

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí



Disertační práce

**Barevné změny a povrchové degradace vybraných druhů  
dřeva po expozici v exteriéru**

Autorka: Ing. Eliška Oberhofnerová

Školitel: doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Školitel specialista: doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.

2018

## ZADÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Eliška Oberhofnerová

Zpracování dřeva a technika v lesním hospodářství

Název práce

**Barevné změny a povrchové degradace vybraných druhů dřeva po expozici v exteriéru**

Název anglicky

**Colour changes and surface degradation of selected wood species after exposure outdoors**

---

### Cíle práce

Cílem disertační práce je stanovení barevných změn a dalších změn povrchových vlastností vypovídajících o stupni atmosférické degradace vybraných druhů dřevin (SM, BO, MD, DG, DB, AK, JV, OL, TP) bez povrchové úpravy a smrkového dřeva s nově navrženými transparentními nátěrovými systémy po expozici v exteriéru pomocí normovaných zkoušek přirozeným a umělým povětrnostním stárnutím.

### Metodika

Zkušební vzorky budou vyrobeny ze sušených a neomítaných fošen tak, aby neobsahovaly vady. Část vzorků bude ponechána bez povrchové úpravy. Na těchto vzorcích bude zjišťována přirozená odolnost vybraných evropských dřevin (SM, BO, DG, MD, TP, AK, DB, JV, OL) v exteriéru. Druhá část vzorků bude vyrobena ze smrkového dřeva a povrchově ošetřena transparentními nátěrovými systémy. Smrkové dřevo bude ošetřeno kombinacemi vrstev zvyšujícími biologickou odolnost (směs světlicového oleje a éterických olejů – hřebíčku a dobromyslu) a ochranu proti UV záření (komerční nátěr na bázi olejů – UV OSMO 420) a vrstvami zvyšujícími hydrofobicitu (PMO 62 na bázi křemíkových nanočástic). Připravené vzorky budou testovány metodou přirozeného stárnutí dle ČSN EN 927-3 a budou vystaveny ve speciálních stojanech v daných podmínkách (orientované na jih, ve sklonu 45°). Druhou metodou testování bude umělé stárnutí, které bude realizováno v QUV komoře za podmínek daných normou ČSN EN 927-6. V průběhu expozice oběma zkušebními metodami budou pravidelně zaznamenávány vlastnosti dřeva a nátěru vypovídající o stupni atmosférické degradace (barva, lesk, drsnost, smáčivost a vizuální podoba). Na základě dosažených výsledků bude stanoven vliv druhu dřeviny na zkoumané parametry a účinnost transparentních nátěrových systémů na smrkovém dřevě. Budou porovnány výsledky obou provedených zkušebních postupů.

## Doporučený rozsah práce

100 – 150

## Klíčová slova

atmosférické degradace; barva; dřevo; přirozené a umělé povětrnostní stárnutí; transparentní nátěrové systémy

---

## Doporučené zdroje informací

- EVANS, P. D.; MICHELL, A. J.; SCHMALZL, K. J. Studies of the degradation and protection of wood surfaces. Wood Science and Technology, 1992, 26.2: 151-163.
- EVANS, P. D.; THAY, P. D.; SCHMALZL, K. J. Degradation of wood surfaces during natural weathering. Effects on lignin and cellulose and on the adhesion of acrylic latex primers. Wood science and technology, 1996, 30.6: 411-422.
- KIGUCHI, M., et al. Improvement of the durability of clear coatings by grafting of UV-absorbers on to wood. Surface coatings international Part B: Coatings transactions, 2001, 84.4: 263-270.
- OZGENC, Ozlem; HIZIROGLU, Salim; YILDIZ, Umit Cafer. Weathering properties of wood species treated with different coating applications. BioResources, 2012, 7.4: 4875-4888.
- PÁNEK, Miloš; REINPRECHT, Ladislav. Colour stability and surface defects of naturally aged wood treated with transparent paints for exterior construction. Wood Research. 2014, 59.3: 421-430.
- PTÁČEK, Petr. Ochrana dřeva. Praha: Grada, 2009, 95 s. ISBN 978-80-247-2326-6.
- 

## Předběžný termín

2017/18 LS – FLD – SDZ

## Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

## Konzultant

doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 9. 8. 2015

---

**Ing. Jan Bomba, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 8. 2015

---

**doc. Ing. Alois Skoupý, CSc.**

Předseda oborové rady

Elektronicky schváleno dne 9. 8. 2015

---

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 11. 07. 2018

"Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma *Barevné změny a povrchové degradace vybraných druhů dřeva po expozici v exteriéru* vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací a doporučení školitele a školitele specialisty. Souhlasím se zveřejněním disertační práce dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V..... dne .....

Podpis autora



Tímto bych ráda poděkovala doc. Ing. Martinu Böhmovi, Ph.D. a doc. Ing. Miloši Pánkovi, Ph.D. za vedení disertační práce a za předání nemalého množství znalostí a zkušeností. Ráda bych také poděkovala za všechny příležitosti, které mi byly během studia umožněny. Vypracování disertační práce bylo umožněno díky finanční podpoře Interní grantové agentury Fakulty lesnické a dřevařské IGA FLD ČZU (B04/15, A31/16, A22/17, A07/18) a díky projektu Rozšíření a podpora transferu technologií a znalostí na ČZU realizací aktivit „proof-of-concept“, reg. č. CZ.07.1.02/0.0/0.0/16\_023/0000111 - Aktivita KZ04 - Vývoj fasádního prkna se zvýšenou životností a barevnou stálostí.

# **BAREVNÉ ZMĚNY A POVRCHOVÉ DEGRADACE VYBRANÝCH DRUHŮ DŘEVA PO EXPOZICI V EXTERIÉRU**

## **ABSTRAKT**

Předkládaná práce se zabývá stanovením barevných změn a povrchových degradací dřeva způsobených abiotickými faktory působícími v exteriéru. V průběhu expozice byly pravidelně hodnoceny změny barevných parametrů a dalších povrchových vlastností jako lesku, drsnosti, smáčivosti a vizuální podoby devíti druhů zástupců jehličnatých a listnatých evropských dřevin bez povrchové úpravy a smrkového dřeva ošetřeného nově navrženými transparentními nátěrovými systémy zvyšujícími biologickou odolnost a hydrofobicitu. Testování probíhalo metodami přirozeného povětrnostního stárnutí a laboratorního urychleného stárnutí. Výsledky obou zkušebních metod se více lišily v případě neošetřeného dřeva. Největší barevné změny byly zaznamenány pro smrk a nejmenší pro dub po expozici v exteriéru. Byla prokázána relativně vysoká korelace mezi celkovými barevnými změnami a jejich hloubkou. U povrchově ošetřeného smrku dospěly rozdílné zkušební metody ke stejným závěrům při dosažení rozdílných exaktních hodnot. Na základě provedených zkoušek byl pozorován vliv esenciálních olejů na zvýšenou biologickou odolnost smrkového dřeva. Kombinace této povrchové úpravy a komerčního nátěru na bázi oleje dosáhla nejlepších výsledků. Vliv hydrofobního nátěru na zvýšenou odolnost nátěru v exteriéru nebyl prokázán.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Atmosférické degradace; barva; dřevo; přirozené a umělé povětrnostní stárnutí; transparentní nátěrové systémy

# **COLOUR CHANGES AND SURFACE DEGRADATION OF SELECTED WOOD SPECIES AFTER EXPOSURE OUTDOORS**

## **ABSTRACT**

The presented study deals with the determination of colour changes and surface degradation of wood caused by abiotic factors in the exterior. During the exposure, changes of colour parameters and other surface properties such as gloss, roughness, wettability and visual appearance of nine species of European softwoods and hardwoods without surface treatment and spruce wood treated by transparent coating systems enhancing biological resistance and hydrophobicity were regularly measured. Testing was performed by natural weathering test and artificial weathering test in the laboratory. The results of both testing methods differed more when testing untreated wood. The highest colour difference was recorded for spruce and the lowest one for oak wood after exposure in the exterior. A relatively high correlation between the total colour changes and their depth has been demonstrated. In the case of weathering test results of treated wood, the same conclusions with different exact values were achieved. On the basis of the tests performed, an influence of essential oils on the increased biological resistance of spruce wood was noted. Combination of this pretreatment and commercial oil coating reached the best results. The effect of hydrophobic layer on increased resistance in exterior has not been demonstrated.

## **KEYWORDS**

atmospheric degradation; colour; wood; transparent coating systems; natural and artificial weathering

## OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>11</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
<b>2 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>15</b>
<b>3 ROZBOR PROBLEMATIKY</b> .....	<b>16</b>
3.1 ATMOSFÉRICKÁ DEGRADACE DŘEVA .....	17
3.1.1 Faktory způsobující atmosférickou degradaci dřeva .....	18
3.1.2 Zkoušky povětrnostním stárnutím .....	24
3.2 ZMĚNY VLASTNOSTÍ DŘEVA PŮSOBENÍM POVĚTRNOSTI.....	26
3.2.1 Mikroskopické změny ve dřevě .....	27
3.2.2 Makroskopické změny povrchových vlastností dřeva.....	30
3.3 OCHRANA DŘEVA V EXTERIÉRU .....	34
3.3.1 Transparentní nátěrové systémy .....	36
3.3.2 Ochrana před biologickými škůdci .....	37
3.3.3 Ochrana před UV zářením .....	38
3.3.4 Ochrana před působením vody .....	41
<b>4 METODIKA</b> .....	<b>43</b>
4.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....	43
4.2 ZKOUŠKA PŘIROZENÝM STÁRNUTÍM .....	47
4.3 ZKOUŠKA UMĚLÝM URYCHLENÝM STÁRNUTÍM .....	48
4.4 URČOVÁNÍ BAREVNÝCH ZMĚN A JEJICH HLOUBKY.....	50
4.5 URČOVÁNÍ ZMĚN LESKU .....	52
4.6 URČOVÁNÍ ZMĚN DRSNOSTI.....	52
4.7 URČOVÁNÍ ZMĚN SMÁČIVOSTI POVRCHU.....	53
4.8 URČOVÁNÍ VIZUÁLNÍCH ZMĚN.....	54
4.9 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ.....	55
<b>5 VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>56</b>
5.1 NEOŠETŘENÉ DŘEVO VYSTAVENÉ POVĚTRNOSTI.....	56
5.1.1 Barevné změny .....	56
5.1.2 Lesk.....	63
5.1.3 Hloubka barevných změn .....	65

5.1.4	Změny drsnosti povrchu dřeva .....	67
5.1.5	Změna smáčivosti povrchu .....	71
5.1.6	Vizuální hodnocení .....	72
5.1.7	Shrnutí kapitoly.....	78
5.2	SMRK S TRANSPARENTNÍMI NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY .....	80
5.2.1	Celková barevná změna a barevné parametry L*a*b* .....	80
5.2.2	Lesk.....	85
5.2.3	Drsnost povrchu .....	85
5.2.4	Smáčivost povrchu.....	86
5.2.5	Vizuální vyhodnocení .....	87
5.2.6	Shrnutí kapitoly.....	92
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>95</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>101</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>118</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>119</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 3.1: Elektromagnetické spektrum .....	19
Obrázek 3.2: Nerovnoměrné zešednutí neošetřené fasády .....	22
Obrázek 3.3: Smrk bez nátěru vystavený zkoušce přirozeným povětrnostním stárnutím .....	24
Obrázek 3.4: Smrk bez nátěru vystavený zkoušce umělým povětrnostním stárnutím .....	25
Obrázek 3.5: Procesy během povětrnostního stárnutí .....	27
Obrázek 3.6: Buněčná stěna před stárnutím a po 1000 hod. US .....	29
Obrázek 3.7: Degradované povrchové buňky smrkového dřeva po 2 letech v exteriéru .....	29
Obrázek 3.8: Eroze dřeva působením povětrnosti .....	30
Obrázek 3.9: TP, OL, JV, AK, DB po 12 týdnech v UV komoře .....	31
Obrázek 3.10: Ukázky šedivění povrchu neošetřeného dřeva po 2 letech venkovní expozice .....	32
Obrázek 3.11: Smáčivost povrchu .....	34
Obrázek 3.12: Příklad vícevrstvého nátěrového systému .....	36
Obrázek 3.13: Princip zvýšení odolnosti proti UV záření .....	39
Obrázek 4.1: Vizuální podoba zkušebních těles bez povrchové úpravy .....	43
Obrázek 4.2: Příprava zkušebních těles – opatření silikonem .....	44
Obrázek 4.3: Příprava zkušebních těles – popis a uchování v Al folii .....	45
Obrázek 4.4: Ukázka sady ošetřené transparentním nátěrovým systémem .....	46
Obrázek 4.5: Příprava zkušebních těles – aplikace nátěrů .....	47
Obrázek 4.6: Stojany pro zkušební vzorky .....	48
Obrázek 4.7: Testování v QUV komoře .....	49
Obrázek 4.8: Barevný prostor CIE Lab. ....	50
Obrázek 4.9: Měření barevných parametrů spektrofotometrem .....	51
Obrázek 4.10: Značení míst měření .....	51
Obrázek 4.11: Měření drsnosti povrchu – parametr Ra .....	53
Obrázek 4.12: Určování drsnosti povrchu kontaktním profiloměrem .....	53
Obrázek 4.13: Goniometr .....	54
Obrázek 4.14: Laserový konfokální mikroskop .....	54
Obrázek 5.1: Povrch smrku před a po 2 letech expozice v exteriéru .....	68
Obrázek 5.2: Povrch modřínu před a po 2 letech expozice v exteriéru .....	69
Obrázek 5.3: Povrch borovice před a po 2 letech expozice v exteriéru .....	69
Obrázek 5.4: Povrch douglasky před a po 2 letech expozice v exteriéru .....	69
Obrázek 5.5: Povrch dubu před a po 2 letech expozice v exteriéru .....	69
Obrázek 5.6: Povrch akátu před a po 2 letech expozice v exteriéru .....	70
Obrázek 5.7: Povrch javoru před a po 2 letech expozice v exteriéru .....	70
Obrázek 5.8: Povrch olše před a po 2 letech expozice v exteriéru .....	70
Obrázek 5.9: Povrch topolu před a po 2 letech expozice v exteriéru .....	70
Obrázek 5.10: Určování kontaktního úhlu v 5 sekundách po umístění kapky .....	71
Obrázek 5.11: Vizuální podoba neošetřených dřevin během PS .....	73

Obrázek 5.12: Vizuální podoba neošetřených dřevin během US.....	74
Obrázek 5.13: Vizuální podoba povrchu dřevin v průběhu expozice .....	75
Obrázek 5.14: Smrkové dřevo před a po 2 letech v exteriéru.....	76
Obrázek 5.15: Modřínové dřevo před a po 2 letech v exteriéru.....	76
Obrázek 5.16: Borovicové dřevo před a po 2 letech v exteriéru.....	76
Obrázek 5.17: Douglaska před a po 2 letech v exteriéru .....	76
Obrázek 5.18: Dubové dřevo před a po 2 letech v exteriéru .....	77
Obrázek 5.19: Akátové dřevo před a po 2 letech v exteriéru.....	77
Obrázek 5.20: Javorové dřevo před a po 2 letech v exteriéru .....	77
Obrázek 5.21: Olšové dřevo před a po 2 letech v exteriéru .....	77
Obrázek 5.22: Topolové dřevo před a po 2 letech v exteriéru .....	78
Obrázek 5.23: Vizuální podoba nátěrových systémů (A-F) během přirozeného stárnutí PS.....	89
Obrázek 5.24: Vizuální podoba nátěrových systémů (A-F) během umělého stárnutí US.....	89
Obrázek 5.25: Smrk bez povrchové úpravy před a po 2 letech v exteriéru.....	90
Obrázek 5.26: Nátěrový systém (A) před a po 2 letech v exteriéru .....	90
Obrázek 5.27:Nátěrový systém (B) před a po 2 letech v exteriéru .....	90
Obrázek 5.28: Nátěrový systém (C) před a po 2 letech v exteriéru .....	90
Obrázek 5.29: Nátěrový systém (D) před a po 2 letech v exteriéru .....	91
Obrázek 5.30: Nátěrový systém (E) před a po 2 letech v exteriéru.....	91
Obrázek 5.31: Nátěrový systém (F) před a po 2 letech v exteriéru.....	91
Obrázek 5.32: Konfokální laserová mikroskopie vybraných nátěrových systémů .....	92

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1: Energie potřebná na narušení chemických vazeb .....	21
Tabulka 4.1: Zkušební vzorky a jejich úvodní vlastnosti.....	44
Tabulka 4.2: Vrstvení a specifikace použitých nátěrových systémů.....	46
Tabulka 4.3: Počáteční vlastnosti testovaných nátěrových systémů .....	46
Tabulka 4.4: Přehled klimatických podmínek .....	48
Tabulka 4.5: Barevné změny .....	52
Tabulka 5.1: Významnost jednotlivých faktorů na testované proměnné .....	56
Tabulka 5.2: Změny barevných parametrů během dvouleté expozice PS.....	61
Tabulka 5.3: Změny barevných parametrů během 2016 hodin expozice US.....	61
Tabulka 5.4: Významnost jednotlivých faktorů na testované proměnné .....	80



## SEZNAM GRAFŮ

Graf 5.1: Celkový barevný rozdíl v průběhu dvou let přirozeného stárnutí.....	58
Graf 5.2: Celkový barevný rozdíl v průběhu 2016 hodin umělého stárnutí .....	58
Graf 5.3: Celkové barevné změny po testu PS a US .....	59
Graf 5.4: Barevné parametry (světlost L*, parametr a* a b*) při 2 letech PS.....	63
Graf 5.5: Změny lesku v průběhu dvou let přirozeného stárnutí a 2016 hodin umělého stárnutí .....	64
Graf 5.6: Hloubka viditelných barevných změn jehličnatých dřevin a listnatých dřevin .....	65
Graf 5.7: Korelace mezi celkovými barevnými změnami a jejich hloubkou .....	66
Graf 5.8: Změny drsnosti v průběhu dvou let přirozeného stárnutí a 2016 hodin umělého stárnutí .....	68
Graf 5.9: Změny kontaktního úhlu jehličnatých a listnatých dřevin během roční expozice .....	72
Graf 5.10: Celkové barevné změny smrkového dřeva ošetřeného nátěry během PS .....	81
Graf 5.11: Celkové barevné změny smrkového dřeva ošetřeného nátěry během US .....	82
Graf 5.12: Celkové barevné změny po expozici PS a US .....	83
Graf 5.13: Změny barevných parametrů L*, a*, b* smrkového dřeva během PS a US .....	84
Graf 5.14: Změny lesku během 2 let PS a 2016 h US.....	85
Graf 5.15: Změny drsnosti smrkového dřeva během PS a US .....	86
Graf 5.16: Změny smáčivosti povrchu smrkového dřeva během PS a US .....	87

## SEZNAM ZKRATEK

<b><math>\Delta E^*</math></b>	celkový barevný rozdíl
<b><math>a^*</math></b>	barevný parametr (zelená-červená)
<b>AK</b>	akát
<b><math>b^*</math></b>	barevný parametr (modrá-žlutá)
<b>BO</b>	borovice
<b>CIE</b>	Mezinárodní komise pro osvětlování
<b>DB</b>	dub
<b>DG</b>	douglaska
<b><math>G^*</math></b>	lesk
<b>IR</b>	infračervené
<b>JV</b>	javor
<b>KÚ*</b>	kontaktní úhel
<b><math>L^*</math></b>	světlost (lightness)
<b>MD</b>	modřín
<b>OL</b>	olše
<b>PS</b>	přirozené povětrnostní stárnutí
<b><math>Ra^*</math></b>	střední aritmetická odchylka profilu
<b>SM</b>	smrk
<b>TP</b>	topol
<b>US</b>	umělé povětrnostní stárnutí
<b>UV</b>	ultrafialové
<b>VIS</b>	viditelné záření
<b>UVA</b>	absorbéry UV záření
<b>HALS</b>	sféricky stíněné aminy

# 1 ÚVOD

Míra využití dřeva v exteriéru se v České republice zejména v posledních letech značně zvýšila. Dřevo je žádané nejen pro svou estetickou, ale i funkční hodnotu. Vzestup míry jeho využití jako vhodného materiálu je spojen především s rozvojem jeho použití ve stavebnictví. Neustále narůstá podíl dřevostaveb na výstavbě v ČR (dle údajů Českého statistického úřadu v roce 2016 přes 14 % z nově postavených rodinných domů), který je také úzce spjatý s použitím dřevěných fasád, teras a dalších prvků umístěných v exteriéru. V provedeném průzkumu se zaměřením na dřevěné fasády by 10 % respondentů volilo jako materiál dřevo. Okolo 60 % dotázaných by pak preferovalo transparentní povrchovou úpravu dřeva, asi 13 % dotázaných by pak ponechalo fasádu bez povrchové úpravy (průzkum Vztah ke dřevu 2017). Zvýšené využití dřeva se také přeneslo do měst v podobě výstavby dřevěných prvků hřišť, městského mobiliáře, drobných staveb (zastávky, chodníky, lávky) nebo dočasných staveb (pavilony, pódia). Dřevo má jako materiál pro tyto konstrukce řadu nesporných výhod. Je žádané nejen pro svůj přírodní charakter a recyklovatelnost, ale i mechanické, fyzikální a estetické vlastnosti. Vyznačuje se nízkou tepelnou vodivostí a odolností vůči atmosférické korozi, schopností vázat CO<sub>2</sub> ve své hmotě, snadnou obrobitelností, snadnou manipulací a možností montáže a v neposlední řadě také příznivým působením na psychiku člověka. S přírodním charakterem dřeva jsou ale také spojeny nevýhody tohoto materiálu. Vlivem působení povětrnosti mění dřevo své povrchové vlastnosti, na kterých závisí kvalita povrchové úpravy, lepených spojů i celková kvalita a životnost finálních dřevěných výrobků. Při nedodržení základních konstrukčních principů může být dřevo napadeno biotickými škůdci – houbami nebo hmyzem. Dřeviny s vyšší přirozenou trvanlivostí mohou být v exteriéru ponechány bez povrchové úpravy. V případě méně trvanlivých dřevin je povrchová úprava ale nezbytná. Pokud není dřevo v přímém kontaktu se zemí, bývá povrchová úprava nátěrem postačujícím ochranným opatřením.

V dnešní době již vysokou ochrannou funkci poskytují pigmentované nátěrové systémy, které však nezachovávají původní, designéry a zákazníky často žádanou, přirozenou barvu a kresbu dřeva. Běžně používané transparentní povrchové úpravy nejsou schopny zabezpečit dostatečnou barevnou stálost podkladové dřeviny, která postupem času tmavne působením slunečního záření. Trendem poslední doby je také kladení důrazu na ekologické parametry nátěrových hmot, tzn. na použité přísady a na

snížený obsah těkavých organických látek (VOC – volatile organic compound). Je snaha neustále hledat nové ekologicky přijatelné a funkční varianty prodlužující životnost dřevěných výrobků a konstrukcí v interiéru i exteriéru. Jedním z nejvíce současně využívaných způsobů ochrany nátěrem jsou vícevrstevné nátěrové systémy, které kombinují výhody jednotlivých vrstev nátěrů zlepšujících vybrané vlastnosti dřeva.

Očekávaná životnost dřevěných prvků souvisí s řadou faktorů jako jsou vlastnosti dřeva, kvalita výroby, návrh budovy, interakce s jinými materiály, impregnační nebo povrchová úprava i místní klima. Pro aplikaci dřeva v exteriéru je nutné znát zásady správné ochrany dřevěných prvků. Ty se odvíjí zejména od dodržování konstrukčních zásad, volby vhodné dřeviny související s přirozenou trvanlivostí, možností modifikace dřeva a výběru vhodných nátěrových systémů. Je nutné být seznámen s degradačními procesy dřeva v exteriéru. I při dodržení konstrukčních zásad dřevo bez povrchové úpravy vystavené působení exteriérových podmínek dřívě nebo později zešedne, a to ve většině případů nerovnoměrně. Pokud je z nějakého důvodu požadováno zamezit barevným změnám a vzniku plastické struktury dřeva, musí se opatřit vhodnou povrchovou úpravou.

Tato disertační práce se zabývá stanovením barevných změn a povrchových degradací vybraných druhů dřeva bez povrchové úpravy po expozici v exteriéru a stanovením trvanlivosti transparentní povrchové úpravy smrkového dřeva v exteriéru. V rámci práce je zkoumán vliv jehličnatých a listnatých dřevin (smrk, borovice, modřín, douglaska, dub, akát, topol, javor, olše) na barevnou stálost, lesk, drsnost povrchu, hloubku degradace, smáčivost a celkovou vizuální podobu v závislosti na různém čase expozice v exteriéru. Dále je v práci zkoumán vliv jednotlivých transparentních povrchových úprav a jejich vrstvení (nátěr na bázi přírodních esenciálních olejů zvyšující odolnost proti biotickým škůdcům, komerční nátěr s fungicidními a UV stabilizačními látkami, hydrofobizační úprava na bázi křemíkových nanočástic) na zachování původní barvy a trvanlivosti smrkového dřeva po různém čase expozice v exteriéru. Dále je v rámci práce zhodnocena účinnost jednotlivých vrstev a shoda výsledků dosažených odlišnými zkušebními postupy (přirozené a umělé povětrnostní stárnutí).

## 2 CÍLE PRÁCE

Cílem disertační práce je stanovení barevných změn a dalších změn povrchových vlastností vypovídajících o atmosférické degradaci vybraných druhů dřeva (SM, BO, MD, DG, DB, AK, JV, OL, TP) bez povrchové úpravy a smrkového dřeva s nově navrženými transparentními nátěrovými systémy po expozici v exteriéru pomocí normovaných zkoušek přirozeným a umělým povětrnostním stárnutím. Ze zaměření práce vyplývají následující dílčí cíle:

- › Stanovení vlivu dřeviny na barevnou stálost a povrchovou degradaci po různých časech expozice v exteriéru.
- › Stanovení hloubky degradace změn jehličnatých a listnatých dřevin po různých časech expozice v exteriéru.
- › Stanovení vlivu transparentní povrchové úpravy na zachování původní barvy smrkového dřeva.
- › Stanovení vlivu vrstvení povrchových úprav na barevnou stálost a trvanlivost povrchových vrstev smrkového dřeva ošetřeného transparentním nátěrem na bázi rostlinných olejů po expozici v exteriéru.
- › Stanovení vlivu zvyšování bio odolnosti smrku pomocí esenciálních olejů ve směsi se světlicovým olejem na barevnou stálost a trvanlivost povrchových vrstev smrkového dřeva ošetřeného transparentním nátěrem na bázi rostlinných olejů po expozici v exteriéru.
- › Stanovení vlivu použití nanočástic na zvýšení barevné stálosti a trvanlivosti povrchových vrstev smrkového dřeva ošetřeného transparentním nátěrem na bázi rostlinných olejů po expozici v exteriéru.
- › Porovnání výsledků naměřených hodnot povrchových charakteristik po přirozeném stárnutí v exteriéru a umělém urychleném stárnutí v UV komoře.

### 3 ROZBOR PROBLEMATIKY

Dřevo v poslední době zažívá svoji renesanci. Neustále se zvyšuje jeho použití jak v interiéru, tak v exteriéru (Žlahtič a Humar 2016). Vzhledem ke svému biologickému původu a chemické struktuře není odolné vůči stárnutí, působení povětrnosti a biodegradaci (Matsuo et al. 2011). Každá dřevina se vyznačuje určitou přirozenou trvanlivostí (EN 350 2016), která vyjadřuje schopnost dřeva odolávat hnilobě. Trvanlivost je dána přítomností extraktivních látek v jádrovém dřevě, které je tak více odolné hnilobě než dřevo bělové (Taylor et al. 2007). Trísloviny a další doprovodné látky pozitivně navyšují trvanlivost dřeva, přesto však postupem času může docházet k postupnému vyprchání či vyplavování těchto látek a k trvalému snížení přirozené trvanlivosti. Dřevo s vysokým podílem bělového dřeva nemá přirozenou trvanlivost (Williams a Feist 1999) a je vhodné ho opatřit dodatečnou ochranou ve formě vhodného nátěrového systému či případnými modifikačními prostředky. Například smrk je ve střední Evropě tradičně jednou z nejvyužívanějších dřevin na konstrukční účely. Jeho nízká přirozená trvanlivost vůči působení biologických škůdců (EN 350 2016) ho činí nevhodným pro použití do expozic s přímým působením nepříznivých environmentálních podmínek (Třída 4-5 dle EN 350 2016, Van Acker et al. 2003). V exteriéru je proto nezbytné ho opatřit vhodným nátěrovým systémem.

Stanovení trvanlivosti dřeva vůči povětrnosti probíhá pomocí polních zkoušek i laboratorních testů. Nejpoužívanějšími metodami jsou testy přirozeným a umělým povětrnostním stárnutím. Dosažené výsledky z obou testovacích metod povětrnostního stárnutí jsou odlišné, přesto slouží k porozumění a vysvětlení průběhu stárnutí na povrchově ošetřeném i neošetřeném dřevě (Blom a Bergström 2005). V průběhu testů povětrnostním stárnutím dochází k pravidelnému hodnocení změn vlastností zkušebních těles vypovídajících o jejich degradaci. Nejčastěji hodnocenou vlastností je změna barvy, která podává rychlé informace o probíhajících změnách (Hon a Feist 1986; Pandey 2005a). Některé studie hodnotily degradaci z hlediska rychlosti eroze povrchu (Williams et al. 2007a; Williams et al. 2007b) či změny drsnosti povrchu (Östman 1983; Xie et al. 2008; Nzokou et al. 2011). Další studie vyhodnocovaly změny dřeva pomocí chemických analýz IR nebo UV spektroskopie (Hon a Chang 1984; Owen et al. 1993; Pandey 2005a) nebo využitím elektronového mikroskopu (Hon a Feist 1986; Owen et al. 1993)

Obecně se tématice povětrnostního stárnutí, degradace dřeva vlivem atmosférických činitelů a degradačních mechanismů zabývala řada vědeckých prací s využitím různých analytických postupů a metod. Výsledky těchto i dalších prací přispívají k pochopení procesů vedoucích ke změnám barvy dřeva, vzniku plastické struktury, trhlin nebo změnám drsnosti dřeva. Zároveň umožňují vyvíjet a používat vhodná preventivní opatření, které dokáží účinek nežádoucích vlivů minimalizovat. Atmosférická degradace dřeva je spjatá s konkrétními podmínkami dané lokality (Hon a Chang 1984; Creemers et al. 2002). Je důležité znát chování dřevin a nátěrů vystavených povětrnostnímu stárnutí v rozdílných klimatických podmínkách, zejména nyní, kdy je dbán velký důraz na ekologii a jsou neustále vyvíjeny nové prostředky sloužící ochraně dřevěných výrobků a konstrukcí. Neustále se hledá co možná nejlepší řešení pro konkrétní aplikace, které by splňovalo ekologické a funkční požadavky a přispělo by k prodloužení životnosti dřevěných výrobků a konstrukcí v interiéru i exteriéru.

### **3.1 ATMOSFÉRICKÁ DEGRADACE DŘEVA**

Dřevo vystavené v exteriéru podléhá povětrnostnímu stárnutí. Je to proces, při kterém dřevo vlivem atmosférických činitelů degraduje a mění své povrchové vlastnosti v makroskopickém i mikroskopickém měřítku. Míra atmosférické degradace je ovlivněna hustotou dřeva, podílem jarního a letního dřeva, orientací letokruhů a obsahem ligninu a extraktiv (Williams 2005). Změny probíhají pouze v hloubkách do několika milimetrů a neovlivňují důležité mechanické vlastnosti, životnost a funkci dřevěného prvku (Gobakken et al. 2011). Abiotičtí činitelé způsobující atmosférickou degradaci sice tedy nepoškozují dřevo v celém jeho objemu (Evans 2008), ale způsobují nežádoucí povrchové změny jako šedivění, tvorbu trhlin, vyplavování extraktivních látek, zvyšování vlhkosti (Ozgen et al. 2012) a mohou tak být vstupní branou pro nebezpečné poškození biotickými činiteli - dřevokaznými houbami a hmyzem (Reinprecht 2012). Při všech návrzích je tedy nutné brát v úvahu organický původ dřeva, kdy při vystavení povětrnosti podléhá působícím abiotickým (sluneční záření, teplota, voda, vítr) a v horším případě i biotickým (hmyz, houby a plísně) činitelům (Sonderegger et al. 2015; Žlahtič a Humar 2016). V interiéru působí jako hlavní degradační činitel zejména sluneční záření. Jeho působením probíhají fotochemické

reakce v povrchových vrstvách dřeva (Oltean et al. 2008). Lignin vlivem rozkladných reakcí tmavne, a protože není vyplavován srážkovou vodou, způsobuje celkové tmavnutí dřeva (např. obkladů, podlah, nábytku atd.). V exteriéru probíhají mechanismy rozkladu rozdílným způsobem, protože zde spolupůsobí více vlivů ve vzájemné interakci (Gupta et al. 2011). A také působí mnohem intenzivněji. V první fázi dochází rovněž k rozkladu ligninu vlivem fotochemických reakcí. Ten ale nezpůsobuje pouze pozorovatelné tmavnutí dřeva jako v interiéru, protože je následně vyplavován srážkovou vodou (Tolvaj a Faix 1995, Pandey 2005a). Tím teoreticky vzniká světlý odstín dřeva daný světlou barvou nedegradované celulózy, který je však okamžitě narušen usazováním prachových částic a nečistot z ovzduší do porézní struktury povrchu dřeva (Evans 2008), za případného spolupůsobení růstu mikroskopických hub (Feist 1982). Vzniká tak známé šedivění povrchu dřeva v exteriéru.

Slovo degradace obecně vyjadřuje ztrátu původních vlastností. Degradace dřeva není totéž co hniloba dřeva. Rozlišují se totiž zdroje degradace dřeva jako houby (hniloba a plíseň) a hmyz způsobující biologickou degradaci a působení povětrnosti způsobující atmosférickou degradaci. Také oheň a chemikálie mohou způsobit degradaci dřeva. Všechny mechanismy, které rozkládají dřevo, pak potřebují ke své činnosti zpravidla přítomnost kyslíku a určitou vlhkost a teplotu (Shupe et al. 2008).

### **3.1.1 Faktory způsobující atmosférickou degradaci dřeva**

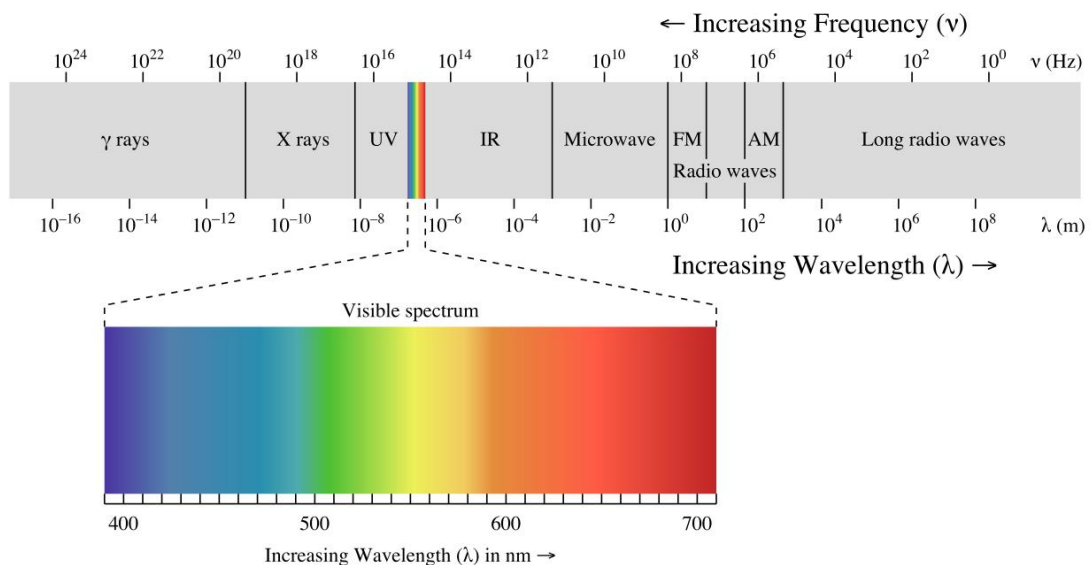
Nejvýznamnějšími faktory ovlivňující změny vlastností dřeva vystaveného v exteriéru jsou sluneční záření a vlhkost (Tolvaj a Faix 1995; Hon a Shiraishi 2001; Müller et al. 2003; Tolvaj a Mitsui 2005). Dalšími faktory jsou teplota, vítr, kyselá deště či znečištění (Feist 1990; Evans 2008; Teacà et al. 2013). Míra degradace je ovlivňována specifickými podmínkami, které se odlišují jak v závislosti na nadmořské výšce, zeměpisné poloze, tak orientaci ke světovým stranám (Kaila 1987).

#### **Sluneční záření**

Sluneční záření se obecně považuje za nejvýznamnější faktor vyvolávající fotodegradační procesy a celkově atmosférickou degradaci dřeva (Tolvaj a Faix 1995, Hon a Shiraishi 2001, Müller et al. 2003). Jeho působení nelze v běžných expozicích zabránit. V případě dřevěných prvků v interiéru a exteriéru (kryté přesahem střech, popř. jinou konstrukcí) dochází vlivem záření k rychlému žloutnutí až hnědnutí povrchu



dřeva. Obecně platí, že světlé dřevo nejdříve ztmavne a naopak tmavší dřevo zesvětlá (Dawson et al. 2008). Intenzita záření je mnohem vyšší ve venkovních expozicích, v interiéru působí díky nižšímu průniku paprsků jen v zeslabené podobě. Hloubka průniku slunečního záření do dřeva závisí na jeho hustotě, úhlu dopadu záření, drsnosti povrchu, barvě původního dřeva a obsahu ligninu a celulózy ve dřevě (Feist 1990; Oberhofnerová et al. 2017). Sluneční světlo dopadající na zemský povrch je elektromagnetické vlnění složené z několika druhů záření a lze dělit podle jeho vlnové délky (Obrázek 3.1). Kratší vlnové délky obsahují větší množství energie. Ultrafialové (UV) záření patří k nejdůležitější části slunečního spektra, která ovlivňuje degradaci povrchu dřeva. Ve spektru je zastoupena asi v 5 %, ale způsobuje asi 95 % všech degradací spojených se slunečním zářením. Degradace dřeva není způsobena pouze UV zářením, ale do jisté míry také viditelným (VIS) a infračerveným (IR) zářením (Tolvaj a Mitsui 2005).



Obrázek 3.1: Elektromagnetické spektrum (Spektrální schéma 2016)

Sluneční záření se skládá z následujících složek elektromagnetického spektra (Sluneční záření 2015):

- a) Ultrafialové záření (UV, vlnová délka pod 400 nm) – asi 0-5 % z celkového záření  
 Vyznačuje se větší energií než viditelné záření, proniká do hloubky dřeva max. 75  $\mu\text{m}$  a způsobuje tvorbu volných radikálů.
  - › UVA (vlnová délka 320 až 400 nm) – tvoří 90-99 % z UV záření

- › UVB (vlnová délka 290 až 320 nm), cca 60 % UV-B záření je odfiltrováno ozonovou vrstvou atmosféry, zbytek dopadá na zemský povrch, tvoří 1-10 % z UV záření
  - › UVC (vlnová délka 100 až 290 nm), tato složka UV záření je životu na Zemi nebezpečná, je absorbována ozonovou vrstvou a na zemský povrch nedopadá
- b) Viditelné záření (vlnová délka 400 - 750 nm) - 21-46 % z celkového záření  
 Proniká do hloubky ~ 0,2 mm, ale na změnu vlastností dřeva má pouze malý nebo žádný vliv.
- c) Infračervené záření (IR, vlnová délka 750 nm - 1 mm) – 50-79 % z celkového záření  
 Vyznačuje se menší energií než světelné záření a proniká do hloubky max. 1,5  $\mu\text{m}$ .
- › IRA (vlnová délka 0,76 až 1,4  $\mu\text{m}$ ) – blízké pásmo (ve slunečním záření), svými fyzikálními vlastnostmi se blíží viditelnému světlu
  - › IRB (vlnová délka 1,4 až 3  $\mu\text{m}$ ) – střední pásmo (žárovky, zářivky, výbojky), proniká sklem i zemskou atmosférou, téměř úplně se pohltí vodou
  - › IRC (vlnová délka nad 3  $\mu\text{m}$ ) – dlouhovlnné pásmo (topná tělesa), pohlcuje ho voda i sklo

Množství záření dopadajícího na zemský povrch záleží na mnoha faktorech:

- › roční období – v letním období dopadá na zemský povrch asi 3x více UV záření než v zimě
- › denní doba - během dne kolísá především intenzita záření UVB - maximum je kolem 12. hodiny, intenzita UVA záření se příliš nemění
- › nadmořská výška - ve vyšších horských polohách je intenzita UV záření větší, na každých 300 m nadmořské výšky narůstá intenzita cca o 4%
- › zeměpisná poloha – blíže rovníku je vyšší intenzita záření při dopadu na zemský povrch - v tropickém pásmu je intenzita až 5x vyšší
- › stav ozónové vrstvy
- › oblačnost a znečištění ovzduší - může UV záření snížit až od 40-80% (Ulbrichová 2015; Sluneční záření 2015).

Samotná absorpce slunečního záření dřevem způsobuje narušení jeho chemických vazeb. Vlnová délka absorbovaného záření a energie potřebná na narušení jednotlivých

chemických vazeb je zobrazená v Tabulka 3.1. Pokud tedy materiál absorbuje více energie, než dokážou jeho chemické vazby snést, dochází k jeho degradaci (Ranby a Rábek 1975). Množství energie záření je nepřímo úměrné vlnové délce (McGreer 2001).

Tabulka 3.1: Energie potřebná na narušení chemických vazeb (dle Ranby a Rábek 1975)

Typ vazby	Energie potřebná na narušení vazeb (kJ/mol)	Vlnová délka (nm)
C–C ( <i>Aromatické</i> )	518	231
C–H ( <i>Aromatické</i> )	431	278
C–H ( <i>Metanové</i> )	426	280
O–H ( <i>Metanové</i> )	418	286
C–O ( <i>Etanolové</i> )	385	311
C–O ( <i>Metanové</i> )	372	321
CH <sub>3</sub> COO–C ( <i>Metyl–esterové</i> )	359	333
C–C ( <i>Etanolové</i> )	351	340
C–Cl ( <i>Metyl–chloridové</i> )	343	349
C–COCH <sub>3</sub> ( <i>Acetónové</i> )	330	362
C–O ( <i>Metyl–éterové</i> )	318	376
CH <sub>3</sub> –SH ( <i>Tiolové</i> )	305	391
C–Br ( <i>Metyl–bromidové</i> )	280	427
N–N ( <i>Hydrazinové</i> )	238	502
C–I ( <i>Methyl–iodidové</i> )	222	540

Ze zastoupených složek elektromagnetického spektra způsobuje tedy zejména UV záření fotochemické reakce složek dřeva (Derbyshire a Miller 1981), které se objevují již v počátečních fázích expozice (Feist 1982; Feist a Hon 1984). Přestože samotné záření proniká pouze do malých hloubek řádově v  $\mu\text{m}$  až mm (Williams 2005), tak vlivem volných radikálů a řetězových reakcí dochází k reakcím ve větších hloubkách než je samotný dosah vniklého záření (Kataoka a Kiguchi 2001). Infračervené záření urychluje působením teploty chemické destrukční reakce a je katalyzátorem urychlujícím působení vody. Fotochemické reakce vedou obecně ke vzniku radikálů s následnou destrukcí chemických komponentů dřeva (Tolvaj a Mitsui 2005, Schnabel et al. 2009). Nejcitlivější základní složkou dřeva na vlivy záření je lignin (Hon 1981, Evans et al. 1993, Teacă et al. 2013), který je jinak vůči jiným vlivům (např. tepelným) odolnější než celulózy a hemicelulózy.

## Voda

Voda obsažená ve dřevě je nejvýznamnějším faktorem umožňujícím působení dřevokazných hub a hmyzu (Feist 1990). Synergisticky působí se slunečním zářením a velkou měrou ovlivňuje atmosférickou degradaci dřeva (Sudiyani 1999). V případě dřevěných konstrukcí v exteriéru, které jsou vystaveny působení UV záření i srážkové vody, dochází k postupnému zešednutí povrchu. Jakýkoliv přesah či nerovnost na konstrukci pak způsobuje nerovnoměrné šednutí (Obrázek 3.2).



Obrázek 3.2: Nerovnoměrné zešednutí neošetřené fasády (foto Oberhofnerová a Trgala)

Voda navíc způsobuje rozměrové změny (Evans et al. 2015). K výraznějšímu působení vody z hlediska atmosférických degradací dochází v exteriéru, kde pravidelně působí voda dešťová a častěji dochází ke střídání vlhkosti spjaté s rozměrovými změnami a vznikem trhlin (Feist 1990). Ty dále působí jako faktor, který umožňuje průnik vody do větších hloubek a vznik dalších rozsáhlejších poškození. Velké procento degradace nátěrů dřeva (poškození laku, odlupování, praskání) vyplývá ze změn vlhkosti dřeva a s tím spojenými rozměrovými změnami (Williams a Feist 1999). V interiéru (kromě zatékání) je nejvýznamnějším vlivem srážení vody při nevhodně řešených vlhkostních spádech v konstrukcích nebo budovách. Tam může způsobovat výrazné kolísání vlhkosti dřeva, tím jeho rychlejší poškození. V horších případech je vstupní branou pro působení dřevokazných hub. Voda je obecně činitelem urychlujícím degradaci dřeva vlivem UV záření (Owen et al. 1993). Kombinace UV záření a vody má největší efekt na chemické reakce než UV záření samotné, protože voda vyplavuje produkty světelné degradace z povrchu dřeva (Anderson et al. 1991). Nově vzniklé trhliny pak umožňují průnik záření do dříve nepřístupných hloubek dřeva.

