



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# DLOUHODOBÉ TESTY PRO OVĚŘENÍ ODOLNOSTI NÁTĚROVÝCH HMOT V RŮZNÝCH NEPŘÍZNIVÝCH PROSTŘEDÍCH SIMULUJÍCÍCH REÁLNÉ VLIVY

LONG-TERM TESTS FOR EXAMINATION OF SURFACE TREATMENTS IN VARIOUS  
ADVERSE ENVIRONMENTS SIMULATING REAL EFFECTS

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

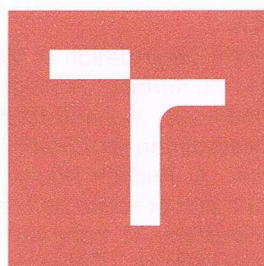
Bc. Petra Hudečková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ BYDŽOVSKÝ, CSc.

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Petra Hudečková
<b>Název</b>	Dlouhodobé testy pro ověření odolnosti nátěrových hmot v různých nepříznivých prostředích simulujících reálné vlivy
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

*V. z. Drochytka*



*R. Drochytka*

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Kutz, M. Handbook of Environmental Degradation of Materials, 2nd edition, William Andrew, 2013p.  
Tracton, A., A. Coatings materials and surface coatings, CRC Press, November 2006, 528 p.  
Badia, J.D., Gil-Castell, O., Ribes-Greus, A. Long-term properties and end-of-life of polymers from renewable resources, Polymer Degradation and Stability, Volume 137, March 2017.  
Katiyar, J. K., Sinha, S. K., Kumar, A. Friction and wear durability study of epoxy-based polymer (SU-8) composite coatings with talc and graphite as fillers, Wear, Volumes 362–363, 15 Sept. 2016.  
Sadati, S., Arezoumandi, M., Shekarchi, M. Long-term performance of concrete surface coatings in soil exposure of marine environments, Construction and Building Materials, Volume 94, 30 September 2015.  
Morsch, S. Lyon, S., Gibbon, S.R. The degradation mechanism of an epoxy-phenolic can coating, Progress in Organic Coatings, Volume 102, Part A, January 2017.  
Striani, R., Esposito Corcione, C., Dell'Anna Muia, G., Frigione, M. Durability of a sunlight-curable organic–inorganic hybrid protective coating for porous stones in natural and artificial weathering conditions, Progress in Organic Coatings, Volume 101, December 2016.  
Relevantní technické normy  
www.sciencedirect.com

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

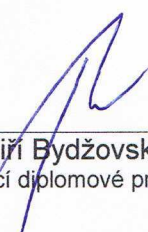
Diplomová práce bude zaměřena na výběr a zejména ověření vhodných metod pro hodnocení rezistence nátěrových systémů pro cementotřískové desky. Cílem bude hodnocení kombinace několika nepříznivých prostředí působících ve vzájemném sledu, tak jak je obvyklé při reálné expozici desek.

V první fázi bude z hlediska dosažení cílů třeba provést podrobný teoretický průzkum aktuálních informací souvisejících řešeným tématem. Konkrétně by měly být rozebrány nátěrové systémy a jejich chování (degradace) při působení agresivních prostředí (mráz, sírany, siřičitany, UV záření atp.) v reálných konstrukcích a to v dlouhodobějším měřítku. Na základě zhodnocení teoretických poznatků bude sestavena metodika pro hodnocení odolnosti nátěrových systémů aplikovaných na cementotřískových deskách tak, aby bylo objektivně reprezentováno působení reálných nepříznivých prostředí. Dále bude vybráno několik typů povrchových úprav, jejichž složení bude případně i modifikováno (se zaměřením zejména na alternativní suroviny). Dle sestavené metodiky budou vybrané typy povrchových úprav experimentálně ověřeny a to v delším časovém horizontu. Hodnocení stupně degradace bude provedeno vizuálně a dále s využitím testů základních vlastností (přílnavost, tloušťka nátěru, mřížková metoda atd.) či spektrofotometrického analyzování změn odstínu vč. mikrostrukturního posouzení vybraných typů povrchových úprav (optický, příp. elektronový mikroskop). V závěru bude sestavená a ověřená metodika zhodnocena z hlediska její objektivity (míra agresivity, simulace reálných vlivů atd.), jakož i samotné testované typy povrchových úprav s uvedením doporučení pro případný navazující výzkum.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

  
doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Cementotřískové desky obsahují organickou bázi a jejich použitím v exteriéru podléhají degradaci vlivem povětrnostních podmínek, jako je mráz, chemické rozmrazovací látky, chemické látky (např. siřičitany). Právě z důvodu použití organické báze v matrici desek mohou být k degradaci náchylnější, než materiály na anorganické bázi. Degradaci lze do jisté míry eliminovat vhodnou povrchovou úpravou desky, která omezuje přímé působení agresivních vlivů na desku a prodlužuje tak její životnost. V porovnání s cementotřískovými deskami jsou povrchové úpravy na polymerní bázi náchylnější i na působení některých dalších nepříznivých podmínek, jako např. UV záření. V teoretické části diplomové práce je rozebráno rozdělení povrchových úprav a způsob jejich degradace při působení agresivních prostředí v reálných konstrukcích. V experimentální části je pak proveden výběr vhodných metodických postupů pro ověření rezistence nátěrových systémů cementotřískových desek. Následně bylo realizováno zkoušení a srovnání fyzikálně-mechanických i estetických vlastností různých typů nátěrů včetně provedení spektrofotometrického vyhodnocení změn barevného odstínu pro jednotlivá agresivní prostředí a mikrostrukturní posouzení vybraných typů povrchových úprav pomocí optického a elektronového mikroskopu.

## **Klíčová slova**

Cementotřísková deska, nátěrový systém, struktura, alternativní suroviny, plnivo, agresivní prostředí, synergické působení, reálné vlivy, degradace, barevný odstín, mikrostruktura.

