

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Využití nanospideru a nanočástic pro zvýšení životnosti
exteriérového transparentního nátěrového systému na
modřínovém dřevě**

Diplomová práce

Autor: Bc. František Cais

Vedoucí práce: doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.

2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

František Cais

Dřevařské inženýrství

Název práce

Využití nanospideru a nanočástic pro zvýšení životnosti exteriérového transparentního nátěrového systému na modřínovém dřevě

Název anglicky

Using of nanospider and nanoparticles for increasing of durability of the exterior transparent coating system on the larch wood

Cíle práce

Cílem práce je vyhodnotit možnosti využití nanospideru pro zpevnění nátěrové vrstvy a nanočástic pro zvýšení její barvostálosti na dřevě modřínu.

Metodika

Transparentní nátěrové systémy na modřínu v exteriéru mají poměrně nízkou životnost.

Nátěrový systém na modřínu bude vytvořen za použití vrstev nanovláken z nanospideru a nanočástic a jejich kombinací s komerční transparentní nátěrovou hmotou.

Vzorky budou vystaveny umělému urychlenému stárnutí a budou hodnoceny vybrané vlastnosti charakterizující kvalitu a dlouhodobou životnost nátěrového systému.

Doporučený rozsah práce

60 s.

Klíčová slova

dřevo, nátěry, exteriér, nanovlákná, nanočástice

Doporučené zdroje informací

- A. Kutnar and S.S. Muthu (2016): Environmental Impacts of Traditional and Innovative Forest-based Bioproducts, Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes, DOI 10.1007/978-981-10-0655-5_4
- Evans, P.D.; Haase, J.G.; Shakri, A.; Seman, B.M.; Kiguchi, M. The search for durable exterior clear coatings for wood. *Coatings* 2015, 5, 830–864. doi:10.3390/coatings5040830.
- Nair, S.; Giridhar, B. N.; Pandey, K. K. UV stabilization of wood by nano metal oxides dispersed in propylene glycol. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 2018, 183, 1-10. doi:10.1016/j.jphotobiol.2018.04.007.
- Pánek, M.; Oberhofnerová, E.; Zeidler, A.; Šedivka, P. Efficacy of hydrophobic coatings in protecting oak wood surfaces during accelerated weathering. *Coatings* 2017, 7, pp. 172. doi:10.3390/coatings7100172.
- Pánek, M. (2015): Nátěry na dřevo a jejich testování, FLD-CZU v Praze, 1. vydání, 111 s.
- Papadopoulos, A.N.; Bikiaris, D.N.; Mitropoulos, A.C.; Kyzas, G.Z. Nanomaterials and chemical modifications for enhanced key wood properties: a review. *Nanomaterials* 2019, 9, 607; doi:10.3390/nano9040607
-

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Miloš Pánek, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 18. 2. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Využití nanospideru a nanočástic pro zvýšení životnosti exteriérového transparentního nátěrového systému na modřínovém dřevě“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Miloše Pánka, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze dne 17.4.2021

.....

František Cais

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Miloši Pánkovi, Ph.D. a Ing. Přemyslovi Šedivkovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, cenné informace a ochotu při jejím zpracování. Dále bych chtěl poděkovat České zemědělské univerzitě za možnosti, které jsem zde dostal ke zpracování diplomové práce. Velký dík také patří mé rodině, která mi umožnila studium na ČZU a po celou dobu mě podporovala.

VYUŽITÍ NANOSPIDERU A NANOČÁSTIC PRO ZVÝŠENÍ ŽIVOTNOSTI EXTERIÉROVÉHO TRANSPARENTNÍHO NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU NA MODŘÍNOVÉM DŘEVĚ

Abstrakt

Tato diplomová práce se skládá z teoretické a praktické části. V teoretické části je obsažena charakteristika vybrané dřeviny, jako je makroskopická a mikroskopická stavba dřeva, výskyt dřeviny v ČR a její využití. Dále jsou v této části obsaženy informace o nanotextiliích, nanočásticích a způsobech povrchové úpravy dřeva.

Praktická část této práce se zabývá metodickým postupem výroby vzorků a přípravy nanomateriálů. Následně se tato část zabývá vyhodnocením vybraných fyzikálních vlastností s ohledem na použitou povrchovou úpravu. Mezi posuzované vlastnosti patří změna barvy, lesk, adhezní pevnost, smáčivost a tvrdost povrchu. Zkoušky na zkušebních tělesech probíhaly podle stanovených norem.

Výsledek výzkumu lze shrnout jako zdařilý. Nejlepší výsledky byly pozorovány u kombinace nanosíťky a nanočástic. Zvláště dobré hodnoty vykazovala úprava, která obsahovala v první vrstvě nátěru akryl s nanočásticemi ZnO v koncentraci 2 % s vložením nanosíťky a v dalších vrstvách pouze čistý akryl. U této kombinace byla prokázána zvýšená odolnost povrchové úpravy proti působení abiotických činitelů a mechanickému poškození.

Klíčová slova

dřevo, nátěry, exteriér, nanovlákná, nanočástice

USING OF NANOSPIDER AND NANOPARTICLES FOR INCREASING OF DURABILITY OF THE EXTERIOR TRANSPARENT COATING SYSTEM ON THE LARCH WOOD

Abstract

This diploma thesis consists of a theoretical and a practical part. The theoretical part contains the characteristics of selected woody plants, such as macroscopic and microscopic structure of wood, the occurrence of woody plants in the Czech Republic and the use of wood. This section also contains information about nanotextiles, nanoparticles and methods of wood surface finish.

The practical part of this work deals with the methodical procedure of sample production and preparation of nanomaterials. Furthermore, this part deals with the evaluation of selected physical properties with respect to the used surface treatment. The considered properties include colour change, gloss, adhesive strength, wettability and surface hardness. The tests on the test specimens were carried out according to the set standards.

The result of the research can be summarized as successful. The best results were observed with the combination of nanocross and nanoparticles. The treatment, which contained acrylic in the first coating layer with ZnO nanoparticles in a concentration of 2 %, with the insertion of a nano-mesh and in the other layers only pure acrylic, showed particularly good values. This combination has been shown to increase the resistance of the surface treatment to abiotic agents and mechanical damage.

Keywords

wood, coatings, exterior, nanofibres, nanoparticles

Obsah

1	ÚVOD	13
2	CÍL PRÁCE	14
3	ROZBOR PROBLEMATIKY	15
3.1	MODŘÍN OPADAVÝ (<i>LARIX DECIDUA</i>).....	15
3.2	DENDROLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA	15
3.3	STAVBA DŘEVA	17
3.3.1	<i>Makroskopická stavba</i>	17
3.3.2	<i>Mikroskopická stavba</i>	17
3.4	VYUŽITÍ MODŘÍNU	18
3.4.1	<i>Odolnost modřínu</i>	19
3.4.2	<i>Tradiční povrchová úprava</i>	19
3.5	NANOTEXTILIE	21
3.5.1	<i>Technologie výroby</i>	23
3.5.2	<i>Technologie nanospider</i>	25
3.5.3	<i>Využití nanovláken</i>	26
3.5.4	<i>Využití pro povrchovou úpravu dřeva</i>	27
3.6	NANOČÁSTICE	28
3.6.1	<i>Technologie výroby</i>	29
3.6.2	<i>Využití nanočástic</i>	32
3.6.3	<i>Využití pro povrchovou úpravu</i>	34
4	METODIKA	36
4.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	36
4.2	POVRCHOVÁ ÚPRAVA VZORKŮ	36
4.2.1	<i>Výroba nanovlákn (nanosítka)</i>	37
4.2.2	<i>Výroba roztoku s nanočásticemi</i>	38
4.2.3	<i>Samotné nanášení na dřevo</i>	39

4.3	MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ	40
4.3.1	<i>Umělé stárnutí dřeva</i>	40
4.3.2	<i>Barva</i>	41
4.3.3	<i>Lesk</i>	43
4.3.4	<i>Smáčivost povrchu</i>	44
4.3.5	<i>Tvrдост</i>	45
4.3.6	<i>Stanovení tvrdosti nátěru zkouškou tužkami</i>	45
4.3.7	<i>Stanovení tvrdosti podle Brinella</i>	46
4.3.8	<i>Adhezní pevnost povrchu</i>	47
4.3.9	<i>Statistické vyhodnocení</i>	48
5	VÝSLEDKY	49
5.1	ZMĚNA BARVY	49
5.2	ZMĚNA LESKU	52
5.3	ZMĚNA SMÁČIVOSTI POVRCHU	53
5.4	ZMĚNA TVRDOSTI.....	54
5.4.1	<i>Tvrдост – tužkový test</i>	55
5.4.2	<i>Tvrдост - Brinell</i>	56
5.5	ZMĚNY ADHEZNÍ SÍLY	57
5.6	VIZUÁLNÍ VYHODNOCENÍ.....	59
6	DISKUZE	61
7	ZÁVĚR	64
8	POUŽITÉ ZDROJE	66
8.1	LITERATURA	66
8.2	ELEKTRONICKÉ DOKUMENTY	68
8.3	NORMY	73
9	SEZNAM PŘÍLOH	74

Seznam obrázků

Obrázek 1: A) Radiální řez zvětšeno 200x, B) Radiální řez zvětšeno 100x, C) Příčný řez zvětšeno 100x, D) Tangenciální řez zvětšeno 100x (Schoch, 2004) ...	18
Obrázek 2: Schématické uspořádání atomů v nanovlákně (Demo, 2012)	23
Obrázek 3: Princip elektrostatického zvlákňování (Sodomka, 2009)	24
Obrázek 4: Zvlákňování z tyčky (Košťáková 2009)	24
Obrázek 5: Princip zařízení Nanospider (Košťáková, 2015)	26
Obrázek 6: Schéma výroby kovových nanočástic (Řezanka, 2018)	30
Obrázek 7: Stabilizace nanostruktur koloidů kovů (Řezanka, 2018)	32
Obrázek 8: Ochrana dřevěného povrchu pomocí nanočástic (Hlaváč, 2014)	35
<i>Obrázek 9: Zatření čel vzorků silikonem (autor)</i>	<i>37</i>
Obrázek 10: Nanospider (autor)	38
Obrázek 11: Odměření ZnO (autor)	39
Obrázek 12: Uložení nanosítky do lazury s nanočásticemi (autor)	40
Obrázek 13: Zkušební vzorky umístěné v UV komoře (autor)	41
Obrázek 14: Prostorový model CIE L*a*b* (Zmeškal, 2002)	42
Obrázek 15: Měření spektrofotometrem (autor)	42
Obrázek 16: Měření leskoměrem (autor)	44
Obrázek 17: Měření kontaktního úhlu (autor)	44
Obrázek 18: Označení tužek podle tvrdosti (ČSN EN ISO 15184)	45
Obrázek 19: Tužkový test tvrdosti (autor)	46
Obrázek 20: Druhy poruch během zkoušky odtržení adheze (ISO 4624, 2016) ..	47
Obrázek 21: Adhezni síla povrchu (autor)	48
Obrázek 22: Vizuální podoba vzorků v průběhu vystavení expozici	60

Seznam tabulek

Tabulka 1: Zařazení modřínu opadavého do systému rostlin (ZICHA, 1999)	15
Tabulka 2: Barevné změny (Zmeškal, 2002)	43
Tabulka 3: Druh poškození po odtržení panenky, bez stárnutí (autor)	58
Tabulka 4: Druh porušení po odtržení panenky, stárnutí (autor)	59
Tabulka 5: Zatřídění druhu poruchy (ISO 4624 2016).	59

Seznam grafů

Graf 1: Celková změna barevnosti vzorků (autor).....	50
Graf 2: Barevná změna parametru L^* (autor).....	51
Graf 3: Barevná změna parametru a^* (autor).....	51
Graf 4: Barevná změna parametru b^* (autor)	52
Graf 5: Celkové změny lesku (autor).....	53
Graf 6: Změna smáčivosti povrchu (autor)	54
Graf 7: Změna tvrdosti, tužkový test (autor).....	55
Graf 8: Změna tvrdosti, Brinell (autor)	57
Graf 9: Změna adhezní pevnosti povrchu (autor)	58

Seznam symbolů a zkratk

9B – 9H	označení tvrdosti tuhy
a*	barevný parametr (zelená – červená)
Ag	stříbro
b*	barevný parametr (modrá – žlutá)
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování
CO₂	oxid uhličitý
D [mm]	průměr kuličky
d [mm]	průměr otláčené plochy
F [N]	síla působící na kuličku
HB [MPa]	Brinellova tvrdost
H_{LT} [MPa]	Tvrdost podle Brinella v radiální rovině
L*	světlost (černá – bílá)
NZ	nano – zkosil
PE	polyethylen
PP	polypropylen
SiO₂	oxid křemičitý
TiO₂	oxid titaničitý
UV	ultrafialové
ZnO	oxid zinečnatý
ΔE*	celkový barevný rozdíl
ρ₁₂ [%]	hustota dřeva při vlhkosti 12 %

1 Úvod

Dřevo je anizotropní, nehomogenní, hygroskopický přírodní materiál. Jednou z rozhodujících vlastností dřeva z hlediska použitelnosti je jeho vlhkost. Na obsahu vody závisí nejen rozměry a tvar výrobku, ale i odolnost vůči biologickým a nepřímo abiotickým činitelům. Vztah dřeva a vody patří k nejdůležitější části nauky o dřevě.

Pro výběr dřeva je důležité vědět, kde a v jakých podmínkách bude dřevěný výrobek používán. Základním pravidlem pro použití dřeva do exteriéru je výběr vhodné dřeviny, ze které bude vyroben. Nelze vyrábět dřevěné výrobky určené do exteriéru ze stejných dřevin jako výrobky určené do interiéru bez použití vhodné povrchové úpravy. Ne každá dřevina je vhodná pro použití do exteriéru. Nejdostupnější a nejlevnější je v současné době smrk a borovice, které patří mezi měkké a méně odolné dřeviny. Vhodnější je použít tvrdší a odolnější dřeviny jako jsou dub, akát, nebo dřeviny s vyšším obsahem pryskyřic jako právě modřín.

Při použití dřeva v exteriéru se doporučuje relativní vlhkost materiálu kolem 15 %. U měkkých dřevin se doporučuje ošetřit výrobky proti hmyzu, dřevokazným houbám a plísním. K tomuto lze použít impregnaci, která dokáže zlepšit přilnavost dalšího nátěru k povrchu dřeva. V dnešní době bohužel žádná povrchová úprava nezajistí trvalou ochranu dřeva. Každý výrobce nátěrových hmot se snaží najít dokonalou látku či metodu na povrchovou úpravu tak, aby byla zajištěna trvalá ochrana s ekologickým charakterem.

Tato práce se zaměřuje na problematiku průhledných povrchových úprav, které v současné době nevykazují dostatečnou životnost. Výhodou transparentních nátěrů je, že nezakrývají přirozenou kresbu dřeva, která je u každého kusu dřeva jedinečná. Mezi hlavní nevýhodu těchto nátěrů lze zařadit sníženou odolnost vůči UV záření a rychlejší degradaci nátěru případně i dřeva.

2 Cíl práce

Hlavním cílem této diplomové práce je vytvořit a následně odzkoušet transparentní povrchové úpravy, které by na modřínovém dřevě vykazovaly vyšší životnost než současné nátěry. V rámci povrchové úpravy je snaha využít nové a moderní technologie jako jsou nanovlákná a nanočástice.

Z důvodu využití těchto materiálů bylo nutné experimentálně vyzkoušet chování nanomateriálů se dřevem. Cílem je vytvořit vhodnou kombinaci pro maximální zlepšení vlastností modřínového dřeva v exteriéru. Mezi tyto vlastnosti patří především zlepšení odolnosti vůči vlhkosti (kapalné i vzdušné), zachování barvostálosti a zvýšení odolnosti vůči mechanickému poškození.

Dalším cílem této práce je vyhodnotit sledované vlastnosti povrchově neupravených vzorků a vzorků, na které byly využity nátěry s nanomateriály. Na základě výsledků lze stanovit nejhodnější povrchovou úpravu.

3 Rozbor problematiky

V níže uvedených podkapitolách jsou uvedeny charakteristiky zkoumané dřeviny jako jsou například složení (mikroskopické a makroskopické), vlastnosti a použití dřeva modřínu. Dále jsou uvedeny varianty exteriérových nátěrových systémů. Na závěr jsou popsány nanotextilie a nanočástice, jejich vlastnosti, způsoby výroby a možnosti použití.

3.1 Modřín opadavý (*Larix decidua*)

Tento opadavý jehličnan z čeledi borovicovité, který patří do samostatné podčeledi viz tabulka č. 1, jež tvoří rody *Larix*, *Cedrus* a *Pseudolarix*. Vývojově se jedná o velmi starou podčeď. V rámci modřínu opadavého existuje velická variabilita v rámci druhu, a proto je tento druh rozdělen do řady taxonů.

Tabulka 1: Zařazení modřínu opadavého do systému rostlin (ZICHA, 1999)

Druh	modřín opadavý (<i>Larix decidua</i>)
Rod	modřín (<i>Larix</i>)
Čeď	borovicovité (<i>Pinaceae</i>)
Řád	borovicotvaré (<i>Pinales</i>)
Třída	jehličnany (<i>Pinopsida</i>)
Oddělení	nahosemenné (<i>Pinophyta</i>)
Podříše	cévnaté rostliny (<i>Tracheobionta</i>)
Říše	rostliny (<i>Plantae</i>)

3.2 Dendrologická charakteristika

Modřín je opadavý jehličnatý strom, který dosahuje výšky až 50 metrů a stárí 500 i více let. V prvních několika letech roste nejrychleji ze všech jehličnanů. Okolo dvacátého roku vrcholí jeho výškový vzrůst, který může trvat i přes 100 let, ne však s takovými přírůstky. Naopak objemový růst na vhodných stanovištích je téměř

neomezený. Kmen může dosahovat průměru i přes 2 metry, a to i díky velice tlusté kůře (10 – 20 cm) (Úradníče, 2001).

Kořenový systém tvoří zprvu velký kuželovitý kořen, který postupně zakrní a nahradí jej silné a dlouhé postranní kořeny zabezpečující dobrou stabilitu a zdroje potřebné pro růst. Větve vytvářejí kuželovitě vejcovitou korunu. Spolu s běžnými výhony větví vytváří také brachyblasty, což jsou zkrácené větve, na kterých vznikají charakteristické letorosty žlutavé barvy. Letorosty se skládají z měkkých, plochých asi 30 mm dlouhých jehlic, které se seskupují v chomáčcích po 15 – 50 kusech. Jehlice mají zelenou barvu, avšak na podzim se zbarví žlutě a postupně opadají. Každoroční shazování jehličí přispívá k jeho vyšší odolnosti vůči škodlivinám zachyceným z ovzduší, které se tím pádem nehromadí ve dřevě. Květy modřínu jsou jednopohlavné. Samičí se nacházejí na koncích olistěných brachyblastů a jsou dobře rozeznatelné podle svého charakteristického načervenalého zbarvení. Samčí květy jsou drobnější než samičí, mají žluté zbarvení a nachází se na koncích brachyblastů. Plody ve tvaru šišťice jsou 1,5 – 4 cm dlouhé a setrvávají na stromě po dobu několika let. Šiška se skládá ze semenných šupin, listeny mají tři laločný vrcholek, semena jsou vejcovitě klínového tvaru a tmavě hnědé barvy (Kunt, 2006; Málek, 2012).

Modřín je horská dřevina charakteristická pro oblasti Alp a Karpat, kde obvykle tvoří hranici lesa. Je středně náročný na půdnu a vzdušnou vláhu, odolný vůči velkým změnám teplot a drsnému klimatu. Ideální pro růst modřínu je místo s otevřenou polohou, ve vyšších slunných polohách s proudícím vzduchem (Auders, 2012).

V České republice se vyskytuje jako původní druh pouze v oblasti Moravy, konkrétně oblast Hrubého Jeseníku, a to v nadmořských výškách 400 – 1 500 m.n.m (Hieke, 2008).

Zastoupení modřínu z celkové plochy porostní půdy v České republice je 3,8 %, což činí plochu 100 663 ha. V porovnání s předchozími lety se jeho podíl prakticky nezměnil (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky, 2019).