## **Teplota**

Vliv teploty způsobuje hlavně kolísání vlhkosti dřeva jako hygroskopického materiálu, ale zanedbatelný není ani její vliv za slunečných dní a intenzivního záření. Hlavně tmavší materiály s povrchovou úpravou nebo bez ní mohou dosáhnout poměrně vysokých teplot. Udává se, že při teplotě 20°C může dřevo s bílým povrchem dosáhnout povrchové teploty okolo 40°C a s tmavým povrchem až 80°C (Kaila 1987). Vyšší teplota urychluje průběh degradačních reakcí vlivem vody zatížené různými chemickými látkami, které způsobují degradaci hlavně hemicelulóz a celulózu ve dřevě (Feist 1982; Feist a Hon 1984). Změny teplot mají také značný podíl na tvorbě trhlin (způsobených zejména rychlým vysycháním vlivem přímého slunečního záření), které pak způsobují či urychlují další degradační procesy. Kolísání teplot také způsobuje přeměnu kapalné vody na led, tím narůstá její objem a mohou vznikat další trhliny.

## **Vítr**

Vítr unáší prachové a jiné částice, které způsobují pomalou erozi povrchu dřeva. Proudění také spolupůsobí při rozkladných reakcích jednotlivých komponentů dřeva a přispívá k jejich snadnějšímu vytrhnutí z celkové struktury (Feist 1982; Feist a Hon 1984). Působení proudění vzduchu je patrné při vzniku typické plastické struktury dřeva v exteriéru, která se projevuje zvýšenou drsností. To je způsobeno rozdílem hustoty jarního a letního dřeva (zejména u jehličnanů) (Williams a Feist 1999). Udává se, že úbytek dřevní hmoty vystavené v exteriéru je 5-12 mm za století. Vždy ale záleží na konkrétních podmínkách (dřevina, konstrukční řešení, klimatické podmínky atd.).

## **Další faktory**

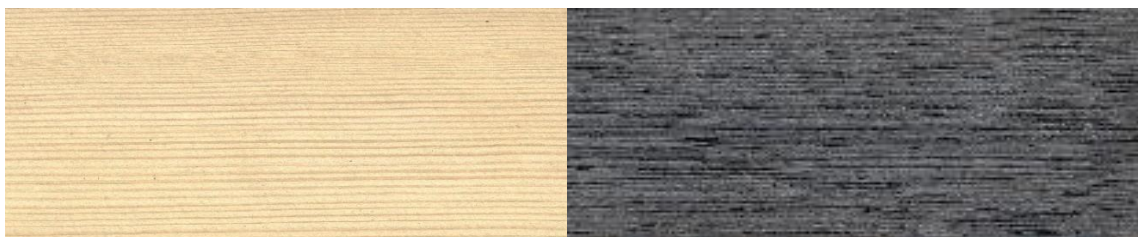
Mezi další faktory mající vliv na atmosférickou degradaci dřeva patří chemické látky v podobě tzv. kyselých dešťů, kdy kyseliny obsažené v dešťové vodě způsobují zrychlenou destrukci základních chemických komponentů dřeva (Raczkowski 1980). Nejcitlivějšími složkami jsou hemicelulózy a amorfni složky celulózy. Dochází k jejich degradaci a za spolupůsobení rozkladu ligninu vlivem fotochemických reakcí také k uvolňování jednotlivých buněčných struktur. Smog a jeho vyšší koncentrace v industriálních oblastech způsobují rychlejší průběh barevných změn na povrchu dřeva. Tmavé částice se zachytávají do porézní struktury dřeva a způsobují jeho zešedivění (Hon a Chang 1984).

### 3.1.2 Zkoušky povětrnostním stárnutím

Atmosférická degradace dřeva a nátěrů je dlouhodobý proces s rychlým začátkem. Trvanlivost dřeva či nátěrů je testována přirozeným nebo umělým povětrnostním stárnutím. Tyto metody byly použity v řadě studií s cílem ověřit trvanlivost přírodního dřeva či nátěru (Dawson et al. 2008; Van den Bulcke et al. 2008; Grull et al. 2014; Žlahtič a Humar 2016; Miklečić et al. 2017).

#### Přirozené povětrnostní stárnutí (PS)

Zkouška přirozeným stárnutím se zpravidla testuje na základě normy EN 927-3: Nátěrové hmoty - Povlakové materiály a povlakové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí - Část 3: Zkouška přirozeným stárnutím. Vzorky jsou vystaveny ve speciálních stojanech v úhlu 45° a 1 metr nad zemí s orientací k jihu. Vzorky jsou vystaveny širokému spektru solárního záření, vodě ve všech skupenstvích, dalším abiotickým faktorům a také možnosti napadení biologickými škůdci (Obrázek 3.3), což je zásadně rozdíl v porovnání s testy prováděnými v laboratorních podmínkách (Gupta et al. 2011). Dle normy se trvanlivost stanovuje podle změn dekorativních a ochranných vlastností po 12 měsících expozice. V praxi se však na testování využívají delší časy testování od 2 až do 5 let, protože po 12 měsících ještě nemusí být zřejmé poškození jednotlivých nátěrů a nátěrových systémů. Zlomovým časem se ukazuje spíše doba 24 měsíců (de Meijer 2001; Miklečić et al. 2017), v závislosti na druhu dřeviny či nátěru. Právě nutná délka expozice se jeví jako největší nevýhoda přirozeného stárnutí.



Obrázek 3.3: Smrk bez nátěru vystavený zkoušce přirozeným povětrnostním stárnutím; před expozicí (vlevo) a po 2 letech expozice (vpravo); viditelné výrazné zešednutí usazováním nečistot do narušené struktury povrchu dřeva (foto Oberhofnerová)

#### Umělé povětrnostní stárnutí (US)

Urychlení sledování degradačního procesu dřeva a nátěrů slouží zkouška umělým povětrnostním stárnutím za využití přístrojů, které ve zrychleném čase dokáží simulovat vnější podmínky. Zkouška probíhá dle normovaných postupů v EN 927-6: Nátěrové

hmoty - Povlakové materiály a povlakové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí - Část 6: Expozice povlaků dřeva umělému stárnutí s použitím fluorescenčních UV lamp a vody. Během zkoušky dochází k pravidelnému střídání cyklů UV záření a postřiku demineralizovanou vodou a kondenzační fáze. Po stanovené době expozice dochází k porovnání dosažených výsledků na základě změn exaktně vyhodnotitelných vlastností, kdy vystavené vzorky dosahují výrazně odlišných barevných změn než v případě přirozeného stárnutí (Reinprecht a Pánek 2015) (Obrázek 3.4).



Obrázek 3.4: Smrk bez nátěru vystavený zkoušce umělým povětrnostním stárnutím; před expozicí (vlevo) a po 12 týdnech expozice (vpravo); viditelné výrazné zesvětlení dřeva vyplavováním degradovaného ligninu a vzniku plastické struktury (foto Oberhofnerová)

Obě dvě zmíněné metody mají řadu výhod a nevýhod a značně se liší z pohledu dosažených hodnot změn povrchových vlastností (Grüll et al. 2014, Reinprecht a Pánek 2015). Test přirozeným povětrnostním stárnutím poskytuje přesná data o chování dřeva v exteriéru. Nevýhodou je jeho časová náročnost, minimální stanovená doba experimentu je 1 rok. Časově méně náročné se jeví testy umělým stárnutím, které na základě stanovených podmínek expozice mohou urychlit stárnutí 5-20krát (Teacă et al. 2013). Navíc tyto podmínky zůstávají stejné po celou dobu testu (Oltean et al. 2008) a dají se snadno zopakovat, což je výhodné při porovnávání více experimentů. Problematice rozdílnosti výsledků zkoušek stárnutí dřeva se věnovalo několik prací (Deflorian et al. 2008; Gupta et al. 2011; Grüll et al. 2014; Van den Bulcke et al. 2008, Moya et al. 2016). Z jejich výsledků vyplývá, že umělé urychlené stárnutí je pouze zjednodušeným modelem přirozeného stárnutí, které závisí na specifických podmínkách místa expozice, např. prachu, znečištění atd. (Gupta et al. 2011). Například Feist a Mraz (1978) uvádí, že 2400 hodin umělého stárnutí odpovídá 4 letům v exteriéru, dle Fedora a Brennana (1996) odpovídají 2 roky v exteriéru 2000 hodinám v laboratorních testech. Jakési orientační srovnání může být provedeno na základě přepočtu dopadnutého záření za určitý čas. Na základě této metody lze konstatovat, že normovaný test v UV komoře o délce 6 týdnů odpovídá přibližně roční expozici v exteriéru (v závislosti na

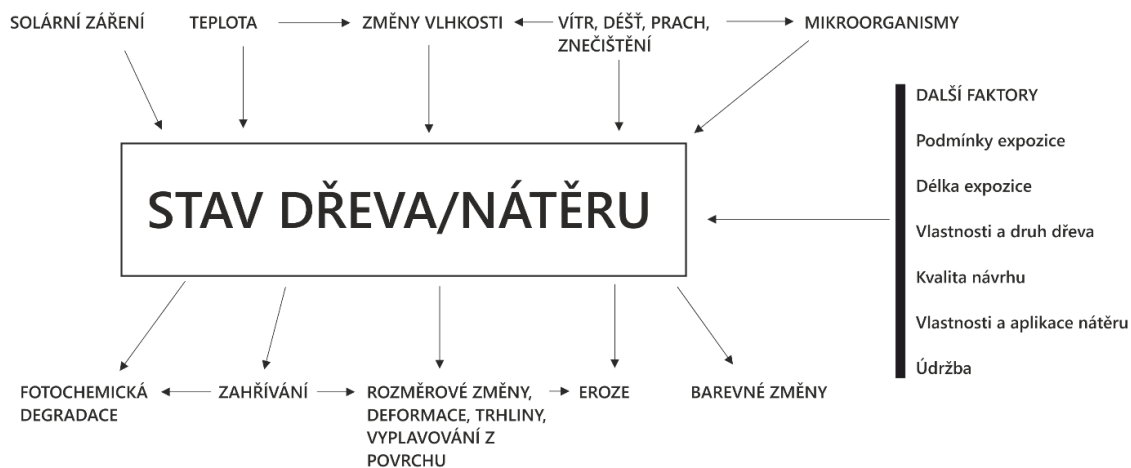


konkrétních povětrnostních podmínkách). Laboratorní umělé stárnutí může rychle predikovat trvanlivost materiálu (Van den Bulcke et al. 2008; Reinprecht a Pánek 2015), ale nemůže zcela simulovat podmínky v exteriéru, tudíž by přirozené stárnutí mělo být používáno k ověření výsledků laboratorního testování (Crewdson 2008; Grüll et al. 2014). Přesto obě zkoušky relativně spolehlivě vypovídají o degradaci materiálu a je možné nalézt podobné trendy v průběhu testování (Deflorian et al. 2008; Grüll et al. 2014). Získaná data tak mohou sloužit pro predikci životnosti dřeva či nátěru v exteriéru.

### **3.2 ZMĚNY VLASTNOSTÍ DŘEVA PŮSOBENÍM POVĚTRNOSTI**

Povrchově neošetřené dřevo vykazuje znatelně větší degradaci než dřevo ošetřené, což je důsledkem zejména častějšího a většího výskytu trhlin objevujících se během vystavení dřeva vnějším podmínkám (Dunningham et al. 1992). Během vystavení působení povětrnosti se mění řada kvalitativních vlastností, které jsou exaktně měřitelné (soubor EN 927; Grüll et al. 2011 a 2014; Žlahtič a Humar 2016). Degradace dřeva se na první pohled projevuje změnou viditelných vlastností jako barvy dřeva, lesku, uvolňováním dřevních vláken, postupnou erozí povrchu dřeva a tvorbou trhlin (Williams a Feist 1999). Současně ale dochází také ke změně v anatomické struktuře a chemickém složení dřeva (Feist 1990). Na molekulární úrovni dochází k poškození stavebních polymerů dřeva (polysacharidy a lignin), na anatomické a morfologické úrovni dochází k poškození buněčné stěny a střední lamely a na geometrické úrovni se pak mění celková kvalita povrchu (Reinprecht 2012). Na následujícím obrázku je uvedena schematická ilustrace procesů odehrávajících se vlivem působení abiotických degradačních faktorů (Obrázek 3.5).





Obrázek 3.5: Procesy během povětrnostního stárnutí (dle Sella a Feista 1986)

### 3.2.1 Mikroskopické změny ve dřevě

Mezi mikroskopické změny řadíme změny na molekulární, anatomické a morfologické hladině (Reinprecht 2012). Hlavními chemickými složkami dřeva jsou celulóza, lignin a hemicelulózy. Vzhledem k různým strukturám se jejich citlivost na povětrnost výrazně liší. Celulóza má mimořádně uspořádaný a vysoký stupeň mezimolekulárního spojení ve vláknech a vyznačuje se tak nízkou rozpustností a velkou odolností vůči hydrolýze. Hemicelulózy, kvůli své méně uspořádané struktuře, mají vyšší rozpustnost a jsou rychleji hydratovány (Fengel 1991). Naopak lignin je odolný vůči hydrolýze, ale je náchylný k oxidačním činidlům. Podle Norrstroma (1969) lignin absorbuje asi 80 – 95 % celkového UV záření, karbohydráty okolo 5-20 % a extraktivní látky asi 2 % záření dopadnutého na povrch dřeva. Během působení povětrnosti dochází k degradaci ligninu a jeho vyplavení z povrchu dřeva pomocí vody. Celulóza je ovlivněna jen minimálně, a to zejména v povrchových vrstvách. Takový povrch je pak charakterizován zvyšující se drsností a smáčivostí (díky dostupným hydroxylovým skupinám celulózy). Během povětrnostního i umělého stárnutí také dochází vlivem UV záření k přesunu extraktiv z vnitřního jádra k povrchu dřeva (Gupta et al. 2011).

Obecně je ztráta ligninu primárním indikátorem degradace způsobené působením povětrnosti. Ve studii Huanga a dalších (2012) je uvedeno, že podíl ligninu se snížil (borovicové thermodřevo) z hodnoty 35,9 % před stárnutím na hodnotu 2,14 % po 1512 hodinách stárnutí v umělých podmínkách. Naopak nejstabilnějším komponentem se ukázala celulóza. Některé studie Hona a Changa (1984) sledovaly povrchové charakteristiky dřeva pod vlivem UV záření pomocí IR a UV spektroskopie. IR analýzy

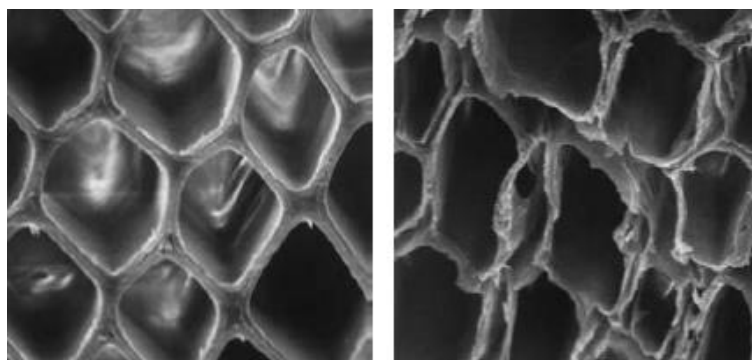
prokázaly rozklad aromatických funkčních skupin na karbonylové a karboxylové. UV spektra prokázaly vznik nízkomolekulárních látek vodou vyplavitelných – převážně z ligninu. Výše popsané změny nastávají v relativně rychlém čase od začátku vystavení povětrnosti. V další studii elektronová mikroskopie dokázala, že povrchové degradace nastaly již po 30 dnech expozice na slunci a po 500 hodinách vlivem umělého UV záření (Hon a Feist 1986).

### **Proces fotodegradace dřeva**

Fotodegradační procesy probíhají pouze v povrchových vrstvách dřeva, a to v zásadě dvěma způsoby (Reinprecht 2012):

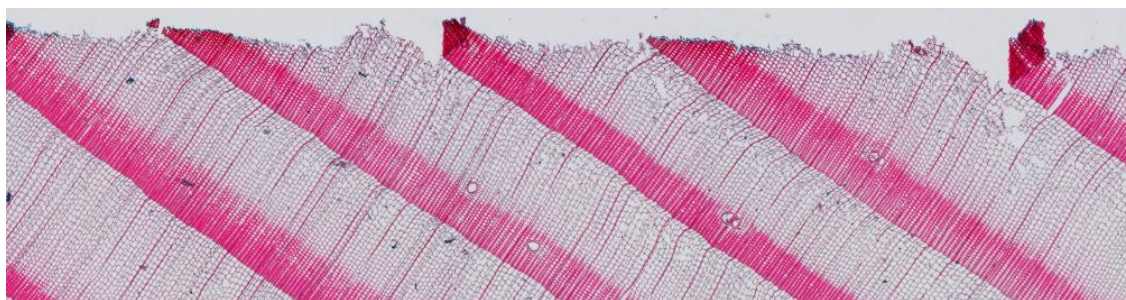
- › Štěpením kovalentních vazeb za vzniku volných radikálů. Tento proces se uskutečňuje především působením UV složek slunečního záření (o vlnových délkách do 200 nm), postihuje výhradně lignin a probíhá bez účasti molekul kyslíku a/nebo vody.
- › Fotooxidačními reakcemi za vzniku hydroperoxidů (R-O-O-H) a následně karbonylových a/nebo karboxylových skupin. Tento proces probíhá za účasti molekul kyslíku a vody, depolymerizuje lignin i polysacharidy (hemicelulózy) a způsobují jej opět UV složky slunečního záření, přednostně o vlnových délkách 200 až 300 nm.

Fotochemicky poškozené ligninové a hemicelulóзовé složky dřevní hmoty v povrchových vrstvách postupně depolymerizují a stávají se polárnějšími v důsledku vyššího podílu karbonylových a karboxylových skupin (Hon a Chang 1984). V této formě se zlepšuje jejich rozpustnost ve vodě, a tím dochází k možnosti vyluhování ze dřeva. Působí-li na povrch dřeva poškozený slunečním zářením i dešťová voda, je následným stadiem proces vyluhování fotochemicky degradovaných polárních složek z povrchu materiálu (Tolvaj a Faix 1995, Pandey 2005a). Vyluhují se především degradační produkty ligninu a hemicelulózy (žluté až hnědé barvy) a zůstávají ve vodě nerozpustná vlákna celulózy s bílou barvou (Humlak 2005). Vysoký stupeň degradace se projevuje ve střední lamelle, kde je zastoupení ligninu nejvyšší (Reinprecht 2012). Feist a Hon (1984) uvádí mikroskopický snímek jejího stavu před stárnutím a po 1000 hodinách umělého stárnutí (Obrázek 3.6).



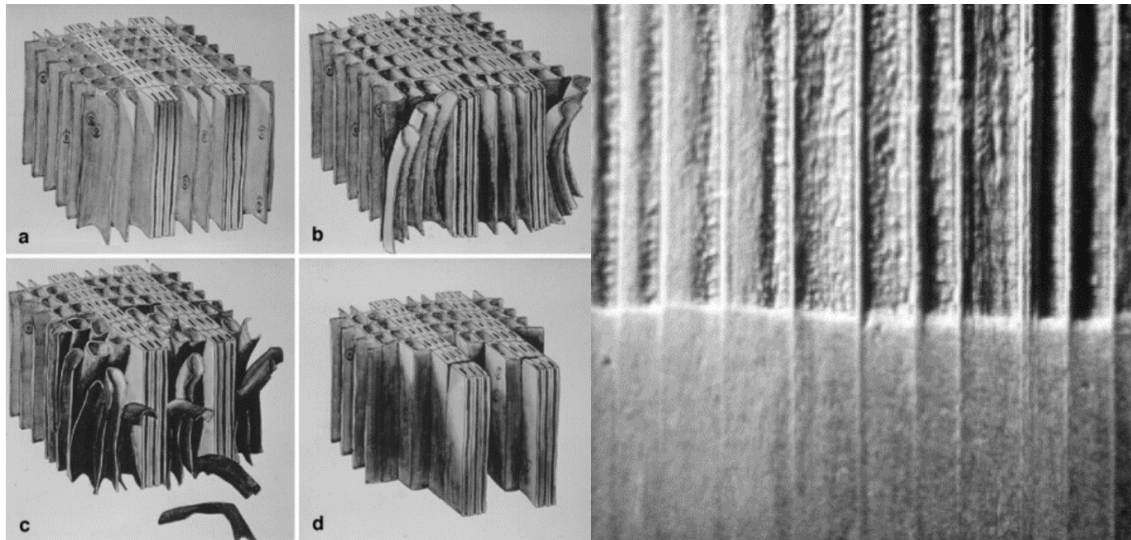
Obrázek 3.6: Buněčná stěna před stárnutím (vlevo) a po 1000 hod. US (vpravo) (Feist a Hon 1984)

Změny v anatomické struktuře jsou spojené s poškozením ztenčenin a oslabení spojení mezi vrstvami buněčné stěny (Reinprecht 2012) – viz Obrázek 3.7: Degradované povrchové buňky smrkového dřeva po 2 letech v exteriéru (foto Martin Lexa)



Obrázek 3.7: Degradované povrchové buňky smrkového dřeva po 2 letech v exteriéru (foto Martin Lexa)

Vlivem proudění vzduchu a působení dalších degradačních činitelů dochází k zvyšování drsnosti a formování plastické struktury dřeva (Obrázek 3.8). Vlivem degradace ligninu a působení proudícího vzduchu dochází k postupnému uvolňování vláken celulózy a poškození jednotlivých buněčných elementů (Williams a Feist 1999; Reinprecht 2012).



Obrázek 3.8: Eroze dřeva působením povětrnosti - (a) dřevo před expozicí; (b) počáteční fáze stárnutí – poškození vláken; (c) vytrhávání vláken (d) konečná fáze - poškození jarního dřeva; vpravo povrch dřeva po venkovní expozici, spodní část byla zakryta (Williams a Feist 1999)

### 3.2.2 Makroskopické změny povrchových vlastností dřeva

Degradace dřeva způsobená povětrnostním stárnutím se na první pohled projevuje rychlou změnou původní barvy, dále je doprovázena také ztrátou lesku, vznikem trhlin a změnou drsnosti povrchu (Temiz et al. 2005) a také jeho smáčivosti. Je všeobecně známo, že povrch dřeva je relativně rychle narušen, pokud je bez jakékoliv ochrany vystaven vnějším podmínkám (Evans et al. 1996).

#### Změny barvy

Změna barvy dřeva během vystavení venkovním podmínkám slouží jako základní parametr indikující stupeň degradace materiálu (Van den Bulcke et al. 2008; De Windt et al. 2014; Moya et al. 2016). Barva dřeva záleží na jeho chemickém složení (Hon et al. 1985) a barevné změny reflektují chemické změny ve dřevě během fotodegradace (Temiz et al. 2007). Chemické složení je ale samo o sobě velmi variabilní nejen mezi různými druhy dřeva, ale také v rámci jednoho druhu a často i pro jeden kus dřeva. Je dáno organickými složkami dřeva - především polysacharidy a polyfenoly: celulóza, hemicelulózy a lignin. Také obsahuje poměrně malé množství dalších složek obvykle udávajících tmavý odstín dřeva – extraktivní látky. Jejich koncentrace určuje barvu, vůni a jiné nemechanické vlastnosti dřevin (Feist a Hon 1984). Barva dřeva se může dramaticky měnit vlivem různých faktorů (sluneční světlo, vlhkost, teplota, mikroorganismy, kontakt s kovy atd.). Běžná změna barvy je výsledkem poškození

chemického složení (zejména ligninu a extraktiv) a jejich vyplavování z povrchu dřeva (Tolvaj a Faix 1995; Pandey 2005a). Změna barvy se také často projevuje kolem spojovacích prostředků. Otvor ve dřevě způsobený spojovacím prostředkem rozruší mnoho dřevních buněk. Tyto narušené buňky přispívají ke zvýšené absorpci vody. Voda pak rozpouští extraktivní látky a až dřevo opět vyschne, extraktiva se nahromadí na povrchu a sluneční světlo způsobí jejich polymerizaci (Williams a Feist 1999).

Z hlediska atmosférického degradace dřeva má největší vliv na změnu barvy ultrafialová (UV) část slunečního světla (vlnová délka  $<380$  nm), která způsobuje fotochemické reakce ve dřevě (Hon a Shiraishi 2001; Tolvaj et al. 2001; Müller et al. 2003). Extraktiva hrají při fotodegradaci dřeva významnou roli a rychlost degradace dřeva je snížena přítomností extraktivních látek (Chang et al. 2010). Nzokou a Kamdem (2006) také uvádějí, že extraktivní látky působí jako antioxidanty a chrání dřevo před procesem fotodegradace. Všechny druhy obsahují extraktiva, ale jejich vyplavování převládá u vysoce zbarvených dřevin (Obrázek 3.9).



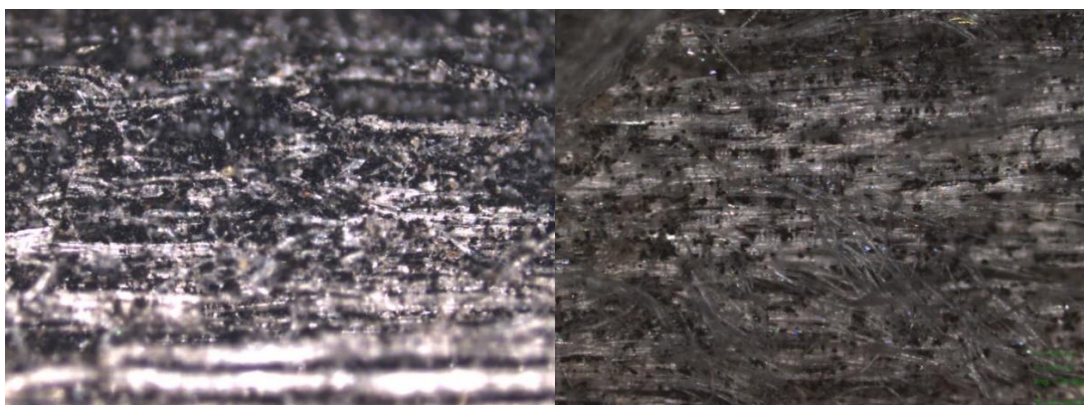
Obrázek 3.9: TP, OL, JV, AK, DB po 12 týdnech v UV komoře – vyplavování extraktiv (Oberhofnerová)

Změny v barvě dřeva jsou viditelné již po krátké době expozice přirozenému nebo umělému slunečnímu záření. Kvůli fotooxidaci ligninu a extraktiv se v počáteční fázi většina druhů dřeva změní na žlutou až hnědou. Ve vnějším prostředí se barva dále s prodlužující se expozicí mění na šedou, protože jsou z povrchu vyplavovány hnědé degradační produkty ligninu (Feist a Hon 1984; Kučerová 2005). Degradace nejméně stabilního ligninu se vyskytuje pouze v povrchových vrstvách dřeva. Počáteční předpoklady v této oblasti byly, že UV záření nemůže proniknout hlouběji než přibližně  $75 \mu\text{m}$  (Hon a Ifju, 1978). Později ale byla pozorována degradace asi  $850 \mu\text{m}$  pod povrchem (Park et al. 1996). Wang a Lin (1991) uvádějí hranici hloubky degradace  $900 \mu\text{m}$ . Vlivem slunečního záření vznikají v povrchových vrstvách dřeva především barevné změny, které je možné pozorovat pozorovatelné až do hloubky cca  $2,5$  mm a jsou způsobeny řetězovými reakcemi vzniklých volných radikálů (Hon a Shiraishi 2001; Kučerová 2005). Yata a Tamura (1995) zjistili, že hloubka degradace dřeva zůstává konstantní po šesti měsících přirozeného stárnutí. Hloubka penetrace závisí na hustotě dřeva (dřevo s vyšší hustotou je méně ovlivněno UV zářením) a na distribuci vlnové



délky UV záření a viditelného světla, kdy kratší vlnové délky pronikají méně do povrchu dřeva (Williams 2005).

Šedivění povrchu dřeva je zapříčiněno působením srážkové vody a často také růstem plísní a hub (Feist 1982), ale i přítomností větrem unášených prachových částic, které mohou penetrovat do porézní struktury dřeva (Hon a Chang 1984) – viz Obrázek 3.10. Browne a Simonson (1957) uvedli, že degradační šedá vrstva dřevěného povrchu má tloušťku 125  $\mu\text{m}$ . Jakmile je ale tato šedivá vrstva zformována, chová se jako jakási ochranná bariéra a zpomaluje další degradační procesy.



Obrázek 3.10: Ukázky šedivění povrchu neošetřeného dřeva po 2 letech venkovní expozice (výstup ze softwaru LEXT k laserovému mikroskopu)

Míra změny barev je ovlivňována řadou faktorů. Obvykle souvisí s intenzitou světla (Kataoka et al. 2007) a jeho vlnovými délkami (MacLeod et al. 1995; Mitsui 2004; Kataoka et al. 2007), časem vystavení záření (Tolvaj a Faix 1995), druhem dřeviny (Hon a Shiraishi 2001) a klimatickými faktory objevujícími se během expozice (Hon a Chang 1984).

### **Změna lesku**

Lesk dřeva vyjadřuje schopnost odrážet světelné paprsky od povrchu. Je jednou z vlastností popisujících míru povrchové degradace během expozice povětrnosti. Některé studie uvádějí, že je změna lesku více citlivá na degradaci nátěru než celková barevná změna (Pánek et al. 2017). Efekt změny lesku během venkovní expozice je také zmíněn ve studii Ghoshe et al. (2015). Změna lesku je zejména patrná a vypovídající u povrchově ošetřeného dřeva.

## **Změna drsnosti**

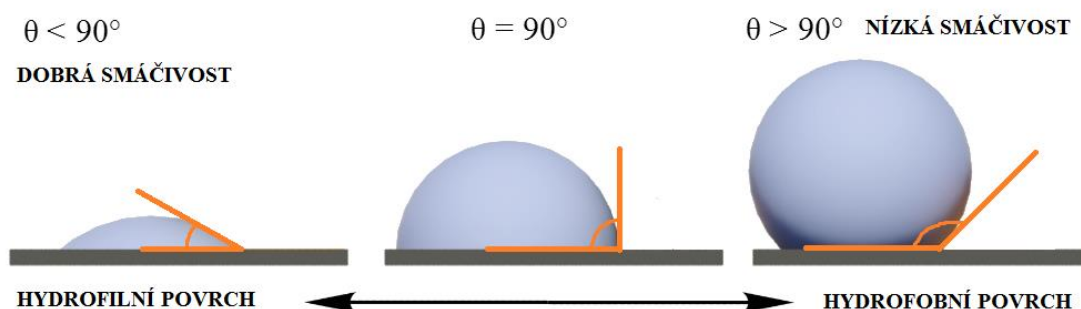
Povětrnostní stárnutí způsobuje zvýšení drsnosti dřeva (Feist 1990; Ozgenc et al. 2012). Drsnost můžeme chápat jako měřítko jemných nesrovnalostí povrchu (Hiziroglu 1996). Tyto nesrovnalosti jsou způsobeny abiotickými faktory, zejména UV zářením a vodou (Feist 1990). Dešťová voda vyplavuje foto-degradované dřevní části (zejména z ligninu), což způsobuje zvýšení drsnosti povrchu. Po vyplavení produktů UV degradace jsou buněčné vrstvy vystaveny vnějším podmínkám a dále rozrušovány (Feist 1982). Eroze je rychlejší v méně hustém jarním dřevě než v letním dřevě, což vede k nerovnému povrchu. Také časté vystavení změn vlhkosti exponovaného dřeva může způsobit nadzdvihnutí vláken dřeva, což vede k drsnějšímu povrchu (Williams a Feist 1999). Vznik trhlin a prasklin vede k hmatatelnému zdrsnění povrchu (Feist 1990; Ozgenc et al. 2013). Drsnost dřeva je ovlivněna způsobem řezu a konečnou technikou povrchové úpravy (Aslan et al. 2008). Existují také některé přirozené faktory ovlivňující drsnost povrchu (anatomické, fyzikální a chemické vlastnosti), které se velmi liší nejen v rámci druhu dřeviny, ale i stejného stromu (Richter et al. 1995).

Měření povrchu a jeho charakteristik v souvislosti s drsností povrchu za účelem zjištění efektu povětrnostních stárnutí na povrch dřeva bylo zkoumáno již v několika studiích (Östman 1983; Xie et al. 2008; Nzokou et al. 2011). Obecně jsou měření odchylek drsnosti povrchu a povrchové barvy široce používány pro hodnocení kvality povrchu (Aydin a Colakoglu 2005). Drsnost povrchu dřeva může být měřena kontaktními a nekontaktními metodami. Jednou z nejpoužívanějších je kontaktní metoda za použití profiloměru (Hiziroglu 1996; Aslan et al. 2008; Vitosyté et al. 2012). Změna drsnosti vlivem působení povětrnosti byla zkoumána již v mnoha pracích (Gardner et al. 1991; Gupta et al. 2011). Podle Feista (1990) je porozumění role nových technik při hodnocení povětrnostního stárnutí dřeva důležité pro budoucí použití a ochranu jak nového, tak historického dřeva vystaveného vnějším podmínkám.

## **Změna smáčivosti**

Dalším indikátorem degradace povrchu dřeva je jeho smáčivost (Žlahtič a Humar 2016) – viz Obrázek 3.11. Je určována pomocí kontaktního úhlu, který vyjadřuje smáčivost povrchu, tj. vlastnost kapaliny přilnout k povrchu některých pevných látek. Kontaktní úhel je hodnota úhlu mezi tangentou povrchu kapaliny a pevným materiálem (Liptáková a Kúdela 1994). Teoreticky může dosahovat hodnoty od 0° do 180° - nižší kontaktní úhel značí vyšší smáčivost povrchu. Vyplavování extraktů z povrchu

zvětraného dřeva redukuje vodoodpudivost a spolu s degradací ligninu způsobuje hydrofilní povrch dřeva (Rowell 2005). Polysacharidy (celulóza a hemicelulóza) jsou více odolné UV záření, ale naopak zase reagují na vlhkost. V průběhu expozice dochází k odhalování celulózy na povrchu dřeva a tím postupnému zvyšování smáčivosti díky dostupným hydroxylovým skupinám celulózy. Průběh se ale může lišit. Propustnost pro vodu se může během počáteční fáze expozice jak snížit (vyplavování hydrofilních složek), tak zvýšit (Derbyshire a Miller 1981; Oberhofnerová a Pánek 2016). V dalších fázích se již ale smáčivost zvyšuje.



Obrázek 3.11: Smáčivost povrchu (Oberhofnerová)

### 3.3 OCHRANA DŘEVA V EXTERIÉRU

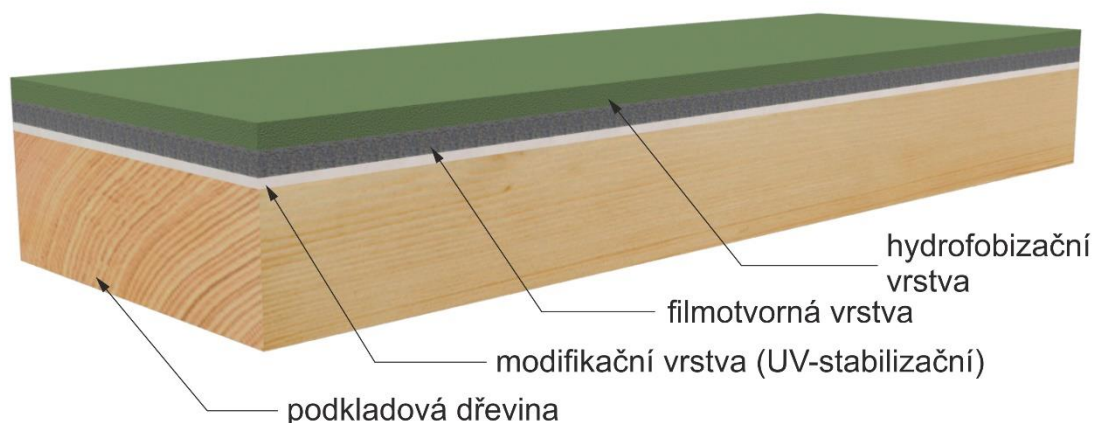
Navzdory zvýšenému využívání konkurenčních materiálů jako kovy a plasty, dřevo je stále velmi populární materiál pro konstrukční a dekorativní účely v různých aplikacích, například ve stavebním a nábytkářském průmyslu, na výrobu stavebně truhlářských výrobků, obložen, městského mobiliáře, dočasných drobných staveb, plotů nebo drobných zařizovacích či dekoračních předmětů. Pro zajištění dlouhé životnosti je dřevo často opatřeno různými dekorativními a ochrannými povrchovými úpravami, ať už penetrujícími nebo vytvářejícími nátěrový film. Transparentní systémy zanechávají přirozené vlastnosti dřeva – barvu a texturu. Z těchto důvodů jsou žádané a poptávka po nich se zvyšuje (Evans et al. 2015). Nicméně dlouhodobá nestabilita transparentních systémů ve venkovních podmínkách je prozatím limituje ve větším rozšíření (MacLeod et al. 1995). Hlavním důvodem je propustnost UV záření nátěrovým systémem k citlivým složkám dřevní hmoty, zejména ligninu, který působením záření degraduje (Miniutti 1964). Dokonce i ve vnitřním prostředí dochází



k tomuto jevu, kdy se přirozeně světlé dřevo zbarvuje do žlutého odstínu a důsledkem fotooxidace ligninu nakonec tmavne, jak již bylo vysvětleno v předchozích kapitolách.

Vlivem působení abiotických faktorů tedy dochází v poměrně krátké době ke snížení funkční, ale i estetické stránky výrobku nebo konstrukce, a tudíž je vhodné je chránit vhodným nátěrovým systémem (Ozgen et al. 2012). Správně konstrukční řešení, využití vhodných trvanlivějších druhů dřeva, aplikace biocidních látek, ochranných nátěrů a jiných modifikačních prostředků pro zvýšení odolnosti dřevěných výrobků a konstrukcí se využívalo jak v minulosti, tak i v současné době (Štefko a Reinprecht 2004, Reinprecht 2012). Správná ochranná funkce nátěru v exteriéru tkví v ochraně před nadměrným příjmem vody a rozměrovými změnami, ochraně před fotochemickou degradací a prevenci před mikrobiologickým poškozením (de Meijer 2001, Evans et al. 2015). Dodatečná ochrana v podobě nátěrového systému je zvláště žádoucí pro často využívané dřeviny s nižší přirozenou trvanlivostí dle EN 350 (2016), např. smrk. Přes svoji ochrannou funkci ale nátěry samotné podléhají degradaci způsobené atmosférickými činiteli (Grüll et al. 2011, Gobakken a Lebow 2010) a je nutné je před aplikací otestovat, aby se předešlo jejich předčasné degradaci, která vede nejen k poškození jejich vrstev, ale i k znehodnocení podkladové dřeviny. Výsledky testů závisí nejen na kvalitě samotného nátěrového systému (Robinson et al. 2013), ale i na způsobu opracování (Reinprecht a Pánek 2015), druhu dřeviny (Pánek a Reinprecht 2016) a expozičním zatížení (Creemers et al. 2002).

Nátěrové hmoty a vrstvení nátěrových systémů prochází neustálým vývojem (Evans et al. 2015). Největším problémem se jeví určení správné hranice mezi ochrannou funkcí a vzhledem nátěru a současným environmentálním nařízením (Saha et al. 2011). Trendem posledního období je využití ekologicky přijatelných postupů (Singh a Singh 2012; Saha et al. 2011), využití nátěrů s nízkým obsahem VOC (De Meijer 2001; Miklečić et al. 2017), zejména vodou ředitelných (Tesařová et al. 2010) nebo na bázi rostlinných olejů (Ozgen et al. 2013) a zlepšení funkce nátěru pomocí modifikačních přísad. Vícevrstvé systémy jsou v současné době nejpoužívanější variantou nátěrových systémů používaných proti atmosférické degradaci (Grüll et al. 2014). Příklad možného schématu vrstvení nátěrových systémů na podkladovou dřevinu je uveden na následujícím obrázku (Obrázek 3.12).



Obrázek 3.12: Příklad vícevrstvého nátěrového systému

### 3.3.1 Transparentní nátěrové systémy

Na trhu se vyskytuje řada výrobců široké škály různorodých nátěrů a není snadné vždy zvolit variantu, která minimalizuje degradační procesy. Možné poškození ošetřeného dřeva vystaveného v exteriéru závisí jak na druhu použitého nátěru a podkladové dřeviny, tak na délce expozice (Gobakken a Lebow 2010). V dnešní době již vysokou ochrannou funkci poskytují pigmentované nátěrové systémy, které ale nezachovávají původní, designéry a zákazníci často žádanou, přirozenou barvu a kresbu dřeva.

Tradiční metody ochrany dřeva v exteriéru používají chemikálie, které jsou považovány za toxické a mohou škodit lidskému zdraví. Neustále vyvstává otázka, jak s nimi nakládat po překročení jejich životnosti (Singh a Singh 2012). V současné době se právě z ekologických hledisek (Stachowiak-Wencek a Pradzyński 2013) a s ohledem na obnovitelnost začaly opět prosazovat různé druhy olejových nátěrových hmot na bázi přírodních rostlinných olejů (např. sójového, slunečnicového) v kombinaci s lihovými rozpouštědly, které umožňují hlubší průnik do dřeva. Často se vyrábí také s obsahem přírodních pigmentů, které nezatěžují přírodní prostředí, nebo aditiv zvyšujících odolnost vůči UV záření. Na zlepšení vlastností dřeva jsou například využívány přírodní extraktiva (Fernández-Costas et al. 2017). Dalším příkladem mohou být rychleschnoucí olejové nátěry, které na povrchu vytváří tenký povlak. Nevýhodou takových nátěrů je ale potřeba pravidelné obnovy v kratších intervalech než u jiných druhů nátěrů.

Při snaze prodloužit životnost nátěrů a zachovat při tom přirozený vzhled dřeva se dnes používají transparentní nátěry s minimálním obsahem škodlivých chemikálií

(Evans et al. 2015). Zejména se neustále zvyšuje použití transparentních vodou ředitelných nátěrů (Miklečić et al. 2017). Ochranná funkce transparentních povrchových úprav je ale stále limitována. I přes přítomnost malého množství pigmentů totiž propouští viditelné záření a částečně také UV záření k podkladové dřevině (Macleod et al. 1995; Pánek a Reinprecht 2014), která tak podléhá degradaci. Většina z transparentních nátěrů ztrácí svoji funkci zhruba během 2 let v exteriéru (Evans et al. 2015). Některé snahy o zlepšení chemických a fyzikálních transparentních vlastností nátěrů se ale setkaly s úspěchem. Účinnost transparentního nátěru může být výrazně zlepšena optimalizací nátěru, přechodu mezi vrstvou dřeva a nátěru nebo předúpravou podkladní dřeviny. Prozatím dobrou cestou se jeví předúprava podkladního materiálu zajišťující rozměrovou stabilitu, ochranu před biologickými škůdci a fotostabilizaci ligninu v kombinaci s pružným a stabilním nátěrem (Evans et al. 2015). Další možností zvýšení funkce transparentních nátěrů je stabilizace podkladové dřeviny pomocí UV absorbérů (UVA), sféricky stíněných aminů (HALS) nebo anorganických sloučenin, které mohou odrážet záření vlivem jejich velikosti (Evans 2008).

