. Použitím disperzního lepidla jsou podstatně slabší adhezní síly, což vysvětlujeme jejich menším průnikem do smáčivých hydrofobních povrchů u thermowoodu (Reinrecht, 2011).

### **3.6.4 Dokončování thermowoodu povrchovou úpravou**

Na vzduchu se thermowood projevuje jako klasické tepelně neupravené dřevo a vlivem UV paprsků ze slunečního záření thermowood šedne a praská, povrchová úprava je tedy vhodná. Proti následným změnám barvy a proti případnému praskání je možné použít lazury transparentní nebo s pigmentem a přírodní oleje. Tepelná úprava dřeva snížila nasákavost a odlupčivost nátěrů. Nátěry ovlivňuje chybějící pryskyřice ve dřevě. Povrchově upravený thermowood nátěrovými hmotami se lépe čistí ([http://www.hqterasy.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6&Itemid=8](http://www.hqterasy.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=8)).

### **3.6.5 Thermowood a jeho vlastnosti**

Dřevo po tepelné úpravě nabývá charakteristickou vůní podobnou karamelu. Příčinou jsou těkavé organické látky vzniklé rozpadem hemicelulóz.

Thermowood s vyšším podílem těkavých látek v určitém smyslu zapáchá a emituje VOC emise, což bývá někdy překážkou a jeho případné rozšíření do interiéru budov.

Zvýšená trvanlivost a zlepšená rozměrová stabilita thermowoodu se využívá především v exteriéru (Reinprecht, 2011).

## 4 POSTUP ŘEŠENÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro vypracování bakalářské práce byl vypracován tento postup řešení:

1. Analyzovat vlastnosti thermowoodu z hlediska dokončování pomocí nátěrových hmot vytvrzované UV záření.
2. Analyzovat druhy UV záření aplikované při vytvrzování NH.
3. Analyzovat požadavky povrchové úpravy stavebně – truhlářské výroby.
4. Analyzovat způsoby vytvrzování nátěrových hmot pomocí UV záření.
5. Analyzovat ekologické vlastnosti thermowoodu a povrchové úpravy vytvrzované pomocí UV záření.
6. Pomocí experimentálního měření stanovit fyzikálně – mechanické, chemické a ekologické vlastnosti NH vytvrzované pomocí UV záření.
7. Experimentálně stanovit množství nánosu.
8. Experimentálně stanovit nutnou dávku záření.
9. Příprava vzorků thermowoodu.
10. Dokončování povrchové úpravy vzorků thermowoodu.
11. Vyhodnocení dosažených výsledků z experimentálního měření.
12. Experimentálně stanovit postup řešení dokončování nátěrových hmot pomocí UV záření a ověřit jej.
13. Zhodnocení přínosů do praxe.

## 5 ZKUŠEBNÍ MATERIÁLY ZKUŠEBNÍ NORMY, POSTUPY, POUŽITÉ STROJE, PŘÍSTROJE A POMŮCKY

### 5.1 Použitý materiál

Jako použitý materiál pro experimentální část bylo použito dřevo thermowoodu. Tento materiál byl pro zkoušky vyroben z borovice na začátku září roku 2014. Na konci září byly zhotoveny vzorky o rozměrech 300 mm x 150 mm a tloušťce 13 mm (obr. 4 str. 14) a pak byly klimatizovány ve školním skladě přibližně 1 měsíc. Plocha jednoho dílce je 0,045 m<sup>2</sup>.



*Obr. 4* Vzorek thermowoodu před nanášením nátěrové hmoty (Luňáček – vlastní foto 2015).

#### 5.1.1 Použité nátěrové hmoty

Byly použity nátěrové hmoty, které vytvrzují pomocí UV lamp.

- UV plnič transparentní 100 % UV tvrditelný tmel Beckry Fill UK 1300
- Základní lak UV transparentní adhezní základ Beckry Seal UL 1141
- Vrchní lak 100 % UV tvrditelná transparentní nátěrová hmota

### 5.2 Použité zkušební stroje a pomůcky při měření

Při experimentálním měření a v průběhu nanášení byly použity tyto stroje a pomůcky.

Na nanášení povrchové úpravy:

- Na vytvrzení povrchové úpravy byl použit přístroj FUSION UV SYSTEMS, INC. (obr. 5 str. 15)
  - o Nejmenší rychlost posuvu stroje na UV vytvrzování je 1,038 m/min při intenzitě záření 3091,9 mJ/cm<sup>2</sup>
  - o Nejvyšší rychlost posuvu stroje na UV vytvrzování je 8,4 m/min při intenzitě záření 424,4 mJ/cm<sup>2</sup>
- Laboratorní váhy na zvážení vzorků
  - o Maximální hmotnost 3000 g s přesností 0,1g
  - o Minimální hmotnost 0,5g s přesností 0,01g
- Nanášecí pravítko



Obr. 5 Zařízení FUSION UV SYSTEMS INC. na vytvrzování UV laků (Luňáček vlastní foto 2015)

Na experimentální měření byly použity tyto přístroje:

- Při stanovení tvrdosti mikrovrdoměrem podle ČSN 67 3074 byl použit stroj Buchholz (obr. 6 str. 16)
  - o Měřicí rozsah od 0 do 25 mm
  - o Odchylka  $\pm 2 \mu\text{m}$
- Při stanovení drsnosti povrchu byl použit přístroj SJ- 201 (obr. 7 str. 16)
- Stanovení tvrdosti tužkami podle ČSN 60 3075 (obr. 8 str. 17)

- Komora pro sběr emisí VOC byl použit přístroj VOC- test 1000 (obr. 13 str. 11)
- Plynový chromatogram (obr. 13 str. 18) - s hmotnostním spektrometrem, typ - Agilent 5973

Network Mass selective detector s termální desorpcí typu: Model TD 4 – pro stanovování VOC sloučenin ze vzduchu odebraného z komory VOC – test 1000.

- Byko cut universal (obr. 8 str. 17)
- Přístroj pro tahově – pevnostní zkoušky (obr. 12 str. 18)



Obr. 6 Buchholtz (Luňáček – vlastní foto 2015)



Obr. 7 Přístroj SJ- 201 na měření drsnosti povrchu (Luňáček – vlastní foto 2015)





Obr. 8 Tužky na zkoušku rytí tužkou a přípravek na držení tužek (Luňáček – vlastní foto 2015)



Obr. 9 Řezný nástroj Byko cut universal (Luňáček – vlastní foto 2015).



Obr. 10 Zkouška odolnosti proti studeným kapalinám (Luňáček – vlastní foto 2015).



*Obr. 11* Komora z přístroje VOC- test 1000 na měření emisí (Luňáček – vlastní foto 2015).



*Obr. 12* Přístroj pro tahově – pevnostní zkoušky (Luňáček – vlastní foto 2015).



*Obr. 13* Plynový chromatograf (Luňáček – vlastní foto 2015).

## 5.3 ZKUŠEBNÍ METODY

### **ČSN 67 3074 Nátěrové hmoty, stanovení vnikající tvrdosti nátěru mikrotvrdoměrem na povrchu thermowoodu**

Tato norma popisuje zkoušku, ve které se zjišťuje tvrdost thermowoodu. Odpor, který vzniká při vtlačení tělesa do thermowoodu je způsob thermowoodu odolávat deformačním silám spojený s vnikáním do tělesa. Měří se hloubka průniku v um tělesa do zkušebního tělíska po dobu 30s a při zatížení 1N. Měření bylo provedeno přístrojem Buchholz – (obr. 6 str. 16).

### **Stanovení drsnosti povrchu přístrojem SJ-201**

Tato metoda byla provedena přístrojem SJ-201 MITUTOYO – (obr. 7 str. 16). Na zkoušených vzorcích je nejprve nutné označit místa měření, aby se docílilo co nejpresnějšího měření, protože měření bylo prováděno před nanesením povrchové úpravy a po nanesení. Princip spočívá v tom, že přístroj SJ-201 položíme na zkušební vzorek a pomocí výsuvného snímače vybaveného diamantovým hrotem snímá povrch vyhodnocovaného tělíska. Přístroj vyhodnocuje Ra (střední aritmetická odchylka posuzovaného vzorku), Rz (největší výška nerovnosti povrchu) a Rq (Průměrná kvadratická odchylka profilu). Přístroj měří v  $\mu\text{m}$ .