3.3 Stavba dřeva

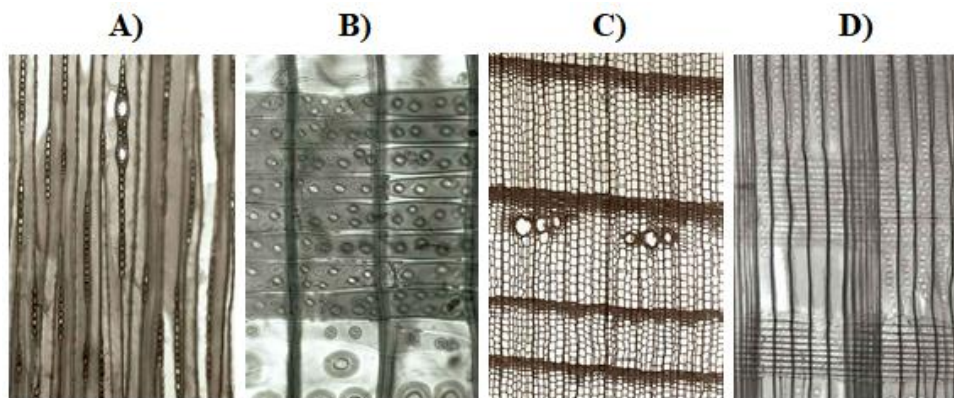
Dřevo modřínu je jedno z nejtěžších a nejtvrdších jehličnatých dřev. Vykazuje největší odolnost vůči povětrnosti a biotickým vlivům při vysoké pevnosti. Záměna je možná v podobnosti dřeva s borovicí či douglaskou (Zeidler, 2016).

3.3.1 Makroskopická stavba

Modřín je jádrová dřevina s tmavě červenohnědým a širokým jádrem. Oproti tomu běl je úzká a světle nažloutlá. Přechod mezi jarním a letním dřevem je velmi ostrý a znatelný pouhým okem. Jedná se o jehličnatou dřevinu s pryskyřičnými kanálky, které jsou špatně rozlišitelné. Nejlépe jsou vidět pouhým okem na podélných řezech (Zeidler, 2016).

3.3.2 Mikroskopická stavba

Na příčném řezu lze zřetelně vidět náhlou hranici mezi letními a jarními tracheidami a vertikální pryskyřičné kanálky s tlustostěnným epitelem viz obrázek č. 1 A). Tracheidy jsou bez spirálních ztluštěnin. Dvojtečky a křížové pole lze vidět na radiálním řezu na obrázku č. 1 B). Dvojtečky se často vyskytují v párech na radiálních stěnách jarních tracheid. Na detailnějším radiálním řezu na obrázku č. 1 C) lze dobře rozeznat piceoidní ztenčeniny v křížovém poli. Na tangenciálním řezu viz obrázek č. 1 D) jsou viditelné jednovrstvé dřeňové paprsky a horizontální pryskyřičné kanálky.



Obrázek 1: A) Radiální řez zvětšeno 200x, B) Radiální řez zvětšeno 100x, C) Příčný řez zvětšeno 100x, D) Tangenciální řez zvětšeno 100x (Schoch, 2004)

3.4 Využití modřínu

Modřínové dřevo je díky své zajímavé kresbě, vysoké pevnosti, přirozené odolnosti s malým podílem bělového dřeva hojně používáno pro exteriérové konstrukce. Modřín opadavý však bývá často nahrazován modřínem sibiřským, který má lepší přirozenou odolnost. Tento trend můžeme vidět jak v našich podmínkách, tak prakticky po celé Evropě (Grüll a kol. 2016; Rametsteiner a kol. 2007). Při výběru vhodných materiálů do exteriérového prostředí jsou rozhodujícími faktory cena, celková životnost a vzhled. Pro své dobré vlastnosti je modřínové dřevo schopno nahradit dubové dřevo ve stavebnictví či nábytkářství. Odolnost vůči vodě se využívá především u fasád, dřevěných plotů nebo obkladů. Dřevo modřínu je středně tvrdé a odolné vůči biotickým, abiotickým činitelům a je zároveň pružné. Je zvláště cenné pro stavbu jachet. Dřevo, které se k jejich výrobě používá, musí být bez suků a lze jej získat pouze ze starých stromů, které byly za mlada prořezávány z důvodu odstranění postranních větví.

V minulosti se pro získání pryskyřice z modřínu navrtávaly do spodní části kmenu až 80 cm dlouhé otvory, ze kterých se jednou za rok odebírala nahromaděná pryskyřice. Modřínová pryskyřice se dříve používala pro utěšňování pивních sudů. Své opodstatnění má i ve zdravotnictví, kdy se mísením čerstvě natrhaných svazků jehlic a rozpuštěného vepřového sádla připravuje mast na léčení vředů, abscesů

a popraskané kůže. Vetřením modřínového terpentýnu na určitá místa těla lze docílit lepšího prokrvení a zmírnit s tím spojené revmatické obtíže (Alberts, 2006).

3.4.1 Odolnost modřínu

Přirozená odolnost modřínového dřeva proti biotickým škůdcům je ovlivněna především přítomností extraktivních látek v jádrovém dřevě (Taylor a kol. 2002). Typická vlastnost modřínového dřeva je vysoká kyselost povrchu a obsah určitých extraktivních látek, jako je například arabinogalaktan (Grüll a kol. 2016). K rozkladu chemických složek dřeva a jejich pozvolnému vyplavování z povrchu dochází působením exteriérových faktorů, jako jsou sluneční záření, znečištění, déšť, vítr a další (Pandey, 2005). Tyto negativní vlivy mění povrchové vlastnosti dřeva především drsnost, lesk či barvu (Oberhofnerová a kol. 2017), a to způsobuje postupné vyplavování extraktivních látek, čímž dochází ke snižování odolnosti dřeva vůči biologickému napadení (Reinprecht, 2012).

3.4.2 Tradiční povrchová úprava

Tato kapitola zahrnuje různé druhy nátěrů, které jsou vhodné pro exteriérové použití. Jedná se o nátěry odolné vůči abiotickým i biotickým činitelům. Dřevo vystavené exteriérovým podmínkám je více zatěžováno nepříznivými okolními vlivy, které značně snižují jeho životnost. Z tohoto důvodu jsou na nátěrové hmoty používané v exteriéru kladeny vyšší nároky.

Povrchová úprava modřínového dřeva je ve srovnání s ostatními jehličnany problematická. Dochází například k nepravdělné tvorbě filmu nebo vzniku nerovné povrchové vrstvy. Příčiny těchto jevů jsou do jisté míry neznámé, i když probíhají výzkumy na odhalení těchto příčin. Dřívější studie uvádějí, že vysoká kyselost a vysoká pufrací kapacita modřínového dřeva může ovlivnit vytvrzování nátěrů a lepidel (Grüll a kol. 2016).

Základním úkolem nátěrové hmoty je vytvořit mezi povrchem výrobku a okolním prostředím odolnou bariéru. V důsledku toho dojde ke zmírnění intenzity působení exteriérových vlivů na dřevo (Ružinska, 2005, Tesařová a kol., 2014).

Před použitím různých druhů nátěrových látek do exteriéru je důležité vybrat dřeviny s vysokou přirozenou trvanlivostí pro delší životnost výrobku (EN 350 2016).

Alkydové nátěrové hmoty

Filmotvornou složku tvoří alkydové pryskyřice, které jsou modifikovány pomocí vysychavých olejů. Vytvrzení probíhá chemickou reakcí, která tvoří na povrchu dřeva nátěrový film. Tento film vykazuje velmi dobré vlastnosti, jako jsou tvrdost, dobrá přilnavost, odolnost proti zvýšeným teplotám a odolnost proti povětrnosti. Při aplikaci se nejčastěji nanášejí dvě až tři vrstvy (Reinprecht, 2012). V poslední době jsou alkydové nátěrové hmoty postupně nahrazovány olejovými nátěry. Hlavními důvody jsou rychlejší vysychání a větší variabilita ve způsobu aplikace (nanášení štětcem, máčení, stříkání). Vlastnosti alkydových nátěrových hmot lze vylepšit použitím UV stabilizátorů, insekticidních a fungicidních složek a tím zvýšit odolnost dřeva v exteriérových podmínkách.

Olejové nátěrové hmoty

Olejové nátěry se pro povrchovou úpravu dřeva používaly už od pradávna. Jednalo se o natření povrchu dřeva přírodními oleji či tepelně upraveným lněným olejem, který je známý též jako fermež. Dnes se často používají nátěrové hmoty, které jsou na bázi rostlinných olejů, například lněný, konopný či sójový. Tento trend vypovídá o snaze být co nejvíce ohleduplný k životnímu prostředí.

Mezi hlavní výhody olejů patří ekologický faktor a nepřítomnost neekologických ředidel. Jejich nevýhodou je, že na vzduchu polymerizují. Mezi další nevýhody můžeme zařadit špatnou odolnost vůči UV záření, dlouhou dobu zasychání, obtížné skladování a nízkou trvanlivost. I přes dnešní vylepšení oproti minulosti se doporučuje jednou za rok stávající nátěry obnovovat.

Akrylátové nátěrové hmoty

Akrylátové nátěry jsou vyráběné polymerací esterů kyseliny akrylové a metakrylové. Akrylátové nátěrové hmoty jsou charakterizovány fyzikálním zasycháním a používají se na ošetření dřevěných povrchů. Jsou pružné, rychleschnoucí, nereagující vůči pigmentům, mají dobrou chemickou odolnost a jsou odolné vůči změnám barevného odstínu. Z důvodů jejich ekologické nezávadnosti jsou v současnosti nejčastěji vyráběny ve vodouředitelné formě.

Polyuretanové nátěrové hmoty

Mezi hlavní složky polyuretanového nátěru patří polyizokyanátová pryskyřice a složky, které obsahují hydroxylové skupiny (roztok alkydové, polyesterové, akrylátové nebo polyetherové pryskyřice). Finální film je po vytvrzení tvrdý, ohebný, odolný vůči chemikáliím a rozpouštědlům. Využívá se pro dřevěné části, které je vystavovány větším zátěžím (Tesařova a kol., 2014).

Epoxidové nátěrové hmoty

Hlavní složky epoxidových nátěrů jsou epoxidové pryskyřice a tužidla na bázi roztoků aminoamidových nebo fenolických pryskyřic v kombinaci s organickými rozpouštědly. Výhodou je odolnost vůči vodě a chemickým látkám při vysoké tvrdosti a elasticitě filmu. Vytvrzování probíhá při normální teplotě, ale je závislé na použitém druhu tužidla. Vhodné jsou tam, kde je potřeba pružnost a vysoká mechanická odolnost (podlahy, laboratorní nábytek atd.). Lze je využít také v exteriéru (Tesařova a kol., 2014).

3.5 Nanotextilie

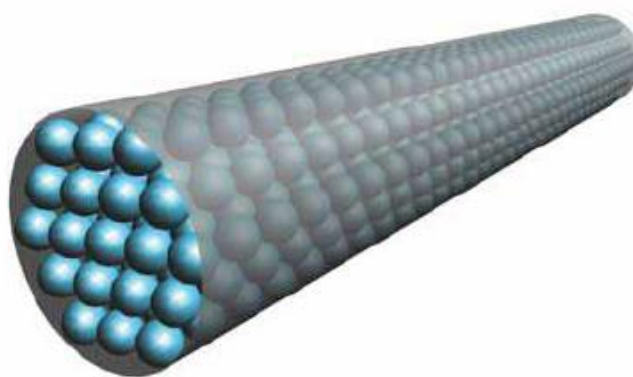
Již v roce 1904 podal John Francis Cooley první patent, který se zabýval elektrospinningem. Dalším zdokonalením technologie a zvýšením efektivity stroje na výrobu vláken bylo použití rotační elektrody emitoru, která je připisována Antonu Formhalsovi (Tucker, 2012). V roce 1980 se za pomoci elektrostatických sil podařilo vytvořit PP a PE nanovlákná. Rozsáhlý výzkum probíhal v 90. letech,

kdy se zkoušely zvláknovat přírodní i syntetické polymery a zkoumaly se vlastnosti těchto materiálů (Lin, 2012). Oldřich Jirsák v roce 2005 podal patent na nanospider. Toto zařízení využívá beztryskovou zvláknovací technologii z volné hladiny polymeru za užití rotačního spinneru.

Nanotextilie je obecně označována jako netkaná textilie skládající se z ultrajemných vláken, které jsou ukládány na podložku. Průměr vlákna se pohybuje v desítkách až stovkách nanometrů, horní hranice je 1 000 nm. Délka vlákna je několikanásobně větší než průměr. V současné době není možné vyrobit samostatná vlákna bez podložky. Uspořádání vláken ve vrstvě je chaotické bez určité orientace (Krňanský, 2009).

Vyrobít vlákno lze za využití několika technologií. Jedna z metod výroby nanovláknů je elektrostatické zvláknování (elektrospinning). Výhodou této technologie je výroba vláken s velmi malým průměrem řádově 50 – 1 000 nm (Demo, 2011). Tyto rozměry zabezpečují jemnost, malé póry, ale vysokou pórovitost. Vůči své hmotnosti mají velmi dobré mechanické vlastnosti. Polymerní nanovláknů se vyznačují vysoce orientovanou krystalickou strukturou, díky které mají vysokou pevnost (Jirsák, 2007).

Výhodou nanovláken je poměr plochy k objemu vlákna, který je výrazně větší než jedna. Této vlastnosti se dá využít pro přestup tepla nebo absorpce vybraných částí, což se využívá v katalytické chemii. Čím větší je povrch, tím více chemických reakcí probíhá. Díky svým rozměrům se v průřezu vlákna nachází velice málo atomů viz obrázek č. 2. Čím menší je počet atomů v průřezu vlákna, tím dává menší prostor pro vznik defektů (Demo, 2012).



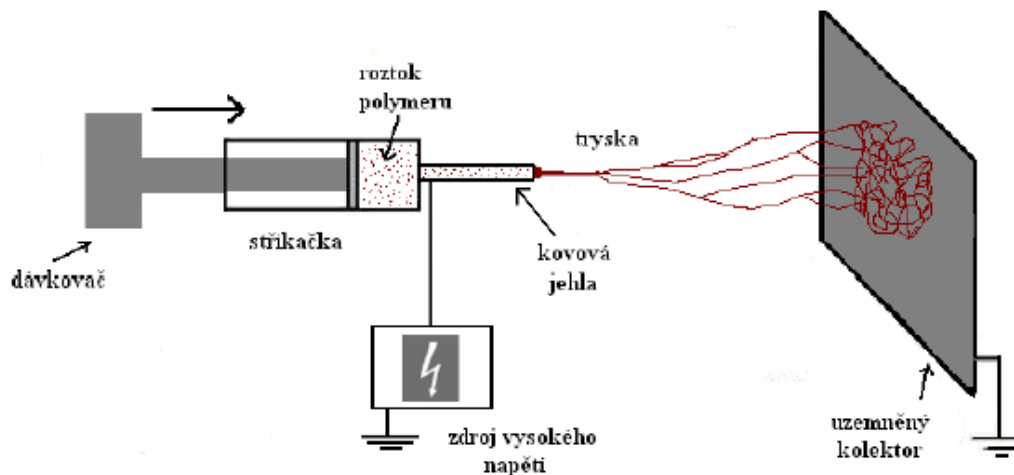
Obrázek 2: Schématické uspořádání atomů v nanovláknu (Demo, 2012)

3.5.1 Technologie výroby

Elektrostatické zvlákňování (elektrospinning) je založeno na principiálně jednoduché metodě výroby nanotextilií. Výhodou elektrospinningu je, že pomocí této metody je možné zpracovat téměř všechny rozpustitelné nebo tavitelné polymery (Ramakrishna, 2006). Princip technologie elektrostatického zvlákňování je založen na využití zdroje se stejnosměrným vysokým napětím. Zvlákňování lze provádět z jehly (trysky) nebo je možné použít zvlákňování bezjehlové (Krňanský, 2009).

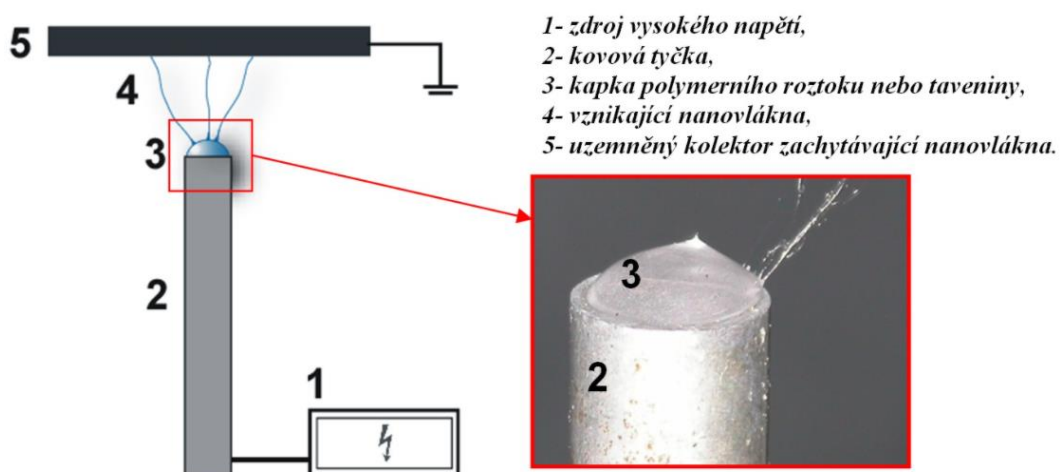
Princip jehlového zvlákňování je schematicky znázorněn na obrázku č. 3, kdy je polymer vháněn do kovové jehly ve tvaru kapiláry. Elektroda vysokého napětí a polymer jsou spojeny, tím je polymer kontaktně vystaven proudu vysokého napětí. Mezi ústím kapiláry a uzavřeným kolektorem je pomocí elektrického pole polymer vytahován do prostoru, štěpí se a ukládá na kolektor. V prostoru mezi kapilárou a kolektorem dochází díky vysokému napětí k tvorbě Taylorova kužele. Tento kužel produkuje submikronová vlákna (Růžičková, 2006).

Jako kolektor může sloužit hliníková fólie, rotující válec, nebo může být kolektor potažen třeba papírem. Typ zvoleného kolektoru má zásadní vliv na morfologii a tvar vláken (Sodomka, 2009).



Obrázek 3: Princip elektrostatického zvlákňování (Sodomka, 2009)

Dalším druhem zvlákňování je bez trysky, které se označuje jako bezjehlové. Tento způsob se nazývá zvlákňování z volného povrchu. Jeden z příkladů této technologie je zvlákňování z tyčky viz obrázek č. 4. Princip technologie je založen na uložení malého množství polymerního roztoku nebo taveniny na špičce kovové tyčky. Tyčka je napojena na zdroj vysokého elektrického napětí. Rozvláknění probíhá obdobně jako u jehlového mezi povrchem kovové tyčky a uzemněným kolektorem. Z kapky se do prostoru vytáhne proud polymeru, který se zachytí na kolektor.



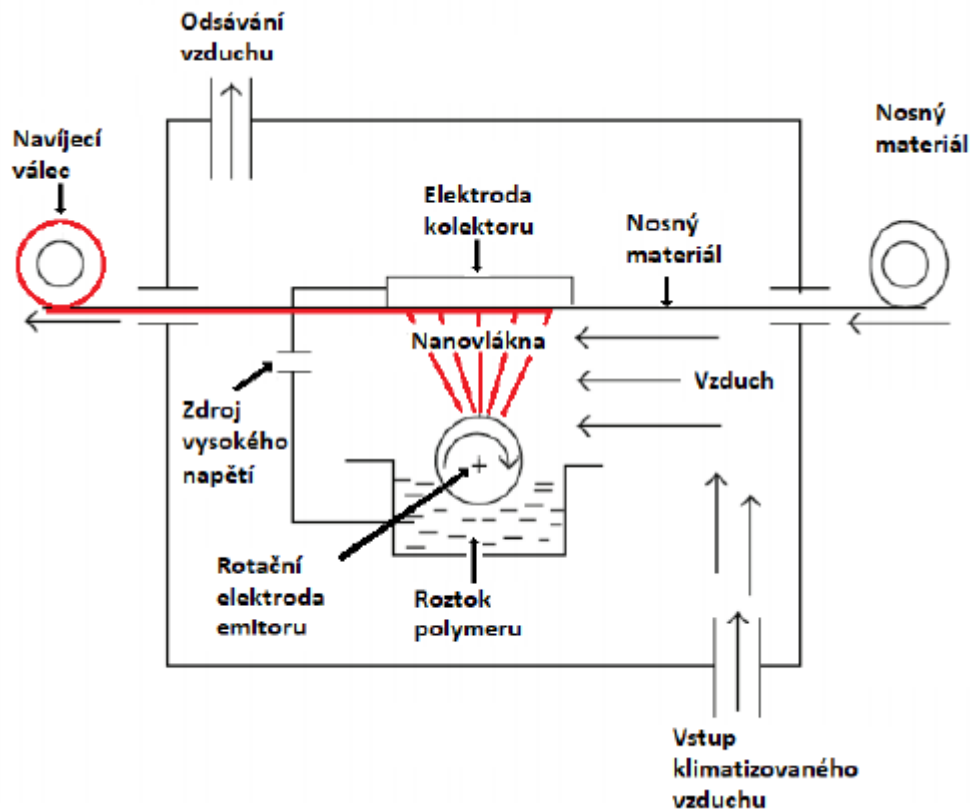
Obrázek 4: Zvlákňování z tyčky (Košťáková 2009)

3.5.2 Technologie nanospider

Jedná se o jednu z metod, kdy je elektrostaticky zvlákňován polymer. Výhodou této bezjehlové technologie je schopnost vyrábět nanotextilie ve velkém množství s garantovanými vlastnostmi a homogenní strukturou.