## **Abstract**

Cement bonded particleboards contain organic base and as they are set outside, extreme weather condition, such as frost, chemical defrosting substances or sulphates, cause their degradation. The presence of the organic base in the matrix of the material could be the reason why there is higher probability of degrading when compared with materials containing an inorganic base. It could be partially eliminated by an appropriate surface modification of the slab, which main goal is to weaken the impact of an aggressive environment and to extend the lifespan of the board. On the other hand, the surface modifications based on a polymer base are prone to degrade because of other unfavourable conditions such as UV radiation when compared with the cement bonded particleboard. The classification of the surface modifications and the way of their degradation caused by the aggressive environment in real applications are presented in the theoretical part of the thesis. In the experimental part, appropriate methodical ways of testing the resistance of cement bonded particleboard's coating system were chosen. Then, the testing and comparing of the physical, mechanical and aesthetic properties of different types of coatings were done. Moreover, a spectrophotometric analysis of the colour shade changes for the different aggressive environment were carried out. Furthermore, microstructures of chosen surface modifications were assessed by using an optical and an electron microscope.

## **Keywords**

Cement-bonded particleboards, coating system, structure, alternative raw materials, filler, aggressive environment, synergistic effect, real impact, degradation, colour shade, microstructure

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Petra Hudečková *Dlouhodobé testy pro ověření odolnosti nátěrových hmot v různých nepříznivých prostředích simulujících reálné vlivy*. Brno, 2017. 112 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 01. 2018

---

Bc. Petra Hudečková  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tato diplomová práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS. Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu práce panu doc. Ing. Jiřímu Bydžovskému, CSc., a také paní Ing. Šárce Keprdové, Ph.D. a panu Ing. Tomáši Melicharovi, Ph.D. za metodické vedení, cenné rady a hlavně za čas, který mi věnovali při zpracování této práce.

Velké díky patří také všem mým blízkým za podporu v průběhu celého studia.



## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>13</b>
<b>A.</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>CEMENTOTŘÍSKOVÉ DESKY</b> .....	<b>14</b>
3.1	Složení .....	14
3.2	Výroba cementotřískových desek .....	16
3.3	Výhody a nevýhody cementotřískových desek .....	17
3.4	Použití cementotřískových desek.....	18
3.5	Degradace cementotřískových desek opatřených povrchovou úpravou... ..	19
3.5.1	Degradace desek .....	19
3.5.2	Degradace povrchových úprav .....	19
<b>4</b>	<b>POVRCHOVÉ ÚPRAVY</b> .....	<b>22</b>
4.1	Dělení povrchových úprav dle funkce .....	22
4.2	Dělení povrchových úprav – nátěrových hmot .....	22
4.2.1	Nátěrové hmoty podle průhledností.....	23
4.2.2	Nátěrové hmoty podle chemického složení .....	23
4.2.3	Nátěrové hmoty podle způsobu aplikace .....	24
4.2.4	Nátěrové hmoty podle způsobu zasychání nátěrů.....	24
4.2.5	Nátěrové hmoty podle podmínek zasychání.....	24
4.2.6	Nátěrové hmoty podle prostředí, pro které jsou určeny .....	25
4.3	Nátěry vhodné pro cementotřískové desky .....	25
4.3.1	Akrylátové nátěrové hmoty .....	25
4.3.2	Epoxidové nátěrové hmoty .....	26
4.3.3	Polyuretanové nátěrové hmoty .....	26
4.3.4	Vodou ředitelné nátěrové hmoty .....	27
<b>5</b>	<b>NÁTĚRY SE STRUKTUROU POVRCHU</b> .....	<b>28</b>
5.1	Plniva .....	28
5.2	Příklady alternativních plniv .....	29
5.3	Dispergace a smáčení pigmentů a plniv .....	30
<b>6</b>	<b>DEGRADACE NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ</b> .....	<b>31</b>

6.1	Degradace nátěrových hmot vlivem vlhkosti a mrazu .....	31
6.2	Degradace nátěrových hmot vlivem UV záření .....	32
6.3	Degradace nátěrových hmot vlivem prachových částic.....	33
6.4	Degradace nátěrových hmot vlivem působení síranů .....	33
6.5	Degradace nátěrových hmot v přírodním prostředí .....	34
6.6	Akcelerovaná degradace vlivem UV záření a zvýšené teploty .....	34
<b>B.</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>METODIKA PRÁCE .....</b>	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>SESTAVENÍ METODIKY TESTOVÁNÍ .....</b>	<b>41</b>
8.1	Návrh expozičních podmínek.....	41
8.1.1	Akcelerované testy simulující dlouhodobé reálné podmínky .....	41
8.1.2	Stanovení odolnosti proti mrazu .....	43
8.1.3	Stanovení odolnosti proti chemickým rozmrazovacím látkám .....	43
8.1.4	Stanovení odolnosti proti UV záření .....	43
8.1.5	Stanovení odolnosti proti siřičitanům .....	44
8.2	Zkušební postupy pro ověření vlastností nátěrů .....	45
8.2.1	Ošetřování zkušebních těles v průběhu expozice .....	45
8.2.2	Vizuální hodnocení .....	45
8.2.3	Stanovení přilnavosti nátěru odtrhovou zkouškou .....	45
8.2.4	Stanovení odolnosti nátěrů proti oddělení od podkladu mřížkovou zkouškou .....	47
8.2.5	Stanovení tloušťky nátěru.....	49
8.2.6	Stanovení odolnosti nátěru proti vrypu .....	50
8.2.7	Stanovení odolnosti nátěru proti dynamickému zatížení .....	51
8.2.8	Stanovení změny barevného odstínu nátěru .....	52
8.2.9	Mikroskopické posouzení poruch nátěru .....	54
<b>9</b>	<b>VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK .....</b>	<b>55</b>
9.1	Analýza alternativních plniv.....	55
9.1.1	Sítový rozbor .....	55
9.2	Nátěry s alternativními plnivy .....	58
9.2.1	Vizuální posouzení .....	60
9.2.2	Změna barevného odstínu.....	64
9.3	Optimalizované nátěrové systémy ověřené akcelerovanými testy .....	65