Na každém vzorku thermowoodu bylo provedeno 5 měření po směru vláken a 5 měření přes vlákna. Tato měření byla provedena celkem na 17 vzorcích. Na každém ze vzorků byly provedeny celkem 3 měření po odstupech času. První před povrchovou úpravou, druhá po nanesení povrchové úpravy a poslední po uplynutí 28 dnů od nánosu povrchové úpravy Při každém měření bylo získáno Ra. Dalšími měřenými hodnotami jsou Rq a Rz. Hodnota Rq je citlivější na nežádoucí výstupky a prohlubně kontrolovaného povrchu, a proto zpravidla vykazuje vyšší hodnoty než Ra. Parametr Rq je využíván především v optickém průmyslu.

### **ČSN 60 3075 Metoda stanovení povrchové tvrdosti nátěru tužkami**

Tato zkouška se provádí podle ČSN 67 3075. Při této zkoušce se zjišťuje, která ze sady tužek Hartmunth KOH-I-NOOR (obr. 8 str. 17) dle normy ČSN 90 1111 se vtlačí do thetmowoodu a do NH a udělá do něj rýhu. Výsledkem je stupeň odpovídající číslu tužky, která první porušila vrchní vrstvu povrchové úpravy.

### **ČSN ISO 2409 Nátěrové hmoty, mřížková zkouška**

Tato zkouška byla provedena pomocí řezného stroje Byko cut universal (obr. 9 str. 17). Jde o zjištění jakou má NH přilnavost k podkladovému materiálu. Pomocí řezného nástroje uděláme pravouhlou mřížku s určitým počtem řezných nástrojů 6 v každém směru a rozestup hrotů je 2 mm. Přes mřížku nalepíme lepicí pásku, tak aby byla s jednou sadou zářezů rovnoběžně. Nakonec přitlačíme lepicí pásku a do 1 s strhneme pod uhem 60°. Tato zkouška byla provedena podle normy ČSN EN ISO 2409. Vyhodnocení se udává ve stupních hodnocení.

### **ČSN EN 24624 Stanovení přilnavosti nátěrového filmu odtrhovou zkouškou**

Tato zkouška byla provedena pomocí přístroje pro tahově – pevnostní zkoušky (obr. 12 str. 18) Jde o zjištění síly, kterou musíme odtrhnout přilepená tělíška na podkladový materiál. Na podkladový materiál přilepíme zkušební válečky. Na jeho plochu nanese rovnoměrnou vrstvu lepidla. Po nanesení lepidla umístíme zkušební válečky na podkladový materiál s povrchovou úpravou a zatíží se závažím po dobu 24 hodin. Po uplynutí této doby se prořízne nátěrový film kolem zkušební válečku pomocí ořezávacího přípravku. Potom se na zkušební váleček našroubuje prstenec z přístroje pro tahově – pevnostní zkoušky. Po našroubování prstence se otáčí ramenem trhačím zařízením po směru hodinových ručiček a otáčí se tak dlouho, dokud nedojde k odtrhnutí. Výsledkem je síla, při níž došlo k odtržení v MPa.

### **Metodika stanovení obsahu emisí VOC**

Tato zkouška byla provedena na stroji VOC- test 1000. Jde o stanovení složení emitovaných emisí VOC vzorkem thermowoodu bez vlivu okolního prostředí. Zkušební prostor je dán přesnými podmínkami prostředí. Klimatizační podmínky v komoře byly s 50 % vlhkostí a teplota v komoře byla 23 °C a v těchto podmínkách se nechá zkušební materiál klimatizovat až do doby prvního zachycení unikajících emisí. Na (obr. 11 str. 18) jsou vidět vzorky v komoře. Tato zkouška byla provedena podle normy ČSN EN ISO 16000-9.

### **ČSN EN 12720 Zkoušení odolnosti proti studeným kapalinám**

Na zkušební povrch thermowoodu se umístí zkušební kapaliny (voda, kyselina octová, olivový olej atd.) nasáklý papírem a přikryje se plastovými kelímky (obr. 10

str. 17). Po uplynutí dané doby, která stanovuje norma a odstraní se papír, zkušební povrch se omyje a vysuší. Po uschnutí povrchu se povrch vyhodnotí. Tato zkouška byla provedena podle normy ČSN EN 12720. Vyhodnocení se udává ve stupních hodnocení.

## 6 PŘÍPRAVA VZORKŮ

### 6.1 Příprava podkladového materiálu

Hranoly z thermowoodu byly rozřezány, zhotovány a nakonec byly protaženy protahovačkou. Následující úkol byl slepit thermowood na rozměr 300 mm x 150 mm a o tloušťce 18 mm. Použité lepidlo bylo polyuretanové. Po vytvrzení lepidla se vzorky znovu protáhly. Dalším úkonem bylo broušení na pásové brusce, kdy se prvně použil brusný pás o číslu zrnění 80, následující pás byl použit o číslu zrnění 120.

### 6.2 Postup nanášení nátěrové hmoty

Po broušení a klimatizace ve školním skladě byla provedena zkouška drsnosti povrchu, rytí tužkou a stanovení tvrdosti pomocí mikrotvrdoměru. Po těchto zkouškách byla provedena povrchová úprava na thermowoodu. Pomocí nanášecího pravítka byl nanesen jako první UV plnič a bylo to pomocí UV záření, které emitovaly rtuťové lampy FUSION UV SYSTEMS, INC. (obr. 5 str. 15) vytvrzeno. Průměrná vrstva nánosu u UV plniče činila 164,05 g/m<sup>2</sup> z (tab. 1 a 16 str. 22 a 45). Po vytvrzení se provedlo broušení po laku brusným papírem o hrubosti 400. Po přebroušení byl nanesen základní lak pomocí nanášecího pravítka, který měl průměrný nános 38,68 g/m<sup>2</sup> z (tab. 2 a 17 str. 23 a 46) a následovalo vytvrzení povrchové úpravy. Po vytvrzení bylo provedeno přebroušení povrchové úpravy. Posledním krokem bylo pomocí nanášecího pravítka nanesení vrchního laku, který měl průměrnou vrstvu nánosu 31,14 g/m<sup>2</sup> z (tab. 3 a 18 str. 23 a 47).

Tab. 1 Průměrné hodnoty o UV plniči

Vlastnost	Hmotnost thermowoodu	Hmotnost naneseného laku před vytvrzením	Hmotnost naneseného laku po vytvrzení	Rozdíl naneseného laku před a po vytvrzení	Nános
Jednotky	g	g	g	g	g/m <sup>2</sup>
Průměr	243,49	7,38	7,30	0,08	164,05

Tab. 2 Průměrné hodnoty základního laku

Vlastnost	Hmotnost thermowoodu + UV plnič	Hmotnost naneseného laku před vytvrzením	Hmotnost naneseného laku po vytvrzení	Rozdíl naneseného laku před a po vytvrzení	Nános
Jednotky	g	g	g	g	g/m <sup>2</sup>
Průměr	252,13	1,74	1,71	0,03	38,68

Tab. 3 Průměrné hodnoty vrchního laku

Vlastnost	Hmotnost thermowoodu	Hmotnost naneseného laku před vytvrzením	Hmotnost naneseného laku po vytvrzení	Rozdíl naneseného laku před a po vytvrzení	Nános
Jednotky	g	g	g	g	g/m <sup>2</sup>
Průměr	253,60	1,40	1,37	0,03	31,14

## 7 VÝSLEDKY

### 7.1 Výsledky tvrdosti nátěru pomocí mikrotvrdoměru

Po přípravě vzorků byla na povrchu připravených vzorcích změřena tvrdost před a po nanesení NH byla znovu změřena tvrdost.