Technologii nanospider vynalezl profesor Oldřich Jirsák se svým týmem v roce 2003 na Technické univerzitě v Liberci. Nanospider umí vyrábět vlákna s průměrem 100 - 500 nm. Principiálně vychází z poznatku Taylorova kužele, který je možné vytvořit na celém povrchu polymerního roztoku nebo taveniny. Jako elektroda se využívá rotující válec, který je částečně ponořen do polymeru a je pod elektrickým napětím. Na celé ploše válečku vzniká množství Taylorových kuželů, pomocí kterých v kombinaci s elektrostatickým polem dochází k natahování nanovláknů směrem vzhůru a ukládání na podkladový materiál. Schématický princip stroje je znázorněn na obrázku č. 5. Tento podkladový materiál je veden po uzemněném kolektoru, který je současně druhou elektrodou. Vyrobit samotnou nanotextilii tímto způsobem není možné, musí být nanášena na podkladovou vrstvu. Nosná vrstva dodává nanotextilní vrstvě potřebné mechanické vlastnosti například při manipulaci (Růžičnová, 2006; Krňanský, 2009; Košťáková 2019).

Regulací rychlosti ovíjené nosné textilie se určí tloušťka vytvořené sítě nanovláken. Z toho vyplývá, že čím tlustší bude vrstva nanovláknů, tím bude menší objemová pórovitost mezi vlákny. Tloušťka nanovláknenné vrstvy určuje oblast použití podle velikosti částic, které je schopna propustit. Tyto části jsou například bakterie, plísně nebo houby. Touto vlastností se nanovláknenná vrstva stává molekulovým filtrem, jež je možné upravovat dle použití (Demo, 2012).



Obrázek 5: Princip zařízení Nanospider (Košťáková, 2015)

3.5.3 Využití nanovláken

Použití nanovlákná na bázi biopolymerů je v současnosti běžné v různých oborech. Stále probíhá rozsáhlý výzkum, který se zabývá vlivem nanovláken na lidský organismus a životní prostředí.

Zdravotnictví

Farmaceutický průmysl využívá nanovlákná jako nosiče léků s řízeným uvolňováním. Toto řízené uvolňování omezí nežádoucí reakce velkého množství léčiva uvolněného najednou. Struktury nanovláken slouží i ve tkáňovém inženýrství jako matrice pro růst kmenových buněk. Používají se také v podobě ochranné vrstvy umělých orgánů či protéz a jejich nežádoucích reakcí v hostitelském organismu (Ko, 2014).

Potravinářství

Potravinářský průmysl našel uplatnění nanovláken především ve výrobě velmi tenkých obalových materiálů, které dovolují potravinám „dýchat“, umožňují přívod kyslíku a odvod oxidu uhličitého (CO₂). Zároveň znemožňují přístup UV záření a tekuté vody (Babtista, 2013).

Textilnictví

Textilní průmysl používá nanovláknem na výrobu filtrů s přesně definovanými parametry pórů. Biologická účinnost těchto filtrů se dá zvýšit použitím nanočástic stříbra (Ag), oxidu zinečnatého (ZnO) nebo oxidu titaničitého (TiO₂). Dále se uplatňují pro výrobu membrán outdoorového vybavení. Takto upravené vybavení má charakteristické vlastnosti jako jsou voděodolnost, vysoká prodyšnost a odolnost vůči nečistotám (Hussain, 2018).

Elektrotechnika a energetika

Elektrotechnický a energetický průmysl uplatňuje nanovláknem pro výroby nanostruktur ze stříbra, které mají několikanásobně větší plochu než samotný objem a využívají se jako elektrody kondenzátorů nebo palivových článků (Babtista, 2013).

Stavebnictví

Ve stavebním průmyslu mohou nanovláknem sloužit jako příměsi pro zlepšení vlastností lepidel, nátěrů nebo betonů.

3.5.4 Využití pro povrchovou úpravu dřeva

Dřevo je přírodní, biologicky odbouratelný a obnovitelný materiál, který lze použít v mnoha odvětvích včetně konstrukčních prvků. Některé vlastnosti dřeva je však nutné zlepšovat jako například ochranu proti napadení houbami či hmyzem, náchylnost k ohni a rozměrovou nestabilitu (absorpci/ desorbci) vůči vodě.

Je známo, že modřínové dřevo je méně vhodným podkladem pro vodou ředitelné nátěry oken nebo obkladů pro použití v exteriéru. Povrchové vlastnosti modřínového jádrového dřeva jsou charakterizovány nízkými hodnotami pH a vysokým obsahem arabinogalaktanu (Grüll a kol. 2016). Jádrové dřevo je bohaté na extrakční látky, zejména arabinogalaktany, terpeny a terpenoidy (Pánek et al., 2018).

Za posledních pár desetiletí byla nanotechnologie využita v mnoha vědních oborech včetně zlepšení kvality materiálů jako je dřevo a dřevěné kompozity. V této oblasti vědy se pravděpodobně jedná o nejaktivnější a nejrozsáhlejší výzkumy od počátku tohoto století (Schmidt, 2006).

Trvanlivost různých povrchových úprav dřeva na přírodní i syntetické bázi je pouze krátkodobá. Další a účinnější úpravou dřeva je úprava chemická. Zde je nerozšířenější tepelná úprava dřeva. Tepelné zpracování mění molekulární strukturu dřevěných složek takovým způsobem, že houby, plísně ani hmyz dřevo nenapadá, pokud je dodržena konstrukční ochrana dřeva, a to především proti vlhkosti (Hill, c2006)

3.6 Nanočástice

Lidé již více než před 4 000 lety př. n. l. využívali přírodních azbestových nanovláken k zesílení matrice keramiky (Heiligtag, 2013). Nanomateriály byly používány již před více jak 4 000 lety starými Egypťany, kteří získávali částice o průměru 5 nm pro barvení vlasů procesem syntézy syntetické chemikálie. Podobně byla „egyptská modrá“ prvním syntetickým pigmentem, který byl připraven a použit Egypťany pomocí slinutého materiálu směsi skla a křemene velikosti nanometru kolem 3. století př. n. l. (Walter, 2006).

V roce 1857 Michael Faraday oznámil syntézu koloidního řešení nanočástice stříbra (Ag), což je první vědecký popis, který popisuje přípravu nanočástice. Tato událost zahájila historii nanomateriálů ve vědecké sféře. Ve 40. letech 20. století se

vyráběly nanočástice oxidu křemičitého (SiO_2) jako náhražky sazí pro gumovou výztuž (Rittner, 1998).

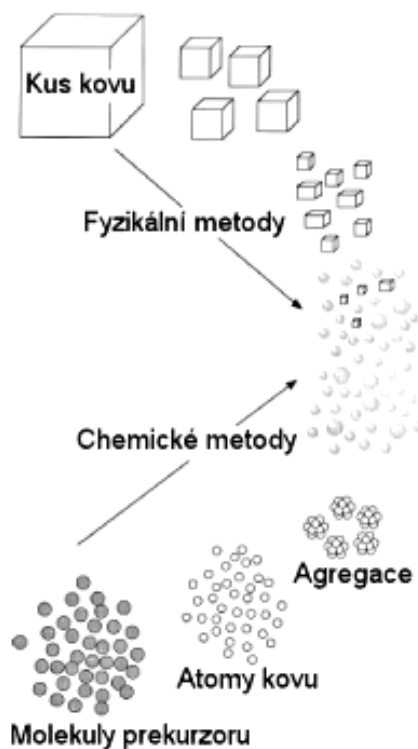
Dnes vyráběné nanomateriály mohou výrazně zlepšit vlastnosti syvkých materiálů, pokud jde o jejich pevnost, vodivost, trvanlivost, lehkost a mohou poskytnout užitečné vlastnosti (např. samoléčivé, samočisticí, nemrzoucí a antibakteriální). Lze je použít jako výztužné materiály pro stavbu nebo bezpečnostní komponenty. V roce 2003 společnost Samsung představila antibakteriální technologii s obchodním názvem Silver Nano™ ve svých pračkách, klimatizacích, chladničkách, čističích vzduchu a vysavačích, které používají iontové nanočástice stříbra (Ag).

Nanoprodukty jsou vyrobeny z nanočástic, jejichž rozměry se pohybují v rozmezí nanometrů (1 nanometr je 10^{-9} m), což je přibližně velikost pěti až deseti atomů. Jedná se tedy o částice menší než 100 nm. Nanočástice obvykle tvoří jádro nanobiomateriálu. Mohou být také ve formě nanovezikulů obklopených membránou. Tvar je nejčastěji sférický, ale jsou možné válcové, deskovité a jiné tvary. Velikost nanočástic může být v některých případech důležitá, například je-li vyžadována penetrace přes pórovitou strukturu buněčné membrány. Důkladná kontrola průměrné velikosti částic a úzké rozložení velikostí umožňuje vytvářet velmi účinné fluorescenční sondy, které vyzařují úzké světlo ve velmi širokém rozsahu vlnových délek. To pomáhá při vytváření biomarkerů s mnoha a dobře rozlišitelnými barvami. Samotné jádro může mít několik vrstev a může být multifunkční. Například kombinací magnetických a luminiscenčních vrstev lze částice detekovat a manipulovat s nimi (Salata, 2004).

3.6.1 Technologie výroby

Elektrosprejování je metoda atomizace kapaliny elektrickými silami. Kapky vyrobené elektrosprejem jsou vysoce nabitě, což brání jejich srážení a podporuje samodisperzi. Kapky mohou být extrémně malé, ve zvláštních případech až do nanometrů, náboj a velikost kapiček lze do určité míry regulovat napětím

a průtokem. Elektrosprejování se používá v mnoha průmyslových procesech, jako je malování, mikroenkapsulace, elektroemulgace, výroba jemného prášku nebo depozice mikro a nanothinových filmů připravených z roztoků nebo koloidních suspenzí. Rozprašovací roztoky nebo suspenze umožňují výrobu jemných částic, které lze použít v průmyslových procesech nebo pro výzkumné účely (Jaworek, 2007). Kovové nanočástice lze vyrobit dvěma hlavními metodami viz obrázek č. 6.



Obrázek 6: Schéma výroby kovových nanočástic (Řezanka, 2018)

Fyzikálními metodami lze vyrobit částice, jejichž rozměry mají velkou variabilitu. Takto vyrobené koloidní částice mají většinou průměr větší jak 10 nm a nejsou reprodukovatelně připravené. Jednou z možností, jak částice připravit, je mechanickým mletím hrudkových materiálů a stabilizací takto vytvořených nanočástic přidáním chránících koloidních činidel.

Techniky odpařování kovu poskytovaly chemikům všestranné možnosti pro produkci širokého rozsahu koloidů kovů na preparativní laboratorní škále. V dnešní době je však použití techniky odpařování kovu omezeno z důvodu obtížného získání částic požadované velikosti.

Pro přípravu nanočástic se dnes nejčastěji používá metoda zdola nahoru, jež umožňuje kontrolovat jejich velikost při výrobě. V současnosti jsou na nanočástice kladeny tyto požadavky:

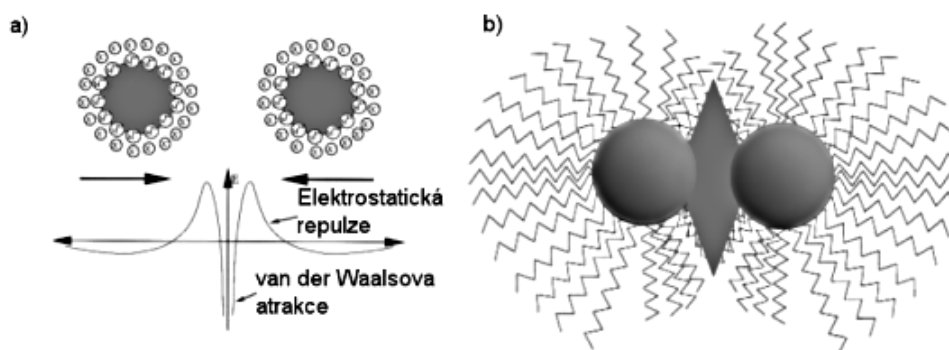
- průměr od jednotek do desítek nanometrů,
- dobře definované složení povrchu,
- reprodukovatelná syntéza a vlastnosti,
- izolovatelnost a možnost opětovného rozpuštění.

Pro přípravu nanočástic metodou zdola nahoru se nejvíce využívá chemická nebo elektrochemická redukce solí kovů a kontrolovaný rozklad metastabilních organometalických sloučenin. K redukci růstu nanočástic a k jejich ochraně proti agregaci je používáno velké množství stabilizačních látek, například donorové ligandy, detergenty a polymery. V počáteční fázi nukleace je sůl kovu redukována za vzniku atomů kovu. Ty se navzájem sráží s dalšími ionty, atomy kovů či klastry a nevratně vytvářejí zárodky stabilního kovového jádra. Průměry zárodků by neměly překročit 1 nm. Tento fakt je závislý na velikosti redoxního potenciálu soli kovu, síle kovových vazeb a na použitém redukčním činidle.

Mezi nejvíce používané metody přípravy nanočástic patří chemické metody, konkrétně redukce. Za použití vhodných podmínek lze vyrobit nanočástice požadovaných tvarů a velikostí.

Nejjednodušší způsob pro přípravu koloidních suspenzí kovů je metoda redukce solí přechodných kovů. Při této metodě vznikají prakticky monodisperzní nanočástice v řádově gramových množstvích. Pro přípravu koloidních látek jsou používána nejrůznější redukční činidla, například soli a hydridy nebo oxidovatelná činidla jako jsou alkoholy. Některé soli přechodných kovů mohou být redukovány za pomoci vroucího ethanolu, který obsahuje stabilizační látky. V tomto procesu slouží alkohol jako rozpouštědlo i redukční činidlo. Většinou jsou využívány primární či sekundární alkoholy. Během redukce je alkohol oxidován na požadovanou karbonylovou sloučeninu.

Při výrobě nanočástic je důležitá jejich stabilizace. Jedna z hlavních vlastností koloidních částic je jejich velmi malá velikost. Bohužel z tohoto důvodu jsou tyto kovové nanočástice velice nestálé, což je následkem agregace. Tento fakt může vést ke vzniku hrudek. Agregace způsobuje ve většině případů ztrátu vlastností, které jsou spojované s koloidním stavem nanočástic. Například koagulace v průběhu katalýzy vede k zásadní ztrátě katalytické aktivity. Stabilizace nanočástic je často dělena na elektrostatickou a stérickou stabilizaci viz obrázek č.7 (Řezanka, 2018).



Obrázek 7: Stabilizace nanostruktur koloidů kovů (Řezanka, 2018)

3.6.2 Využití nanočástic

Nanočástice mají stále větší uplatnění nejen ve vědních oborech. V této podkapitole jsou uvedeny obory, kde se nanočástice hojně využívají pro své jedinečné vlastnosti.

Tkáňové inženýrství

Přirozený povrch kostí často obsahuje prvky, které mají průměr přibližně 100 nm. Pokud by povrch umělého kostního implantátu zůstal hladký, tělo by se ho pokusilo odmítnout. Kvůli tomuto hladkému povrchu pravděpodobně způsobí produkci vláknité tkáně pokrývající povrch implantátu. Tato vrstva snižuje kontakt kosti a implantátu, což může mít za následek uvolnění implantátu a způsobit zánět. Ukázalo se, že vytvořením vrstvy s nanočásticemi na povrchu protézy kyčelního nebo kolenního kloubu lze snížit pravděpodobnost odmítnutí a stimulovat produkci osteoblastů. Osteoblasty jsou buňky odpovědné za růst kostní

matrice a nacházejí se na postupujícím povrchu vyvíjející se kosti. Účinek byl prokázán u polymerních, keramických a nově i kovových materiálů. Toto zjištění by umožnilo navrhnout odolnější a déle trvající náhrady kyčelního nebo kolenního kloubu a snížit pravděpodobnost uvolnění implantátu (Liu, 2012).

Terapie rakoviny

Fotodynamická léčba rakoviny je založena na destrukci rakovinných buněk laserem generovaným atomovým kyslíkem, který je cytotoxický. Rakovinové buňky ve srovnání se zdravou tkání přijímají větší množství speciálního barviva, které se používá k výrobě atomového kyslíku. Tím jsou laserovým zářením zničeny pouze rakovinné buňky. Bohužel zbývající molekuly barviva migrují do kůže a očí a činí pacienta velmi citlivým na expozici dennímu světlu. Tento účinek může trvat až šest týdnů. Aby se zabránilo tomuto vedlejšímu účinku, byla hydrofobní verze molekuly barviva uzavřena uvnitř porézní nanočástice. Barvivo zůstalo uvězněno uvnitř nanočástice Ormosil a nerozšířilo se do dalších částí těla. Současně nebyla ovlivněna jeho schopnost generovat kyslík a velikost pórů asi 1 nm volně umožňovala difúzi kyslíku (Roy, 2003).

Strojírenství

Jednou z hlavních ztrát, ke kterým dochází v motoru automobilu, je tření mezi jeho pohyblivými částmi. Tato ztráta je přibližně 15 % z celkové ztráty energie a má přímý dopad na účinnost a životnost motoru. Různé mechanické systémy vyžadují celou řadu funkčních maziv ke snížení tření a opotřebení kontaktních povrchů, a také k významnému snížení celkové energie spotřebované těmito systémy. Maziva hrají hlavní roli při snižování opotřebení a tření mezi dvěma povrchy, které jsou ve vzájemném kontaktu. Tření lze minimalizovat vložením látky mezi dva pohyblivé povrchy. Tento jev se nazývá mazání a vložená látka se nazývá mazivo. Proto je mazání zásadní pro provoz všech strojních strojů. Mnoho studií se zaměřilo na zlepšení mazacího výkonu obecných maziv. Jedním z přístupů je začlenění přísad nanočástic do běžných maziv, aby se snížilo tření a opotřebení třecích povrchů. Hlavní funkcí maziva je udržovat dva kovové

povrchy mokré, čímž se minimalizuje tření a zabrání se opotřebením. Výzkumné studie uvádějí, že maziva dispergovaná v nanočásticích mají významný účinek na snížení tření a rychlosti opotřebením. Rovněž bylo pozorováno, že tření a opotřebením závisí na tvaru, velikosti a koncentraci nanočástic přidaných do mazacího oleje (Wan, 2015).

3.6.3 Využití pro povrchovou úpravu

Hlavním důvodem použití nanotechnologie ve dřevařství je jedinečnost nanomateriálů účinně pronikat hluboko do dřevěných podkladů, což vede ke změně povrchové chemie materiálu. To následně způsobuje zlepšení vlastností dřeva. V současné době lze materiály založené na nanotechnologiích efektivně aplikovat na dřevo (Teng, 2018).

Látky na principu nanotechnologie, které slouží k povrchové ochraně stavebních konstrukcí, obsahují nejčastěji nanočástice stříbra, titanu, oxidu křemíku či jiných základních prvků. V případě použití oxidu titaničitého dochází k produkci hydroxilových radikálů anionty superoxidu a molekul peroxidu vodíku, které pozitivně působí na ochranu před celou řadou mikroorganismů. Nosičem nanočástic na podkladovou vrstvu jsou voda, alkohol či jiná rozpouštědla. Tyto látky vytváří ochranný hydrofóbní film, který je chemicky vázaný k podkladu pomocí Van der Waalsových sil. Van der Waalsovy síly jsou interakce působící mezi libovolnými molekulami nebo atomy. Jejich velikost závisí na vzájemné vzdálenosti (De Filipo, 2013).

