

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Bakalářská práce

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Zvyšování odolnosti transparentního akrylátového nátěrového
systému na dřevě v exteriéru pomocí nanomateriálů**

Bakalářská práce

Autorka práce: Alexandra Horáčková

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Dvořák

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Alexandra Horáčková

Dřevařství

Dřevařství

Název práce

Zvyšování odolnosti transparentního akrylátového nátěrového systému na dřevě v exteriéru pomocí nanomateriálů

Název anglicky

Increasing of durability of transparent acrylic exterior coating on wood using nanomaterials

Cíle práce

Cílem práce je zvýšit životnost transparentního nátěrového systému a vyhodnotit účinnost nanomateriálů vložených do akrylátového vodouředitelného nátěru na dřevo pro exteriérové využití.

Harmonogram průběžných cílů práce:

- červenec – září 2020: literární rešerše
- září – říjen 2020: příprava vzorků
- listopad – prosinec 2020: měření v laboratořích
- leden – únor 2021: vyhodnocení
- duben 2021: odevzdání závěrečné práce

Metodika

Transparentní nátěrové systémy na dřevě v exteriéru nemají dostatečně dlouhou životnost. Výzkum zvyšování jejich celkové odolnosti neustále probíhá. Práce je zaměřena na využití nanomateriálů vložených do vícevrstvého akrylátového vodouředitelného nátěrového systému na dřevo pro exteriérové využití. Testování proběhne metodou urychleného umělého stárnutí a budou hodnoceny vybrané povrchové charakteristiky ošetřeného dřeva. Výsledkem bude doporučení tvorby transparentního nátěrového systému na dřevo s využitím nanotechnologií a s prodlouženou celkovou životností v exteriéru.

Doporučený rozsah práce

40 s.

Klíčová slova

dřevo, nanomateriály, transparentní nátěry, stárnutí

Doporučené zdroje informací

Evans, P.D. et al. (2015): The Search for Durable Exterior Clear Coatings for Wood. *Coatings* 5, 830-864. doi:10.3390/coatings5040830

HORSKÝ, D. – VYSOKÁ ŠKOLA LESNÍCKA A DREVÁRSKA (ZVOLEN, SLOVENSKO). FAKULTA DREVÁRSKA. *Hydrotermická úprava a ochrana dřeva : část "Ochrana dřeva"*. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska, 1987.

Pánek, M. (2015): Nátěry na dřevo a jejich testování, FLD-CZU v Praze, 1. vydání, 111 s.

Šimůnková, K., Oberhofnerová, E., Reinprecht, L., Pánek, M., Podlena, M., Štěrbová, I. (2019): Durability of selected transparent coatings applied on Siberian and European larch during artificial weathering test. *Coatings*, 9, 39; doi:10.3390/coatings9010039

Veigel, S. et al. (2017): Simple Green Route to Performance Improvement of Fully Bio-Based Linseed Oil Coating Using Nanofibrillated Cellulose. *Polymers* 9 (425). doi:10.3390/polym9090425

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Ondřej Dvořák

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 13. 7. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 21. 10. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 09. 04. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci „Zvyšování odolnosti transparentního akrylátového nátěrového systému na dřevě v exteriéru pomocí nanomateriálů“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce.

Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1997 Sb. O vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Praze dne 19.4. 2021

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Ondřeji Dvořákovi za odborné vedení a praktické informace a poznatky při tvorbě této bakalářské práce.

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je testování zvýšení odolnosti akrylátového nátěru pomocí nanomateriálů. Jedná se o 2% koncentrace nanočástic přidaných do nátěru IMPRANAL PROFI lazura na dřevo od firmy Stachema. Jedná se o nanočástice ZnO a ZrO₂. Byl proveden vždy jeden nátěr s nanočásticemi a po vytvrnutí další dva nátěry bez nanočástic. V dalších dvou variantách byla do prvního nátěru s nanočásticemi přidána nanosíťka. Nátěry byly aplikovány na modřínové dřevo. Polovina modřínových vzorků byla vystavena umělému stárnutí s použitím fluorescenčního UV záření a vody. Experiment trval 9 týdnů (1512 hodin). Předmětem testování byla barevná stálost, lesk, kontaktní úhel (nedestruktivní zkoušky), tvrdost pomocí vrypu tužek, tvrdost podle Brinella a adheze nátěru (destruktivní zkoušky). Byly zaznamenány vstupní hodnoty (0 h), kontrolní hodnoty po 1. týdnu (168 h), po 3. týdnu (504 h) po 6. týdnu (1008 h) a závěrečném 9. týdnu (1512 h). Závěrem jsem na všech vzorcích provedla destruktivní i nedestruktivní zkoušky s tím, že první polovina vzorků byla bez umělého stárnutí a druhá polovina po 1512 hodinách umělého stárnutí.

Klíčová slova:

Dřevo, nanomateriály, transparentní nátěry, stárnutí

Abstract

This bachelor thesis's subject is testing acrylic paint resistance using nanomaterials. 2 % concentration of nanoparticles were added into a stain on wood IMPANAL PROFI from the firm Stachema. It included nanoparticles ZnO and ZrO₂. One coating was made with nanomaterials, after the first coating dried another two were added on top without nanomaterials. In the next two variants we added nanogrid to the first coating. Coatings were applied on larch wood. One half of the larch wood was aged artificially by the usage of fluorescent UV radiation and water. The experiment lasted 9 weeks (1512 hours). The subjects of testing were colour stability, gloss, contact angel (non-destructive test), hardness by scratching in pencils, Brinell hardness and adhesion of the coating (destructive tests). Input values were recorded at 0 hours, control values after 1 week (168 hours), then after 3 (504 hours) and 6 weeks (1008 hours), the final values were recorded in the 9th week (1512 hours). In the end I did destructive and non-destructive tests on the samples with the fact that one-half wasn't aged artificially and the other half was after 1512 hours of artificial ageing.

Keywords: Wood, nanomaterials, transparent paint, ageing

Obsah

Úvod.....	17
Cíl práce.....	18
1. Rozbor problematiky – teoretická část.....	18
1.1. Modřín opadavý (Larix decidua).....	18
1.2. Charakteristika dřevin – chemické složení dřeva.....	21
1.2.1. Hlavní složky dřeva.....	21
1.2.1.1. Celulóza.....	21
1.2.1.2. Hemicelulóza.....	21
1.2.1.3. Lignin.....	22
1.2.2. Doprovodné složky dřeva (akcesorické složky dřeva).....	23
1.2.2.1. Anorganické látky.....	23
1.2.2.2. Sacharidy.....	24
1.2.2.3. Fenolické látky.....	25
1.3. Přirozená trvanlivost dřeva.....	25
1.4. Abiotické degradace dřeva.....	26
1.4.1. Atmosférické degradace.....	26
1.4.2. Hlavní mechanismy rozkladu dřeva.....	27
1.5. Chemická ochrana dřeva.....	28
1.5.1. Faktory ovlivňující proimpregnování dřeva.....	28
1.5.2. Požadavky na dřevo určené k impregnaci.....	29
1.5.3. Nátěry na dřevěný materiál.....	29
1.5.3.1. Definice nátěrových látek.....	30
1.5.3.2. Základní klasifikace nátěrových látek.....	30
1.5.3.3. Vytvrzování a tvorba nátěrových filmů.....	31

1.5.3.4. Akrylové nátěry.....	32
1.5.3.5. Nátěrové látky na bázi nanočástic.....	32
1.6. Technika nanášení nátěrů.....	33
1.6.1. Nanášení štětcem.....	33
1.6.2. Nanášení stříkáním.....	33
1.6.3. Ošetření máčením.....	33
1.7. Nanotechnologie – Nanočástice.....	34
1.7.1. Oxid zinečnatý.....	34
1.7.2. Oxid zirkoničitý.....	35
1.7.3. Technologie Nanospider™.....	36
1.7.3.1. Výhody technologie Nanospideru™.....	37
1.8. Testování nátěrů v exteriéru.....	38
1.8.1. Urychlené stárnutí nátěrů na dřevo využívaných v exteriéru.....	38
2. Materiál a metodika.....	41
2.1. Vzorčky dřeva.....	41
2.2. Nátěry a jejich nanášení.....	41
2.3. Nanosítka.....	43
2.4. Měření.....	44
2.4.1. Měření a teorie barevných změn dle ISO 7724.....	44
2.4.2. Lesk podle ČSN EN ISO 2813.....	46
2.4.3. Kontaktní úhel smáčení.....	47
2.4.4. Tvrdost nátěrů dle ČSN EN ISO 15184.....	49
2.4.5. Měření tvrdosti nátěru podle Brinella dle ČSN EN ISO 6506.....	50
2.4.6. Adheze nátěru k povrchu dle normy ČSN EN 3114.....	51
2.5. Testy stárnutí.....	52

2.6. Statistické metody.....	53
3. Výsledky a diskuze.....	54
3.1. Výsledky.....	54
3.1.1. Změna barvy.....	54
3.1.2. Změna lesku.....	56
3.1.3. Změna kontaktního úhlu smáčení.....	58
3.1.4. Tvrdost nátěru dle ČSN EN ISO 15184.....	60
3.1.5. Tvrdost nátěru podle Brinella.....	62
3.1.6. Adheze nátěru k povrchu.....	64
3.2. Diskuze.....	67
3.2.1. Barva.....	67
3.2.2. Lesk.....	68
3.2.3. Kontaktní úhel.....	68
3.2.4. Tvrdost nátěru dle ČSN EN ISO 15184.....	68
3.2.5. Tvrdost nátěru dle Brinella.....	68
3.2.6. Adheze nátěru k povrchu.....	68
4. Závěr.....	69
5. Seznam použitých zdrojů.....	70

Seznam obrázků

Obrázek 1 Celobiosa	21
Obrázek 2 Stavební jednotky hemicelulóz.....	22
Obrázek 3 Chemický vzorec ligninu.....	23
Obrázek 4 Princip Nanospideru TM	37
Obrázek 5 Nanospider.....	37
Obrázek 6 Komora pro urychlené stárnutí Q-LAB.....	39
Obrázek 7 Princip funkce přístroje v komoře s UV zářivkami.....	40
Obrázek 8 Příprava vzorků	41
Obrázek 9 Nanočástice ZnO	42
Obrázek 10 Nanočástice ZrO ₂	42
Obrázek 11 Akrylátový nátěr	42
Obrázek 12 Vážení nanočástic	42
Obrázek 13 Zasilikonovaná čela	42
Obrázek 14 Kyselina mravenčí	43
Obrázek 15 Kyselina octová	43
Obrázek 16 Magnetická míchačka.....	43
Obrázek 17 PA6 Ultramid B24	43
Obrázek 18 Znázornění prostorového modelu L* a* b*.....	45
Obrázek 19 Rozsah barevní difference ΔE^*	45
Obrázek 20 Spektrofotometr	46
Obrázek 21 Leskoměr	47
Obrázek 22 Kontaktní úhel smáčivosti	47
Obrázek 23 Měření kontaktního úhlu	48
Obrázek 24 Nanášení kapky	48
Obrázek 25 Přístroj pro měření kontaktního úhlu.....	49
Obrázek 26 Vozíček pro měření tvrdosti tužkou	49
Obrázek 27 Sada tužek.....	49
Obrázek 28 Stupnice tvrdosti tužek	50
Obrázek 29 Průběh měření.....	50
Obrázek 30 Princip Brinell	50
Obrázek 31 Výsledná hodnota měření	51
Obrázek 32 Přístroj pro měření tvrdosti.....	51

Obrázek 33 Čištění spoje okolo terčiku	52
Obrázek 34 Dvousložkové lepidlo ALTECO Clear	52
Obrázek 35 Nalepené terčiky	52
Obrázek 36 "Adhesion tester" Coming Plus	52
Obrázek 37 Vzorky v komoře pro umělé stárnutí.....	53
Obrázek 38 Tvrdosti tuh	61
Obrázek 39 M-ZN-B IX. Týden	67
Obrázek 40 M-Z-B IX. Týden	67
Obrázek 41 M-DN-B IX. Týden	67
Obrázek 42 M-D-B IX. Týden	67
Obrázek 43 M-AK IX. Týden	67
Obrázek 44 M-ZN-B I. Týden	67
Obrázek 45 M-Z-B I. Týden	67
Obrázek 46 M-DN-B I. Týden	67
Obrázek 47 M-D-B I. Týden.....	67
Obrázek 48 M-AK I. Týden.....	67

Seznam tabulek

Tabulka 1 Barevná diference ΔE^* po prvním týdnu.....	54
Tabulka 2 Změna lesku	57
Tabulka 3 Změna kontaktního úhlu	59
Tabulka 4 hodnoty tvrdosti nátěru dle tužky	61
Tabulka 5 tvrdost podle Brinella bez stárnutí	62
Tabulka 6 tvrdost podle Brinella stárnutí.....	62
Tabulka 7 Adheze nátěru k povrchu	65

Seznam rovnic

Rovnice 1 Výpočet barevné diference	44
Rovnice 2 Výpočet aritmetického průměru.....	53

Seznam grafů

Graf 1 I. TÝDEN stárnutí	55
Graf 2 Celková změna barvy	55
Graf 3 Změna lesku.....	58
Graf 4 Změna kontaktního úhlu	60

Graf 5 Tvrdost podle Brinella bez stárnutí.....	63
Graf 6 Tvrdost podle Brinella stárnutí	63
Graf 7 Tvrdost podle Brinella srovnání.....	64
Graf 8 Adheze nátěru - bez stárnutí	65
Graf 9 Adheze nátěru – stárnutí	66
Graf 10 Adheze nátěru – srovnání	66

Seznam použitých zkratek a symbolů

°C	stupeň Celsia
°	stupeň
mm	milimetr (jednotka délky)
cm	centimetr (jednotka délky)
nm	nanometr (jednotka délky)
m	metr (jednotka délky)
atd.	a tak dále
aj.	a jiní
a kol.	a kolektiv
např.	například
tzv.	takzvaně
ČSN	Československá technická norma
EN	Evropská norma
CIE	mezinárodní komise pro osvětlení
CIELab	barevný prostor, kde je definována barevným modelem založeným na třech osách L, a, b
UV	ultrafialové (záření)
Demistanice	demineralizační stanice
tj.	to je
viz	podívej se, jako
GU	jednotka lesku (gloss units)
IČ	infračervené (záření)
cca	asi, přibližně
%	procento

ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
K	Kelvinův stupeň
kPa	kilopascal (jednotka tlaku)
MPa	megapascal (jednotka tlaku)
kg/m ³	kilogram na metr krychlový (jednotka objemu)
g/m ³	gram na metr čtvereční (jednotka objemu)
L*	jas nebo světlost barvy od 0 do 100
a*	souřadnice s odstínem mezi +60 (červenou) a -60(zelenou)
b*	souřadnice s odstínem mezi +60 (žlutou) a -60(modrou)
E*	rozsah barevné difference
ZnO	oxid zinečnatý
ZrO ₂	oxid zirkoničitý
IČ	infračervené (záření)
pH	potenciál vodíku (vodíkový exponent)
Zirconia	ZrO ₂ (oxid zirkoničitý)
VŠCHT	Vysoká škola chemicko-technologická
Δ	delta, řecké písmeno abecedy
HB	Brinell hardness (jednotka tvrdosti)
F	síla
D	průměr
N	Newton (jednotka síly)

Úvod

Dřevo je velice zajímavý materiál s obrovskou využitelností v mnoha oborech. Domnívám se, že tomu tak bude i v budoucnu, a to především ve stavebnictví. Abychom prodloužili životnost dřeva a výrobků a staveb ze dřeva, je třeba o dřevo řádně pečovat. Proto je na místě snaha o stále lepší a lepší nátěrové hmoty, které by právě tuto ochranu dřeva vylepšily. Když budeme mít k dispozici nátěry, které dlouhodobě ochrání dřevěné výrobky, snížíme tím počet opakování nátěrů a rovněž prodloužíme životnost dřeva samotného. Snížila by se rovněž spotřeba nátěrů a zároveň by se zvýšilo uplatnění již hojně používaných materiálů. I z ekologického hlediska by to byl přínos, jelikož snížením množství potřebného nátěru by došlo ke snížení objemu výroby barev i množství následné likvidace nebezpečného odpadu. Tím by bylo životní prostředí výrazněji chráněno.

Tak, jako všude ve světě, tak i u nás v České Republice roste každý rok počet staveb ze dřeva. Dle údajů Českého statistického úřadu mělo v roce 2016 více než 14 % z nově postavených rodinných domů něco společného se dřevem. V roce 2019 bylo zaznamenáno, že již každý sedmý rodinný dům je dřevostavba. Naopak například v roce 2008 bylo postaveno 18 930 rodinných domů, z nichž pouhých 1008 domů byly dřevostavby. Rok 2019 byl v celkovém počtu postavených rodinných domů srovnatelný s rokem 2008, ale 18 309 z těchto domů tvořily dřevostavby, jak uvádí firma ADMD.

Nedochází však pouze k rozšiřování dřevostaveb, ale i k rozšiřování používání dřeva jako materiálu u jiných prvků běžného užívání, například u městského mobiliáře, dětských hřišť, zastávek hromadné dopravy, laviček a košů či různých dočasných staveb. Dřevo je hojně využíváno pro svoji nízkou tepelnou vodivost, schopnost vázat na sebe CO₂, snadné opracování, snadnou manipulaci a možnosti montáže a také pozitivní působení na psychiku člověka. Mezi jeho další významné výhody patří obnovitelnost a recyklovatelnost.

Největší otázkou je, jak nanomateriály dostat na povrch dřeva tak, aby to bylo prospěšné a zároveň efektivní. Nanočástice lze do nátěrů přidat relativně jednoduše, ale větším oříškem je totéž provést s nanosítčkou, a to bez jejího porušení.

Cíl práce

Cílem mé bakalářské práce je otestovat a vyhodnotit zvýšení trvanlivosti transparentního akrylátového nátěru za pomoci nanočástic a nanosítek na modřínovém dřevě.

Vyhodnocují se barevné změny a další změny povrchových vlastností, které vypovídají o atmosférické degradaci modřínu opadavého bez povrchové úpravy, s čistým akrylátovým nátěrem, s akrylátovým nátěrem s 2% koncentrací nanočástic ZnO a ZrO₂ a v některých případech s přítomností nanosítky po vystavení umělému stárnutí v exteriéru za pomoci normovaných zkoušek.

Práce se zabývá zejména vlivem nanočástic a nanosítky na zlepšení vlastností nátěru po různých časech v exteriéru, a to změna barvy, změna lesku, změna kontaktního úhlu smáčení, tvrdost materiálu podle tužky a podle Brinella a adhezí nátěru.

1. Rozbor problematiky – teoretická část

V mé bakalářské práci byl testován transparentní akrylátový nátěr na modřínovém dřevě, protože se jedná o pro mě zajímavý druh dřeva často používaný ve výrobcích ze dřeva. Spíše než o dřevinu se jedná o prodloužení životnosti nátěru pomocí nanomateriálu, ať už se jedná o nanočástice přidané do nátěru nebo o nanosítku nanesenou na vrstvu nátěru.

1.1. Modřín opadavý (*Larix decidua*)

Modřín opadavý patří mezi čeled' borovicovitých (*Pinaceae*).

Modřín opadavý je evropskou dřevinou a vyskytuje se především v Alpách, Karpatech a České republice. Není to úplně typický strom, který roste na každém rohu, jde o strom velmi ceněný. Dorůstá výšky až 35m a roste poměrně rychle. Ve stáří 10 let dosahuje často výšky 4 až 5 metrů a například 30leté stromy jsou často vysoké okolo 15m (Heike 2009).