### **3.3.2 Ochrana před biologickými škůdci**

Pro zvýšení bio-odolnosti dřevin s nižší přirozenou trvanlivostí se do nátěrových hmot přidávají fungicidní látky, v současnosti zejména IPBC (3-jód-2-propynylbutylkarbamát), propiconazol i jiné triazoly, ale zkoumají se i další varianty (Matan a Matan 2012). V zásadě se jedná o anorganické i organické látky, které působí proti činnosti a růstu dřevokazných hub, ale i dalších hub a plísní (Reinprecht 2012). K organickým látkám je možné zařadit i přírodní látky získávané z trvanlivějších dřevin, ale i jiných rostlin a živočichů. Ty jsou z ekologického hlediska přijatelnější než syntetizované látky, ale na druhou stranu je problematická jejich nižší biocidní účinnost a horší stabilita v ošetřeném dřevě. To vyžaduje jejich aplikaci ve vyšších dávkách a častější obnovu nátěru. Navíc podíl biocidně účinných složek v rostlinách a živočiších je velmi proměnlivý. Přijatelným způsobem zvýšení trvanlivosti dřeva vůči biodegradaci je využití rostlinných extraktů nebo esenciálních olejů (Kartal et al. 2006, Saha et al. 2011, Pánek et al. 2014) na prvotní úpravu povrchu dřeva. Nejvyšší účinnost byla nalezena pro esenciální oleje, které obsahují fenolické sloučeniny, např. oregano, tymián nebo hřebíček (Chittenden a Sing 2011, Pánek a Reinprecht 2014). Tyto přírodní esenciální oleje získané extrakcí z rostlin se vyznačují zvýšenou antimikrobiální a

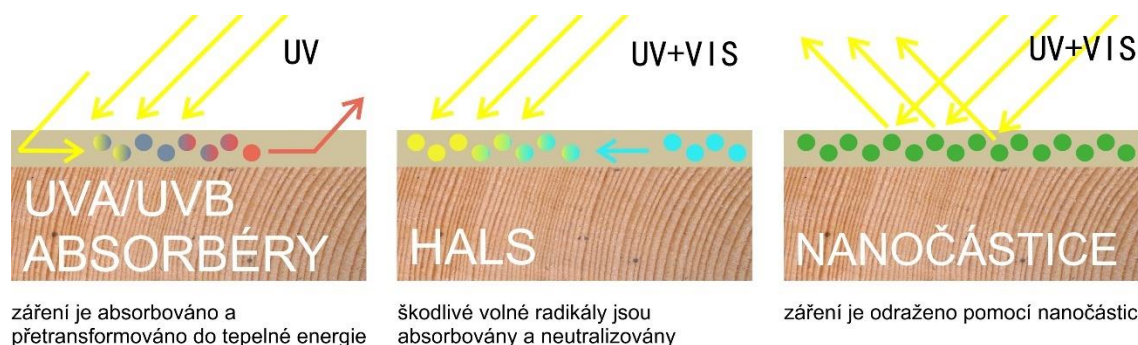
fungicidní ochranou. Jejich barevná stálost a interakce s ostatními nátěry ale musí být otestována pro konkrétní varianty podkladových dřevin (Pánek et al. 2014, Reinprecht a Hulla 2015).

### 3.3.3 Ochrana před UV zářením

Všechny nechráněné polymerní materiály degradují, jsou-li vystaveny účinkům slunečního záření a dalších povětrnostních faktorů. Fotodegradace a termální degradace se pak projevují ve změnách barevnosti materiálu, ve změnách charakteru jeho povrchu a také ve změně jeho fyzikálních a mechanických vlastností. Účinnost UV ochrany polymerního materiálu závisí na mnoha faktorech. Jedním z nich je způsob, jakým je stabilizátor přidáván a způsob, jakým je do polymerního systému zabudován (Kalendová a Kalenda 2004; Vollmer 2011). Většina těchto aditiv je k polymerním látkám přidávána následujícími způsoby:

- › přímo k monomeru způsobem, který neblokuje proces polymerace
- › v průběhu výroby (během reakce), nebo během cesty k výrobní jednotce
- › formou aditiva
- › úpravou povrchu finálních výrobků.

Účinnost UV stabilizátoru je závislá také na kompatibilitě UV stabilizátoru s daným polymerním materiálem. UV stabilizátory (fotostabilizátory) jsou vhodné především pro ochranu transparentních materiálů. Aby však tato UV ochrana byla dostatečně účinná, je zapotřebí použít vysoké koncentrace daného fotostabilizátoru v povrchové vrstvě. Všechny typy stabilizátorů se v průběhu času spotřebují, v některých případech i dříve, než skončí životnost chráněného materiálu (Kalendová a Kalenda 2004). Existuje několik metod zvýšení odolnosti nátěru před škodlivým UV zářením (Obrázek 3.13). První metoda je založena na odrazivosti záření pomocí pigmentů (organických a anorganických, často na bázi nanočástic) (Weichelt et al. 2010), druhá metoda na absorpci UV záření před vznikem volných radikálů pomocí UV absorbérů (UVA) (Robinson et al. 2013) a třetí metoda, zakládající se na potlačení degradačních reakcí přemístěním právě vzniklých volných radikálů za použití sféricky stíněných aminů neboli hindered amine light stabilizers (HALS) (Miklečić et al. 2017).



Obrázek 3.13: Princip zvýšení odolnosti proti UV záření (Pánek et al. 2018)

Fotostabilizující účinek UVA spočívá v absorpci škodlivého UV záření a přeměně absorbované světelné energie na energii vibrační (tepelnou). Ideální UV absorbér by měl intenzivně absorbovat záření o vlnové délce 290 až 400 nm a plně propouštět světlo viditelných vlnových délek. Pokud dochází k absorpci světla stabilizátorem v oblasti vlnových délek nad 400 nm, objevuje se žluté zbarvení substrátu. Experimentální UVA založené na absorpci větších vlnových délek vykazují lepší výsledky než používané UVA na bázi benzotriazolu. Pro vnitřní transparentní nátěry se typicky využívá 1-3% koncentrace organických UV absorbérů (přesný podíl dle typu pojiva) závisující na tloušťce nátěru. Pro venkovní použití transparentní nátěry obvykle vyžadují 1-5 % UV absorbérů (UVA) nebo 1-3 % UVA/HALS směsi pro získání požadované dlouhodobé ochrany (Rogez 2002).

HALS se stal milníkem ve vývoji trvanlivé ochrany barev přírodních dřevěných substrátů. Je to první přísada, která zcela inhibuje fotooxidaci ligninu a působí jako účinný barevný stabilizátor jednoduchým předběžným ošetřením povrchu dřeva. Nicméně nejlepší ochrana proti žloutnutí a fotodegradaci dřevěných povrchů je dosažena pouze v případě, že jsou HALS stabilizátory použity ve spojení s UVA absorbéry. Ten je buď aplikován při samotném předběžném ošetření, nebo v následně aplikovaném vrchním nátěru (Rogez 2002). Přídavek UV absorbérů a stabilizérů do nátěrových hmot bylo zkoumáno v řadě studií (Evans 2008; Ozgenc et al. 2012; Miklečić et al. 2017). Nikolic et al. (2015) uvádí, že anorganické částice mohou být účinnou UV ochranou v nátěrech v závislosti na typu, velikosti, disperzi a množství nanočástic. Cristea et al. (2010) našel kompatibilitu mezi nanočásticemi ZnO a TiO<sub>2</sub> a polyakrylátovým nátěrem, což mělo za účinek zvýšení odolnosti smrkového dřeva. Fufa et al. (2012) zjistili, že přidání TiO<sub>2</sub> nanočástic zvyšuje odolnost polyakrylátového

nátěru z hlediska barevných a chemických změn a absorpce vlhkosti během umělého povětrnostního stárnutí.

Problematice zvýšení odolnosti nátěrových systémů a jejich testování se věnovala řada prací. Jednalo se například o testování stárnutí impregnovaného borovicového dřeva (Baysal et al. 2014), bělového borovicového dřeva ošetřeného různými druhy rostlinných olejů (Ozgenç et al. 2013) nebo o testování různých nátěrů na 13 druzích dřeva (Gobakken a Lebow 2010). V práci Ozgençe a kolektivu (2012) bylo testováno využití různých typů UV absorbérů a různých chemických látek na borovicovém a bukovém dřevě. V práci Afrouziho a dalších (2013) bylo topolové dřevo impregnováno nanočásticemi ZnO a vystaveno umělému stárnutí v průběhu 200, 400 a 600 hodin. Vliv nanočástic na zvýšení odolnosti dřeva vůči atmosférickým a biologickým degradacím byl zkoumán i v dalších pracích (Akhtari a Arefkhani 2010). V dalších pracích (Samyn et al. 2014) byly testovány účinky ošetření dřeva nátěrem na bázi nanočástic (čistým nebo v rostlinném oleji) na zvýšení odolnosti vůči vlhkosti. Forsthuber a kol. 2013 se zabývali testováním transparentních nátěrů obsahujících UV absorbéry. Výsledky byly často variabilní a nejednoznačné a ve výzkumu jejich skutečného vlivu, jakož i zkvalitnění jejich složení a aplikace je nutné pokračovat. Jedná se o technologie, které mohou v budoucnosti poskytovat ekologické a úsporné varianty zvýšení trvanlivosti dřeva. V kombinaci s povrchovými úpravami, ale i bez nich dokáže tento druh modifikace prodloužit životnost dřeva vystaveného do exteriéru. Na základě citovaných prací je možné konstatovat, že významnou roli při prodloužení trvanlivosti původní barvy dřeva pod nátěrem nebo aplikovaného nátěrového systému mohou hrát:

- › Druh použité podkladové dřeviny, kde výrazný vliv hraje její chemické složení - obsah tříslovin, pryskyřic a jiných extraktivních látek (Ozgenç a kol. 2012; Gobakken a Lebow 2010; Ozdemir a Hiziroglu 2009).
- › Druh použité povrchové úpravy nebo modifikace dřeva - přídavky fungicidů, insekticidů, modifikace termická, acetylace i jiné (Evans et al. 2002; Baysal 2012; Samyn et al. 2014; Baysal et al. 2014).
- › Druh použité nátěrové látky – zejména druh základní filmotvorné složky (Syvrikaya et al. 2011; De Meier 2001; Ozgenç et al. 2013).
- › Použití UV absorbérů, ať na bázi klasických chemických látek používaných v minulosti i současnosti (pigmenty) nebo modernějších a do současné doby zkoumaných látek na bázi nanočástic (na bázi titanu, křemíku, zinku atd.)

(Ozgenc et al. 2012; Forsthuber et al. 2013; Afrouzi et al. 2013; Ghosh et al. 2009).

- › Velikost nanočástic, koncentrace a forma (prášek nebo rozptýlené ve vodě) stabilizačního prostředku (Blanchard a Blanchet 2011).

### 3.3.4 Ochrana před působením vody

Modifikace ve formě hydrofobizace mohou zvýšit přirozenou trvanlivost dřeva v exteriéru. Existují modifikace, které mění vlastnosti dřeva v celém jeho objemu, jako například tepelná úprava a acetylace (Hill 2006, Larsson-Brelid et al. 2000). Pro účely expozic bez kontaktu dřeva se zemí (Třída 3 podle EN 350 2016) je možné použít hydrofobizační nátěry (Samyn et al. 2014; Žlahtič a Humar 2016).

V dnešní době neustálého vývoje v oblasti nanotechnologie jsou velmi rychle vyvíjeny také nové hydrofobizační nátěry na bázi nanočástic (Samyn et al. 2014). Je zkoumán jejich vliv na aplikaci na přírodní dřevo (Sun et al. 2011; Wang et al. 2013), dřevo modifikované tepelně či chemicky (Petrič et al. 2007) nebo aplikací ve formě vrchního nátěru v nátěrových systémech (Blanchard a Blanchet 2011). Obecně jsou vícevrstvé nátěrové systémy v současné době jednou z nejpoužívanějších variant nátěrů na dřevo s odolností vůči povětrnosti (Grüll et al. 2014). Použití hydrofobizační vrstvy místo tradičních nátěrových systémů má výhodu snazší aplikace (pouze jedna vrstva hydrofobizace je dostatečná). Přesto ale hydrofobizační nátěry zabraňují pouze působení vody a nechrání podkladovou dřevinu vůči UV a viditelnému záření, které způsobují rozklad ligninu a extraktivních látek (Schaller a Rogez 2007). V exteriéru dřevo (Jankowska 2015; Sahin a Mantanis 2011) a také nátěry (Ozgenc et al. 2012) mění barvu povrchové vrstvy vlivem atmosférické degradace (Evans et al. 1996) a působením mikroskopických hub (Van Acker et al. 2003; Dubey et al. 2011). Tomu mohou potenciálně zabránit samočisticí nátěry v kombinaci s UV stabilizací podkladové dřeviny. Hydrofobizační přípravky zlepšují vzhled ošetřeného dřeva mnoha způsoby. Vodoodpudivá složka snižuje množství absorpce vody během deštivého období, což snižuje přidružené sesychání a bobtnání dřeva. Menší rozměrové změny dřeva vedou k menšímu zvětrávání (Shupe et al. 2008). Řada studií byla provedena s cílem prozkoumat možnost hydrofobní modifikace povrchu dřeva (Sébé a Brook 2001), přesto ale musí být zvážena jejich dlouhodobá účinnost ve venkovních podmínkách.

Část této práce je věnována transparentním nátěrovým systémům a jejich možné modifikaci vlivem vrstvení prostředků zlepšujících odolnost vůči biotickým škůdcům, UV záření a působení vody. Výsledkem je ověření a návrh řešení podložený výsledky testů přirozeným i umělým povětrnostním stárnutím.

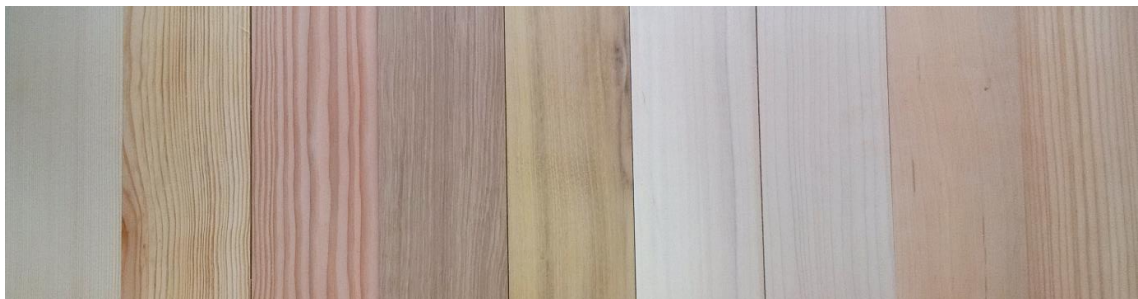


## 4 METODIKA

V následujících podkapitolách je uvedena metodika věnující se přípravě zkušebních těles a jejich následnému testování s odkazy na jednotlivé zkušební postupy.

### 4.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Materiál na výrobu zkušebních vzorků pocházel z regionu Střední Čechy. Zkušební vzorky byly vyrobeny ze sušených (vlhkost do 18 %) a neomítaných fošen tloušťky 50 mm tak, aby neobsahovaly vady (suky, smolníky, hnilobu, zbarvení atd.) a netrvanlivé bělové dřevo (v případě jádrových dřevin). Zkušební tělesa měly rozměry 375x78x20 mm (podélný x tangenciální x radiální) pro zkoušku přirozeným stárnutím a 300x78x20 mm (podélný x tangenciální x radiální) pro zkoušku umělým urychleným stárnutím. Vzorky byly vyrobeny ze zástupců jehličnatých a listnatých evropských dřevin tak, aby byly zastoupeny dřeviny s rozdílnou přirozenou trvanlivostí a hustotou (Obrázek 4.1). V tabulce (Tabulka 4.1) jsou uvedeny úvodní vlastnosti jednotlivých dřevin před začátkem experimentu.



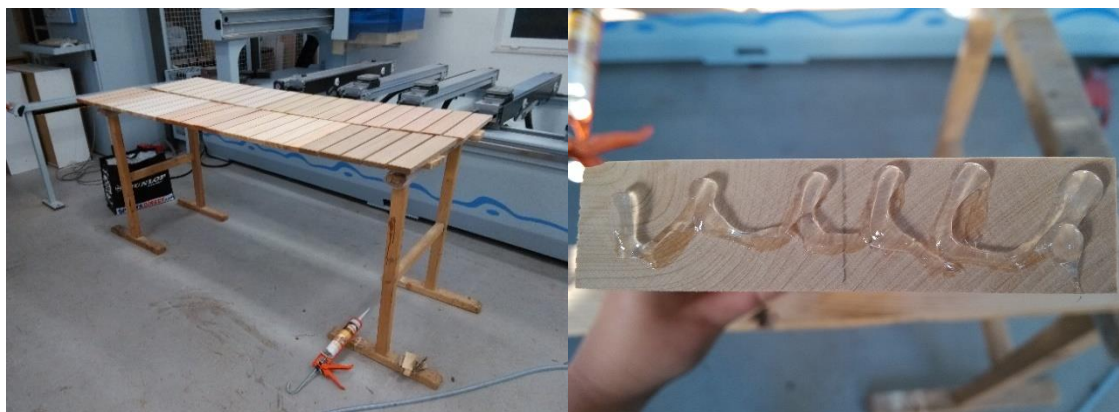
Obrázek 4.1: Vizuální podoba zkušebních těles bez povrchové úpravy (zleva SM, BO, DG, DB, AJ, JV, TP, OL, MD) (foto Oberhofnerová)

Tabulka 4.1: Zkušební vzorky a jejich úvodní vlastnosti

Druh dřeva (latinský název)	Přirozená trvanlivost vůči houbám (EN 350)	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ] (ČSN 49 0108)	Barevné parametry (EN 927-3)			Lesk	Ra [μm] (ISO 4288)	KÚ [°]
			L*	a*	b*			
Smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> L. Karst)	4-5	533	84.16 (0.16)	3.72 (0.08)	19.54 (0.20)	14.3 (2.0)	5.29 (0.73)	77 (9.0)
Borovice lesní ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)	3-4	698	81.19 (0.23)	3.65 (0.95)	23.93 (1.57)	12.5 (2.5)	3.71 (0.86)	82 (6.5)
Douglaska tisolistá ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.))	3	605	71.82 (1.03)	11.78 (0.43)	21.68 (0.57)	10.0 (1.7)	4.43 (0.33)	83 (3.0)
Dub letní ( <i>Quercus robur</i> L.)	2	710	72.86 (1.67)	10.44 (0.44)	22.55 (1.39)	7.9 (1.0)	7.23 (1.78)	60 (4.1)
Trnovník akát ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	1-2	827	66.40 (0.22)	6.28 (0.10)	20.45 (0.44)	8.1 (0.7)	4.39 (0.58)	56 (2.6)
Topol ( <i>Populus sp.</i> )	5	413	70.59 (1.06)	2.89 (0.14)	26.80 (0.36)	9.0 (1.6)	6.24 (0.40)	51 (5.4)
Javor klen ( <i>Acer pseudoplatanus</i> L.)	5	599	78.85 (0.57)	5.11 (0.23)	16.69 (0.09)	10.3 (0.6)	4.17 (0.31)	44 (2.8)
Olše lepkavá ( <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn)	5	534	82.33 (0.19)	4.09 (0.07)	16.58 (0.24)	11.7 (1.2)	5.67 (0.91)	55 (3.1)
Modřín opadavý ( <i>Larix decidua</i> [Mill.])	3-4	559	71.63 (1.90)	10.95 (0.80)	21.71 (1.12)	6.6 (1.1)	5.01 (0.50)	48 (5.8)

Pozn. Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (v závorce) byly určovány z n = 24 měření barvy, lesku a kontaktního úhlu a n = 12 měření drsnosti pro každý druh dřeviny. Přirozená trvanlivost vůči houbám byla určena na základě EN 350 v rozmezí hodnot 1-5, kdy 1 značí nejvyšší přirozenou trvanlivost. Hustota (při vlhkosti dřeva 12 %) byla určena na základě normy ČSN 49 0108 (1993).

Všechny testované vzorky byly broušeny brusným papírem zrnitosti 120. Z čelních ploch byly vzorky opatřeny vrstvou univerzálního transparentního silikonu k zamezení nadměrného průniku vody do zkušebních těles (Obrázek 4.2).



Obrázek 4.2: Příprava zkušebních těles – opatření silikonem (foto Oberhofnerová)

První sada zkušebních těles byla ponechána bez povrchové úpravy. Každý zástupce dřeviny byl reprezentován 5 zkušebními vzorky a 3 referencemi uloženými v hliníkové folii v laboratoři. Všechna zkušební tělesa byla popsána a byla na nich vyznačena místa určená k pravidelnému zaznamenávání změn povrchových vlastností během vystavení povětrnosti (Obrázek 4.3).



Obrázek 4.3: Příprava zkušebních těles – popis a uchování v Al folii (foto Oberhofnerová)

Druhá sada vzorků byla vyrobena ze smrkového dřeva a byla povrchově ošetřena transparentními nátěrovými systémy s různým vrstvením. Každá varianta nátěrového systému byla reprezentována 14 zkušebními vzorky a 3 referencemi. Vzorky byly ošetřeny vrstvou zvyšující bio odolnost. Éterické oleje zvyšující ochranu proti biotickým škůdcům (hřebíček a oregano) jsou ve vodě téměř nerozpustné, proto byl jako nosič použit rostlinný olej používaný i do exteriéru, který nezpůsobuje žloutnutí dřeva – světlíkový olej. Byla připravena směs světlíkového oleje a éterických olejů (étery v 5% roztoku). Další ochrannou vrstvou byl komerčním nátěr na bázi olejů UV OSMO 420 s fungicidními a UV-stabilizačními látkami (Technický list viz Příloha č. 1) a vrstvou zvyšující vodoodpudivost (PMO 62 na bázi křemíkových nanočástic – technický list viz Příloha č. 2). Specifikace jednotlivých nátěrů a jejich nánosy jsou uvedené v následující tabulce (Tabulka 4.2). V tabulce (Tabulka 4.3) jsou uvedeny testované kombinace nátěrových systémů spolu s jejich úvodními vlastnostmi. U nátěrového systému (C) byla použita pouze jedna vrstva komerčního oleje, která byla nanášena těsně po aplikaci povrchové úpravy, tzn. v mokřem stavu. Následné zasychání trvalo přibližně 2x delší dobu. Na obrázku je ukázka jedné sady nátěrového systému (Obrázek 4.4).

Tabulka 4.2: Vrstvení a specifikace použitých nátěrových systémů

Typ	Popis	Efekt	Specifikace	Nános
Povrchová úprava	světlicový + esenciální oleje	biologická odolnost	hřebíček a oregano v 5% roztoku světlicového oleje	100 (g/m <sup>2</sup> ) v 1 vrstvě
Základní nátěr	UV OSMO 420	UV, odolnost vůči biologickým škůdcům	transparentní nátěr do exteriéru, na bázi přírodních olejů (slunečnicový a sójový) s UV stabilizéry a fungicidy (propiconazol)	120 (g/m <sup>2</sup> ) v jedné vrstvě
Vrchní nátěr	PMO 62	hydrofobicita, biol. odolnost	nanoochrana na bázi křemíkových nanočástic	80 (g/m <sup>2</sup> ) v 1 vrstvě

Tabulka 4.3: Počáteční vlastnosti testovaných nátěrových systémů

Nátěr.s.	Povrchová úprava	Základní nátěr	Vrchní nátěr	L*	a*	b*	Lesk	Ra	KÚ
								(μm)	(°)
<b>A</b>	světlicový + esenciální oleje (2)	-	-	78,28	6,16	28,05	12,78	4,91	113,19
<b>B</b>	světlicový + esenciální oleje (2)	UV OSMO 420 (2)	-	74,53	7,82	36,72	54,85	1,52	96,42
<b>C</b>	světlicový + esenciální oleje (2)	UV OSMO 420 (1*)	-	74,67	7,73	35,75	55,11	2,04	93,07
<b>D</b>	světlicový + esenciální oleje (2)	-	PMO 62 (2)	78,10	6,15	28,18	14,22	4,61	110,9
<b>E</b>	-	UV OSMO 420 (2)	-	79,61	4,83	30,76	48,61	1,54	95,22
<b>F</b>	-	UV OSMO 420 (2)	PMO 62 (2)	79,99	4,62	31,19	86,06	1,71	94,06

Pozn.: (x) počet vrstev, \* aplikace nátěru v mokřem stavu; údaje byly získány z n = 24 počtu měření barvy a lesku a KÚ a n= 12 měření drsnosti



Obrázek 4.4: Ukázka sady ošetřené transparentním nátěrovým systémem (A) (foto Oberhofnerová)

Nátěry byly nanášené v požadovaném množství udávaném výrobcí za pomoci laboratorních vah a štětce (Obrázek 4.5). Vzorky byly na expoziční ploše opatřeny uvedenými nátěrovými systémy a zbylé boční plochy a zadní plocha byly ošetřeny komerčním transparentním nátěrem do exteriéru. Tento nátěr nebyl testován, byl použit pouze z důvodu, aby nedošlo ke znehodnocení vzorků v průběhu několikaletého testování. K zamezení nadměrného příjmu vody byly čelní plochy zkušebních těles uzavřeny univerzálním transparentním silikonem.



Obrázek 4.5: Příprava zkušebních těles – aplikace nátěrů (foto Oberhofnerová)

Obě sady zkušebních vzorků byly vystaveny zkoušce přirozeným a umělým povětrnostním stárnutím. V průběhu těchto zkoušek u nich byly pravidelně zaznamenávány změny povrchových vlastností (barva, lesk, drsnost, smáčivost) a vzorky byly vizuálně hodnoceny pomocí konfokálního laserového skenovacího mikroskopu.

## 4.2 ZKOUŠKA PŘIROZENÝM STÁRNUTÍM

Test přirozeným povětrnostním stárnutím probíhal v lokalitě Suchdol, Praha (50°07'49.68"N, 14°22'13.87"E, nadmořská výška 285 m). Vzorky bez nátěru zde byly vystaveny 15.12.2014 a vzorky s nátěrem 2. 2. 2015, ve speciálních stojanech, orientované k jižní straně v úhlu 45°, 1 metr nad zemí dle normy EN 927-3 (2006) (Obrázek 4.6). Právě expozice v tomto úhlu zajišťují rychlejší degradaci z pohledu vertikálně umístěných prvků (fasády a obložení) a pomalejší degradaci z hlediska horizontálních povrchů (terasy) (Evans 1996). Před měřením byly vzorky stabilizovány při teplotě 20±2 °C a 65% relativní vlhkosti. Testování změn povrchových vlastností



sady vzorků bez povrchové úpravy proběhlo po 3, 6, 12 a 24 měsících a sady s transparentní povrchovou úpravou po 3, 6, 12, 18 a 24 měsících expozice.



Obrázek 4.6: Stojany pro zkušební vzorky (foto Oberhofnerová)

Přehled klimatických podmínek během dvouleté expozice je dán v následující tabulce (Tabulka 4.4). V průběhu 17. měsíce expozice byly zkušební vzorky zasaženy kroupami o velikosti cca 3 cm, což značně ovlivnilo průběh a rychlost degradace nátěrových systémů.

Tabulka 4.4: Přehled klimatických podmínek

Období (měs.)	Prům. teplota (°C)		Průměrná rel. vlhkost (%)		Celkové srážky (mm)		Průměrné sluneční záření (kJ/m <sup>2</sup> )	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
<b>0-2</b>	2.0	0.58	77.3	82.58	15.5	54.5	10678	11977
<b>2-4</b>	5.2	4.53	67.1	74.98	19.1	22.02	18722	18067
<b>4-6</b>	14.1	18.02	61.5	66.15	36.1	46.80	20488	20164
<b>6-8</b>	21.2	19.09	55.2	64.39	33.4	17.80	17432	16496
<b>8-10</b>	14.4	15.86	67.8	67.63	31.7	39.70	8496	5082
<b>10-12</b>	6.7	1.05	80.6	75.16	13.4	17.80	2549	2271

Pozn.: na základě dat z: <http://meteostanice.agrobiologie.cz> (Meteostanice 2017)

### 4.3 ZKOUŠKA UMĚLÝM URYCHLENÝM STÁRNUTÍM

Zkouška umělým urychleným stárnutím proběhla na základě EN 927-6 (2006) v UV testeru QUV s ultrafialovým zářením (Obrázek 4.7) s maximem 340 nm (Q-Lab,

USA). Jeden cyklus v komoře trval týden (168 hodin) a skládal se z kondenzační fáze s teplotou 45°C (24 hodin) a fází UV záření s vlnovou délkou  $\lambda = 340$  nm a intenzitou záření 0,89 W/(m<sup>2</sup>nm) při teplotě 60°C (po dobu 2,5 hodiny) a postřiku destilovanou vodou s intenzitou 6,5 l/min (0,5 hodiny). Zkušební vzorky byly celkově cyklovány po dobu 12 týdnů, což odpovídá 12 opakujícím se cyklům a 2016 hodinách v UV komoře. Změny povrchových vlastností byly během testu pravidelně zaznamenávány – po 1, 3, 6, 9 a 12 týdnech testování, tzn. po 168, 504, 1008, 1512 a 2016 hodinách umělého povětrnostního stárnutí.



Obrázek 4.7: Testování v QUV komoře (foto Oberhofnerová)

Přepočítání mezi uvedenými zkušebními metodami provedené na základě dostupných dat z meteostanice a materiálů výrobce UV komory lze uvést takto:

Celkové dopadající sluneční záření během 2 let expozice v exteriéru: 6 488 765 kJ/m<sup>2</sup>

Z toho UV záření (cca 5 %): 324 438 kJ/m<sup>2</sup>

- › Intenzita záření UV komory: 0,89 W/(m<sup>2</sup>nm) při 340 nm
- › Faktor konverze pro 340 nm: 54,39 W/m<sup>2</sup>
- › Absolutní UV záření: 0,89\*54,39 = 48,41 W/m<sup>2</sup>
- › Absolutní UV záření za 2016 h: 48,41\*3,6\*2016 = 351 319 kJ/m<sup>2</sup>

$$324\,438 \text{ kJ/m}^2 \approx 351\,319 \text{ kJ/m}^2$$

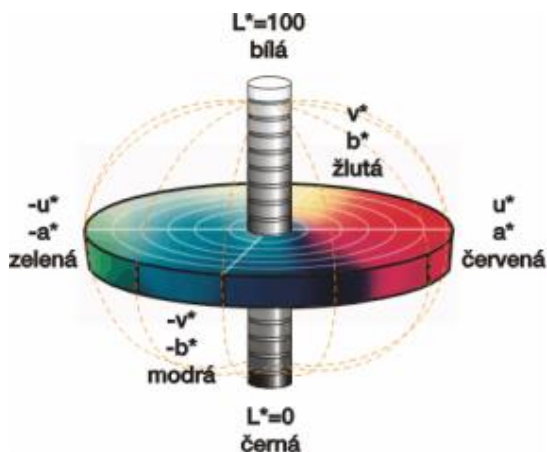
- › UV záření v exteriéru během 2 let  $\approx$  UV záření v komoře během 2016 hodin

Vzhledem k tomu, že množství záření v exteriéru je velmi variabilní, můžeme za těchto předpokladů na základě uvedených vztahů uvažovat přibližnou rovnost dopadající UV

záření v exteriéru a laboratorních podmínkách, což je uvedeno i v práci Fedora a Brennana (1996).

#### 4.4 URČOVÁNÍ BAREVNÝCH ZMĚN A JEJICH HLOUBKY

Barva dřeva byla zaznamenávána v barevném prostoru LAB, který obsahuje množinu všech barev zachytitelných lidským okem. Souřadnice  $L^*a^*b^*$  přesně definují měřenou barvu v jejím odstínu, sytosti i jas. Systém vychází z protikladu (párů barev) tzv. původních barev, tj. červená-zelená, žlutá-modrá, černá – bílá. Ve středu kruhového diagramu se nachází odstíny šedé barvy. Rozložení barev a polohu souřadnicových os zobrazuje model barevného prostoru  $L^* a^* b^*$  v podobě koule na Obrázek 4.8.



Obrázek 4.8: Barevný prostor CIE Lab (Geo 2008) - složka  $L^*$  (světlost) se zobrazuje na svislé ose a nabývá hodnot od 0% (červená) až po 100% (bílá). Hodnota  $a^*$  (-60;60) vyjadřuje polohu barvy mezi zelenou (záporná část osy) a červenou barvou (kladná část osy) a hodnota  $b^*$  (-60;60) polohu barvy na ose modrá-žlutá (modrá leží na záporné části osy, žlutá na kladné části osy).

Barva byla určována pomocí spektrofotometru Konica Minolta 600d (Konica Minolta, Japonsko) dle požadavků CIE (1976) a na základě norem ISO 7724-1 (1984), ISO 7724-2 (1984) a ISO 7724-3 (1984) a ASTM D2244-16 (2016)– viz Obrázek 4.9. Přístroj byl nastaven na světelný zdroj D65 a pozorovací úhel  $10^\circ$  (CIE  $L^*a^*b^*$  standard). Parametry  $L^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$  byly pravidelně měřeny na 10 vyznačených místech v rámci jednoho vzorku během expozice povětrnostnímu stárnutí v režimu SCI (Specular component included), tzn. včetně složky odrazivosti, který je používán pro hodnocení skutečné barvy objektu (Obrázek 4.10).





Obrázek 4.9: Měření barevných parametrů spektrofotometrem (foto Oberhofnerová)



Obrázek 4.10: Značení míst měření (tečky pro měření barvy a lesku, čárky pro drsnost) (Oberhofnerová)

Jakoukoliv barvu viditelného spektra dokážeme rozložit na základní barevné složky L, a, b. Na matematické číselné vyjádření odchylky (změn) dvou barev se využívá Euklidovská vzdálenost značená jako barevná odchylka  $\Delta E^*$ . Barevná diference  $\Delta E^*$  mezi barvou před stárnutím a po stárnutí se stanovuje podle metody CIE 1976 a ISO 7724-3 (1984) a počítá se podle rovnice:

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

kde  $L^*$  je jas, nebo světlost barvy od 0 (černá) do 100 (bílá),  
 $a^*$  je souřadnice s odstínem mezi červenou (+60) a zelenou (-60),  
 $b^*$  je souřadnice s odstínem mezi žlutou (+60) a modrou (-60).

Odchylka do  $\Delta E^* \leq 3$  je považována za shodnou pro subjektivního pozorovatele, za neodlišitelnou barvu (Sehlstedt-Persson 2003) – viz Tabulka 4.5.

Tabulka 4.5: Barevné změny (Cividini et al. 2007)

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

### Určování hloubky barevných změn

Hloubka barevných změn byla určována jemným odbrušováním povrchu dřeva brusným papírem se zrnitostí 120 do té doby, než byl rozdíl barevnosti odbroušené vrstvy a původní barvy vzorku před expozicí menší, než je hodnota barevného rozdílu nerozpoznatelná lidským okem ( $\Delta E^* < 3$ ). K tomu byl použit spektrofotometr Konica Minolta 600d (Konica Minolta, Japonsko). Tloušťka odbroušené vrstvy byla určena úchytkoměrem. Měření proběhlo na 8 místech na každém vzorku.

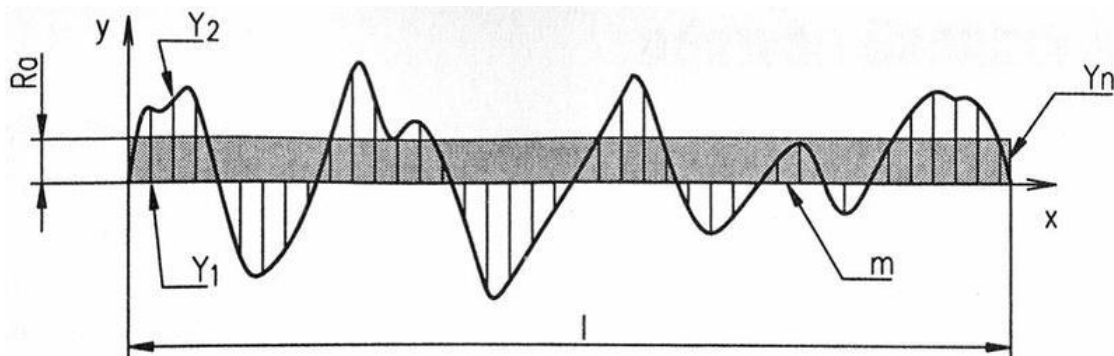
## 4.5 URČOVÁNÍ ZMĚN LESKU

Měření lesku povrchu zkušebních těles a jeho změn probíhalo před a v průběhu expozice přirozeným a umělým podmínkám pomocí spektrofotometru Konica Minolta 600d (Konica Minolta, Japonsko) na základě nenormovaných postupů při nastaveném pozorovacím úhlu  $10^\circ$  (Obrázek 4.9). Pro každý druh dřeviny a nátěru bylo provedeno 10 měření.

## 4.6 URČOVÁNÍ ZMĚN DRSNOSTI

Drsnost povrchu vzorků byla určena na základě EN ISO 4287 (1997) a EN ISO 4288 (1996) za použití profiloměru Talysurf Form Intra (Taylor-Hobson, UK) s 60 mm raménkem a softwaru Taylor Hobson (Obrázek 4.12). Měření probíhalo ve 4 místech každého vzorků, kolmo na vlákna dřeva na radiální ploše (Obrázek 4.10). Parametry měření byly nastaveny v souladu s normou EN ISO 4288 (1996) - s mezní vlnovou délkou  $\lambda_c = 2,5$  a základní délkou  $l = 15$  mm. Byly naměřeny standardizované parametry určující drsnost povrchu:

- $R_a$  Průměrná aritmetická odchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ] - viz Obrázek 4.11  
 $R_t$  Největší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $R_z$  Celková výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]



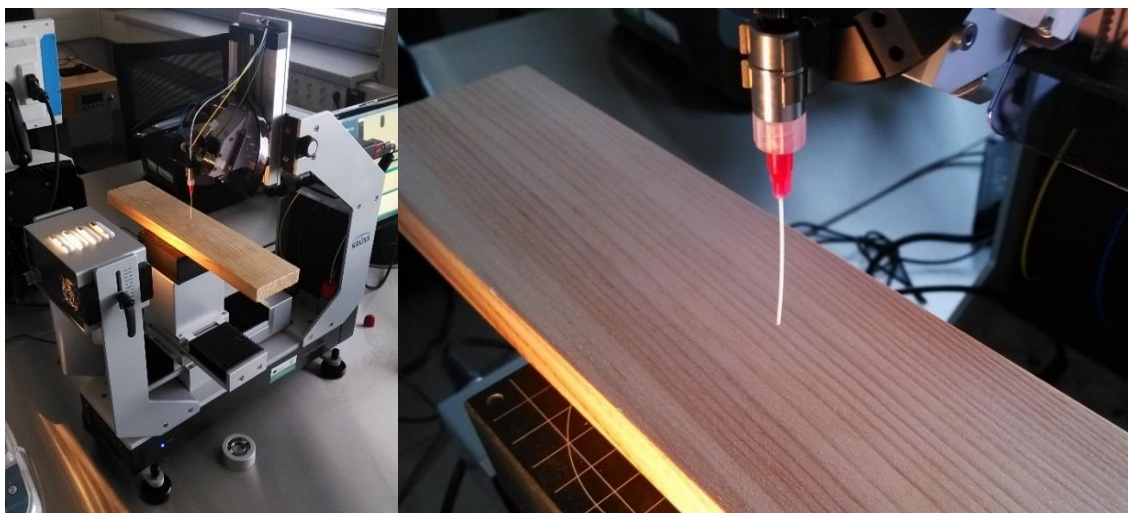
Obrázek 4.11: Měření drsnosti povrchu – parametr  $R_a$  (Měření jakosti povrchu 2014)



Obrázek 4.12: Určování drsnosti povrchu kontaktním profiloměrem (foto Oberhofnerová)

## 4.7 URČOVÁNÍ ZMĚN SMÁČIVOSTI POVRCHU

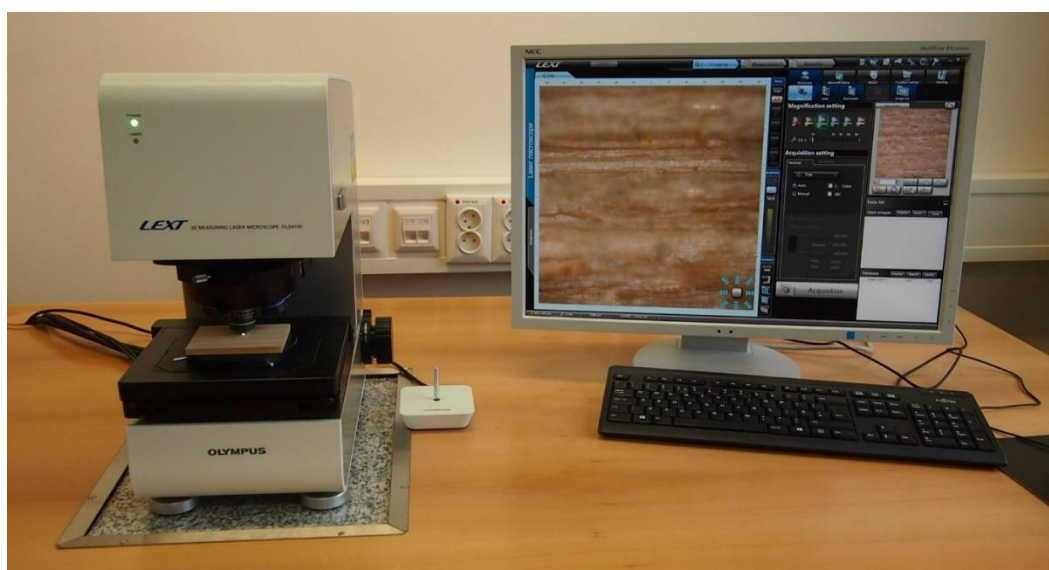
Smáčivost se vyjadřuje pomocí hodnoty kontaktního úhlu. Kontaktní úhel byl měřen přístrojem goniometr Krüss DSA 30E (Krüss GmbH, Německo) pomocí softwaru Advance (Krüss GmbH, Německo) na radiálním povrchu zkušebních vzorků za použití metody spuštěné kapky (Obrázek 4.13). Na každém vzorku proběhlo 12 měření. Používala se destilovaná voda a kapka o objemu 5  $\mu\text{l}$ . Hodnota kontaktního úhlu byla určována v čase 5 s po dopadu na povrch zkušebních těles dle metodiky použité i v jiných studiích (Bastani et al. 2015; Gonzalez de Cademartori et al. 2015).



Obrázek 4.13: Goniometr (foto Oberhofnerová)

## 4.8 URČOVÁNÍ VIZUÁLNÍCH ZMĚN

Hodnocení povrchové degradace dřeva a nátěrů proběhlo za využití skeneru Canon 2520 MFP s rozlišením 300 DPI (Canon, Japonsko). Další vizuální a povrchové analýzy a 3D zobrazení byly provedeny na konfokálním laserovém skenovacím mikroskopu Lext OLS4100 (Olympus, Japonsko) – viz Obrázek 4.14. Míra degradace povrchu byla hodnocena před a během expozice na základě souboru norem EN ISO 4628-2 (2003), EN ISO 4628-4 (2016) a EN ISO 4628-6 (2011).



Obrázek 4.14: Laserový konfokální mikroskop (foto Oberhofnerová)

## 4.9 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ

Statistické vyhodnocení naměřených dat bylo provedeno za použití programu Statistica 12 (Statsoft, USA) a MS Excell 2013 (Microsoft, USA) za využití průměrných hodnot, směrodatných odchylek, lineárních korelací, vícefaktorových analýz rozptylu (ANOVA) a Tukeyova HSD post hoc testu se stanovenou hladinou významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Ve statistickém vyhodnocení byla určována významnost jednotlivých faktorů a jejich interakcí (druh dřeviny, délka expozice, typ nátěrového systémů) na testované proměnné (barevné parametry, celkový barevný rozdíl, lesk, aritmetická odchylka drsnosti povrchu a kontaktního úhel). V uvedených grafech analýz rozptylu výsledky ve vertikálních sloupcích reprezentují 95% interval spolehlivosti. Pro zjištění statistické významnosti rozdílů mezi jednotlivými průměrnými hodnotami byl použit Tukeyův (HSD) test. Číselné hodnoty vyjadřují nejmenší hladinu významnosti, na které lze hypotézu o rovnosti průměrů zamítnout. Pro snazší interpretaci výsledků jsou červeně zvýrazněny číselné hodnoty menší než 0,05 (zvolená hladina významnosti pro vyhodnocování), které značí nerovnost dvou průměrů, tzn., že mezi zkoumanými variantami byl nalezen statisticky významný rozdíl.

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Prezentované výsledky se vztahují k dvouleté expozici zkušebních těles v exteriéru a tomu odpovídajícím 2016 hodinám v QUV komoře. Tyto časy expozice jsou srovnatelné na základě hodnoty dopadajícího množství UV záření (viz kapitola 4.3). Následující text je rozdělen do dvou podkapitol, první se věnuje změnám vlastností neošetřeného dřeva vystaveného přirozenému a umělému stárnutí (kapitola 5.1) a druhá část pak smrku ošetřenému transparentními nátěrovými systémy (kapitola 5.2). Průběžné výsledky týkající se roční expozice neošetřeného dřeva přirozenému stárnutí byly již publikovány ve dvou pracích (Oberhofnerová a Pánek 2016; Oberhofnerová et al. 2017).

### 5.1 NEOŠETŘENÉ DŘEVO VYSTAVENÉ POVĚTRNOSTI

Ve statistickém vyhodnocení se pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu prokázalo, že faktory druh dřeviny, délka expozice a také jejich interakce měly statisticky významný vliv ( $p < 0,05$ ) na zkoumané vlastnosti po testu přirozeným i umělým povětrnostním stárnutím (změna barevných parametrů  $\Delta E^*$ ,  $L^*$  a  $b^*$ , lesku  $\Delta G^*$ , drsnosti  $\Delta Ra^*$ , smáčivosti  $\Delta KU^*$ ) – viz Tabulka 5.1.