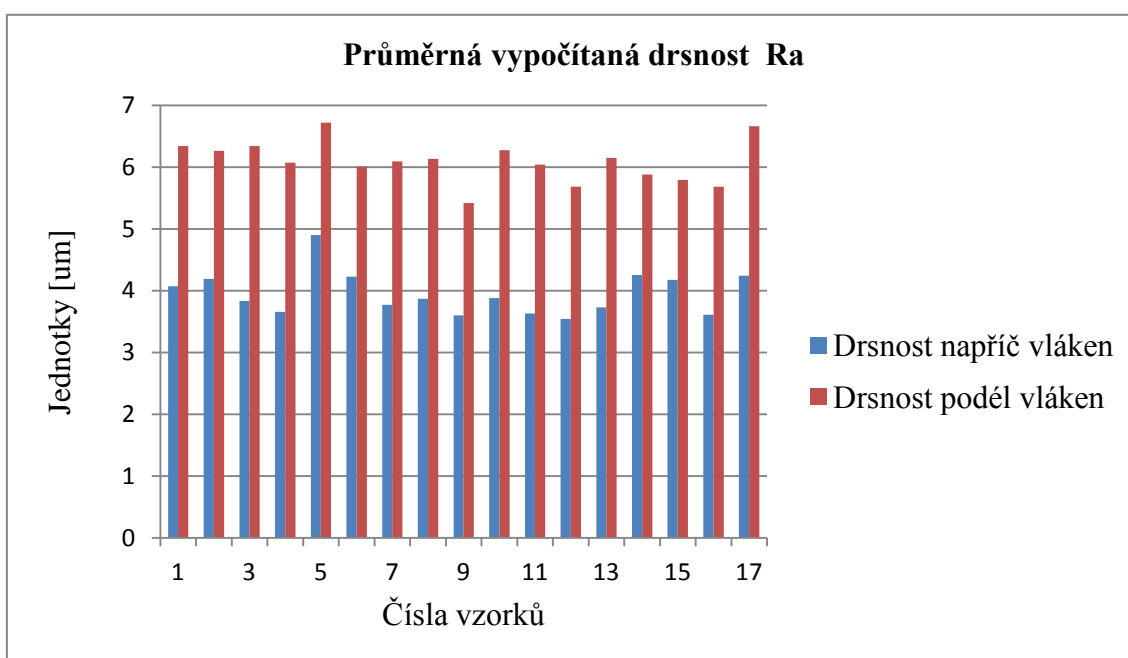
Tab. 4 Průměrné výsledky tvrdosti pomocí mikrotvrdoměru

	Bez nátěrové hmoty	S nátěrovou hmotou
Průměr ze	Jednotky v $\mu\text{m}$	Jednotky v $\mu\text{m}$
vzorků	21,53	5,53

### 7.2 Výsledky drsnosti povrchu

Tab. 5 Průměrné drsnosti povrchu Ra bez povrchové úpravy

Drsnost povrchu bez povrchové úpravy napříč vláken	Drsnost povrchu bez povrchové úpravy podél vláken
Průměr Ra v $\mu\text{m}$	Průměr Ra v $\mu\text{m}$
3,95	6,09

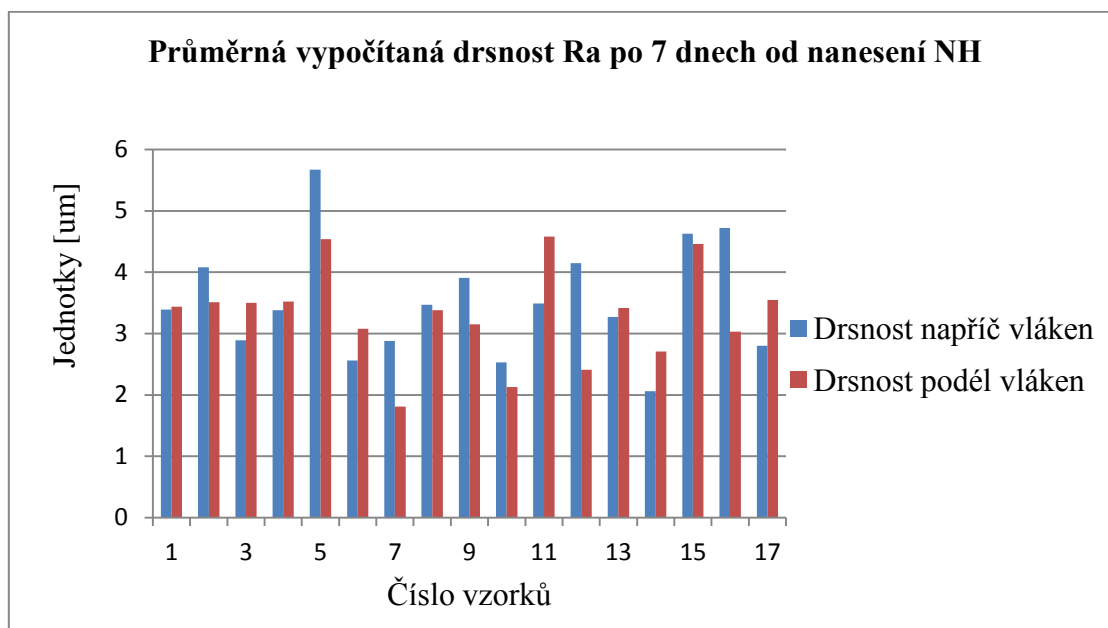


Obr. 14 Průměrné hodnoty drsnosti Ra bez povrchové úpravy.



Tab. 6 Průměrné drsnosti povrchu Ra po 7 dnech od nánosu nátěrové hmoty.

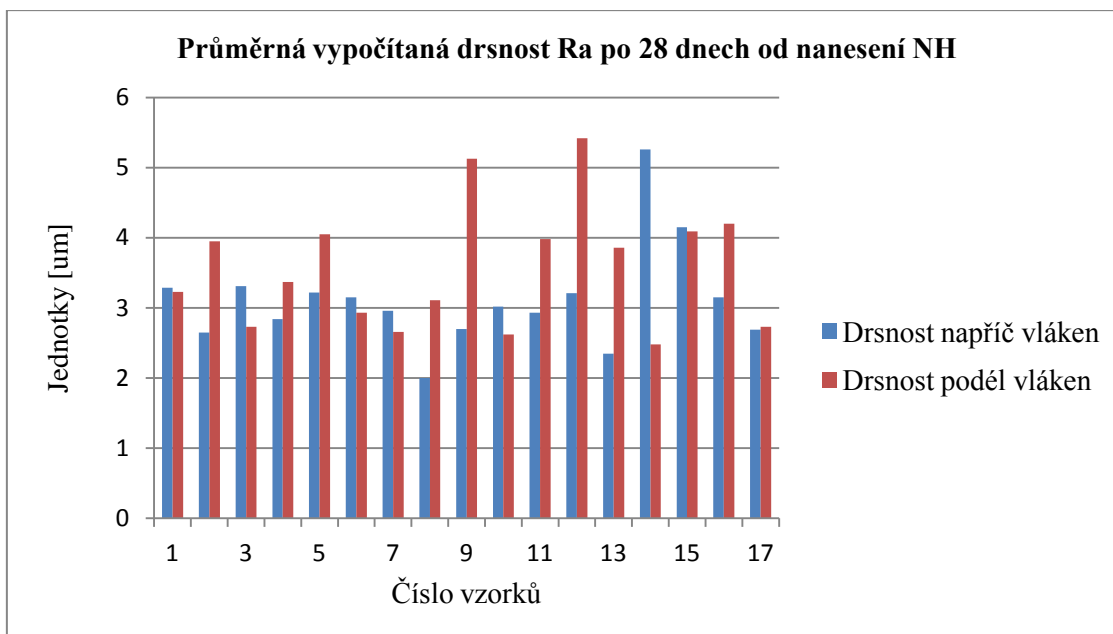
Drsnost povrchu po 7 dnech od nanesení NH napříč vláken	Drsnost povrchu po 7 dnech od nanesení NH podél vláken
Průměr Ra v um	Průměr Ra v um
3,52	3,31



Obr. 15 Průměrné hodnoty drsnosti Ra po 7 dnech od nanesení nátěrové hmoty.