9.3.1	Vizuální zhodnocení .....	66
9.3.2	Přilnavost nátěrů.....	72
9.3.3	Oddělení nátěru od podkladu .....	75
9.3.4	Odolnost proti vrypu .....	78
9.3.5	Odolnost proti dynamickému zatížení.....	81
9.3.6	Tloušťka nátěru .....	84
9.3.7	Změna barevného odstínu.....	86
9.3.8	Hodnocení mikrostruktury nátěrů.....	93
9.4	Shrnutí výsledků .....	97
9.4.1	Vizuální hodnocení .....	97
9.4.2	Přilnavost nátěrů.....	98
9.4.3	Odolnosti proti oddělení nátěru od podkladu .....	98
9.4.4	Odolnost proti vrypu .....	98
9.4.5	Odolnost proti dynamickému zatížení.....	98
9.4.6	Tloušťka nátěru .....	99
9.4.7	Změna barevného odstínu.....	99
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>100</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>103</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>107</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>112</b>

## 1 ÚVOD

Použití cementotřískových desek je v oblasti stavebnictví poměrně rozšířené již řadu let, což dokládá i roční kapacita produkce jediného výrobce figurujícího na tuzemském trhu a to 55 000 m<sup>3</sup> za rok. Až 65 % vyprodukovaných desek je exportováno do zahraničních zemí. Desky mají široké spektrum využití. Lze je použít k obložení svislých konstrukčních stěn v interiéru i exteriéru, jako fasádní odvětrávané systémy, jako podlahové desky při sanaci starých dřevěných podlah nebo jako nosná vrstva položená na nosnících nebo v systému lehkých plovoucích podlah. Dále je možné použít cementotřískovou desku v konstrukcích šikmých střech, při ochraně stavebních konstrukcí před požárem, k vodorovnému nebo šikmému obložení stropních trámových konstrukcí, k opláštění výtahových šachet, při budování silničních staveb, jako podhledy a sokly, jako ztracené bednění nebo jako výplň zábradlí schodišť, balkónů, teras a lodžii.

Výhodou cementotřískových desek je jejich ekologická a hygienická nezávadnost, snadná opracovatelnost a zároveň i možnost obnovy dřevěné fáze. Pro výraznější zvýšení trvanlivosti desek či prodloužení jejich životnosti, případně pro aplikace ve specifických podmínkách nebo jen z estetických důvodů je na desky aplikován nátěrový systém.

Nátěrový systém tvoří na povrchu desek souvislý film, který zvyšuje jejich odolnost proti nepříznivým atmosférickým vlivům a zároveň zlepšuje jejich estetickou funkci. Nejvíce používané nátěrové hmoty pro povrchovou úpravu cementotřískových desek jsou vodou ředitelné nátěry. Vodou ředitelné nátěry jsou výhodné tím, že neobsahují nebo mají nízký obsah těkavých látek, a přitom dosahují obdobných parametrů jako nátěry s ředidly.

V současnosti probíhá výzkum a vývoj nových extrémně odolných povrchových úprav se strukturovaným povrchem, kdy byly vyvinuty poměrně odolné nátěrové systémy pro cementotřískové desky – viz Vöröšová [1] a Zrza [2]. Receptury nátěrových hmot je třeba ještě dále optimalizovat, např. s využitím alternativních plniv, která zajistí specifický strukturovaný vzhled povrchu (v současnosti jsou používána primární plniva). Pro finální optimalizaci je neméně podstatné ověřit vhodným způsobem pomocí nově sestavené metodiky akcelerovaných testů trvanlivost, která je v reálných podmínkách zajištěna životností cementotřískových desek s povrchovou úpravou alespoň v horizontu několika let. Z uvedeného tedy plyne požadavek na sestavení a ověření dlouhodobé trvanlivosti, neboť aktuální dostupné technické normy zpravidla řeší pouze dílčí ověření vybrané vlastnosti, tj. separátně odolnosti vůči vlivu mrazu, umělému stárnutí (teplota, UV záření) atd., přičemž s ohledem na reálně působící podmínky je třeba řešit i jejich kombinovaný účinek.

## 2 CÍL PRÁCE

Diplomová práce se zaměřuje na hodnocení synergického působení několika nepříznivých prostředí působících ve vzájemném sledu, tak jak je to obvyklé při reálné expozici cementotřískových desek.

Teoretická část práce je zaměřena na získání a vyhodnocení podstatných poznatků a informací týkajících se rozdělení povrchových úprav a jejich degradace při působení agresivních prostředí v reálných podmínkách. Zároveň je třeba specifikovat vlivy, které mají za následek degradaci jak cementotřískové desky, tak i její povrchové úpravy.

Dílčím cílem praktické části je selekce vhodné materiálové báze nátěrového systému, příp. systémů na základě učiněných zjištění prezentovaných v teoretické části práce. Důraz je třeba klást také na sestavení metodiky testování, zajišťující v laboratorních podmínkách takovou míru akcelerace, aby bylo možné během zkráceného časového období simulovat dlouhodobější reálné expoziční podmínky, které odpovídají střídajícím se ročním obdobím, případně i působení atmosféry obsahující agresivní plyny. Záměrem experimentální části je také návrh několika konkrétních typů nátěrových hmot pro povrchovou úpravu cementotřískových desek, jejichž složení je modifikováno přidáním strukturních plniv na bázi alternativních surovin, s cílem zlepšení jejich rezistence vůči nepříznivým klimatickým a chemicky agresivním vlivům, které simulují reálné externí vlivy, jimž desky musí odolávat. Pro posouzení vybraných povrchových úprav a sestavené metodiky je třeba využít vhodnou kombinaci testů, což zahrnuje základní fyzikálně-mechanické parametry, dále estetické charakteristiky a v neposlední řadě doplňující mikrostrukturní analytické metody. Komparací stanovených vlastností vybraných nátěrových systémů před a po expozici v nepříznivých podmínkách v delším časovém horizontu je možné objektivně zhodnotit sestavenou metodiku s uvedením případných návrhů její optimalizace v rámci navazujícího výzkumu. Dílčím cílem je také posouzení vhodnosti vybraných alternativních plniv a objasnění jejich chování v nátěrových hmotách za nepříznivých expozičních podmínek.