Tabulka 5.1: Významnost jednotlivých faktorů na testované proměnné

Faktory	Odpovídající proměnné													
	$\Delta E_{PS}^*$	$\Delta E_{US}^*$	$L_{PS}^*$	$L_{US}^*$	$a_{PS}^*$	$a_{US}^*$	$b_{PS}^*$	$b_{US}^*$	$G_{PS}^*$	$G_{US}^*$	$Ra_{PS}^*$	$Ra_{US}^*$	$KU_{PS}^*$	$KU_{US}^*$
Druh dřeviny (DD)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Délka expozice (DE)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
DD x DE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

\* značí  $p < 0,05$ ; PS = přirozené stárnutí; US = umělé stárnutí; G = lesk

#### 5.1.1 Barevné změny

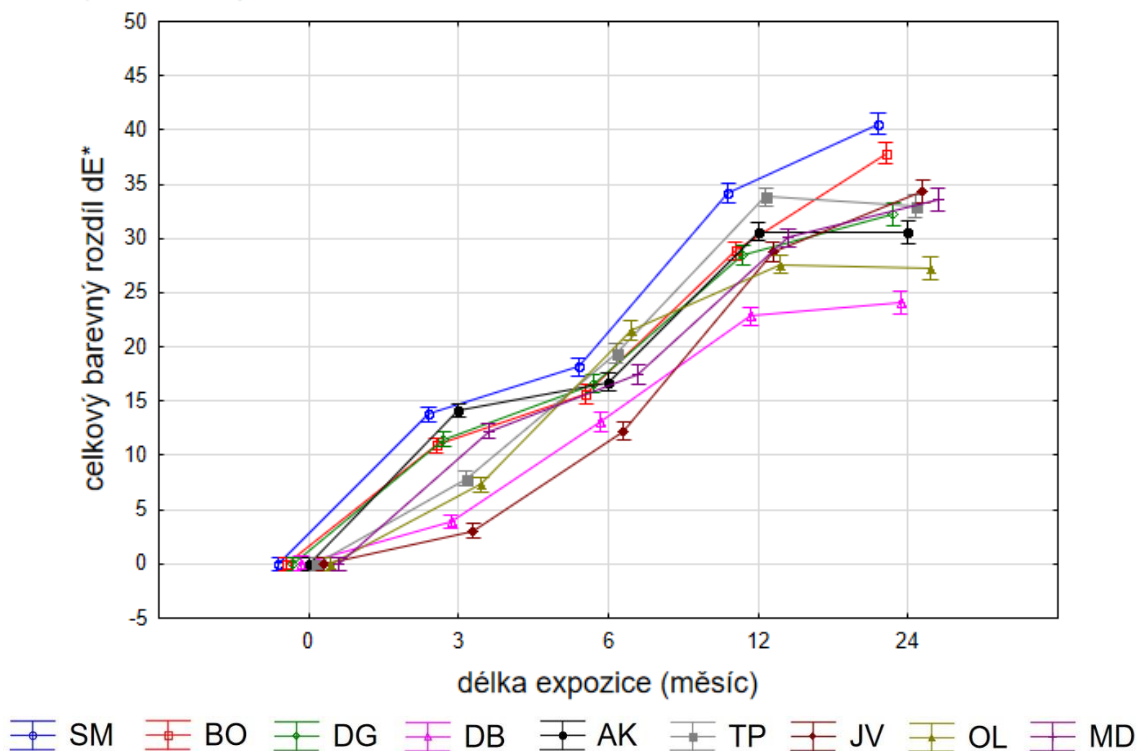
Výsledky dosažené po dvou letech expozice v exteriéru potvrzují tvrzení, že barva dřeva není pouze estetická záležitost, ale že reflektuje základní chemické složení dřeva (Hon et al. 1985; Tolvaj a Papp 1999) a její změna vlivem povětrnosti slouží jako základní parametr určující stupeň degradace materiálu (De Windt et al. 2014, Moya et al. 2016). Pokud dřevo obsahuje velké množství extraktiv, chemický proces výrazných barevných změn rychle započíná. U dřevin s nižším obsahem extraktivních látek brzy

začíná pomalejší, za to ale průběžná fotodegradace ligninu. Celkové barevné změny ( $\Delta E^*$ ) vykazují systematický trend ke zvyšování hodnot s rostoucí dobou expozice během přirozeného stárnutí (Kropf et al. 1994; Nzokou et al. 2011; Turkoglu et al. 2015) i umělého stárnutí (Temiz et al. 2005; Ozgenc et al. 2012). Všechny testované dřeviny dosáhly vysokých barevných změn značících odlišnou barvu (Tabulka 4.5). V případě přirozeného stárnutí (Tabulka 5.2 a Graf 5.1) byl nejvyšší nárůst barevných změn pozorován během počáteční fáze vystavení povětrnosti jako i v dalších studiích (Sharrat et al. 2009). Po jednoleté expozici v exteriéru byly nejvyšší barevné změny zaznamenány pro smrk a nejnižší pro dub. Po 2 letech expozice se tyto výsledky nezměnily, nejvyšší barevný rozdíl  $\Delta E^*=40,4$  byl naměřen pro smrk a borovici  $\Delta E^*=37,9$  a nejnižší barevné změny byly pozorovány pro dubové dřevo  $\Delta E^*=23,7$  a olši  $\Delta E^*=26,8$ . Změna barevného odstínu při PS je ovlivňována jak vyplavováním ligninu a extraktiv (Pastore et al. 2004), tak usazováním prachových částic a nečistot do narušené a zdrsňeného povrchu zejména jehličnatého dřeva (Oberhofnerová et al. 2017). U dřevin s nižší přirozenou trvanlivostí (EN 350 2016) je barva ovlivněna také působením plísní a dřevozbarvujících hub (Reinprecht 2012).

V případě umělého stárnutí (Tabulka 5.3 a Graf 5.2) došlo také k největším barevným změnám v počáteční fázi testování. Celkově byl nejvyšší barevný rozdíl zaznamenán pro olši  $\Delta E^*=28,3$  a akát  $\Delta E^*=26,9$  a nejnižší pro smrk  $\Delta E^*=13,9$  a topol  $\Delta E^*=15$  po 2016 hodinách expozice, což v podstatě téměř odpovídá opačným výsledkům než v případě přirozeného stárnutí. U smrku je možné pozorovat rychlý nárůst barevných změn (Graf 5.2) a jejich následný pokles a ustálení, což je způsobeno rychlým vyplavením extraktiv a postupným světláním povrchu již tak světlého povrchu (ustálení barevných změn) vlivem umělého stárnutí.

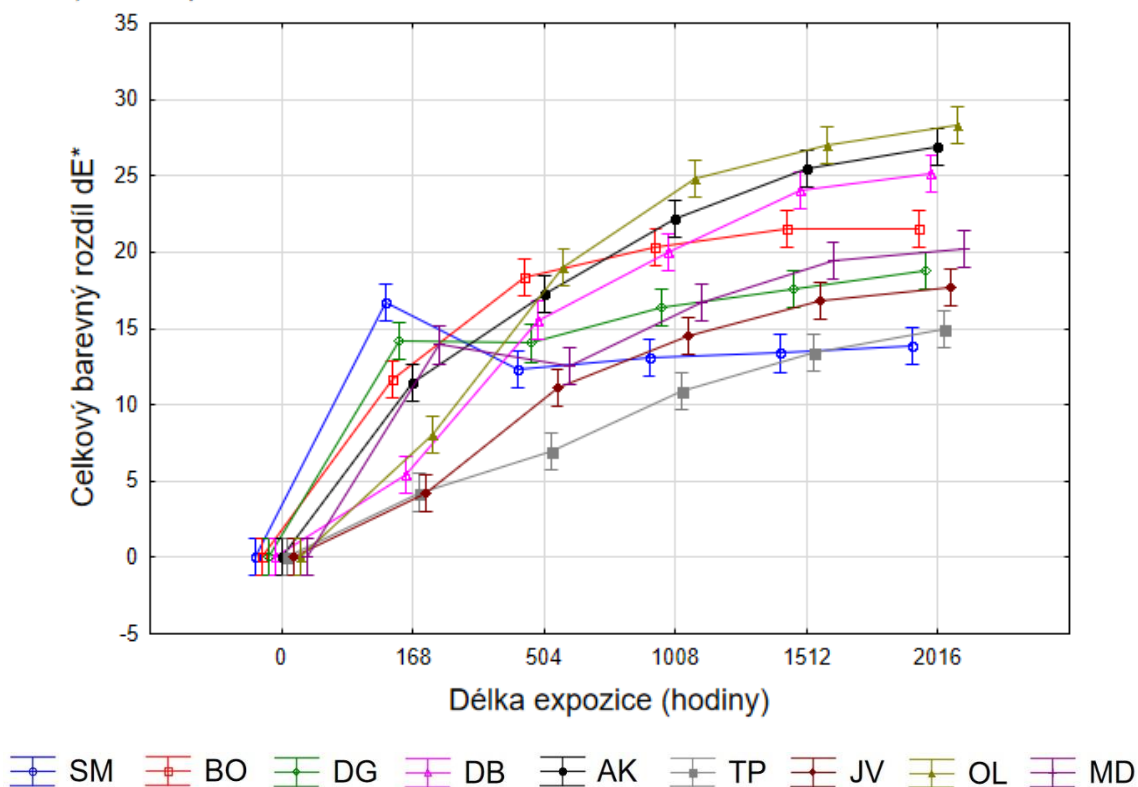


a) Přirozené povětrnostní stárnutí



Graf 5.1: Celkový barevný rozdíl v průběhu dvou let přirozeného stárnutí

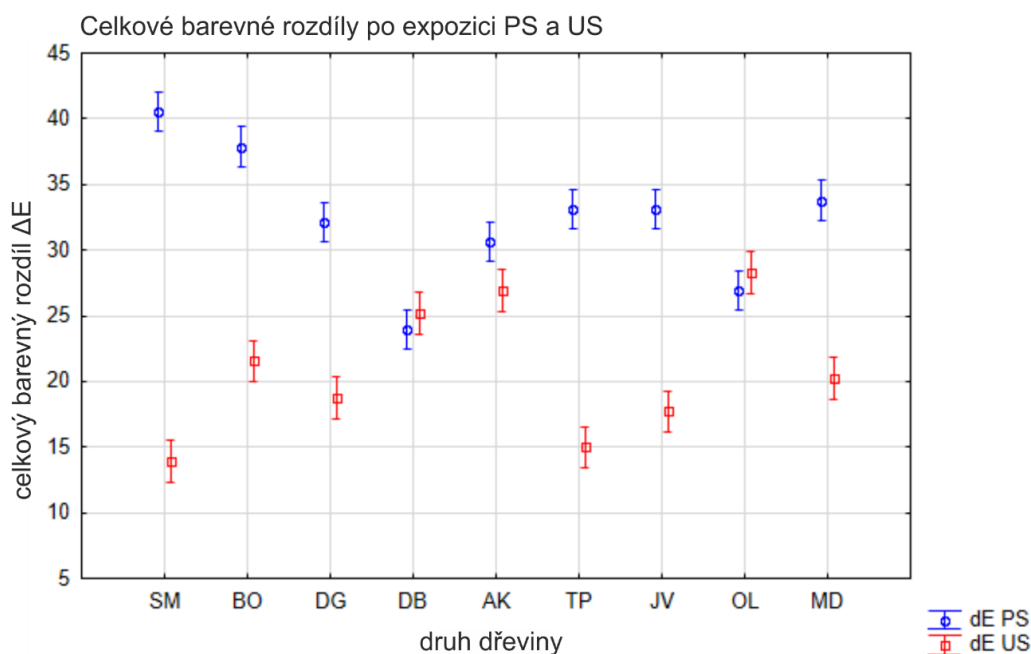
b) Umělé povětrnostní stárnutí



Graf 5.2: Celkový barevný rozdíl v průběhu 2016 hodin umělého stárnutí



Následující graf ukazuje porovnání celkových barevných změn po dvouleté expozici v exteriéru a 12 týdnech v UV komoře (Graf 5.3). Obecně vyšší barevné změny byly zaznamenány v průběhu přirozeného povětrnostního stárnutí. Ze statistické analýzy pomocí HSD Tukeyho testu vyplývá, že výsledky dosažené oběma testovacími metodami jsou statisticky odlišné s výjimkou DB, AK a OL (Příloha 3). Přirozeně tmavší dřeviny (DB, AK) nedosahují v exteriéru tak vysokých barevných změn jako světlé dřeviny, přesto, že u nich dochází k vyplavování extraktivních látek (Pastore et al. 2004). Právě dub, akát a olše dosáhly nejnižších barevných změn z testovaných dřevin při expozici PS (Graf 5.1) a naopak nejvyšších při US, kde má dřevo tendenci světlat. Největší rozdíl ve výsledcích byl pozorován pro smrk. Je to dřevina, která se na začátku testování vyznačovala jednou z nejvyšších hodnot světlosti  $L^*$  (Tabulka 4.1). Díky tomu vzniká i rozdíl mezi hodnotami barevných změn po provedení testů PS a US. Světlé dřeviny s nízkou přirozenou trvanlivostí mají tendenci v exteriéru tmavnout a šedivět a dosahují vysokých barevných změn (Dawson et al. 2008). Tento jev se neprojevuje při testování v laboratorních podmínkách, kdy naopak dřevo ještě více světlá, tzn., že u přirozeně světlých dřevin nedochází během US k tak výrazným barevným změnám.



Graf 5.3: Celkové barevné změny po testu PS a US

Pro bližší hodnocení barevných změn a jejich průběhu jsou dále uvedeny tabulky s průměrnými hodnotami a směrodatnými odchylkami jednotlivých barevných parametrů ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) v průběhu expozice PS a US (Tabulka 5.2 a Tabulka 5.3).

Tabulka 5.2: Změny barevných parametrů během dvouleté expozice přirozenému povětrnostnímu stárnutí dle EN 927-3

Přirozené povětrnostní stárnutí

Čas expozice	0				3				6				12				24																							
	L	a	b	dE	L	a	b	dE	L	a	b	dE	L	a	b	dE	L	a	b	dE																				
AKÁT	71,47	1,60	2,71	0,54	26,77	1,58	0	0	61,77	4,97	9,95	1,01	20,79	1,51	14,14	5,16	64,96	1,88	4,76	0,56	12,16	0,94	16,76	2,00	49,29	1,80	1,44	0,23	6,64	0,43	30,64	2,19	51,82	1,55	1,45	0,24	4,41	0,70	30,56	2,15
BOROVICE	81,60	1,66	3,53	0,90	23,71	1,69	0	0	71,79	1,28	7,67	0,70	23,24	1,28	10,95	1,92	70,45	1,15	5,54	0,74	13,30	1,98	15,62	1,36	58,97	1,64	1,27	0,37	5,95	1,05	28,86	1,78	49,96	1,28	0,88	0,20	2,83	0,80	37,87	1,35
DUB	65,98	1,94	6,37	0,29	20,52	0,43	0	0	68,06	1,29	4,49	0,38	16,64	1,29	3,89	2,63	70,15	1,86	1,73	0,35	9,18	1,10	13,07	1,41	50,57	1,20	0,77	0,16	4,87	0,55	22,81	1,58	49,29	1,73	1,15	0,11	4,43	0,75	24,03	2,18
DOUGLASKA	72,43	1,98	11,61	0,99	21,57	1,11	0	0	61,42	1,90	11,09	1,15	21,57	2,02	11,50	2,26	60,08	2,34	6,27	1,27	13,11	2,36	16,59	1,45	51,37	2,49	1,60	0,38	5,87	0,87	28,48	1,99	48,15	1,56	1,22	0,29	3,47	0,66	32,16	1,16
JAVOR	79,23	1,13	5,20	0,23	16,98	0,69	0	0	77,44	0,97	4,85	0,16	19,06	0,47	3,04	1,19	74,29	3,65	1,40	0,31	7,19	0,39	12,23	2,05	54,48	1,79	0,51	0,10	3,12	0,57	28,75	2,19	47,81	4,69	1,78	1,08	3,96	2,08	34,28	4,29
MODŘÍN	72,02	2,14	11,09	1,18	22,34	1,14	0	0	60,03	3,84	11,37	1,46	23,03	1,05	12,22	4,17	58,99	4,28	5,90	1,39	13,15	1,48	17,48	2,80	49,94	3,72	1,35	0,42	5,02	0,87	30,08	2,73	47,04	3,29	0,99	0,15	2,83	0,45	33,53	3,09
OLŠE	72,03	1,60	11,11	0,69	21,78	0,92	0	0	66,44	3,36	7,10	0,57	21,41	1,56	7,45	2,84	58,70	3,82	1,98	0,41	8,52	1,25	21,52	2,59	53,19	2,43	1,24	0,24	4,84	0,97	27,58	2,69	54,00	2,56	1,50	0,51	4,37	0,99	27,26	2,84
SMRK	84,29	0,58	3,78	0,18	19,72	0,69	0	0	72,69	0,94	8,16	0,43	25,47	0,73	13,79	1,06	68,04	1,23	4,84	0,68	12,22	1,09	18,15	1,00	54,14	1,44	0,91	0,27	4,22	1,41	34,17	1,04	47,77	0,75	0,81	0,11	2,45	0,36	40,58	0,69
TOPOL	82,38	2,29	4,16	0,55	16,69	0,54	0	0	75,73	0,81	5,18	0,36	20,24	1,40	7,87	2,20	65,68	4,97	1,49	0,50	8,50	1,20	19,40	5,11	51,68	1,50	0,76	0,10	3,84	0,42	33,81	2,36	52,35	2,73	1,39	0,38	4,43	1,18	32,99	3,55

Pozn. Směrodatné odchylky psané šedivě kurzívou

Tabulka 5.3: Změny barevných parametrů během 2016 hodin expozice umělému povětrnostnímu stárnutí dle EN 927-6

Umělé povětrnostní stárnutí

Expozice	0				168				504				1008				1512				2016																											
	L	a	b	dE	L	a	b	dE	L	a	b	dE	L	a	b	dE	L	a	b	dE	L	a	b	dE																								
AKÁT	70,07	1,04	4,85	0,76	26,89	1,79	0,00	0,00	65,57	2,09	8,18	0,59	17,09	1,09	11,42	2,93	73,49	2,15	5,01	0,51	10,14	0,87	17,29	1,84	78,56	2,01	2,62	0,24	6,73	0,94	22,14	1,79	82,33	1,64	1,66	0,16	4,88	0,59	25,51	1,35	84,08	1,89	1,14	0,12	4,35	0,89	26,90	1,15
BOROVICE	76,64	1,88	8,63	1,80	27,11	1,70	0,00	0,00	68,03	2,66	10,52	1,12	20,87	1,39	11,65	1,74	72,50	4,44	6,80	1,69	10,62	2,57	18,34	2,82	75,14	5,84	4,85	1,86	8,58	3,04	20,37	4,08	77,85	6,91	3,98	1,98	7,59	3,19	21,48	5,40	76,40	9,93	4,45	3,05	9,11	5,62	21,55	5,99
DUB	67,69	0,71	6,15	0,20	20,84	0,23	0,00	0,00	69,13	1,53	5,20	0,45	15,78	1,40	5,41	1,65	78,14	1,35	2,86	0,28	9,83	1,26	15,54	2,07	82,37	2,22	1,66	0,42	8,03	2,11	20,00	3,36	85,73	2,07	0,93	0,31	5,80	1,78	24,07	2,99	86,98	2,15	0,67	0,27	5,64	1,85	25,17	3,10
DOUGLASKA	71,43	2,82	11,67	1,41	21,43	1,05	0,00	0,00	57,89	5,25	13,38	2,94	21,14	3,86	14,16	4,08	60,72	6,21	10,31	2,75	14,20	3,66	14,02	4,50	70,17	6,24	5,23	1,81	7,03	2,72	16,37	2,32	72,91	5,47	4,26	1,66	6,05	2,14	17,55	2,70	73,70	6,73	3,79	1,56	5,38	2,12	18,77	2,42
JAVOR	82,03	0,41	4,76	0,15	17,87	0,17	0,00	0,00	79,24	0,50	6,01	0,23	15,13	0,62	4,17	0,26	85,44	0,40	3,22	0,17	7,41	0,53	11,12	0,71	88,68	0,36	1,62	0,13	5,41	0,81	14,48	1,00	90,87	0,58	1,01	0,09	4,09	1,09	16,81	1,29	91,76	0,71	0,70	0,08	3,66	1,00	17,70	1,29
MODŘÍN	72,14	1,83	10,84	0,76	23,45	0,68	0,00	0,00	58,90	0,86	14,98	0,63	23,67	0,82	13,91	1,86	65,67	1,44	9,61	0,83	13,27	1,69	12,50	0,85	72,23	1,45	5,53	0,64	7,91	0,98	16,68	1,09	76,48	1,42	4,05	0,47	5,90	0,88	19,48	1,36	77,56	2,70	3,56	0,74	5,65	1,87	20,25	2,81
OLŠE	71,13	0,64	11,17	0,28	21,59	0,53	0,00	0,00	69,54	1,15	7,70	0,95	14,62	1,95	8,09	1,57	79,69	1,81	3,17	0,60	6,69	1,50	18,98	1,93	85,70	0,86	1,25	0,19	4,16	0,73	24,81	0,92	88,43	0,81	0,71	0,10	3,66	0,73	27,03	0,83	89,75	0,73	0,47	0,09	3,17	0,61	28,30	0,89
SMRK	83,75	0,56	4,01	0,22	20,41	0,40	0,00	0,00	70,74	0,90	10,94	0,23	28,18	1,05	16,68	0,88	73,71	2,52	9,25	0,69	16,50	2,35	12,30	1,15	75,83	3,32	6,89	1,17	11,13	2,68	13,12	0,77	77,88	3,57	5,63	1,30	9,21	2,70	13,36	1,18	77,69	3,71	5,28	1,39	8,71	2,82	13,90	1,24
TOPOL	80,33	0,63	4,33	0,12	16,61	0,44	0,00	0,00	77,00	0,45	6,71	0,22	17,63	0,85	4,26	0,64	82,53	0,40	4,42	0,26	10,05	0,60	6,94	0,69	85,25	0,67	2,70	0,24	7,01	0,76	10,92	1,02	87,75	1,10	1,70	0,25	5,71	1,50	13,45	1,83	89,00	1,37	1,25	0,28	4,80	1,43	14,98	2,05

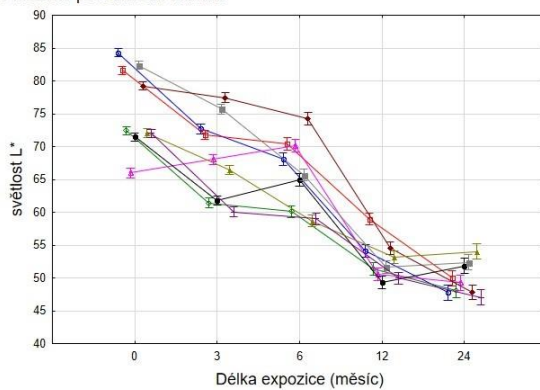
Pozn. Směrodatné odchylky psané šedivě kurzívou

Hodnota světlosti  $L^*$  se během dvouleté expozice při zkoušce přirozeným povětrnostním stárnutím snížila u všech dřevin (Tabulka 5.2 a Graf 5.4). Pouze v případě dubu a akátu došlo v průběhu testu k dočasnému nárůstu parametru světlosti zaznamenané do doby 6 měsíců, pak nastal pokles této hodnoty. To může být vysvětleno vyplavováním vodorozpustných extraktiv (Pandey 2005b). Výsledky potvrdily tvrzení, že v počáteční fázi vystavení povětrnosti mají tmavší dřeviny tendenci světlat a světlé dřeviny naopak tmavnout (Dawson et al. 2008). Hodnoty  $a^*$  a  $b^*$  následovaly podobný trend jako v předešlých studiích (Ozgenç et al. 2012; Turkoglu et al. 2015). Souřadnice udávající červený odstín ( $a^*$ ) a souřadnice udávající žlutý odstín ( $b^*$ ) se na počátku mírně zvýšily a následně snížily. Pokles hodnot pokračoval až do konce testu. V konečné fázi testování byla pozorována již jen velice nízká změna parametrů. Mírné počáteční zvýšení  $b^*$  hodnot naznačuje degradaci ligninu v povrchových vrstvách dřeva (Evans et al. 1992; Müller et al. 2003; Turkoglu et al. 2015). Konečné snížení žlutého odstínu je zapříčiněno vyplavováním rozloženého ligninu a extraktivních látek vodou (Turkoglu et al. 2015). V případě umělého stárnutí došlo v průběhu expozice k očekávaným rozdílným změnám světlosti – nárůst  $L^*$  (Graf 5.4).

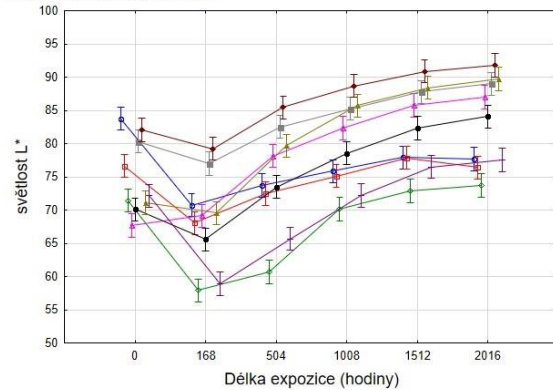
a)

b)

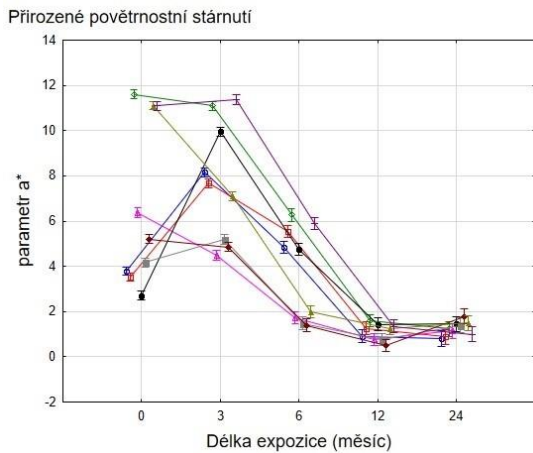
Přirozené povětrnostní stárnutí



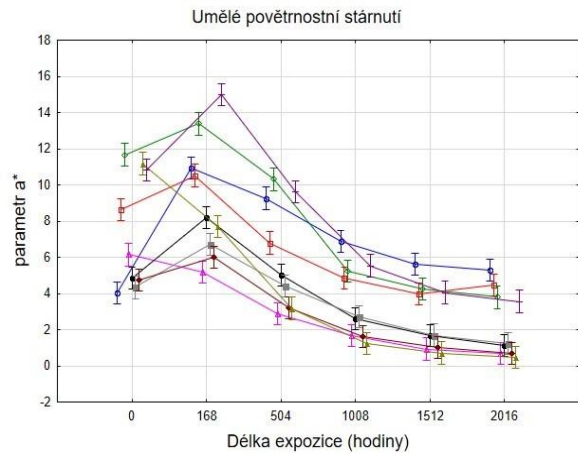
Umělé povětrnostní stárnutí



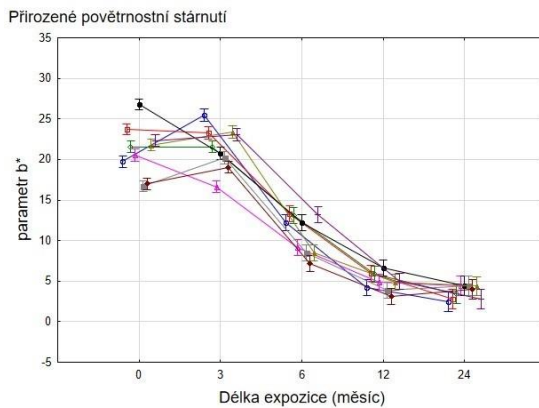
c)



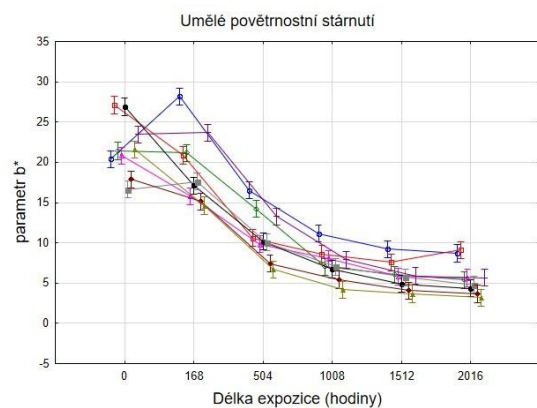
d)



e)



f)



SM BO DG DB AK TP JV OL MD

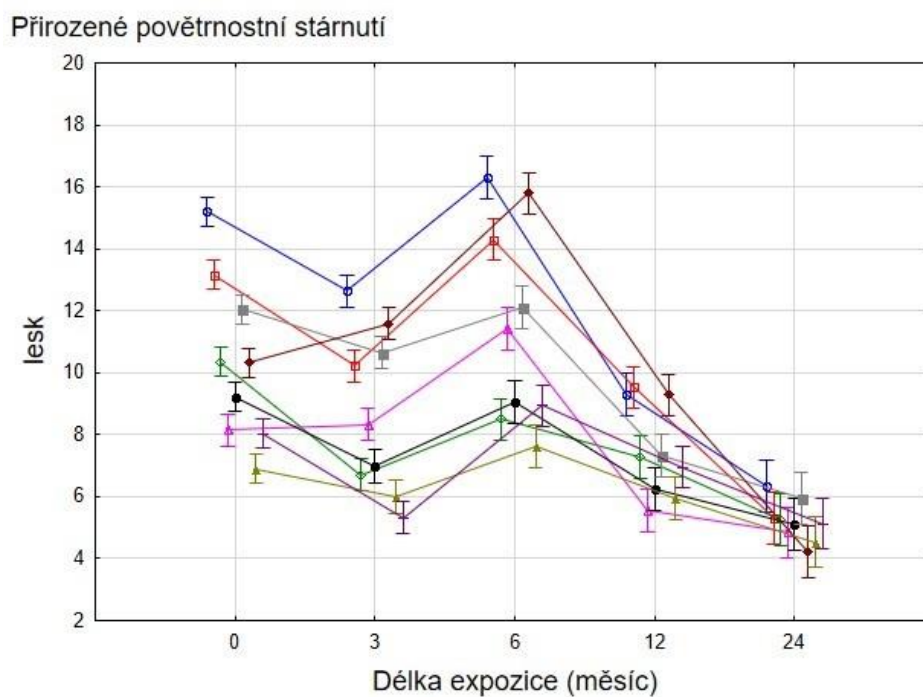
Graf 5.4: Barevné parametry (světlost  $L^*$ , parametr  $a^*$  a  $b^*$ ) při 2 letech přirozeného stárnutí (a,c,e) a 2016 hodinách umělého stárnutí (b,d,f)

### 5.1.2 Lesk

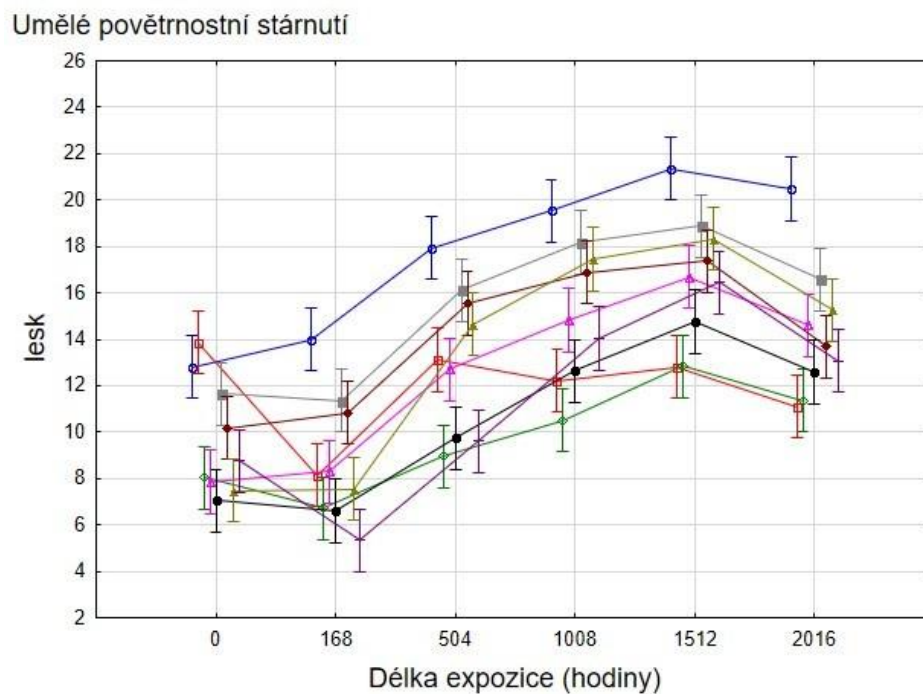
Lesk je dalším aspektem vizuálního vnímání objektů (Ghoshe et al. 2015). V průběhu dvouleté expozice přirozenému stárnutí a expozice po dobu 2016 hodin umělému stárnutí byly zaznamenány odlišné průběhy změn lesku (Graf 5.5). Při PS byl pozorován podobný průběh změn lesku u všech testovaných dřevin s největším rozdílem pro SM. Při US došlo naopak k nárůstu hodnoty (Graf 5.5). Wernstáhl (1996) uvádí, že ztráta lesku je způsobena nárůstem drsnosti, což v tomto případě odpovídá pouze výsledkům po PS (Graf 5.8). Například ve studii Pánka a dalších (2017) se hodnota lesku neošetřeného dubu v průběhu expozice US nijak výrazně neměnila. Lesk se totiž používá jako hodnotící kritérium zejména při testování degradace nátěrů, kdy

může být dokonce citlivějším parametrem pro hodnocení než celkový barevný rozdíl. Takový efekt hodnocení změn lesku byl zmíněn také ve studii Ghoshe a dalších (2015).

a)



b)

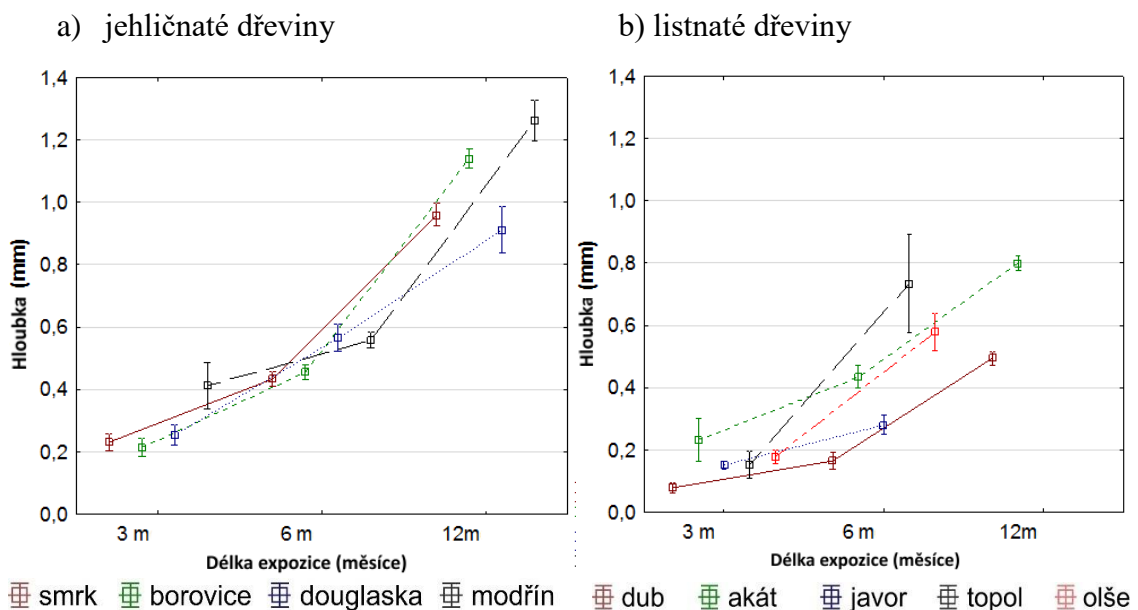


—○— SM  
 —□— BO  
 —△— DG  
 —◇— DB  
 —●— AK  
 —■— TP  
 —▲— JV  
 —▽— OL  
 —◇— MD

Graf 5.5: Změny lesku v průběhu dvou let přirozeného stárnutí (a) a 2016 hodin umělého stárnutí (b)

### 5.1.3 Hloubka barevných změn

Hloubka barevných změn byla zjišťována po roční expozici v exteriéru. Nejvyšší hodnota byla naměřena pro modřín (1,26 mm) a nejnižší pro dub (0,50 mm). Ve všech případech naměřené hodnoty hloubky barevných změn spadaly do intervalu 0,05-2,5 mm udávaného Feistem (1990) a Reinprechtem (2008). Tloušťka samotné degradované vrstvy se uvádí 125  $\mu\text{m}$ , pod ní se nachází zbarvená méně degradovaná vrstva o tloušťce 508 – 2540  $\mu\text{m}$  (Browne a Simonson 1957). V případě jehličnanů se při tomto experimentu dosáhlo relativně vyrovnaných hodnot. U listnatých dřevin byly hodnoty hloubky barevných změn více variabilní. Měření po 6 měsících expozice bylo provedeno pro všechny vzorky, ale po 12 měsících expozice již nebylo možné některé vzorky měřit (olše, topol, javor) v důsledku přítomnosti dřevozbarvujících hub, což způsobilo hlubší degradaci dřeva a ovlivnění barevných změn. Grafy ukazují vzájemný vztah barevných změn a jejich hloubky po 6 a 12 měsících venkovní expozice pro jehličnaté a listnaté dřeviny (Graf 5.6).

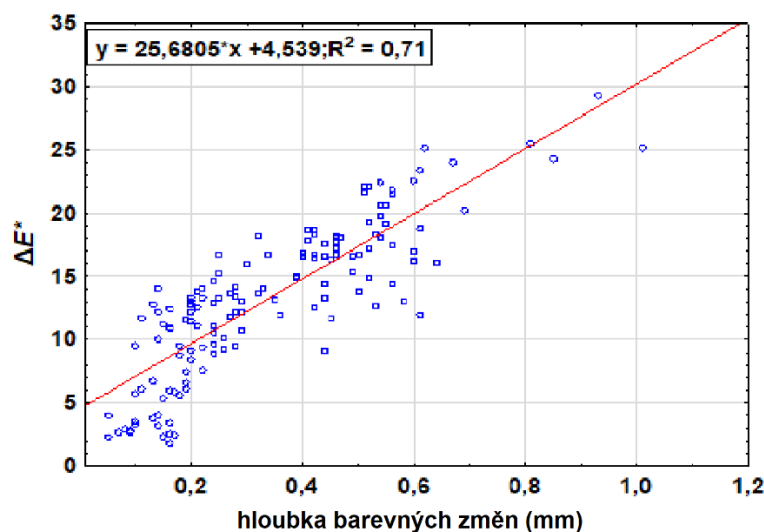


Graf 5.6: Hloubka viditelných barevných změn jehličnatých dřevin (a) a listnatých dřevin (b) během 12 měsíců venkovní expozice zobrazených jako 95% oboustranný interval spolehlivosti

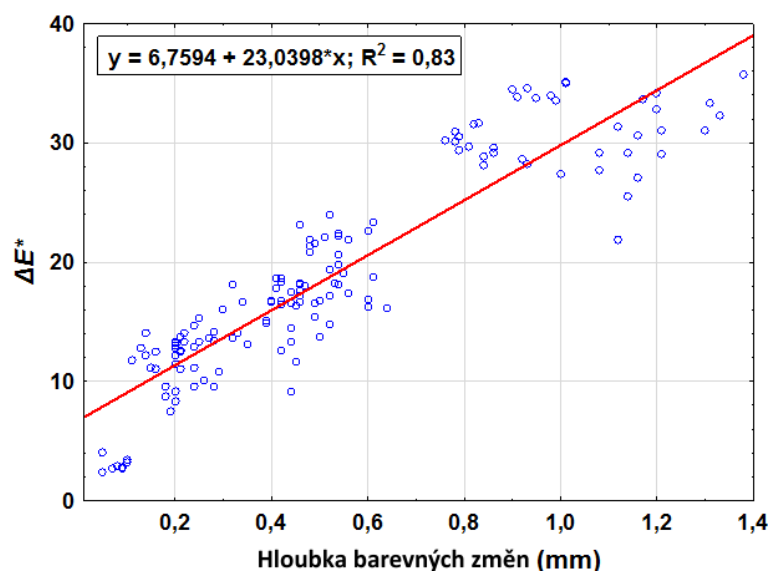
Byla zjištěna relativně vysoká korelace hloubky barevných změn a celkových barevných změn  $\Delta E^*$  po 6 měsících ( $R^2 = 0,71$ ) a 12 měsících expozice ( $R^2 = 0,83$ ) - viz Graf 5.7. Na základě toho lze konstatovat, že hloubka barevných změn odpovídá jejich velikosti. Čím vyšší barevná změna, tím více je zasažena povrchová vrstva dřeva.