Tab. 7 Průměrné drsnosti povrchu Ra po 28 dnech od nánosu nátěrové hmoty.

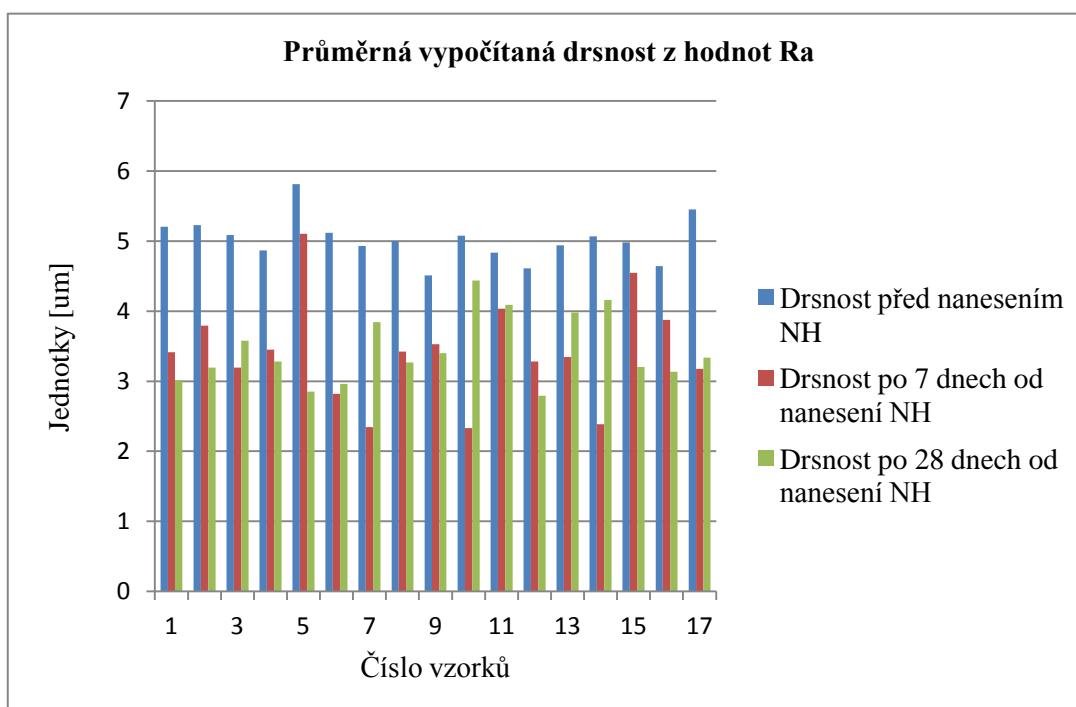
Drsnost povrchu po 28 dnech od nanesení NH napříč vláken	Drsnost povrchu po 28 dnech od nanesení NH podél vláken
Průměr Ra v um	Průměr Ra v um
3,11	3,56



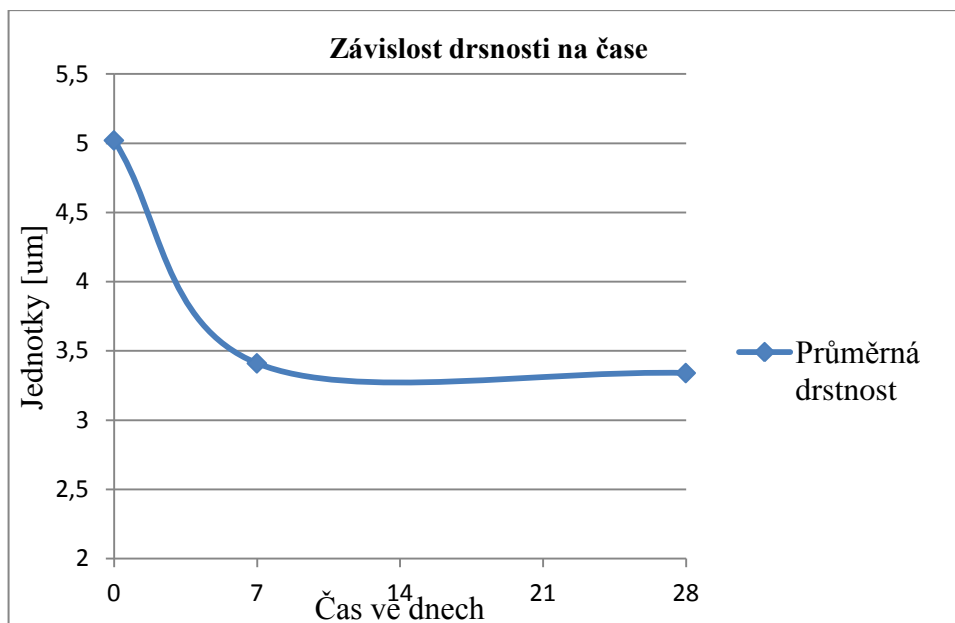
Obr. 16 Průměrné hodnoty drsnosti Ra po 28 dnech od nanesení nátěrové hmoty.

Tab. 8 Porovnání průměrných hodnot drsnosti v čase.

Doba t	Průměrné hodnoty z obou směrů
Před nanesením NH	5,02 $\mu\text{m}$
Po 7 dnech od nanesení NH	3,41 $\mu\text{m}$
po 28 dnech od nanesení NH	3,34 $\mu\text{m}$



Obr. 17 Porovnání průměrné drsnosti v čase



Obr. 18 Závislost drsnosti na čase

Zhodnocení výsledků:

Z výsledků zobrazených na obr. 18 vyplývá, že po nanesení nátěrové hmoty dochází k výraznému poklesu drsnosti povrchu a po dovytvrzení nátěrového filmu nedochází u vzorků dokončovaných akrylátovými nátěrovými hmotami vytvrzovanými UV zářením již k výraznému poklesu ani nárůstu drsnosti.

### 7.3 Stanovení vlastností povrchové úpravy thermowoodu UV zářením vytvrzované nátěrovými hmotami

V této kapitole se ověřovaly fyzikálně – mechanické vlastnosti povrchové úpravy vytvrzované UV zářením a výsledky jsou uvedeny v tabulkách.

#### 7.3.1 Výsledky měření tvrdosti tužkami

Tab. 9 Průměrné výsledky tvrdosti tužek.