## A. TEORETICKÁ ČÁST

### 3 CEMENTOTŘÍSKOVÉ DESKY

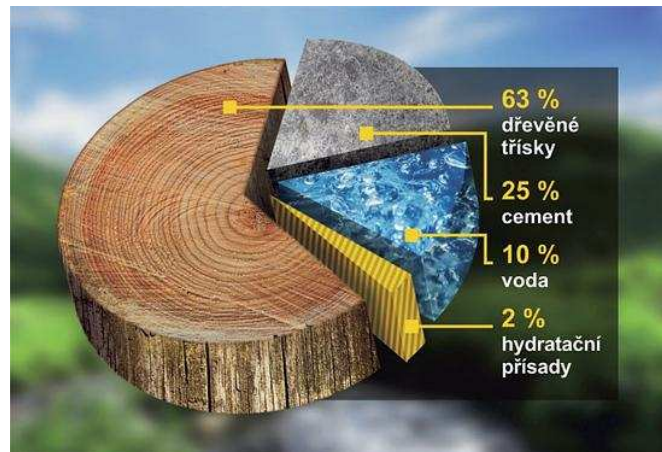
Vývoj materiálů na bázi dřeva probíhá hlavně z důvodu jeho výborných izolačních vlastností, snadné obrobitelnosti, tvarovatelnosti a spojovatelnosti, schopnosti tlumit vibrace a také díky jeho příznivému působení na prostředí. Dřevo patří mezi stavební materiál, který má v porovnání s ostatními materiály používanými v konstrukcích nízkou objemovou hmotnost a vysokou pevnost. Avšak nevýhodou dřeva je jeho citlivost na kolísání vlhkosti (bobtnání a sesychání dřeva vlivem změny vlhkosti), nehomogenita (nerovnoměrná struktura a vlastnosti) a anizotropie (různé vlastnosti v různých směrech). [3]

V České republice vyrábí cementotřískové desky (dále CTD) společnost CIDEM Hranice, a.s. – divize CETRIS. Tato divize je v současné době největším výrobcem cementotřískových desek v Evropě. Linka na výrobu CTD má výrobní kapacitu 55 000 m<sup>3</sup> ročně.

CTD patří mezi aglomerované materiály, které se vyrábí lisováním drobných dřevěných částic (tj. třísek). Dřevěné částice jsou pojeny minerálním pojivem vlivem zvýšené teploty, vlhkosti a tlaku, příp. katalyzátoru. Minerálním pojivem je většinou portlandský cement nebo cement na bázi hořčíku (Sorelův cement). Nejvhodnější dřevo pro výrobu cementotřískových desek je smrkové, jedlové, popř. topol, jelikož obsahují minimální množství extraktivních látek (lignin, polysacharidy), které významně zpomalují proces tvrdnutí cementu a snižují jeho pevnost. [3] [4]

#### 3.1 Složení

Cementotřískové desky CETRIS jsou složeny z dřevní hmoty, cementu, vody a hydratačních přísad. Objemové zastoupení jednotlivých složek je na Obrázku 1. Strukturu desky tvoří slisované dřevěné třísky obalené cementem. Povrch desky je hladký z toho důvodu, že na střední hrubší vrstvě desky je nanášena oboustranně jemnější frakce. [5]



**Obrázek 1:** Objemové procentuální zastoupení složek cementotřískových desek CETRIS [6]

- **Dřevěné třísky:**

Dělí se dle velikosti do dvou frakcí – hrubou (pro střední vrstvu) a jemnou (pro povrchové vrstvy desky). Hrubé frakce mají délku třísek okolo 15 – 20 mm a šířku 0,25 – 0,30 mm. Délka třísek jemné frakce se pohybuje okolo 10 – 15 mm a šířka 0,2 – 0,25 mm.

Dřevěné třísky mohou obsahovat látky zpomalující tuhnutí a tvrdnutí cementu a snižovat jeho pevnost. Z tohoto důvodu se dřevní hmota upravuje mineralizací chloridem vápenatým nebo síranem hlinitým. [7]

- **Cement:**

Tato složka tvoří hlavní nosný prvek CTD. Nejčastěji je používán portlandský cement CEM I 42,5. Má rychlý nárůst pevností, dobrou finální pevnost a přijatelnou cenu. [8]

- **Voda:**

Nejvhodnější voda pro výrobu stavebních materiálů na bázi cementu je voda pitná. Obecně by ve vodě měla být omezena koncentrace látek zabraňujících hydrataci cementu a následné snížení konečných pevností.

- **Hydratační přísady:**

Vodní sklo – je vodný roztok křemičitanu sodného nebo draselného. Ve stavebnictví je nejčastěji používáno k mineralizaci dřevěných konstrukcí pro zlepšení ochrany proti požáru nebo také k urychlení tuhnutí cementové směsi.

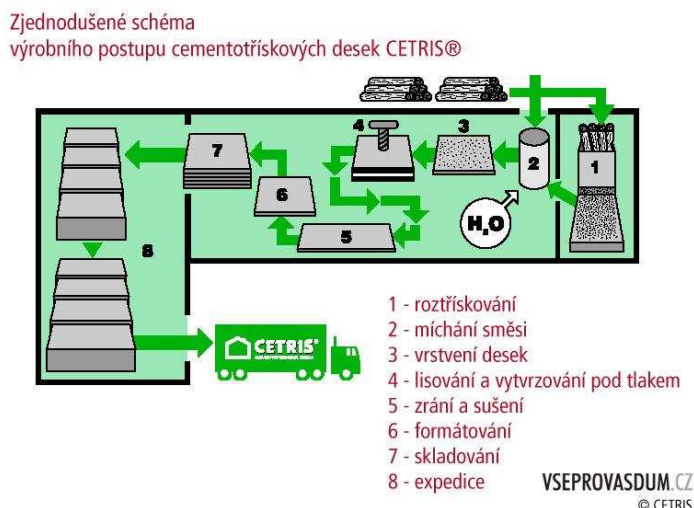
Síran hlinitý – je hlinitá sůl kyseliny sírové (anorganická sloučenina). Ve stavebnictví se používá jako urychlovač nebo jako hydrofobní činidlo do betonu.