Koruna modřínu je pravidelně stavěna, středně hustá a široce kuželovitá. Co se týče kmenu, ten je rovný a u starších jedinců poměrně silný. Na větrných a skalnatých místech výskytu jsou kmeny často různě pokrouceny a vznikají tak zajímavé výtvořiny přírody blahodárné pro oko. Kůra je šedivá, místy se odlupující a v pozdějších letech silnější a více rozpraskaná, přes tyto praskliny vykukuje kůra načervenalá hnědá (Dreyer

a kol. 2019). Hlavní větve stromu jsou spíše vodorovné nebo převislé s vystoupavými špičkami, v horní části koruny jsou mírně vystouplé. Malé tenké větvičky jsou převislé a nažloutlé. Vrcholové pupeny obsahují velké množství pryskyřice. Modřín opadavý se řadí mezi opadavé jehličnaté stromy, jehlicovité listy jsou světle zelené ve svazcích po 30 až 40 a 10 až 30 mm dlouhé v horní části převážně ploché. Šišky jsou úzkého vejcovitého tvaru 2,5 až 4 cm dlouhé, každá jedna šiška má 40 až 50 rovně vzpřímených, světle hnědých šupin. Malé stromy vytvářejí kůlový kořen, postupem času zakořeňují a tvoří silné postranní kořeny, které nahrazují již zmíněný kůlový kořen. Pokud koření v jílovitých a mokřých půdách, koření mělčeji než obvykle (Heike 2009).

Modřínové dřevo patří mezi polotvrdé dřeviny, vyniká dobrou pevností a trvanlivostí. Smrkové a borové dřevo je měkčí než modřínové. Jedná se o jádrovou dřevinu, běl je světle žlutohnědá a jádro okrové až červenohnědé. Podobně jako tvrdost a pevnost má i kresbu letokruhů hustší než smrk a jeho typická kresba spočívá ve velkém množství zarostlých malých součků (Dreyer a kol. 2019). Je vhodná pro obrábění, díky menšímu množství pryskyřice tolik nezalepuje dřevoobráběcí stroje a také dobře přijímá lepidla i napuštění, např. hloubkové penetrace (<https://lesycr.cz> 12. 2. 2021).

Modřín je známý svým výrazným přechodem mezi jarním a letním dřevem. Jak jsem již zmínila, jde o velice trvanlivé a odolné dřevo. Právě pro jeho kvalitu má velice široké využití v různých konstrukcích, a to i v náročných podmínkách, jako jsou například vodní stavby, exteriér nebo stavebně truhlářská výroba (<https://www.mezistromy.cz> 12. 2. 2021).

Hustota modřínového dřeva je mezi 500 až 600 Kg/m³, hustota je pouze orientační údaj, který vychází z výzkumů několika různých vzorků a každý zdroj může mít odlišné hodnoty pro hustotu dřevin (Dreyer a kol. 2019). Tato udávaná hustota je v absolutně suchém stavu a při použití hustoty v jiném procentu vlhkosti je za potřeby použít přepočít (Požgaj 1997).

Co se týče statické tvrdosti dřeva, jde o schopnost dřeva klást odpor proti vnikání jiného tělesa do povrchu dřeviny. Tvrdost dřeva můžeme určit několika způsoby a to např. Brinellova nebo Jankova tvrdost. Vlastní zkušenost mám pouze s určováním tvrdosti podle Brinella (Požgaj 1997).

Tvrdost modřínového dřeva spadá do středně tvrdých dřevin, to jsou dřeviny, kde se uvádí tvrdost 41 až 80 MPa a to při 12% vlhkosti. Dále se v této skupině nachází např.

jasan, dub, buk nebo ořešák. Tvrdost můžeme mimo jiné určit prvotně vrypem nehtu do povrchu a ve skupině středně tvrdých dřevin vytvoří vryp nehtem rýhu, ale pouze nevýraznou. Další skupiny tvrdosti dřeva jsou měkká dřeva (smrk, jedle, lípa), tvrdá dřeva (habr, akát), velmi tvrdá dřeva (šeřík) a super tvrdá dřeva (eben), (Požgaj 1997). Tvrdost dřeva závisí na druhu dřeviny, struktuře, hustotě, anatomické stavbě a kvalitě dřevních vláken (Gandelová a kol. 2002).

Dalším důležitým parametrem je pevnost dřeva. Pevnost dřeva můžeme charakterizovat jako odolnost proti trvalému porušení (Požgaj 1997). Lépe řečeno jako napětí, při kterém se poruší soudržnost (napětí na mezi pevnosti). Nelze jednoznačně určit pevnost dřeva, a to ani u jednotlivých dřevin. Proto se, podobně jako u všech hodnot, vychází z předchozích výzkumů a v každém zdroji se pevnosti můžou mírně odlišovat (Gandelová a kol. 2002).

Při vlhkosti 12% se jako pevnost modřínového dřeva uvádí pevnost v tlaku ve směru vláken 64,5 MPa, pevnost v tlaku napříč vláken odlišujeme na radiální a tangenciální směr. V radiálním směru je to 4,5 MPa a v tangenciálním směru 6,1 MPa. Dalšími pevnostmi jsou pevnost dřeva v tahu, ohybu, smyku, stříhu a kroucení (Gandelová a kol. 2002).

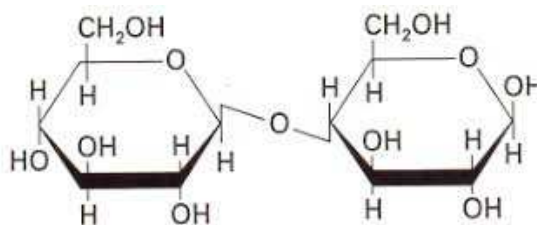
1.2. Charakteristika dřevin – chemické složení dřeva

Dřevo jako materiál se skládá z dřevní hmoty a tu můžeme rozdělit na dvě hlavní složky, a to na vodu a ostatní složky. Vodu můžeme oddělit pouze chemicky, jinak se vždy nějaká voda ve dřevě vyskytuje a je zapotřebí s ní počítat. Pro laboratorní účely tedy používáme pojem sušina, ve kterém se nenachází žádná voda (Wagenführ 1999). Sušina obsahuje hlavní složky 90 až 97% a doprovodné složky 3 až 10%, kde mezi hlavní řadíme sacharidické složky 70 až 85% (celulóza 33 až 50% a hemicelulóza 18 až 35%) a aromatické složky 30 až 40% (lignin 20 až 30% a třísloviny 2 až 15%), (Sjöström 1999). Doprovodné složky dělíme na organické 2 až 9% (třísloviny 2 až 15%, terpenické látky 1 až 8%, N-látky 0,1 až 3% a lipidy 0,1 až 1%) a anorganické složky 0,1 až 7%. Tvorba a přeměna přírodních polymerů se řadí mezi velmi složité a specifické procesy. Zastoupení složek se liší v jednotlivých druzích dřevin, ale i v jednotlivých stromech (Jankovský 1999).

1.2.1. Hlavní složky dřeva

1.2.1.1. Celulóza

Celulóza tvoří hlavní složku dřeva a to cca 33 až 50% sušiny, tento údaj je v každé literatuře odlišný, jedná se tedy pouze o představu. Jehličnany mají zastoupení celulózy vyšší, a to 46 až 56%. Jedná se o nejrozšířenější organickou sloučeninu biosféry (Šlezingerová a kol. 1999). Funkce celulózy je hlavně stavební a jedná se o polysacharid. Díky stavební funkci tvoří velkou část buněčných stěn rostlinných buněk, mimo jiné tedy i dřeva (Sjöström 1999). Dá se říci, že vytváří kostru zdřevnatělých buněčných stěn anatomických elementů. Pokud se budeme zabývat čistou celulózou, tvoří ji vláknité makromolekuly, které vzniknou pomocí spojení zbytku D – glukózy (β -D glukopyranózy) tzv. glykozidovými vazbami (vazba mezi prvním uhlíkem jedné a čtvrtým uhlíkem druhé molekuly). Základní stavební jednotkou celulózy je celobióza, která vznikne sloučením dvou molekul β -D glukopyranózy tzv. diasacharid (Gandelová a kol. 2002).



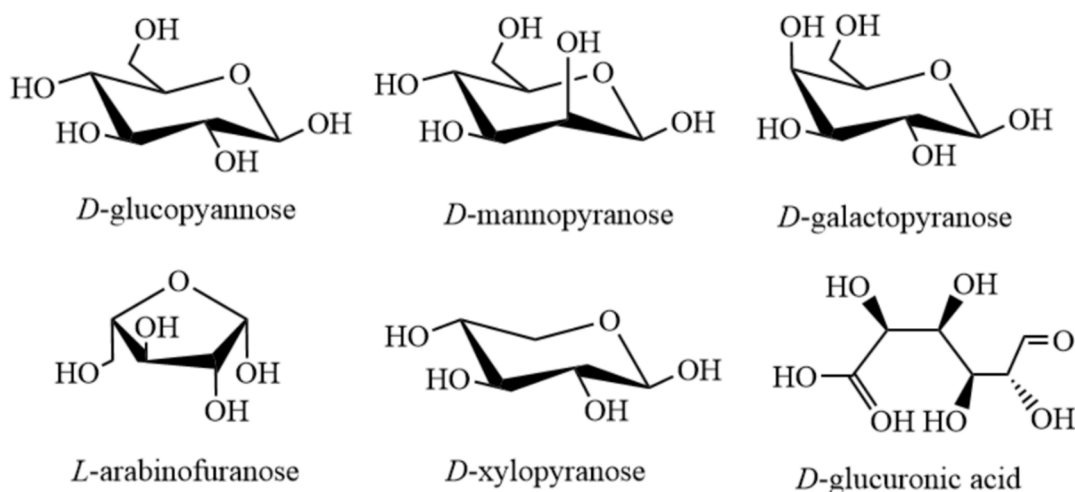
Obrázek 1 Celobiosa

(<https://alexianextle.wixsite.com/quimicanutricional/celobiosa> 12. 2. 2021)

1.2.1.2. Hemicelulóza

Druhou sacharidickou složku tvoří hemicelulózy tvořící 18 až 35% sušiny dřevní hmoty. Hemicelulóza se souhrnně nazývá soubor ostatních polysacharidů ve dřevě (Sjöström 1999). Pokud budeme porovnávat hemicelulózy s celulózou samotnou, jedná se o polysacharidy s menší relativní molekulovou hmotností a kratšími řetězci. Mimo D-glukózy obsahují také různé monosacharidy jako stavební jednotky, jako např. D-xylóza, D-galaktóza, L-arabinóza nebo uronové kyseliny. Jedná se také o lineární polysacharidy s krátkými postranními řetězci. Hemicelulózy

doprovází celulózu v jednotlivých vrstvách buněčných stěn anatomických elementů dřeva. Tvoří tzv. tmelící vrstvu mezi makromolekulami a celulóзовými řetězci. Z chemického hlediska se jedná o méně stálé prvky než celulóza a dokáže se na ně vázat lignin (Kačík 2020). Důležitá je možnost extrahovat je, a to za pomoci roztoků zředěných alkálií nebo poměrně lehce hydrolyzovat zředěnými kyselinami. Více zastoupeny jsou mezi listnáči, což je obráceně než u celulózy (Gandelová a kol. 2002).



Obrázek 2 Stavební jednotky hemicelulózy

(<https://www.mdpi.com/2073-4360/12/8/1775/htm> 25. 3. 2021)

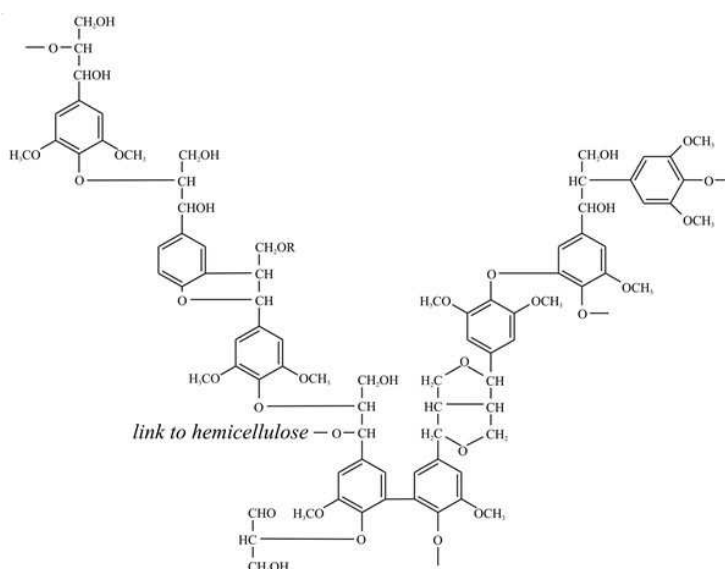
1.2.1.3. Lignin

Lignin je nejvýznamnější z aromatických složek, můžeme jej proto stále řadit k hlavním složkám dřeva, tvoří pětinu až třetinu dřeva. Lignin je vysokomolekulárním a po polysacharidech nejčastějším organickým polymerem rostlinného světa. Výzkum ligninu sahá až někdy do dob 1890 až 1930 a trvá v podstatě dodnes (Sjöström 1999). A přestože výzkum trvá již několik desítek let, stále přesně neznáme lignin ve formě, ve které se nachází v pletivech rostlin. Umíme pozorovat lignin v pletivech klíčících dřevin už v druhém až třetím týdnu po vyklíčení. V mladém dřevě je jen málo ligninu a s postupem času jej ve dřevě přibývá. Nemění se pouze množství, ale i struktura a zastoupení. Lignin se nenachází ve dřevě

samostatně, ale je fyzikálně propojen, tzv. prorůstá sacharidickými složkami. Zároveň ale není vyloučené ani chemické propojení. Jeho hlavní funkce je dřevnatění neboli zpevňování buněčných stěn (převážně fibriformních vláken a vláknitých tracheid). Dále také zabraňuje pronikání vody přes buněčné stěny xylemu nebo má také důležitou funkci při vnitřním transportu vody (Kačík 2020). S obsahem ligninu je to podobné jako u celulózy, tedy tak, že v jehličnatých dřevinách je ho více než v dřevinách listnatých (Jankovský 1999).

1.2.2. Doprovodné složky dřeva (akcesorické složky dřeva)

Doprovodné složky dřeva, správněji označovány za akcesorické složky dřeva, jsou různého chemického původu (Kačík 2020). Vyskytují se ve dřevě v malém množství a vyskytují se např. v lumenech anatomických elementů nebo třeba v mezibuněčných prostorech. Ovlivňují ale celou řadu vlastností dřeva, např. vůni, barvu nebo fyzikální i mechanické vlastnosti. Mohou také ovlivnit opracování, sušení či impregnaci dřeva aj. (Sjöström 1999). Pokud bychom chtěli eliminovat doprovodné složky ze dřeva, můžeme to udělat buďto organickými rozpouštědly (voda – extraktiva) nebo mineralizací neboli spalováním. Velice zajímavý je rozdíl mezi dřevinami našimi a dřevinami tropickými, kde se podíl extraktiv velice liší. U tropických dřevin se jedná až o 30%, ale u těch našich pouze o cca 1 maximálně 5% (Gandelová a kol. 2000).



Obrázek 3 Chemický vzorec ligninu

(http://www.davidmoore.org.uk/Assets/Mostly_Mycology/Lucy_Goodeve-Docker_bioremediation_website/whatislignin.htm 10.4.20221)

Velké rozdíly jsou také mezi jehličnatými a listnatými dřevinami. Dalšími aspekty mohou být například místo, odkud dřevina pochází, ve kterém ročním období byla dřevina pokácena či zda se jedná o běl nebo jádro stromu. Akcesorické složky můžeme rozdělit na organické a anorganické látky. Mezi ty organické patří sacharidy, fenolické látky, terpeny, acyklické kyseliny, bílkoviny apod. (Gandelová a kol. 2002).

1.2.2.1. Anorganické látky

Tyto látky můžeme získat ze dřeva spalováním, jinak řečeno mineralizací. U našich dřevin představuje množství popela cca 0,5-1% hmoty dřeva (Kačík 2020). Nelze jednoznačně určit množství anorganických látek ve dřevě, jejich množství se mění v závislosti na druhu dřeva, poloze v kmeni, stáří nebo na stanovišti, kde strom vyrostl (Sjöström 1999). Hlavními složkami anorganických látek jsou vápenaté, draselné a hořečnaté soli. Ve většině případů tvoří až 50% popela vápník. U listnatých stromů nebo například tropických dřevin se v parenchymatických buňkách dřevných paprsků nebo také v podélném dřevním parenchymu vyskytují různé tvary krystalů šťavelanu vápenatého (krystalový písek, romboidy aj.). V jehličnanech se tyto krystaly objevují také, ale ve výrazně nižším množství. Dále můžeme ve dřevě najít třeba mangan, sodík, fosfor, chlor a různé další stopové prvky (Gandelová a kol. 2002).

V některých případech byl popsán i obsah zlata, a to v některých exotických dřevinách (Sjöström 1999). Skutečností ale je, že forma uvedených prvků se objevuje ve formě kationtu u kovových prvků a ve formě aniontů odpovídajících u nekovových prvků. Pokud se například jedná o přítomnost sodíku, je ve skutečnosti ve dřevě přítomen formou SiO_4^{-4} (Jankovský 1999).

1.2.2.2. Sacharidy

Mezi hlavní polysacharidy patří celulóza z hemicelulózou, ale kromě těchto polysacharidů obsahuje dřevo ještě malou část polysacharidů zásobního charakteru, tzv. škrobů a další stavební polysacharidy, tzv. pektiny (Jankovský 1999). Dále rovněž polyuronidy, popřípadě některé

monosacharidy a zvláštní skupinu složenou ze sacharidů tzv. heteroglykozidy (Gandelová a kol. 2002).

Nejvýznamnější zásobní látkou rostlin je zcela jistě škrob. Jedná se o směs dvou polysacharidů (amylózy a amylopektinu). Při odbourávání škrobu získávají rostliny energii (Sjöström 1999). Ve dřevě je obsažen v živých parenchymatických buňkách bělového dřeva, a to ve formě zrněk v protoplazmě. Ze všech extraktiv tvoří asi 0,3 až 7% právě škrob, ale jeho množství ve dřevě často kolísá. U listnáčů nalezneme škrobu více než u jehličnanů (Gandelová a kol. 2002).

Ve střední lamelle nalezneme ještě další stavební polysacharid a tím je pektin. Jedná se o částečně metylované poly-D-galakturonové kyseliny (Gandelová a kol. 2002).

1.2.2.3. Fenolické látky

Hlavní fenolickou látkou ve dřevě je lignin, ale nachází se v něm i jiné látky tohoto typu, a to od těch jednoduchých až po ty makromolekulární. Tyto látky tvoří poměrně velký podíl extraktiv ve dřevě a způsobují hlavně zbarvení dřeva (Kačík 2020). Rozpustit je můžeme ve vodě a organických rozpouštědlech. Jednoduché fenolické látky se nacházejí hlavně ve dřevě jehličnanů, a to např. vanilin nebo etyfenol. Byly nalezeny i ve dřevě listnáčů, ale pouze ojediněle (vrba nebo topol), (Jankovský 1999). Nejvýznamnější fenolické látky nalezneme v jádrovém dřevě jak jehličnanů, tak listnáčů a jsou to tzv. lignany. Ze dřeva modřínu byl izolován pinorezinol, laricirezinol nebo liovil (Gandelová a kol. 2002).