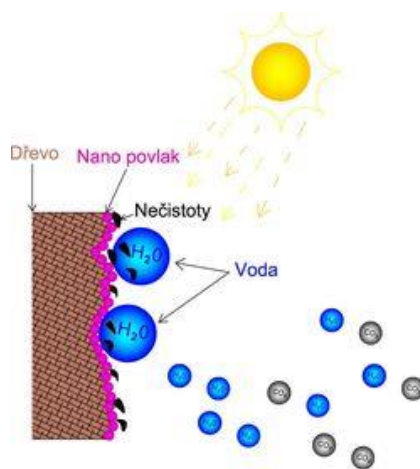
Dalším nedostatkem dřevěných materiálů je jejich nízká odolnost vůči vodě a páře. Dřevo je termohygamechanické a jeho vlastnosti závisí na působení teploty, relativní vlhkosti a mechanického působení varianty zatížení viz obrázek č. 7. Nanočástice mohou snižovat absorpci vody dřeva a materiálů na bázi dřeva. Pro zlepšení odolnosti vůči vodě se používá například nano – zykosil (NZ) (Taghiyari, 2013). Na povrchu materiálu vznikne z nanočástic hydrofóbní povrch, který odpuzuje vodu. Obsahuje takové nanočástice, které nenesou žádný náboj.

V molekule převažují nepolární vazby, které s vodou tvoří jen málo nebo žádné vodíkové můstky, proto se ve vodě nerozpouštějí. Patří mezi ně například uhlovodíky (De Filipo, 2013).

Dále lze využít minerální nanočástice pro zvýšení požární odolnosti. Nanočástice působí jako nepropustná fyzická bariéra proti ohni (Taghiyari, 2012).

Jedna z nejdůležitějších a zároveň energeticky náročných operací při výrobě dřevotřískových materiálů je bezpochyby lisování. Minimální doba lisování „koberce“ závisí na rychlosti přenosu tepla, která se liší podle tloušťky materiálu, teploty, rychlosti lisování a použitého lepidla. Každé lepidlo má předepsané hodnoty teploty a času. V této souvislosti lze využít vysokého koeficientu tepelné vodivosti kovu nebo minerálních nanomateriálů, které snižují lisovací čas a pozitivně ovlivňují výsledné mechanické vlastnosti dřevotřískových materiálů. Kovové nanočástice také snižují teplotní gradient mezi povrchem a středem „koberce“ během lisování (Patel, 2003).

S použitím nanočástic však rostou obavy o životní prostředí. Zkušenosti z minulosti nám ukazují, že nové průlomové technologie nemusejí být šetrné k životnímu prostředí tak jako tradiční technologie. Je jisté, že neúplné znalosti o nanomateriálech zpozdily jejich široké využití. Jejich potenciální dopad na zdraví a životní prostředí by měl být řešen například pomocí hodnocení životního cyklu výrobku (Papadopoulos, 2019).



Obrázek 8: Ochrana dřevěného povrchu pomocí nanočástic (Hlaváč, 2014)

4 Metodika

V níže uvedených podkapitolách je uvedena metodika, která se věnuje přípravě a testování zkušebních těles s odkazy pro jednotlivé zkušební postupy.

4.1 Příprava vzorků

Zkušební vzorky byly připraveny z neomítaných a vysušených (do 18 % vlhkosti) fošen tloušťky 50 mm. Při přípravě byly vyřezány vady (smolníky, hniloba, velké suky a trhliny). Pro zkoušky umělého stárnutí a fyzikálních vlastností bylo dohromady vyrobeno 132 vzorků s rozměry 150 x 40 x 20 mm (podélný x tangenciální x radiální). Zkušební povrch vzorků byl upraven brusným papírem zrnitosti 120. Všechny vzorky byly opatřeny popiskem s číslem vzorku a druhem povrchové úpravy (nanovláknó, koncentrace nanočástic). Následně byly vzorky uloženy při teplotě 20°C a relativní vlhkosti vzduchu 65 %.

4.2 Povrchová úprava vzorků

Ze všech zkušebních vzorků byly vyřazeny čtyři vzorky, které následně zůstaly bez povrchové úpravy jako referenční (REF). Před povrchovou úpravou se nejdříve zatřela čela vzorků silikonem viz obrázek č. 9, aby nedocházelo k porušení dřeva z čelní plochy, které by mohlo ovlivnit výsledné hodnoty výzkumu. Po zaschnutí silikonu byly vzorky rozříděny podle svého označení dle přesné specifikace povrchové úpravy viz příloha č. 1.



Obrázek 9: Zatření čel vzorků silikonem (autor)

4.2.1 Výroba nanovlákn (nanosítka)

Pro přípravu nanovlákn bylo potřeba smíchání třech základních složek. První složkou byly malé bílé granulky PA6 Ultramid B24 (výrobce BASF, Francie). Zbylé dvě složky byly kyselina mravenčí (výrobce PENTA, ČR) a kyselina octová (výrobce PENTA, ČR). PA6 Ultramidu B24 bylo použito 16 % hmotnostních procent. Roztoku kyseliny mravenčí v koncentraci 99 % bylo použito 28 % hmotnostních procent a roztoku kyseliny octové v koncentraci 99 % bylo použito 56 % hmotnostních procent. Roztok byl míchán magnetickou míchačkou po dobu 24 hodin při teplotě 80°C.

Zvláknovací proces probíhal na stroji Nanospider NS1WS5000 (výrobce ELMARCO, ČR) viz obrázek č. 10. Stroj se nachází v laboratoři Fakulty lesnické a dřevařské v Praze. V praxi se toto zařízení nejčastěji používá pro výzkumné činnosti.

Samotné zvláknování probíhalo za přesně stanovených podmínek. Před zahájením zvláknování byla v komoře nastavena stanovená vlhkost a teplota. Stejněsměrné napětí mezi elektrodami bylo 61 kV a vzdálenost kolektoru od struny byla 150 mm. Nanesení (let) vlákn ze struny na kolektor (netkaná textilie) trval přibližně 0,01 s.



Obrázek 10: Nanospider (autor)

4.2.2 Výroba roztoku s nanočásticemi

Nosnou složkou pro nanočástice byla silnovrstvá lazura IMPRANAL PROFI na dřevo (výrobce STACHEMA, ČR). Jako nanočástice byly použity ZnO a ZrO₂ (výrobce ROTH, Německo). Pomocí laboratorní váhy byly naváženy potřebné hmotnosti nanočástic viz obrázek č. 11 a lazury pro dané koncentrace (1,5; 2 a 3 %). Důkladné promíchání bylo zaručeno použitím ultrazvukové míchačky.



Obrázek 11: Odměření ZnO (autor)

4.2.3 Samotné nanášení na dřevo

Dle označení vzorků začala jejich povrchová úprava. Byly připraveny nádoby s lazurou (čistou) a s přísávkou nanočástic ve všech koncentracích. Nanášení probíhalo ručně pomocí štětce. Jako první byly natřeny vzorky pouze čistou lazurou. Dále byly natřeny vzorky lazurou s nanočásticemi ve všech koncentracích. Nakonec byly ponechány vzorky, na které byla určena nanosítka i nanočástice. Ihned po natření lazurou s nanočásticemi byla na povrch vložena nanosítka, která byla už předem připravena. Příprava spočívala ve vyříznutí daného tvaru nanosítky z nosné vrstvy pomocí odlamovacího nože, aniž by byla normální vrstva poškozena. Dále se oříznutá nanosítka opatrně uchopila pomocí dvou pinzet a byla uložena na mokrý povrch vzorků, aby došlo k jejímu splnutí s povrchem dřeva viz obrázek č. 12. Tímto způsobem byly zafixovány všechny nanosítka do různých koncentrací nanočástic v lazure.

Další den po zaschnutí lazury byly vzorky přetřeny další vrstvou, dle specifikace své povrchové úpravy. Tímto stejným způsobem byla provedena i poslední třetí vrstva, kterou byly vzorky opatřeny.

Nakonec byly vzorky rozděleny přesně na polovinu. První polovina vzorků byla umístěna do komory na stárnutí a druhá polovina uskladněna. Na uskladněných vzorcích byly následně provedeny testy tvrdosti (Brinell, tužka) a test adhezní pevnosti povrchu.



Obrázek 12: Uložení nanosítky do lazury s nanočásticemi (autor)

4.3 Měření fyzikálních vlastností

Z již rozdělených vzorků byla použita polovina pro umělé stárnutí v komoře. Na nich byly naměřeny hodnoty barvy, lesku a smáčivosti povrchu. Na druhé polovině vzorků byly následně testovány fyzikální vlastnosti – tvrdost a adhezivní pevnost povrchu.

4.3.1 Umělé stárnutí dřeva

Na základě EN 927-6 (2006) proběhla zkouška umělého stárnutí ve xenonové komoře Q-SUN XE3H (Q-Lab, Cleveland, OH, USA) viz obrázek č. 13, která simulovala cyklicky vnější podmínky ozařování o intenzitě 55 W/m^2 a vlnové délce mezi 300 – 400 nm. Další fáze probíhala při vlnové délce mezi 300 – 800 nm a teplotě 40°C , relativní vlhkosti 30 % (2,5 hodiny) a následném postřiku (0,5 hodiny). Tento cyklus v komoře trval tři týdny (300 hodin). Po každých 168 hodinách vystavení expozice byly vzorky cyklicky klimatizovány v komoře

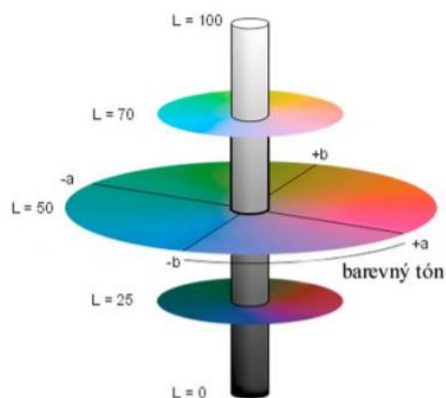
DiscoveryMy DM340 (ACS, MassaMartana, Itálie) při teplotách od 80°C (1 hodina) do -25°C (1 hodina) třikrát po sobě. Zkušební vzorky byly celkově cyklovány po dobu 9 týdnů. Během testu byly pravidelně zaznamenávány změny povrchových vlastností vzorků v intervalu 3, 6 a 9 týdnů.



Obrázek 13: Zkušební vzorky umístěné v UV komoře (autor)

4.3.2 Barva

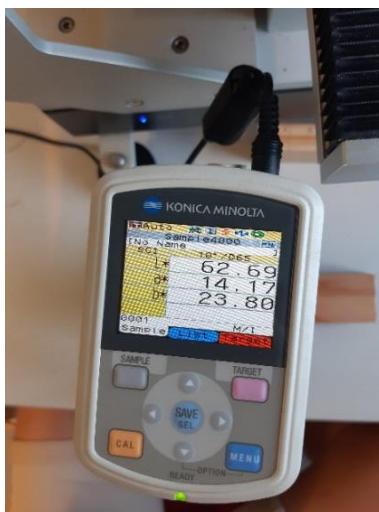
V barevném prostoru LAB byla zaznamenána barva dřeva, tento prostor obsahuje všechny barvy zachytilné lidským okem. Pomocí souřadnic $L^*a^*b^*$ lze přesně definovat měřenou barvu ve svém odstínu, jasu a sytosti. Pomocí prostorového modelu CIE, který je možné vidět na obrázku č. 14, lze zobrazit rozložení barev s přesnými souřadnicemi os v modelu barevného prostoru $L^* a^*b^*$.



Obrázek 14: Prostorový model CIE $L^*a^*b^*$ (Zmeškal, 2002)

Měrná čistota barvy se určuje vzdáleností od středu chromatické roviny a^*b^* , odstín se udává úhlem ve stupních v rovině a^*b^* , počátek je vždy na kladné poloose a^* (červená 0°), další poloosy odpovídají následujícím barvám: b^* (žlutá 90°), $-a^*$ (zelená 180°), $-b^*$ (modrá 270°).

Barva byla určena za pomoci spektrofotometru Konica Minolta 600d (Konica Minolta, Japonsko) viz obrázek č. 15, dle požadavků CIE (1976). Přístroj byl nastaven na světelný zdroj D65 a pozorovací úhel 10° . Parametry $L^*a^*b^*$ byly měřeny vždy na třech vyznačených místech na jednom vzorku během expozice umělého stárnutí.



Obrázek 15: Měření spektrofotometrem (autor)

Ze samotných hodnot $L^*a^*b^*$ nelze jednoznačně určit barevnou změnu, proto se musí vypočíst barevná diference ΔE^* . Celkový barevný rozdíl vzorků ΔE^* byl vypočítán pomocí následující rovnice:

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

Kde: L^* = jas, nebo světlost barvy od 0 (černá) do 100 (bílá),

a^* = souřadnice s odstínem mezi červenou (+60) a zelenou (-60),

b^* = souřadnice s odstínem mezi žlutou (+60) a modrou (-60),

(ISO 7724-3 (1984)).

Tabulka 2: Barevné změny (Zmeškal, 2002)

ΔE^*	Rozdíl	ΔE^*	Rozdíl
0,0 až 0,2	nepostřehnutelný		
0,2 až 0,5	velmi slabý	0,2 až 1,0	postřehnutelný
0,5 až 1,5	slabý	1,0 až 2,0	rozeznatelný
1,5 až 3,0	jasně postřehnutelný	2,0 až 4,0	jasně nerušící
3,0 až 6,0	střední	4,0 až 8,0	mírně rušící
6,0 až 12,0	výrazný		
12,0 až 16,0	velmi výrazný		
větší než 16,0	rušící		

4.3.3 Lesk

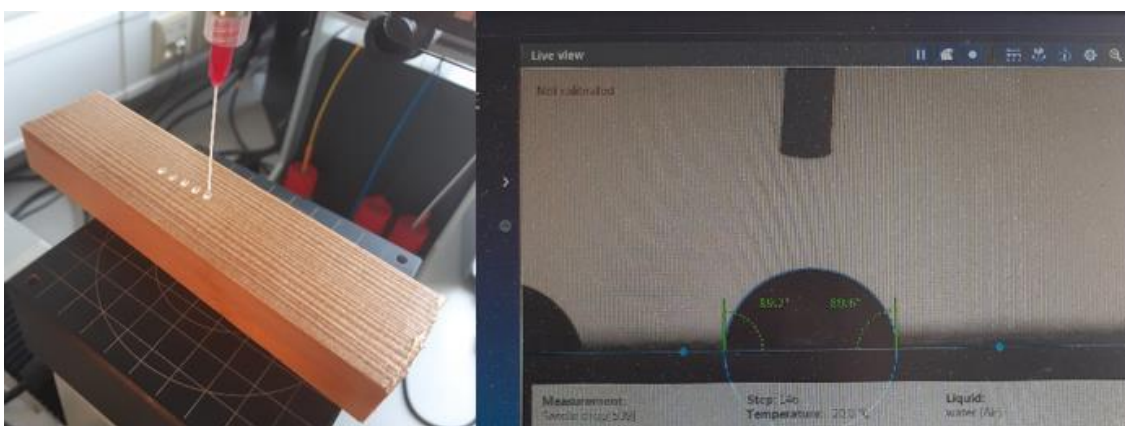
Lesk byl měřen leskoměrem MG268-F2(KSJ, Quanzhou, Čína) viz obrázek č. 16, pod úhlem 60°. Všechny vzorky byly naměřeny před vystavením expozice a poté vždy po třech týdnech vystavení expozici. Celkem byly vzorky měřeny 4x na třech stejných místech.



Obrázek 16: Měření leskoměrem (autor)

4.3.4 Smáčivost povrchu

Smáčivost lze vyjádřit velikostí kontaktního úhlu. Na měření kontaktního úhlu byl použit přístroj goniometr Krüss DSA 30E (Krüss GmbH, Německo) a software Advance (Krüss GmbH, Německo) viz obrázek č. 17. Měření probíhalo na radiálním povrchu zkušebních těles. Na každém vzorku proběhlo 5 měření pomocí kapek destilované vody. Kapka měla objem 5 μl a hodnota kontaktního úhlu byla měřena po 5 vteřinách od dotyku kapky s povrchem vzorku.



Obrázek 17: Měření kontaktního úhlu (autor)

4.3.5 Tvrdost

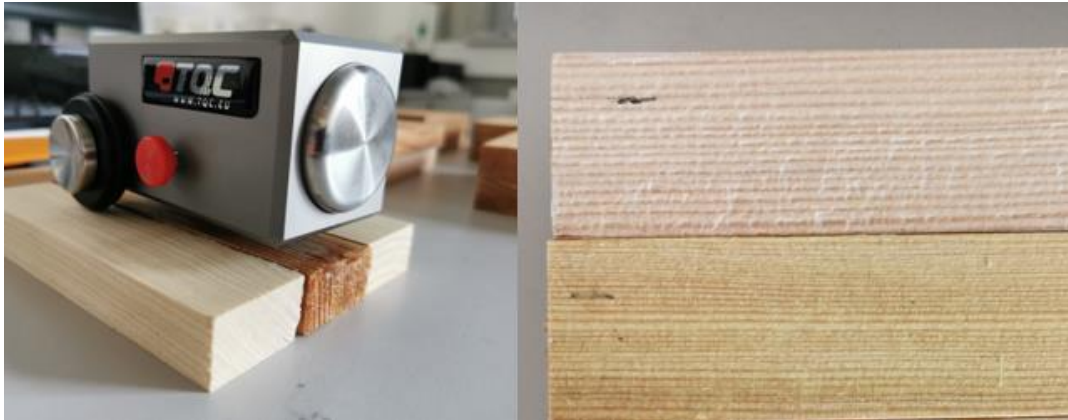
Tvrdost je schopnost materiálu odolávat vnikání cizích těles do struktury materiálu. Čím větší tvrdost materiál má, tím větší klade odpor proti vniknutí. Význam tvrdosti při zpracování dřeva je důležitý především s ohledem na volbu vhodných obráběcích nástrojů a pro správné nastavení strojních parametrů. Řešit tvrdost dřeva má smysl především u operací jako jsou řezání, loupání, frézování atd. (Matovič, 1993). Tvrdost je spjata s druhem dřeva, zkoumanou plochou, strukturou, hustotou, vlhkostí, kvalitou dřevních vláken a jejich anatomickou stavbou (Gandelová, 2009).

4.3.6 Stanovení tvrdosti nátěru zkouškou tužkami

Dle normy ČSN EN ISO 15184 byla provedena zkouška tvrdosti nátěru pomocí hrotů tužek definovaných tvrdostí. Tužky jsou seřazeny podle tvrdosti tuhy od 9B do 9H viz obrázek č. 18. Tuha definované tvrdosti je tlačena po povrchu nátěru pod úhlem 45°, přičemž na povrch působí silou 7,5 N viz obrázek č. 19. Tvrdost tuhy se postupně zvyšuje, dokud se na povrchu nátěru neobjeví viditelné defekty. Výsledkem zkoušky je nejvyšší tvrdost tuhy, která nezpůsobí žádné porušení.

9B – 8B – 7B – 6B – 5B – 4B – 3B – 2B – B – HB – F – H – 2H – 3H – 4H – 5H – 6H – 7H – 8H – 9H			
Měkčí			Tvrdší
B – black	HB – hard black	F – firm	H – hard

Obrázek 18: Označení tužek podle tvrdosti (ČSN EN ISO 15184)



Obrázek 19: Tužkový test tvrdosti (autor)

4.3.7 Stanovení tvrdosti podle Brinella

Druhý způsob měření tvrdosti je Brinellova metoda. Pro zjištění tvrdosti zkušebních vzorků se vycházelo z normy ČSN EN 1534 pro dřevěné podlahoviny. Ač norma neupravuje přesně stanovené podmínky pro zkoušení dřevěných materiálů, zkoušení i vyhodnocení zkoušky funguje na stejném principu jako pro jakýkoliv jiný materiál. Tvrdost materiálu lze vypočítat podle vzorce:

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

Kde: HB = Brinellova tvrdost [MPa],

F = síla působící na kuličku [N],

D = průměr kuličky [mm],

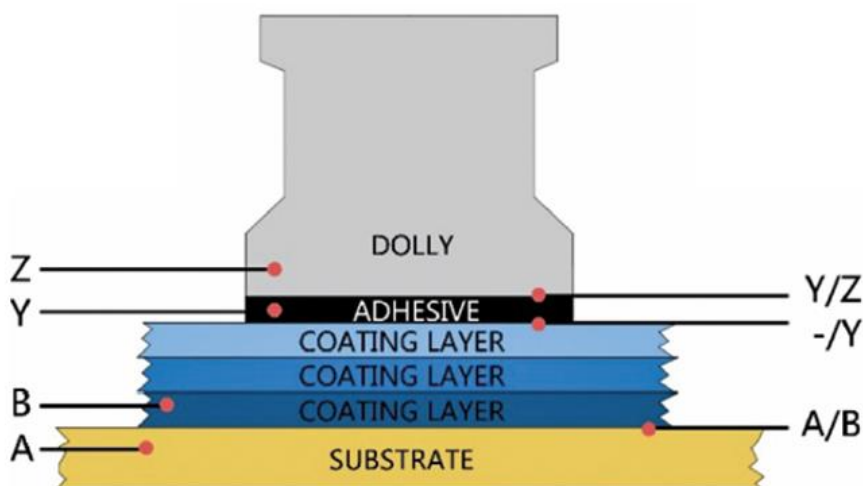
d = průměr otláčené plochy ve dřevě [mm], (ČSN EN 1534).