	Bez NH	S NH
	stupeň	stupeň
Průměr	2	13

### 7.3.2 Výsledky nátěrové hmoty, mřížková zkouška

Tab. 10 Průměrné výsledky přilnavosti nátěrového filmu – mřížková zkouška

Průměr ze vzorků	Klasifikace
	1

### 7.3.3 Stanovení přilnavosti nátěrového filmu odtrhovou zkouškou

Tab. 11 Průměrné výsledky odtahové zkoušky

Přilnavost nátěrového filmu v MPa	Průměr ze vzorků
	1,26

### 7.3.4 Zkoušení odolnosti proti studeným kapalinám

Tab. 12 Průměrné výsledky odolnosti povrchu proti studeným kapalinám

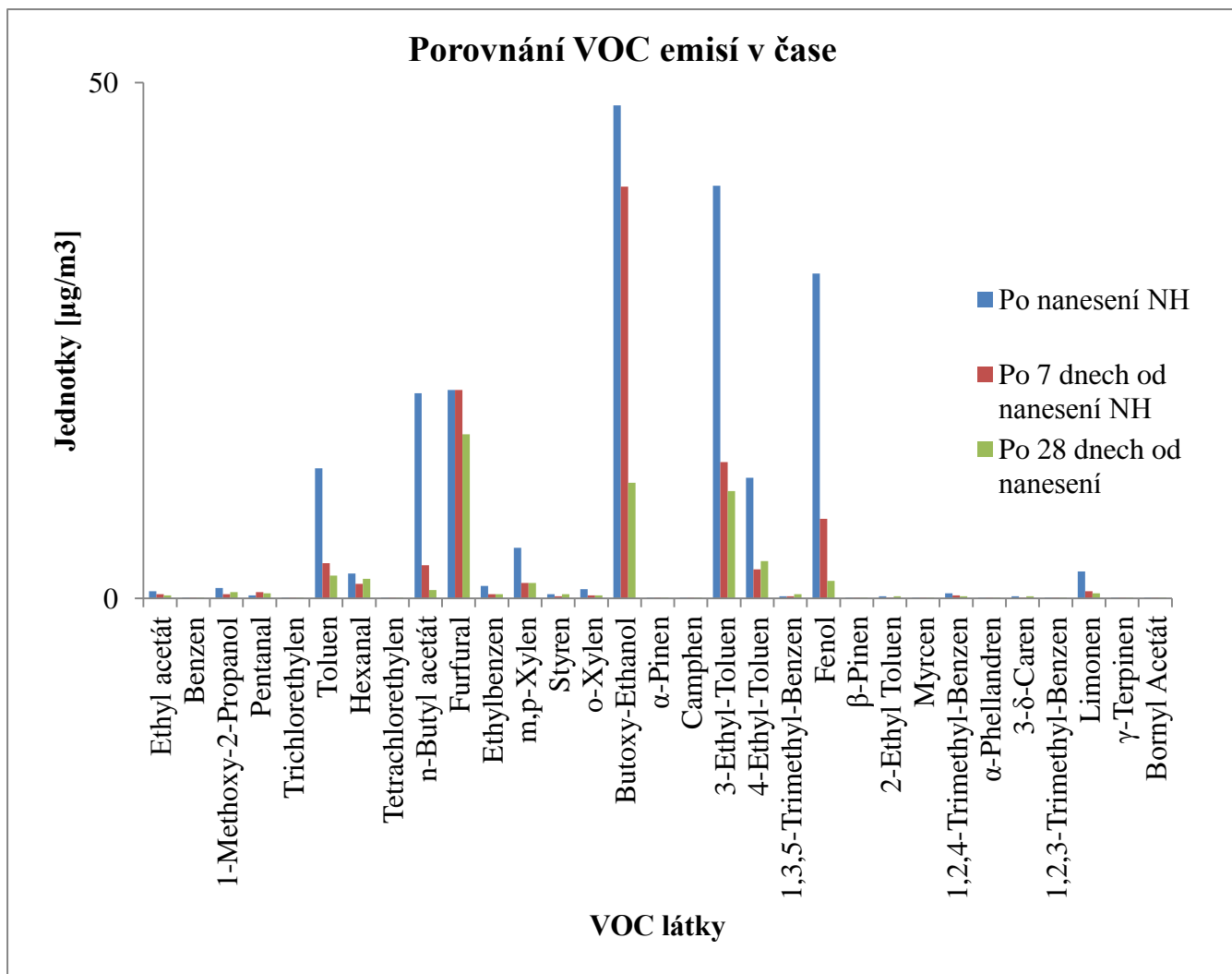
Chemické látky	Doba působení v h	Stupeň
Voda	6	5
Ethylalkohol 48%	6	5
Kys. Octová 8%	6	5
kys. Citronová 10%	6	5
Ovocná šťáva	6	5
Červené víno	6	5
Olibový olej	6	5
Čaj	6	5
Káva	6	5
Čistící prostředek	6	5
Fyziologický roztok	1	5

## 7.4 Výsledky obsahu emisí VOC

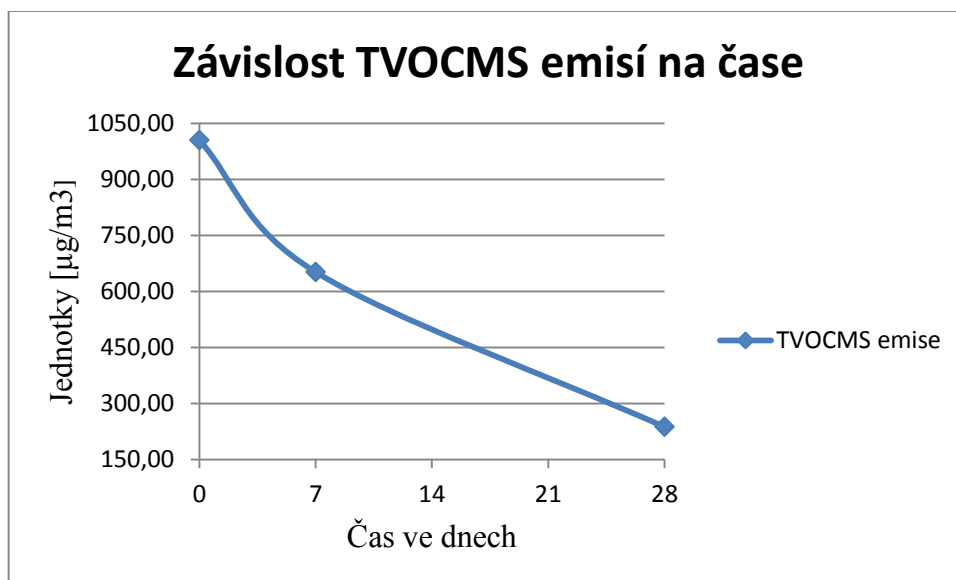
V rámci řešení bakalářské práce byl vyhodnocen i vliv povrchové úpravy dřeva thermowood na životní prostředí. V rámci hodnocení ekologického vlivu bylo kvantitativní a kvalitativní množství organických těkavých látek emisí emitovaných povrchovou úpravou UV zářením vytvrzovaných nátěrových hmot na dřevu thermowood. Výsledky měření emisí VOC jsou obsaženy v tab. 13.

Tab. 13 Zjištěné hodnoty emisí VOC emitované vzorkem modifikovaného borového dřeva s povrchovou úpravou.

Číslo	Sloučenina	po 24 hodinách Průměrný výsledek ± rozšířená nejistota	po 168 hodinách Průměrný výsledek ± rozšířená nejistota	po 672 hodinách Průměrný výsledek ± rozšířená nejistota	Hygienický limit je dán vyhláškou 6/2002 předpis č. 6/2003 sbírky, která stanoví hygienické limity
	Jednotka	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
1	Ethyl acetát	(0.7 ± 0.2)	(0.4 ± 0.1)	(0.3 ± 0.1)	NLK
2	Benzen	(0.1 ± 0.03)	(0.1 ± 0.03)	(0.1 ± 0.03)	7
3	1-Methoxy-2-Propanol	(1 ± 0.3)	(0.4 ± 0.1)	(0.6 ± 0.2)	NLK
4	Pentanal	(0.3 ± 0.1)	(0.6 ± 0.2)	(0.5 ± 0.2)	NLK
5	Trichlorethylen	< 0.1	< 0.1	< 0.1	150
6	Toluen	(12.6 ± 3.8)	(3.4 ± 1)	(2.2 ± 0.7)	300
7	Hexanal	(2.4 ± 0.7)	(1.4 ± 0.4)	(1.9 ± 0.6)	NLK
8	Tetrachlorethylen	(0.1 ± 0.03)	(0.1 ± 0.03)	(0.1 ± 0.03)	150
9	n-Butyl acetát	(19.9 ± 6)	(3.2 ± 1)	(0.8 ± 0.2)	NLK
10	Furfural	(20.2 ± 6.1)	(20.2 ± 6.1)	(15.9 ± 4.8)	NLK
11	Ethylbenzen	(1.2 ± 0.4)	(0.4 ± 0.1)	(0.4 ± 0.1)	200
12	m,p-Xylen	(4.9 ± 1.5)	(1.5 ± 0.5)	(1.5 ± 0.5)	200***
13	Styren	(0.4 ± 0.1)	(0.2 ± 0.1)	(0.4 ± 0.1)	40
14	o-Xylen	(0.9 ± 0.3)	(0.3 ± 0.1)	(0.3 ± 0.1)	200***
15	Butoxy-Ethanol	(47,8± 17.7)	(39.9 ± 12)	(11.2 ± 3.4)	NLK
16	α-Pinen	(0.1 ± 0.03)	< 0.1	(0.1 ± 0.03)	NLK
17	Camphen	< 0.1	< 0.1	< 0.1	NLK
18	3-Ethyl-Toluen	(40 ± 12)	(13.2 ± 4)	(10.4 ± 3.1)	NLK
19	4-Ethyl-Toluen	(11.7 ± 3.5)	(2.8 ± 0.8)	(3.6 ± 1.1)	NLK
19	1,3,5-Trimethyl-Benzen	(0.2 ± 0.1)	(0.2 ± 0.1)	(0.4 ± 0.1)	NLK
20	Fenol	(31.5 ± 9.5)	(7.7 ± 2.3)	(1.7 ± 0.5)	NLK
21	β-Pinen	< 0.1	< 0.1	< 0.1	NLK
22	2-Ethyl Toluen	(0.2 ± 0.1)	(0.1 ± 0.03)	(0.2 ± 0.1)	NLK
23	Myrcen	< 0.1	< 0.1	< 0.1	NLK
24	1,2,4-Trimethyl-Benzen	(0.5 ± 0.2)	(0.3 ± 0.1)	(0.2 ± 0.1)	NLK
25	α-Phellandren	< 0.1	< 0.1	< 0.1	NLK
26	3-δ-Caren	(0.2 ± 0.1)	(0.1 ± 0.03)	(0.2 ± 0.1)	NLK
27	1,2,3-Trimethyl-Benzen	(0.1 ± 0.03)	(0.1 ± 0.03)	(0.1 ± 0.03)	NLK
28	Limonen	(2.6 ± 0.8)	(0.7 ± 0.2)	(0.5 ± 0.2)	NLK
29	γ-Terpinen	< 0.1	< 0.1	< 0.1	NLK
30	Bornyl Acetát	< 0.1	(0.1 ± 0.03)	(0.1 ± 0.03)	NLK
31	TVOCMS	(1005 ± 301)	(652 ± 196)	(238 ± 71)	NLK