1.3. Přirozená trvanlivost dřeva

Přirozená trvanlivost dřeva, jinak řečeno odolnost dřeva, v nativním stavu proti poškození různými druhy degradačních činitelů je odkázána na místo, kde se dřevina nachází a také na druhu dřeviny. Pokud se jedná o biotické degradace, ovlivňuje je především chemická strukturální hladina (Novák 2012). Mezi hlavní aspekty patří podíl extraktivních látek, a to pryskyřice a třísloviny, právě ty výrazně zvyšují rozsah poškození. Dalším aspektem, který ovlivňuje odolnost dřeva, je hustota dřeviny, kdy ty

s větší hustotou mají výrazně zvýšenou odolnost proti termické degradaci. Poslední degradace, a to ty atmosférické, ovlivňují druh dřeviny, hustota, podíl jarního a letního dřeva, chemické složení, ale také z hlediska makroskopického úhel letokruhů letního dřeva, které svírá s povrchem vystavenému povětrnosti (Reinprecht a kol. 2016).

Mezi další aspekty, které ovlivňují přirozenou trvanlivost dřeva, patří expoziční zatížení. Například se jedná o klimatické pásmo a klima v místě použití dřeviny, roční období, zda je umístěné v interiéru či exteriéru, na kterou světovou stranu je dřevo natočeno aj. (Reinprecht 2008).

Na určování přirozené trvanlivosti dřeva máme pomocnou tabulku, která je definována normami (Novák 2012). Například pro dřevo, které je v kontaktu se zemí se jedná o normu ČSN EN 350-2. Norma vychází z výsledků polních a laboratorních zkoušek, přirozenou trvanlivost můžeme také hodnotit na základě praktických zkušeností popřípadě různých poznatků z praxe. (Reinprecht a kol. 2016).

1.4. Abiotické degradace dřeva

Jedná se o poškození tzv. neživé přírody. Z hlediska dřevařského sem řadíme různé vlivy chemických látek (voda, kyseliny, zásady), různé typy záření (UV, IČ, světlo), energetické pole (teplo, proudění), mechanické působení (oděr, prachové částice, silové namáhání (Reinprecht 2008).

1.4.1. Atmosférická degradace dřeva

Atmosférické degradace dřeva vznikají působením povětrnostních činitelů, jako jsou třeba změny teplot, vliv vlhkosti, vliv slunečního záření, proudění apod. Všechny tyto faktory působí na dřevo jinak a v jiné míře. Některé ho poškozují více a některé méně (Reinprecht a kol. 2016).

Atmosférická degradace závisí na podílu letního a jarního dřeva, hustotě, orientaci letokruhů a obsahem extraktiv a ligninu. Poškození atmosférickou degradací je pouze povrchové v hloubkách do několika mikrometrů, tudíž zásadně neovlivňuje životnost a funkci dřevěného prvku ani jeho mechanické vlastnosti. Jelikož ale zasahují do povrchu a různě ho narušují, umožňuje to tak vstup biologickým činitelům a vlhkosti přímo do dřeva (Oberhofnerová 2018).

Vliv záření - jedná se o činitele, kterého nemůžeme zcela zastavit. V exteriéru je samozřejmě intenzivnější, ale i do interiéru se dostane, působí zde díky skleněným

plochám, ale jeho dopad je v malém množství a neproniká tedy do velkých hloubek, jedná se o řády mikrometrů (Williams 2005). Co se týče chemického složení dřeva, nejvíce záření poškozuje lignin, přitom je jeden z nejodolnějších proti všem ostatním činitelům v porovnání s celulózou a hemicelulózou (Reinprecht a kol. 2016).

Vliv vody - podobně jako u vlivu záření je intenzivnější v exteriéru. Jedná se hlavně o působení dešťové vody, a to hlavně v případech, kde nejsou dřevěné prvky zastřešené, nebo alespoň pod přístřeškem (Feist 1990). Jelikož je dřevo vysoce hydrofobický materiál, voda působí hlavně na změnu vlhkosti. Způsobuje tedy změny tvaru nebo rozměru a při překročení pevností vznikají trhliny. Právě tyto trhliny urychlují průnik vody do dřeva a poté vznikají další rozsáhlá poškození. Pokud je takto poškozené dřevo neustále vystavováno vodě, vzniká ideální prostředí pro dřevokazné houby. Co se týče interiéru, zde je dřevo vystaveno kromě spodní, kapilární a zatékající vodě i významné kondenzované neboli srážené voda (Reinprecht a kol. 2016). Tyto problémy s rosou vznikají především kvůli nevhodně řešeným tepelným izolacím v konstrukcích a budovách (Sudiyani 1999). Čemu se nedá zabránit, je působení vzdušné vlhkosti a vždy tedy bude docházet k rozměrovým změnám, tyto změny ale nejsou závažné tolik, jako v případě vody dešťové nebo vysrážené (Reinprecht 2008).

Vliv teploty - při změně teplot dochází ke kolísání vlhkosti dřeva a pokud se jedná o tmavší dřevěné materiály s pigmentovou úpravou, tak v důsledku slunečných dní vznikají velké změny teplot na povrchu materiálu (Kaila 1987). Vyšší teplota urychluje průběh hydrolytické degradace, a to i v přítomnosti vody a chemických látek (Reinprecht a kol. 2016).

Vliv prodění - jedná se o proudění vzduchu, který s sebou unáší prachové částice, částice minerálů aj. Tyto částice mají za důsledek postupné obrušování povrchu dřeva. Po narušení povrchu dochází za pomoci záření k vytrhávání vláken ze dřeva (Williams a kol. 1999). Vzniká tzv. plastická textura dřeva a to především u jehličnanů (velký je rozdíl u jarního a letního dřeva), (Reinprecht 2008).

Ostatní vlivy - do této skupiny patří především chemické látky, které vznikly zapříčiněním člověka (ne ve všech případech). Hlavně se jedná o tzv. kyselé deště, kdy kyseliny obsažené v dešťové vodě zrychlují degradaci základních komponentů dřeva. Nejvíce jsou náchylné hemicelulózy a amorfní složky celulózy (Raczkowski 1980). Dochází k rozkladu právě amorfních látek celulózy a snižuje se tak celková pevnost

dřeva. Dalším vlivem je smog a jeho vyšší koncentrace v průmyslových zónách. Tady dochází k zrychlené barevné změně povrchu. Tmavé částice smogu se na ploše dřeva zachytávají a to zapříčiňuje ony barevné změny (Reinprecht a kol. 2016).

1.4.2. Hlavní mechanismy rozkladu dřeva

Pokud se jedná o interiér, působí zde především sluneční záření, díky kterému probíhají tzv. fotochemické reakce v povrchové vrstvě dřeva. Dochází k tmavnutí ligninu v důsledku rozkladných reakcí. Jelikož se lignin nevyplavuje pomocí srážkové vody, dochází k tmavnutí onoho povrchu (Reinprecht a kol. 2016).

V exteriéru je rozklad daleko složitější a komplikovanější, působí zde totiž daleko více vlivů a navíc se různě vzájemně doplňují a spolupůsobí (Baier a kol. 1996). Také působí daleko intenzivněji (Feist 1990). První fáze je obdobná jako v interiéru a dochází tedy k fotochemické reakci. Nedochozí zde ale k tmavnutí povrchu, jako je tomu v interiéru, a to z důvodu odplavení narušeného ligninu pomocí srážkové vody. Stává se tedy opak a dřevo naopak světlá, je to zapříčiněno nenabouranou celulózou. Na tuto světlou barvu se ale usazují prachové částice a nečistoty ovzduší, tak světlou barvu vidíme spíše při laboratorní zkoušce (Reinprecht 2008).

1.5. Chemická ochrana dřeva

Velmi často se setkáváme s pojmem impregnace dřeva místo chemická ochrana (Reinprecht 2008). Hlavním účelem impregnace dřeva je prodloužení funkčních a estetických vlastností dřevěných prvků a konstrukcí za pomoci barev, laků nebo třeba různých prostředků s fungicidními, insekticidními či protiplísňovými vlastnostmi (Baier a kol. 1996).

Funkční životnost dřevěných prvků v interiéru je odhadována na cca 100 až 150 let. Pokud jsou ideální podmínky, pak je možné mluvit až o životnosti 200 a více let (Reinprecht 2008). Pokud je dřevo dlouhodobě vystaveno zvýšené vlhkosti, dochází ke snížení jeho životnosti na pouhých 5, maximálně 10 let (Ptáček 2009). Celkovou životnost dřevěných výrobků lze prodloužit správnou konstrukční úpravou, vhodnou dispozicí nebo právě chemickou ochranou (Baier a kol. 1996).

1.5.1. Faktory ovlivňující proimpregnování dřeva

Při impregnaci dřeva se bavíme o chemicko-fyzikálním procesu, během kterého se snažíme do kapilárního systému dostat potřebnou ochrannou látku. Tím se dřevo stává odolnějším vůči biologickým a abiotickým škůdcům, popřípadě může změnit některé své vlastnosti (Melicharová 2017). Ochranný účinek impregnační látky závisí na třech faktorech a to na vlastnostech dřeva, typu ochranné látky a na podmínkách a provedení samotné impregnace (Svatoň 2000).

Množství ochranné látky a její rozložení v povrchu hodně závisí na vlastnostech a druhu dřeviny. Mezi těžko impregnovatelné dřeviny se řadí smrk, jedle, jádro dubu, buk, borovice aj. Příčinou špatného přijímání impregnační látky jsou často mechanické překážky (Ptáček 2009). U smrku a jedle dojde při vysušení k uzavření dvojteček, u borovice máme přesycené jádro pryskyřicemi nebo u buku dochází k zathylování tracheid. Veliké rozdíly jsou mezi impregnováním jehličnatých a listnatých dřevin, a to i v pronikání impregnační látky v jednotlivých směrech (Svatoň 2000).

1.5.2. Požadavky na dřevo určené k impregnaci

Požadavky se mohou lišit v závislostech na použité impregnační látce, postupu nebo dřevině, která je impregnována. Impregnační postupy jsou vždy pečlivě zaneseny do norem, popřípadě technologických postupů (Svatoň 2000).

V první řadě se jedná o odkornění a loupání. U většiny impregnačních postupů by mělo být dřevo bez kůry a lýka, a to hlavně z důvodu vázání poměrně drahé impregnační látky a špatné proimpregnovanosti dřeviny (Ptáček 2009). Odkornění může probíhat ručně v terénu, popřípadě na odkornovacích strojích v dřevařských provozech. Jsou i speciální impregnační postupy, kde je vyžadováno odkornění těsně před impregnací, popřípadě se ve zvláštních případech dřevo impregnuje včetně kůry (Svatoň 2000).

Dalším požadavkem je vlhkost dřeva, kdy většinou platí, že čím větší vlhkost, tím lépe pro impregnaci. Z tohoto důvodu se impregnuje dřevo hned po vytěžení nebo se udržuje mokřím skladováním kulatiny (Svatoň 2000).

Neméně důležité je opracování dřeva (Ptáček 2009). Impregnace by měla vždy proběhnout po opracování, většinou se impregnují hotové opracované výrobky, jelikož

kdyby se dřevo impregnovalo před opracováním, právě impregnovanou vrstvu bychom opracováním odstranili nebo minimálně zmenšili (Svatoň 2000).

1.5.3. Nátěry na dřevěný materiál

Dřevo je porézní materiál a zachytávají se do něj částice prachu a jiných nečistot. Zapříčiňuje to hlavně změnu barvy, která je způsobena atmosférickými činiteli jako je slunce nebo voda a relativně v krátké době dojde k zešednutí povrchu dřeva. Vznikne také tzv. plastická textura povrchu dřeva, která je často vyhledávána různými architekty a designéry. Pokud ale chceme zachovat původní barvu a texturu dřeva, je nutné použít vhodný pigmentový případně transparentní nátěr (Ptáček 2009). V interiéru jsou dřevěné povrchy náchylné hlavně na mechanické poškození a hodně z nich zapříčiňuje člověk. Jedná se o oděr, tlak nebo třeba náraz. Dále zde také působí vlhkost, změny teplot nebo různé chemické látky (Tesařová a kol. 2014). Z chemických látek se může jednat například o čisticí prostředky či slabé zásady a kyseliny v kuchyni. Všechny tyto chemické látky mohou zapříčinit narušení nátěrové vrstvy a oslabit tak jejich ochranu dřeva. Mezi další faktory patří změny teplot v podobě teplých nápojů nebo pokrmů a také různých druhů nečistot jako jsou zbytky jídla, rozlité nápoje nebo obyčejný prach. Nejdůležitější je ale na straně interiéru ochrana proti mechanickému poškození. Je nutné dbát především na vhodný výběr povrchové úpravy pro různé výrobky v domácnosti. Musíme mít na paměti, že je zcela jinak namáhána přední a zadní části nábytku, parkety nebo třeba kuchyňská linka. Proto je velice důležitý výběr vhodné povrchové úpravy (Pánek 2015).

1.5.3.1. Definice nátěrových látek

Nátěrovou látkou můžeme definovat látku, která je v pastovité, práškové nebo kapalné formě a po nanesení na podklad vytváří vrstvu, která má dekorativní, ochranné nebo jiné specifické modifikace (Pánek 2015).

Povrchová úprava spojuje ochrannou a estetickou funkci, prodlužuje životnost a snižuje opotřebení povrchu (Tesařová a kol. 2014). V interiéru se klade důraz hlavně na mechanické opotřebení, v exteriéru je ochranná funkce náročnější, protože se na poškození podílejí povětrnostní vlivy, jako je vítr, déšť nebo UV záření. Kvalitu povrchové úpravy ovlivňují vlastnosti nátěrové hmoty, vlastnosti dřeva, interakce mezi

nátěrovou hmotou a dřevem a také způsob aplikace nátěrové hmoty na podklad (Pánek 2015).

1.5.3.2. Základní klasifikace nátěrový látek

A) Podle krycí schopnosti

Transparentní a pigmentová

B) Podle způsobu vytvrzování

Chemickými, fyzikálními a kombinovanými způsoby.

C) Podle podmínek vytvrzování

Na vzduchu, vhodné k dosoušení, za zvýšení teploty, vypalovací a kyselino-tvrditelné.

D) Podle místa použití

Interiér, exteriér a speciální.

E) Podle pořadí a použití v nátěrovém systému

Svrchní, vyrovnávací, základní, podkladové a napouštěcí.

F) Podle skupiny označení

A – asfaltové nátěry

B – bezrozpuštědlové

C – celulózové

E – práškové

H – chlórkaučukové

K – silikonové

L – lihové

N – povrchová úprava kovových pásů

O – olejové

S – syntetické

U – polyuretanové

V – vodové a emulzní (Zemier a kol. 2009)

1.5.3.3. Vytvrzování a tvorba nátěrových filmů

Nemáme pouze jeden způsob vytvrzování, ale je jich hned několik. Základním druhem vytvrzování je jednoduchý únik rozpouštědel, jako je třeba voda nebo organické druhy rozpouštědel. Únikem těchto rozpouštědel se k sobě přiblíží filmotvorné složky nátěrů a vznikne povrchová tenká vrstva vysušeného filmu, ve spodní vrstvě zůstává ale ještě hodně rozpouštědel (Tesařová a kol. 2014). Mezi další způsoby patří chemické reakce na bázi polymerizace a polykondenzance. Speciální proces je u práškových nátěrů, kde u termoplastických druhů dochází k rozpuštění nanesených částic. V současnosti hodně používaný způsob je vytvrzování za pomoci UV záření nebo LED diod. Mezi méně používané, ale reálné, patří vytvrzování za pomoci urychleného toku elektronů emitovaných wolframovou katodou, tzv. EBC vytvrzování (Pánek 2015).

1.5.3.4. Akrylové nátěry

Tyto nátěry řadíme mezi rychleschnoucí, pigmentové nátěry se základní složkou polyakrylátů nebo akrylátových kopolymerních suspenzí. Po zaschnutí jsou zcela voděodolné, ale před zaschnutím jsou naopak vodou rozpustitelné. Vlastnosti těchto nátěrů se liší podle složení. Záleží na množství akrylátu, pigmentů a vodní složky (Özge a kol. 2006). Nátěry, které jsou ze 100% akrylátové živice, jsou vhodné pro exteriéry, jelikož mají velice dobré elastické vlastnosti. Tyto nátěry mají ale horší adhezní vlastnosti a také navyšují cenu, míchají se s vinyly popřípadě polyvinylacetáty. Můžeme najít spoustu druhů akrylátových nátěrů, jsou smíchávány s několika druhy pigmentů. Při přidání aditiv se zvyšuje odolnost vůči UV záření. Je možné je používat i v exteriérech, většinou do vícevrstvých nátěrových systémů, a to jako napouštědlo nebo první vrstva. V některých případech se akrylátová vrstva používá i jako vrchní vrstva. Dle poznatků pana Jacobsena a Evanse (2006) jsou využívány spíše alkydové nátěry, které údajně tvoří cca 90% ochrany dřevěných konstrukcí (Pánek 2015).

1.5.3.5. Nátěrové látky na bázi nanočástic

Nanomateriály jsou čím dál tím více využívány ve všech odvětvích a není tomu jinak ani u nátěrových látek. Technologie výroby nanočástic se stále vyvíjí kupředu a v případě nátěrů zlepšuje odolnost vůči biologickým škůdcům a povětrnostním podmínkám (Kaiser 2013). Z nynějších poznatků se jedná o ekologičtější variantu, kdy menší množství dané látky ve formě dobře rozptýlených nanočástic poskytuje stejnou ochranu jako klasické chemické sloučeniny. Zatím se ale jedná o ne příliš podložené skutečnosti a výzkumy mají buďto neprůkazné nebo velmi variabilní výsledky. Samotná technologie není špatnou cestou, jen je třeba věnovat více času testování a modifikování (Pánek 2015).

1.6. Technika nanášení nátěrů

Technik nanášení nátěrových systémů je nepřehledné množství a důležitým aspektem je vždy cena technologie a množství upravovaného dřevěného materiálu. Musíme volit optimální technologie tak, aby byly ekonomicky a časově výhodné.

1.6.1. Nanášení štětcem

Jedná se o jeden z nestarších způsobů nanášení nátěru. Původně se jednalo o chomáč zvířecích chlupů, který pohromadě držel díky svázání nebo slepení voskem či pryskyřicí (Pánek 2015). V pozdějším období se tento chomáč lepil k dřevěnému držadlu. V dnešní době máme na výběr z mnoha různých druhů štětců. Dnešní štětce určené k natírání se vyrábějí z prasečích štětín, a to z hřbetní části kůže, z důvodu finanční náročnosti jsou však buď promíchány se štětínami syntetickými, nebo jsou jimi zcela nahrazovány (Pavlík 2009).

1.6.2. Nanášení stříkáním

Tento způsob nanášení pracuje na principu hnací síly, kterou je stlačený vzduch. Jedná se o techniku, kterou lze dosáhnout vysoké kvality povrchu. Při klasické technologii se jedná o velký objem barvy, který tlačí

vzduch o tlaku 20 až 70 kPa. Výsledkem této technologie je velmi dobré rozprášení barvy, ale také dochází k velké ztrátě barvy rozptýlení do okolí. Čím větší tlak vzduchu je použit, tím lepší je výsledný povrch, menší tlak vzduchu však zase znamená menší přestříky (Pavlík 2009). Pokud se nám podaří najít ideální poměr těchto dvou faktů, získáváme vysokou efektivitu, skvělý povrch a relativně malé přestříky. Díky těmto poznatkům byly vyvinuty tři varianty a to nízkotlaká technika (LP), středotlaká technika (MP) a vysokotlaká technika (HP), (Hafner 2015).