Větší hloubky barevných změn jehličnatých dřevin korespondují s dosaženými vyššími barevnými změnami (viz kapitola 5.1.1 a Graf 5.6). Samotné UV záření je sice schopno proniknout jen cca 75  $\mu\text{m}$  od povrchu dřevěného prvku a viditelné záření asi 200  $\mu\text{m}$ , ale pronikání záření závisí také na hustotě dřeva a vlnových délkách. Dřevo s vyšší hustotou je méně zasaženo UV zářením a kratší vlnové délky obecně penetrují do povrchu méně (Rowell 2005). Hlubší barevné změny jsou zejména způsobeny rozkladem ligninu slunečním zářením a následným vznikem volných radikálů (Browne a Simonson 1957).

a)



b)



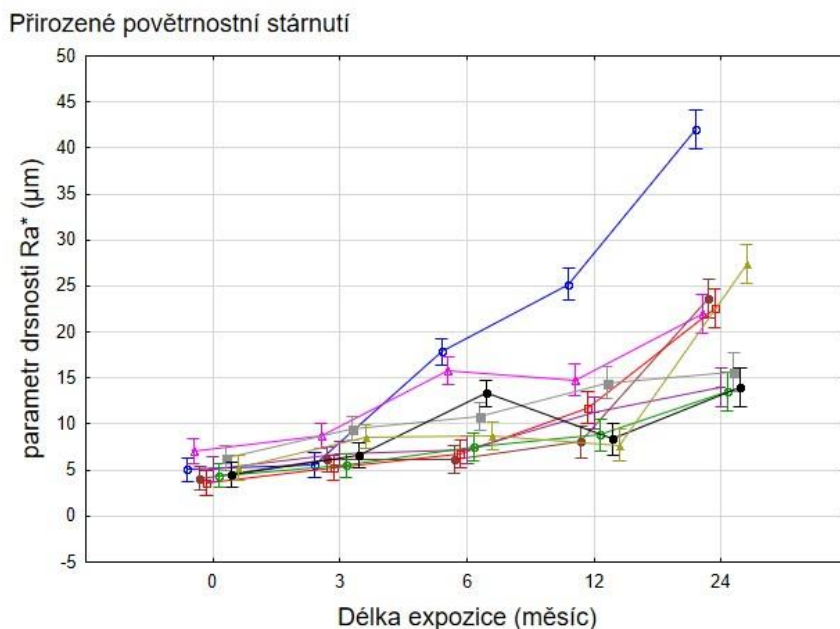
Graf 5.7: Korelace mezi celkovými barevnými změnami a jejich hloubkou po 6 měsících v exteriéru pro 9 dřevin bez povrchové úpravy (a) a po 12 měsících v exteriéru pro 6 dřevin (b)



### 5.1.4 Změny drsnosti povrchu dřeva

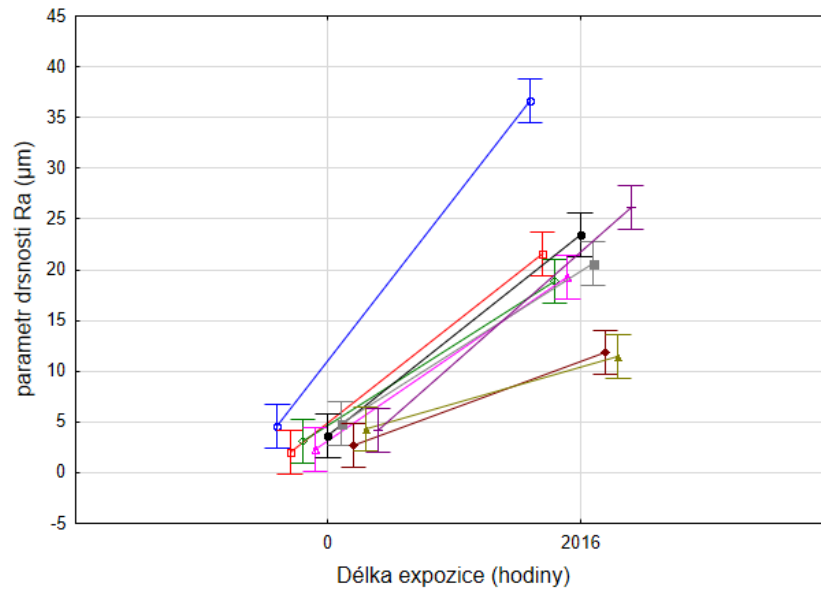
Během dvouleté expozice docházelo ke zvyšování parametru drsnosti – průměrné aritmetické odchylky profilu ( $Ra^*$ ) - u všech testovaných dřevin jako i v dalších studiích (Nzokou et al. 2011; Tolvaj et al. 2014; Mohebbi a Saei 2015). Nejvyšší hodnota byla zaznamenána pro smrk  $\Delta Ra^* = 37 \mu\text{m}$  při PS a  $\Delta Ra^* = 32 \mu\text{m}$  a nejnižší pro douglasku při PS  $\Delta Ra^* = 13,5 \mu\text{m}$  a olši při US  $\Delta Ra^* = 7,2 \mu\text{m}$  (Graf 5.8). Relativně velké rozdíly hodnot drsnosti mohou být vysvětleny erozí povrchu, která je jasně patrná zejména v jarním dřevě, které se vyznačuje nižší hustotou a tenčími buněčnými stěnami (Požgaj et al. 1993). Výsledkem je větší a rychlejší degradace jarního dřeva (Tolvaj et al. 2014), zejména u jehličnatých dřevin s nižší hustotou, což bylo potvrzeno v případě smrkového dřeva v této práci v obou případech povětrnostního stárnutí (Graf 5.8). Jakékoliv částečné navýšení drsnosti povrchu je také spojeno s degradací polymerů (zejména ligninu) a jejich vyplavováním z povrchu (Feist 1982). V případě hodnocení změn drsnosti bylo dosaženo obdobných závěrů při obou zkušebních postupech, ale u umělého stárnutí byla výsledná hodnota drsnosti výrazně vyšší než v případě přirozeného stárnutí, což může být vysvětleno rychlým střídáním jednotlivých cyklů, vznikem trhlin a degradacemi povrchu bez usazování nečistot.

a)



b)

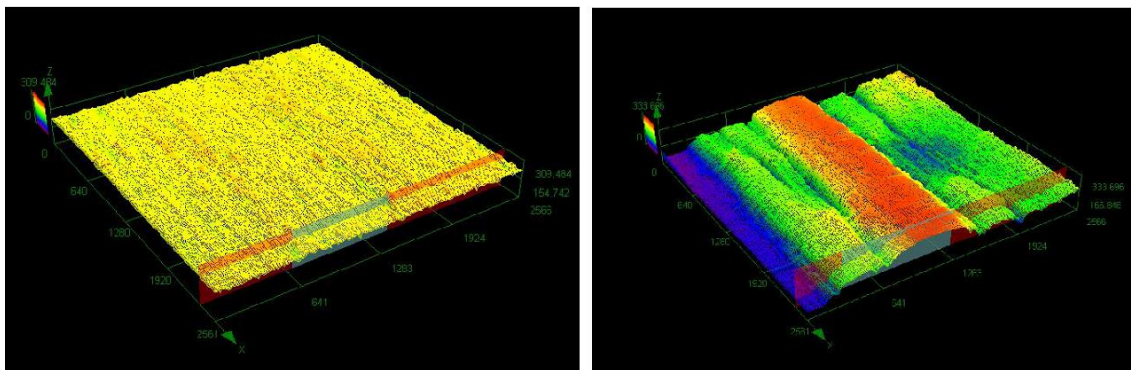
Umělé povětrnostní stárnutí



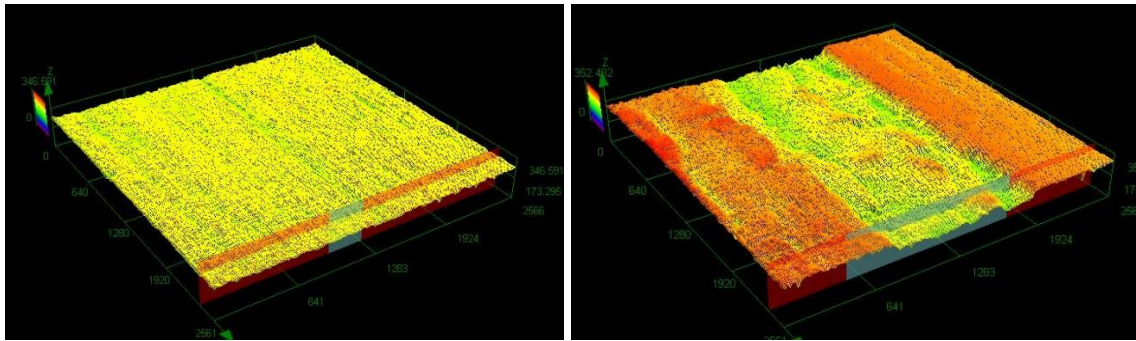
SM BO DG DB AK TP JV OL MD

Graf 5.8: Změny drsnosti v průběhu dvou let přirozeného stárnutí (a) a 2016 hodin umělého stárnutí (b)

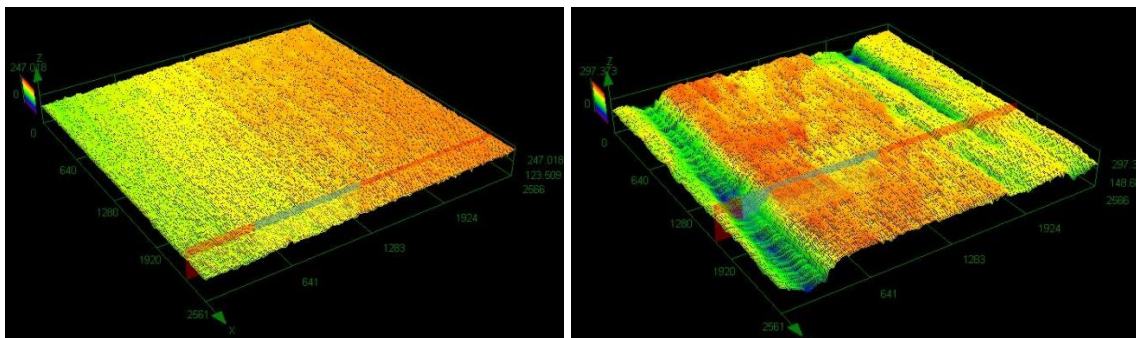
Změna nerovností povrchu dřeva byla také analyzována laserovým mikroskopem. Po dvouleté expozici v exteriéru je jasně patrný nárůst povrchových nerovností, kdy se eroze způsobená abiotickými vlivy více projevovала v jarním dřevě s nižší hustotou (Williams et al. 2001) – viz Obrázek 5.1 - Obrázek 5.9. Míra nerovností povrchu je zde znázorněna barevným rozpětím od fialové do červené. Výsledky korespondují s naměřenými hodnotami drsnosti povrchu  $\Delta Ra^*$ , kdy byla nejvyšší drsnost po 2 letech PS zaznamenána pro smrk a nejnižší pro douglasku. Byl tím potvrzen velký rozdíl v hustotě jarního a letního dřeva smrku, který je demonstrován erozí jarního dřeva a zvyšující se nerovností.



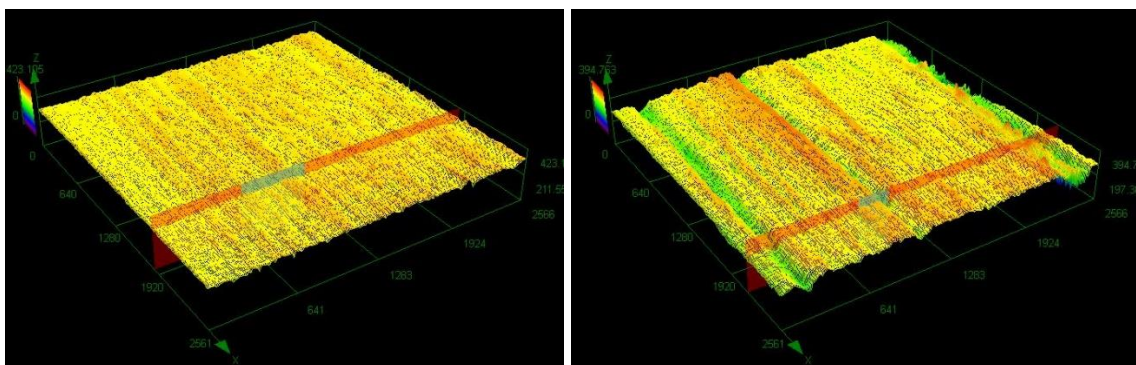
Obrázek 5.1: Povrch smrku před (vlevo) a po 2 letech expozice v exteriéru (vpravo) – plocha 800x800  $\mu\text{m}$  (výstup z laserového mikroskopu)



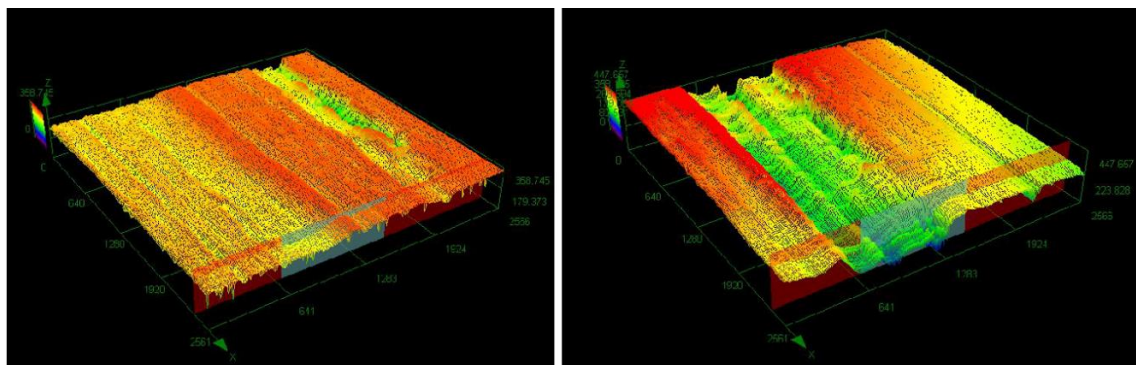
Obrázek 5.2: Povrch modřinu před (vlevo) a po 2 letech expozice v exteriéru (vpravo) – plocha 800x800  $\mu\text{m}$  (výstup z laserového mikroskopu)



Obrázek 5.3: Povrch borovice před (vlevo) a po 2 letech expozice v exteriéru (vpravo) – plocha 800x800  $\mu\text{m}$  (výstup z laserového mikroskopu)

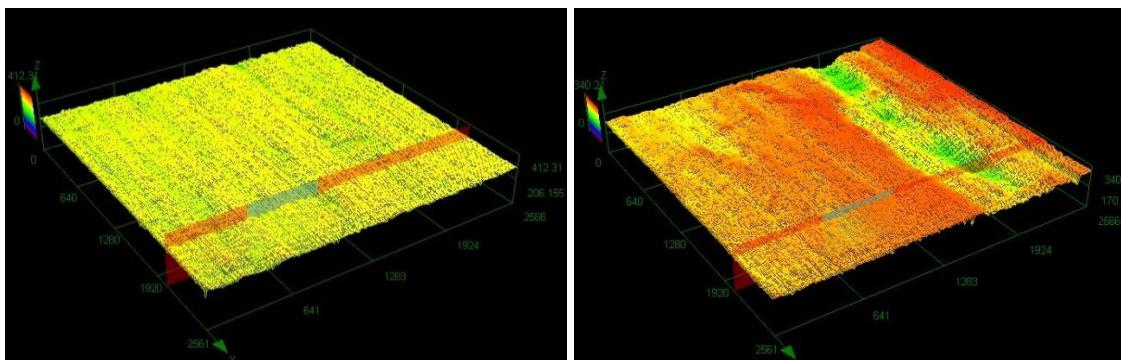


Obrázek 5.4: Povrch douglasky před (vlevo) a po 2 letech expozice v exteriéru (vpravo) – plocha 800x800  $\mu\text{m}$  (výstup z laserového mikroskopu)

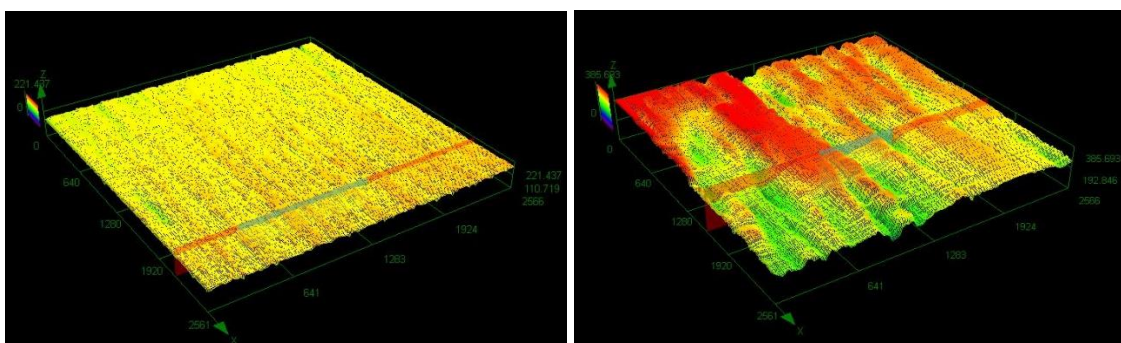


Obrázek 5.5: Povrch dubu před (vlevo) a po 2 letech expozice v exteriéru (vpravo) – plocha 800x800  $\mu\text{m}$  (výstup z laserového mikroskopu)

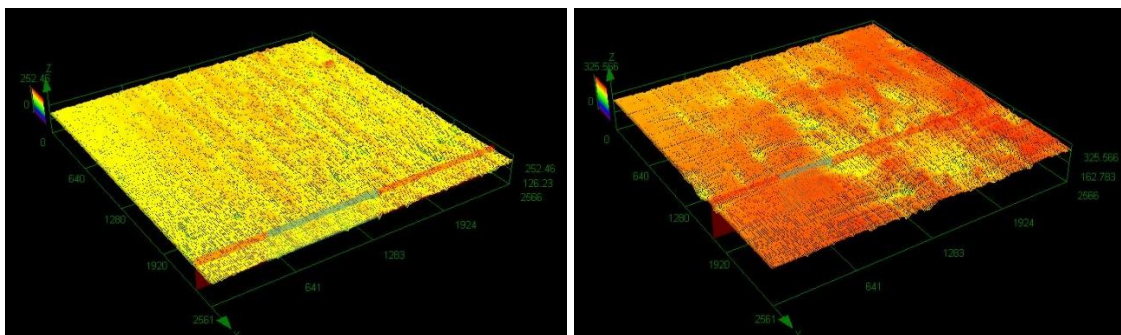




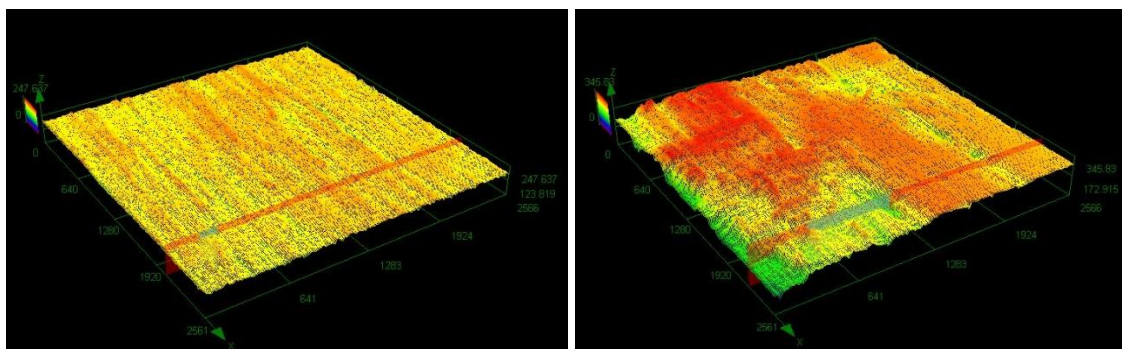
Obrázek 5.6: Povrch akátu před (vlevo) a po 2 letech expozice v exteriéru (vpravo) – plocha 800x800  $\mu\text{m}$  (výstup z laserového mikroskopu)



Obrázek 5.7: Povrch javoru před (vlevo) a po 2 letech expozice v exteriéru (vpravo) – plocha 800x800  $\mu\text{m}$  (výstup z laserového mikroskopu)



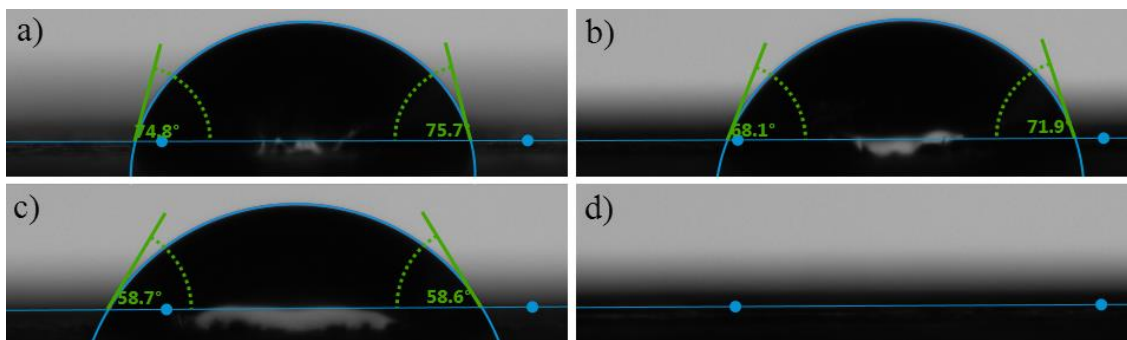
Obrázek 5.8: Povrch olše před (vlevo) a po 2 letech expozice v exteriéru (vpravo) – plocha 800x800  $\mu\text{m}$  (výstup z laserového mikroskopu)



Obrázek 5.9: Povrch topolu před (vlevo) a po 2 letech expozice v exteriéru (vpravo) – plocha 800x800  $\mu\text{m}$  (výstup z laserového mikroskopu)

### 5.1.5 Změna smáčivosti povrchu

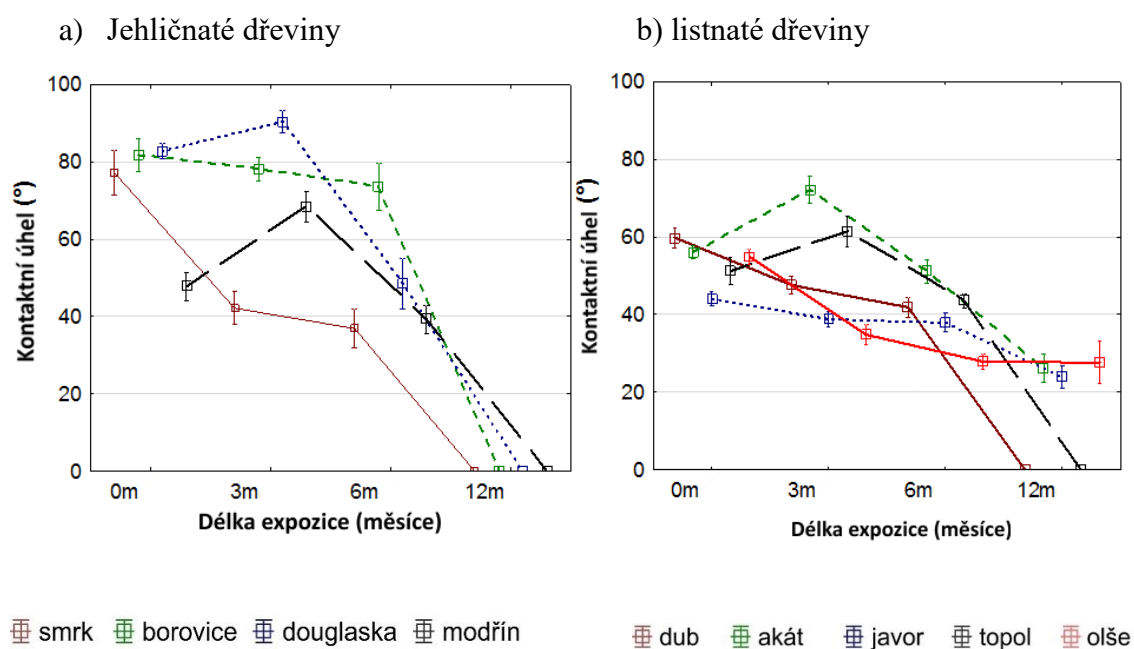
Smáčivost povrchu neošetřeného dřeva byla určována v průběhu jednoleté venkovní expozice. Výsledky poukazují na výrazné zvyšování smáčivosti dřeva (tzn. snižování hodnoty kontaktního úhlu) v průběhu expozice působením abiotických činitelů (Obrázek 5.10).



Obrázek 5.10: Určování kontaktního úhlu v 5 sekundách po umístění kapky a) borovicové dřevo před expozicí, b) borovicové dřevo po 3 měsících v exteriéru, c) borovicové dřevo po 6 měsících v exteriéru, d) borovicové dřevo po 12 měsících expozice – kontaktní úhel je 0° (tzn. plná smáčivost povrchu)

Podobný trend změny kontaktního úhlu byl zaznamenán pro jehličnaté dřeviny během povětrnostního stárnutí (Graf 5.9). Průběžný a rychlý pokles této hodnoty až na konečnou plnou smáčivost ( $KÚ = 0^\circ$ ) byl pozorován pouze u smrku s nižší hustotou. Ostatní jehličnany s vyšším obsahem extraktivních látek v jádrovém dřevě ukázaly rozdílné výsledky. U borovice byl pozorován relativně pomalý pokles kontaktního úhlu během expozice, což může být způsobeno vysokým obsahem pryskyřic s hydrofobním účinkem a jejich pomalejší degradací a vyplavováním z povrchu dřeva (Požgaj et al. 1993). U modřínu a douglasky bylo pozorováno počáteční navýšení kontaktního úhlu. To může být způsobeno degradací a formováním extraktivních látek na povrchu dřeva (Rowell 2005). Po 6 měsících expozice již ale přišlo rychlé snížení hodnoty kontaktního úhlu i pro tyto dřeviny. Nakonec po 12 měsících expozice byla pro všechny jehličnany zaznamenána hodnota kontaktního úhlu  $0^\circ$ , což značí plnou smáčivost povrchu, způsobenou degradací povrchu, uvolňováním vláken celulózy, zvýšenou drsností povrchu, vznikem mikrotrhlin a trhlin, vyplavováním extraktiv a degradací ligninu (Gonzalez de Cademartori et al. 2015). Zajímavým výsledkem byla relativně nižší hodnota kontaktního úhlu modřínového dřeva. Ta může být pravděpodobně způsobena rozdílným obsahem extraktiv (zejména arabinogalaktany), které odlišují vlastnosti

povrchu modřínu od zbytku jehličnanů. Tento fakt také potvrzuje problematická adheze a trvanlivost nátěrů aplikovaných na modřínové dřevo (Truskaller et al. 2014).



Graf 5.9: Změny kontaktního úhlu jehličnatých (a) a listnatých dřevin (b) během roční expozice

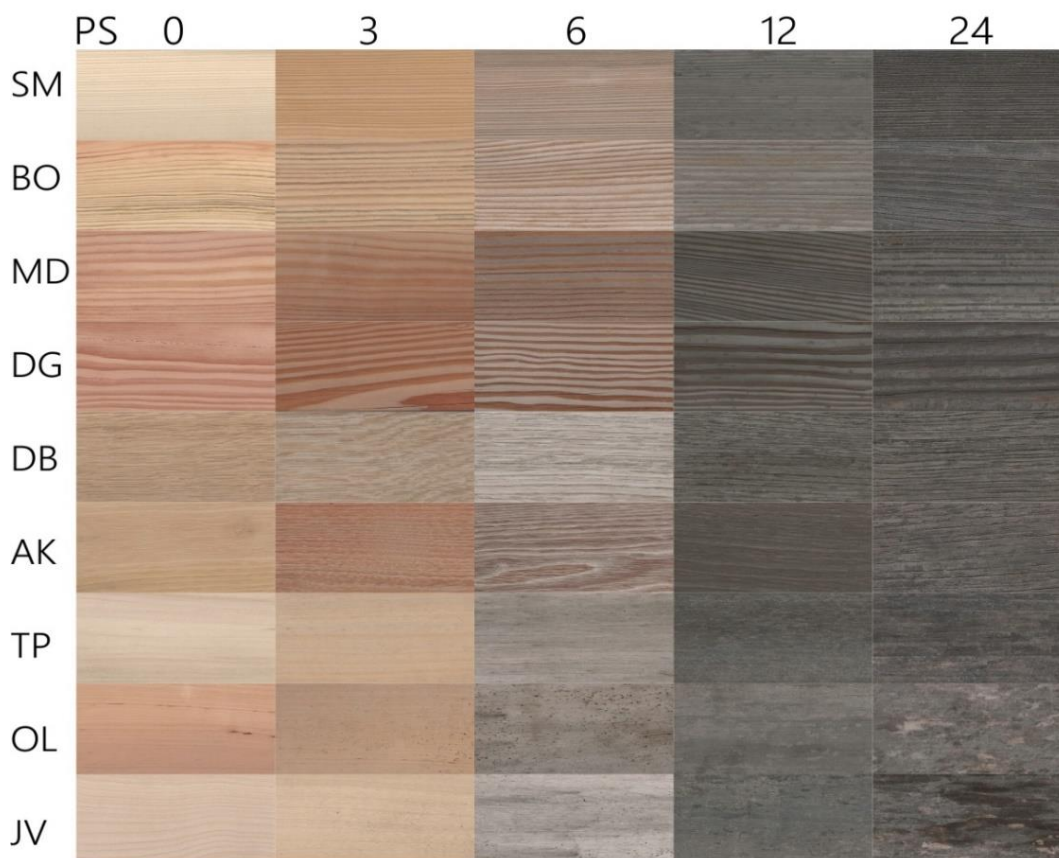
Listnaté dřeviny se během jednoleté expozice vyznačovaly mnohem variabilnějšími výsledky než jehličnaté (Graf 5.9). Rozdílné výsledky byly způsobeny vysokou variabilitou hustoty, mikroskopickou stavbou a obsahem extraktiv, jak je známo z literatury (Wålinder a Johansson 2001). Díky vyšší hustotě olše a javoru v porovnání s topolem byl po roční expozici naměřen kontaktní úhel  $KÚ = 24^\circ$  pro javor a  $KÚ = 28^\circ$  pro olši. Akát dosáhl kontaktního úhlu  $KÚ = 26^\circ$ . Naopak dub dosáhl po roční expozici plné smáčivosti povrchu ( $KÚ = 0^\circ$ ), což může být vysvětleno vlivem otevřených cév na povrchu dřeva, které způsobují rychlejší absorpci vody do dřeva. Topolové dřevo ukázalo počáteční zvýšení smáčivosti v první fázi expozice. Následovala ale rychlá degradace v podobě dosažení plné smáčivosti povrchu ( $KÚ = 0^\circ$ ).

### 5.1.6 Vizuální hodnocení

Vizuální podoba neošetřených zkušebních těles byla zaznamenávána během testů přirozeným i umělým stárnutím (Obrázek 5.11 a Obrázek 5.12). V případě přirozeného stárnutí došlo nejdříve k počátečnímu ztmavnutí (zhnědnutí) povrchu dřeva spojeného s degradací ligninu a extraktivních látek (Pandey 2005a; Sharrat et al. 2009). Zřetelné

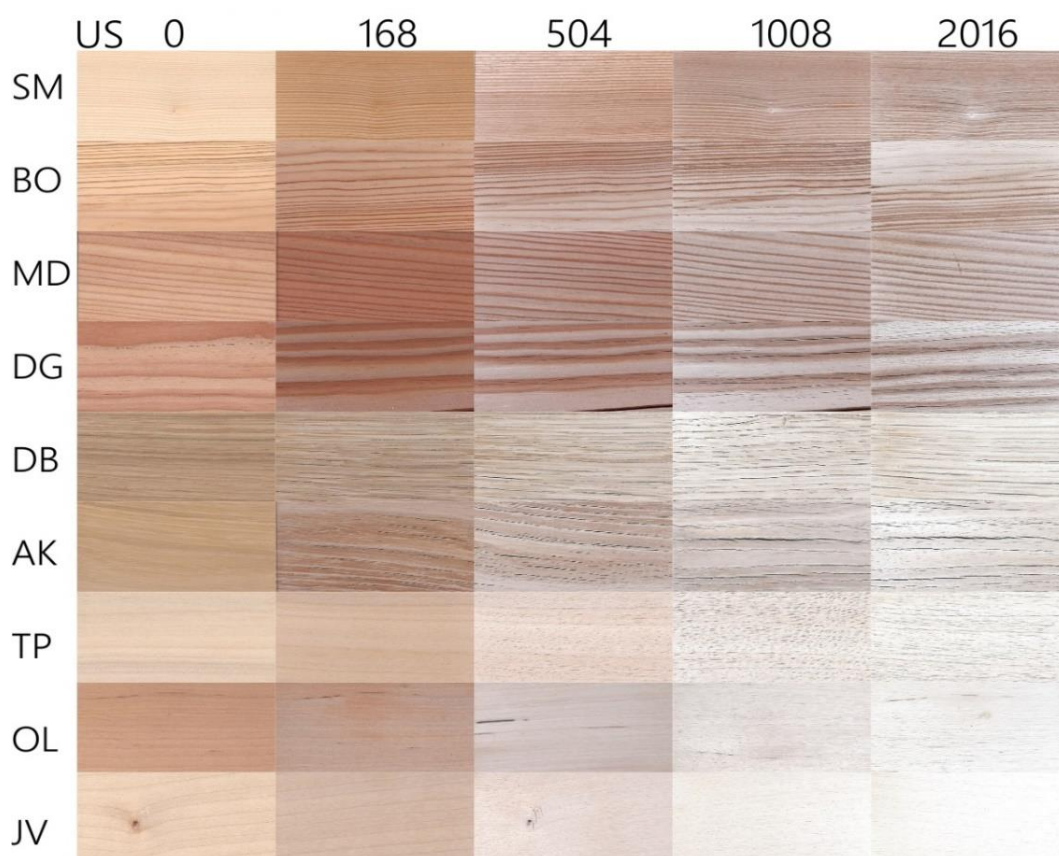
zešednutí povrchu bylo pozorováno po 6 měsících expozice, kdy byl také pozorován vznik trhlin (zejména douglaska), které v zásadě probíhaly ve směru vláken. Již po 6 měsících expozice byl zaznamenán růst plísní u dřevin, které jsou obecně považovány za neodolné proti útoku plísní (EN 350 2016) jako JV, TP a OL. Růst plísní byl pravděpodobně urychlen vyšší průměrnou teplotou a celkovými srážkami po 4 měsících expozice. Nejvýraznější působení plísní bylo po 2 letech zaznamenáno pro netrvanlivé listnaté dřeviny, zejména JV a OL. Vzhled dřevin během dvouleté expozice ve vnějších podmínkách je demonstrován níže (Obrázek 5.11).

V případě umělého stárnutí také došlo v počáteční fázi testování také k nápadnému ztmavnutí dřeva, následované postupným vyplavováním degradovaného ligninu a extraktiv z povrchu dřeva (Feist 1990) a s tím spojeným postupným vybělením povrchu dřeva (odhalování celulózových vláken) – viz Obrázek 5.12. Trhliny byly pozorovány zejména u douglasky a akátu. Největší degradace bylo dosaženo v případě netrvanlivých listnatých dřevin, zejména JV a OL. Přestože obě testovací metody dosahují rozdílných výsledných hodnot povrchových změn, tak lze pozorovat stejné trendy z pohledu trvanlivosti jednotlivých dřevin.



Obrázek 5.11: Vizuální podoba neošetřených dřevin během PS (po 0,3,6,12 a 24 měsících)

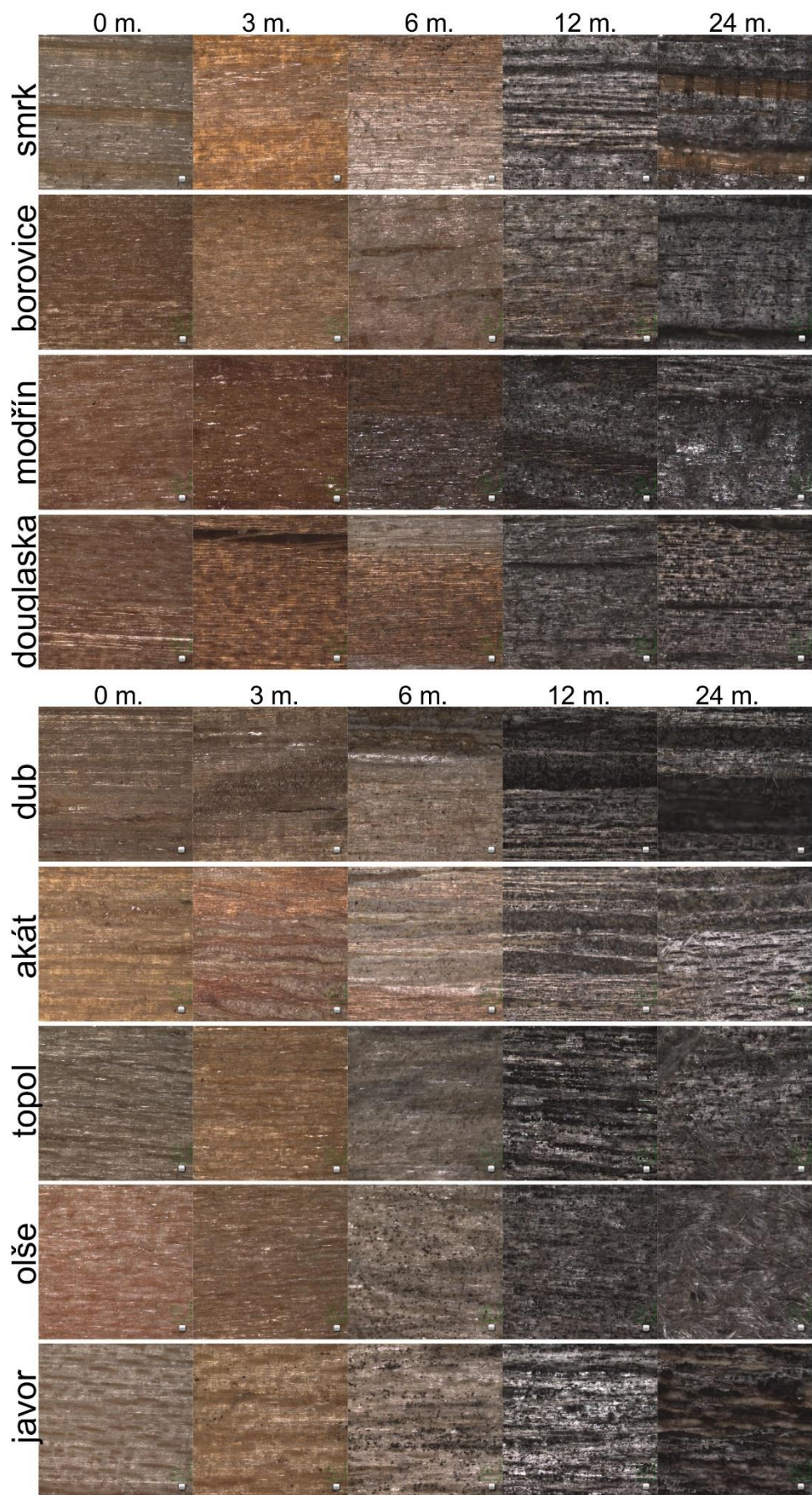




Obrázek 5.12: Vizuální podoba neošetřených dřevin během US (po 0,168,504,1008 a 2016 hodinách)

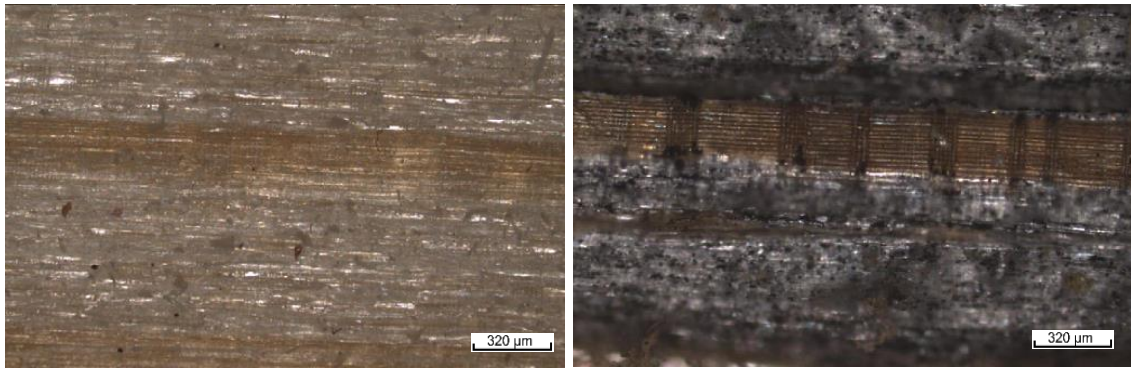
Na následujících obrázcích jsou detailně přiblíženy barevné a povrchové změny dřevin v průběhu PS zaznamenané pod laserovým mikroskopem (Obrázek 5.13). Opět je zde patrné šednutí povrchu (přes počáteční zhnědnutí), ale zároveň i usazování prachu a dalších nečistot na povrchu dřeva (Evans 2008). Na dalších obrázcích (Obrázek 5.14- Obrázek 5.22) je pak pro srovnání uvedena podoba vzorků před a po 2 letech expozice přirozenému stárnutí. U všech zástupců testovaných dřevin je tedy možné pozorovat zešednutí povrchu vlivem usazování nečistot do narušeného povrchu a růstem plísní. Dalším rysem degradovaného povrchu dřeva je také eroze povrchu, která byla výraznější v jarním dřevě s nižší hustotou (Tolvaj et al. 2014). Zejména v případě listnatých dřevin (AK, OL, DB, TP) také častěji docházelo k vytrhávání povrchových vláken (Hon 1981).



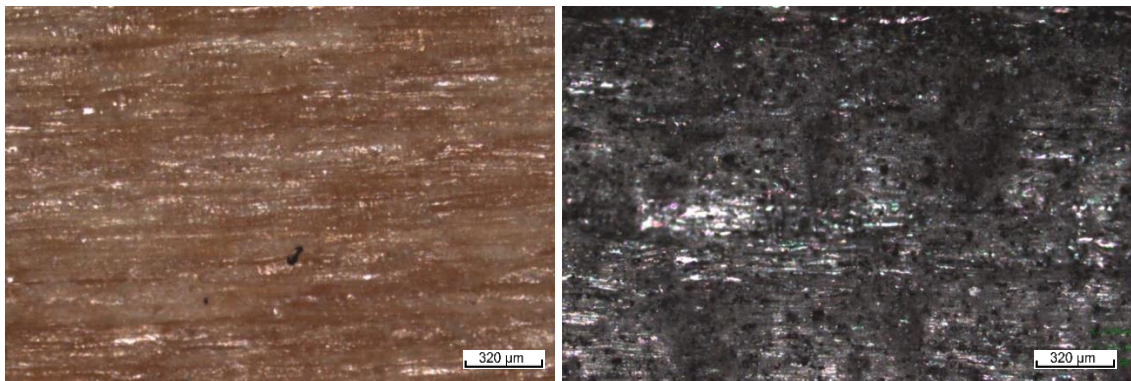


Obrázek 5.13: Vizuální podoba povrchu dřevin v průběhu expozice (výstup z konfokálního laserového mikroskopu); každý sken odpovídá ploše o velikosti 2,5 x 2,5 mm

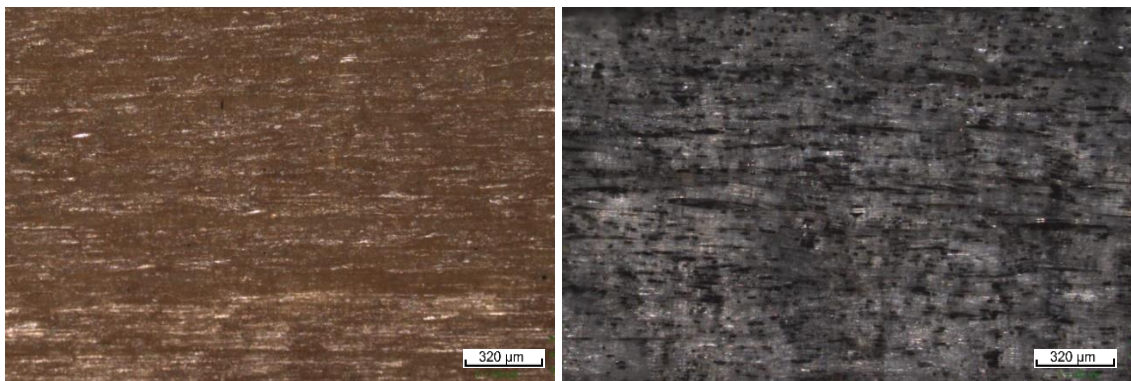




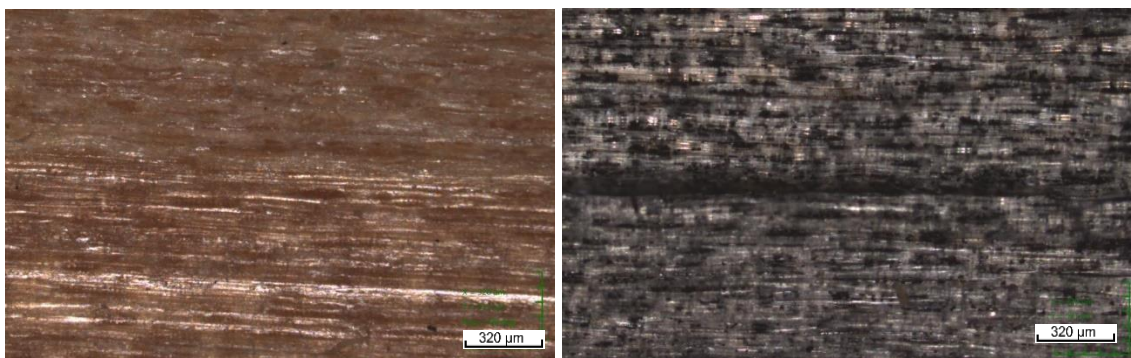
Obrázek 5.14: Smrkové dřevo před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – viditelné degradační procesy a změny barvy – výstup z laserového mikroskopu



Obrázek 5.15: Modřínové dřevo před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu

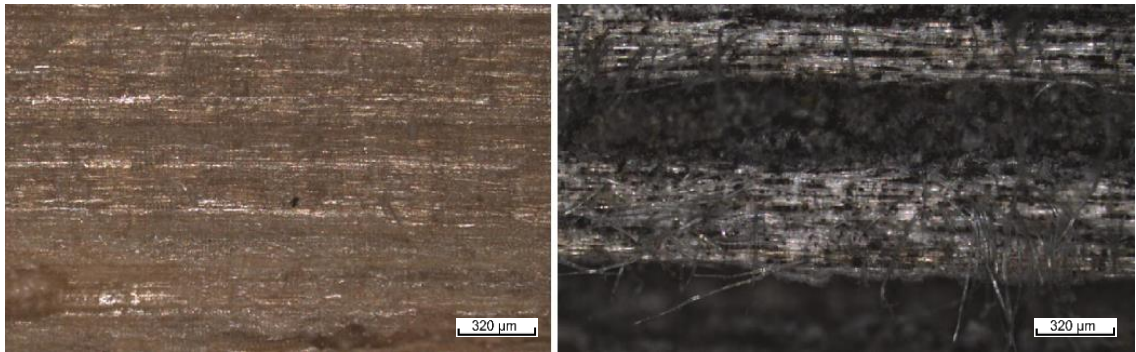


Obrázek 5.16: Borovicové dřevo před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu

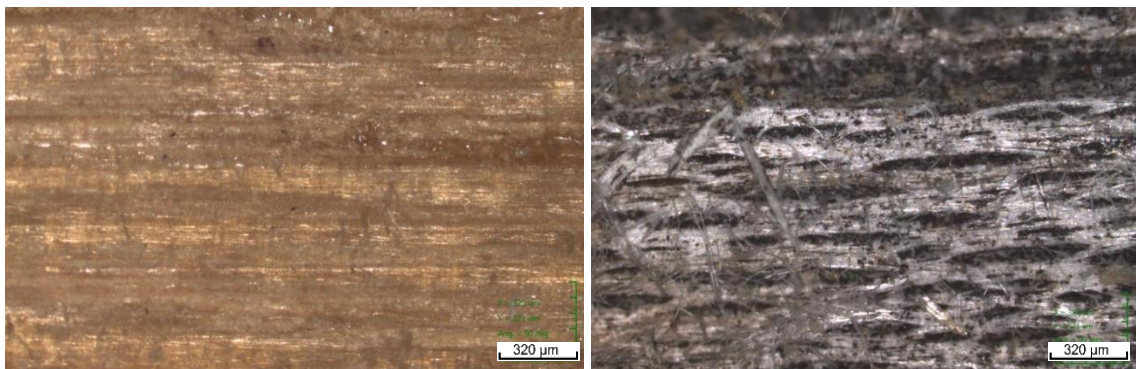


Obrázek 5.17: Douglaska před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu

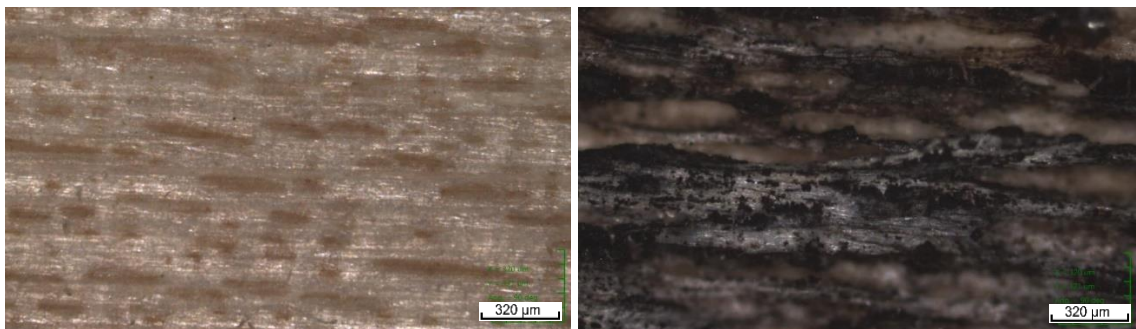




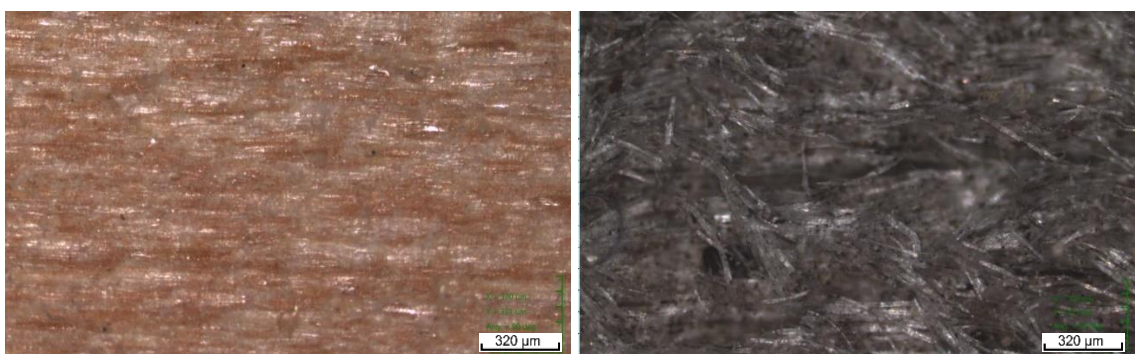
Obrázek 5.18: Dubové dřevo před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu



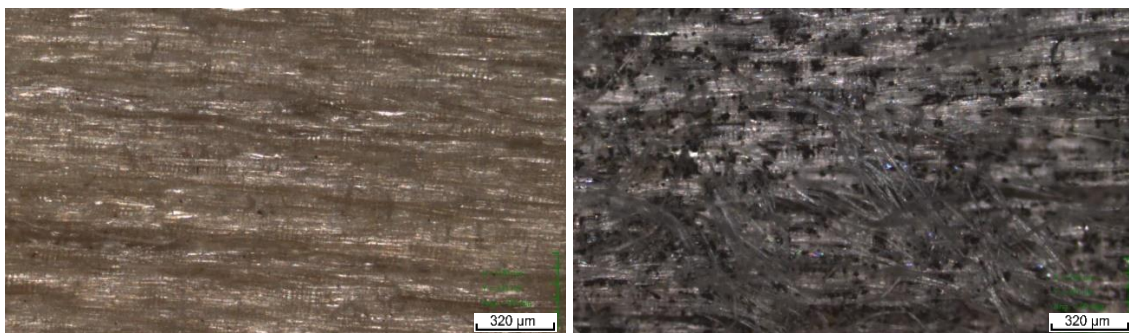
Obrázek 5.19: Akátové dřevo před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu



Obrázek 5.20: Javorové dřevo před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu



Obrázek 5.21: Olšové dřevo před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu



Obrázek 5.22: Topolové dřevo před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu

### 5.1.7 Shrnutí kapitoly

Výsledky ukazují průběh degradačních změn jehličnatých a listnatých dřevin po dvouleté expozici ve vnějších podmínkách a k tomu ekvivalentních 2016 hodinách urychleného laboratorního stárnutí. Bylo potvrzeno, že povrchové vlastnosti dřeva jako drsnost, barva, lesk a smáčivost jsou výrazně ovlivněny specifickými klimatickými podmínkami již v průběhu počáteční fáze vystavení povětrnosti (Mattos et al. 2014; Mohebbi a Saei 2015). Barevné změny byly viditelné ve velice krátkém čase, již po měsíci expozice, a to u všech testovaných dřevin, kdy došlo k počátečnímu zhnědnutí povrchu dřeva vlivem degradace ligninu (Pandey 2005a). V dalším průběhu expozice přirozenému stárnutí se začal povrch dřeva zbarvovat do šedého odstínu vlivem vyplavování ligninu a extraktiv srážkovou vodou a usazováním nečistot do porézní a narušené struktury dřeva (Hon a Chang 1984; Feist a Hon 1984; Kučerová 2005). Po roční expozici se již všechny dřeviny vyznačovaly šedivým povrchem v celé ploše. I přes relativně podobný průběh barevných změn má během expozice v exteriéru nezpochybnitelný vliv na vlastnosti dřeva druh dřeviny, tzn. specifické chemické složení a anatomická stavba (Feist 1990; Reinprecht 2012; Mattos et al. 2014) a také zvolená délka expozice (Oberhofnerová et al. 2017). Vyšší barevné změny v exteriéru byly zaznamenány pro jehličnaté dřeviny v souvislosti se zvýšením drsnosti během expozice a usazování prachových částic do narušené struktury dřeva (Oberhofnerová et al. 2017). U dřevin s nižší přirozenou trvanlivostí (JV, TP, OL) byl pozorován růst plísní a dřevozbarvujících hub v relativně krátkém čase (6 měsíců). Nejvyšší barevné změny byly pozorovány u smrku a nejnižší u dubu v případě PS. V průběhu expozice umělému stárnutí došlo naopak k zesvětlení všech testovaných dřevin. Nejvyšších barevných změn dosáhla olše a nejnižších smrk. V průběhu expozice bylo potvrzeno výrazné vyplavování extraktiv spojené s barevnými změnami v počátečních fázích

testování (Pandey 2005b). Nejvýraznější vyplavování extraktivních látek bylo pozorováno zejména u dubu a akátu.