Obr. 19 VOC emise u thermowoodu



Obr. 20 Závislost TVOC emisí na čase

## 8 ŘEŠENÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Z dosažených zpracovaných výsledků je vidět, že nejlepších fyzikálně-mechanických vlastností se dosáhlo při nánosu  $142,89 \text{ g/m}^2$  u UV plniče a průměrná hodnota nánosu je  $164,05 \text{ g/m}^2$ . U základního laku se dosáhlo nejlepších výsledků na  $44,77 \text{ g/m}^2$  a průměrná hodnota nánosu základního laku je  $38,68 \text{ g/m}^2$ . Vrchní lak dosáhl nejlepších vlastností při  $39,56 \text{ g/m}^2$  a průměrná hodnota vrchního laku je  $31,14 \text{ g/m}^2$ .

### Řešení technologického postupu:

#### 1. Operace – příprava povrchu

Jako první operace je broušení thermowoodu. Jako první použijeme brusný papír o číslu zrnění 80, který slouží ke srovnání plochy. Dalším brusným papír použijeme o číslu zrnění 150 a nakonec použijeme brusný papír o číslu zrnění 240.

#### 2. Operace – nanášení UV plniče vytvrzovaného UV zářením.

Na tuto operaci použijeme navalování. Dávkovací válec je kovový. Pokud se má zajistit rovnoměrný musí být válec hladký a nepoškozený. Tato operace má nános  $150 \text{ g/m}^2$  a rychlost posuvu bude  $10\text{-}20 \text{ m/min}$ . Označení UV plniče je transparentní  $100\%$  UV tvrditelný tmel s názvem Beckry Fill UK 1300.

#### 3. Operace – vytvrzování UV zářiči

Intenzita záření byla stanovena na  $3091,9 \text{ mJ/cm}^2$  a při rychlosti posuvu  $1 \text{ m/min}$ .

#### 4. Operace – broušení UV plniče

Na broušení UV plniče použijeme brusný papír o hrubosti 400.

#### 5. Operace – nanášení základního laku vytvrzovaný UV zářením.

Na tuto operaci použijeme navalování s nánosem  $50 \text{ g/m}^2$  a označením základního laku je UV transparentní adhezni základ Beckry Seal UL 1141 a rychlost posuvu je  $10\text{-}20 \text{ m/min}$ .

#### 6. Operace – vytvrzování základního laku UV zářiči

Vytvrzování základního laku bude intenzita záření  $3091,9 \text{ mJ/cm}^2$  a při rychlosti posuvu  $1 \text{ m/min}$ .

#### 7. Operace – broušení základního laku

Na broušení základního laku použijeme brusný papír o hrubosti 400.

8. Operace – nanášení vrchního laku vytvrzovaný UV zářením.

Na tuto operaci použijeme navalování a má nános  $40 \text{ g/m}^2$  s označením vrchního laku 100 % UV - tvrditelná transparentní nátěrová hmota a rychlost posuvu je 10-20 m/min.

9. Operace - vytvrzování vrchního laku UV zářiči

Vytvrzení vrchního laku je intenzita záření na  $3091,9 \text{ mJ/cm}^2$  a při rychlosti posuvu 1 m/min.

10. Operace – stohování

### **Vyhodnocení vlastností povrchové úpravy vytvrzované UV zářením.**

Navržený technologický postup povrchové úpravy vytvrzované UV zářením byl ověřen na thermowoodu. Následně byly ověřené fyzikálně-mechanické vlastnosti povrchových úprav podle navržené technologie.

*Tab. 14* Fyzikálně mechanické vlastnosti nově navržených povrchových úprav

Druh zkoušky	Průměr ze vzorků
Přilnavost nátěrového filmu - odtrhová zkouška v MPa	1,26
Přilnavost nátěrového filmu - mřížková zkouška	1
Stanovení tvrdosti pomocí tužek	13

*Tab. 15* Fyzikálně mechanické vlastnosti nově navržených povrchových úprav

Chemické látky	Doba působení v h	Stupeň
Voda	6	5
Ethylalkohol 48%	6	5
Kys. Octová 8%	6	5
kys. Citronová 10%	6	5
Ovocná šťáva	6	5
Červené víno	6	5
Olibový olej	6	5
Čaj	6	5
Káva	6	5
Čistící prostředek	6	5
Fyziologický roztok	1	5



Nátěrový film byl zkoušen čtyřmi zkouškami a to na přilnavosti nátěrového filmu odtrhovou zkouškou, stanovení přilnavosti nátěrového filmu mřížkovou zkouškou, metoda stanovení povrchové tvrdosti nátěru tužkami a odolnost nátěrového filmu vůči studeným kapalinám.

## 9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

### **Výsledky tvrdosti nátěru pomocí mikrotvrdoměru**

Z výsledků v tab. 4 na str. 24 v je vidět, že po nanesení nátěrové hmoty se výrazně zvýšila tvrdost u vzorků. Thermowood bez povrchové úpravy dosahoval průměrné hodnoty 21,53  $\mu\text{m}$  a po nanesení povrchové úpravy vyšla průměrná hodnota 5,53  $\mu\text{m}$ .

### **Výsledky drsnosti povrchu**

Z výsledků v tab. 5 - 8 a obr. 14 - 17 na str. 24 - 27 a je vidět, že nejhorší drsnost měl thermowood po obroušení bez povrchové úpravy. Z tab. 5 na str. 24 je vidět, že průměrná hodnota drsnosti napříč vláken je 3,95  $\mu\text{m}$  a v podélném směru je 6,09  $\mu\text{m}$ . Jako druhá nejlepší drsnost dopadla po 7 dnech od nanesení transparentní nátěrové hmoty vytvrzované UV zářením, když její průměrná hodnota napříč vláken je 3,52  $\mu\text{m}$  a v podélném směru 3,31  $\mu\text{m}$ . Jako nejlepší drsnost byla po 28 dnech od uplynutí nanesení nátěrové hmoty transparentní vytvrzované UV zářením, když průměrná hodnota napříč vláken byla 3,11  $\mu\text{m}$  a v podélném směru 3,56  $\mu\text{m}$ .