1.6.3. Ošetření máčením

Technologie máčení není vhodná pro všechny typy nátěrových látek. Je používána hlavně pro moření dřeva různými mořidly, nebo pro nanášení napouštěcí vrstvy eurooken. Pro nanášení se používají tzv. máčecí nádrže (krátkodobé máčení). Pokud se jedná o těžko propustné dřeviny, jako třeba smrk, je vhodnější použít dlouhodobé máčení, a to z důvodu dostatečného průniku do dřeviny (Pavlík 2009). Kolik látky se do dřeviny dostane, se dá stanovit poměrně jednoduše zvážením před a po aplikaci látky a je udáván v g/m^2 . Mezi výhody této možnosti patří dosažení hlubší penetrace nátěrové popřípadě modifikační látky do dřeva. Naopak mezi nevýhody řadíme ekologické hledisko, je totiž zapotřebí velkého množství nátěrové látky, aby se mohl výrobek zcela ponořit do kádí či nádrží. Dále je také nutné sledovat koncentrace účinných látek v roztocích, neustálé míchání usazených částic a občas i hlídat ohřev pro optimální teploty (Pánek 2015).

1.7. Nanotechnologie - Nanočástice

Celkově je nanotechnologie hodně rozšířený obor a stále se rozšiřuje (Ksicht 2015). Díky svým specifickým vlastnostem je již používána ve spoustě odvětví, jako například optika, elektrotechnika, stavebnictví, kosmetika, ekologie nebo potravinářství (Bittová 2010).

Nanočástice řadíme mezi koloidní části. Jedná se především o tvorbu struktury v měřítku 1 až 100 nm (cca tisícinu lidského vlasu). Na jejich výzkum je kladen velký zájem, a to hlavně díky jejich velice odlišným vlastnostem od objemových materiálů stejného chemického složení (Ksicht 2015). Podstata jejich unikátnosti spočívá hlavně

v mnohonásobně velikostní převaze povrchu v porovnání s objemem. Nanočástice jsou reaktivnější než jejich objemoví kolegové a jejich vlastnosti jsou ovlivněny tvarem samotné nanočástice (Bittová 2010).

Podle tvaru můžeme rozlišovat několik druhů nanočástic, a to kvantové tečky (0D), nanotrubičky či nanodrátky (1D), nanovrstvy (2D) a nanostruktury (3D), (Kalbáč 2013).

Nanočástice jsou většinou měřeny RTG difrakcí za pomoci šířky reflexů tzv. „Scherrerovo rozšíření reflexů“. Šířka mezifázové oblasti mezi dvěma nanokrystalitami je obvykle odhadována, a to na cca 1nm (<https://fyzika.upol.cz/> 25. 3. 2021).

1.7.1. Oxid zinečnatý

Jeho chemický vzorech je ZnO. Jedná se druhý nejvíce používaný polovodivý oxid. V přírodě se vyskytuje jako šesterečný oranžově žlutý až červený nerost (Baudys 2015) V makroskopickém měřítku se jedná o bílý prášek nerozpustný ve vodě. Často je používán jako bílý pigment při výrobě barviv (Wojtalová 2014).

V podobě nanočástic má ZnO vynikající antibakteriální účinky a po fyzikální stránce je velice stabilní. Neodbarvuje a ke svojí aktivaci nepotřebuje UV světlo. Využívá se v medicíně, kosmetice a pro výrobu živočišných krmiv a veterinárních léčiv. Důležité také je, že chrání před UV zářením (včetně UVA a UVB), (Bittová 2010).

Nanočástice ZnO mají velké uplatnění v lékařském odvětví, a to hlavně pro svoji netoxicitu a biokompatibilitu (Baudys 2015). Oproti nanočásticím stříbra má výhodu v nižších pořizovacích nákladech, bílý vzhled a vlastnosti blokující UV záření. Nanočástice ZnO vykazují baktericidní účinky na grampozitivní a gramnegativní bakterie, takže i na spory, které jsou rezistentní vůči vysoké teplotě a vysokému tlaku. Přesný mechanismus antibakteriální aktivity nebyl zatím plně vyzkoumán. Baktericidní účinnost nanočástic ZnO je závislá na koncentraci a povrchu. Pokud se jedná o vyšší koncentraci a větší plochy, vykazovaly výsledky lepší antibakteriální aktivitu. Dále byla také prokázána vyšší permeabilita membrány, internalizace buněk a intracelulární strukturální změna v PVA obaleného v ZnO částicích (Burcu Devrim, Asuman Bozkir 2017).

1.7.2. Oxid zirkoničitý

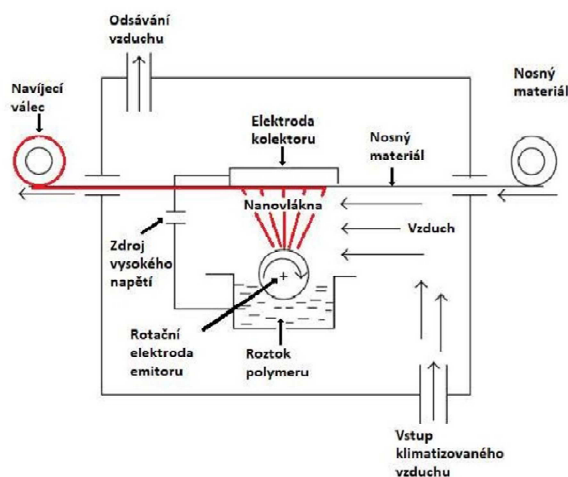
Chemický vzorec je ZrO_2 a jeho zjednodušený název je Zirconia. Pokud není dále zpracován, vyskytuje se ve formě bílého prášku nebo krystalků. Řadíme jej do skupiny oxidové keramiky a hlavní surovinou je minerál zirkon. Oxid zirkoničitý je míchán s příměsemi oxidu vápenatého, hořečnatého nebo ceritého a díky tomu dobře odolává vysokým teplotám. Jeho uplatnění je ve slévárnách nebo třeba sklárnách, a jelikož se jedná o velice kvalitní žáruvzdorný materiál, jeho využití je také pro vnitřní stěny tavících pecí. Pokud se jedná o zirkon-oxidovou keramiku, používá se jako součást čidel pro detekci kyslíku ve zplodinách. Další využití nalezne v klenotnictví jako náhrada za diamanty nebo brilianty, v dentální hygieně pro výrobu zubních implantátů a korunek atd. (<https://www.top-armyshop.cz> 18. 2. 2021)

Zirconia je díky své velké mechanické pevnosti a relativně nízké toxicitě velice používaný oxid kovu pro biologické aplikace. Jelikož se jeho používání rozšířilo, začalo se zkoumat využití nanočástic ZrO_2 . Díky své odolnosti vůči žáru jsou tyto nanočástice často využívány pro syntézu žáruvzdorných materiálů, slévárenských písků a keramiky. Jelikož mají i výhodnou mechanickou pevnost, jsou používány hodně i v biomedicíně pro biosenzory, léčby rakoviny, implantáty apod. Používání v medicíně vyvolalo obavy z potenciálních rizik pro zdraví a životní prostředí. Dosud ale nebyly prokázány výsledky ani pro jednu variantu (Mingfu & Bin Shi 2018).

Velikost nanočástic ZrO_2 se pohybuje 5 až 100 nm se specifickým povrchem (SSA) 25 až 50 m^2/g . Nanočástice jsou k dispozici ve vysoké kvalitě a čistotě. Můžeme je také nalézt ve formě disperze od firmy AE Nanofluid. Definice nanofluidů obecně jsou suspendované nanočástice v roztoku za pomoci povrchově aktivní látky nebo technologie povrchového náboje. Pokud se jedná o povrchově funkcionalizované nanočástice, umožňují, aby byly části přednostně absorbovány na povrchovém rozhraní pomocí chemicky vázaných polymerů. (<https://www.americanelements.com> 21. 2. 2021)

1.7.3. Technologie NanospiderTM

Jedná se o tzv. rotační spiner. Tato firma se zabývá výrobou Nanospiderů a jiných technologických zařízení pro výrobu nanovláken. Přístroj NanospiderTM dokáže vyrábět nanovlákná od průměru 50nm (Kulas 2019).



Obrázek 4 Princip Nanospideru™

(GIMBUN 2016, str. 6)

Tato technologie dokáže zvlákňovat jak kapky polymeru procházejícím tryskou do elektrického pole, tak z celé tenké vrstvy roztoku polymeru. Jedná se o beztryskovou technologii, která je schopná produkovat nanovláknenný materiál vysoké kvality. Nanospider™ využívá zvlákňovací elektrodu ve tvaru tenké struny a pohyblivou hlavu pro nanášení roztoku polymeru po celé délce struny. Nanovláknna se formují vlivem silného elektrického pole z tenké vrstvy polymeru na elektrodě. Firma Nanospider™ má velké portfolio výrobků, které pokrývají velkokapacitní provozy i laboratorní výzkumy. Všechny produkty fungují na stejné technologii a používají stejnou konstrukci rozvlákňovacích elektrod a ostatních prvků důležitých pro rozvlákňovací proces (<https://www.elmarco.cz/> 21. 2 2021).



Obrázek 5 Nanospider

(Foto autor)

1.7.3.1. Výhody technologie Nanospideru™

- Větší produktivita zařízení – dochází k vytvoření mnohem většího počtu taylorových kuželů
- Vyšší kvalita výsledného produktu v porovnání s ostatními technologiemi.
- Zvlákňování probíhá v komoře s přesně definovatelnými parametry – opakovatelnost výroby.
- Mnohem menší nároky na údržbu, protože není nutné čistit trysky.
- Hotové řešení pro průmyslovou výrobu
- Veliké množství polymerů, u kterých již byla ověřena zvláknitelnost
- Různé druhy nosného materiálu – tkanina, folie, papír atd.
- Možnost přesně řídit výrobní proces a opakovat ho, to je důležité zejména pro průmyslové využití stroje.

(Kulas 2019)

1.8. Testování nátěrů v exteriéru

Při testování nátěrů se využívá norma EN 927 – 3 pro exteriérovou zkoušku a EN 927 – 6 pro urychlená stárnutí v komoře (Ptáček 2009). Celá norma ČSN EN 927 obsahuje více částí (klasifikace a výběr, technická specifikace, zkouška přirozeným stárnutím, hodnocení propustnosti kapalin a urychlené stárnutí nátěrů na dřevě za působení vody a fluorescenčního UV záření. Nátěry se testují hlavně pro zjištění barvostálosti a jiných vlastností charakterizujících kvalitativní parametry využívaného nátěru (Pánek 2015).

1.8.1. Urychlené stárnutí nátěrů na dřevo využívaných v exteriéru

Pro tento typ zkoušky jsou využívány tzv. stárnoucí komory s fluorescenčním zářením a podmínky pro testování vychází z normy ČSN EN 927-6 (urychlené stárnutí nátěrů na dřevě s použitím vody fluorescenčního UV záření) a ČSN EN 927-3 (exteriérová zkouška). Velkou výhodou tohoto testování je urychlení času, zároveň ale nemusejí být výsledky zcela přesné a odpovídat zkouškám ve stojanech v exteriéru (Pánek 2015).

Výsledkem testování je změna nátěrových systémů, které byly vystaveny fluorescenčnímu záření a stanovenému množství postřikové destilační vody a také

střídání zátěžových cyklů. Většinou je používáno borovicové dřeva, ale norma ČSN EN 927-6 povoluje využití i jiných dřevin (Pánek 2015).

Pro testování jsou využívány fluorescenční komory s fluorescenčními rtuťovými výbojkami a pro postřik se používá demineralizovaná vody s pH 5 až 7,5 (Pánek 2015).



Obrázek 6 Komora pro urychlené stárnutí Q-LAB

(<https://labimexcz.cz/laboratore/produkty/uv-testery-ultrafialovym-zarenim-q-lab/>)

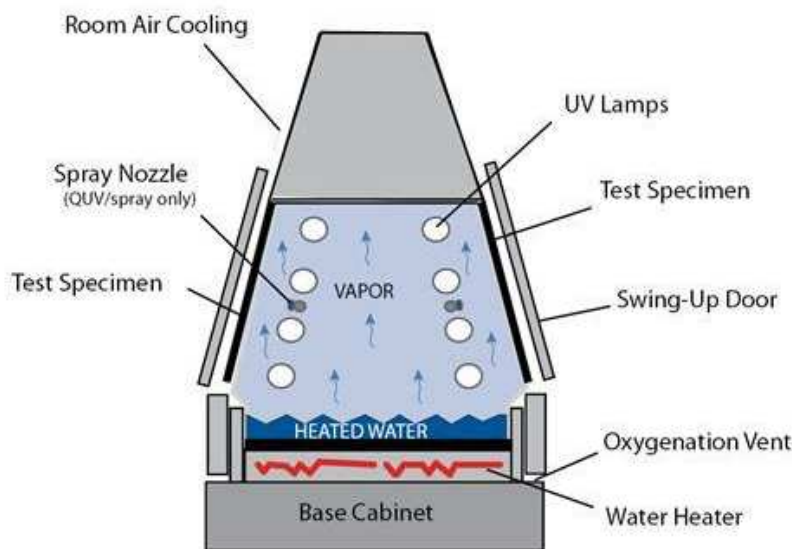
(10. 4. 2021)

Mezi výhody použití právě fluorescentních lamp je jednoduché řízení záření, minimální údržba, rychlé dosažení výsledků, relativně nízká pořizovací cena a optimální simulace UV složky slunečního záření. Intenzita světelného zdroje je sledována radiometry, které jsou kalibrovány podle druhu použitých lamp a zároveň řízeny regulací výkonu lamp. Mezi přednosti přístroje patří také čtyři velké expoziční plochy o rozměrech cca 300x500 mm, do kterých se osazují držáky na vzorky dle potřeby (<https://labimexcz.cz> 15. 2. 2021).

Testy probíhají v cyklech, a tento přístroj nabízí 3 možnosti:

- a) Osvit/kondenzace vody na vzorcích
- b) Osvit/cyklický ostřik vzorků tlakovou demineralizovanou vodou
- c) Osvit/kondenzace vody na vzorcích/cyklický ostřik vzorků tlakovou demineralizovanou vodou (<https://labimexcz.cz> 15. 2. 2021).

V tomto přístroji probíhá vytváření vlhkosti pomocí kondenzačního způsobu. Jako hlavní výhody tohoto způsobu výrobce uvádí identický zdroj vlhkosti v přírodním prostředí, zvýšenou teplotu zkoušky pro urychlení testu, kondenzace čisté vody na vzorcích bez jejich kontaminace, přímé použití vodovodní vody bez deminace pro kondenzační testy, minimální údržba a bez čerpadel (<https://labimexcz.cz> 15. 2. 2021).



Obrázek 7 Princip funkce přístroje v komoře s UV zářivkami

(<https://labimexcz.cz/laboratore/produkty/uv-testery-ultrafialovym-zarenim-q-lab/>
(10. 4. 2021)

Neméně důležitá je příprava vzorků před samotným začátkem zkoušení nátěru. Vzorky by neměly obsahovat žádné suky, trhliny, pryskyřice, měly by mít běžnou šířku letokruhů (3 až 10 ročních kruhů na 10mm vzorku) a úhel ročních letokruhů k čelu by měl být v rozmezí 5 až 45°. Dále by se na dřevě neměla vyskytovat žádná zamodrání a niloby, pouze v případě, že testy tuto skutečnost vyžadují. Vstupní hodnota vlhkosti by měla být dle normy ISO 554 $13 \pm 2\%$, toho dosáhneme pomocí klimatizování v klimatické komoře. Norma stanovuje i rozměry vzorků, vždy s tolerancí 2mm 375mm x 78mm x 20mm. Norma dále řeší správné nanášení testovaného nátěru, zde bychom se měli držet hlavně postupu daných výrobcem (Pánek 2015).

2. Materiály a metodika

2.1. Vzorky dřeva

Dřevěné vzorky pro experiment s urychlením stárnutí jsou z masivního modřínu opadavého. Jejich rozměry jsou cca 150 x 40 x 20 mm (podélný x radiální x tangenciální směr). Sbroušeny byly povrchy zkušebních těles brusným papírem o zrnitosti 120 a následně zbaveny veškerého prachu a nečistot. Před samotným nanášením nátěru byly vzorky klimatizovány na 20 °C s relativní vzdušnou vlhkostí 65%.

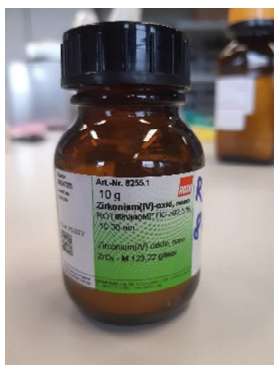


Obrázek 8 Příprava vzorků

(Foto autor)

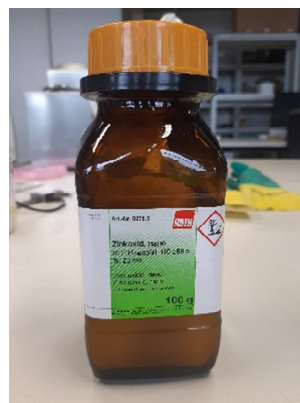
2.2. Nátěry jejich nanášení

Pro nátěr byla vybrána silnovrstvá transparentní akrylátová lazura na dřevo IMPRANAL PROFI od firmy Stachema (Příloha č. 1). Zkušební vzorky byly rozděleny na šest skupin, kdy první skupina obsahuje pouze dva vzorky a jedná se o referenční vzorky bez nátěru (označení M-REF), další skupiny jsou již po osmi kusech. Skupina označení M-AK je ošetřena třemi vrstvami nátěru. U ostatních byl proveden vždy jeden nátěr s příměsí nanočástic v 2% koncentraci a po následném vytvrzení byly provedeny ještě dva nátěry čistého nátěru. U skupin M-Z-B a M-ZN-B byly do nátěru první vrstvy přidány nanočástice ZnO a to v již zmíněné 2% koncentraci. U skupiny M-D-B a M-DN-B byly použity nanočástice ZrO₂ opět v 2% koncentraci. U skupiny M-ZN-B a M-DN-B jsme ještě přidávali nanosíťku ponořenou do prvního nátěru.



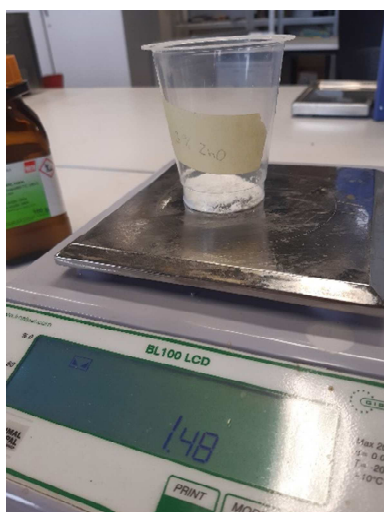
Obrázek 9 Nanočástice ZnO

(Foto autor)



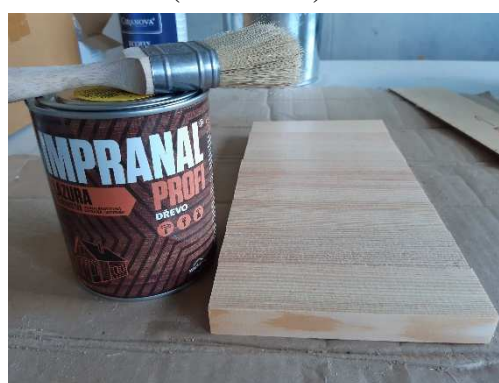
Obrázek 10 Nanočástice ZrO2

(Foto autor)



Obrázek 12 Vážení nanočástic

(Foto autor)



Obrázek 11 Akrylátový nátěr

(Foto autor)

Všechny nátěry byly nanášeny za pomoci štětce, vzorky byly natřeny ze tří stran, čela vzorku byla zasilikonována, spodní strana zůstala neošetřena a nachází se na ní pouze označení vzorku pro jeho identifikaci. Každý nátěr schnul 24 hodin dle doporučení výrobce.