V průběhu zkoušky byla zatlačována ocelová kulička o průměru 10 mm do radiální plochy zkušebních vzorků. Zkušební tvrdoměr DuraVision – 30 (Struers GmbH, Německo) působil na zkušební těleso po dobu 50 vteřin silou 250 N. Po dokončení zkoušky automaticky vyhodnotil tvrdost. Každé těleso bylo testováno na dvou místech volených takovým způsobem, aby neobsahovaly žádné vady.

Měření probíhalo u klimatizovaných vzorků s vlhkostí 12 % a relativní vlhkostí vzduchu 65 %.

4.3.8 Adhezní pevnost povrchu

Adhezní pevnost povrchu vzorků byla stanovena před a po vystavení expozici s použitím zařízení Comtest OP1-P20 odtrhovací tester adheze (ProInex, Česká republika). Na každý vzorek bylo provedeno jedno měření přilepením panenky o průměru 20 mm na povrch vzorku pomocí dvousložkového epoxidového lepidla epoxy clear 5 min (výrobce ALTECO, Singapur), které vytvrzovalo 24 hodin. U každého vzorku bylo provedeno oříznutí panenky v potahové vrstvě. Tahání bylo prováděno rychlostí 3 mm/min až do oddělení panenky od povrchu. Následně byla z displeje odtrhoměru stanovena hodnota adhezní pevnosti povlaku v N/mm^2 . Povaha poruchy byla vizuálně odhadnuta jako procentuální poškození z celkové plochy, na které se podílel terčík podle ISO 4624 (2016) viz obrázek č. 20. Ukázka nalepení terčíků a odtrhovacího zařízení viz obrázek č. 21.



Obrázek 20: Druhy poruch během zkoušky odtržení adheze (ISO 4624, 2016)



Obrázek 21: Adhezní síla povrchu (autor)

4.3.9 Statistické vyhodnocení

Statistické vyhodnocení výsledků bylo provedeno pomocí analýzy rozptylu (vícefaktorová ANOVA) s pravděpodobností 95 % ($\alpha = 0,05$). Statistická analýza byla provedena pomocí softwaru Statistica 12 (StatSoft, USA) a MS Excel (Microsoft, USA).

Významnost jednotlivých faktorů a jejich interakcí (délka expozice, koncentrace nanočástic v nátěrovém systému, použití nanovláknů) na testované proměnné (barevné parametry, celkový barevný rozdíl, lesk, kontaktní úhel, tvrdost a adhezní síla) byla vypočtena ve statistickém vyhodnocení.

5 Výsledky

V této kapitole jsou jednotlivé výsledky prezentovány v tabelární a grafické podobě. Výsledky byly zpracovány prostřednictvím programu Statistica 12 a MS Excel. Některé výsledné hodnoty jsou porovnány s hodnotami z dostupné literatury.

Dle vizuálního vyhodnocení vzorků viz obrázek č. 22, vyšla nejlépe modifikace ZNB. Tento fakt se potvrzuje i v rámci grafického zobrazení různých měřených vlastností. Z tohoto důvodu budou hodnocení všech měřených faktorů porovnávána právě s touto úpravou.

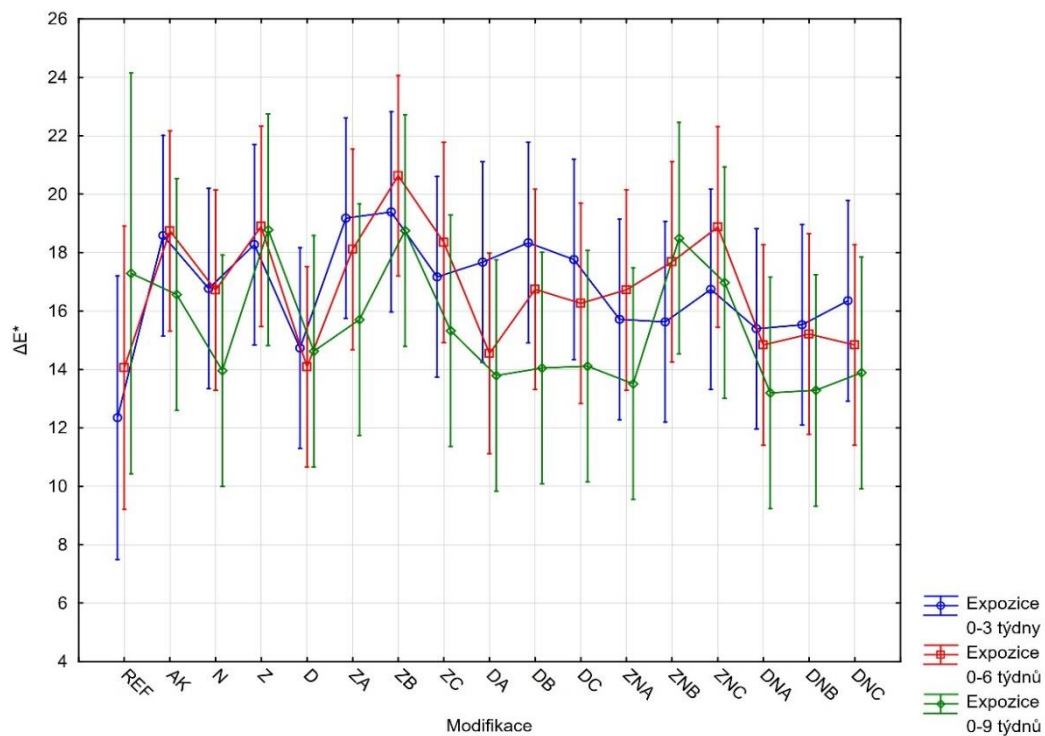
5.1 Změna barvy

Vzorky byly vystaveny umělému stárnutí v urychlovací komoře. Výhodou této komory je použití destilované vody, čímž nedochází ke znečištění povrchu například prachem. I přestože dřevo ze začátku v komoře tmavne, může dojít k porušení povrchu nátěru a dřevo začne zase světlat.

Použití nanomateriálů na povrchovou úpravu dřeva poskytuje vzorkům lepší vlastnosti ve srovnání s konvenčními úpravami dřeva. Úprava může zlepšit například odolnost vůči UV záření. Sluneční paprsky jsou absorbovány povlakem a povrch dřeva je tak chráněn. Další výhodou je zvýšení odolnosti vůči působení vody, která má velký podíl při degradaci povrchových úprav. Nanočástice pozitivně působí na celistvost nátěru, který lépe drží na podkladových vrstvách. V neposlední řadě dřevo chrání nanosíťka znemožňující vodě prostoupit přímo do dřeva.

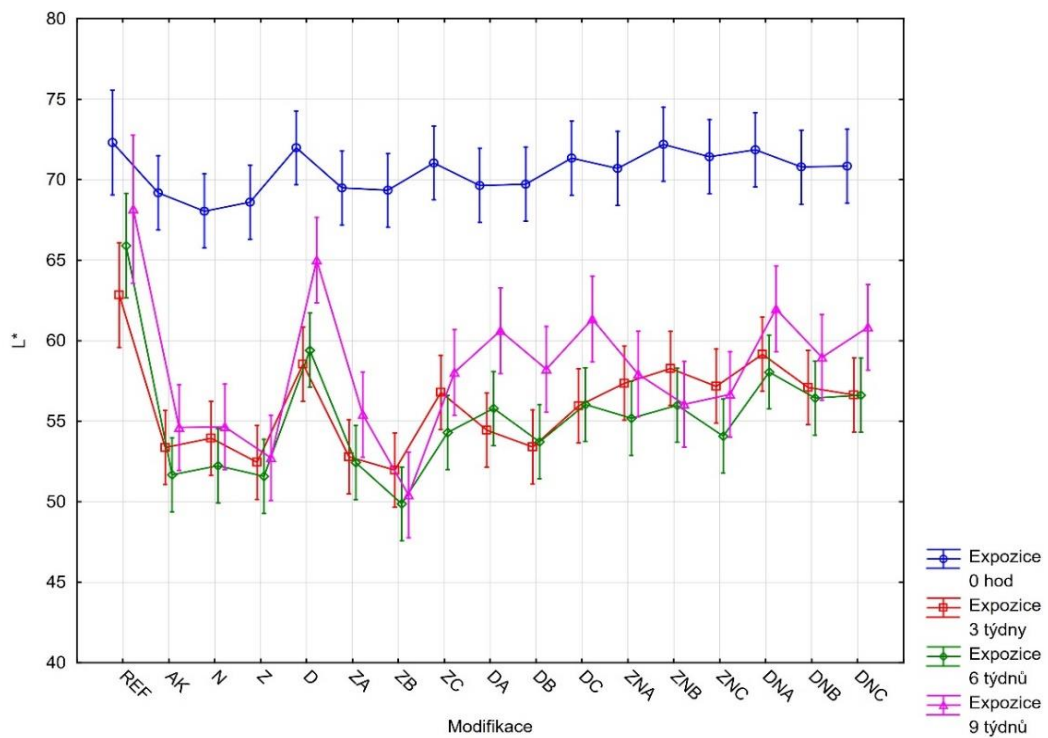
U většiny způsobů modifikace je snižující se tendence hodnot barevné změny, kromě vzorků REF a NZB viz graf č. 1. U většiny ostatních úprav můžeme také pozorovat větší rozptyl hodnot okolo průměru, to je způsobeno narušením homogenosti nátěru. U vzorků REF však došlo k porušení povrchu. Takto porušený povrch mění své vlastnosti jinak než stále ošetřený povrch. Naopak u vzorků ZNB lze pozorovat rostoucí tendenci změny barvy při zachování

celistvosti nátěru. Tento fakt se dá přisuzovat použití vhodné koncentrace nanočástic ZnO v kombinaci s nanosítkou. Povrch těchto vzorků byl i po vizuální stránce nejvíce zachovalý vůči původnímu vzhledu.

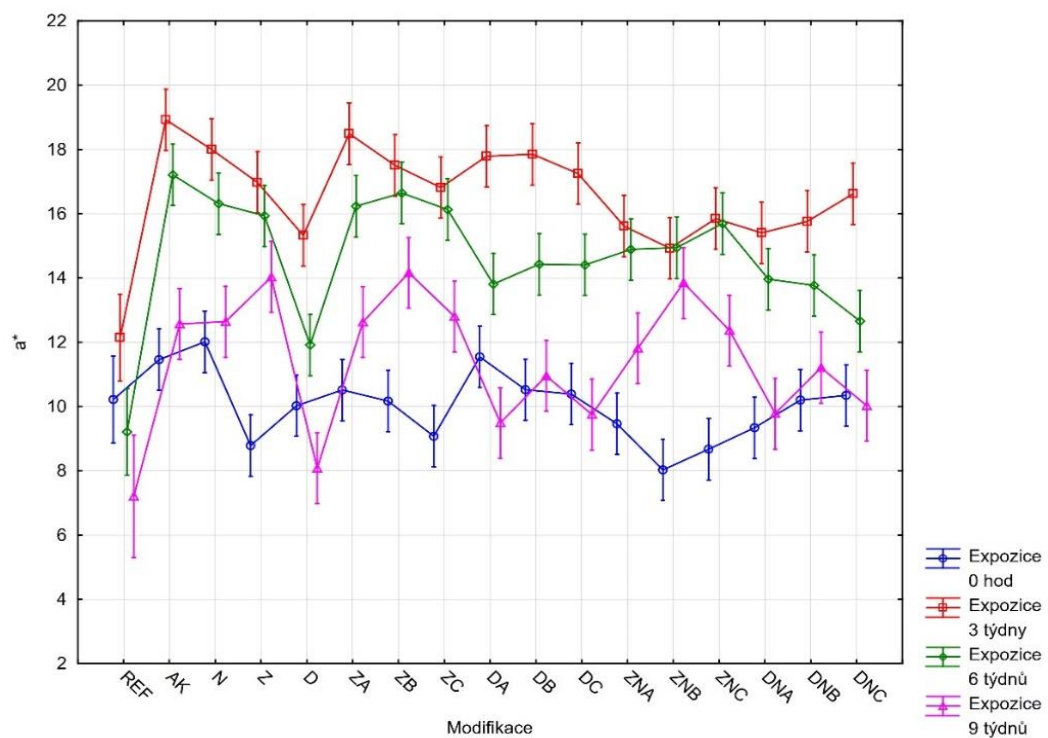


Graf 1: Celková změna barevnosti vzorků (autor)

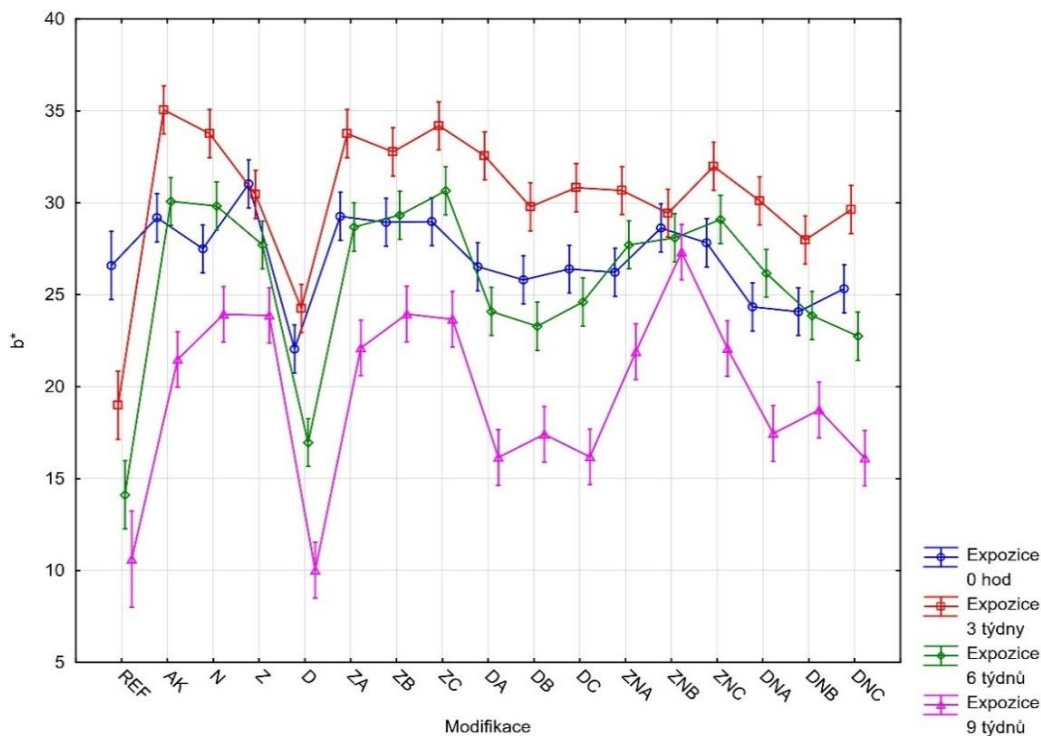
Pro lepší hodnocení barevných změn a jejich průběhu jsou uvedeny grafy č. 2, 3 a 4 s průměrnými hodnotami, maximy a minimy jednotlivých parametrů (L^* , a^* , b^*) u všech vzorků v průběhu celého stárnutí.



Graf 2: Barevná změna parametru L^* (autor)



Graf 3: Barevná změna parametru a^* (autor)

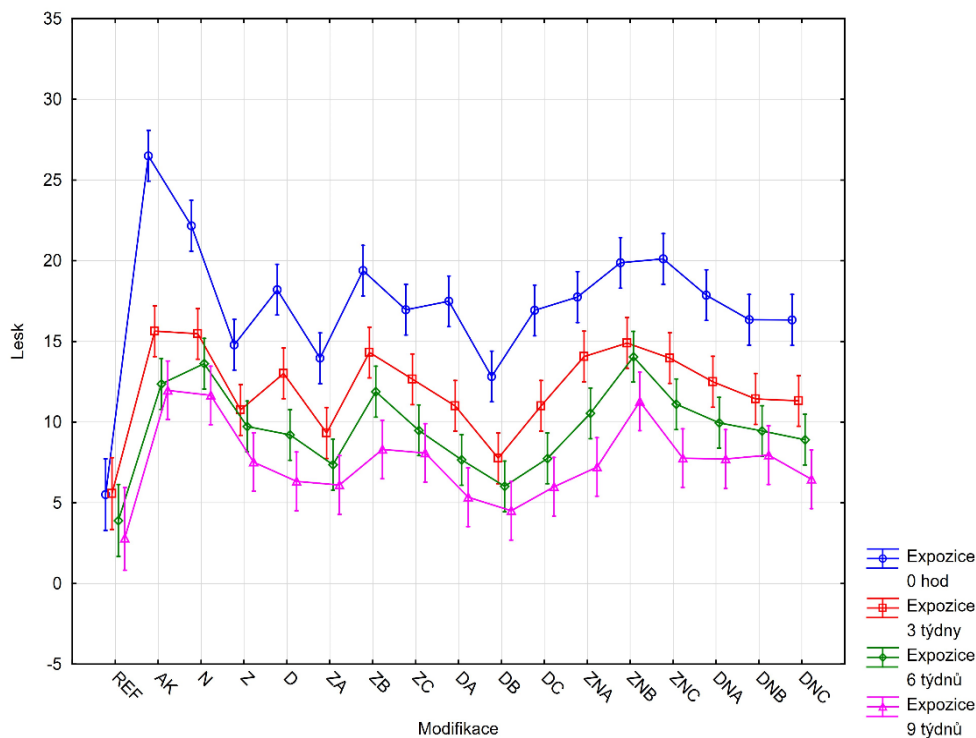


Graf 4: Barevná změna parametru b^* (autor)

5.2 Změna lesku

Lesk se používá jako hodnotící kritérium zejména při testování degradace nátěrů, kdy může být dokonce citlivějším parametrem pro hodnocení než celkový barevný rozdíl.

V průběhu 9-ti týdenní expozice umělého stárnutí byly zaznamenány odlišné průběhy změn lesku viz graf č. 5. V grafu lze pozorovat křivky se stále stejným tvarem, kdy pouze AK vykazuje velice vysoké hodnoty před vystavením expozici. Při porovnání nejvyšších hodnot lesku zjistíme, že pouze dvě sady vzorků jsou schopné konkurovat vzorkům AK, a to N a ZNB. Z grafu je zřejmé, že celková hodnota snížení lesku u vzorků ZNB je nižší než u vzorků N, a proto jej můžeme vyhodnotit, jako nejvíce stálé, co se týče lesku. Celkově lze shrnout, že se lesk změnil vždy minimálně o 50 % oproti své původní hodnotě v testovaném období 0 hodin. V rámci nejhorších výsledků a poklesu lesku až o 75 % jako v případě vzorků DA, DB, DC opatřených pouze nanočásticemi ZrO_2 .