### 3.2 Výroba cementotřískových desek

Vlastnosti a požadavky na cementotřískové desky CETRIS se řídí dle ČSN EN 633, 634–1 a 634–2.

Smrkové či jedlové dřevo je nejprve tři až čtyři měsíce uloženo na skládkách pro stabilizaci jeho vlastností. Po odležení se jednotlivé kmeny odkorní a následně roztřískují na jehlicovité třísky, které jsou poté dopravovány do sil. Dále jsou nadávkovány a smíseny v mísírně dřevěné třísky spolu s portlandským cementem a dalšími složkami, kde dochází k mineralizaci dřevěné hmoty. Na předem naolejované rovné ocelové plechy se ve vrstvicím zařízení rozprostře zhomogenizovaná směs. Zařízení na ukládání jednotlivých vrstev směsi obsahuje čtyři oddělené vrstvicí stroje umístěné za sebou. První a čtvrtá komora vytváří krycí vrstvy desek, kde se vyskytuje více menších třísek. Díky tomu je povrch desky hladký a homogenní. Druhá a třetí komora rovnoměrným nanášením vytváří středovou provázanou vrstvu desek, kde jsou použity třísky větších rozměrů. Na rozprostřenou vrstvu materiálu se pokládá naolejovaná podložka. Plechy s rozprostřenou směsí (rounem) jsou stohovány na sebe a následně lisovány za použití vysokého tlaku (2 – 3 MPa) na jmenovitou tloušťku (přibližně 1/3 sypané tloušťky). Po slisování jsou stohy uloženy po dobu 6 - 8 hodin do vytvrzovací komory pro získání manipulační pevnosti. Následně jsou desky odděleny od plechových podložek, skládány na sebe a pro zajištění jejich rovnoměrného vysychání se zakrývají fólií. Ocelové plechy jsou očištěny a vrací se zpět do výrobního procesu. Dosušování desek a získání jejich konečných pevností probíhá v sušárně. Následuje přesun desek na formátovací pilu, kde dochází k jejich formátování na požadované rozměry. Naformátované desky jsou dále očištěny, jejich povrch je vyhlazen a vybroušen do požadované rovnosti a dle přání zákazníka jsou prováděny další služby. Mezi ně může patřit například frézování hran, vrtání pro zlepšení akustických vlastností, penetrace a další povrchové úpravy. Po konečných úpravách jsou desky ihned expedovány nebo skladovány v prostorech k tomu určených. Zjednodušené schéma výroby CETRIS desek je zobrazeno na následujícím obrázku (viz Obrázek 2). [5]





Obrázek 2: Zjednodušené schéma výroby CETRIS desek [5]

### 3.3 Výhody a nevýhody cementotřískových desek

#### • **Výhody:**

- ekologičnost – jsou šetrné k životnímu prostředí, neobsahují nebezpečné látky azbest a formaldehyd, jsou odolné proti benzínu a olejům;
- mrazuvzdornost
- nízká hmotnost
- odolnost proti ohni – klasifikace podle třídy reakce na oheň dle evropské normy EN 13 501–1 je A2, s doplňkovou klasifikací s1 (tvorba kouře) a d0 (plamenně hořící částice). Celková klasifikace je tedy A2–s1,d0 – nehořlavá;
- hygienická nezávadnost – nezapáchají a neobsahují žádné nebezpečné látky;
- pružnost – mají modul pružnosti větší než 4500 N/mm<sup>2</sup> a ohybovou pevnost větší než 9 N/mm;
- dokonalá zvuková izolace – jejich vzduchová neprůzvučnost se pohybuje okolo 30 – 35 dB;
- odolnost proti plísním a houbám – jsou odolné proti vlhku a tudíž se na jejich povrchu netvoří plísně;
- snadná opracovatelnost – lze je vrtat, řezat, frézovat, brousit a opracovávat běžnými dřevoobráběcími stroji;
- odolnost proti povětrnosti – řadí se mezi nejlepší materiál pro vlhká prostředí i pro exteriér, tloušťkové bobtnání při uložení desky ve vodě po dobu 24 hodin je pouze max. 1,5 %;
- odolnost proti hmyzu – dřevěné třísky jsou spojeny cementem, a proto jsou desky absolutně odolné vůči hmyzu.

CTD jsou lehčí než tradičně používané cementovláknité desky. Zároveň mají větší pevnost a lepší odolnost proti povětrnostním vlivům, mrazu a plísním než štěpkocementové nebo sádkartonové desky. Dále můžeme využít možnosti dalších povrchových úprav např. dýhování, fóliemi nebo nástřikem barvou. [9]

- **Nevýhody:**

- zvýšená nasákavost hran;
- nízká příčná pevnost (rozlupčivost);
- dlouhá dozrávací doba po základním slisování (až 30 dnů);
- vysoký obsah tříselovin, pryskyřic a rozpustných polysacharidů obsažených v používané dřevině výrazně ovlivňuje tvrdnutí cementu. [10]

### **3.4 Použití cementotřískových desek**

Tyto desky se díky svým vlastnostem mohou použít na konstrukce podlah, šikmých střech, jako odvětrávané systémy fasád, jako protipožární aplikace, jako podhledy a sokly, ztracené bednění, v konstrukcích dopravních staveb, na opláštění výtahových šachet, k obložení svislých konstrukčních stěn v interiéru i exteriéru nebo jako výplň balkónů, teras, lodžii či schodišťového zábradlí. [3]

- **Konstrukce podlah:**

Používají se v konstrukcích lehkých plovoucích podlah nebo jako nosná vrstva položená na nosnících při sanaci starých dřevěných podlah. Aplikací CTD je možné velmi rychle, levně a bez použití mokrych procesů zlepšit akustické a tepelně izolační parametry stávající podlahové konstrukce. [11]