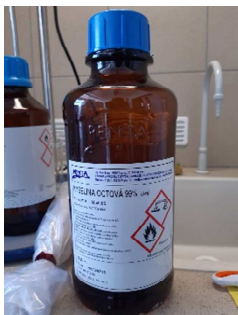
Obrázek 13 Zasilikonovaná čela

(Foto autor)

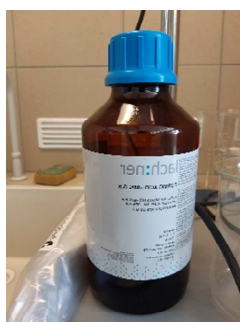
Z osmi vzorků v každé skupině jsme 4 vzorky podrobili umělému stárnutí v komoře a 4 odložili pouze pro destruktivní zkoušky. Na vzorcích podrobených umělému stárnutí bylo provedeno měření nedestruktivních zkoušek po určitých cyklech a po 9 týdnech (1512 hodin) jsme provedli zkoušky destruktivní, stejně jako u předchozích vzorků.

2.3. Nanosítka

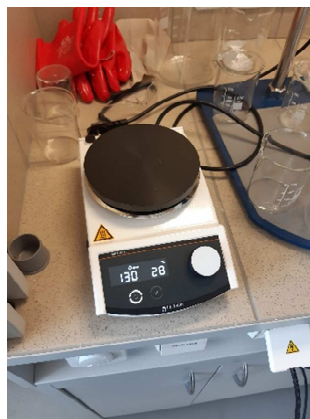
Pro tento výzkum byla použita nanosítka z nanovláken, která byla rozvláknována z připraveného roztoku. Tento roztok se připravoval po dobu 12 hodin při teplotě 80°C.



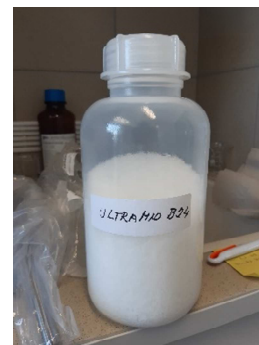
Obrázek 15
Kyselina octová
(Foto autor)



Obrázek 14
Kyselina mravenčí
(Foto autor)



Obrázek 16 Magnetická
míchačka
(Foto autor)



Obrázek 17 PA6
Ultramid B24
(Foto autor)

Složení roztoku:

PA6 Ultramid B24 – biokompatibilní syntetický polymer, je běžně používán pro rozvláknování v textilním průmyslu (výrobce BASF, Francie)

kyselina mravenčí – roztok o koncentraci 99% (výrobce PENTA, ČR)

kyselina octová – roztok o koncentraci 99% (výrobce PENTA, ČR)

Roztok byl namíchán ve hmotnostních koncentracích:

PA6 Ultramid B24: 16 g

Kyselina mravenčí (99%): 28 g

Kyselina octová (99%): 56 g

2.4. Měření

2.4.1. Měření a teorie barevných změn dle ISO 7724

Jelikož posuzování barev a barevných změn pomocí smyslů je velmi zavádějící a také každý člověk má jinou citlivost vnímání barev, byla vyvinuta objektivní metoda hodnocení a určování barev. I slovní popis barvy může být značně odlišný u stejné barvy, která je posuzována jinými lidmi. Tato metoda využívá trichromatickou soustavu CIE (Mezinárodní komise pro osvětlení). Využívá se postup měření kolorimetrie. CIELab je jedním ze dvou základních systému CIE přijatých v roce 1967. Tento systém by měl být přehlednější, a proto je také používanější. Systém CIELa je postaven na principu již dříve vytvořeného systému Richarda Huntera (1942), který se nazýval Lab. Základ těchto systémů je založen na fyziologickém poznatku, že někde mezi optickým nervem a centrem pro zpracování zrakového vjemu v mozku se nachází barevné podněty ze sítnice lidského oka a ty jsou transformovány do třech barevných rozmezí stojících proti sobě. Těmito barvami jsou světlá (bílá), tmavá (černá), červená – zelená a modrá – žlutá (Panák 2015).

Tento systém nám určuje, že jakoukoliv barvu viditelného spektra je možné rozložit na základní barevné složky x, y, z (tzv. kolorimetrické souřadnice – v systému CIELab nazývané L, a, b). Pro matematické vyjádření změn (odchylky) dvou barev se využívají Euklidovy vzdálenosti značeny jako barevné odchylky ΔE^* . Pokud se jedná o $\Delta E^* \leq 3$, je pro subjektivního pozorovatele barva neodlišitelná. Barevná diference ΔE^* mezi změnou barvy po a před stárnutím, se řídí podle metody CIE 1976 a počítá se podle rovnice (Pánek 2015).

Rovnice 2 výpočet barevné difference

(Pánek 2015 str. 76)

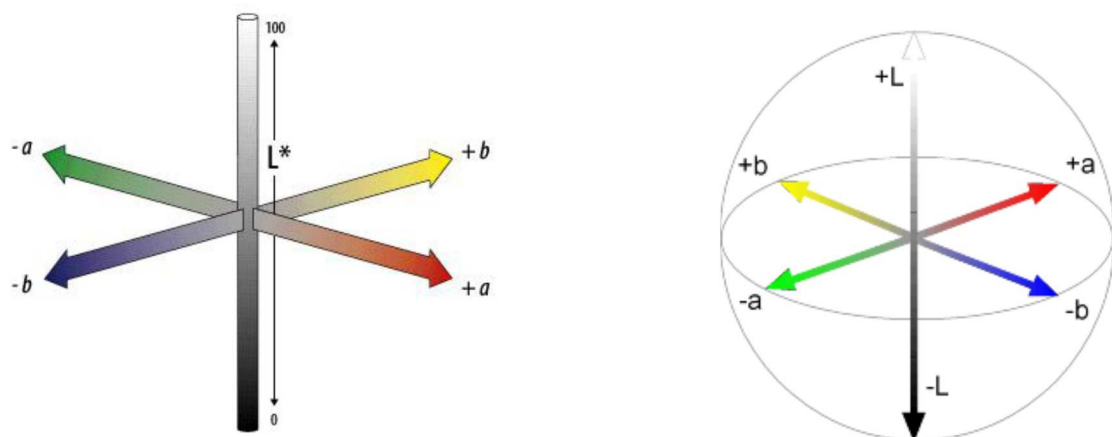
$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

L* je jas od 0 (černá) do 100 (bílá)

a* je souřadnice s odstínem mezi červenou (+60) a zelenou (-60)

b* je souřadnice s odstínem mezi žlutou (+60) a modrou – (-60)

(Pánek 2015)



Obrázek 18 Znáornění prostorového modelu $L^* a^* b^*$

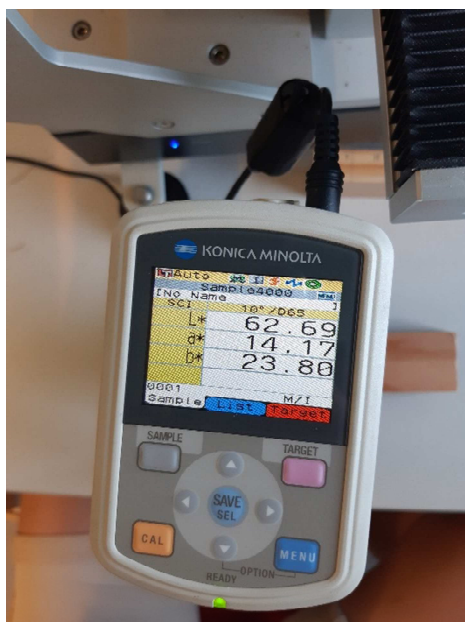
(http://www.appstate.edu/~steelekm/classes/psy3215/ColorModels/cie_lab.html 10. 4. 2021)

$0,2 < \Delta E^*$	neviditelný rozdíl
$0,2 < \Delta E^* < 2$	malý rozdíl
$2 < \Delta E^* < 3$	barevná změna viditelná s vysoce kvalitním filtrem
$3 < \Delta E^* < 6$	barevná změna viditelná se středně kvalitním filtrem
$6 < \Delta E^* < 12$	vysoké barevné změny
$\Delta E^* > 12$	odlišná barva

Obrázek 19 Rozsah barevní difference ΔE^*

(Pánek 2015 str. 77)

Data o barevnosti se v jednotlivých fázích experimentu měřila za pomoci odrazového spektrofotometru. Na vzorcích jsme před zahájením měření tužkou označili tři místa, aby měření probíhalo vždy na stejném místě. Hlavice se přiložila na tužkou vyznačená místa a stiskem tlačítka bylo měřené pole ozářeno světelným zdrojem přístroje. Poté fotodetektor vyhodnotil množství odraženého světla. K mému měření byl využit spektrofotometr CM-600d, Konica Minolta (Japonsko), (<https://old.vscht.cz> 9. 4. 2021).



Obrázek 20 Spektrofotometr

(Foto autor)

2.4.2. Lesk podle ČSN EN ISO 2813

Tato metoda se používá pro stanovení zrcadlového lesku nátěrů. Nátěry, které jsou touto metodou zkoušeny, nesmí obsahovat kovové pigmenty. Měření se provádí při úhlu 20°, 60° a 85°. Zrcadlový lesk je definován jako poměr světelného toku odraženého z měřeného povrchu usměrněného na specifický zdroj a úhlem světelného toku odraženého z referenčního skla (černé leštěné sklo s refrakčním indexem 1.567 má hodnotu 100 při úhlech 20°, 60° a 85°) v přípustném směru (Pánek 2015, str. 78).

Leskoměrem jsme měřili obdobně jako spektrofotometrem. Přístroj byl přiložen na tužkou vyznačená místa a po stisknutí tlačítka jsme odečetli hodnotu u 60°.

Nejpoužívanější úhel je 60°, jelikož je použitelný pro všechny nátěry. Úhel 20° má vyšší rozlišení a je určen pro lesklé nátěry, naopak úhel 85° se používá u nátěrů s nižším leskem (Pánek 2015).

Stupeň lesku můžeme definovat jako poměr mezi intenzitou dopadajícího a odraženého záření. Stupeň lesku se uvádí v jednotkách lesku GU (gloss units). Hodnota 100 GU je standard černého lesklého skla o indexu lomu 1,567 (<https://old.vscht.cz> 9.4. 2021).



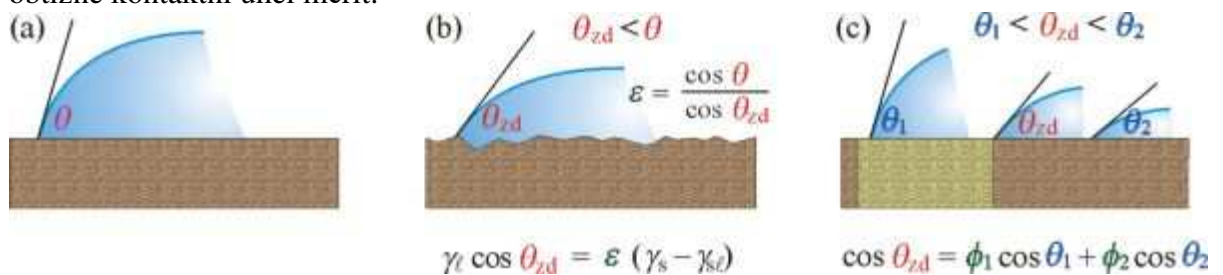
Obrázek 21 Leskoměr

(Foto autor)

2.4.3. Kontaktní úhel smáčení

Jedná se o úhel, který svírá tečna k povrchu kapky, vedená v bodě styku kapky s rozhraním. U kontaktního úhlu smáčení se dá jako jedna z mála věcí měřit přímo vlastnosti fázového rozhraní pevná látka/kapalina (Krásný 2010).

Jednalo se vždy o nanesení kapky vody na nátěr a po odpočítání cca 5 sekund se přístroj zastavil a odečetly se hodnoty kontaktního úhlu. Na jednom vzorku byl proveden počet 3 až 5 kapek během jednoho měření. S přibývajícím týdnem umělého stárnutí se pomalu začaly ztrácet nátěry na vzorcích a kapka se začala rychle vsakovat, tudíž bylo obtížné kontaktní úhel měřit.



Obrázek 22 Kontaktní úhel smáčivosti

(http://147.33.74.135/knihy/uid_es001/hesla/uhel_smaceni.htm 8.3.2021)

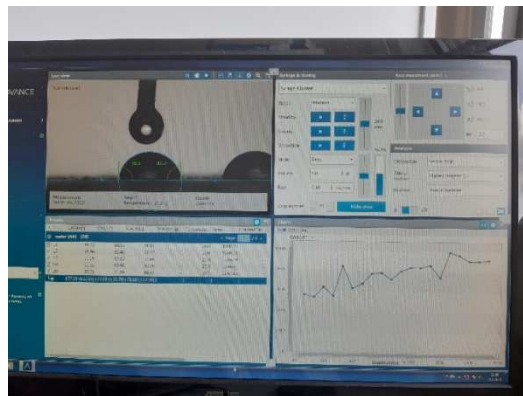
Kontaktní úhel dobře smáčejší kapaliny (a) na čistém hladkém povrchu (b) a na drsném povrchu (c) obrázek č. 22 (http://147.33.74.135/knihy/uid_es001/hesla/uhel_smaceni.htm 8.3.2021)

Smáčivost je vlastnost kapaliny přilnout k povrchu pevné látky. Známe tři typy smáčení, roztírací, adhezní a imerzní. U našich měření jsem používala měření úhlu smáčení na přisedlé kapce. Jedná se o jednu z nejpoužívanějších metod. V této metodě jsou kontaktní úhly měřeny z pohledu kapky konvekčním goniometrickým okulárem. Úhel měříme pouze tečnou sedící kapky v místě, kde se kapka dotýká s pevnou látkou. Výsledky jsou zaznamenávány za pomoci videokamery, mikroskopu a příslušného počítače. Výsledky mohou být lehce zavádějící, obzvláště u nátěru v průběhu stárnutí, kde dochází v některých místech k úplné ztrátě nátěru. Záleží na přesnosti, zkušenostech a zručnosti obsluhy (<https://www.dataphysics-instruments.com> 18. 3. 2021)



Obrázek 24 Nanášení kapky

(Foto autor)



Obrázek 23 Měření kontaktního úhlu

(Foto autor)

Kontaktní úhel byl měřen za pomoci OCA – Optické systémy pro měření kontaktního úhlu a systémy pro analýzu kontur, jedná se o přesná optická měřící zařízení. Velikost a vlastnosti kapek závisí na dávkovací jehle. Je možné měřit i za pomoci jiných kapalin než voda. Mimo smáčení se dá měřit také přilnavost (<https://www.dataphysics-instruments.com> 18. 3. 2021).



Obrázek 25 Příklad pro měření kontaktního úhlu

(<https://www.dataphysics-instruments.com> 18. 3. 2021)

2.4.4. Tvrdość nátěru dle ČSN EN ISO 15184

Jedná se nejjednodušší zkoušku tvrdosti nátěru tužkovou metodou dle výše zmíněné normy (respektive podle Wilkinsona). A zjišťujeme díky ní povrchovou tvrdost nátěrů. Povrchová tvrdost nátěru je velice důležitým faktorem, odvíjí se od ní mechanické vlastnosti jako pevnost, mechanická odolnost proti ohybu aj. Převážně se používá při hodnocení kvality vyráběných nátěrů a často ji nalezneme v katalogu. Jedná se o nejjednodušší zkoušení tvrdosti a jedná s postupné přikládání tužek seřazených dle tvrdosti do speciálního vozíčku a zkouší se, která tužka udělá do vzorku rýhy (Univerzita Pardubice 2002).



Obrázek 26 Vozíček pro měření tvrdosti

tužkou

(Foto autor)



Obrázek 27 Sada tužek

(Foto autor)

Stupnice tvrdosti tužek

stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
tvrdost	3B	2B	B	HB	F	H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H

Obrázek 28 Stupnice tvrdosti tužek

(Pánek 2015 str. 84)

2.4.5. Měření tvrdosti nátěru podle Brinella dle ČSN EN ISO 6506

Autorem této zkoušky je švédský inženýr Johan August Brinell. Zkouška se začala provádět již v roce 1900 a i přes svoje nedostatky je používána dodnes. Indentorem je kulička o průměru 10 mm z oceli (do 450 HB). Průměr indentoru volíme tak, aby průměr vtisku byl v rozměru 0,25D až 0,6D. Výsledná hodnota tvrdosti je totiž závislá na velikosti působícího zatížení. Brinellova zkouška je vhodná pouze pro měkké a středně tvrdé materiály (Macháč 2010).

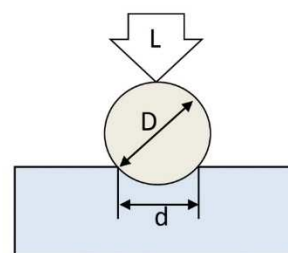
Tvrdost není fyzikální vlastnost, ale charakteristikou materiálu. Můžeme ji definovat jako odolnost materiálu proti vtláčení a výsledkem je měření trvalé hloubky vtisku. Můžeme tedy říci, že čím menší je vtisk, tím větší je tvrdost materiálu.

Používáme ji hlavně u materiálu s hrubým povrchem, kde nejsou vhodné ostatní metody měření tvrdosti. U Brinellovy metody je předem známé zatížení síly F (250 N) na karbidovou kouli s daným průměrem D . Výsledky jsou měřeny pomocí Brinellova mikroskopu, popřípadě speciálního optického systému (<https://www.hardnesstesters.com> 18.3.2021).



Obrázek 29 Průběh měření

(Foto autor)



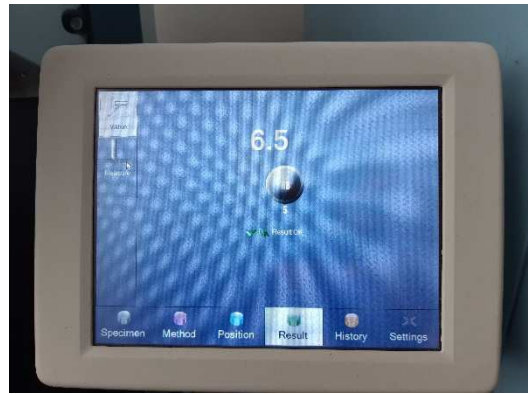
Obrázek 30 Princip Brinell

(<https://www.buehler.com/brinell-hardness-testing.php> 10.4.2021)



Obrázek 32 Příklad pro měření tvrdosti

(Foto autor)



Obrázek 31 Výsledná hodnota měření

(Foto autor)

2.4.6. Adheze nátěru k povrchu dle normy

Pro přesné a opakované testy se pro zkoušku adheze nátěrů k povrchu používají tzv. „Adhesion Testery“. Jedná se o přesné měření síly, která je zapotřebí pro odtrhnutí přesně definované plochy nátěru z povrchu materiálu nalepeného terčíku. Síla se může vyvíjet mechanicky nebo poloautomaticky u dražších přístrojů (Test podle ČSN EN 3114).