Graf 5: Celkové změny lesku (autor)

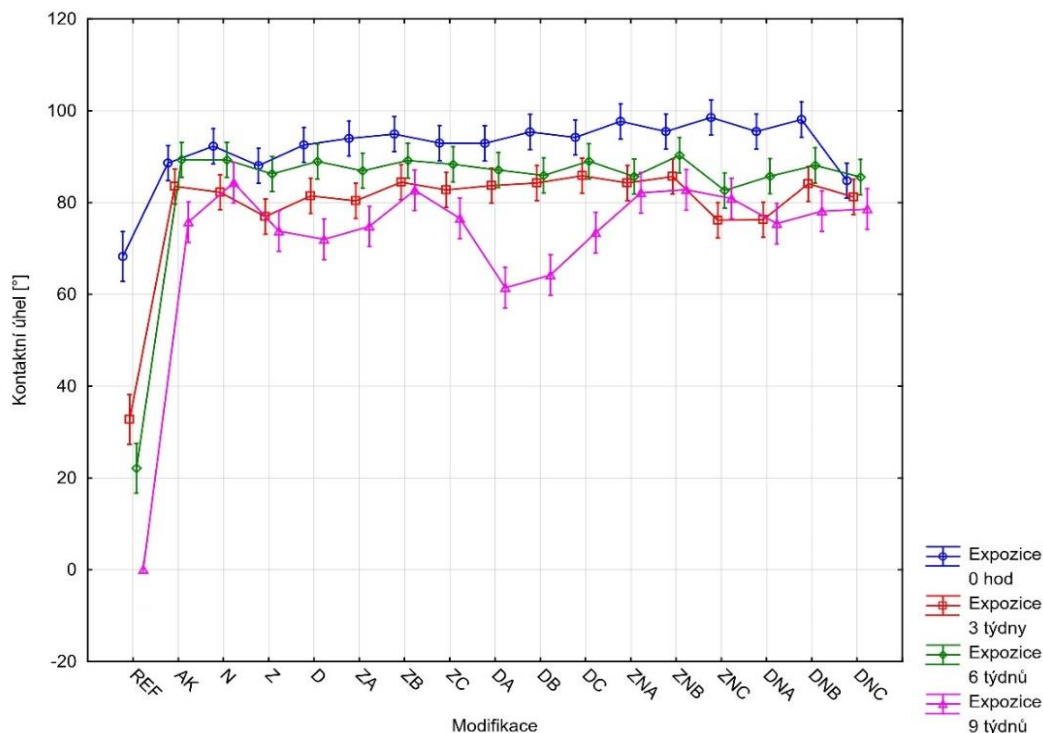
5.3 Změna smáčivosti povrchu

Smáčivost povrchu zkušebních vzorků byla určována v průběhu 9-ti týdenní expozice v urychlovací komoře. Z výsledků je zřejmé výrazné zvyšování smáčivosti dřeva v průběhu expozice působením abiotických činitelů. Použitím nanomateriálů došlo k lepšímu uzavření povrchu, který byl následně odolnější vůči působení vody

U vzorků s povrchovou úpravou byl pozorován počáteční nárůst kontaktního úhlu oproti REF. To lze vysvětlit rychlým narušením povrchu a vyplavením extraktivních látek. Při posledním měření byla u REF zaznamenána hodnota kontaktního úhlu 0° , který značí úplnou smáčivost povrchu.

Celkově lze shrnout, že povrchová úprava měla pozitivní vliv na smáčivost povrchu. Z grafu č. 6 je patrné vymezení intervalu od 70° do 100° v průběhu celého vystavení expozice. Výjimkou jsou v tomto ohledu pouze modifikace DA, DB

a DC, které mají v posledním měření výrazně snížené hodnoty kontaktního úhlu. U těchto vzorků došlo k narušení povrchu s nanočásticemi ZnO₂ a snížení kontaktního úhlu o 20 – 30 %. Měření ukazují na mírně zhoršené ochranné funkce všech nátěrových systémů proti vodě, kdy modifikace N, ZB a ZNB mají nejmenší pokles hodnot kontaktního úhlu. Tento pokles je vždy do 10 % oproti hodnotám prvního měření.



Graf 6: Změna smáčivosti povrchu (autor)

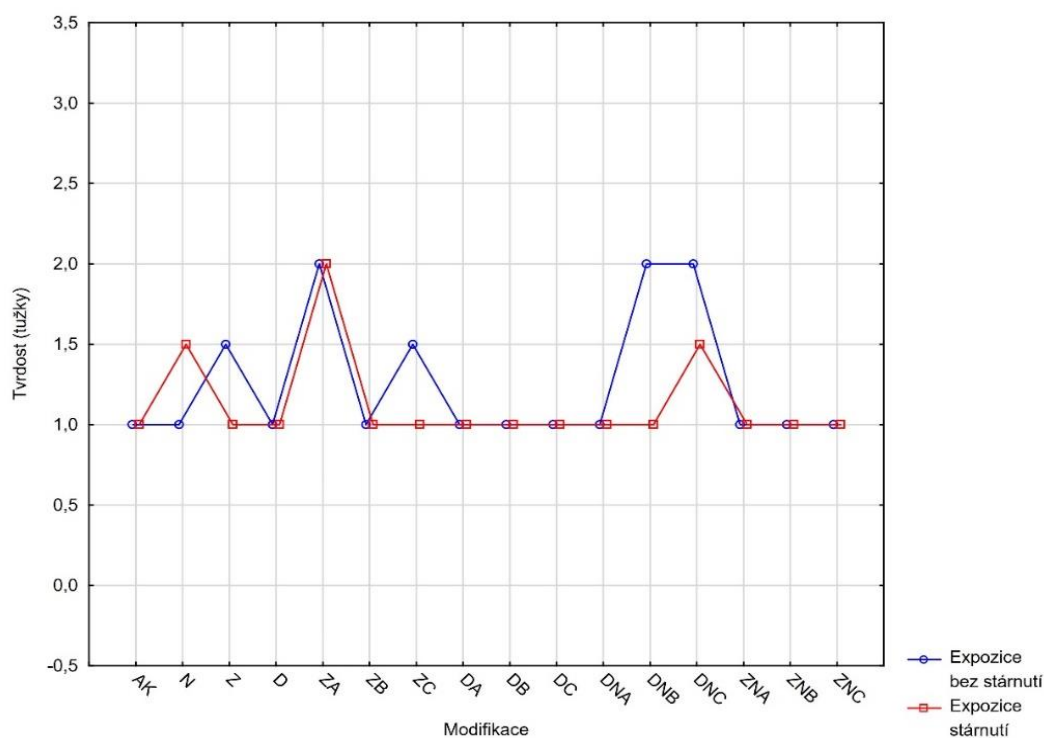
5.4 Změna tvrdosti

Tvrдост je závislá především na hustotě dřeva. Modřínové dřevo má hustotu $\rho_{12}= 583 \text{ kg/m}^3$, nanomateriály mají hustotu vyšší a zároveň mají vyšší tvrdost. Tato vlastnost pozitivně ovlivňuje tvrdost výsledných nátěrů.

5.4.1 Tvrdost – tužkový test

Z grafu č. 7 je patrné, že se tvrdost nátěru v průběhu expozice zásadním způsobem nezměnila. U modifikace ZA mohlo dojít ke zlepšení tvrdosti kvůli obsahu nanočástice v první vrstvě nátěru, která jako jediná z celkových tří mohla zůstat neporušena. Naopak u vzorků DNB a DNC mohlo dojít k porušení vrchních dvou vrstev nátěru a hrot tužky se mohl zarývat do povrchu nanosítky, která je tvrdší než nátěr i samotné dřevo. Nejhorší výsledky jsou pozorovány u vzorků DA, DB a DC, kde nanočástice ZnO ve všech třech vrstvách nátěrového systému výrazně nepřispěly ke zvýšení tvrdosti filmu.

V rámci této práce nešlo o vytvoření tvrdého nátěrového systému pro pochozí plochy. Použití zkoumaných nátěrů je určeno do exteriéru především na fasády či ploty.



Graf 7: Změna tvrdosti, tužkový test (autor)

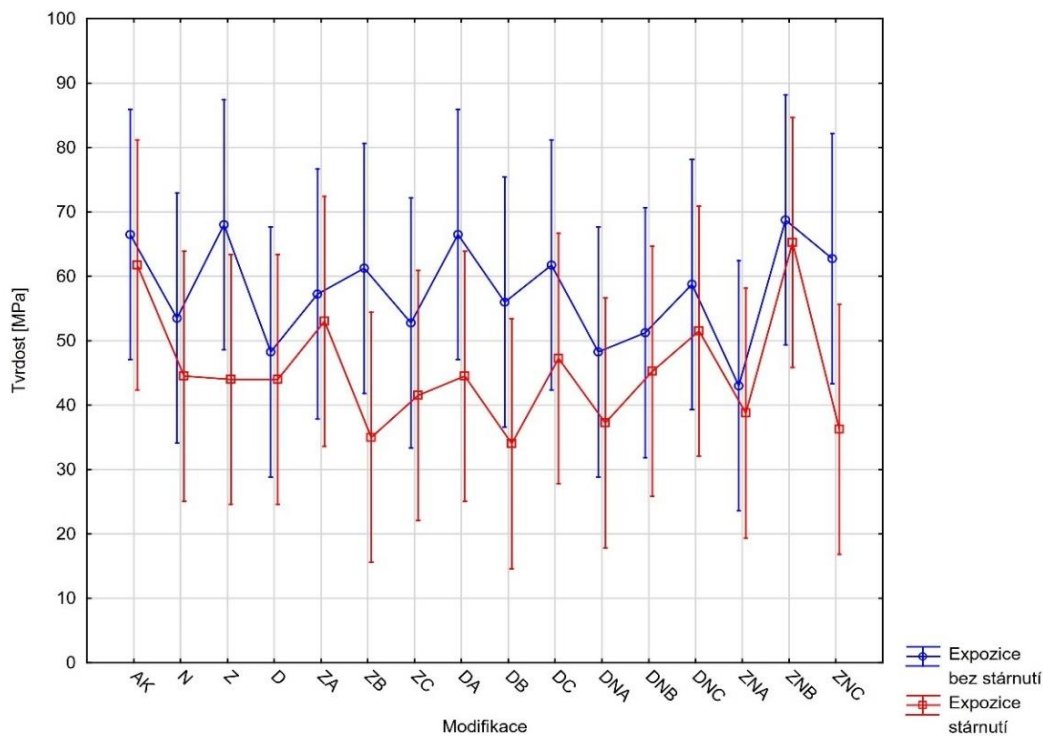
5.4.2 Tvrdość - Brinell

Výsledné hodnoty zkoušky tvrdosti podle Brinella jsou rozmanitější a přesnější než u tužkového testu. Z grafu č. 8 je patrný pokles tvrdosti u všech modifikací vystavených expozici.

Jen pár skupin vzorků vystaveným stárnutí jako jsou Z, ZB a ZNC, došlo k výraznému poklesu hodnot, kde s největší pravděpodobností došlo v průběhu stárnutí k částečnému nebo úplnému porušení nátěru. Naopak u skupiny vzorků AK, Z, DA, ZNB a ZNC, které nebyly vystaveny expozici, lze pozorovat hodnoty tvrdosti vyšší než 80 MPa. V případě vzorků vystavených expozici vyšly nejlépe AK, ZA, DNC a ZNC s hodnotami tvrdosti převyšující 70 MPa.

V tomto testu vyšla nejlépe modifikace ZNB s minimálními rozdíly asi 5 % mezi hodnotami naměřenými na vzorcích vystavených a nevystavených expozici. Zajímavostí je skupina vzorků AK obsahující vzorky natřené pouze čistým akrylem, jež vykazují vysoké a stabilní hodnoty tvrdosti.

Námi sledovaná DNC má nadprůměrné hodnoty s velmi malými rozdíly hodnot asi 10 % u vzorků vystavených expozici a vzorků bez stárnutí.



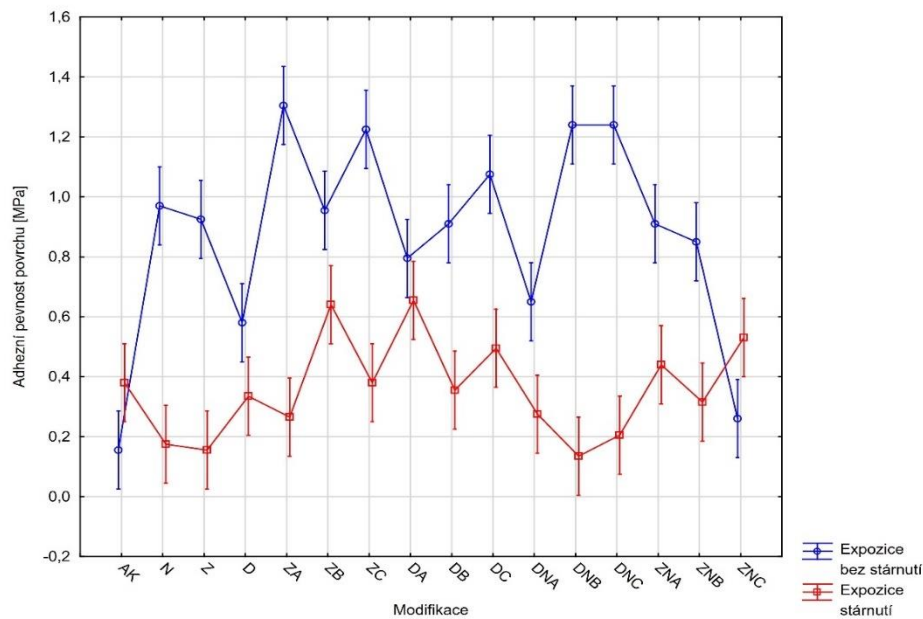
Graf 8: Změna tvrdosti, Brinell (autor)

5.5 Změny adhezní síly

Analýza kvality adheze akrylátového nátěrového systému s použitím nanomateriálů či bez jejich použití byla provedena pomocí zkoušky přilnavosti a odtržení včetně charakteristiky poruch. Vzorky byly vystaveny umělému zvětrávání a teplotnímu cyklování za účelem simulace procesu stárnutí ve vnějším prostředí.

V grafu č. 9 lze pozorovat velkou variabilitu výsledných hodnot měření. Nejhorší hodnoty vykazují vzorky DNB, kde je pokles hodnot téměř o 80 %. Nejlépe v tomto testu vyšla povrchová úprava s označením DA, která vykazuje nejmenší rozdíly hodnot vzorků (do 10 %) mezi expozičními.

U dvou sad vzorků AK a ZNC vystavených umělému stárnutí byly charakterizovány zvýšené hodnoty adhezní pevnosti vůči vzorkům nevystaveným stárnutí.



Graf 9: Změna adhezní pevnosti povrchu (autor)

Dále byly charakterizovány vizuální druhy poruch při odtržení panenky od povrchu vzorků. Jak je zřetelné z tabulky č. 3 a 4, tak nikdy nedošlo k poruše vinou adheze lepidla, ale vždy jen vinou podkladu nebo nátěru, jak je patrné z tabulky č. 5.

U vzorků nevystavených expozici docházelo především k porušení koheze podkladu. Jen výjimečně došlo k porušení adheze mezi mezivrstvou a lepidlem. U vzorků z urychlovací komory došlo převážně k porušení adheze mezi mezivrstvou a lepidlem. Tento jev byl pravděpodobně způsoben počátečním stavem degradace povrchové vrstvy.

Tabulka 3: Druh poškození po odtržení panenky, bez stárnutí (autor)

Bez stárnutí									
Označení	REF	AK	N	Z	D	ZA	ZB	ZC	DA
Druh porušení	-/Y	A	A	A	A	A	A	B	A
	-/Y	A	A	A	A	A	A	A	A
	DB	DC	ZNA	ZNB	ZNC	DNA	DNB	BNC	
	A	A	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	B	A	B	-/Y	-/Y	

Tabulka 4: Druh porušení po odtržení panenky, stárnutí (autor)

Stárnutí									
Označení	REF	AK	N	Z	D	ZA	ZB	ZC	DA
Druh porušení	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y
	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	A/B	-/Y
	DB	DC	ZNA	ZNB	ZNC	DNA	DNB	BNC	
	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	
	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	-/Y	

Tabulka 5: Zatřídění druhu poruchy (ISO 4624 2016).

Označení v protokolu	Popis druhu a polohy lomové plochy
A	kohezní porucha podkladu
A/B	porušení adheze mezi podkladní vrstvou a první mezivrstvou
B	kohezní porucha první vrstvy
-/Y	porušení adheze mezi mezivrstvou a lepidlem
Y	kohezní porucha v lepidle
Y/Z	porušení adheze mezi lepidlem a zkušební panenkou

5.6 Vizuální vyhodnocení

V průběhu stárnutí v urychlovací komoře se měnil i vizuální vzhled vzorků, který je pozorovatelný z obrázku č. 22. Nejčastěji docházelo pouze ke změně odstínu barvy, od světlé přes tmavou zpět ke světlejší. Počáteční tmavnutí je způsobeno fotodegradací tmavšího ligninu a extraktiv, které jsou však stále pod neporušenou vrstvou nátěrového systému, jež brání jejich vyplavení. U skupiny vzorků REF docházelo k zešednutí již po třech týdnech vystavení expozici. Zešednutí vzorků nastávalo až v případě zdegradování nebo odloupení nátěru s postupným vyplavením ligninu a extraktiv. V případě posledního měření (9. týden) docházelo prakticky ve všech případech ke znatelnému zešednutí povrchu dřeva. Další pozorovaná změna je vznik prasklin nejen na povrchu nátěru,

ale i na povrchu dřeva. Vznik prasklin lze vysvětlit úplným porušením povrchové úpravy a pnutí ve dřevě.

U vzorků s použitím nanosítky je možné pozorovat stabilnější změnu barvy a vznik menších prasklin než u ostatních skupin vzorků. Z vizuálního hlediska je povrchová úprava ZNB nejstabilnější s nejmenším rozdílem barevných změn s ohledem na zachování celistvosti povrchu. ZNB dále vykazuje nejmenší míru zešednutí, což svědčí o úplném zachování nátěrového systému ve srovnání s ostatními úpravami.



Obrázek 22: Vizuální podoba vzorků v průběhu vystavení expozici

6 Diskuze

Barva

Výsledky, které byly dosaženy po devíti týdnech expozice v urychlovací komoře, potvrzují, že barva dřeva není pouze estetická záležitost, ale že se v ní odráží chemické složení dřeva (Hon et al., 1985; Tolvaj, 1999).

Dřevo absorbuje téměř všechny vlnové délky elektromagnetického spektra slunečního světla a tím podléhá fotokatalytickým, fotooxidačním a termooxidačním reakcím (Andrady et al. 1998). Žádný z nátěrů nedokázal zamezit barevné změně, ač některé fungovaly lépe než ostatní, což je v souladu s prací (Šimůnková et al., 2019).

U dřevin s vyšším obsahem extraktivních látek začíná chemický proces výrazných barevných změn rychle. U dřevin, které obsahují nižší obsah extraktivních látek, začíná chemický proces výrazných barevných změn brzy, ale je pomalejší a probíhá při něm průběžná fotodegradace ligninu (Nzokou et al. 2011). U všech vzorků, kde došlo k zešednutí části povrchu či celého vzorku, nastala degradace nátěru, porušení povrchu a vyplavení ligninu s extraktivy viz. práce (Nzokou et al. 2011).

Lesk

Lesk je jedním z dalších aspektů vizuálního vnímání objektů (Ghosh et al. 2015). Wernstáhl (1996) ve své studii uvádí, že ztráta lesku je způsobena zejména nárůstem drsnosti, která vzniká degradací nátěrových systémů. Vzorky ZNB s použitím nanosítky a nanočástic vykazují velmi dobré výsledky z důvodu zachování celistvosti a struktury povrchu.

Smáčivost povrchu

Snížené hodnoty REF oproti povrchově upraveným vzorkům má za následek degradace a formování extraktivních látek na povrchu neošetřeného dřeva (Rowell 2005).

Vstřebávání nanomateriálů zmenšuje velikost pórů a prostor v buněčné stěně, který je používán k absorpci molekul vody. Tímto způsobem je vytvořen drsný hydrofobní povrch (Papadopoulos, 2019).

Ve všech případech, kdy nastal výrazný pokles hodnot, dochází k úplné degradaci a ztrátě adheze nátěrového systému (Šimůnková, 2020). Úplná smáčivost způsobuje degradaci povrchu uvolňováním vláken celulózy, zvýšenou drsnost povrchu, vyplavování extraktiv, degradaci ligninu a vznik mikrotrhlin a trhlin (Gonzalez de Cademartori et al. 2015).

Tvrдость

I přes to, že všechny úpravy vykazují pokles hodnot tvrdosti při vystavení expozici, jsou téměř všechny výsledné hodnoty vyšší, než je hodnota $H_{LT} = 19$ MPa, kterou uvádí Zeidler (2016).

Adhezní síla

U dvou sad vzorků AK a ZNC vystavených umělému stárnutí byly charakterizovány zvýšené hodnoty adhezní pevnosti vůči vzorkům nevystaveným stárnutí. To je v souladu se studií od Yalcin a Ceylan (2017). Důvod zvýšení adhezní pevnosti lze přičíst kontinuálnímu vytvrzování, ke kterému dochází ve vrstvách nátěru s dalším zvětráváním (Çakıcıer, 2007).

Výsledky u vzorků z komory, kde došlo k porušení adheze mezi mezivrstvou a lepidlem, nejsou v souladu se studií Šimůnkové et al (2020).