- **Konstrukce šikmých střech:**

V konstrukcích šikmých střech jsou desky aplikovány jako záklop nosné konstrukce (krovy, trapéz) a také jako nosič konstrukce střešní krytiny. [12]

- **Fasádní odvětrávané systémy:**

Použitím desek na fasády se zlepší tepelně izolační vlastnosti staveb, sníží se hluk,lepší se estetický vzhled objektu, ale hlavně se zvýší ochrana zdiva a obvodových konstrukcí proti vlhkosti a povětrnostním vlivům. [13]

- **Protipožární aplikace:**

Celková klasifikace desek je A2-s1,d0 - tzn. nehořlavý materiál. Na základě této klasifikace se používají při ochraně stavebních konstrukcí před požárem a samotné tvorbě konstrukcí s předepsanou požární odolností. [14]

- **Podhledy a sokly:**

Používají se k obložení vodorovných a šikmých stropních trámových konstrukcí (zavěšených podhledů), k obložení zavěšené odvětrané fasády nebo jako obklad spodní části stavby (soklu). [15]

- **Ztracené bednění:**

Používá se pro všechny nosné stavební konstrukce, jako jsou stěny, šikmé stěny, nosníky, stropy, nakloněné stropy, sloupy, schody, ale i nenosné dělicí stěny a příčky. Desky v systému ztraceného bednění představují prefabrikované bednicí prvky. [16]

### 3.5 Degradace cementotřískových desek opatřených povrchovou úpravou

Pojem degradace, neboli poškození, znamená nevratné a škodlivé rozrušování tuhých látek vlivem fyzikálně-chemické či chemické interakce (koroze) s okolním prostředím.

#### 3.5.1 Degradace desek

Dřevěné konstrukce a jejich povrchové úpravy jsou vystaveny působení řady vlivů, které se dělí do několika skupin dle původu vzniku:

- **Atmosférické (klimatické, povětrnostní) vlivy**

Mezi nejdůležitější patří sluneční záření, konkrétně jeho UV složka, která způsobuje zvětrávání (šednutí) dřeva. Dalšími vlivy jsou teplota a její změny, vlhkost ve formě dešťových a sněhových srážek či krup, vlhkost ve formě vodní páry nebo kondenzátu, eventuelně vlhkost zabudovaná. Nesmíme také opomenout prach a emise v ovzduší.

- **Chemické vlivy**

Mezi ně patří působení chemických látek ze stavebních hmot (omítek), kyselých dešťů, působení doprovodných látek, chloridů ze solení vozovek, síranů z podzemní vody, pryskyřic, tříslovin a olejů ze dřevin.

- **Biologické vlivy**

Mezi biologické vlivy, které negativně ovlivňují povrchové úpravy dřevěných konstrukcí, patří působení plísní, dřevokazných hub, mechů a dřevokazného hmyzu. [17]

#### 3.5.2 Degradace povrchových úprav

Působením různých vlivů, např. povětrnosti, mikroorganismů či zvýšené teploty může v nátěrové hmotě dojít k nežádoucím změnám struktury

fyzikálního, chemického nebo fyzikálně-chemického původu. Jakákoliv tato změna způsobí v polymeru výrazné zhoršení jeho užitných vlastností.

- **Vliv přírodního prostředí**

Při vystavení cementotřískových desek, opatřených povrchovou úpravou, podmínkám přírodního prostředí, k nejvýznamnějším faktorům způsobujícím degradaci povrchových úprav patří vliv slunečního záření, atmosférického kyslíku a ozonu, světelného i ionizačního záření, střídání teplot, vlhkosti a vodních srážek, větru a atmosférických nečistot. Intenzita působení jednotlivých faktorů přírodního prostředí se liší dle roční doby, zeměpisné polohy, nadmořské výšky apod. Jsou-li desky s polymerními nátěry vystaveny účinku povětrnosti, dochází na nich po určité době ke změnám vzhledu i mechanických vlastností.

- **Vliv kyslíku**

Struktura polymerů bývá při mírných teplotách a při působení molekulárního kyslíku bez záměrné katalýzy (tzv. autooxidace) značně stálá, ale i malý rozsah teploty vyvolává prudký pokles molekulové hmotnosti a následnou změnu jejich vlastností. Největší odolnost vůči oxidaci vzdušným kyslíkem mají polymery s nasyceným nerozvětveným řetězcem.

- **Vliv ozonu**

Ozon se vytváří v horních vrstvách zemské atmosféry rozkladem kyslíku zářením o vlnových délkách 110 nm až 22 nm a difúzí proniká do nižších vrstev. I nepatrná koncentrace ozonu způsobuje stárnutí polymerů, zejména pryží z nenasycených kaučuků. Ozon reaguje na povrchu výrobku a způsobuje postupné praskání polymeru, až nakonec dochází k jeho mechanickému porušení. Největší odolnost proti působení ozonu mají kaučuky se zcela nasyceným hlavním makromolekulárním řetězcem.

- **Vliv slunečního záření**

I přesto, že asi jen 5 % celkového slunečního světla, které dopadá na zemský povrch, leží v oblasti vlnových délek od 290 nm do 400 nm (tedy UV záření, které způsobuje degradaci polymerů), je to jeden z nejúčinnějších činitelů přirozeného stárnutí povrchových úprav cementotřískových desek. U polymerů dochází vlivem absorpce světelné energie k fotochemickým reakcím, které vedou až k odbourávání polymerů.

- **Vliv ionizujícího záření**

Pod pojmem ionizující záření se rozumí záření gama ( $\gamma$ ), které vzniká rozpadem radioaktivních prvků. Vlivem tohoto záření dochází k sítování makromolekulárních řetězců i k jejich štěpení, tyto děje probíhají současně.

Degradační procesy polymerů iniciované ionizujícím zářením jsou doprovázeny tvorbou dvojných vazeb, odštěpováním plynných produktů a v přítomnosti kyslíku vznikem oxidovaných struktur. Tyto procesy se projevují změnou barvy, respektive žloutnutím barvy. Avšak u polyetylenu dochází působením ionizujícího záření k sesíťování makromolekul, které příznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti tohoto polymeru, a proto se průmyslově využívá k jeho modifikaci. Při vysokých dávkách ionizujícího záření však polymer tmavne, tvrdne a křehne.