Plochu nátěru, kde byl prováděn test, jsme nejprve očistili lihem, stejně jako ocelové terčíky. Na zaschlý nátěr jsme přilepili ocelové terčíky pomocí dvousložkového rychleschnoucího epoxidového lepidla ALTECO Clear. Lepidlo se skládalo ze složky A – pryskyřice a ze složky B – tvrdidlo. Lepidlo zasychalo minimálně 20 minut dle návodu. Po vytvrdnutí lepidla se musí očistit spoj okolo terčíku, aby se odtrhávala pouze vymezená plocha. Následným vyvíjením mechanické síly dojde k odtrnutí nalepeného terčíku. Vyhodnocujeme sílu a také kde k odtrnutí došlo, zda ve dřevě, nátěru nebo lepidle. Po zkoušce je třeba terčíky zbrousit pro možnost dalšího použití.



Obrázek 34 Dvousložkové lepidlo ALTECO Clear

(Foto autor)



Obrázek 33 Čištění spoje okolo terčiky

(Foto autor)



Obrázek 35 Nalepené terčiky

(Foto autor)



Obrázek 36 "Adhesion tester" Coming Plus

(Foto autor)

2.5. Testy stárnutí

Testování vzorků pro umělé urychlení stárnutí dřeva probíhalo v laboratorních podmínkách za použití přístroje s vodou a fluorescenčním UV zářením Q-LAB (viz kapitola 1.8.1). Délka experimentu byla 6 týdnů (1008 h). Dílčím cílem mé práce bylo provádět a zaznamenávat vstupní, kontrolní (po 168 h a 504 h) i závěrečná měření a hodnocení. Umělé stárnutí bylo provedeno u poloviny vzorků, u druhé poloviny probíhalo měření bez umělého stárnutí. U první poloviny vzorků jsem vždy na třech místech měřila barevostálost, lesk nátěru a kontaktní úhel s použitím spektrofotmetru (viz kapitola 2.4.1.), leskoměru (viz kapitola 2.4.2.), a goniometru (viz kapitola 2.4.3.) (nedestruktivní zkoušky). Destruktivní zkoušky jsem prováděla u každého vzorku (s i bez umělého stárnutí). Tady jsem prováděla měření tvrdosti nátěru pomocí vrypu tužek různé tvrdosti (viz kapitola 2.4.4.), přilnavost (adheze) nátěru pomocí Adhesion Tester (viz kapitola

2.4.6.) a tvrdost nátěru podle Brinella (viz kapitola 3.4.5.). Získané údaje pak sloužily ke stanovení změn všech výše zmíněných zkoušek nátěrů podle stárnutí a také u vzorků, které stárnutí nebyly vystaveny.



Obrázek 37 Vzorky v komoře pro umělé stárnutí

(Foto autor)

Nedestruktivní stárnutí bylo provedeno vždy na začátku experimentu a opakováno po jednom (168 hodin), třech (504 hodin), šesti (1008 hodin) a devíti (1512 hodin) týdnech. Získané naměřené hodnoty byly zpracovány v tabulkách a grafech a veškeré potřebné výpočty byly provedeny v programu Microsoft Office Excel 2013 (viz kapitola 2.6.).

2.6. Statistické metody

Aritmetický průměr

Jedná se o nejčastěji používanou hodnotu ve statistice. Aritmetický průměr používám pro určení výsledných hodnot u zkoumaných vzorků v grafech a tabulkách.

Rovnice 2 výpočet aritmetického průměru

(<https://www.vypocitejto.cz/prumer/aritmeticky-prumer.html> 5.2. 2021)

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

3. Výsledky a diskuze

3.1. Výsledky

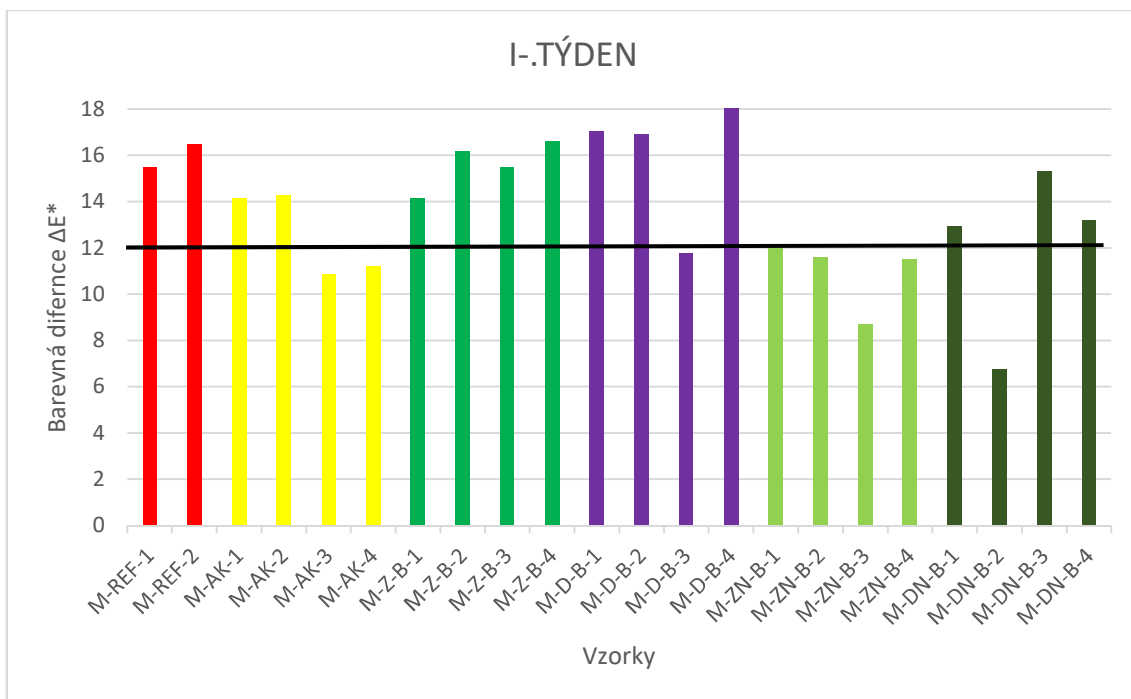
3.1.1. Změna barvy

Tabulka udává barevnou diferenci ΔE^* po prvním týdnu umělého stárnutí. V tabulce se nachází vždy ΔE^* pro 3 předem označená místa na vzorku (měření probíhalo vždy na stejném místě). Oranžová barva znázorňuje hodnotu barevné difference nad 12, což značí odlišnou barvu. Zelená barva znázorňuje vysokou barevnou změnu. Vyhodnocení barevné difference viz obrázek č. 19.

Tabulka 1 Barevná diference ΔE^* po prvním týdnu

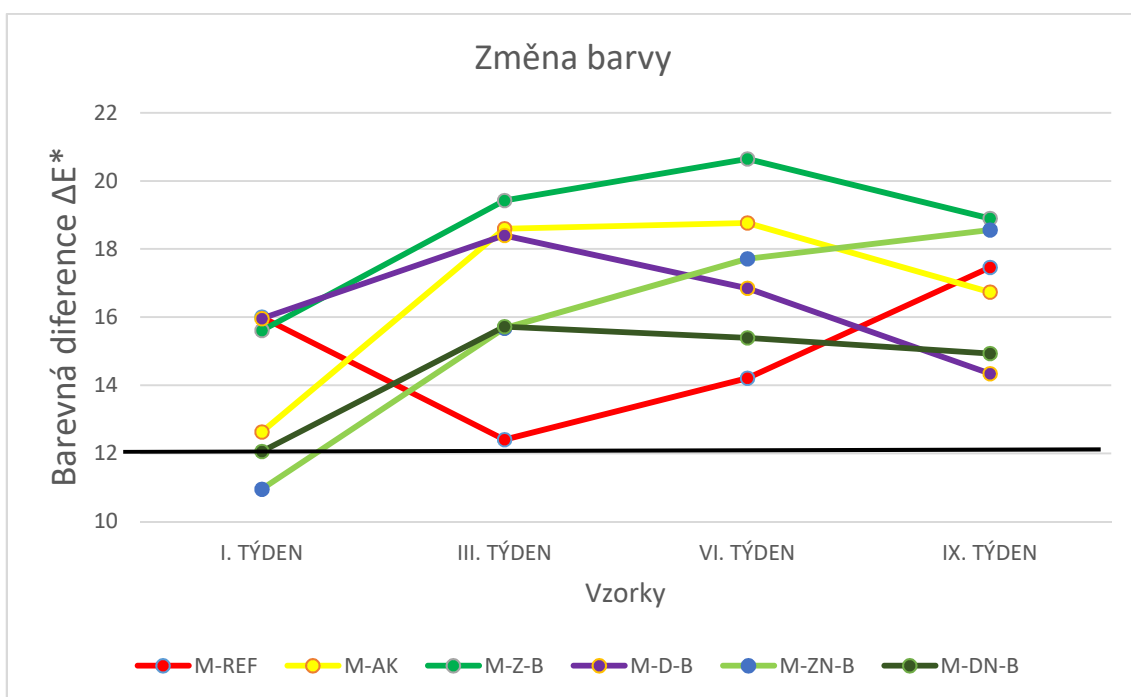
(autor)

	ΔE^*I	ΔE^*II	ΔE^*III	PRŮMĚR	CELKOVÝ PRŮMĚR
M-REF-1	16,09149	14,93435302	15,51322	15,51302	16,00477332
M-REF-2	15,35928	16,59669847	17,5336	16,49652	
M-AK-1	15,35247	14,94425308	12,15137	14,14936	12,6269719
M-AK-2	13,91415	14,33813447	14,63059	14,29429	
M-AK-3	11,05109	10,79802297	10,72264	10,85725	
M-AK-4	10,72848	10,98914919	11,90331	11,20698	
M-Z-B-1	11,60265	15,96987476	14,82918	14,1339	15,60493214
M-Z-B-2	13,65071	22,43344601	12,43769	16,17395	
M-Z-B-3	14,69592	15,70307613	16,12174	15,50691	
M-Z-B-4	16,65567	15,48538666	17,67384	16,60496	
M-D-B-1	17,33335	17,05929952	16,78998	17,06088	15,95611167
M-D-B-2	19,03531	13,55819309	18,15223	16,91525	
M-D-B-3	12,31452	10,80912115	12,22957	11,78441	
M-D-B-4	18,14117	17,2550891	18,7955	18,06392	
M-ZN-B-1	9,896631	13,60062131	12,44272	11,97999	10,94679377
M-ZN-B-2	10,90002	13,55445683	10,36235	11,60561	
M-ZN-B-3	8,531829	8,524148051	8,988821	8,681599	
M-ZN-B-4	10,30784	11,39932454	12,85275	11,51997	
M-DN-B-1	15,97144	12,45262221	10,41955	12,94787	12,06079774
M-DN-B-2	3,597444	6,376715455	10,29907	6,757744	
M-DN-B-3	14,49464	15,57199409	15,96843	15,34502	
M-DN-B-4	12,99394	13,05472711	13,52901	13,19256	



Graf 1 I. TÝDEN stárnutí

(autor)



Graf 2 Celková změna barvy

(autor)

Z grafu č. 1 je vidět změna barvy po 1. týdnu umělého stárnutí. Po dalších týdnech už byly všechny hodnoty barevné difference nad hodnotu 12, což značí odlišnou barvu, jak je vidět v grafu č. 2. V grafu č. 1 a č. 2 je vyznačená hodnota barevné difference 12 pro lepší orientaci v grafu. Data grafu č. 2 vyhází z hodnot v tabulkách v příloze č. 2.

Referenční vzorky (M-REF) již po prvním týdnu umělého stárnutí přesahovaly hodnotu 12. Vzorky s transparentním akrylátovým nátěrem (M-AK) se u dvou případů dostaly pod hranici 12, což značí vysokou barevnou změnu. Vzorky s nanočásticemi ZnO (M-Z-B) měly takový vzorek pouze jeden. Vzorky s nanočásticemi ZrO₂ (M-D-B) měly takové vzorky dva. Nejlépe dopadly vzorky s nanočásticemi ZnO a nanosítkou, tam byly hodnoty u všech měření pod hodnotou 12, jak můžeme vidět u grafu č. 1 (všechny 4 hodnoty pod vyznačenou hodnotou 12). Vzorky s nanočásticemi ZrO₂ a nanosítkou měly pouze 1 vzorek pod tuto hodnotu.

V následujících týdnech již všechny naměřené hodnoty barevné difference byly vyšší než hodnota 12, jak je vidět v grafu č. 2.

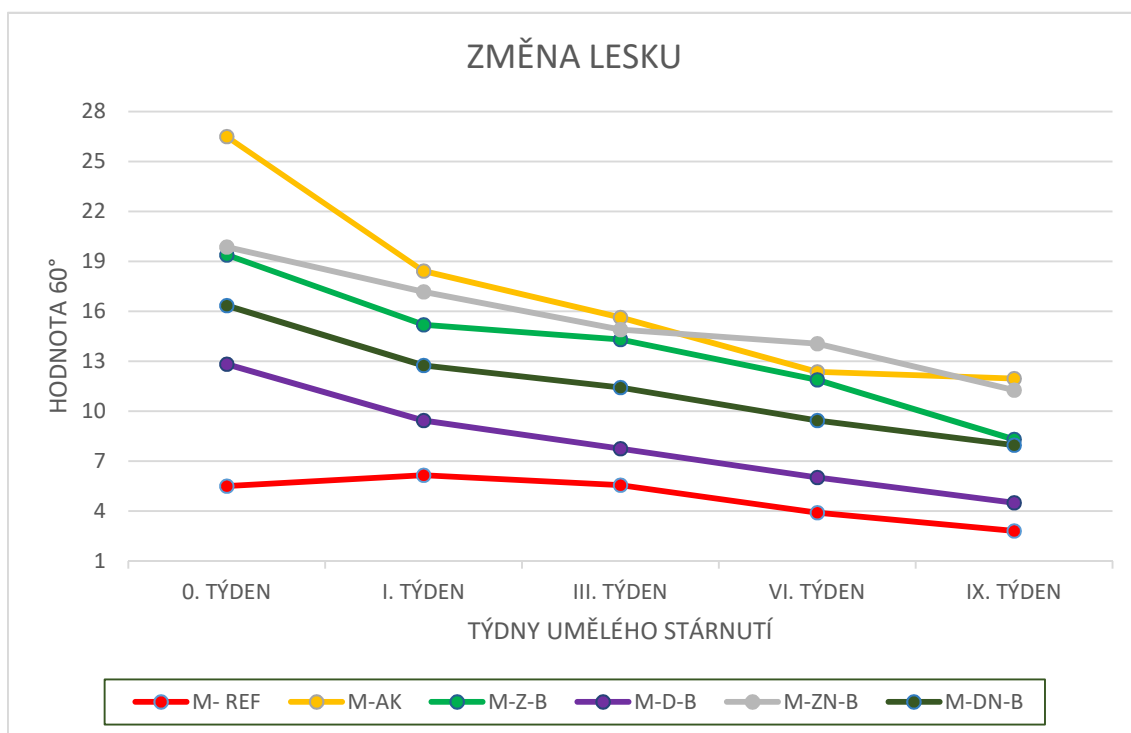
3.1.2. Změna lesku

Hodnoty lesku jsem odečítala při 60°. V tabulce jsou zaznamenány průměrné hodnoty ze všech vzorků vždy po určitých týdnech. Průměry vychází z naměřených hodnot v tabulkách přílohy č. 3.

Tabulka 2 Změna lesku

(autor)

	0. TÝDEN	I. TÝDEN	III. TÝDEN	VI. TÝDEN	IX. TÝDEN
M- REF	5,5	6,15	5,567	3,9	2,8
M-AK	26,5	18,433	15,633	12,367	11,967
M-Z-B	19,392	15,2	14,317	11,883	8,3
M-D-B	12,825	9,45	7,758	6,017	4,5
M-ZN-B	19,875	17,183	14,9	14,05	11,278
M-DN-B	16,342	12,75	11,433	9,45	7,956



Graf 3 Změna lesku

(autor)

Z grafu č. 3 je patrné postupné klesání lesku dle doby stárnutí. S menšími výkyvy, ale jinak pravidelné. Veškeré hodnoty, ze kterých vychází graf č. 3, se nachází v příloze č. 3.

U hodnocení lesku jsme na tom již poněkud lépe než u barvostálosti. Zde nám největší změny ukazuje nátěr M-AK (žlutá křivka na grafu č. 3) a mírný výkyv hodnot ukazuje i nátěr M-ZN-B (světle zelená křivka na grafu č. 3). Ostatní křivky nátěrů postupně klesají s přibývajícím týdny umělého stárnutí.

Na začátku měření měl největší lesk nátěr M-AK (pouze akrylátový nátěr) a bylo tomu tak i na konci. Za to nátěry M-D-B a M-DN-B (nanočástice ZrO_2 + nanosítka) měly konstantně klesající lesk po celou dobu 9 týdnů umělého stárnutí.

3.1.3. Změna kontaktního úhlu

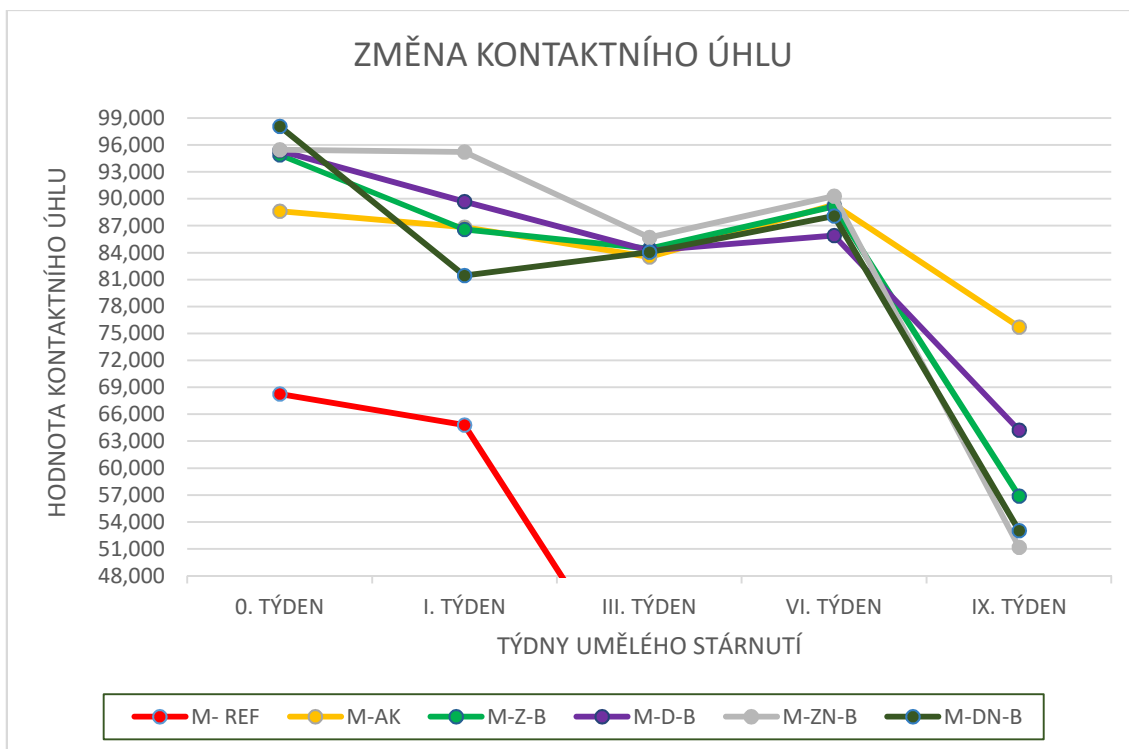
Kontaktní úhel byl měřen pomocí goniometru a vždy na jednom vzorku se provádělo pět měření, vždy na jiném místě vzorku. V tabulce č. 3 jsou všechny průměrné

hodnoty pro jednotlivé skupiny vzorků měřených v týdenních intervalech. Průměrné hodnoty vycházejí z hodnot v příloze č. 4, stejně jako graf č. 4.