Hloubka barevných změn způsobená abiotickými činiteli byla určována po roční expozici v exteriéru. Největší hloubka byla zaznamenána pro modřín, nejnižší pro dub. Oproti výsledkům v práci Yata a Tamura (1995), kde se hloubka degradace dřeva po šesti měsících PS neměnila, bylo zvýšení hodnoty hloubky degradace zjištěno i v období 6-12 měsíců expozice. Nebylo potvrzeno, že hloubka penetrace závisí na hustotě dřeva (Williams 2005). Byla stanovena relativně vysoká korelace mezi hodnotou barevných změn a jejich hloubkami. Čím vyšší barevné změny, tím více tedy zasahují do povrchu degradované dřeviny. Na základě jednoduchého určení barevných změn je tedy možné predikovat tloušťku vrstvy, kterou je třeba odbrousit pro získání původního přirozeného vzhledu dřev (pokud však není prvek zasažen plísněmi nebo dřevozbarvujícími houbami).

Vlivem působení abiotických faktorů dochází k nárůstu drsnosti (Nzokou et al. 2009; Tolvaj et al. 2014; Oberhofnerová et al. 2017). Nejvyšší hodnota drsnosti byla zaznamenána pro smrk při PS i US. To je způsobeno relativně velkými rozdíly mezi hustotou jarního a letního dřeva smrku a jehličnatých dřevin obecně (Požgaj et al. 1993), kdy jarní dřevo více podléhá degradaci a výrazně se tak zvyšuje drsnost povrchu (Tolvaj et al. 2014). V této práci byla nejnižší hodnota drsnosti stanovena pro douglasku při PS a olši při US.

Smáčivost povrchu se v průběhu expozice atmosférické degradaci výrazně zvyšuje (Oberhofnerová a Pánek 2016). Plná smáčivost byla dosažena po roční expozici pro všechny jehličnaté dřeviny při PS i US. V případě listnatých byla plná smáčivost zjištěna pro dub a topol. U olše, javoru a akátu byla naměřena nízká hodnota kontaktního úhlu, což může být způsobeno strukturou povrchu a variabilitou dřeva (Požgaj et al. 1993) i variabilitou samotného měření kontaktního úhlu (Petrič a Owen 2015), která se během expozice v exteriéru ještě zvyšuje (Kalnins a Feist 1993). Vizuální hodnocení a laserová skenovací mikroskopie potvrdily naměřené parametry.

Přestože obě zkušební metody zaznamenaly podobné trendy (zvýšení barevných změn, nárůst drsnosti, zvýšení smáčivosti), tak se výsledky při hodnocení neošetřeného dřeva odlišovaly, zejména při hodnocení barevných změn, jako i ve studii Reinprechta a Pánka (2015). Přesnost shody výsledků byla nižší díky rozdílným faktorům působícím na zkušební tělesa v exteriéru a laboratorním testu.

## 5.2 SMRK S TRANSPARENTNÍMI NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY

V této části disertační práce jsou uvedeny výsledky povrchové úpravy smrku esenciálními oleji za účelem zvýšení odolnosti vůči abiotické a biotické degradaci. Je zkoumána účinnost povrchové úpravy v kombinaci s nátěrovým systémem na bázi oleje a hydrofobního prostředku na bázi křemíkových nanočástic během expozice přirozenému (2 roky) a umělému (2016 hodin) povětrnostnímu stárnutí v podobě barevných změn, změny lesku, drsnosti, smáčivosti a vizuální podoby vzorků.

### 5.2.1 Celková barevná změna a barevné parametry L\*a\*b\*

Při statistickém vyhodnocení pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu se prokázalo, že vliv nátěrového systému, doby expozice a jejich interakce má statisticky významný vliv ( $p < 0,05$ ) na pozorované vlastnosti (celkový barevný rozdíl, barevné parametry, lesk, drsnost a kontaktní úhel) – viz Tabulka 5.4.

Tabulka 5.4: Významnost jednotlivých faktorů na testované proměnné

Faktory	Odpovídající proměnné													
	$\Delta E_{PS}^*$	$\Delta E_{US}^*$	$L_{PS}^*$	$L_{US}^*$	$a_{PS}^*$	$a_{US}^*$	$b_{PS}^*$	$b_{US}^*$	$G_{PS}^*$	$G_{US}^*$	$R_{aPS}^*$	$R_{aUS}^*$	$KU_{PS}^*$	$KU_{US}^*$
Druh nátěru (DN)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Délka expozice (DE)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
DN x DE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

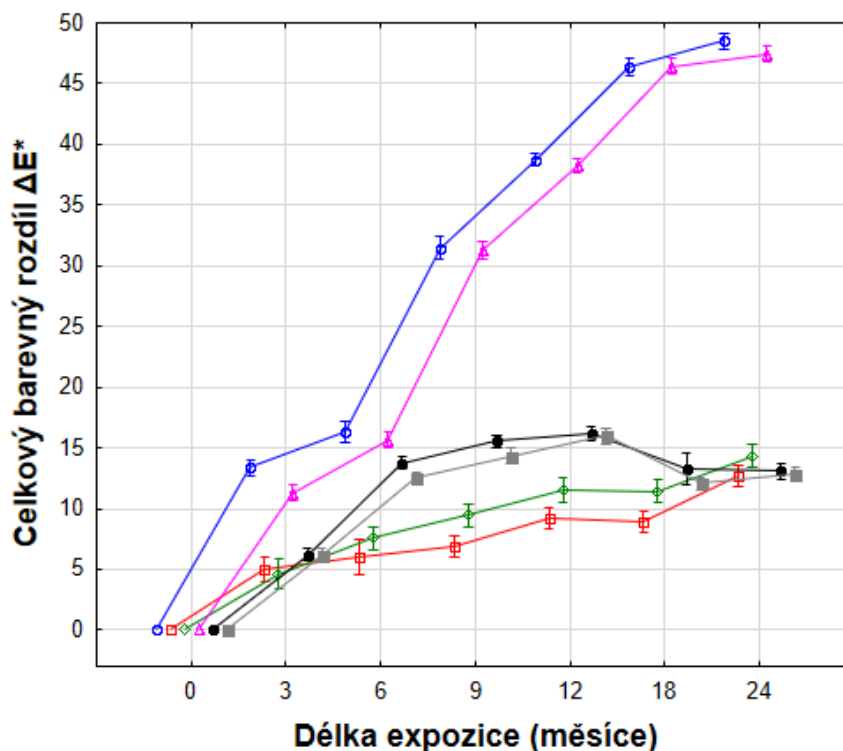
\* značí  $p < 0,05$ ; PS = přirozené stárnutí; US = umělé stárnutí; G = lesk

Celková barevná změna obecně indikuje trvanlivost nátěrového systému (van den Bulcke et al. 2008; De Windt et al. 2014; Moya et al. 2016). Na základě grafů (Graf 5.10 a Graf 5.11) lze konstatovat, že obě metody stárnutí způsobily zvyšování barevného rozdílu v průběhu expozice. Nejvyšší nárůst byl pozorován při počáteční fázi testu stejně jako v dalších studiích (Ozgenç et al. 2012; Reinprecht a Pánek 2015). V případě přirozeného stárnutí došlo ke zbarvení také vlivem přítomnosti plísní a usazení znečištění do porézní a narušené struktury dřeva (Evans 2008). Tyto faktory způsobily vyšší barevné změny nátěrových systémů směsi světlicového a esenciálních olejů (A) a (D), jenž byl v průběhu expozice postupně z povrchu vyplavován. Za použití Tukeyovy metody mnohonásobného porovnávání (Příloha 4) byla aplikace povrchové úpravy směsí světlicového oleje a esenciálních olejů v kombinaci s komerčním nátěrem na celkovou barevnou změnu vyhodnocena jako statisticky nevýznamná po testu



přirozeným stárnutím ( $p = 0,98$ ) za použití srovnání nátěrových systémů značených (B) a (E). Naopak při porovnání nátěrových systémů (A) a (B) se ukázal statisticky významný vliv aplikace komerčního nátěru na celkové barevné změny během expozice. Byl také prokázán statisticky významný účinek kombinace jedné vrstvy komerčního oleje naneseného na povrchovou úpravu v mokřem stavu (esenciální a světlicové oleje) na celkovou barevnou změnu ( $p < 0,05$ ) v porovnání s barevnými změnami samotné povrchové úpravy. Nebyl prokázán vliv hydrofobní vrstvy na barevnou stálost porovnáním nátěrových systémů (E) a (F) (Příloha 4). Nižší trvanlivost nátěrů na bázi světlicového oleje a esenciálních olejů (A) a (D) během laboratorního testu se neprojevila při hodnocení celkových barevných změn, kdy všechny nátěrové systémy dosáhly podobných hodnot (Graf 5.11). Celkové barevné změny nátěrů na bázi pouze světlicového oleje (A) a (D), tzn. bez vrstvy komerčního oleje, se pohybovaly v intervalu  $\Delta E^* \in (47;48)$  po přirozeném stárnutí a  $\Delta E^* \in (23;24)$  po umělém stárnutí. Pro zbytek nátěrových systémů byly tyto hodnoty v intervalu  $\Delta E^* \in (11;13)$  po přirozeném stárnutí a  $\Delta E^* \in (17;24)$  po umělém stárnutí.

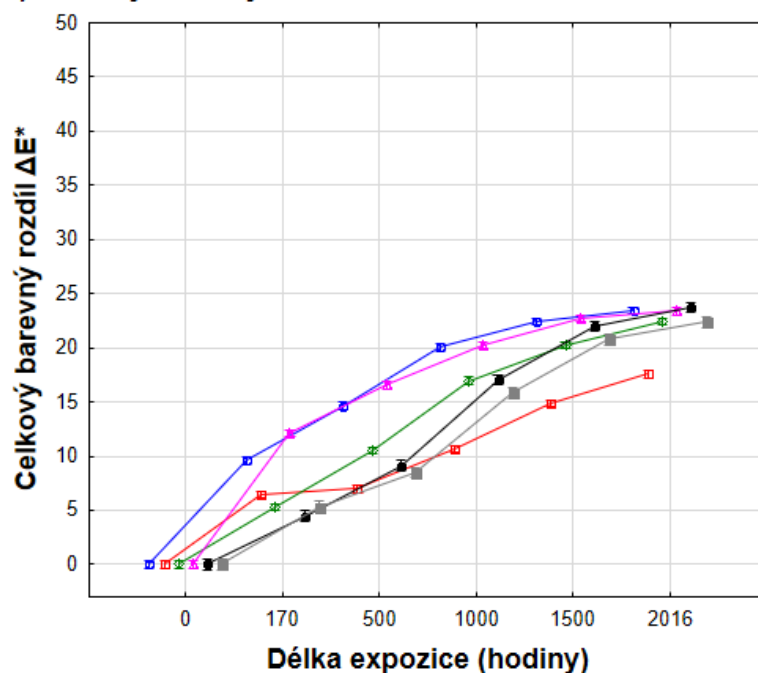
a) Celkový barevný rozdíl ošetřené smrku během PS



◻ Nátěrový sys. A  
 ◻ Nátěrový sys. B  
 ◻ Nátěrový sys. C  
 ◻ Nátěrový sys. D  
 ◻ Nátěrový sys. E  
 ◻ Nátěrový sys. F

Graf 5.10: Celkové barevné změny smrkového dřeva ošetřené transparentními nátěrovými systémy po 24 měsících přirozeného stárnutí

### b) Celkový barevný rozdíl ošetřeného smrku během US

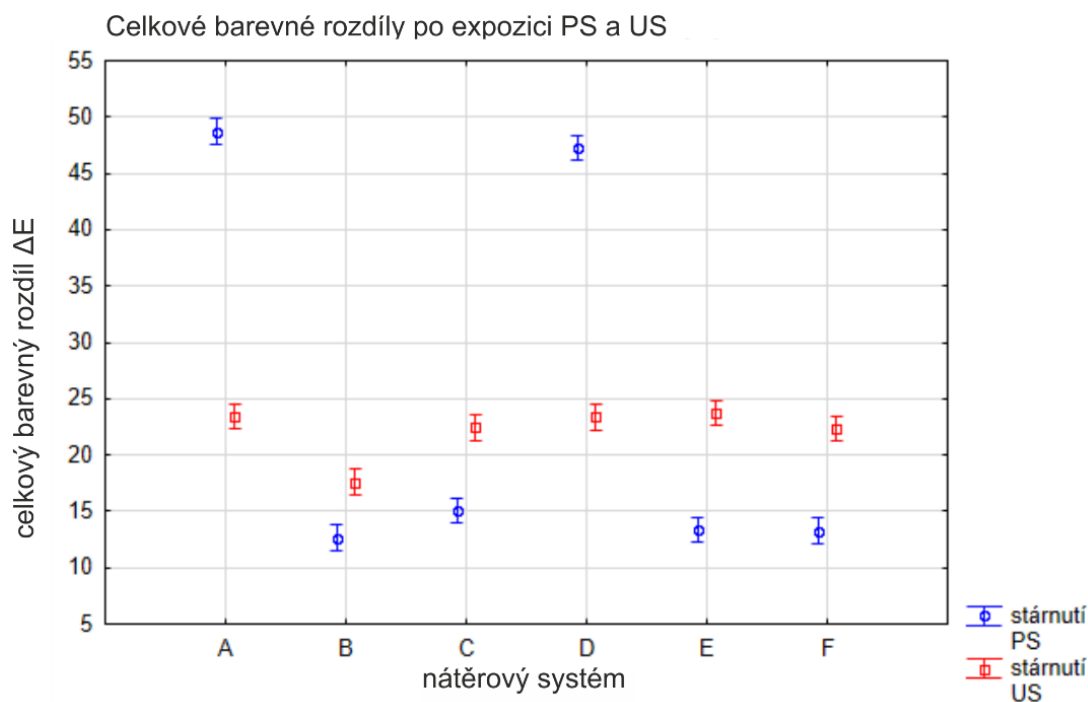


☐ Nátěrový sys. A    ☐ Nátěrový sys. B    ☐ Nátěrový sys. C    ☐ Nátěrový sys. D    ☐ Nátěrový sys. E    ☐ Nátěrový sys. F

Graf 5.11: Celkové barevné změny smrkového dřeva ošetřeného transparentními nátěrovými systémy po 2016 hodinách umělého stárnutí

Následující graf ukazuje porovnání celkových barevných změn po dvouleté expozici v exteriéru a 12 týdnech v UV komoře (Graf 5.12). Z HSD Tukeyho testu vyplývá, že výsledky dosažené oběma testovacími metodami jsou statisticky odlišné pro všechny testované varianty nátěrových systémů (Příloha 4). Větší barevné změny byly dosaženy po US, což může být způsobeno větší koncentrací intenzity záření a rychlejšímu střídání cyklů, a tím zvýšené tmavnutí podkladové dřeviny spojené s depolymerizací ligninu a extraktivních látek (Pandey 2005a; Pastore et al. 2004). Při hodnocení parametru celkových barevných změn se neprokázala odlišná trvanlivost nátěrových systémů (A) a (D) při umělém povětrnostním stárnutí. Z tohoto důvodu je vhodné se zaměřit i na hodnocení dalších barevných parametrů, ze kterých již odlišné průběhy barevných zřetelně vyplývají (Oberhofnerová et al. 2018).



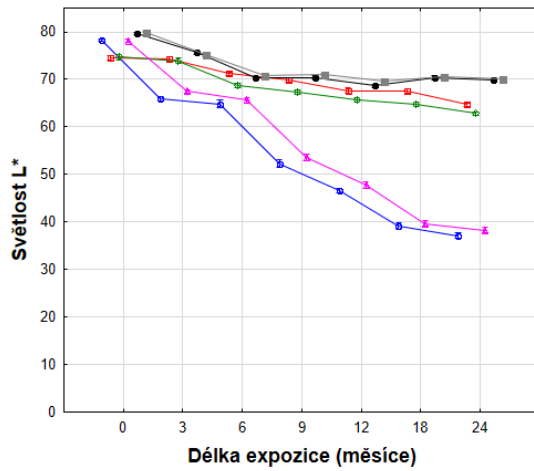


Graf 5.12: Celkové barevné změny po expozici PS a US

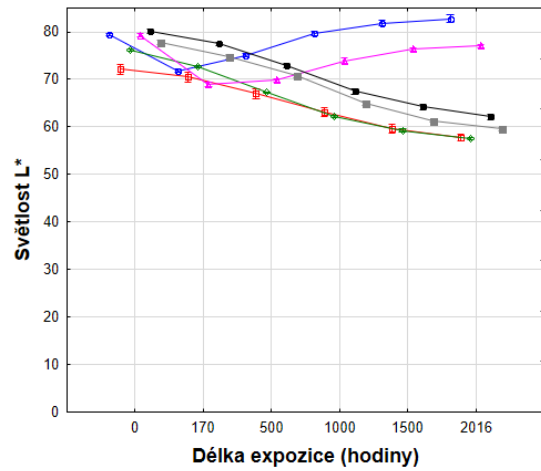
Další zkoumání barevných parametrů  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ukázalo rozdíly mezi trvanlivostí testovaných nátěrových systémů (Oberhofnerová et al. 2018). Statistický významný vliv povrchové úpravy na barevné parametry  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  byl pozorován po PS i US ( $p < 0,05$ ). Obecně platí, že zvýšení hodnot  $a^*$  a  $b^*$  vykazuje sklon k tomu, že povrch dostává červený a žlutý nádech, nárůst hodnoty  $L^*$  indikuje tendenci povrchu světlat. Na základě grafů (Graf 5.13) se výsledky nátěrů na bázi UV ochranných komerčních olejových nátěrových systémů (B), (C), (E), (F) výrazně lišily od nátěrů bez této ochrany (A), (D). Všechny systémy s ochrannou vrstvou proti UV záření (B), (C), (E), (F) byly charakterizovány snižující se hodnotou světlosti  $L^*$ , zvýšením hodnoty parametru  $a^*$  a stabilní hodnotou parametru  $b^*$  během obou zkoušek vystavení povětrnosti jako v případě studie Baysala a dalších (2014). Tento výsledek dokazuje, že degradovaný lignin (Teacă et al. 2013) a extraktivní látky (Pandey 2005a) byly chráněny proti vyplavování z povrchu dřeva ochrannou vrstvou. Nátěrové systémy založené pouze na kombinaci světlicového oleje s esenciálními oleji (A) a (D) se chovaly odlišně. Oba parametry  $a^*$  a  $b^*$  se snížily během expozice, výjimkou byla rozdílnost výsledků změn světlosti  $L^*$  během obou metod zkoušení (Graf 5.13). Tento rozdíl je způsoben přítomností prachu a plísní ve vnějším prostředí (snížení hodnoty  $L^*$ ), které znečišťují degradovaný povrch dřeva (Evans 2008). Tyto podmínky nelze simulovat v UV komoře (Dawson et al. 2008; Ozgenc et al. 2012). V laboratorních

podmínkách můžeme pozorovat degradaci ligninu a extraktiv (počáteční pokles hodnoty  $L^*$ ) a jejich následné vyplavování vodou (zvyšující se hodnota  $L^*$ ).

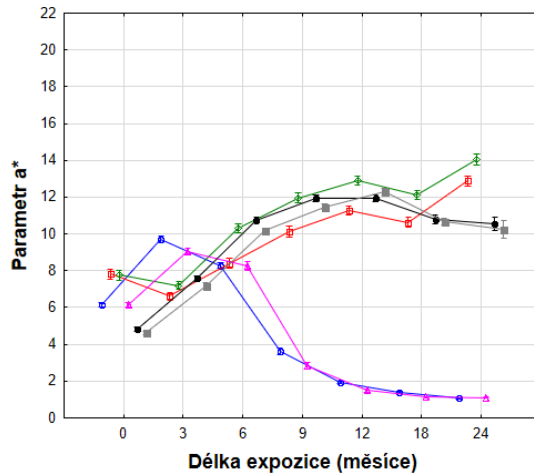
a) Změna světlosti  $L^*$  během PS



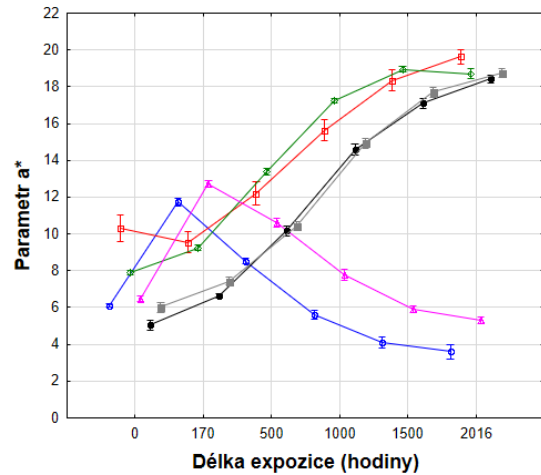
b) Změna světlosti  $L^*$  během US



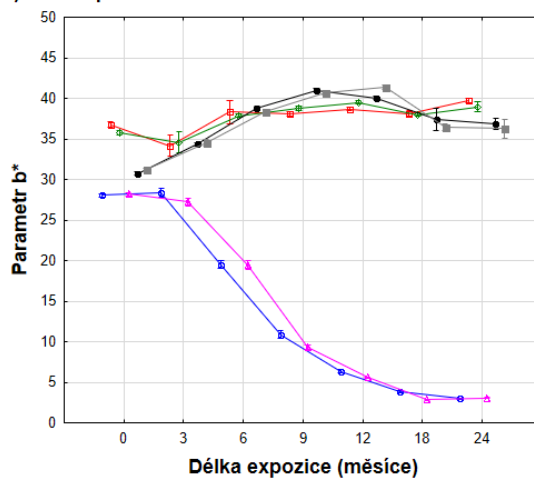
c) Změna parametru  $a^*$  během PS



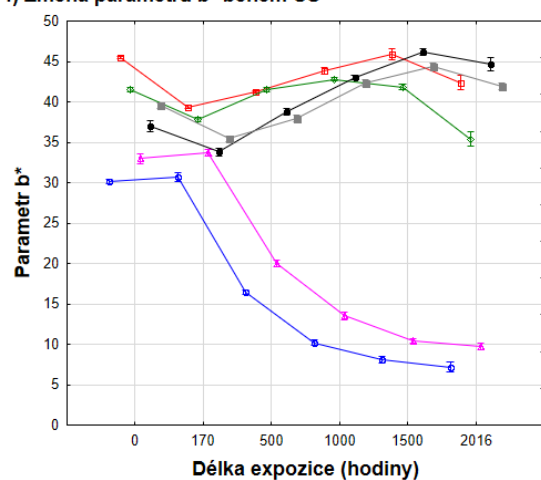
d) Změna parametru  $a^*$  během US



e) Změna parametru  $b^*$  během PS



f) Změna parametru  $b^*$  během US

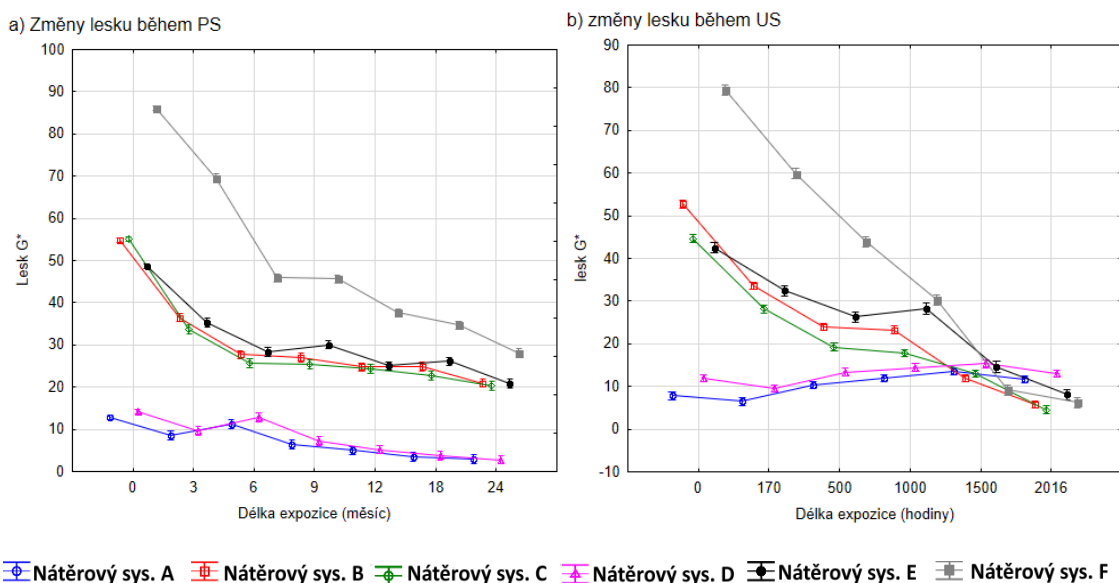


◻ Nátěrový sys. A  
 ◻ Nátěrový sys. B  
 ◻ Nátěrový sys. C  
 ◻ Nátěrový sys. D  
 ◻ Nátěrový sys. E  
 ◻ Nátěrový sys. F

Graf 5.13: Změny barevných parametrů  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  smrkového dřeva během přirozeného (a,c,e) a umělého povětrnostního stárnutí (b,d,e)

## 5.2.2 Lesk

Vliv nátěrového systému, doby expozice a jejich interakce na hodnoty lesku nátěru se ukázal jako statisticky významný ( $p < 0,05$ ). Změny lesku byly hodnoceny v průběhu expozice PS a US (Graf 5.14). Během obou expozic došlo k výraznějšímu snížení hodnoty lesku u nátěrových systémů s vrstvou komerčního oleje (B), (C), (E), (F). Nátěrové systémy na bázi světlicového oleje a esenciálních olejů se vyznačovaly mírným poklesem lesku během PS a stabilními výsledky během US. To může být způsobeno vlivem znečištění na lesk nátěru, který se může projevat nižšími hodnotami lesku při PS (Wernstáhl 1996), tak jako v případě nátěrových systémů (A) a (D). Hodnocení změn lesku na povrchu nátěrových systémů během PS i US ne zcela vypovídá o degradaci v celkovém průřezu jednotlivých nátěrových systémů. I v práci Ghoshe et al. (2015) došlo k výraznému poklesu lesku testovaných nátěrů a naopak byly zaznamenány relativně stabilní výsledky u neošetřeného dřeva.

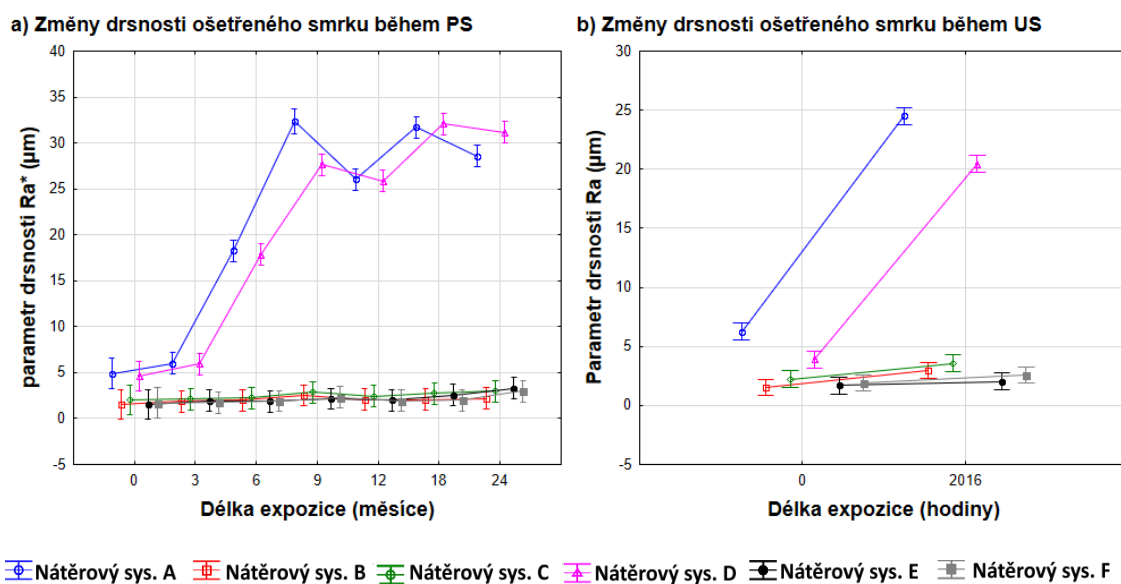


Graf 5.14: Změny lesku během 2 let PS (a) a 2016 h US (b)

## 5.2.3 Drsnost povrchu

Hodnota drsnosti povrchu  $Ra^*$  založená na ISO 4287 (1997) je dalším sledovaným parametrem prokazujícím účinnost nátěru proti působení povětrnostních podmínek (Gupta et al. 2011). Vliv nátěrového systému, doby expozice a jejich interakce na drsnost povrchu se ukázal jako statisticky významný po expozici oběma zkušebními metodami ( $p < 0,05$ ). Graf 5.15 ukazuje rozdílné výsledky nátěrových systémů na bázi

světlicového a esenciálních olejů (A), (D) lišící se od ostatních systémů nátěru ve zvyšující se drsnosti, aniž by došlo k statisticky významnému vlivu aplikace povrchové úpravy na drsnost povrchu během přirozeného stárnutí ( $p = 1,0$ ) a umělého stárnutí ( $p = 0,99$ ) při porovnání systémů (B) a (E) pomocí vícenásobného porovnávacího testu (Příloha 5). Zvýšení drsnosti obecně naznačuje nižší trvanlivost nátěru (Yalcin a Ceylan 2017) a pokročilý stav degradace povrchu, který se stal ještě zřetelnějším po 18 měsících přirozeného stárnutí, kdy byly vzorky zasaženy kroupami. Plochy dřeva vystavené umělému stárnutí obsahovaly několik prasklin a trhlin, stejně jako v jiných studiích (Temiz et al. 2005; Miklečić et al. 2017). Celkové změny povrchové drsnosti nátěrových systémů založených pouze na směsi světlicového a esenciálních olejů (A) a (D), tzn. rozdíl konečné a původní hodnoty, byly v rozmezí  $\Delta Ra \in (23,7; 26,6)$  po přirozeném a  $\Delta Ra \in (16,6; 18,3)$  po umělém stárnutí. U ostatních systémů (B), (C), (E), (F) byl rozdíl drsnosti povrchu po a před expozicí v rozmezí  $\Delta Ra \in (0,7; 1,7)$  po přirozeném stárnutí a  $Ra \in (0,4; 1,5)$  po umělém stárnutí.

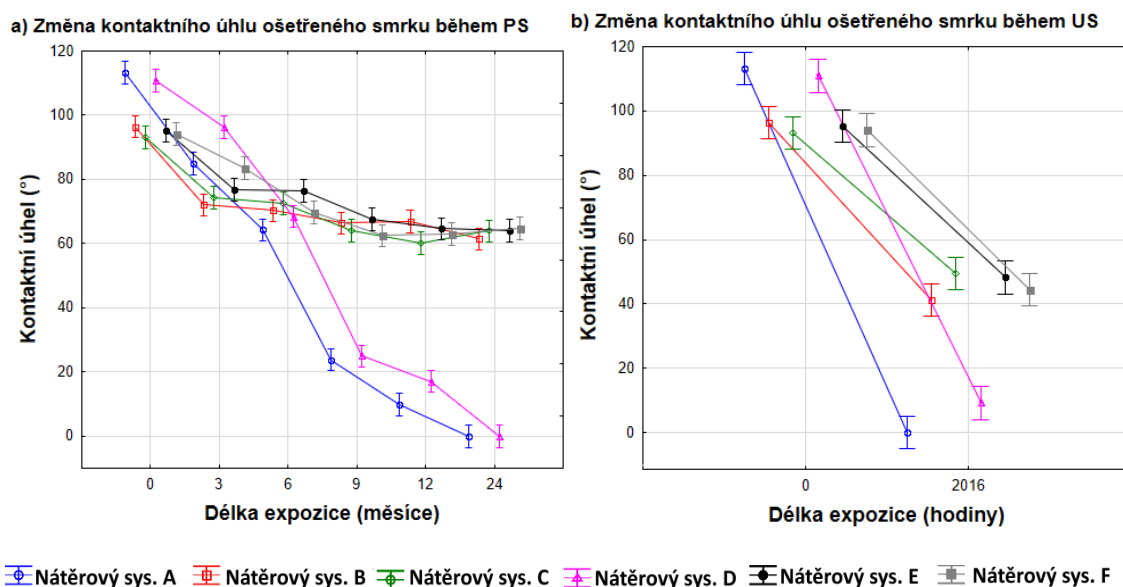


Graf 5.15: Změny drsnosti smrkového dřeva během přirozeného (a) a umělého povětrnostního stárnutí (b);

## 5.2.4 Smáčivost povrchu

Statistická analýza prokázala významný vliv nátěrového systému, délky expozice a jejich interakcí na smáčivost povrchu během obou použitých metod povětrnostních testů ( $p < 0,05$ ). Očekávaný pozitivní účinek hydrofobní vrchní vrstvy na smáčivost povrchu byl zaznamenán pouze po jeho aplikaci jako v jiných studiích (Liu et al. 2013; Samyn et

al. 2014). Během povětrnostního stárnutí ale nebyl prokázán vliv hydrofobní vrstvy na bázi nanočástic křemíku na smáčivost povrchu ( $p = 0,91$ ;  $p = 0,90$ ) porovnáním nátěrového systému (E) a (F) pomocí vícenásobného testu (Příloha 6). Na základě grafů (Graf 5.16) lze pozorovat, že se zvýšila smáčivost všech testovaných nátěrových systémů, tj. došlo ke snížení kontaktního úhlu, a to během přirozeného i umělého stárnutí jako ve studii Žlahtiče a Humara (2016). Je možné pozorovat stejný trend nátěrů (A) a (D) - kontaktní úhel byl po expozici snížen na minimální hodnoty a povrch dosáhl plné smáčivosti. Vliv povrchové úpravy světlicových olejem a esenciálními oleji na hodnotu kontaktního úhlu se prokázal jako statisticky významný po přirozeném stárnutí ( $p < 0,05$ ) a nevýznamný po umělém stárnutí ( $p = 0,39$ ) porovnáním systémů (B) a (E). Zbytek nátěrových systémů na bázi komerčního oleje je charakterizován obdobným snížením kontaktních úhlů během obou testovacích postupů. Celkové změny kontaktního úhlu (KU) v případě nátěrů na bázi pouze světlicového oleje (A) a (D) byly  $\Delta KU \in (-113; -110)$  po přirozeném a  $\Delta KU \in (-113; -101)$  po umělém stárnutí. Pro ostatní systémy nátěru byly tyto rozdíly v rozmezí  $\Delta KU \in (-34; -29)$  po přirozeném a  $\Delta KU \in (-55; -44)$  po umělém stárnutí.



Graf 5.16: :Změny smáčivosti povrchu (kontaktního úhlu) smrkového dřeva během přirozeného (a) a umělého povětrnostního stárnutí (b)

## 5.2.5 Vizuální vyhodnocení

Počáteční vizuální vyhodnocení potvrdilo, že povětrnost způsobuje změnu barvy a povrchové změny vlastností jak v přírodních venkovních, tak v laboratorních

podmínkách podobně jako v jiných studiích (Grüll et al. 2014; Žlahtič a Humar 2016). Rozdílná atmosférická degradace nátěrových systémů na bázi světlicového oleje (A) a (D) byla viditelná již po 3 měsících venkovní expozice, kdy došlo k počátečnímu ztmavnutí (Obrázek 5.23). Po 6 měsících již vzorky vykazují známky zešednutí a formování plísní. Po 18 měsících je již přítomnost plísní na povrchu jasně patrná. Účinnost samotné vrstvy esenciálních olejů proti biologickým činitelům se prokázala jako nízká. Z povrchu dřeva jsou totiž v průběhu expozice vyplavovány působením vody. Během 17. měsíce expozice byly vzorky zasaženy kroupami, které způsobily mechanická poškození povrchu nátěrů vedoucí k začátku působení dřevozbarvujících hub, k čemuž došlo také ve studii Uiterwaala a Bloma (1973). Nejvíce byly zasaženy nátěrové systémy (E) a (F), u kterých se projevila degradace narušeného nátěru formou lokálního zešednutí, odlupování nátěru a působení plísní a dřevozbarvujících hub (Obrázek 5.23), což bylo dále analyzováno laserovým konfokálním mikroskopem (Obrázek 5.26 - Obrázek 5.31 a Obrázek 5.32). Pro srovnání je uvedena i analýza povrchu smrku i bez nátěrového systému po dvouleté expozici v exteriéru (Obrázek 5.1).

Vzhledem k faktu, že byly používány nepigmentované nátěry, nedocházelo ke křídování. Rozdílné výsledky nátěrových systémů na bázi světlicového oleje (A) a (D) jsou jasně demonstrovány. Více trhlin bylo pozorováno během umělého stárnutí než přirozeného, tak jako i v jiných studiích (Grüll et al. 2014; Miklečić et al. 2017), a to zejména díky ke kratší reakční době dřeva nutné pro přizpůsobení klimatickým změnám a související rozměrové změny v průběhu umělého laboratorního stárnutí. Snížená trvanlivost nátěrových systémů (A) a (D) byla prokázána i v případě testování US – i zde došlo k postupnému vyplavení nátěru z povrchu dřeva (Obrázek 5.24).