- **Vliv biologických činitelů**

Biologická koroze znamená napadení polymerního materiálu mikroorganismy, zejména plísněmi. Vznik biologické koroze na povrchu polymeru ovlivňuje především jeho chemické složení (tj. zdroj uhlíku, dusíku nebo jiných biogenních prvků), podmínky a prostředí, kterým je polymer vystaven. Mikroorganismy způsobují naleptání povrchu polymeru, které může vést až k jeho proděravění a následným pronikem vody k další degradaci povrchové úpravy.

- **Vliv zvýšených teplot**

Účinek zvýšené teploty může u polymerů způsobit jeho měknutí a změnu struktury. Teplota má vliv na rychlost chemických reakcí včetně oxidace a hydrolyzy. Sluneční záření, které obsahuje kolem 50 % infračerveného záření, zvyšuje povrchovou teplotu polymeru a ta má vliv na změnu jeho barevného odstínu. Zvýšená teplota může způsobit také migraci změkčovadel, stabilizátorů či jiných přísad. Střídání teplot může mít za následky rozměrové změny, které způsobují vnitřní pnutí materiálu a vznik trhlin.

- **Vliv působení vody**

Jedním z nejdůležitějších faktorů způsobujících degradaci polymerů je působení vody. Voda způsobuje vymývání všech ve vodě rozpustných katalyzátorů, ale i produktů, které by mohly katalyzovat další destrukci. Nejvíce náchylné jsou polymery obsahující hydrolyzovatelné esterové, amidové a nitrilové skupiny a také polymery, u kterých tyto skupiny vznikají oxidací. V případě, že jsou hydrolyzovatelné skupiny obsaženy v hlavním řetězci, dochází k razantnímu snížení molekulových hmotností a k poklesu pevnosti polymeru. [18]

## 4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Povrchové úpravy se provádí z důvodu ochrany konstrukce (materiálu) proti její degradaci či korozi, otěru, zvýšené teplotě nebo pro zlepšení mechanických, chemických či estetických vlastností. Je to tedy taková úprava povrchu, která vede ke zlepšení vlastností materiálu nebo výrobku. Nejčastější povrchovou úpravou stavebních konstrukcí (i cementotřískových desek) jsou **nátěry**. [19]

V normě ČSN EN ISO 4618:2007 – Nátěrové hmoty je tento typ povrchové úpravy definován jako pigmentový materiál určený k natírání, který po nanesení na podklad, vytváří neprůhledný film, vyznačující se ochrannými, dekorativními nebo jinými vlastnostmi.

Všechny druhy nátěrových systémů jsou složeny z několika základních složek, mezi které řadíme filmotvorné látky, pigmenty, plniva, těkavé látky a ostatní přísady. [19]

### 4.1 Dělení povrchových úprav dle funkce

- **Pro ochranu podkladu proti škodlivému prostředí:**
  - klimatickým činitelům – teplota, vlhkost, UV záření apod.;
  - biotickým činitelům – houby, plísně, hmyz apod.;
  - jiným (speciálním) činitelům;
  - mechanickým účinkům.
  
- **Pro estetickou funkci:**
  - barevný odstín;
  - lesk;
  - dekorativní vzory;
  - ostatní estetické požadavky.
  
- **Pro speciální účely a pro zvýšení:**
  - tvrdosti povrchu;
  - odolnosti proti opotřebení;
  - odolnosti proti vysokým teplotám;
  - odolnosti proti ohni;
  - ostatních speciálních vlastností. [19]

### 4.2 Dělení povrchových úprav – nátěrových hmot

Nátěrové hmoty lze třídit podle mnoha hledisek. Jedná se o způsob nanášení, stupeň lesku, průhlednost, hlavní složky, funkci povrchové úpravy, účel použití povrchové úpravy a další.

#### 4.2.1 Nátěrové hmoty podle průhledností

- **Transparentní** (tj. průhledné, nezakrývají strukturu materiálu):
  - plniče pórů plastové – jsou vyráběny z oxidu křemičitého, Iněného oleje a sušidla. Olej může být nahrazen nitrocelulózovým nebo syntetickým lakem;
  - plniče pórů lakové – je to nitrocelulózový nebo syntetický lak se zvýšeným obsahem sušiny. Často plní i funkci základního laku;
  - laky – je to roztok nebo disperze všech transparentních nátěrových hmot. [20]
- **Pigmentové** (zakrývají strukturu materiálu):
  - tmely – obsahují velké množství pigmentů a plnidel. Nejčastěji jsou nitrocelulózové, syntetické a polyesterové. Používají se pro opravu a potahování materiálu;
  - barvy – jsou to suspenze pigmentů, plniv a pojiv ve filmotvorné složce. Používají se pro zakrytí estetických vad a drobných nerovností;
  - emaily – jsou tvrdší, odolnější, lesklejší či matnější než barvy. Aplikují se v jedné vrstvě na vybroušenou vrstvu tmele. [20]

#### 4.2.2 Nátěrové hmoty podle chemického složení

- **Podle složení základní pojivové složky:**
  - asfaltové – jsou vyráběny z přírodních asfaltů nebo z asfaltů vznikajících při výrobě ropy. Používají se většinou jako ochranné nátěry kovů;
  - celulózové – jsou vyráběny z roztoků nitrocelulózy a syntetických pryskyřic. Velmi rychle schnou, ale mají nízkou životnost a žloutnou;
  - epoxidové dvousložkové – jejich výhodou je vysoká tvrdost a odolnost proti mechanickému namáhání. Používají se na cementotřískové desky;
  - polyesterové – jsou vyráběny z nenasycených polyesterových pryskyřic. Používají se hlavně v nábytkářském průmyslu;
  - olejové – jsou vyráběny na bázi přírodních olejů, kombinovaných s různými druhy pryskyřic. Jsou to například fermeže, fermežové barvy, olejové laky a emaily;
  - syntetické. [21]
- **Podle druhu rozpouštědla:**
  - akrylátové – vytvrzení probíhá na vzduchu nebo jsou vypalovací i dvousložkové. Používají se na cementotřískové desky;
  - vodou ředitelné – akrylátové (disperzní) používané k nátěrům dřeva a stavebních hmot, emulzní používané k nátěrům dřeva a kovů. Používají se na cementotřískové desky;

- bezrozpouštědlové
- lihové. [21]

#### 4.2.3 Nátěrové hmoty podle způsobu aplikace

Snahou je především dosáhnout co nejvíce rovnoměrného rozložení nátěrové hmoty a co nejmenších ztrát nátěrové hmoty.