Tabulka 3 Změna kontaktního úhlu

(autor)

	0. TÝDEN	I. TÝDEN	III. TÝDEN	VI. TÝDEN	IX. TÝDEN
M- REF	68,265	64,807	32,736	22,112	0,000
M-AK	88,606	86,823	83,507	89,320	75,724
M-Z-B	94,899	86,578	84,454	89,156	56,88267
M-D-B	95,374	89,686	84,250	85,912	64,21933
M-ZN-B	95,453	95,218	85,697	90,311	51,19333
M-DN-B	98,074	81,452	84,056	88,092	53,04867



Graf 4 Změna kontaktního úhlu

(autor)

U kontaktního úhlu můžeme vidět podobně klesající křivky, až na nějaké výjimky. U referenčních vzorků bez nátěru došlo k nedoměření v 9. týdnu, jelikož kapka se do vzorku vsákla dříve, než jsem stihla hodnotu naměřit. Jedná se o červenou křivku u grafu č. 4. Z důvodu přehlednosti grafu není zcela zachycená.

Zde jsou největší výkyvy hodnot po prvním týdnu. V týdnu šestém došlo k mírnému nárůstu hodnot, a to u všech vzorků, ale po týdnu devátém všechny konstantně klesaly. Nejvíce podobné hodnoty během stárnutí měl nátěr M-AK (akrylátový nátěr). Naopak největší výkyvy můžeme vidět u zelené křivky vzorků M-ZN-B na grafu č. 4. Zbylé nátěry M-Z-B, M-D-B a M-DN-B mají podobné hodnoty konstantně klesající.

3.1.4. Tvrdość nátěru dle ČSN EN ISO 15184

Tvrdość nátěru pomocí tužky byla provedena na 2 vzorcích vystavených umělému stárnutí a dvou vzorcích bez vystavení umělému stárnutí. Dle přiložených tabulky č. 4 je patrné, že všechny vzorky mají tvrdość tužky stupeň 1, což odpovídá tužce tvrdości 3B viz obrázek č. 28.

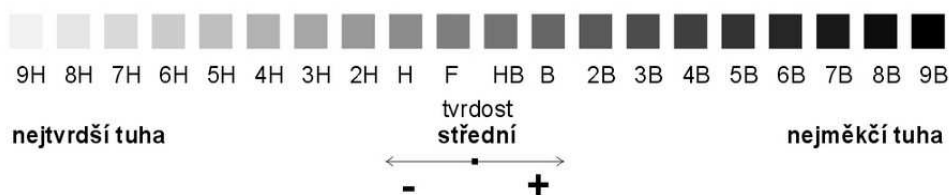
Tabulka 4 hodnoty tvrdosti nátěru dle tužky

(autor)

bez stárnutí		
OZNAČENÍ	TVRDOST	PRŮMĚR
M-AK-5	1	1
M-AK-6	1	
M-Z-B-6	1	1
M-Z-B-7	1	
M-D-B-5	1	1
M-D-B-7	1	
M-DN-B-5	1	2
M-DN-B-6	3	
M-ZN-B-6	1	1
M-ZN-B-7	1	

stárnutí		
OZNAČENÍ	TVRDOST	PRŮMĚR
M-AK-3	1	1
M-AK-4	1	
M-Z-B-1	1	1
M-Z-B-3	1	
M-D-B-2	1	1
M-D-B-3	1	
M-DN-B-2	1	1
M-DN-B-4	1	
M-ZN-B-3	1	1
M-ZN-B-4	1	

Tvrdości tuh



Nejměkčí tuha je 8B (9B už je přírodní grafit).

- H** - hard (tvrdý)
- F** - firm (pevný)
- B** - black (černý)

Americký systém značení užívá jen čísla. Přibližné srovnání podává následující tabulka.

Tone USA	=	Evropa
#1	=	B
#2	=	HB
#2 ½ *	=	F
#3	=	H
#4	=	2H

Obrázek 38 Tvrdości tuh

(<https://www.rafoshop.cz/tuzky-a-versatilky> 5.4.2021)

Tvrdości nátěru podle tužky se nedá moc posuzovat, všechny nátěry měly vstupní a konečné hodnoty stejné, a to bez vlivu umělého stárnutí či po umělém stárnutí. Lišila se pouze jedna hodnota vzorku M-DN-6 (ZrO + nanosítka), zde vyšla výsledná tvrdost 2,

což odpovídá tužce 2B, nejspíš se jednalo a ojedinělý vzorek. Ostatní vzorky mají tvrdost nátěru podle tužky 1, což odpovídá tvrdosti tužky 3B, a to jak před stárnutím, tak po umělém stárnutí.

3.1.5. Tvrdosti nátěru podle Brinella

Měření tvrdosti nátěru podle Brinella probíhala podobně jako tvrdost dle tužky. Opět byly zkoušeny vzorky po umělém stárnutí a bez umělého stárnutí. Vždy byly použity dva a dva vzorky. Při měření jednoho vzorku jsem provedla vždy dvě kontrolní měření a pak z nich udělala průměr pro lepší hodnocení výsledků.

Tabulka 5 tvrdost podle Brinella bez stárnutí

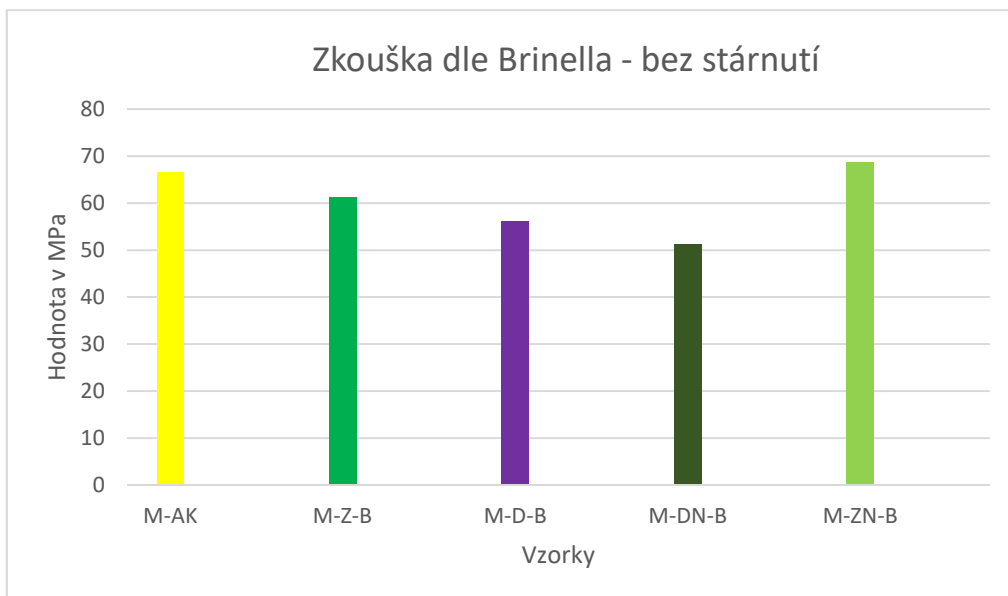
(autor)

bez stárnutí				
OZNAČENÍ	1 měření	2 měření	PRŮMĚR	PRŮMĚR CELKEM
M-AK-5	67	74	70,5	66,5
M-AK-6	69	56	62,5	
M-Z-B-6	74	65	69,5	61,25
M-Z-B-7	54	52	53	
M-D-B-5	56	41	48,5	56
M-D-B-7	56	71	63,5	
M-DN-B-5	74	58	66	51,25
M-DN-B-6	14	59	36,5	
M-ZN-B-6	76	66	71	68,75
M-ZN-B-7	65	68	66,5	

Tabulka 6 tvrdost podle Brinella stárnutí

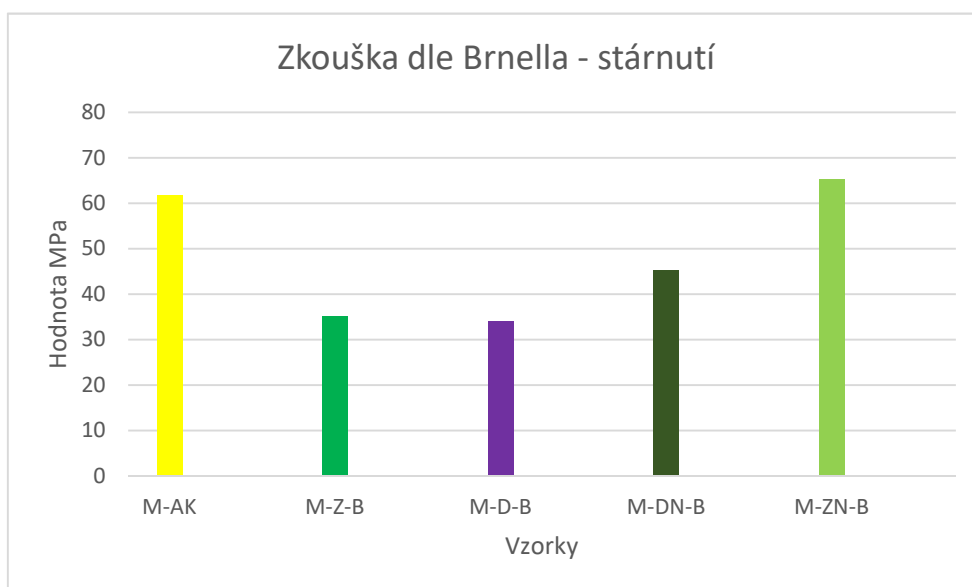
(autor)

stárnutí				
OZNAČENÍ	1 měření	2 měření	PRŮMĚR	PRŮMĚR CELKEM
M-AK-3	73	36	54,5	61,75
M-AK-4	67	71	69	
M-Z-B-1	20	25	22,5	35
M-Z-B-3	45	50	47,5	
M-D-B-2	16	59	37,5	34
M-D-B-3	28	33	30,5	
M-DN-B-2	44	57	50,5	45,25
M-DN-B-4	24	56	40	
M-ZN-B-3	77	62	69,5	65,25
M-ZN-B-4	61	61	61	



Graf 5 Tvrđost podle Brinella bez stárnutí

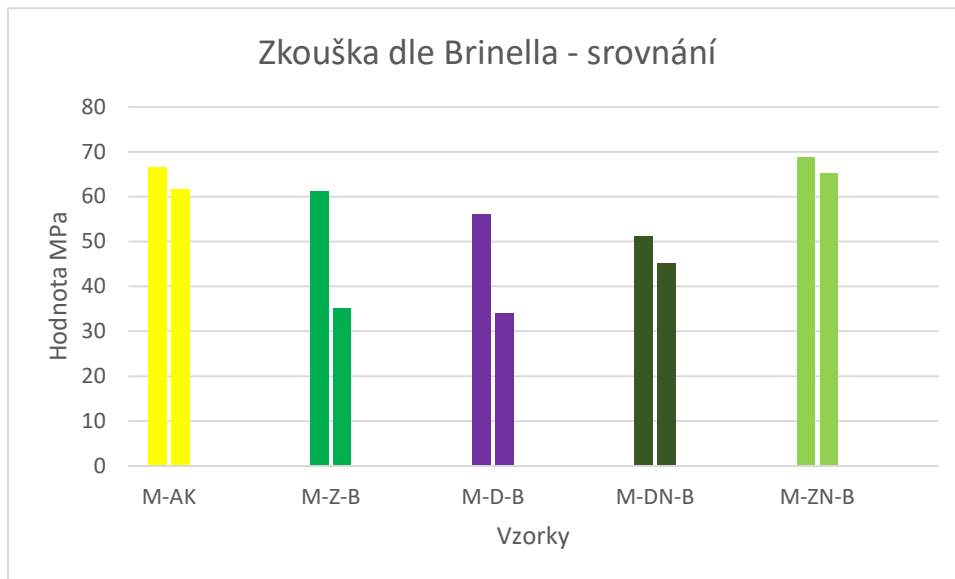
(autor)



Graf 6 Tvrđost podle Brinella stárnutí

(autor)

Na grafech č. 5 a 6 můžeme vidět průměrnou hodnotu tvrdosti v MPa pro jednotlivé skupiny vzorků. Na grafu č. 7 jsou výsledky jak bez stárnutí, tak po umělém stárnutí sloučeny do jednoho grafu pro lepší porovnání.



Graf 7 Tvrđost podle Brinella srovnání

(autor)

U vzorků bez stárnutí měly nejvyšší tvrdost vzorky M-ZN-B (nanočástice ZnO) a těsně za nimi vzorky M-AK (akrylátový nátěr). Ostatní hodnoty byly ale velice podobné zbylým vzorkům, jak můžeme vidět na grafu č. 5.

Vzorky po umělém stárnutí byly u již zmíněných vzorků podobné, naopak u zbylých třech skupin výrazně poklesly. Nejlépe tedy opět vychází vzorky M-AK a M-ZN-B, jak je patrné z grafu srovnání č. 7.

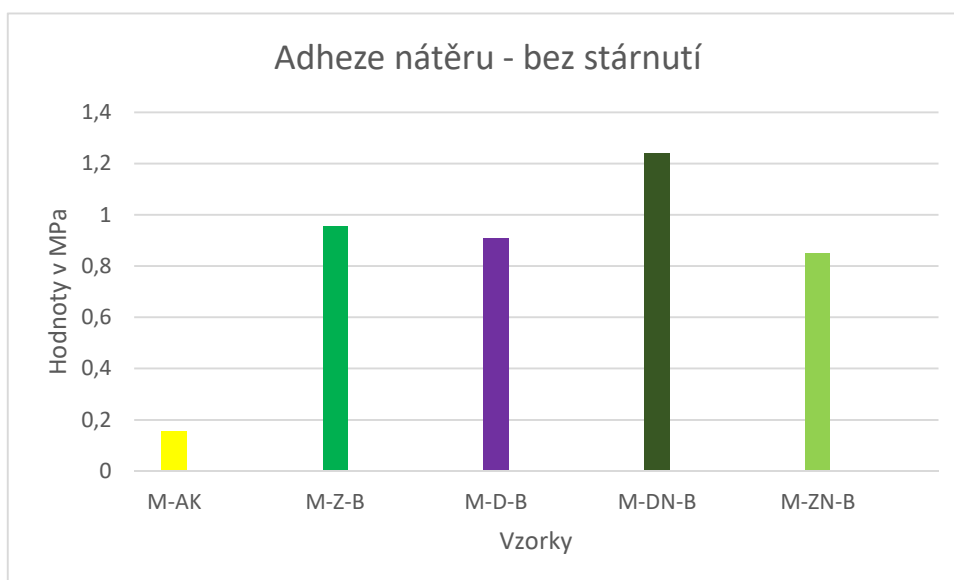
3.1.6. Adheze nátěru k povrchu

U měření adheze to bylo obdobné jako u tvrdosti, bylo provedeno vždy jedno měření na každém vzorku. Měřily se vzorky bez stárnutí a po umělém stárnutí. Jednalo se o nalepení terčků na nátěr a po vytvrzení lepidla odtrhnutí za pomoci "Adhesion tester" Coming Plus. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tabulka 7 - adheze nátěru k povrchu

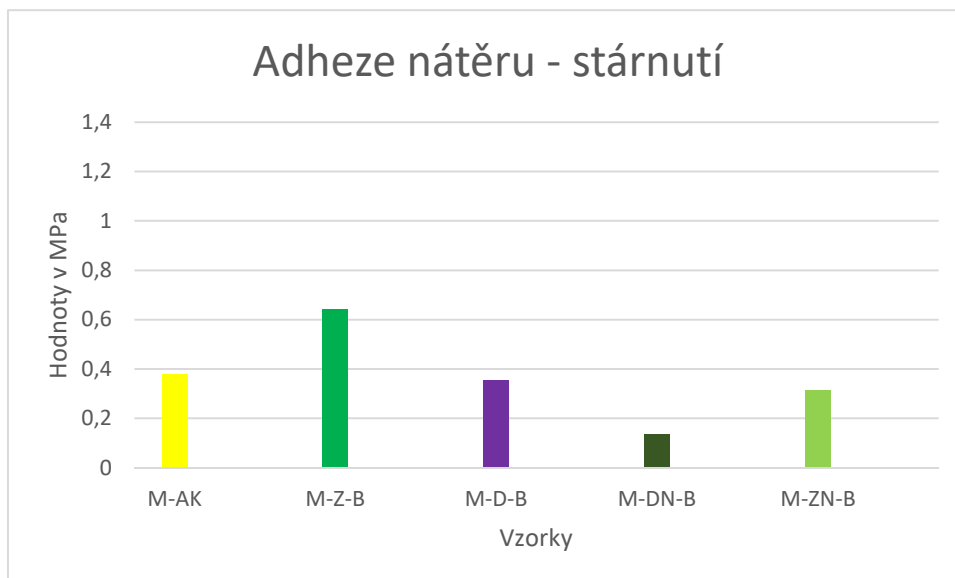
(autor)

bez stárnutí				stárnutí			
OZNAČENÍ	HODNOTA	PORUŠENÍ	PRŮMĚR	OZNAČENÍ	HODNOTA	PORUŠENÍ	PRŮMĚR
M-AK-5	0,22	-/Y	0,155	M-AK-3	0,3	-/Y	0,38
M-AK-6	0,09	-/Y		M-AK-4	0,46	-/Y	
M-Z-B-6	1,13	A	0,955	M-Z-B-1	1,03	-/Y	0,64
M-Z-B-7	0,78	A		M-Z-B-3	0,25	-/Y	
M-D-B-5	0,83	A	0,91	M-D-B-2	0,37	-/Y	0,355
M-D-B-7	0,99	A		M-D-B-3	0,34	-/Y	
M-DN-B-5	1,09	A	1,24	M-DN-B-2	0,19	-/Y	0,135
M-DN-B-6	1,39	B		M-DN-B-4	0,08	-/Y	
M-ZN-B-6	0,68	A	0,85	M-ZN-B-3	0,23	-/Y	0,315
M-ZN-B-7	1,02	-/Y		M-ZN-B-4	0,4	-/Y	



Graf 8 Adheze nátěru - bez stárnutí

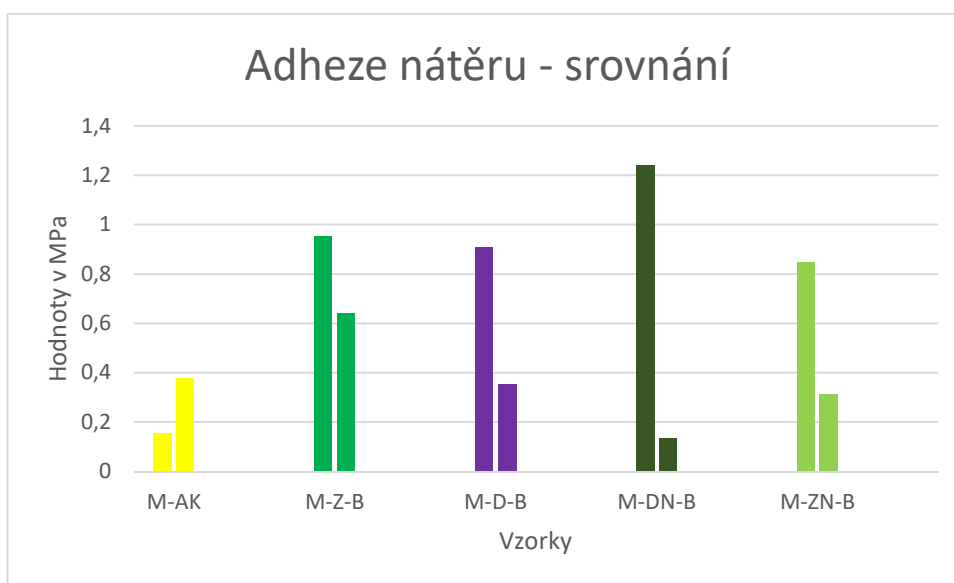
(autor)



Graf 9 Adheze nátěru – stárnutí

(autor)

Na grafech č. 8 a 9 můžeme vidět průměrné hodnoty adheze nátěru v MPa. Graf č. 10 spojuje hodnoty bez stárnutí a stárnutí do jednoho pro lepší orientaci v hodnotách.