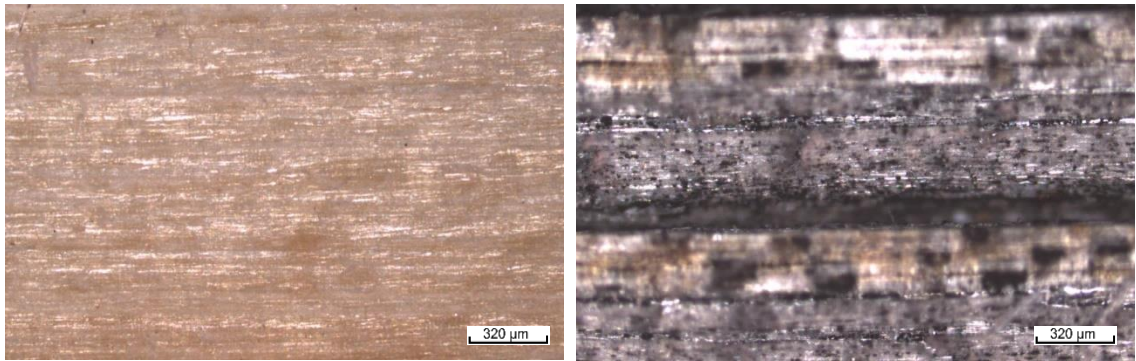


Obrázek 5.23: Vizuální podoba nátěrových systémů (A-F) během přirozeného stárnutí PS (po 0,3,6,12,18 a 24 měsících)

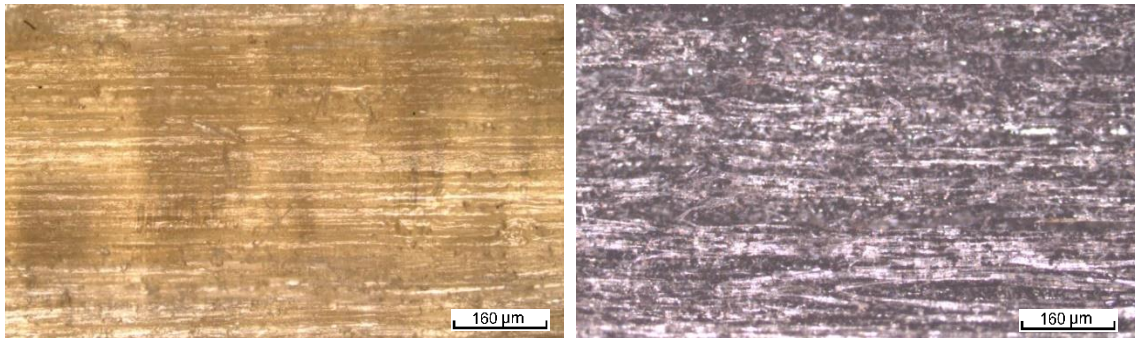


Obrázek 5.24: Vizuální podoba nátěrových systémů (A-F) během umělého stárnutí US (po 0,168,504,1008,1512 a 2016 hodinách)

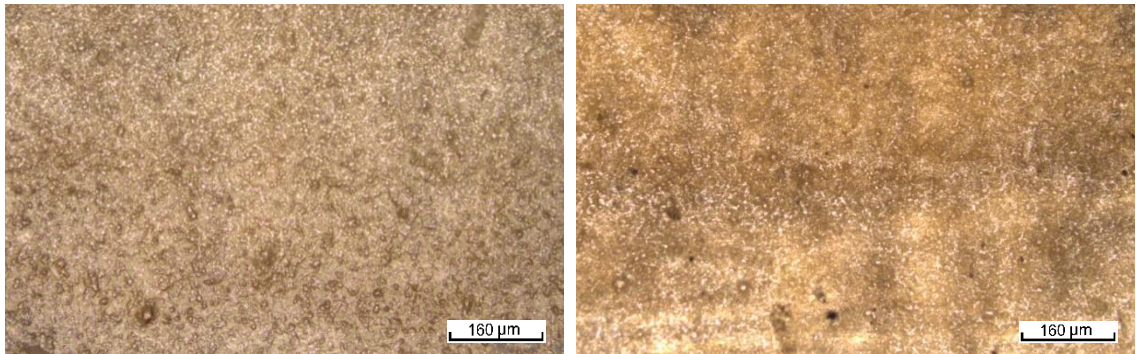




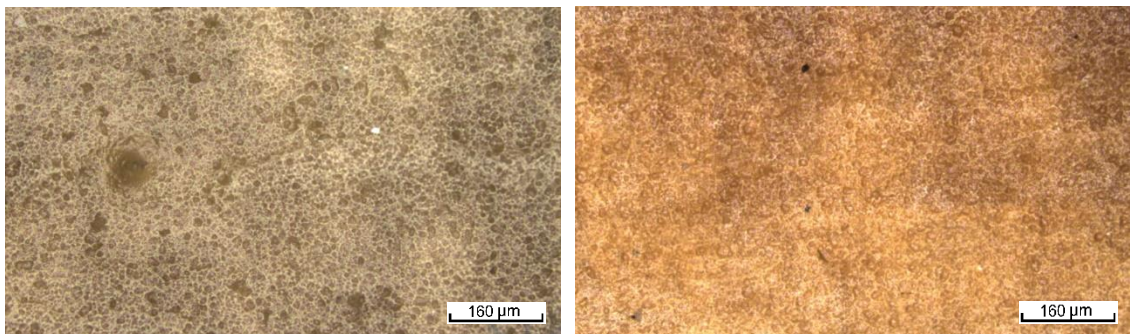
Obrázek 5.25: Smrk bez povrchové úpravy před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu



Obrázek 5.26: Nátěrový systém (A) před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu

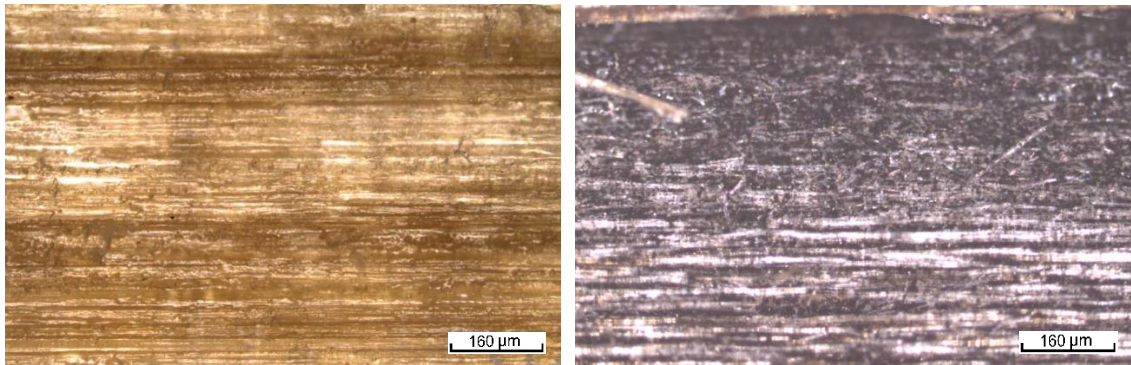


Obrázek 5.27: Nátěrový systém (B) před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu

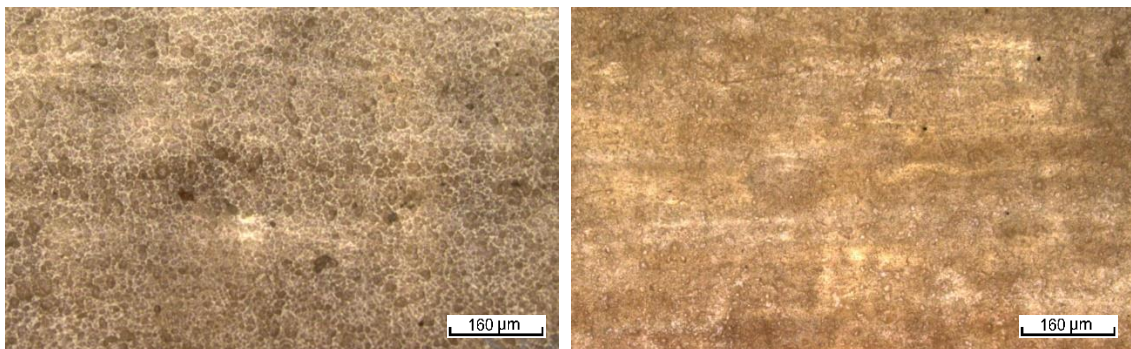


Obrázek 5.28: Nátěrový systém (C) před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu

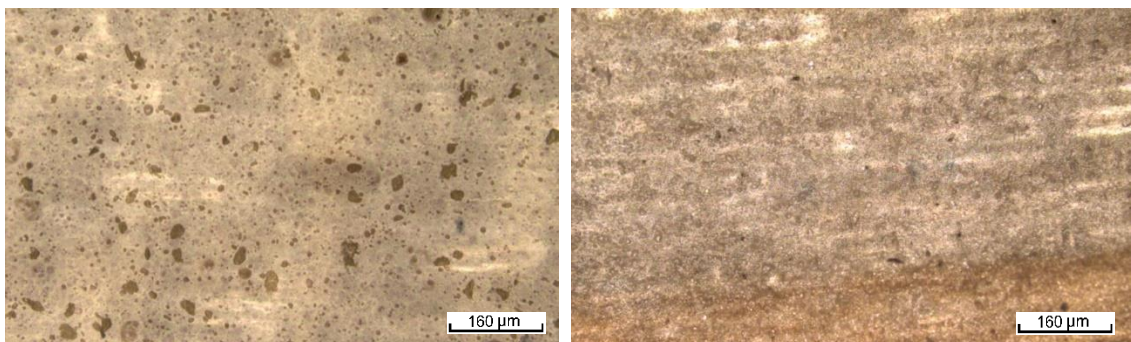




Obrázek 5.29: Nátěrový systém (D) před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu



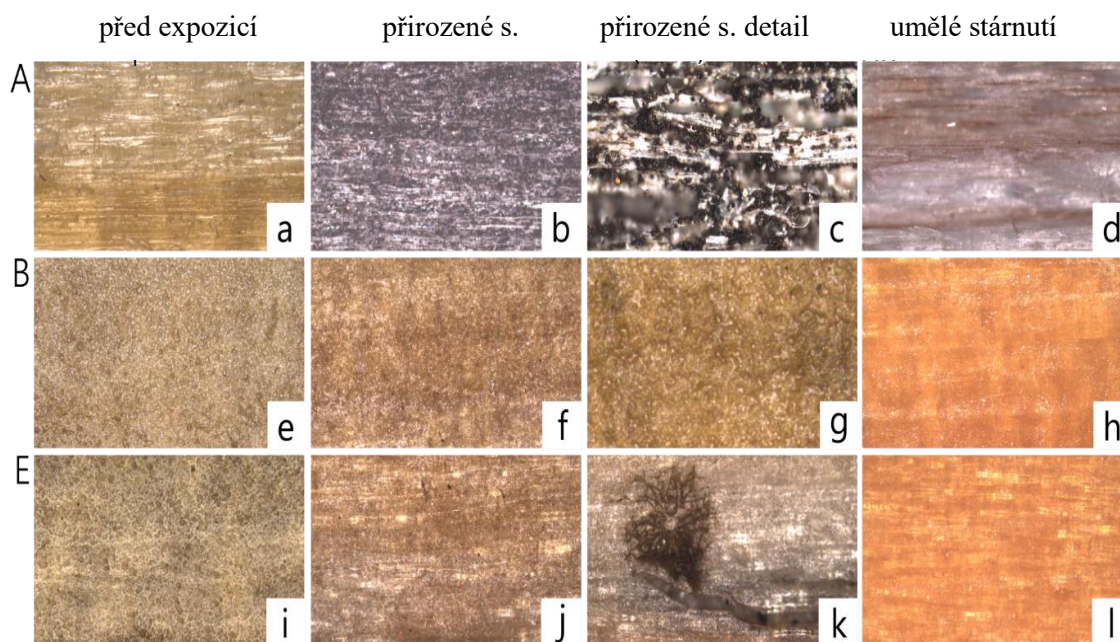
Obrázek 5.30: Nátěrový systém (E) před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu



Obrázek 5.31: Nátěrový systém (F) před (vlevo) a po 2 letech v exteriéru (vpravo) – výstup z laserového mikroskopu

Pro přehlednější srovnání výsledků mikroskopické analýzy byly vybrány zástupci nátěrových systémů s nejnižší (A) a nejvyšší (B) trvanlivostí během povětrnostního stárnutí a nátěrový systém (E) – viz Obrázek 5.32. Poškození nátěru kroupami je prokázáno na obrázcích z mikroskopu (Obrázek 5.32j a Obrázek 5.32k). V případě nátěrového systému (A) lze pozorovat narušení dřevních vláken, přítomnost znečištění a plísní po testu přirozeným stárnutím (Obrázek 5.32c) tak jako i v jiných studiích (Evans et al. 2008; Gobakken a Lebow 2010). Nátěrový systém (B) si udržel dobré vlastnosti nátěrového filmu. Detail nátěrového systému (E) po povětrnostním stárnutí (Obrázek

5.32k) ukazuje povrch poškozený kroupami, kde se začaly formovat houby a plísně jako ve studii Gaylarde et al. (2011). Synergický efekt povrchové úpravy esenciálními oleji a komerčního oleje (nátěrové systémy B, C) dosáhl nejlepších výsledků a na biologicky chráněném povrchu zasaženém kroupami nedocházelo k formování plísní a hub (Obrázek 5.32g).



Obrázek 5.32: Konfokální laserová mikroskopie vybraných nátěrových systémů během vystavení povětrnosti; přirozené stárnutí po 24 měsících; umělé stárnutí po 2016 hodinách – výstupy z laserového mikroskopu

## 5.2.6 Shrnutí kapitoly

Výsledky ukazují průběh degradačních změn smrku s transparentními nátěrovými systémy po dvouleté expozici ve vnějších podmínkách a k tomu ekvivalentních 2016 hodinách urychleného laboratorního stárnutí. Smrk patří mezi dřeviny s nižší přirozenou trvanlivostí a v exteriéru je vhodné ho chránit (Reinprecht a Pánek 2015). Problematika transparentních povrchových úprav je detailně zpracována v práci Evans et al. (2015). Jejich výhodou je schopnost prodloužení životnosti a zachování přírodního vzhledu a textury dřeva Evans et al. (2015), nevýhodou však je, že nechrání podkladovou dřevinu vůči působení UV záření a viditelného světla jako pigmentované nátěry (Miniutti 1964).

V práci byly použity nátěrové systémy na rostlinné bázi (Ozgenc et al. 2013) aplikované na smrkové dřevo s nižší přirozenou trvanlivostí (Reinprecht a Pánek 2015; EN 350 2016). Při hodnocení účinnosti jednotlivých nátěrů výsledky ukazují, že použití pouze směsi na bázi světlicového a esenciálních olejů (nátěrové systémy (A) a (D)) není

dostatečně efektivní řešení z hlediska ochrany dřeva. Degradční procesy a povrchové změny byly jasně prokazatelné při povětrnostním stárnutí vlivem vyplavování nátěru z povrchu dřeva jak vizuálně, tak na základě hodnot pozorovaných vlastností (Singh a Singh 2012; Pánek et al. 2014). Barevné změny komerčního nátěrového systému (E) měly podobný průběh jako v experimentu Pánka a Reinprechta (2014), některé drobné rozdíly v hodnotách  $\Delta E^*$  mohly být způsobeny místními klimatickými podmínkami (Creemers et al. 2002). Výsledky potvrzují tvrzení o vlivu typu polymerního základu na celkovou životnost nátěru (De Meijer 2001; Sivrikaya et al. 2011; Ozgenc et al. 2013). Při kombinaci povrchové úpravy s esenciálními oleji a komerčního rostlinného oleje (B) nebyla ovlivněna barevná stálost nátěrového systému a byly zaznamenány pozitivní účinky na zvýšenou biologickou odolnost. Takový synergický efekt komerčního nátěru s esenciálními oleji byl pozorován i v jiných studiích (Chittenden a Singh 2011; Pánek et al. 2014). Pro uvedenou kombinaci byly zaznamenány dobré výsledky při nanesení komerčního olejového nátěru na povrchovou úpravu v mokřem stavu (esenciální a světlicové oleje). V tomto případě pouze jedna vrstva byla dostatečná pro ochranu dřeva proti povětrnosti a napadení plísněmi. Nevýhodou je, že nátěrový film schnul dvakrát delší dobu. Účinky hydrofobní vrstvy na bázi silikonových nanočástic na snížení smáčivosti byly pozorovány pouze po jejich aplikaci. Naopak její degradace způsobené povětrností byla velmi rychlá a vrstva nepomohla zvýšení hydrofobicity povrchu, barevné stálosti ani prodloužení životnosti nátěrových systémů. Naopak pozitivních výsledků bylo dosaženo v pracích Ghoshe et al. (2009) a Samyna et al. (2014). Rozdílné výsledky potvrzují, že je nutné jednotlivé varianty otestovat.

Nátěrové systémy na bázi pouze směsi světlicového oleje a esenciálních olejů (A) a (D) prokázaly nižší trvanlivost i při hodnocení drsnosti, smáčivosti i vizuálního hodnocení během expozice PS a US. V těchto experimentech dosáhly ostatní nátěrové systémy relativně podobných výsledků. Zvýšená biologická odolnost povrchové úpravy esenciálními oleji byla odhalena po mechanickém poškození nátěrů kroupami jako ve studii Uiterwaala a Bloma (1973).

Predikování chování transparentních nátěrů pomocí umělého stárnutí dosáhlo uspokojivějších výsledků než v případě neošetřeného dřeva stejně jako ve studii Reinprechta a Pánka (2015). Při porovnání obou experimentálních metod není vyhodnocení provedené pouze na základě celkových barevných změn dostatečné, stejně jako je uvedeno ve studiích Grüllla et al. (2014), Reinprechta a Pánka (2015) a Moyi et al. (2016). Kombinace testovacích metod hodnocení po umělém stárnutí a měření změn



drsnosti a povrchové smáčivosti vytváří představu o kvalitě a trvanlivosti testovaných nátěrových systémů a jejich životnosti během přirozeného stárnutí v exteriéru. Mikroskopické analýzy nátěru velmi dobře odhalují jejich degradaci během expozice, stejně jako ve studiích Masaryková et al. (2010) a Grüll et al. (2014) bez potřeby přípravy speciálních mikroskopických vzorků.

Obecně je nalezení vhodného nátěru, který zohledňuje moderní ekologické i funkční požadavky, velmi problematické. Většina nátěrových systémů obsahuje složky pro zvýšení biologické odolnosti (Gaylarde et al. 2011) nebo odolnosti vůči UV záření (Evans et al 2015), ne vždy ale s požadovanou účinností. Navíc se životnost nátěrových systémů liší podle použité podkladové dřeviny (Gobakken a Lebow 2010; De Windt et al. 2014). Možným zlepšením vlastností transparentních nátěrů se jeví použití UVA nebo HALS, případně přípravků na bázi nanočástic, a to jako přísady do polymerního základu nebo jako samostatného nátěru, které již bylo testováno v několika pracích (Rogez 2002; Vollmer 2011; Ozgenc et al. 2012; Nikolic et al. 2015; Miklečić et al. 2017).

## 6 ZÁVĚR

Proces stárnutí dřeva je ovlivňován mnoha faktory - klimatickými podmínkami, druhem expozice či dílčími vlastnostmi dřeva (hustota dřeva, podíl jarního a letního dřeva nebo například obsah ligninu a extraktivních látek). Obecně ale dřevo vystavené přímému působení povětrnosti časem mění svoje přirozené vlastnosti. Degradace způsobená povětrností se v případě respektování správných konstrukčních principů týká pouze vrchní vrstvy dřevěného prvku, která se vyznačuje změnou povrchových vlastností. Při hodnocení změn těchto vlastností (barva, lesk, drsnost, smáčivost) se prokázalo, že na testované proměnné má statisticky významný vliv druh dřeviny a délka expozice. V potaz by se měla brát skutečnost, že testování v jižní expozici v úhlu 45° dosahuje rychlejších změn v porovnání s vertikální expozicí.

### Neošetřené dřevo

Barevné změny neošetřeného dřeva byly pozorovány po velice krátké době venkovní expozice – zhruba po měsíci. V průběhu testu pak docházelo k jejich průběžnému navyšování do 12 měsíců expozice, poté došlo k zpomalení tohoto trendu. Po 2 letech expozice byl nejvyšší celkový barevný rozdíl zaznamenán pro smrk a nejnižší pro dub a olši v případě přirozeného stárnutí. V případě umělého stárnutí byl po 2016 hodinách nejvyšší barevný rozdíl zaznamenán pro olši a akát, nejnižší pro smrk a topol. Vyšší hodnoty barevných změn byly dosaženy při testu PS. Výsledky dosažené oběma testovacími metodami se prokázaly být statisticky odlišné s výjimkou přirozeně tmavších dřevin DB, AK a OL, které v exteriéru nedosahují tak vysokých barevných změn jako světlé dřeviny a celkové výsledky barevných změn  $\Delta E^*$  pak více korespondují s nižšími barevnými změnami dosaženými v UV komoře. Hodnoty barevných parametrů  $a^*$  a  $b^*$  se na počátku expozice zvýšily a následně snížily. Tento jev je vysvětlen degradací ligninu (při nárůstu) a vyplavováním extraktiv a degradovaných složek z ligninu (při snižování). Obecně se jehličnaté dřeviny vyznačovaly vyššími barevnými změnami v průběhu PS. To souvisí s vyšším nárůstem drsnosti povrchu a následným usazováním prachových částic. Vyplavování extraktiv bylo nejvíce viditelné zejména u AK a DB.

Hodnoty drsnosti povrchu dřeva se u všech testovaných dřevin zvýšily, nejvyšší byla zaznamenána pro smrk s velkým rozdílem v hustotě jarního a letního dřeva po PS i US. Růst plísní a dřevozbarvujících hub byl pozorován na dřevinách, které jsou obecně

považovány za netrvanlivé (JV, OL, TP). Dřevo douglasky se během našich experimentů ukázalo jako nejvíce náchylné k tvorbě trhlin. Relativně vysoká korelace byla zjištěna pro hodnoty celkových barevných změn po roční expozici PS a jejich hloubek. Lze tedy konstatovat, že čím vyšších barevných změn dřevo dosáhne vlivem působení abiotických činitelů, tím hlouběji tyto barevné změny zasahují do povrchu dřeva. Během expozice došlo ke zvýšení smáčivosti povrchu všech testovaných dřevin při PS a US. Po roční expozici byla u jehličnanů zaznamenána plná smáčivost povrchu. Listnaté dřeviny se během jednoleté expozice vyznačovaly mnohem variabilnějšími výsledky než jehličnaté. U některých (JV, OL, AK) byla naměřena nízká hodnota kontaktního úhlu po roční expozici. Rozdílné výsledky mohou být způsobeny vysokou strukturou povrchu i variabilitou hustoty, mikroskopickou stavbou a obsahem extraktiv.

Konkrétní výsledky testovaných proměnných dosažené pomocí rozdílných testovacích metod přirozeného a umělého stárnutí se v případě neošetřeného dřeva lišily výrazněji než u ošetřeného smrku. V exteriéru byl zformován šedý povrch u všech vzorků, zatímco v UV komoře nastalo zesvětlení až vybělení testovaných variant. Umělé stárnutí se nejeví jako vhodný nástroj pro predikci vlastností neošetřeného dřeva. Přesto ale byly v průběhu expozice zjištěny některé podobné klesající či vzrůstající trendy zaznamenané pomocí obou zkušebních metod.

Na základě provedených testů a dosažených výsledků lze uvést, že povrch neošetřeného dřeva vystaveného působení povětrnosti v průběhu expozice postupně degraduje. Rychlá změna barvy a lesku i drsnosti nastává již v počátečních měsících expozice. Větších barevných změn v exteriéru dosahují jehličnaté dřeviny vlivem vyšší drsnosti a usazováním prachových částic do narušené struktury dřeva a také přirozeně světlé dřeviny. Dřeviny dosahují plné či téměř plné smáčivosti povrchu. V dalším průběhu se pak formuje šedá ochranná vrstva, která další degradační změny zpomaluje. U dřevin s nižší přirozenou trvanlivostí brzy začíná výskyt plísní a posléze i dřevozbarvujících hub (cca po 6 měsících). Nejvyšší barevné změny a nárůst drsnosti povrchu byly zaznamenány pro smrk.

### **Smrk s transparentní povrchovou úpravou**

Smrk je jednou z nejvíce používaných dřevin ve střední Evropě, která se vyznačuje nižší přirozenou trvanlivostí. I na základě výsledků dosažených v první části disertační práce (nejvyšší barevné změny, nejvyšší drsnost, plná smáčivost povrchu) lze konstatovat, že je nezbytné ho ošetřit vhodným nátěrem k zaručení vyšší životnosti

v exteriéru a popřípadě i k zachování jeho přirozené barvy. V této práci byl prokázán statisticky významný vliv druhu nátěrového systému a délky expozice na vlastnosti povrchu (barva, lesk, drsnost, smáčivost) smrkového dřeva. Nátěrové systémy založené pouze na světlicovém oleji a esenciálních olejích (A) a (D) se ukázaly jako nedostatečná samostatná varianta ochrany dřeva ve všech experimentech, kdy byly vyplavovány z povrchu dřeva působením vody. V průběhu testování PS a US se tyto nátěrové systémy výsledkově lišily od zbylých variant. V interakci s komerčním olejem ale pak tyto varianty dosahovaly nejlepších výsledků. Byl pozorován synergický účinek povrchové úpravy směsí světlicového oleje a esenciálních olejů a komerčních nátěrových systémů na bázi oleje na zvýšenou biologickou odolnost smrku, kdy se i přes mechanické poškození nátěru kroupami nezačaly formovat plísně nebo dřevozbarvující houby. Naopak očekávaný pozitivní účinek vrchní hydrofobní vrstvy na smáčivost povrchu, barevnou stálost a celkovou životnost nátěru nebyl během expozice prokázán. Aplikace jedné vrstvy komerčního oleje v mokřém stavu úpravy prokázala dostatečnou ochranu před povětrnostními vlivy během 2 let PS.

Výsledné hodnoty se statisticky významně lišily na základě použitých testovacích metod, přesto lze konstatovat, že obě metody prokázaly trvanlivost jednotlivých nátěrových systémů a dospěly k větší shodě než při hodnocení neošetřeného dřeva. Při umělém stárnutí bylo dosaženo vyšších barevných změn než při přirozeném stárnutí. Celková změna barvy  $\Delta E^*$  se neprokázala jako dostatečné hodnotící kritérium. Kombinace dalších hodnotících kritérií ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ) je vhodná pro lepší předpověď trvanlivosti nátěrů při venkovní expozici. Interakce esenciálních olejů jako povrchové úpravy a smrkového dřeva v kombinaci s vrchním komerčním nátěrem na bázi oleje může sloužit jako ekologicky nezávadná varianta transparentních nátěrových systémů do exteriéru pro dřeviny s nižší přirozenou trvanlivostí.

## Doporučení pro praxi

Pro aplikaci dřeva v exteriéru je nutné znát a respektovat jeho chování a změny, ke kterým dochází působením abiotických i biotických činitelů. Pokud je neošetřené dřevo přímo vystavené povětrnosti, časem zešedne a získá drsnější strukturu. V případě použití dřevin s vyšší přirozenou trvanlivostí a respektování správných konstrukčních zásad ale není omezena funkce ani životnost daného prvku. Pokud jsou v exteriéru použity dřeviny s nižší přirozenou trvanlivostí, je nutné je chránit dodatečnou ochranou ve formě vhodného nátěrového systému. Na trhu je dostupných mnoho typů nátěrových hmot, ne všechny ale plně splňují funkční i ekologické požadavky. Navíc ne všechny typy nátěrových hmot je vhodné aplikovat obecně na každý druh dřeviny, který se vyznačuje specifickým chemickým složením. Transparentní nátěrové systémy sice zachovávají texturu dřeva, ale poskytují pouze omezenou ochranu. Je proto vhodné neustále hledat a zkoušet další ekologicky přijatelná řešení. Trvanlivost těchto řešení může být testována metodou umělého stárnutí, což se potvrdilo v provedených experimentech, a to i přes dosažení rozdílných exaktních hodnot změn povrchových vlastností. Na základě dosažených výsledků je možné vyvodit následující doporučení:

- » Barevné změny neošetřeného dřeva přímo vystaveného povětrnosti a bez kontaktu se zemí se začínají projevovat již po 1 měsíci expozice v podobě počátečního zhnědnutí dřeva, šedivění začíná po 6 měsících expozice a po roční expozici je již jasně zřetelné v celé ploše. Průběh těchto barevných změn je relativně podobný. Vznikem degradované povrchové vrstvy pak dochází k výraznému zpomalení dalších degradačních změn.
- » U dřevin s nižší přirozenou trvanlivostí je barevná změna výrazně ovlivněna výskytem plísní a dřevozbarvujících hub, které se začíná projevovat již po 6 měsících přímé expozice v exteriéru (OL, JV, TP). Přítomnost těchto činitelů indikuje možné poškození nebezpečnějšími dřevokaznými houbami, které již způsobují trvalou degradaci celé dřevní hmoty. Proto je žádané chránit tyto dřeviny nátěrovými systémy.
- » V exteriérových podmínkách dochází k vyšším celkovým barevným změnám u jehličnatých dřevin než listnatých dřevin a u přirozeně světlejších dřevin než přirozeně tmavších.



- » Smrk se po dvouleté exteriérové expozici vyznačoval nejvyššími barevnými změnami, nejvyšší drsností z testovaných dřevin a plnou smáčivostí povrchu.
  - » Zejména u dubu a akátu docházelo během venkovní expozice k výraznému vyplavování extraktivních látek, které mohou výrazně znečistit okolní prostředí.
  - » Dřevo douglasky se během provedených experimentů ukázalo jako nejvíce náchylné k tvorbě trhlin.
  - » Hloubka barevných změn neošetřeného dřeva odpovídá velikosti změny barvy (čím větší je barevná změna v průběhu venkovní expozice, tím silnější vrstvu je nutné z povrchu odstranit, pokud se chceme dostat na původní barvu dřeva) – s výjimkou dřeva, které bylo napadeno dřevozbarvujícími houbami. Taková informace o hloubce barevných změn může být užitečná při skladování dřeva nebo delší době výstavby dřevěných konstrukcí bez povrchové ochrany.
  - » Při použití neošetřeného dřeva v exteriéru je žádoucí dodržovat ochranu v podobě správného konstrukčního řešení, která je schopna prodloužit životnost použitých dřevěných prvků až několikanásobně.
- 
- » Pro exteriérové aplikace lze doporučit použití vícevrstevných transparentních nátěrových systémů. Vhodný nátěr dokáže snížit nežádoucí barevné změny, ale i omezit tvorbu trhlin a vznik plastické struktury dřeva. V kombinaci s vhodným nátěrem je možné zvýšit i odolnost vůči biologickému poškození. V případě této práce se osvědčila aplikace základní vrstvy zvyšující biologickou odolnost (směsi světlícového oleje a esenciálních olejů) na smrku, jako zástupci dřevin s nižší přirozenou trvanlivostí.
  - » Komerční nátěr na bázi rostlinných olejů UV OSMO 420 prokázal na smrku uspokojivé výsledky z hlediska barevné stálosti i celkových degradačních změn.
  - » Aplikace hydrofobní vrstvy PMO 62 na bázi nanočástic neprokázala vliv na zvýšenou trvanlivost nátěru v exteriéru.
  - » Aplikace vrstvy komerčního olejového nátěru na povrchovou úpravu v mokřem stavu měla v průběhu expozice dobré výsledky. V tomto případě se pouze jedna vrstva ukázala jako dostatečná pro ochranu dřeva proti povětrnosti a napadení plísněmi, což může vést k materiálové i finanční úspoře. Nevýhodou je přibližně dvojnásobná doba schnutí nátěru.

- » Interakce esenciálních olejů jako povrchové úpravy a smrkového dřeva v kombinaci s vrchním komerčním nátěrem na bázi oleje může sloužit jako ekologicky nezávadná varianta transparentních nátěrových systémů se zvýšenou biologickou odolností v exteriéru pro dřeviny s nižší přirozenou trvanlivostí. Po dvouleté expozici, která je udávána pro transparentní nátěry jako kritická, nátěrový systém nevykazoval známky výrazného poškození. Přesto, že jižní expozice v úhlu 45° rychleji dosahuje povrchových degradací než vertikální expozice (např. fasády), lze i tak očekávat omezenou životnost tohoto systému.
- » I při použití dřeva ošetřeného nátěrovými systémy je vhodné dodržovat ochranu v podobě správného konstrukčního řešení několikanásobně prodlužující životnost dřevěných prvků v exteriéru. Stav nátěru by se měl pravidelně kontrolovat a v případě potřeby renovovat nebo znovu aplikovat, čímž lze zabránit poškození podkladové dřeviny.

## SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

### ODBORNÉ ČLÁNKY

1. AFROUZI, Y. M.; OMIDVAR, A.; MARZBANI, P. Effect of artificial weathering on the wood impregnated with Nano-Zinc Oxide. *World Applied Sciences Journal*. 2013, vol. 22, no 9, s. 1200-1203.
2. AKHTARI, M.; AREFKHANI, M. Application of nanotechnology in wood preservation. In: *41st Annual Meeting of the International Research Group on Wood Protection, Biarritz, France, 9-13 May 2010*. IRG Secretariat, 2010.
3. ANDERSON, E. L.; PAWLAK, Z.; OWEN, N.L.; FEIST, W.C. Infrared studies of wood weathering. Part I: Softwoods. *Applied spectroscopy*. 1991, vol. 45, no. 4, s. 641-647.
4. ASLAN, S.; COŞKUN, H.; KILIÇ, M. The effect of the cutting direction, number of blades and grain size of the abrasives on surface roughness of Taurus cedar (*Cedrus Libani* A. Rich.) woods. *Building and Environment*. 2008, vol. 43, no. 5, s. 696-701.
5. AYDIN, I.; COLAKOGLU, G. Effects of surface inactivation, high temperature drying and preservative treatment on surface roughness and colour of alder and beech wood. *Applied Surface Science*. 2005, vol. 252, no. 2, s. 430-440.
6. BASTANI, A.; ADAMOPOULOS, S.; MILITZ, H. Water uptake and wetting behaviour of furfurylated, N-methylol melamine modified and heat-treated wood. *European journal of wood and wood products*. 2015, vol. 73, no. 5, s. 627-634.
7. BAYSAL, E. Surface characteristics of CCA treated scots pine after accelerated weathering. *Wood Research*. 2012, vol 57, no. 3, s. 375-382.
8. BAYSAL, E.; DIZMAN TOMAK, E.; OZBEY, M.; ALTIN, E. Surface properties of impregnated and varnished Scots pine wood after accelerated weathering. *Coloration Technology*. 2014, vol. 130, no. 2, s. 140-146.
9. BLANCHARD, V.; BLANCHET, P. Color stability for wood products during use: Effects of inorganic nanoparticles. *BioResources*. 2011, vol. 6, no. 2, s. 1219-1229.
10. BLOM, Å.; BERGSTRÖM, M. Untreated Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) wood-panels exposed out of ground contact in Sweden for two years. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 2006, vol. 64, no. 1, s. 53-61.

11. BRELID, P. L.; SIMONSON, R.; BERGMAN, Ö.; NILSSON, T. Resistance of acetylated wood to biological degradation. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 2000, vol. 58, no. 5, s. 331-337.
12. BROWNE, F. L.; SIMONSON, H. C. The penetration of light into wood. *Forest Prod J*. 1957, vol. 7, no. 10, s. 308-314.
13. CIVIDINI, R.; TRAVAN, L.; ALLEGRETTI, O. White beech: A tricky problem in drying process. In: *International Scientific Conference on Hardwood Processing*. 2007. September 24-26, Québec City, Canada.
14. CREEMERS, J., DE MEIJER, M.; ZIMMERMANN, T.; SELL, J. Influence of climatic factors on the weathering of coated wood. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2002, vol. 60, no. 6, s. 411-420.
15. CREWDSON, M. Outdoor weathering must verify accelerated testing. *Q-Lab Weathering Research Service*. 2008, vol. 1005: 33034-1725.
16. CRISTEA, M. V.; RIEDL, B.; BLANCHET, P. Enhancing the performance of exterior waterborne coatings for wood by inorganic nanosized UV absorbers. *Progress in Organic Coatings*. 2010, vol. 69, no. 4, s. 432-441.
17. DAWSON, B. S.; SINGH, A. P.; KROESE, H. W., SCHWITZER, M.A.; GALLAGHER, S.; RIDDIOUGH, S. J.; WU, S. Enhancing exterior performance of clear coatings through photostabilization of wood. Part 2: coating and weathering performance. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2008, vol. 5, no. 2, s. 207.
18. DE MEIJER, M. Review on the durability of exterior wood coatings with reduced VOC-content. *Progress in organic coatings*. 2001, vol. 43, no. 4, s. 217-225.
19. DE WINDT, I.; VAN DEN BULCKE, J.; WUIJTENS, I.; COPPENS, H.; VAN ACKER, J. Outdoor weathering performance parameters of exterior wood coating systems on tropical hardwood substrates. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2014, vol. 72, no. 2, s. 261-272.
20. DEFLORIAN, F.; ROSSI, S.; FEDEL, M. Organic coatings degradation: comparison between natural and artificial weathering. *Corrosion Science*. 2008, vol. 50, no. 8, s. 2360-2366.
21. DERBYSHIRE, H.; MILLER, E. R. The photodegradation of wood during solar irradiation. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 1981, vol. 39, no. 8, s. 341-350.

22. DUBEY, M. K.; PANG, S.; WALKER, J. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment. *Holzforschung*. 2012, vol. 66, no. 1, s. 49-57.
23. DUNNINGHAM, E. A.; PLACKETT, D. V.; SINGH, A. P. Weathering of chemically modified wood. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 1992, vol. 50, no. 11, s. 429-432.
24. EVANS, P. D. The influence of season and angle of exposure on the weathering of wood. *European Journal of Wood and Wood Products*. 1996, vol. 54, no. 3, s. 200-200.
25. EVANS, P. D. Weathering and photo-degradation of wood. *Development of Wood Preservative Systems, ACS Symposium Series, American Chemical Society*. 2008, s. 69-117. ISBN: 0-8412-3951-7
26. EVANS, P. D., OWEN, N. L.; SCHMID, S.; WEBSTER, R.D. Weathering and photostability of benzoylated wood. *Polymer degradation and stability*. 2002, vol. 76, no. 2, s. 291-303.
27. EVANS, P. D.; MICHELL, A. J.; SCHMALZL, K. J. Studies of the degradation and protection of wood surfaces. *Wood Science and Technology*. 1992, vol. 26, no. 2, s. 151-163.
28. EVANS, P. D.; THAY, P. D.; SCHMALZL, K. J. Degradation of wood surfaces during natural weathering. Effects on lignin and cellulose and on the adhesion of acrylic latex primers. *Wood Science and Technology*. 1996, vol. 30, no. 6, s. 411-422.
29. EVANS, Philip D.; HAASE, J.G.; SEMAN, A.S.; KIGUCHI, M. The search for durable exterior clear coatings for wood. *Coatings*. 2015, vol. 5, no. 4, s. 830-864.
30. FEDOR, G. R.; BRENNAN, P. J. Comparison between natural weathering and fluorescent UV exposures: UVA-340 lamp test results. In: *Durability Testing of Nonmetallic Materials*. ASTM International, 1996.
31. FEIST, W. C. Outdoor wood weathering and protection. In: *Archaeological wood: properties, chemistry, and preservation. Advances in Chemistry Series 225. Proceedings of 196th meeting of the American Chemical Society*. 1990. p. 25-28.
32. FEIST, W. C. Weathering of wood in structural uses. In: *Structural use of wood in adverse environments*. Van nostrand reinhold. 1982, s. 156-178.
33. FEIST, W. C.; HON, D. N. S. Chemistry of weathering and protection. *The chemistry of solid wood*. 1984, s. 401-451.

34. FEIST, W. C.; MRAZ, Edward A. Comparison of outdoor and accelerated weathering of unprotected softwoods. *Forest products journal*. 1978, vol. 28, no. 3, s. 38-42.
35. FENGEL, D. Aging and fossilization of wood and its components. *Wood Science and Technology*. 1991, vol. 25, no. 3, s. 153-177.
36. FERNÁNDEZ-COSTAS, C.; PALANTI, S.; CHARPENTIER, J.P.; SANROMÁN, M.A.; MOLDES, D. A sustainable treatment for wood preservation: enzymatic grafting of wood extractives. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2017, vol. 5, no. 9, s. 7557-7567.
37. 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, vol. 47, no. 2, s. 281-297.
38. FUFU, S. M.; JELLE, B.P.; HOVDE, P.J.; RORVIK, P.M. Coated wooden claddings and the influence of nanoparticles on the weathering performance. *Progress in organic coatings*. 2012, vol. 75, no. 1-2, s. 72-78.
39. GARDNER, D. J.; GENERALLA, N. C.; GUNNELS, D.W.; WOLCOTT, M.P. Dynamic wettability of wood. *Langmuir*. 1991, vol. 7, no. 11, s. 2498-2502.
40. GAYLARDE, C. C.; MORTON, L.H.G.; LOH, K.; SHIRAKAWA, M.A. Biodeterioration of external architectural paint films—A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2011, vol. 65, no. 8, s. 1189-1198.
41. 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.
42. GHOSH, S. C.; MILITZ, H.; MAI, C. Natural weathering of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) boards modified with functionalised commercial silicone emulsions. *BioResources*. 2009, vol. 4, no. 2, s. 659-673.
43. GOBAKKEN, L. R.; HØIBØ, O. A. Aesthetic service life of coated and uncoated wooden cladding-influencing factors and modelling. In: *The 42nd Annual Meeting of IRG. International Research Group on Wood Protection IRG/WP*. 2011, s. 11-20470.
44. GOBAKKEN, L. R.; LEBOW, P. K. Modelling mould growth on coated modified and unmodified wood substrates exposed outdoors. *Wood science and technology*. 2010, vol. 44, no. 2, s. 315-333.



45. 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.
46. GRÜLL, G., TRUSKALLER, M.; PODGORSKI, L.; BOLLMUS, S.; TSCHERNE, F. Maintenance procedures and definition of limit states for exterior wood coatings. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2011, vol. 69, no. 3, s. 443-450.
47. GRÜLL, G., TSCHERNE, F.; SPITALER, I.; FORSTHUBER, B. Comparison of wood coating durability in natural weathering and artificial weathering using fluorescent UV-lamps and water. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2014, vol. 72, no. 3, s. 367-376.
48. GUPTA, B. S.; JELLE, B. P.; HOVDE, P. J.; RÜTHER, P. Studies of wooden cladding materials degradation by spectroscopy. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*. 2001, vol. 164, no. 6, s. 329-340.
49. HIZIROGLU, S. Surface roughness analysis of wood composites: a stylus method. *Forest Products Journal*. 1996, vol. 46, no. 7,8 , s. 67.
50. Hon, D. N. S. *In proceeding of the second international conference on environmental degradation of engineering materials*. Virginia Polytechnic Institute and Stat University: Blacksburg, VA. 1981, s. 519-529
51. HON, D. N. S.; FEIST, W. C. Weathering characteristics of hardwood surfaces. *Wood Science and Technology*. 1986, vol. 20, no. 2, s. 169-183.
52. 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.
53. HON, D. N. S; IFJU, G. Measuring penetration of light into wood by detection of photo-induced free radicals. *Wood science*. 1978, vol. 11, no. 2, s. 118-127.
54. HON, D.N.S.; CHANG, S.T. Surface degradation of wood by ultraviolet light. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. 1984, vol. 22, no. 9, s. 2227-2241.
55. HUANG, X., KOCAEFE, D., KOCAEFE, Y., BOLUK, Y., PICHETTE, A. A spectrophotometric and chemical study on color modification of heat-treated wood during artificial weathering. *Applied surface science*. 2012, vol. 258, no. 14, s. 5360-5369.

56. CHANG, T. Ch.; CHANG H.T.; WU, C. L.; CHANG, S.T. Influences of extractives on the photodegradation of wood. *Polymer Degradation and Stability*. 2010, vol. 95, no. 4, s. 516-521.
57. CHITTENDEN, C.; SINGH, T. Antifungal activity of essential oils against wood degrading fungi and their applications as wood preservatives. *International Wood Products Journal*, 2011. vol. 2, no. 1, s. 44-48
58. JANKOWSKA, A. The study of influence artificial weathering on color changes of selected wood species from Africa. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*. 2015, vol. 92., s. 131-136. Available online: [yadda.icm.edu.pl](http://yadda.icm.edu.pl)
59. KAILA, P. Sunshine: the worst enemy of wooden façades. In: *Old cultures in new worlds. 8th ICOMOS General Assembly and International Symposium. Programme report - Compte rendu*. 1987, s. 333-338.
60. KALNINS, M. A.; FEIST, W. C. Increase in wettability of wood with weathering. *Forest Products Journal*. 1993, vol. 43, no. 2, s. 55.
61. KARTAL, S. N.; HWANG, W.J.; IMAMURA, Y.; SEKINE, Y. Effect of essential oil compounds and plant extracts on decay and termite resistance of wood. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 2006, vol. 64, no. 6, s. 455.
62. KATAOKA, Y.; KIGUCHI, M. Depth profiling of photo-induced degradation in wood by FT-IR microspectroscopy. *Journal of Wood Science*. 2001, vol. 47, no. 4, s. 325.
63. KATAOKA, Y.; KIGUCHI, M.; WILLIAMS, R.S.; EVANS, P.D. Violet light causes photodegradation of wood beyond the zone affected by ultraviolet radiation. *Holzforschung*. 2007, vol. 61, no. 1, s. 23-27.
64. KROPF, F. W.; SELL, J.; FEIST, W. C. Comparative weathering tests of North American and European exterior wood finishes. *Forest Products Journal*. 1994, vol. 44, no. 10, s. 33.
65. KUČEROVÁ, I. Atmosférická degradace dřeva. *VŠCHT – Ústav chemické technologie restaurování památek. Korozie a ochrana materiálu*. 2005, vol 49, no. 1, s. 9-12.
66. LIPTÁKOVÁ, E.; KÚDELA, J. Analysis of the wood – wetting process. *Holzforschung*. 1994, vol. 48, no. 2, s. 139-144.
67. LIU, F.; WANG, S.; ZHANG, M.M.; WANG, Ch.; LI, J. Improvement of mechanical robustness of the superhydrophobic wood surface by coating

- PVA/SiO<sub>2</sub> composite polymer. *Applied Surface Science*. 2013, vol. 280, s. 686-692.
68. MACLEOD, I. T., SCULLY, A.D.; GHIGGINO, K.P.; RITCHIE, P.J.A.; PARAVAGNA, O.M.; LEARY, B. Photodegradation at the wood-clearcoat interface. *Wood science and technology*. 1995, vol. 29, no. 3, s. 183-189.
  69. MASARYKOVÁ, M.; PÁNEK, M.; REINPRECHT, L. Micro-structural analysis of coatings with nanoscale particles after ageing in Xenotest. *Wood Structure and Properties, Technical University in Zvolen – Slovakia*. 2010, s. 209-216.
  70. MATAN, N.; MATAN, N. Waterborne paints modified with essential oils as bioprotective coatings for rubberwood. *Journal of Tropical Forest Science*. 2012, vol. 24, no. 4, s. 528-537.
  71. MATSUO, M.; YOKOYAMA, M.; UMEMURA, K.; SUGIYAMA, J.; KAWAI, S.; GRIL, J.; KUBODERA, S.; MITSUTANI, T.; OZAKI, H.; SAKAMOTO, M.; IMAMURA, M. Aging of wood: analysis of color changes during natural aging and heat treatment. *Holzforschung*. 2011, vol. 65, np. 3, s. 361-368.
  72. MATTOS, B. D.; DE CADEMARTORI P.H.G. Colour changes of Brazilian eucalypts wood by natural weathering. *International Wood Products Journal*. 2014, vol. 5, no. 1, s. 33-38.
  73. MIKLEČIĆ, J.; TURKULIN, H.; JIROUŠ-RAJKOVIĆ, V. Weathering performance of surface of thermally modified wood finished with nanoparticles-modified waterborne polyacrylate coatings. *Applied Surface Science*. 2017, vol. 408, s. 103-109.
  74. MINIUTTI, V. P. Microscale changes in cell structure at softwood surfaces during weathering. *Forest Products Journal*. 1964, vol. 14, no.12, s. 571-576.
  75. MITSUI, K. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment Part 2. Effect of light-irradiation time and wavelength. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 2004, vol. 62, no.1, s. 23-30.
  76. MOHEBBY, B.; SAEI, A. M.. Effects of geographical directions and climatological parameters on natural weathering of fir wood. *Construction and Building Materials*. 2015, vol. 94, s. 684-690.
  77. MOYA, R.; RODRIGUEZ-ZUNIGA, A.; VEGA-BAUDRIT, J.; PUENTE-URBINA, A. Effects of adding TiO<sub>2</sub> nanoparticles to a water-based varnish for wood applied to nine tropical woods of Costa Rica exposed to natural and

- accelerated weathering. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2017, vol. 14, no. 1, s. 141-152.
78. MÜLLER, U.; RÄTZSCH, M.; SCHWANNINGER, M.; STEINER, M.; ZÖBL, H. Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2003, vol. 69, no. 2, s. 97-105.
  79. NIKOLIC, M.; LAWATHER, J. M.; SANADI, A. R.. Use of nanofillers in wood coatings: a scientific review. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2015, vol. 12., no. 3, s. 445-461.
  80. NORRSTROM, H. Colour of unbleached sulfate pulp. *Svensk Papperstidn*. 1969, vol. 72, s. 25-38.
  81. NZOKOU, P.; KAMDEM, D. P.; TEMIZ, A. Effect of accelerated weathering on discoloration and roughness of finished ash wood surfaces in comparison with red oak and hard maple. *Progress in Organic Coatings*. 2011, vol. 71, no. 4, s. 350-354.
  82. NZOKOU, P.; KAMDEM, D. Pl. Influence of wood extractives on the photo-discoloration of wood surfaces exposed to artificial weathering. *Color Research & Application*. 2006, vol. 31, no. 5, s. 425-434.
  83. OBERHOFNEROVÁ, E., HÝSEK, Š.; PÁNEK, M.; BÖHM, M. Effect of artificial weathering and temperature cycling on the performance of coating systems used for wooden windows. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2018, s. 1-15.
  84. OBERHOFNEROVÁ, E.; PÁNEK, M. Surface wetting of selected wood species by water during initial stages of weathering. *Wood Research*. 2016, vol. 61, no. 4, s. 545-552.
  85. OBERHOFNEROVÁ, E.; PÁNEK, M.; GARCÍA-CIMARRAS, A. The effect of natural weathering on untreated wood surface. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2017, vol. 19, no. 2, s. 173-184.
  86. OLTEAN, L.; TEISCHINGER, A.; HANSMANN, Ch. Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 2008, vol. 66, no. 1, s. 51.
  87. Östman, B. L. Surface roughness of wood-based panels after aging, *Forest Products Journal*. 1983, vol. 33, no. 7-8, s. 35-42.