### **Výsledky měření tvrdosti tužkami**

Z výsledků v tab. 9 na str. 27 lze konstatovat, že po nanesení nátěrové hmoty se výrazně zvýšila tvrdost tužky. Thermowood bez povrchové úpravy dosahoval průměrné tvrdosti tužky 2 a po nanesení povrchové úpravy vyšla průměrná tvrdost tužky 13.

### **Výsledky nátěrové hmoty, mřížková zkouška**

Z výsledků v tab. 10 na str. 27 je vidět, že průměrná klasifikace mřížkové zkoušky vyšla 1.

### **Výsledky stanovení přilnavosti nátěrového filmu odtrhovou zkouškou**

Z výsledků, které bylo dosaženo v rámci přilnavosti nátěrového filmu k thermowoodu jsou uvedeny v tab. 11 na str. 27 a vyšly 1,26 MPa a splňuje dané požadavky, když přípustná hodnota je  $> 0,75$  MPa.

### **Výsledky obsahu emisí VOC**

Z výsledků v tab. 13 na str. 29 je patrné, že výsledky obsahu emisí nejsou vyhovující pro dané zákony a to i pro stavebně – truhlářskou výrobu. Hygienický limit přesáhly např. benzen, toluen, trichloretylen atd.

### **Výsledky zkoušení odolnosti proti studeným kapalinám**

Na základě získaných výsledků v tab. 12 ze str. 28 lze říci, že vyšel 5 stupeň tedy nejvyšší stupeň u všech typů chemických látek a to bez žádného viditelného poškození.

### **Přínos do praxe**

Na základě výzkumu přínos do praxe u thermowoodu se bude týkat spíše exteriérového využití. Thermowoodu dokončovaný nátěrovými hmotami vytvrzovanými UV zářením je možno použít na pergoly, zahradní nábytek, venkovní terasy, plotové latky a na venkovní lavičky.

## 10 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsou zpracovány výsledky technologického postupu pro dokončování tepelně upraveného dřeva pomocí nátěrových hmot, které vytvrzují pomocí UV záření pro stavebně – truhlářskou výrobu, jejich požadavky se neustále zvyšují a proto jsou na výrobce nátěrových hmot vytvrzovaných UV zářením kladeny vysoké nároky. Dále byly zkoumány fyzikálně – mechanické vlastnosti na vzorcích tepelně upraveného dřeva bez povrchové úpravy a s povrchovou úpravou.

Byly vytvořeny vzorky, na kterých byly prováděny zkoušky. Na základě provedených zkoušek a naneseného nánosu byla zvolena technologie na dokončování tepelně upraveného dřeva nátěrovými hmotami, které vytvrzují pomocí UV záření. Veškeré provedené zkoušky byly provedeny a posuzovány podle příslušných norem, které jsem v seznamu norem.

Pro využití thermowoodu v praxi je na exteriérový použití jako jsou pergoly, zahradní nábytek, venkovní terasy, plotové laťky a na venkovní obložení stěn.

## 11 SUMMARY

In this bachelor thesis presents the results of the technological process of finishing thermowood using painting material that hardening through UV radiation for building – joints, their demands are constantly increasing and so are the manufacturer of paints material UV radiation high demands. They were examined physical - mechanical properties on samples of surface thermowood without working and with surface working.

Samples were created, on the which tests are carried out. On the basis of the tests performed and the applied coating technology was selected finishing thermowood painting which material hardening by UV radiation. All of the were conducted laboratory tests and compared the according standards and their demands. These standards are listed in the list of used standards.

Thermowood for practice for use on exterior applications such as gazebos, garden furniture, outdoor patios, fence slats and outdoor wall peeling.

## 12 SEZNAM ZKRATEK

NH – nátěrová hmota

UV – ultrafialové záření

ESB – záření volných elektronů

UV – A – ultrafialové záření s vlnovou délkou  $\lambda = 315 - 400$  nm

UV – B – ultrafialové záření s vlnovou délkou  $\lambda = 280 - 315$  nm

UV – C – ultrafialové záření s vlnovou délkou  $\lambda = 200 - 280$  nm

VOC – organická těkavá látka

ČSN – česká technická norma

Ra – střední aritmetická odchylka posuzovaného profilu

Rz – největší výška nerovnosti povrchu

### 13 SEZNAM LITERATURY

HARTMAN, Emil, Bohumil SVOBODA a Ladislav LUKAVSKÝ. *Povrchové úpravy nátěrovými hmotami v nábytkářském průmyslu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988, 254 s.

HORÁK, Zdeněk a František KRUPKA. *Fyzika: Příručka pro vysoké školy technického směru*. 3.vyd. Praha: SNTL, 1981, 1129 s.

JARUŠEK, Jaroslav. *Technologie nátěrových hmot*. 1. vyd. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1987, 189 s.

JOKL, Miloslav. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 261 s., xvi s. barev. obr. příl. ISBN 80-200-0928-0.

MATOVIC, Anton. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993, 212 s. ISBN 80-7157-086-9.

POLÁŠEK, J. *Zkoušení nátěrových hmot a povrchových úprav. Část I. Stavebně truhlářské výrobky*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. 149 s. ISBN 80-7157-659-x.

POŽGAJ, Alexander. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 1.vyd. / Bratislava: Príroda, 1993, 485 s. ISBN 80-07-00600-1

REINPRECHT, Ladislav a Zuzana VIDHOLDOVÁ. *Termodřevo: Thermowood*. Česká republika: Šmíra-Print, 2011, 89 s. ISBN 978-80-87427-05-7.

TESAŘOVÁ, Daniela a Vratislav ZÁVADA. *Trendy v nábytkářství a bydlení 2008: sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference pořádané při příležitosti oslav 90. výročí založení Lesnické a dřevařské fakulty MZLU v Brně : 11.-12. listopadu 2008, Křtiny*. 1. vyd. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2008, 338 s. ISBN 978-80-7375-235-4.

TESAŘOVÁ, Daniela. *Ekologické povrchové úpravy: monografie*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010, 126 s. ISBN 978-80-7375-388-7.

TESAŘOVÁ, Daniela. *Povrchové úpravy dřeva: [lakování, moření, lazurování a lepení]*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014, 134 s. ISBN 978-80-247-4715-6

TRÁVNÍK, Arnošt. *Technologické operace výroby nábytku*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2005, 178 s. ISBN 80-7157-865-7.

TRÁVNÍK, Arnošt. *Výroba dřevěného nábytku*. 2., přeprac. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003, 198 s. ISBN 80-7157-653-0.

ZEMIAR, Ján. *Technológia výroby nábytku*. Vyd. 1. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009, 286 s. ISBN 978-80-228-2064-6.



## 14 INTERNETOVÉ ZDROJE

Druhy elektromagnetického záření, [online] citováno 9. 4. 2015. Dostupné na <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k11.htm>

Schéma penetrační hloubky spektrálních rozsahů UV záření, [online] citováno 15. 4. 2015. Dostupné na <http://www.interconti.cz>

New UV-curing wood coatings for exterior applications, [online] citováno 10. 4. 2015. Dostupné na <http://www.european-coatings.com/Editorial-archive/New-UV-curing-wood-coatings-for-exterior-applications>

Thermowood – tepelně upravené dřevo, [online] citováno 10. 4. 2015. Dostupné na [http://www.hq-terasy.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6&Itemid=8](http://www.hq-terasy.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=8)

## 15 SEZNAM NOREM A ZÁKONU

385/2005 - zákon o ochraně ovzduší

ČSN 67 3074 - nátěrové hmoty, stanovení vnikající tvrdosti nátěru mikrotvrdoměrem

ČSN 60 3075 - metoda stanovení tvrdosti tužkami

ČSN EN ISO 16000-9 - norma o vnitřním ovzduší

ČSN ISO 2409 - nátěrové hmoty, mřížková zkouška

ČSN EN 12720 - zkoušení odolnosti proti studeným kapalinám

ČSN EN 24624 - stanovení přilnavosti nátěrového filmu odtrhovou zkouškou

ČSN EN 927-2 - Povlakové materiály a povlakové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí - Část 2: Soubor požadavků