Vizuální hodnocení

Nanočástice, jako jsou UV absorbéry, mohou být přidány i ve vyšších koncentracích beze změny průhlednosti povlaku, protože jejich velikost je výrazně menší než u jiných absorbérů (Papadopoulos, 2019). V práci Forsthuber et al. (2013) nevykazují nanočástice ZnO dostatečnou odolnost vůči UV záření, což je v rozporu s výsledky této práce. Výsledky v práci Šimůnková et al. (2019) uvádějí,

že povrchová úprava s obsahem nanočástic je odolnější vůči fotodegradaci, což je v souladu s touto prací.

Povrchové úpravy s použitím pouze nanočástic (především ZrO_2), nevykazují zvláště dobré výsledky. Tento jev může být spojený s nevhodnou kombinací s akrylátovou nátěrovou hmotou. Pouze vzorky s označením Z a ZN s použitím nanočástic ZnO vykazovaly kvalitní výsledky v porovnání s ostatními vzorky opatřeny pouze nanočásticemi. Při použití pouze nanosítky také nebylo dosaženo požadovaných výsledků, což může být způsobeno sníženou fotostabilizací nátěru, kterou v předešlých případech zvyšovaly nanočástice. Kombinace nanočástic ZrO_2 a nanosítky též nevykazovala dobrou odolnost vůči vizuálním změnám. V tomto ohledu je nejlepší variantou využití nanočástic ZnO v kombinaci s nanosítkou, kdy k nejmenší vizuální změně došlo u vzorků ZNB. Takto dobrý výsledek lze s největší pravděpodobností vysvětlit vhodnou koncentrací nanočástic v kombinaci s nanosítkou.

7 Závěr

Jedním z možných řešení zvýšení odolnosti dřeva proti abiotickým činitelům je použití moderních nanomateriálů. U nanovláknů lze předpokládat využití jeho jedinečných vlastností jako jsou paropropustnost, pevnost, dobré mechanické vlastnosti nebo poměr mezi velikostí pórů a celkovou pórovitostí. Jednou z dalších výhod je minimální tloušťka a průhlednost, díky kterým i po nanosení na dřevo neztrácí tento materiál svůj jedinečný přírodní vzhled.

V rámci této práce bylo nutné zjistit, jestli je možné aplikovat nanovlákně na dřevo. Nejprve se však musel vymyslet způsob, jak samotnou nanovlákněnou vrstvu nanést a zafixovat na povrchu dřeva. Po pár pokusech se však přišlo na nejvhodnější variantu, která nakonec našla své uplatnění při aplikaci nanovlákně na dřevo.

Dalším použitým nanomateriálem v tomto výzkumu byly nanočástice ZnO a ZrO₂. Tyto částice měly v kombinaci s nanovláknem podpořit odolnost dřeva proti abiotickým činitelům. Materiály na této bázi už jsou delší dobu testovány, takže se vědělo, jaké vlastnosti jsou schopny pozitivně ovlivnit. Neznámou však byl výsledek kombinace nanočástic a nanovlákně, která by měla spojit vlastnosti těchto materiálů, a zásadním způsobem pozitivně ovlivnit vlastnosti dřeva.

Kombinace aplikací povrchových úprav byly: bez povrchové úpravy, pouze čistý akrylát, akrylát s nanočásticemi ve všech vrstvách nátěru v různých koncentracích (1,5; 2; 3 %) a spojení nanosítky a nanočástic, kdy nanočástice byly pouze v první vrstvě nátěru. Po provedení všech kombinací povrchových úprav byly vzorky testovány a následně vyhodnoceny. V celkovém hodnocení je aplikace nanomateriálů přínosným jevem ve zvýšení odolnosti dřeva.

Jedním z hlavních cílů této práce je zvýšit barvostálost. Tento cíl byl dosažen kombinací nanovlákně a nanočástic ZnO v první vrstvě nátěru, ve které byla uložena nanosítky. Tato úprava měla nejmenší rozdíly ve změně barvy a měla trend stále tmavnoucího dřeva se stále neporušenou vrstvou povrchové úpravy.

Dalšími důležitými vlastnostmi dřeva jsou lesk a smáčivost povrchu. I v těchto případech vykazovala kombinace daných nanomateriálů dobré vlastnosti a minimální rozdíly v naměřených hodnotách. Největší podíl na těchto vlastnostech měla nanosíťka, která zabraňovala celkovému porušení povrchové úpravy a snižovala nasákavost vzorků při zkoušce smáčivosti. Nanočástice plnily svou úlohu ve vytvoření celistvého a odolného filmu, který pronikl i hluboko do dřevní hmoty.

Na ostatní měřené vlastnosti, jako jsou tvrdost a adhezní síla povrchu, měly nanomateriály také svůj pozitivní vliv. U tvrdosti se ukázalo jako zásadní použití nanosíťky, která vytvořila tvrdší povrch než samotný akryl, a i přes porušení vnějších vrstev filmu dokázala stále odolávat mechanickému poškození. Naopak u adhezní síly povrchu se ukázalo, že zásadní vliv na mechanické poškození mají nanočástice v první vrstvě povrchové úpravy. Po vystavení expozici došlo k většímu propojení vrstvy s nanočásticemi a akrylem, čímž docházelo častěji k porušení adheze mezi mezivrstvou a lepidlem.

Celkově lze shrnout, že využití nanomateriálů na povrchovou úpravu dřeva má smysl. Jako nejlepší varianta pro povrchovou úpravu se ukázala kombinace ZNB, která se skládala z nanočástic ZnO (2 %) v první vrstvě nátěru a v ní byla uložena nanosíťka. V této souvislosti je ale potřeba nadále provádět výzkumy a hledat nejvhodnější nanomateriály a jejich kombinace. Pro využití v praxi by bylo nutné zaměřit se také na dopad nanočástic na člověka a životní prostředí. Dále by bylo nutné zdokonalit způsob nanášení, a to především nanosíťky, který je momentálně zdoluhavý a v průmyslové výrobě by byl prozatím velmi pracný.

8 Použité zdroje

8.1 Literatura

ALBERTS, A., MULLEN, P. a SPOHN, M. *Léčivé stromy a keře: jednotlivé druhy a jejich léčebné účinky*. Praha: Beta-Dobrovský. Kapesní průvodce přírodou. 2006. ISBN 80-7306-230-5.

AUDERS, A. Derek, G. SPICER, P. Royal Horticultural Society Encyklopedie jehličnanů: komplexní průvodce na kultivarů a druhů, svazek I. Nicosia: Kingsblue Publishing, 2012. ISBN 978-1-90705-715-1.

Cakicier, N. *Changes Due to Weathering of Surface Finishing Layers of Wood* (Doctoral dissertation, PhD Thesis, Institute of Science and Technology, Istanbul), 2007.

GANDELOVÁ, L, HORÁČEK P. a ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. ISBN 978-807-3753-122.

GHOSH, M.; GUPTA, S.; KUMAR, V. S. Studies on the loss of gloss of shellac and polyurethane finishes exposed to UV. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2015, vol. 17, no. 1, s. 39-44.

GONZALEZ DE CADEMARTORI, P. H., MISSIO, A.L.; DUFAU MATTOS, B.; GATTO, D.A. Natural weathering performance of three fast-growing Eucalypt woods. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2015, vol. 17, no. 4, s. 799-808.

GRÜLL, G., FORSTHUBER, B., ECKER, M. Sensitivity of waterborne coating materials to high acidity and high content of Arabinogalactan in larch heartwood. *Progress in Organic Coatings*, 2016. 101: 367–378.

HIEKE, K. *Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů*. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1901-3.

HILL, C. *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. Chichester: John Wiley, c2006. ISBN 978-0-470-02172-9.

HON, D. N. S., CHANG, S.T., FEIST, W. C. Protection of wood surfaces against photooxidation. *Journal of Applied Polymer Science*. 1985, vol. 30, no. 4, s. 1429-1448.

HUSSAIN, Ch. et al. *Handbook of nanomaterials for industrial applications*. Elsevier, 2018. ISBN: 9780128133514

KO, F., WAN, Y. *Introduction to nanofiber materials*. Cambridge, Great Britain : Cambridge University Press 2014 26 s. ISBN 978-0-521-87983-5

KRŇANSKÝ, J. Perspektivy využití nanotextilií na bázi polymerů ve stavebnictví. Prospects of using polymer based nanotextiles in building industry. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 26 s. ISBN 978-80-01-04273-1.

KUNT, M. a ŠOUREK, J., Zakrslé formy jehličnanu a jejich využití. *Živa: časopis pro biologickou práci*. Praha: Academia, 2006, 54(1), 15-16. ISSN 0044-4812.

MÁLEK, Z., HORÁČEK, P. a KIESENBAUER, J. *Stromy pro sídla a krajinu*. Olomouc: Vydavatelství Ing. Petr Baštan, 2012. ISBN 978-80-87091-36-4.

MATOVIČ, A. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*: Určeno pro posl. les. fak. obor dřevař a les. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993. ISBN 80-715-7086-9.

NZOKOU, P., KAMDEM, D. Pl. Influence of wood extractives on the photodiscoloration of wood surfaces exposed to artificial weathering. *Color Research & Application*. 2006, vol. 31, no. 5, s. 425-434.

REINPRECHT, L. *Ochrana dřeva*. 2. vydání, Technical University in Zvolen, Slovakia, 2012, 453 p. ISBN: 978-80-228-2351-7.

ROWELL, R.M. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC 321, Press, 2005, s. 487.

RŮŽIČKOVÁ, J. *Elektrostatické zvlákňování nanovláken*. Vyd. 2., nezměn. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006, 54 s. ISBN 80-737-2066-3.

RUŽINSKA, E. *Plasty a náterové látky v dřevárskom priemysle*. Vydavateľstvo TU vo Zvolene. 2005, 166 s. ISBN 80-228-1518-7.

SCHMIDT, O. *Wood and Tree Fungi: biology, Damage, Protection, and Use*. Berlin: Springer – Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-32138-5.

ŠIMŮNKOVÁ, K et al. EFFECT OF ARTIFICIAL WEATHERING AND TEMPERATURE CYCLING ON THE ADHESION STRENGTH OF WATERBORNE ACRYLATE COATING SYSTEMS USED FOR WOODEN WINDOWS. *Journal of Green Building*, 2020, 15.1: 1-14.

TAYLOR, A. M.; GARTNER, B. L.; MORRELL, J. J. *Heartwood formation and natural durability—a review. Wood and fiber science*. 2007, vol. 34, no. 4, s. 587 - 611.

TESAŘOVA, D., HLAVATY, J., ČECH, P. *Povrchové úpravy dřeva*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2014. 136 s. 168. ISBN 978-80-247-4715-6.

TOLVAJ, L., PAPP, G. Outdoor weathering of impregnated and steamed black locust. ICWSF'99 conference, Missenden Abbey. 1999, s. 112-115.

ÚRADNÍČEK, L., *Dřeviny České republiky*. 2., přeprac. vyd. [Kostelec nad Černými lesy]: Lesnická práce, 2009. ISBN 978-80-87154-62-5.

WERNSTÄHL, K. M. Service life prediction of automotive coatings, correlating infrared measurements and gloss retention. *Polymer Degradation and Stability*. 1996, vol. 54, no.1, s. 57-65.

YALCIN, M. & CEYLAN, H. The effects of tannins on adhesion strength and surface roughness of varnished wood after accelerated weathering. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2017, 14(1), 185–193.

ZEIDLER, A. a BORŮVKA, V. *Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin - podklady pro cvičení*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2674-3.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky: Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic: stav k 2018. Praha: Ministerstvo zemědělství v nakladatelství Lesnická práce, 2019. 110 s. ISBN 978-80-7434-530-2.

8.2 Elektronické dokumenty

ANDRADY, Anthony L., et al. Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 1998, 46.1-3: 96-103. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z WWW: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1011134498001882>

BABTISTA, A., FERREIRA, I., BORGES J. Cellulose-Based Bioelectronic Devices in Cellulose –Medical, Pharmaceutical and Electronic Applications[online] Rijeka, Croatia: Intech 2013. [cit. 2021-02-17]. Dostupné z WWW: <http://www.intechopen.com/books/cellulose-medical-pharmaceutical-and-electronic-applications/cellulose-based-bioelectronic-devices>

DE FILPO, G. et al. Preventing fungal growth in wood by titanium dioxide nanoparticles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volume 85, 2013, Pages 217-222. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z WWW: https://agris.fao.org/agris-search/search.do;jsessionid=26527A01F4DFBBAE01CD255E4A9DCC66?request_locale=fr&recordID=US201600062591&query=&sourceQuery=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField=&aggregat orField=

DEMO, P. et al. Nucleation on polymer nanofibers and their controllable conversion to protective layers: Preliminary theoretical study. In: *Key Engineering Materials*. Trans Tech Publications Ltd, 2011. p. 201-205. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/KEM.466.201>.

DEMO, P. Nanotechnologie ve stavebnictví 21. století: změna paradigmatu? [online]. 1/2012 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z WWW: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-nanotechnologie-ve-stavebnictvi-21.-stoleti-zmena-paradigmatu.html> ISSN issn1802-2030.

FORSTHUBER, B., SCHALLER, Ch., GRÜLL, G. Evaluation of the photo stabilising efficiency of clear coatings comprising organic UV absorbers and mineral UV screeners on wood surfaces. *Wood Science and Technology*, 2013, 47.2: 281-297. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z WWW: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00226-012-0487-6.pdf>

HEILIGTAG, F., NIEDERBERGER, M. The fascinating world of nanoparticle research. *Materials Today*, 2013, 16.7-8: 262-271. Volume 16, Issues 7–8, July–August 2013, Pages 262-271. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z WWW: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702113002253>

HLAVÁČ, R. Propustnost pro vodní páru u povrchových úprav dřeva na bázi nanotechnologií. *TZB-info* [online], 15.12.2014. [cit. 2021-03-010]. Dostupné z WWW: <https://www.tzb-info.cz/12129-propustnost-povrchovych-uprav-drevenych-konstrukci-pro-vodni-pary>, ISSN 1801-4399

JAWOREK, A. Micro-and nanoparticle production by electrospraying. *Powder technology*, 2007, 176.1: 18-35. [cit. 2021-02-30]. Dostupné z WWW: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591007000666>, ISSN 1335-8987.

JIRSÁK, O. a kol. *Výroba a vlastnosti nanovláken* [online], In: 2007. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z WWW: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-11-21/12-12-08.pdf>.

KOŠŤÁKOVÁ, E. Introduction to the problematic of electrospinning technology [online], 2015. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z WWW: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/2264/course/section/865/Prezentace2_electrospinning%20-%20introduction%20EN.pdf

KOŠŤÁKOVÁ, E. *Textilní nanomateriály: 1. přednáška* [online], In: 2019. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z WWW: <https://nanoed.tul.cz/course/view.php?id=22>

KOŠŤÁKOVÁ, E. Úvod do elektrostatického zvlákňování. KNT, FT, TUL, 2019. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z WWW: http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nanotex/2.predn%20C3%A1ska%20_final.pdf

LIN, T. Needleless Electrospinning: A Practical Way to Mass Production of Nanofibers in *Textile Science & Engineering* [online]. Hyderabad, India: OMICS Group 2012. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z WWW: <http://www.omicsgroup.org/journals/needleless-electrospinning-a-practical-way-to-mass-production-of-nanofibers-2165-8064.1000e109.php?aid=8643>

LIU, W., THOMOPOULOS, S., XIA, Y. Electrospun nanofibers for regenerative medicine. *Advanced healthcare materials*, 2012, 1.1: 10-25. Volume 1, Issue 1, January 11, 2012, Pages 10-25. [cit. 2021-02-30]. Dostupné z WWW: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adhm.201100021>

OBERHOFNEROVÁ, E., PÁNEK, M., GARCÍA-CIMARRAS, A. The effect of natural weathering on untreated wood surface. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 19(2), 173-184, 2017. [cit. 2021-01-15]. Dostupné z WWW: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718221X2017000200005&script=sci_arttext&tlng=n

PANDEY, K. Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. *Polymer degradation and Stability*, 2005, 90.1: 9-20. [cit. 2021-01-15]. Dostupné z WWW: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391005001096>

PÁNEK, M., Oberhofnerová, E., Hýsek, Š., Šedivka, P., a Zeidler, A. Colour stabilization of oak, spruce, larch and douglas fir heartwood treated with mixtures of nanoparticle dispersions and UV-stabilizers after exposure to UV and VIS-radiation. *Materials*, 2018, 11.9: 1653. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z WWW: <https://www.mdpi.com/1996-1944/11/9/1653>

PAPADOPOULOS, A., TAGHIYARI, H. Innovative wood surface treatments based on nanotechnology. *Coatings*, Volume 9, Issue 12, December 16, 2019, Pages 866. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z WWW: <https://www.mdpi.com/2079-6412/9/12/866#cite>

PATEL, H. et al. Thermal conductivities of naked and monolayer protected metal nanoparticle based nanofluids: Manifestation of anomalous enhancement and chemical effects. *Applied Physics Letters*, 2003, 83.14: 2931-2933. [cit. 2021-02-30]. Dostupné z WWW: <https://aip.scitation.org/doi/citedby/10.1063/1.1602578>

RAMAKRISHNA, S., FUJIHARA, K., TEO W., LIM, T., *Zuwei*. Electrospun nanofibers: Solving global issues in *materialstoday* [online] 2006. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z WWW: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136970210671389X>

RAMETSTEINER, E., OBERWIMMER, R., & GSCHWANDTL, I. EUROPEANS AND WOOD: What Do Europeans Think About Wood and its Uses? A Review of Consumer and Business Surveys in Europe, 2007. [cit. 2021-01-14]. Dostupné z WWW: https://www.researchgate.net/publication/282573684_EUROPEANS_AND_WOOD_What_Do_Europeans_Think_About_Wood_and_its_Uses_A_Review_of_Consumer_and_Business_Surveys_in_Europe/citation/download

RITTNER, M., ABRAHAM, T. Nanostructured materials: An overview and commercial analysis. *Jom*, 1998, 50.1: 36. [cit. 2021-02-26]. Dostupné z WWW: <https://search.proquest.com/docview/232557567?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>

ROY, I. et al. Ceramic-based nanoparticles entrapping water-insoluble photosensitizing anticancer drugs: A novel drug – carrier system for photodynamic therapy. *Journal of the American Chemical Society*, 2003, 125.26: 7860-7865. [cit. 2021-02-30]. Dostupné z WWW: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja0343095>

ŘEZANKA, P. Nanočástice – Nanočástice I. KSICHT ~ Korespondenční Seminář Inspirovaný Chemickou Tematikou, 2018. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z WWW: <https://ksicht.natur.cuni.cz/serialy/nanocastice/1>

SALATA, O. Applications of nanoparticles in biology and medicine. *Journal of nanobiotechnology*, 2004, 2.1: 1-6. [cit. 2021-02-26]. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1186/1477-3155-2-3>

SODOMKA, L. Jednoduché teoretické úvahy ke zvláknování nanovláken. prezentováno na Nanocon 2009 [online] Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika,

2009. [cit. 2021-2-14]. Dostupné z WWW: http://konsys-t.tanger.cz/files/proceedings/nanocon_09/Lists/Papers/115.pdf

ŠIMŮNKOVÁ, K. et al. Durability of selected transparent and semi-transparent coatings on Siberian and European larch during artificial weathering. *Coatings*, 2019, 9.1: 39. [cit. 2021-2-14]. Dostupné z WWW: <https://www.mdpi.com/2079-6412/9/1/39>

TAGHIYARI, H. Fire-retarding properties of nano-silver in solid woods. *Wood Science and Technology*, 2012, 46.5: 939-952. [cit. 2021-02-26]. Dostupné z WWW: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00226-011-0455-6>

TAGHIYARI, H. Nano-zycosil in MDF: gas and liquid permeability. *European Journal of Wood and Wood Products*, Volume 71, April 07, 2013, Pages 353-360. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0691-6>

TENG, T. et al. Conventional technology and nanotechnology in wood preservation: A review. *BioResources*, 2018, 13.4: 9220-9252. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z WWW: https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_13_4_Teng_Review_Conventional_Technology_Nanotech_Wood

TUCKER, N., STANGER, J., STAIGER, M., RAZZAQ, H., HOFMAN, K. The History of the Science and Technology of Electrospinning from 1600 to 1995 in *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*[online] 2013 [cit. 2021-01-17]. Dostupné z WWW: <http://www.jeffjournal.org/papers/Volume7/7.2b.10N.Tucker.pdf>

WALTER, P. et al. Early use of PbS nanotechnology for an ancient hair dyeing formula. *Nano letters*, October 1, 2006, Volume 6, Issue 10 Pages 2173-2382. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z WWW: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nl061493u>

WAN, Q. et al. Tribological behaviour of a lubricant oil containing boron nitride nanoparticles. *Procedia Engineering*, Volume 102, 2015, Pages 1038-1045. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z WWW: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815002453>

Wood anatomy: Species List [online], 2006. [cit. 2021-01-06]. Dostupné z WWW: <http://www.woodanatomy.ch/species.php?code=BEPE#>

ZICHA, O. ed. Biological Library: Taxonomic tree of plants and animals with photos. *BioLib.cz* [online]. Praha: BioLib, 1999. [cit. 2021-01-10]. Dostupné z WWW: <https://www.biolib.cz/>

ZMEŠKAL, O. Barevné prostory a správa barev. Ústav fyzikální a spotřební chemie, Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 118, Brno [online], 10/2002. [cit. 2021-03-010]. Dostupné z WWW: https://www2.fch.vut.cz/lectures/imagesci/download/stud06_rozn02.pdf

8.3 Normy

ČSN EN 1534 Dřevěné podlahoviny - Stanovení odolnosti proti vtisku - Metoda zkoušení.