88. OWEN, J. A.; OWEN, N. L.; FEIST, W. C. Scanning electron microscope and infrared studies of weathering in Southern pine. *Journal of Molecular Structure*. 1993, vol. 300, s. 105-114.
89. OZDEMIR, T.; HIZIROGLU, S. Influence of surface roughness and species on bond strength between the wood and the finish. *Forest Products Journal*. 2009, vol. 59, no. 6, s. 90.
90. OZGENC, O., OKAN, O.T.; YILDIZ, U.C.; DENIZ, I. Wood surface protection against artificial weathering with vegetable seed oils. *BioResources*. 2013, vol. 8, no. 4, s. 6242-6262.
91. OZGENC, O.; HIZIROGLU, S.; YILDIZ, U. C. Weathering properties of wood species treated with different coating applications. *BioResources*. 2012, vol. 7, no. 4, s. 4875-4888.
92. PANDEY, K. K. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. *Polymer degradation and stability*. 2005a, vol. 87, no. 2, s. 375-379.
93. PANDEY, K. K. Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. *Polymer Degradation and Stability*. 2005b, vol. 90, no.1, s. 9-20.
94. PÁNEK, M.; OBERHOFNEROVÁ, E.; ŠEDIVKA, P.; ZEIDLER, A. Colour stabilisation of oak, spruce, larch and Douglas fir wood treated with mixtures of nanoparticle dispersions and UV - stabilizers after exposure to UV and VIS – radiation. 2018, článek v recenzním řízení.
95. PÁNEK, M.; OBERHOFNEROVÁ, E.; ZEIDLER, A.; ŠEDIVKA, P. Efficacy of Hydrophobic Coatings in Protecting Oak Wood Surfaces during Accelerated Weathering. *Coatings*. 2017, vol. 7, no. 10, s. 172.
96. PÁNEK, M.; REINPRECHT, L. Colour stability and surface defects of naturally aged wood treated with transparent paints for exterior constructions. *Wood Research*. 2014, vol. 59, no. 3, s. 421-430.
97. PÁNEK, M.; REINPRECHT, L. Effect of the number of UV-protective coats on the color stability and surface defects of painted black locust and Norway spruce woods subjected to natural weathering. *BioResources*. 2016, vol. 11, no. 2, s. 4663-4676.
98. PÁNEK, M.; REINPRECHT, L.; HULLA, M. Ten essential oils for beech wood protection-efficacy against wood-destroying fungi and moulds, and effect on wood discoloration. *BioResources*. 2014, vol. 9, no. 3, s. 5588-5603.

99. PARK, B. S.; FURUNO, T.; UEHARA, T. Histochemical changes of wood surfaces irradiated with ultraviolet light. *Mokuzai Gakkaishi*. 1996, vol. 42, no. 1, s. 1-9.
100. PASTORE, T. C. M; SANTOS, K. O.; RUBIM, J. C. A spectrophotometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hardwoods. *Bioresource technology*. 2004, vol. 93, no. 1, s. 37-42.
101. PETRIČ, M.; KNEHTL, B.; KRAUSE, A.; MILITZ, H.; PAVLIČ, M.; PÉTRISSANS, M.; RAPP, A.; TOMAŽIČ, M.; WELZBACHER, CH.; GÉRARDIN, P. Wettability of waterborne coatings on chemically and thermally modified pine wood. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2007, vol. 4, no. 2, s. 203-206.
102. PETRIČ, M.; OVEN, P. Determination of wettability of wood and its significance in wood science and technology: A critical review. *Reviews of Adhesion and Adhesives*. 2015, vol. 3, no. 2, s. 121-187.
103. RACZKOWSKI, J. Seasonal effects on the atmospheric corrosion of spruce micro-sections. *Holz als roh-und werkstoff*. 1980, vol. 38, no. 6, s. 231-234.
104. RANBY, B. G.; RABEK, J. F. Photodegradation, photo-oxidation, and photostabilization of polymers. *Principles and Applications*. London: John Wiley and Sons, NY. 1975, s. 50-76.
105. REINPRECHT, L.; HULLA, M. Colour changes of beech wood modified with essential oils due to fungal and ageing-fungal attacks with *Coniophora puteana*. *Drewno: prace naukowe, doniesienia, komunikaty*. 2015m, s. 58.
106. REINPRECHT, L.; PÁNEK, M. Effects of wood roughness, light pigments, and water repellent on the color stability of painted spruce subjected to natural and accelerated weathering. *BioResources*. 2015, vol. 10, no. 4, s. 7203-7219.
107. RICHTER, K.; FEIST, W. C.; KNAEBE, M. T. The effect of surface roughness on the performance of finishes. Part 1. Roughness characterization and stain performance. *Forest Products Journal*. 1995, vol. 45, no. 7, 8, s. 91.
108. ROBINSON, S. C., TUDOR, D.; MANSOURIAN, Y.; COOPER, P. A. The effects of several commercial wood coatings on the deterioration of biological pigments in wood exposed to UV light. *Wood science and technology*. 2013, vol. 47, no. 3, s. 457-466.

109. ROGEZ, D. Color stabilization of wood and durability improvement of wood coatings: A new UV light-protection concept for indoor and outdoor applications. *Paint Coat. Ind.* 2002, vol. 18, s. 56-65.
110. SAHA, S., KOCAEFE, D.; BOLUK, Y.; PICHETTE, A. Enhancing exterior durability of jack pine by photo-stabilization of acrylic polyurethane coating using bark extract. Part 1: Effect of UV on color change and ATR–FT-IR analysis. *Progress in Organic Coatings.* 2011, vol. 70, no. 4, s. 376-382.
111. SAHIN, H.T.; MANTANIS, G. I. Colour changes in wood surfaces modified by a nanoparticulate based treatment. *Wood Research.* 2011, vol. 56, no. 4, s. 525-532.
112. SAMYN, P.; STANSSENS, D.; PAREDES, A.; BECKER, G. Performance of organic nanoparticle coatings for hydrophobization of hardwood surfaces. *Journal of Coatings Technology and Research.* 2014, vol. 11, no. 3, s. 461-471.
113. SÈBE, G.; BROOK, M. A. Hydrophobization of wood surfaces: covalent grafting of silicone polymers. *Wood Science and Technology.* 2001, vol. 35, no. 3, s. 269-282.
114. SEHLSTEDT-PERSSON, M. Colour responses to heat-treatment of extractives and sap from pine and spruce. In: *International IUFRO Wood Drying Conference: 25/08/2003-29/08/2003.* Transilvania University of Brasov, Faculty of Wood Industry. 2003, s. 459-464.
115. SELL, J.; FEIST, W. C. US and European finishes for weather-exposed wood-a comparison. *Forest products journal.* 1986, vol. 36, no. 4, s. 37-41.
116. SHARRATT, V.; HILL, C.A.S; KINT, D.P.R. A study of early colour change due to simulated accelerated sunlight exposure in Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Polymer Degradation and Stability.* 2009, vol. 94, no. 9, s. 1589-1594.
117. SHUPE, T.; LEBOW, S.; RING, D. Causes and control of wood decay, degradation & stain. *Pub.(Louisiana Cooperative Extension Service)-2703.* Louisiana State University Agricultural Center. 2008, s. 26.
118. SCHALLER, Ch.; ROGEZ, D. New approaches in wood coating stabilization. *Journal of Coatings Technology and Research.* 2007, vol. 4, no. 4, s. 401-409.
119. SCHNABEL, T.; ZIMMER, B.; PETUTSCHNIGG, A. J. On the modelling of colour changes of wood surfaces. *European Journal of Wood and Wood Products.* 2009, vol. 67, no. 2, s. 141-149.



120. SINGH, T.; SINGH, A. P. A review on natural products as wood protectant. *Wood Science and Technology*. 2012, vol. 46, no. 5, s. 851-870.
121. SIVRIKAYA, H.; HAFIZOGLU, H.; YASAV, A.; AYDEMIR, D. Natural weathering of oak (*Quercus petrae*) and chestnut (*Castanea sativa*) coated with various finishes. *Color Research & Application*. 2011, vol. 36, no. 1, s. 72-78.
122. SONDEREGGER, W.; KRÁNITZ, K.; BUES, C.T.; NIEMZ, P. Aging effects on physical and mechanical properties of spruce, fir and oak wood. *Journal of Cultural Heritage*. 2015, vol. 16, no. 6, s. 883-889.
123. STACHOWIAK-WENCEK, A.; PRADZYNSKI, W. Dynamics of Emission Changes of Volatile Organic Compounds From Wood Surface Treated with Selected Products Obtained from Natural Oils and Waxes. *Wood research*. 2013, vol. 58, no. 3, s. 413-424.
124. SUDIYANI, Y. Chemical characteristics of surfaces of hardwood and softwood deteriorated by weathering. *Journal of Wood Science*. 1999, vol. 45, no. 4, s. 348-353.
125. SUN, Q.; LU, Y.; LIU, Y. Growth of hydrophobic TiO<sub>2</sub> on wood surface using a hydrothermal method. *Journal of Materials Science*. 2011, vol. 46, no. 24, s. 7706-7712.
126. 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.
127. TEACĂ, C. A.; ROSU, D.; BODIRLAU, R.; ROSU, L. Structural changes in wood under artificial UV light irradiation determined by FTIR spectroscopy and color measurements—A brief review. *BioResources*. 2013, vol. 8, no. 1, s. 1478-1507.
128. TEMIZ, A.; TERZIEV, N.; EIKENES, M.; HAFREN, J. Effect of accelerated weathering on surface chemistry of modified wood. *Applied Surface Science*. 2007, vol. 253, no. 12, s. 5355-5362.
129. TEMIZ, A.; YILDIZ, U.C.; AYDIN, I.; EIKENES, M.; ALFREDSSEN, G.; COLAKOGLU, G. Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test. *Applied surface science*. 2005, vol. 250, no. 1, s. 35-42.
130. TOLVAJ, L.; FAIX, O. Artificial ageing of wood monitored by DRIFT spectroscopy and CIE L\* a\* b\* color measurements. 1. Effect of UV light. 1995.

- Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*. 1995, vol. 49, no. 5, s. 397-404.
131. TOLVAJ, L.; MITSUI, K. Light source dependence of the photodegradation of wood. *Journal of wood science*. 2005, vol. 51, no.5, s. 468-473.
  132. TOLVAJ, L.; MOLNAR, Z.; MAGOSS, E. Measurement of photodegradation-caused roughness of wood using a new optical method. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2014, vol. 134, no. 5, s. 23-26.
  133. TOLVAJ, L.; PAPP, G. Outdoor weathering of impregnated and steamed black locust. *ICWSF'99 conference, Missenden Abbey*. 1999, s. 112-115.
  134. TOLVAJ, L.; PREKLET, E.; BARTA, E., PAPP, G. Dependence on light sources of the artificial photodegradation of wood. *Workshop within COST action E-18, high performance wood coatings*. 2001, s. 11.
  135. TRUSKALLER, M.; FORSTHUBER, B.; GRÜLL, G. Surface properties of heartwood from European and Siberian Larch. In: *Woodcoating Congress Amsterdam, Abstract from conference*. 2014, s. 1.
  136. TURKOGLU, T.; BAYSAL, E.; TOKER, H. The effects of natural weathering on color stability of impregnated and varnished wood materials. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2015, vol. 2015, s. 9.
  137. UITERWAAL, D. J. D.; BLOM, C. W. Role of coatings in timber preservation. In *Proceedings of the Record Annual Convention British Wood Preserves Association*. 1973.
  138. VAN ACKER, J.; STEVENS, M.; CAREY, J.; SIERA-ALVAREZ, R.; MILITZ, H.; LE BAYON, I.; KLEIST, G.; PEEK, R.D. Biological durability of wood in relation to end-use. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 2003, vol. 61, no.1, s. 35-45.
  139. VAN DEN BULCKE, J.; VAN ACKER, J.; STEVENS, M. Experimental and theoretical behavior of exterior wood coatings subjected to artificial weathering. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2008, vol. 5, no. 2, s. 221.
  140. VITOSYTĖ, J.; UKVALBERGIENĖ, K.; KETURAKIS, G. The effects of surface roughness on adhesion strength of coated ash (*Fraxinus excelsior* L.) and birch (*Betula* L.) wood. *Materials Science*. 2012, vol. 18, no.4, s. 347-351.
  141. WÅLINDER, M.E.P.; JOHANSSON, I. Measurement of wood wettability by the Wilhelmy method. Part 1. Contamination of probe liquids by extractives. *Holzforschung*. 2001, vol. 55, no.1, s. 21-32.

142. WANG, S.Y.; LIN, S.J. The effect of outdoor environmental exposure on the main components of wood. *Mokuzai Gakkaishi*. 1991, vol. 37, no. 10, s. 954–963.
143. WANG, X.; CHAI, Y.; LIU, J. Formation of highly hydrophobic wood surfaces using silica nanoparticles modified with long-chain alkylsilane. *Holzforschung*. 2013, vol. 67, no. 6, s. 667-672.
144. WEICHEL, F.; EMMER, R.; FLYUNT, R.; BEYER, E.; BUCHMEISER, M.R.; BEYER, M. ZnO-Based UV Nanocomposites for Wood Coatings in Outdoor Applications. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2010, vol. 295, no. 2, s. 130-136.
145. 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.
146. WILLIAMS, R. S.; FEIST, W. C. *Water repellents and water-repellent preservatives for wood*. Forest Products Laboratory, 1999, s.12.
147. WILLIAMS, R. S.; KNAEBE, M. T.; FEIST, W. C. Erosion rates of wood during natural weathering. Part II, Earlywood and latewood erosion rates. *Wood and fiber science*. 2007b, vol. 33, no. 1, s.43-49.
148. WILLIAMS, R. S.; KNAEBE, M.T.; SOTOS, P.G.; FEIST, W.C. Erosion rates of wood during natural weathering. Part I. Effects of grain angle and surface texture. *Wood and fiber science*. 2007a, vol. 33, no.1, s. 31-42.
149. XIE, Y.; KRAUSE, A.; MILITZ, H.; MAI, C. Weathering of uncoated and coated wood treated with methylated 1, 3-dimethylol-4, 5-dihydroxyethyleneurea (mDMDHEU). *Holz als Roh-und Werkstoff*. 2008, vol. 66, no.6, s. 455-464.
150. 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, vol.14, no.1, s. 185-193.
151. YATA, S.; TAMURA, T. Histological changes of softwood surfaces during outdoor weathering. *Mokuzai Gakkaishi*, vol. 41, no. 11, s. 1035-1042.
152. ŽLAHTIČ, M.; HUMAR, M. Influence of artificial and natural weathering on the hydrophobicity and surface properties of wood. *BioResources*. 2016, vol.11, no.2, s. 4964-4989.

## MONOGRAFIE

1. HILL, C. A. S. *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. Hoboken, NJ: John Wiley, c2006. ISBN 978-0-470-02172-9.
2. HON, D.N.S.; SHIRAISHI, N. *Wood and cellulosic chemistry*. 2nd ed., rev. and expanded. New York: Marcel Dekker, c2001. ISBN 0824700244.
3. KALEDOVÁ, A.; KALENDA, P. *Technologie nátěrových hmot I. : Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. 1. vyd. Pardubice: Ediční středisko Univerzity Pardubice. 2004, s. 120.
4. MCGREER, M. *Atlas weathering testing guidebook*. Atlas Material Testing Technology LLC. 2001, s. 108.
5. POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. I.vyd.. Bratislava, Príroda a.s., 1993, 485 s. ISBN: 80-07-00600-1
6. REINPRECHT, L. *Ochrana dreva*. 2. vydání, Technical University in Zvolen-Slovakia. 2012, s. 453. ISBN: 978-80-228-2351-7.
7. ROWELL, R.M. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC 321 Press, 2005, s. 487.
8. ŠTEFKO, J., REINPRECHT L.; KUKLÍK P. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2., české vyd. Bratislava: Jaga, 2006, s. 207. ISBN 80-8076-043-8.
9. TESAŘOVÁ, D. *Ekologické povrchové úpravy: monografie*. Brno: [Mendelova univerzita v Brně], 2010. s. 126. ISBN 978-80-7375-388-7.
10. VOLLMER, S. *High performance clear-coat systems for wood used outdoors* (Disertační práce, University of British Columbia). 2001
11. WILLIAMS, R.S. EDITED BY ROGER M. ROWELL. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. 2nd ed. Boca Raton, Fla: CRC, 2005. ISBN 1439853800.

## NORMY

1. ASTM D2244-16. *Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates*. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 2016.
2. CIE. *Colorimetry*. Commission Internationale de l'Eclairage. Vienna, Austria. 1976. s. 74.
3. ČSN 49 0108. *Drevo. Zisťovanie hustoty*. Český normalizační institut, Praha. 1993.

4. EN 350. *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. 2016.
5. EN 927-3. *Paints and varnishes. Coating materials and coating system for exterior wood, Part 3: Natural weathering test* European Committee for Standardization, Brussels. 2006.
6. 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.
7. EN ISO 4287. *Geometrical product specifications (GPS). Surface texture. Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters.* International Organization for Standardization, Geneva. 1997.
8. EN ISO 4288. *Geometrical product specifications (GPS). Surface texture. Profile method. Rules and procedures for the assessment of surface texture.* International Organization for Standardization, Geneva. 1996.
9. EN ISO 4628-2. *Paints and varnishes - Evaluation of degradation of coatings - Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance - Part 2: Assessment of degree of blistering.* European Committee for Standardization, Brussels. 2003.
10. EN ISO 4628-4. *Paints and varnishes - Evaluation of degradation of coatings - Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance - Part 4: Assessment of degree of cracking.* European Committee for Standardization, Brussels. 2016.
11. EN ISO 4628-6. *Paints and varnishes - Evaluation of degradation of coatings - Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance - Part 6: Assessment of degree of chalking by tape method.* European Com. for Standardization, Brussels. 2011.
12. ISO 7724-1. *Paints and varnishes -- Colorimetry -- Part 1: Principles.* ISO Standard. 1984.
13. ISO 7724-2. *Paints and varnishes - Colorimetry - Part 2: Colour measurements.* ISO Standard. 1984.
14. ISO 7724-3. *Paints and varnishes - Colorimetry - Part 3: Calculation of colour differences.* ISO Standard. 1984.

## OSTATNÍ

*PRŮZKUM VZTAH KE DŘEVU*. Průzkum agentury Stemmark. Zpracovala Jitka Zítková. Financováno projektem Rozšíření a podpora transferu technologií a znalostí na ČZU realizací aktivit „proof-of-concept“, reg. č. CZ.07.1.02/0.0/0.0/16\_023/0000111-Aktivita KZ04 - Vývoj fasádního prkna se zvýšenou životností a barevnou stálostí. 2017.

## INTERNETOVÉ ZDROJE

1. GEO [cit. 2018-02-28]. 2008 Dostupné online: [http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/kapr/SP/2008\\_2009/pospisilova\\_rousarova/cie.html](http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/kapr/SP/2008_2009/pospisilova_rousarova/cie.html)
2. HUMLAK (2005). [cit. 2018-02-28]. Dostupné online: [http://drevari.humlak.cz/data\\_web/Data\\_skola/HUdreva/4.pdf](http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/4.pdf).
3. MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU. [cit. 2018-02-28]. 2014. Dostupné online: [http://uyp3d.cz/drtic/?page\\_id=1985](http://uyp3d.cz/drtic/?page_id=1985)
4. METEOSTENICE [cit. 2018-02-28]. 2017 Dostupné online: <http://meteostanice.agrobiologie.cz>
5. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ. [cit. 2018-02-28]. 2015. Dostupné online: <http://www.liposukce.cz/plasticka-chirurgie/kozni-nadory/charakteristika-slunecniho-zareni.htm>
6. SPEKTRÁLNÍ SCHÉMA. [cit. 2018-02-28]. 2016. Dostupné online: <https://leadertechinc.com/blog/basics-electromagnetic-spectrum>
7. ULBRICHOVÁ. Elektronická skripta. [cit. 2018-02-28]. 2015. Dostupné online: [http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta\\_EKOL/lesazareni/slunecnizareni.htm](http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesazareni/slunecnizareni.htm)

## TECHNICKÉ LISTY

1. HF MARKET. *Polymerní membránová ochrana: PMO 62*. Dostupné z: <https://www.impaguard.cz/file.php?nid=12664&oid=4127390> (produkt přejmenován na IG 662)
2. OSO. *UV Ochranný olej EXTRA 420: PMO 62*. Dostupné z: [http://www.aumex.cz/files/technicke\\_listy/uv\\_ochr\\_olej\\_bezbarvy\\_420.pdf](http://www.aumex.cz/files/technicke_listy/uv_ochr_olej_bezbarvy_420.pdf)

## **SEZNAM PŘÍLOH**

### **Příloha č. 1**

Technický list UV OSMO 420.

### **Příloha č. 2**

Technický list PMO 62

### **Příloha č. 3**

Tukeyův HSD test barevných změn povrchově neošetřených dřevin po testu přirozeným a umělým povětrnostním stárnutím

### **Příloha č. 4**

Tukeyův HSD test barevných změn smrku s nátěrovými systémy (A-F) po testu přirozeným a umělým povětrnostním stárnutím

### **Příloha č. 5**

Tukeyův HSD test drsnosti Ra\* smrku s nátěrovými systémy (A-F) po testu PS a US

### **Příloha č. 6**

Tukeyův HSD test smáčivosti KÚ\* smrku s nátěrovými systémy (A-F) po testu PS a US



## Polymerní membránová ochrana PMO 62

### HYDROFOBNI NANO OCHRANA DŘEVA PENETRUJÍCÍ NA OŠETŘENÁ DŘEVA A TO I OLEJEM

PMO 62 je specificky vyvinutá jednokomponentní hydrofobní ochrana dřeva a také jako preventivní ochrana proti hnilobě. Na bázi křemíku vytvoří na ultratenkou hydrofobní neviditelnou vrstvu s vynikající ochranou proti znečištění, skvrnám, suchým nečistotám, vodě, mastnotě a agresivním nečistotám s samočisticím účinkem. Vytvořená vrstva znemožňuje život bakteriím, mechu, plísním a řasám, vytváří velmi hygienický povrch.

Chrání proti atmosférickým vlivům počasí (dešti, sněhu, mrazu a rozmrazování), oxidaci a UV záření. Velmi vysoká odolnost proti stárutí. Neviditelný film, který nemění nebo téměř nezmění původní vzhled povrchu. Na rozdíl od ostatních hydro ochran umožňuje dřevu dýchat.

Vhodné pro většinu druhů dřeva (ideální na teak a tvrdá dřeva), a to jak v interiéru i exteriéru. Speciálně pro ochranu hran, drážek, zářezů, aby se zabránilo infiltraci vody a nečistot.

- Dlouhodobá vynikající hydrofobní ochrana
- Protihnilobní preventivní ochrana dřeva
- Vynikající prevence proti špíně, znečištění a UV
- Vysoká odolnost a životnost ošetřeného dřeva
- Rychlé zasychání
- Díky retrakci výrazně usnadňuje následné čištění
- Zaručeně bez jedovatých, karcinogenních a toxických látek
- Jednoduchá a snadná aplikace

HF MARKET s.r.o.  
Plešnice 25  
Město Touškov  
PSČ: 330 33  
Tel.: 377 279 254-55  
Fax: 377 279 260  
hfmarket@hfmarket.cz  
technik@hfmarket.cz  
[www.hfmarket.cz](http://www.hfmarket.cz)



### ■ Ochrana dřeva

Dřevo, nejlepší přírodní materiál, který se vrací po plastovém boomu zpět do módy. Pokud není dřevo kvalitně a dostatečně ochráněno, velmi rychle podléhá zkáze. Ochrana PMO 62 je vynikající prostředek, jak ochránit dřevo v širokém spektru a navíc dát výrobkům jednu z nejmodernějších povrchových úprav s vynikajícími vlastnostmi. Jednou aplikací chráníme proti vodě, znečištění, UV záření, hnilobě, atmosférickým vlivům (dešti, mrazu, sněhu, atd.), usazování vápenatých a minerálních povlaků. Velmi dobře chrání proti působení moči zvířat.

### ■ Ochrana dřeva ve stavebním průmyslu

Moderní stavební dřevěné povrchy jsou velmi nákladné, proto jsou údržba a hlavně preventivní ochrana velmi důležité a hlavně specifické. Jednoduchá širokospektrální ochrana a přitom cenově dostupná ochrana je dnes nutností. Výrazně šetří náklady (peníze, práci a chemii) při jejich údržbě, pokud samočisticí vlastnost neudělá práci za nás.

### ■ Ochrana dřeva v údržbě a v soukromém sektoru

PMO 62 díky svému složení výrazně snižuje náklady na údržbu, životnost produktů a čištění formou dlouhotrvající ochrany a tím snížení frekvence následného čištění a nákladů na práci. Doporučujeme na zahradní nábytek, pergoly, terasy, ploty, chaty, atd..

#### Technická tabulka

Produkt	Počet vrstev	Spotřeba	Báze	Vzhled	Škodlivost
PMO 62	2	6-10 m <sup>2</sup> /l	solvent	kapalina	Xn - R10, 65, 66, 67
Bod vzplanutí	Barva	Doba polymerizace	Ochrana a separace proti		
<21°C	čirá	Min. 24 hod	Vodě, hnilobě, nečistotám, špíně, minerálním usazeninám		

#### Aplikace PMO 62 :

- Produkt je připraven k přímému použití
- Před aplikací povrch dokonale očistěte produktem PMO 60 !!!
- Pro dokonalou ochranu doporučujeme nejdříve dřevo napustit PMO 61
- Ruční aplikace: štětec, váleček
- Aplikace postřikem: ruční aplikátory, nízkotlakovým stříkáním
- Aplikujte dvě až tři vrstvy křížem, mokré do mokrého
- Doporučujeme aplikovat 2 vrstvy, druhou vrstvu až po zcela zaschnutí první vrstvy po cca 20min. až 2 hod
- Ošetřený povrch čistěte produktem PMO 60, zajistíte si dlouhotrvající ochranu
- Vzhledem k široké škále povrchů, doporučujeme před vlastní aplikací provést TEST na slučitelnost povrchové úpravy

## Příloha č.2



### Zušlechtnění dřeva do vnějších prostor - polomatný - bezbarvý

#### Popis výrobku

Osmo UV ochranný olej bezbarvý *Extra* je polomatný bezbarvý nátěr na dřevo na bázi přírodních olejů k použití do vnějších prostor. Tím že má otevřené póry, může dřevo dýchat a snižuje bobtnání a smršťování. Odpuzuje vodu. Neodprýskává, nepraská a neodlupuje se. Jako konečný nátěr na již barevně upravené dřevo Osmo UV ochranný olej bezbarvý *Extra* výrazně prodlužuje interval renovace. Jako samostatný nátěr po 2 nánosech zamezuje procesu šednutí na svíslém povrchu s ochranným UV faktorem 12 v porovnání se dřevem bez úpravy. Nátěr obsahuje biocidní účinné látky na ochranu proti napadení plísní, řasou a houbou. Bez obrousování jednoduše přetřít. Snadno se roztírá bez znatelných okrajů u nánosů. Během natírání nezasychá.

#### Oblasti použití

Na všechny svíslé dřevěné plochy ve vnějších prostorách: dveře, okna a okenice (rozměrově přesné stavební díly); přístřešky pro auta, dřevěné fasády, balkóny, ploty, pergoly, zahradní nábytek a zahradní domky (rozměrově nepřesné stavební díly). Také vhodné pro bambusové tyče (např. u pohledových zábran a zahradního nábytku).

#### Barevné odstíny:

č. 420, bezbarvý

Velikosti balení: 0,75 l; 2,5 l; 10 l; 25 l

#### Vydatnost:

1 litr stačí při jednom nátěru na cca 18 m<sup>2</sup>.

Pokud máte zešedlé, popraskané dřevo, neznámý nátěr, starý Osmo nátěr, broušené/hoblované dřevo, drážkované/hoblované dřevo nebo dřevo drsné po řezu a chcete vědět kolik barvy potřebujete? Informace k individuálnímu výpočtu Vaší spotřeby naleznete na naší webové stránce na [www.osmo.cz](http://www.osmo.cz)

#### Obsažené látky:

Na bázi přírodních rostlinných olejů (slunečnicový olej, sójový olej, olej z bodláku a lněný olej), sikařiva (sušidla), aditiva a další přídavné látky. Biocidní účinná látka: Propiconazol. Dearomatizovaný lakový benzin - (neobsahuje benzen). Tento výrobek splňuje požadavky na maximální přípustné hodnoty obsahu těkavých organických látek pro barvy a laky dle vyhlášky MŽP č. 415/2012 Sb. v platném znění (příloha č. 7, část II. Kategorie produktu A/e VOC max. 400 g/l. (kat. A/e (2010). Detailní kompletní deklaráce na vyžádání.

#### Fyzikální vlastnosti

Specifická hmotnost (hustota): 0,9 - 1,0 g/cm<sup>3</sup>

Viskozita: 70-100 s, 4 mm dle DIN 53211

Zápach: slabý/mírný, po uschnutí bez zápachu

Bod vzplanutí: nad 55°C (VbF AIII) dle DIN 53213

### **Skladovatelnost**

Výrobek je trvanlivý 5 let a déle, je-li skladován v suchu a dobře uzavřený. Pokud zhoustne mrazem, skladujte před aplikací 24 - 36 hodin při pokojové teplotě.

### **Příprava**

Povrch dřeva musí být suchý, čistý a nesmí být vystaven mrazu (max. 20% vlhkost dřeva). Osmo UV ochranný olej bezbarvý *Extra* je hotový přímo k natírání, neředit. Důkladně promíchat. Staré nátěry s otevřenými póry důkladně očistěte. Staré lakové nátěry a barvy odstraňte. Hladké povrchy neobrušujte jemnějším brusným papírem než P 120. Doporučujeme první nátěr zabarveným olejem jako např. Jednorázová lazura, Ochranná olejová lazura nebo Selská barva. Pokud bude požadována dodatečná preventivní ochrana proti plísní, modřání a napadení hmyzem, dřevo předem natřete Osmo Impregnační dřeva WR\* – pokud možno ze všech stran.

\* Obsahuje biocidy - používejte bezpečně. Před použitím si vždy přečtěte informace o výrobku uvedené na obalu.

### **Zpracování**

Naneste pevným štětcem (Osmo Plochý štětec) nebo Osmo Válečkem z mikrovláken tence na čistou a suchou plochu ve směru vláken dřeva a rovnoměrně rozetřete. Potom proveďte druhý nátěr. K přetření již barevně upraveného povrchu nebo při renovaci stačí zpravidla 1 nátěr na plochu očištěnou od nečistot. Výsledný nátěr závisí na stavu podkladu, proto je zásadně třeba provést zkušební nátěr.

### **Čištění pracovního nářadí**

Osmo Čističem štětců (neobsahuje benzen).

### **Doba schnutí:**

Cca 12 hodin (při normálním klimatu, 23°C/50% rel.vlhkost vzduchu). Při nízkých teplotách a/nebo vysoké vlhkosti vzduchu se prodlužuje doba schnutí.

### **Pokyny:**

K renovaci intaktní nátěry v závislosti na návětrné straně po cca 3-4 letech očistěte a 1x znovu natřete Osmo UV ochranným olejem bezbarvým *Extra*.

U ploch vystavených silnému působení povětrnostních vlivů a také u vodorovných ploch, ze kterých nemůže stékat voda, jako např. terasy, hlavy sloupů, okenní parapety, sedací plochy nábytku, se musí zásadně počítat s kratšími intervaly renovace. UV ochranný olej bezbarvý *Extra* je nevhodný jako samostatný nátěr na terasy. Pokud již došlo k zešednutí, je třeba plochu odšedít Osmo Odšedovačem dřeva a znovu 2x natřít Osmo UV ochranným olejem bezbarvým *Extra*. Aby se dosáhlo UV ochranného faktoru 12, je třeba nanést 2 nátěry UV ochranného oleje.

Při pouze 1 nátěru na dřevo bez předchozí povrchové úpravy se výrazně zkracuje trvanlivost. Bezbarvý UV ochranný olej vykazuje na základě vysokého obsahu oleje jako konečný nátěr na bílých podkladech mírné zežloutnutí. Proto doporučujeme jako konečný nátěr na již bíle upravené plochy Osmo Ochrannou lazuru 900 bílou. Oleje zesilují přírodní barevný odstín dřeva (trvale mokry efekt).

### **Bezpečnostní pokyny:**

S 2 Uchovávejte mimo dosah dětí. S 24/25 Zamezte styku s kůží a očima. S 26 Při zasažení oči okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc. Obsahuje 2-butanonoxim, kobaltkarboxylát a dichlofluaniid (ISO). Může vyvolat alergické reakce. Při požití okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc a přeložte obal nebo etiketu výrobku. S 51 Používejte pouze v dobře větraných prostorách. Škodlivý pro vodní organismy, může mít ve vodstvu dlouhodoběji škodlivé účinky. Nenechat proniknout do kanalizace, tento výrobek a jeho nádoby dejte k likvidaci problematického odpadu. **Pozor:** Tekutým výrobkem napuštěný textil po použití okamžitě vyperte nebo uchovávejte ve vzduchotěsně uzavřené kovové nádobě (nebezpečí samovznícení). Suchý nátěr splňuje podle DIN 4102 třídu B2 (normálně hořlavý). Bezpečnostní list na vyžádání po profesní uživatele.

Výše uvedené informace byly poskytnuty dle nejlepšího vědomí a svědomí, avšak bez záruky (sta07/2010).

Technický list sestavil na základě podkladů od výrobce OSMO HOLZ und COLOR GmbH importér pro ČR a SR :

Fa. AU-MEX spol. s.r.o. Poděbradská 574/40, Praha 9 – Vysočany, 190 00



### Příloha č.3

Tukeyův HSD test pro barevné změny povrchově neošetřených dřevin po testu přirozeným a umělým povětrnostním stárnutím

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná dE (porovnání dE 2)Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testyChyba: meziskup. PČ = 7,2641, sv = 198,00																			
	dřevina	stárnutí	{1} (13,895)	{2} (40,520)	{3} (21,549)	{4} (37,877)	{5} (18,772)	{6} (32,138)	{7} (25,172)	{8} (23,959)	{9} (26,901)	{10} (30,679)	{11} (14,983)	{12} (33,133)	{13} (17,701)	{14} (33,098)	{15} (28,303)	{16} (26,898)	{17} (20,251)	{18} (33,781)
1	SM	US		0,000036	0,000036	0,000036	0,001295	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,999953	0,000036	0,054939	0,000036	0,000036	0,000036	0,000037	0,000036
2	SM	PS	0,000036		0,000036	0,606520	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036
3	BO	US	0,000036	0,000036		0,000036	0,511792	0,000036	0,091403	0,760316	0,000192	0,000036	0,000036	0,000036	0,048689	0,000036	0,000036	0,000194	0,999485	0,000036
4	BO	PS	0,000036	0,606520	0,000036		0,000036	0,000060	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,002201	0,000036	0,001913	0,000036	0,000036	0,000036	0,022611
5	DG	US	0,001295	0,000036	0,511792	0,000036		0,000036	0,000036	0,000368	0,000036	0,000036	0,057762	0,000036	0,999963	0,000036	0,000036	0,000036	0,997375	0,000036
6	DG	PS	0,000036	0,000036	0,000036	0,000060	0,000036		0,000036	0,000036	0,000301	0,997768	0,000036	0,999987	0,000036	0,999992	0,050577	0,000298	0,000036	0,991193
7	DB	US	0,000036	0,000036	0,091403	0,000036	0,000036	0,000036		0,999791	0,984902	0,000111	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,284246	0,985133	0,001086	0,000036
8	DB	PS	0,000036	0,000036	0,760316	0,000036	0,000368	0,000036	0,999791		0,399222	0,000036	0,000036	0,000036	0,000037	0,000036	0,009778	0,400905	0,072480	0,000036
9	AK	US	0,000036	0,000036	0,000192	0,000036	0,000036	0,000301	0,984902	0,399222		0,059643	0,000036	0,000038	0,000036	0,000038	0,998630	1,000000	0,000036	0,000036
10	AK	PS	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,997768	0,000111	0,000036	0,059643		0,000036	0,732980	0,000036	0,755024	0,780685	0,059208	0,000036	0,300072
11	TP	US	0,999953	0,000036	0,000036	0,000036	0,057762	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036		0,000036	0,553331	0,000036	0,000036	0,000036	0,000266	0,000036
12	TP	PS	0,000036	0,000036	0,000036	0,002201	0,000036	0,999987	0,000036	0,000036	0,000038	0,732980	0,000036		0,000036	1,000000	0,001561	0,000037	0,000036	1,000000
13	JV	US	0,054939	0,000036	0,048689	0,000036	0,999963	0,000036	0,000036	0,000037	0,000036	0,000036	0,553331	0,000036		0,000036	0,000036	0,000036	0,670846	0,000036
14	JV	PS	0,000036	0,000036	0,000036	0,001913	0,000036	0,999992	0,000036	0,000036	0,000038	0,755024	0,000036	1,000000	0,000036		0,001798	0,000038	0,000036	1,000000
15	OL	US	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,050577	0,284246	0,009778	0,998630	0,780685	0,000036	0,001561	0,000036	0,001798		0,998598	0,000036	0,000122
16	OL	PS	0,000036	0,000036	0,000194	0,000036	0,000036	0,000298	0,985133	0,400905	1,000000	0,059208	0,000036	0,000037	0,000036	0,000038	0,998598		0,000036	0,000036
17	MD	US	0,000037	0,000036	0,999485	0,000036	0,997375	0,000036	0,001086	0,072480	0,000036	0,000036	0,000266	0,000036	0,670846	0,000036	0,000036	0,000036		0,000036
18	MD	PS	0,000036	0,000036	0,000036	0,022611	0,000036	0,991193	0,000036	0,000036	0,000036	0,300072	0,000036	1,000000	0,000036	1,000000	0,000122	0,000036	0,000036	

#### Příloha č.4

Tukeyův HSD test pro barevné změny smrku s nátěrovými systémy (A-F) po testu přirozeným a umělým povětrnostním stárnutím

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná dE (porovnání dE nátěry) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 4,0166, sv = 132,00													
	nátěrový systém	stárnutí	{1} (48,736)	{2} (23,421)	{3} (12,632)	{4} (17,577)	{5} (15,063)	{6} (22,439)	{7} (47,270)	{8} (23,393)	{9} (13,352)	{10} (23,724)	{11} (13,280)	{12} (22,350)
1	A	PS		0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,823154	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018
2	A	US	0,000018		0,000018	0,000018	0,000018	0,989142	0,000018	1,000000	0,000018	1,000000	0,000018	0,978203
3	B	PS	0,000018	0,000018		0,000018	0,117206	0,000018	0,000018	0,000018	0,999306	0,000018	0,999747	0,000018
4	B	US	0,000018	0,000018	0,000018		0,088801	0,000018	0,000018	0,000018	0,000032	0,000018	0,000026	0,000018
5	C	PS	0,000018	0,000018	0,117206	0,088801		0,000018	0,000018	0,000018	0,629305	0,000018	0,565046	0,000018
6	C	US	0,000018	0,989142	0,000018	0,000018	0,000018		0,000018	0,991449	0,000018	0,919987	0,000018	1,000000
7	D	PS	0,823154	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018		0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018
8	D	US	0,000018	1,000000	0,000018	0,000018	0,000018	0,991449	0,000018		0,000018	1,000000	0,000018	0,982263
9	E	PS	0,000018	0,000018	0,999306	0,000032	0,629305	0,000018	0,000018	0,000018		0,000018	1,000000	0,000018
10	E	US	0,000018	1,000000	0,000018	0,000018	0,000018	0,919987	0,000018	1,000000	0,000018		0,000018	0,877845
11	F	PS	0,000018	0,000018	0,999747	0,000026	0,565046	0,000018	0,000018	0,000018	1,000000	0,000018		0,000018
12	F	US	0,000018	0,978203	0,000018	0,000018	0,000018	1,000000	0,000018	0,982263	0,000018	0,877845	0,000018	

## Příloha č. 5

Tukeyův HSD test pro drsnost Ra\* smrku s nátěrovými systémy (A-F) po testu PS

	A	B	C	D	E	F
A		0,000020	0,000020	0,999992	0,000020	0,000020
B	0,000020		0,998555	0,000020	1,000000	1,000000
C	0,000020	0,998555		0,000020	0,999137	0,997441
D	0,999992	0,000020	0,000020		0,000020	0,000020
E	0,000020	1,000000	0,999137	0,000020		0,999999
F	0,000020	1,000000	0,997441	0,000020	0,999999	

Tukeyův HSD test pro drsnost Ra\* smrku s nátěrovými systémy (A-F) po testu US

	A	B	C	D	E	F
A		0,000134	0,000134	0,000135	0,000134	0,000134
B	0,000134		0,999471	0,000134	0,994493	0,999915
C	0,000134	0,999471		0,000134	0,953051	0,993183
D	0,000135	0,000134	0,000134		0,000134	0,000134
E	0,000134	0,994493	0,953051	0,000134		0,999637
F	0,000134	0,999915	0,993183	0,000134	0,999637	



## Příloha č. 6

Tukeyův HSD test pro smáčivost KÚ\* smrku s nátěrovými systémy (A-F) po testu PS

	A	B	C	D	E	F
A		0,000020	0,000020	1,000000	0,000020	0,000020
B	0,000020		0,017544	0,000020	0,015541	0,000295
C	0,000020	0,017544		0,000020	1,000000	0,891487
D	1,000000	0,000020	0,000020		0,000020	0,000020
E	0,000020	0,015541	1,000000	0,000020		0,905268
F	0,000020	0,000295	0,891487	0,000020	0,905268	

Tukeyův HSD test pro smáčivost KÚ\* smrku s nátěrovými systémy (A-F) po testu US

	A	B	C	D	E	F
A		0,000020	0,000020	0,133934	0,000020	0,000020
B	0,000020		0,223337	0,000020	0,392964	0,953777
C	0,000020	0,223337		0,000020	0,999580	0,750011
D	0,133934	0,000020	0,000020		0,000020	0,000020
E	0,000020	0,392964	0,999580	0,000020		0,902578
F	0,000020	0,953777	0,750011	0,000020	0,902578	