Graf 10 Adheze nátěru – srovnání

(autor)

Zde je vidět zásadnější rozdíl mezi nátěry bez stárnutí a nátěry vystavené umělému stárnutí. Nejlépe dopadl nátěr M-DN-B (nanočástice ZrO + nanosířka). Naopak nejhůře nátěr M-AK (akrylátový nátěr). Další vzorky si vedly vzájemně dost obdobně.

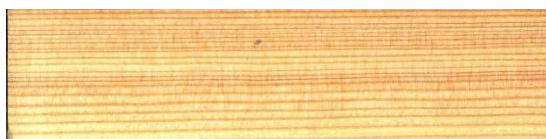
Vzorky vystavené umělému stárnutí dopadly výrazně hůře pro nátěr M-DN-B, kdy jeho změna byla největší. Nejméně klesá hodnota u nátěru M-Z-B (nanočástice ZnO).

Mírně se zvýšila hodnota u nátěru M-AK (akrylátový nátěr), což ale může být pouze ojedinělým vzorkem.

3.2. Diskuze

3.2.1. Barva

Vliv nanočástic na barvostálost není z výsledků nijak zřejmý. Po prvním týdnu umělého stárnutí měly ještě některé vzorky výsledky hodnotitelné, v pozdějších měřeních však všechny hodnoty barevné difference překročily hodnotu 12, což značí odlišnou barvu.



Obrázek 48 M-AK I. Týden

(fotoautor)



Obrázek 43 M-AK IX. Týden

(fotoautor)



Obrázek 47 M-D-B I. Týden

(fotoautor)



Obrázek 42 M-D-B IX. Týden

(fotoautor)



Obrázek 46 M-DN-B I. Týden

(fotoautor)



Obrázek 41 M-DN-B IX. Týden

(fotoautor)



Obrázek 45 M-Z-B I. Týden

(fotoautor)



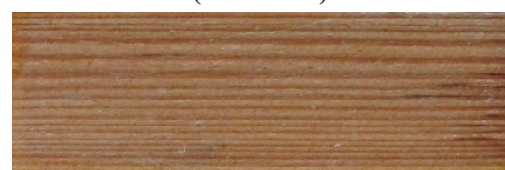
Obrázek 40 M-Z-B IX. Týden

(fotoautor)



Obrázek 44 M-ZN-B I. Týden

(fotoautor)



Obrázek 39 M-ZN-B IX. Týden

(fotoautor)

3.2.2. Lesk

Došlo k menšímu výkyvu vzorků M-ZN-B v VI. týdnu. Jinak hodnoty naměřené v 0. týdnu konstantně klesaly až po měření v týdnu IX. Nejvíce matné byly vzorky referenční a s přídavkem nanočástic ZrO₂. Naopak nejvíce lesklý byl nátěr akrylátový, až na již zmíněný výkyv v VI. týdnu měření, což můžeme vidět v grafu č. 3.

3.2.3. Kontaktní úhel

Všechny vzorky s příměsí nanočástic a nanosítkou byly v 0. týdnu měření větší než akrylátový nátěr a referenční vzorky. U vzorků M-DN-B (nanočástice ZrO₂ + nanosítka) byla v 0. týdnu hodnota nejvyšší. Další vzorky s nanočásticemi byly podobné hodnoty.

V I. týdnu se hodnoty hodně rozptýlily, ale v dalších týdnech se již ustálily a byly si navzájem hodně podobné, což je patrné z grafu č. 4.

3.2.4. Tvrдость nátěru dle ČSN EN ISO 15184

Jelikož tvrdost nátěru samotného nebyla lepší než stupeň jedna, nanočástice ani nanosítka tvrdost nezvýšily. Nelze pořádně posoudit ani nátěr po a před stárnutím, jelikož tvrdost nátěru se neměla jak zhoršovat.

Jeden vzorek měl před stárnutím výrazně vyšší tvrdost 3, což odpovídá tvrdosti tužky B dle obrázku č. 28. Nejspíš se jednalo o ojedinělý vzorek a zkouška byla provedena pouze v letním dřevě.

3.2.5. Tvrдость nátěru dle Brinella

U zkoušky tvrdosti podle Brinella nejsou výsledky nějak průkazné. Je vidět změna tvrdosti u vzorků bez stárnutí a se stárnutím. Nejlépe ovšem dopadly vzorky M-ZN-B (nanočástice ZnO + nanosítka) a M-AK (akrylátový nátěr). Zde byl pokles tvrdosti jen velmi nízký, jak můžeme vidět na grafu č. 7.

3.2.6. Adheze nátěru k povrchu

U adheze nátěru k povrchu je nejhorší přilnavost akrylátového nátěru a to jak po, tak i před stárnutím. Nejméně se zhoršila adheze nátěru u nátěru M-ZN-B (nanočástice ZnO), jak můžeme vidět na grafu č. 10.

4. Závěr

Závěrem této práce je neprůkaznost zlepšení veškerých vlastností akrylátových nátěrů za pomoci nanočástic ZnO, ZrO₂ a nanosíťky. Některé vlastnosti dosáhly zlepšení a jiné nikoliv.

Co se týče barvostálosti, zde je jasné, že nanomateriály zlepšení neprokázaly, a to ani v jednom případě z různých kombinací.

U lesku jsou hodnoty také neprokazatelné, nejvíce lesklý byl vyhodnocen nátěr bez přidání nanomateriálů a změna lesku probíhala stejně u všech druhů nátěrů.

Kontaktní úhel také nebyl příliš průkazný, výsledky všech vzorků byly dost podobné, Dokonce na konci umělého stárnutí měly nejvyšší lesk vzorky s akrylátovým nátěrem

U tvrdosti nátěru podle tužky byly všechny hodnoty konstantní a nelze tak prokázat žádnou změnu. A to ani u různých typů nátěru, ani u vzorku s umělým stárnutím a bez něj.

Tvrdość nátěru podle Brinella se spíše lépe hodnotí vzorky bez stárnutí a po stárnutí. Zde vzorky M-ZN-B dopadly o kousek lépe než M-AK, ale ostatní vzorky se opět porovnávají velice těžko.

Adheze nátěru k povrchu, zde dopaly v podstatě všechny vzorky s nanomateriály lépe než akrylátový nátěr a to hlavně před umělým stárnutím. Také to ale nejsou úplně jasné výsledky.

Testování prokázalo některé zlepšené vlastnosti, ale žádné výsledky nejsou zcela jasné a je tak zapotřebí dalšího zkoumání vlivů nanomateriálů na zlepšování odolnosti nátěrů. Nějaké zlepšení ale patrné je a tak tyto výzkumy nejsou špatnou cestou.

5. Seznam použitých zdrojů

Tištěné monografie:

BAIER, J., TÝN, Z., *Ochrana dřeva*. 1. vyd. Havlíčkův brod: Grada Publishing, a.s., 1996
96 s. ISBN 80-7169-875-1

FEIST, W. C. Outdoor wood weathering and protection. In: *Archaeological wood: properties, chemistry, and preservation. Advances in Chemistry Series 225. Proceedings of 196th meeting of the American Chemical Society*. 1990. p. 25-28.

GANDELOVÁ, L., HORÁČEK, P., ŠLEZINGEOVÁ, J. *Nauka o dřevě*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 2002. 176 s. ISBN 80-7457-577-1

HEIKE, K. *Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů*. 2. vyd. Brno: CPress, Albatros Media a.s., 2019. 246 s. ISBN 978-80-264-2461-1

JACOBSEN, B. a EVANS, F.G., *Surface and system treatments of wood for outdoor use*. IRG/WP 06-30412, 2006. 14 s.

JANKOVSKÝ, M., LACHMAN, J., STASZKOVÁ, L., *Chemie dřeva*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita. 1999. 211 s. ISBN 80-213-0559-2

KAČÍK, F., TRIBULOVÁ, T., *Chemie dřeva*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2020. 101 s. ISBN 978-80-213-2938-6

KAILA, P. *Sunshine: the worst enemy of wooden façades*. In: *Old cultures in new worlds. 8th ICOMOS General Assembly and International Symposium. Programme report - Compte rendu*. 1987, s. 333-338.

MARIA DREYER, E., DREYER, W. *Velký průvodce lesem*. 1. vyd. Brno: KAZDA s.r.o., 2019. 384 s. ISBN 978-80-88316-30-5

ÖZGE, T.; ALTINKAYA, S. A.; BALKÖSE, D.: *Characterization of waterborne acrylic based paint films and measurement of their water vapor permeabilites. Progress in Organic Coatings*. 2006. s. 269-278.

PÁNEK, M., *Nátěry na dřevo a jejich testování*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2015. 111 s. ISBN 978-80-213-2548-7

- POŽGAJ, A. a kolektiv. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava: PŘÍRODA, a.s. 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4
- PTÁČEK, P., *Ochrana dřeva*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2009. 96 s. ISBN 978-80-247-2326-6
- RACZKOWSKI, J. *Seasonal effects on the atmospheric corrosion of spruce micro-sections*. *Holz als roh-und werkstoff*. 1980, vol. 38, no. 6, s. 231-234.
- REINPRECHT, L., *Ochrana dreva*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita. 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6
- REINPRECHT, L., PÁNEK M., *Trvanlivost a ochrana dřeva*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita. 2016. 133 s. ISBN 978-80-213-2660-6
- SUDIYANI, Y. *Chemical characteristics of surfaces of hardwood and softwood deteriorated by weathering*. *Journal of Wood Science*. 1999, vol. 45, no. 4, s. 348-353.
- SVATOŇ, J., *Ochrana dřeva*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2000. 203 s. ISBN 80-7157-435-X
- ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L., *Stavba dřeva – cvičení*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 1999. 132 s. ISBN 80-7157-400-7
- TESAŘOVÁ, D., a kol., *Povrchové úpravy dřeva*. 2014. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2014. 136 s. ISBN 978-80-247-8
- WAGENFÜHR, R., *Holz. Anatomie – Chemie – Physik. Anatomie des Holzes*. 1. vyd. Německo: DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co. 1999. 188 s. ISBN 978-3871813511
- WALKER, A. *Dřevo – velká encyklopedie. 150 druhů dřeva*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2009. 192 s. ISBN 978-80-247-2858-2
- WILLIAMS, R. S. (2005): Weathering of wood. Handbook of wood chemistry and wood composites. En Rowell, R. M. (Ed.), Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Madison: CRC Press, p. 1319 – 185.
- ZEMIAR, J., GÁBORIK, J., MUZIKAŘ, Z., NAVRÍTIL, V., RUŽINSKÁ, E., ŠEBO, N., *Technológia výroby nábytku*. Zvolene: Technická univerzita, 2009. 287 s. ISBN 978-80-228-2064-6

Elektronická monografie:

KAISER, J-P., DIENER, L., WICK, P. *Nanoparticles in paints: A new strategy to protect façades and surfaces. Journal of Physics: Conference Series.* 2013-04-10, vol. 429, s. 012036-; [online]. [cit. 2021-03-26].

PAVLÍK, Z., (2009) *Učební text pro obor Malíř a lakýrník 2. ročník.* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z WWW: <<https://publi.cz/books/166/Impresum.html>>

SJÖSTRÖM E., WESTERMARK U. (1999) *Chemical Composition of Wood and Pulps: Basic Constituents and Their Distribution. In: Sjöström E., Alén R. (eds) Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking. Springer Series in Wood Science. Springer, Berlín, Heidelberg.* [online]. [cit. 2021-02-12]. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03898-7_1>

Články na webových portálech

BAUDYS, M., KRÝSA, J., ZLÁMAL, M., MILLS, A. *Weathering tests of photocatalytic facade paints containing ZnO and TiO₂. Chemical Engineering Journal.* 2015, vol. 261, s. 83-87 [cit. 2021-03-12]. DOI: 10.1016/j.cej.2014.03.112. [online]

BITTOVÁ, B., (2010) *Matematicko-fyzikální fakulta UK v Praze: Nanotechnologie.* [online]. [cit. 2021-03-28] Dostupní z WWW: <http://kdf.mff.cuni.cz/~koudelkova/U3V/Bittova_nano.pdf>

DEVIRIM, B., BOZKIR, A., *Nanostructures for Antimicrobial Therapy.* 2017, [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z WWW: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/zinc-oxide-nanoparticle?fbclid=IwAR2VB-c-yavA_nAiIoI4qoiG3UcGZ1xyx8OICJ8-1Off7r71LY8A9rJ-Xus>

KALBÁČ, M., (2013). *Uhlíkové nanostruktury – materiály pro budoucnost?.* [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z WWW: <<https://slideslive.com/38889951/uhlikove-nanostruktury-materialy-pro-budoucnost>>

Katedra experimentální fyziky, Univerzita Palackého v Olomouci. *Prezentace k přednášce. Základy nanotechnologií I.* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z WWW: <<https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/zana1.pdf>>

KSICHT. *Nanočástice – nanočástice I.* [online]. [cit. 2021-02-27]. Dostupné z WWW: <<https://ksicht.natur.cuni.cz/serialy/nanocastice/1>>

MELICHAROVÁ, Š., (2017) *Impregnace dřeva: vše, co potřebujete vědět*. Stavebnictvi3000 [online]. [cit. 2021-02-12] Dostupné z WWW: <<https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/impregnace-dreva-vse-co-potrebuje-vedet>>

MINGFU, Y., SHI, B., *Zirconia Nanoparticles-Induced Toxic Effects in Osteoblast-Like 3T3-E1 Cells*. 2018, [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z WWW: <https://nanoscalereslett.springeropen.com/articles/10.1186/s11671-018-2747-3?fbclid=IwAR1jVcjU-s1oAzJV3EU9Y6LCx0uL0XYyeRP8Sfs1alb_pwK4ZyrQrJrTEA0>

NOVÁK, P., (2012) *Přirozená trvanlivost dřeva*. Dřevostavitel. [online]. [cit. 2021-02-12]. Dostupné z WWW: <<https://www.drevostavitel.cz/clanek/prirozena-trvanlivost-a-odolnost-dreva>>

REINPRECHT, L., (2008) *Chemická ochrana dřeva*. Asb-portal [online]. [cit. 2021-03-25] Dostupné z WWW: <<https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/chemicka-ochrana-dreva>>

UNIVERZITA PARDUBICE (2002), *Hodnocení vlastností nátěrových hmot* [cit. 2020-04-09] Dostupné z WWW: <https://www.upce.cz/sites/default/binary_www_old/fcht/uchtml/12-onhop/studijni-materialy/hodnoc-mech-vlast.pdf>

VŠCHT, *Stanovení povrchových vlastností (barva, lesk) materiálů exponovaných za podmínek simulující vnější prostředí v QUV panelu* [online] [cit. 2020-04-09] Dostupné z WWW: <https://old.vscht.cz/kat/download/lab2_stanoveni_povrchovych_vlastnosti.pdf>

Internetové odkazy

<https://lesy.cz/drevo/charakteristika-dreva-jednotlivych-drevin/modrin/> [cit. 2021-02-12]

<https://www.mezistromy.cz/vlastnosti-dreva-a-drevostaveb/vlastnosti-a-vyuziti-jednotlivych-drevin2/odborny> [cit. 2021-02-12]

<https://www.top-armyshop.cz/slovník-pojmu/zirconia> [cit. 2021-02-18]

<https://www.americanelements.com/zirconium-oxide-nanoparticles-nanopowder-1314-23-4> [cit. 2021-02-21]

<https://www.elmarco.cz/ns-technologie> [cit. 2021-02-21]

<https://labimexczech.cz/laboratore/produkty/uv-testery-ultrafialovym-zarenim-q-lab/> [cit. 2021-02-15]

<https://www.buehler.com/brinell-hardness-testing.php> [cit. 2021-03-18]

<https://www.dataphysics-instruments.com/products/oca/> [cit. 2021-03-18]

<https://www.hardnesstesters.com/test-types/brinell-hardness-testing> [cit. 2021-03-18]

<https://www.admd.cz/> [cit. 2020-03-12]

Technické normy

ČSN EN ISO 15184: *Nátěrové hmoty – Stanovení tvrdosti nátěru zkouškou tužkami*. Praha – Český normalizační institut, 2020

ČSN EN ISO 2813: *Nátěrové hmoty – stanovení zrcadlového lesku nátěrů bez obsahu kovových pigmentů při úhlu 20°, 60° a 85°*. Praha – Český normalizační institut, 2016

ČSN EN 3114: *Letectví a kosmonautika – Zkušební metody – Mikrostruktura (alfa+brta) tvářených výrobků ze slitiny titanu*. Praha – Český normalizační institut, 2007

ČSN EN 350-2: *Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 2: Přirozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě*. Praha: Český normalizační institut, 1996.

ČSN EN ISO 6506: *Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Brinella*. Praha – Český normalizační institut, 2015

ČSN EN 927 a její části 3 a 7: *Nátěrové hmoty – nátěrové hmoty a nátěrové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí*. Praha: Český normalizační institut, 2013

Bakalářské, diplomové a doktorské práce s podobnými tématy

HAFNER, J. *Technologie nanášení nátěrových hmot*. Bakalářská práce Mendelovy univerzity v Brně, agronomická fakulta, ústav techniky a automobilové dopravy 2015

KRÁSNÝ, I. *Měřené kontaktního úhlu smáčení a určování povrchové energie plastů*. Diplomová práce Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická

KULAS, M. *Vývoj materiálů na bázi nanostruktur a derivátu celulózy*. Diplomová práce České zemědělské univerzity v Praze, fakulta lesnická a dřevařská 2019

MACHÁČ, M. *Měření tvrdosti materiálů a zpracování zjištěných hodnot*. Bakalářská práce Vysokého učení technického v Brně, fakulta strojního inženýrství 2010

MACHÁČ, M. *Měření tvrdosti materiálů a zpracování zjištěných hodnot*. Bakalářská práce Vysokého učení technického v Brně, fakulta strojního inženýrství 2010

WOJTALOVÁ, M. *Příprava a vlastnosti nanočástic ZnO*. Diplomová práce Vysoké školy báňské, technická univerzita Ostrava, fakulta metalurgie a materiálového inženýrství 2014.