ČSN EN ISO 15184 Nátěrové hmoty - Stanovení tvrdosti nátěru zkouškou tužkami.

EN 350 (2016). Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. European Committee for Standardization, Brussels.

EN 927-6. Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood, Part 6: Exposure of wood coatings to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water. European Committee for Standardization, Brussels. 2006.

ISO 4624 (2016). Paints and varnishes - Pull-off test for adhesion. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO 7724-3. Paints and varnishes - Colorimetry - Part 3: Calculation of colour differences. ISO Standard. 1984.

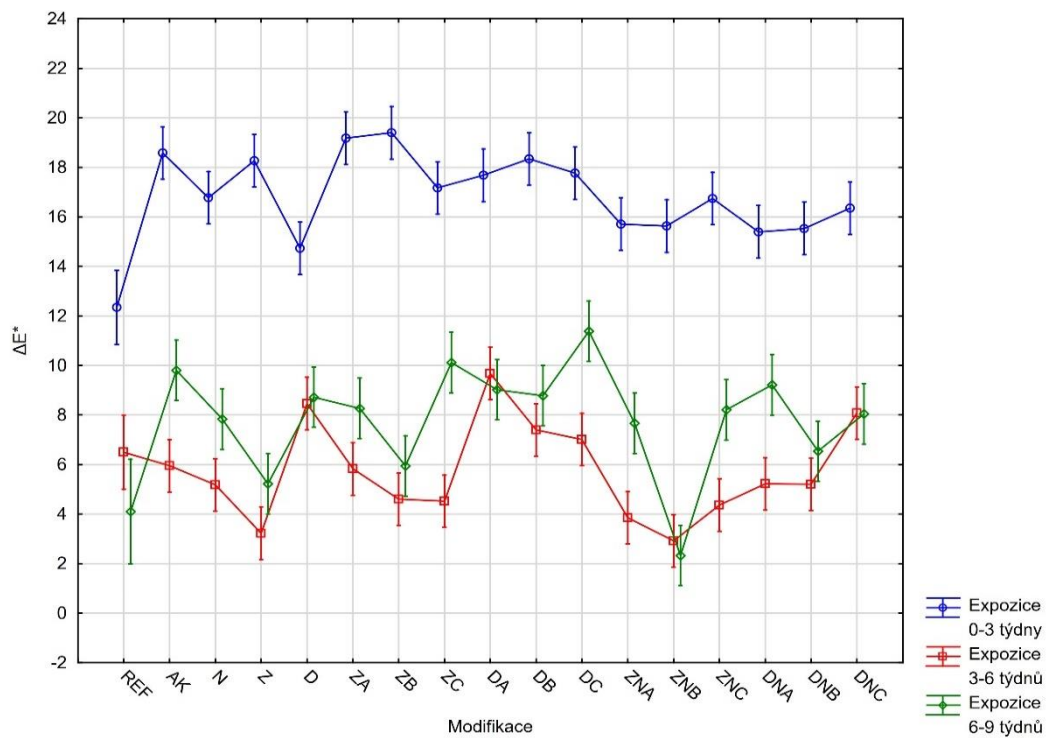
9 Seznam příloh

Příloha 1: Označení povrchových úprav	75
Příloha 2: Barevná změna vzorků postupně podle měření.....	76
Příloha 3: Vizuální změna vzorků AK ,N, D, Z a REF, 0-6 týden	76
Příloha 4: Vizuální změna vzorků DA, DB a DC, 0-6 týden.....	77
Příloha 5: Vizuální změna vzorků, DNA, DNB a DNC, 0-6 týden	77
Příloha 6: Vizuální změna vzorků ZA, ZB a ZC, 0-6 týden	78
Příloha 7: Vizuální změna vzorků ZNA, ZNB a ZNC, 0-6 týden.....	78
Příloha 8: Technický list IMPRANAL PROFI	80

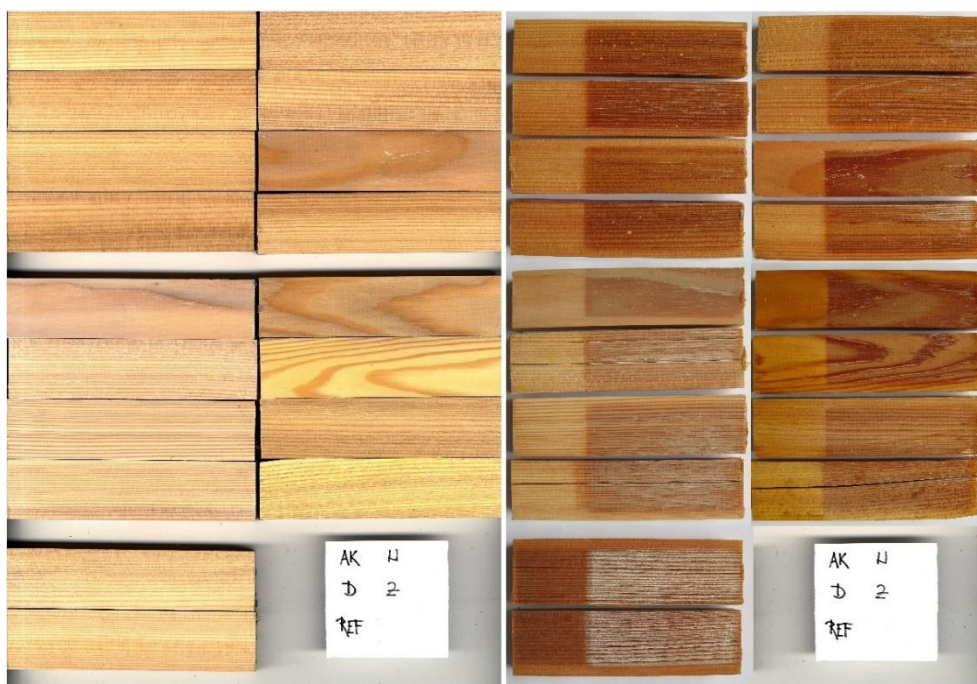
Přílohy

Označení	Specifikace povrchové úpravy
REF	bez nátěru
AK	pouze Akryl 3 vrstvy
N	pouze nanosítko ponořená do první vrstvy Akryl a po vytvrzení další 2 vrstvy Akryl
Z	pouze 3 % nanočástic ZnO vmíchaných do všech 3 vrstev Akryl
D	pouze 3 % nanočástic ZrO ₂ vmíchaných do všech 3 vrstev Akryl
ZA	nanočástice ZnO v c=1,5 % pouze v 1. vrstvě Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy čistý Akryl bez přísad
ZB	nanočástice ZnO v c=2 % pouze v 1. vrstvě Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
ZC	nanočástice ZnO v c=3 % pouze v 1. vrstvě Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
DA	nanočástice ZrO ₂ c=1,5 % pouze v 1. vrstvě Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
DB	nanočástice ZrO ₂ c=2 % pouze v 1. vrstvě Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
DC	nanočástice ZrO ₂ c=3 % pouze v 1. vrstvě Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
ZNA	nanočástice ZnO v c=1,5 % pouze v 1. vrstvě Akryl + nanosítko ponořená do první vrstvy Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
ZNB	nanočástice ZnO v c=2 % pouze v 1. vrstvě Akryl + nanosítko ponořená do první vrstvy Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
ZNC	nanočástice ZnO v c=3 % pouze v 1. vrstvě Akryl + nanosítko ponořená do první vrstvy Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
DNA	nanočástice ZrO ₂ c=1,5 % pouze v 1. vrstvě Akryl + nanosítko ponořená do první vrstvy Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
DNB	nanočástice ZrO ₂ c=2 % pouze v 1. vrstvě Akryl + nanosítko ponořená do první vrstvy Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad
DNC	nanočástice ZrO ₂ c=3 % pouze v 1. vrstvě Akryl + nanosítko ponořená do první vrstvy Akryl a po vytvrzení 2 vrstvy Akryl bez přísad

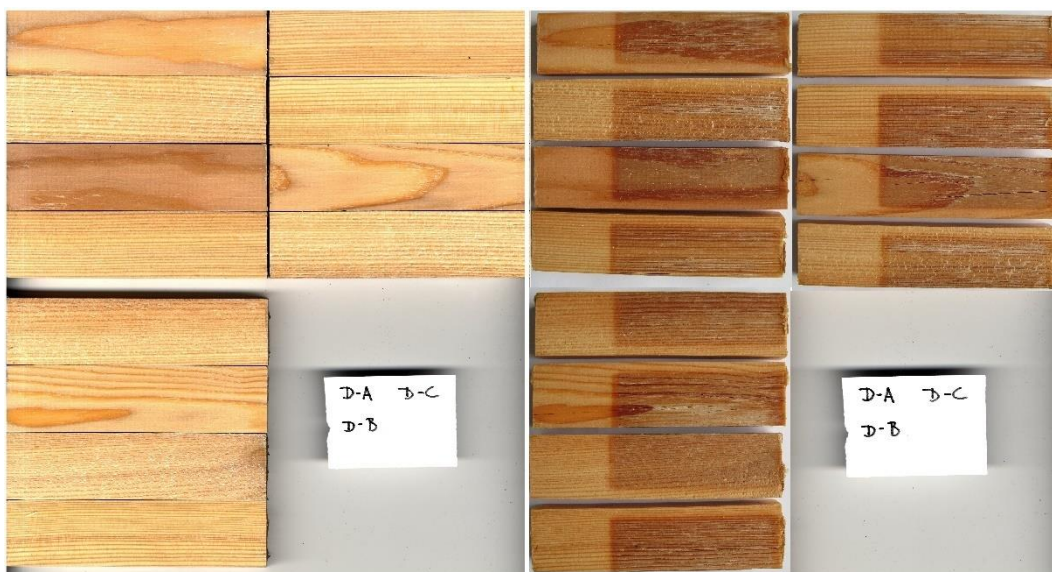
Příloha 1: Označení povrchových úprav



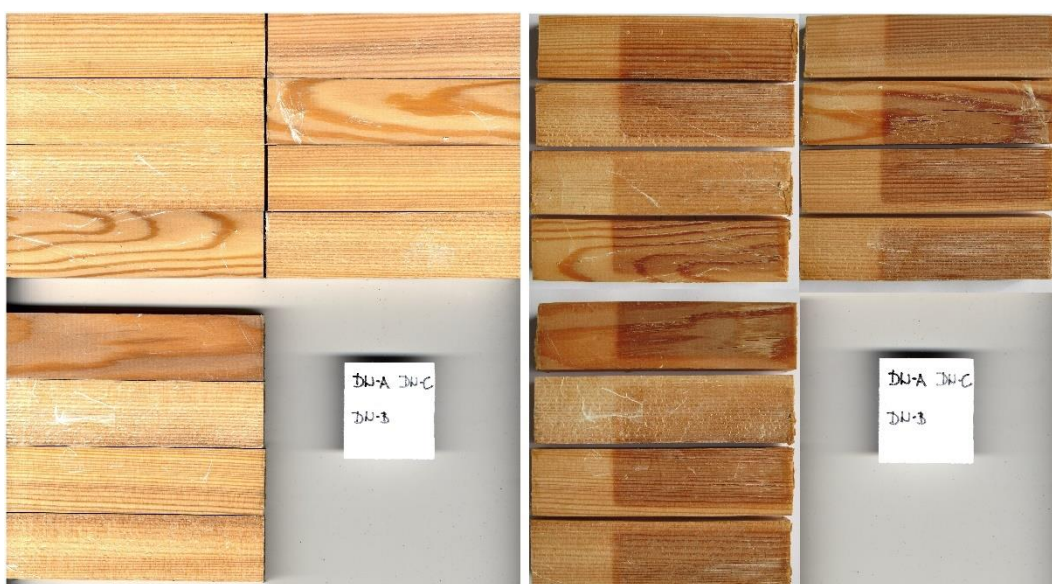
Příloha 2: Barevná změna vzorků postupně podle měření



Příloha 3: Vizuální změna vzorků AK, N, D, Z a REF, 0-6 týden



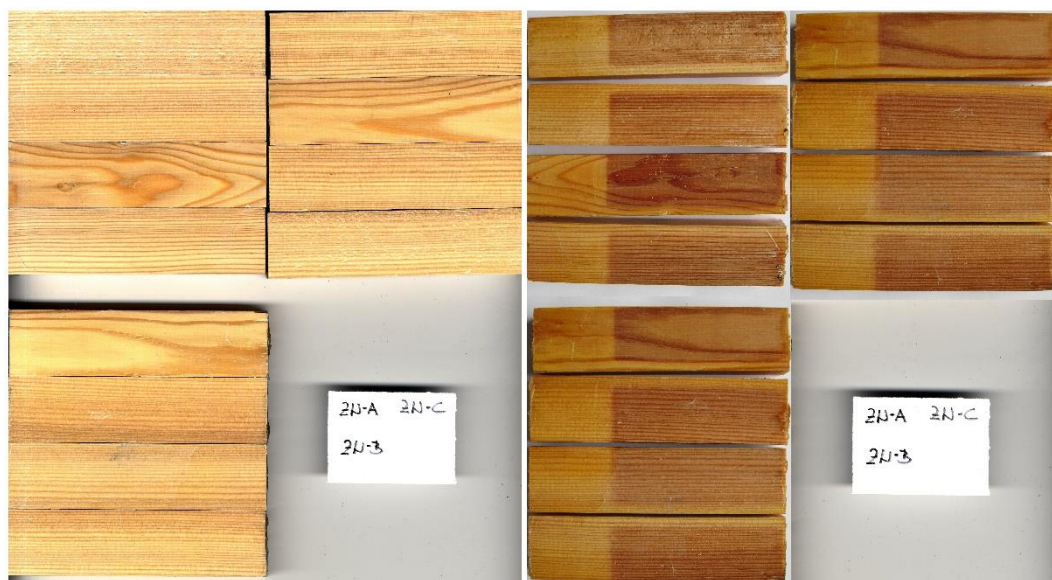
Příloha 4: Vizuální změna vzorků DA, DB a DC, 0-6 týden



Příloha 5: Vizuální změna vzorků, DNA, DNB a DNC, 0-6 týden



Příloha 6: Vizuální změna vzorků ZA, ZB a ZC, 0-6 týden



Příloha 7: Vizuální změna vzorků ZNA, ZNB a ZNC, 0-6 týden

Použití

Silnovrstvá vodouředitelná lazura IMPRANAL PROFI je určena pro všechny dřevěné povrchy v exteriérech a interiérech, jako je obložení balkonů a fasád, pergoly, zahradní nábytek, okna, dveře apod. IMPRANAL PROFI je určen i pro průmyslové aplikace na všechny dřevěné povrchy. Není samostatně vhodný k nátěrům pochozích ploch (pro pochozí plochy v interiérech se pro finální úpravu doporučuje výrobek Lignofix POLYURETANOVÝ LAK). IMPRANAL PROFI chrání dřevo před povětrnostními vlivy a stárnutím. Je také určen pro interiéry s vysokými nároky na hygienu - jídelny, školy, nemocnice apod. **Nátěr může přijít do náhodného styku s potravinami, není však pro tento účel určen.**

Upozornění

Nehodí se k úpravě plísňemi a houbami napadených dřev, která je nutno nejprve ošetřit některým z biocidních přípravků STACHEMA CZ řady Lignofix. Jako prevenci proti dřevokazným houbám, plísním a dřevozbarvujícím houbám a pro zlepšení přilnavosti a trvanlivosti nátěru lze použít jako první nátěr Lignofix NAPOUŠTĚDLO.

Schválení

Výrobek splňuje požadavky zákona č.22/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Na výrobek bylo vydáno prohlášení o shodě. **Výrobek je schválen pro použití na dětské hračky.** Výrobek není hořlavá kapalina ve smyslu ČSN 650201.

Ochranné účinky

Lazura je světlostálá, lehce přetíratelná, s dobrou přilnavostí k podkladu, pružná a bez zápachu. Chrání před povětrnostními vlivy - UV zářením (neplatí pro bezbarvý typ bez UV absorbéru – viz etiketa), stříkající vodou a zašpiněním.

Složení

Směs vody a akrylátové disperze s přidavkem aditiv, v odstínech směs světlostálých transparentních pigmentů, v bezbarvém s UV filtrem je navíc ochrana proti UV záření.

Odstíny

Dub, dub antik, ořech, zlatý dub, teak, kaštan, mahagon, palisandr, pinie, eben, višň, bezbarvý bez UV filtru (nelze samostatně používat v exteriérech) a bezbarvý s UV filtrem. Výsledný odstín závisí na druhu a řezu natíraného dřeva a počtu aplikovaných vrstev! Všechny odstíny jsou vzájemně mísitelné, k zesvětlení barevných odstínů lze použít bezbarvý lak v přidavku max. 10%.

Vzhled nátěru

Sametový lesk.

Zápach

Výrobek má jemný specifický zápach, zaschlý nátěr je bez zápachu.

Parametry

hustota	1040 kg/m ³ ,
obsah netěkavých složek	cca 30% ,
pH	8,5

Příprava podkladu

Podklad musí být po letech zbroušený, suchý, čistý, bez zbytků prachu např. po broušení. Nesmí být znečištěn olejem, silikonovými tmely a jinými podobnými vodu odpuzujícími látkami. Eventuální výrony pryskyřic musí být odstraněny vymytím vhodnými rozpouštědly (např. nitroředidlem). Nesoudržné staré nátěry odstranit, jinak zbrúsit do matova. Dřevo obsahující větší množství pryskyřic se nehodí pro použití v exteriéru.

Aplikace

Lazuru před použitím důkladně promíchejte. Vlhkost natíraného dřeva by měla být v rozmezí 10-12%. Po proschnutí prvního nátěru (cca 12 hodin) se povrch přebrousí jemným smirkovým plátnem. Tím se odstraní drobné jehličky dřeva a získá se dokonalejší povrch. Poté se aplikuje druhý nátěr. V případě aplikace v exteriéru se nanese stejným způsobem nátěr třetí. Je nutno dbát na rovnoměrnost aplikace, zejména na případné kapky (cca 2-5 minut po provedení nátěru se doporučuje stáhnout případné kapky polosuchým štětcem).

Nátěr je přetíratelný po 2-4 hodinách při teplotě 20 °C, plně zatížitelný je po 48 hodinách při teplotě 20 °C. Aplikační rozmezí teplot pro nanášení je 5-25 °C. Nejlepších výsledků se však dosáhne při teplotě 18-22 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65%. Při aplikaci je nutné chránit natírané plochy před slunečním svitem a do úplného proschnutí před deštěm!

Ředění

Dodává se v aplikační konzistenci, pro první vrstvu ředit 10-15 % vody.

Způsob nanášení

Máčením, válečkem, štětcem, stříkáním.

Vydatnost

10-14 m²/l v jedné vrstvě.

Údržba

Pomůcky po skončení práce omýt vodou.

Skladování a přeprava

Skladovat lze v originálních dokonale uzavřených obalech, odděleně od potravin, nápojů a krmiv, při teplotě od +5 °C do +25 °C. Přepravovat pouze při teplotách od +5 °C do +35 °C. VYROBEK NESMÍ ZMRZNOUT.

Záruční doba

36 měsíců od data výroby při dodržení podmínek skladování.

Upozornění

Výrobce neručí za škody způsobené výrobkem při jeho nevhodném použití a aplikaci. **Používejte tento přípravek bezpečně. Před použitím si vždy pozorně přečtěte údaje na obalu a připojené informace o přípravku. Pokyny pro bezpečné zacházení, první pomoc a nakládání s odpadem: viz etiketa a bezpečnostní list (ke stažení na www.stachema.cz).**

Balení

Odstíny a bezbarvý s UV filtrem: 0,75; 2,5 a 5 litrů. Bezbarvý: 0,6; 2,2 a 5 litrů.

Datum revize: 7. 6. 2019