Vyhláška 6/2002 a vyhláška č. 6/2003 Sb. které se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb

## 16 SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1</i> Průměrné hodnoty o UV plniči .....	22
<i>Tab. 2</i> Průměrné hodnoty základního laku.....	23
<i>Tab. 3</i> Průměrné hodnoty vrchního laku .....	23
<i>Tab. 4</i> Průměrné výsledky tvrdosti pomocí miktotvrdoměru.....	24
<i>Tab. 5</i> Průměrné drsnosti povrchu Ra bez povrchové úpravy .....	24
<i>Tab. 6</i> Průměrné drsnosti povrchu Ra po 7 dnech od nánosu nátěrové hmoty. ....	25
<i>Tab. 7</i> Průměrné drsnosti povrchu Ra po 28 dnech od nánosu nátěrové hmoty. ..	25
<i>Tab. 8</i> Porovnání průměrných hodnot drsnosti v čase. ....	26
<i>Tab. 9</i> Průměrné výsledky tvrdosti tužek. ....	27
<i>Tab. 10</i> Průměrné výsledky přilnavosti nátěrového filmu – mřížková zkouška ...	28
<i>Tab. 11</i> Průměrné výsledky odtahové zkoušky.....	28
<i>Tab. 12</i> Průměrné výsledky odolnosti povrchu proti studeným kapalinám .....	28
<i>Tab. 13</i> Zjištěné hodnoty emisí VOC emitované vzorkem modifikovaného borového dřeva s povrchovou úpravou.....	29
<i>Tab. 14</i> Fyzikálně mechanické vlastnosti nově navržených povrchových úprav .	32
<i>Tab. 15</i> Fyzikálně mechanické vlastnosti nově navržených povrchových úprav .	32
<i>Tab. 16</i> Hodnoty o UV plniči. ....	45
<i>Tab. 17</i> Hodnoty základního laku. ....	46
<i>Tab. 18</i> Hodnoty vrchního laku.....	47

## 17 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Druhy elektromagnetického vlnění.....	4
<i>Obr. 2</i> Schéma penetrační hloubky spektrálních rozsahů UV záření.....	6
<i>Obr. 3</i> Znázorňující vzorky borovice v závislosti snižování sesychání na teplotě. .....	10
<i>Obr. 4</i> Vzorek thermowoodu před nanášením nátěrové hmoty .....	14
<i>Obr. 5</i> Zařízení FUSION UV SYSTEMS INC. na vytvrzování UV laků.....	15
<i>Obr. 6</i> Buchholtz .....	16
<i>Obr. 7</i> Přístroj SJ- 201 na měření drsnosti povrchu .....	16
<i>Obr. 8</i> Tužky na zkoušku rytí tužkou a přípravek na držení tužek .....	17
<i>Obr. 9</i> Řezný nástroj Byko cut universal.....	17
<i>Obr. 10</i> Zkouška odolnosti proti studeným kapalinám .....	17
<i>Obr. 11</i> Komora z přístroje VOC- test 1000 na měření emisí .....	18
<i>Obr. 12</i> Přístroj pro tahově – pevnostní zkoušky.....	18
<i>Obr. 13</i> Plynový chromatograf.....	18
<i>Obr. 14</i> Průměrné hodnoty drsnosti Ra bez povrchové úpravy. ....	24
<i>Obr. 15</i> Průměrné hodnoty drsnosti Ra po 7 dnech od nanesení nátěrové hmoty. .....	25
<i>Obr. 16</i> Průměrné hodnoty drsnosti Ra po 28 dnech od nanesení nátěrové hmoty. .....	26
<i>Obr. 17</i> Porovnání průměrné drsnosti v čase .....	26
<i>Obr. 18</i> Závislost drsnosti na čase.....	27
<i>Obr. 19</i> VOC emise u thermowoodu.....	30
<i>Obr. 20</i> Závislost TVOC emisí na čase.....	30

## 18 SEZNAM PŘÍLOH

Tab. 16 Hodnoty o UV plniči.

Číslo vzorku	Hmotnost thermowoodu	Hmotnost laku před vytvrzením	Hmotnost laku po vytvrzení	Rozdíl před a po vytvrzení	Nános
Jednotky	g	g	g	g	g/m <sup>2</sup>
1.	249,99	6,96	6,87	0,09	154,67
2.	250,04	6,14	6,07	0,07	136,44
3.	238,20	12,06	12,01	0,05	268,00
4.	238,87	7,03	6,94	0,09	156,22
5.	235,94	7,25	7,18	0,07	161,11
6.	242,17	6,56	6,47	0,09	145,78
7.	245,45	5,79	5,74	0,05	128,67
8.	242,01	6,40	6,34	0,06	142,22
9.	228,23	8,44	8,33	0,11	187,56
10.	257,85	6,92	6,84	0,08	153,78
11.	232,33	7,72	7,63	0,09	171,56
12.	239,08	10,62	10,52	0,10	236,00
13.	254,37	6,43	6,34	0,09	142,89
14.	247,82	8,43	8,34	0,09	187,33
15.	236,19	6,25	6,17	0,08	138,89
16.	257,76	6,76	6,68	0,08	150,22
17.	243,06	5,74	5,66	0,08	127,56
Průměr	243,49	7,38	7,30	0,08	164,05

Tab. 17 Hodnoty základního laku.

Číslo vzorku	Hmotnost thermowoodu + UV plnič	Hmotnost laku před vytvrzením	Hmotnost laku po vytvrzení	Rozdíl před a po vytvrzení	Nános v
Jednotky	g	g	g	g	g/m <sup>2</sup>
1.	255,86	1,31	1,29	0,02	29,11
2.	256,11	1,69	1,67	0,02	37,56
3.	270,20	1,83	1,79	0,04	40,67
4.	245,81	3,02	2,99	0,03	67,11
5.	243,14	1,67	1,64	0,03	37,11
6.	248,64	2,01	1,98	0,03	44,67
7.	251,19	1,65	1,62	0,03	36,67
8.	248,35	1,47	1,43	0,04	32,67
9.	236,62	1,15	1,14	0,01	25,56
10.	264,75	1,38	1,34	0,04	30,67
11.	239,99	1,84	1,82	0,02	40,89
12.	249,60	2,18	2,10	0,08	48,44
13.	260,75	1,68	1,63	0,05	37,33
14.	256,16	2,17	2,14	0,03	48,22
15.	242,36	1,19	1,16	0,03	26,44
16.	264,49	1,81	1,78	0,03	40,22
17.	248,07	1,54	1,53	0,01	34,18
Průměr	252,13	1,74	1,71	0,03	38,68

Tab. 18 Hodnoty vrchního laku.

Číslo vzorku	Hmotnost thermowoodu + NH	Hmotnost laku před vytvrzením	Hmotnost laku po vytvrzení	Rozdíl před a po vytvrzení	Nános
Jednotky	g	g	g	g	g/m <sup>2</sup>
1.	257,17	1,48	1,45	0,03	32,89
2.	257,75	1,23	1,20	0,03	27,33
3.	271,96	1,67	1,64	0,03	37,11
4.	248,77	1,58	1,53	0,05	35,11
5.	244,71	1,18	1,15	0,03	26,22
6.	250,96	0,68	0,66	0,02	15,11
7.	252,81	1,85	1,80	0,05	41,11
8.	249,78	1,67	1,63	0,04	37,11
9.	237,76	1,79	1,75	0,04	39,78
10.	266,09	1,12	1,10	0,02	24,89
11.	241,82	1,60	1,57	0,03	35,56
12.	251,70	1,93	1,89	0,04	42,89
13.	262,32	1,78	1,77	0,01	39,56
14.	258,29	1,16	1,13	0,03	25,78
15.	243,49	1,14	1,10	0,04	25,33
16.	266,27	0,88	0,86	0,02	19,56
17.	249,60	1,08	1,05	0,03	24,00
Průměr	253,60	1,40	1,37	0,03	31,14