- **Ruční metody:**

- štetcem – pro všechny druhy nátěrových hmot při vhodné konzistenci;
- stěrkou
- válečkem

- **Strojní metody:**

- stříkání – pro všechny druhy nátěrových hmot i tmelů při vhodné konzistenci;
- polévání – nátěrové hmoty musí být speciálně upraveny pro zabránění odloupenutí nátěru;
- navalování – pro všechny druhy nátěrových hmot při vhodné konzistenci;
- máčení – nátěrové hmoty musí být speciálně upraveny pro zabránění jejich stékání (tixotropní úprava). [20]

#### 4.2.4 Nátěrové hmoty podle způsobu zasychání nátěrů

- **Fyzikálními pochody** – tvorba filmu probíhá odpařováním rozpouštědel nebo zatuhnutím hmoty, která byla před použitím roztavena;
- **chemickými pochody** – při zasychání probíhají chemické pochody (oxidace, polymerace apod.), při kterých se z nízkomolekulárních látek stávají látky vysokomolekulární;
- **fyzikálními i chemickými pochody** – tvorba filmu vzniká odpařením rozpouštědel a chemickou reakcí. [21]

#### 4.2.5 Nátěrové hmoty podle podmínek zasychání

- **Schnoucí na vzduchu** – zasychají za normálních podmínek okolního prostředí;
- **vypalovací** – nátěr vzniká za zvýšené teploty chemickou reakcí;



- **vytvrzané zářením** – nátěr vzniká působením UV záření nebo IR záření. [21]

#### 4.2.6 Nátěrové hmoty podle prostředí, pro které jsou určeny

- **Vnitřní** – nátěry v interiérech, které jsou odolné proti oděru, ale málo odolné UV záření a venkovním vlivům;
- **venkovní** – odolné povětrnostním vlivům a změnám teplot a vlhkostí;
- **do vlhka** – předpokládá se krátkodobé použití ve vodě;
- **do vody** – odolné stálému uložení ve vodním prostředí (sladká, slaná voda) a častým změnám vlhkostí;
- **odolné proti chemikáliím** – nátěry odolné agresivnímu prostředí. Nátěrové hmoty se volí vždy podle působících chemikálií (kyseliny, zásady, soli aj.). [20]

#### 4.3 Nátěry vhodné pro cementotřískové desky

Cementotřískové desky jsou z největší části tvořeny dřevěnými třískami, které jsou organického původu a mohou podléhat vlivům prostředí, ve kterém se vyskytují (zejména vlhkosti). Z tohoto důvodu jsou desky opatřeny povrchovou úpravou zabraňující nebo omezující jejich degradaci. Pro ochranu povrchu cementotřískových desek jsou nejvhodnější polymerní povrchové úpravy ředitelné vodou, a to z toho důvodu, že neobsahují nebo mají nízký obsah těkavých látek. [22]

Jednosložkové nátěrové systémy mají snadné použití. Pouze se zamíchají a nanesou na povrch materiálu.

Dvosložkové nátěrové systémy jsou složeny z nátěrové hmoty samotné a z tvrdidla. Samotnou nátěrovou hmotu tvoří pryskyřice s obsahem hydroxylových skupin, případně pigment. Tvrdidlem obvykle bývá polyizokyanátová pryskyřice. U každé složky je uveden hmotnostní poměr, ve kterém se před zpracováním vzájemně mísí.

##### 4.3.1 Akrylátové nátěrové hmoty

Akrylátové nátěrové hmoty obsahují akrylátové polymery, které se vyrábí polymerací esterů kyseliny akrylové a metakrylové. Jejich použití je vhodné pro ochranu dřevotřískových desek a dřevěných výztuh. Nejčastěji se však používá jako podkladní vrstva zajišťující ochranu proti UV záření.

Charakteristickou vlastností akrylátových nátěrových systémů je jejich bezbarvosť i v aplikaci velkého počtu vrstev. Snadno se probarvují, přetírají

a jsou bez zápachu. Mají výbornou přilnavost a pružnost. Dalšími výhodami je vysoká odolnost proti povětrnostním vlivům, dobré mechanické a elektroizolační vlastnosti, odolnost proti vodě, zředěným alkáliím i kyselinám, odolnost proti ultrafialovému záření a jsou nezávadné.

Mezi nevýhody akrylátových nátěrových hmot patří nízká povrchová tvrdost a špatná odolnost proti působení koncentrovaných kyselin a hydroxidů. [23] [24]

#### 4.3.2 Epoxidové nátěrové hmoty

Epoxidové nátěrové hmoty bývají nejčastěji dvousložkové laky nebo tmely. Obsahují epoxidové pryskyřice (epichlorhydrin a dian) a tvrdidla či tužidla (aminoamidové pryskyřice, alifatický dietylenetriamin). Při vytvrzování vznikají makromolekulární sítě, a proto jsou epoxidové nátěrové hmoty velmi dobře chemicky odolné. [25]

Epoxidové nátěrové hmoty jsou vhodné na ochranu výrobků s vysokou rozměrovou přesností, jelikož jejich smrštění je do 2 %. Takto malé smrštění pozitivně působí i na vnitřní pnutí, které je minimální i při ochraně velkých dílců. Další výhodou epoxidových nátěrových hmot je jejich odolnost proti vodě, roztokům alkálií, kyselinám a některým rozpouštědlům. Dobře snáší alkalické prostředí a z toho důvodu se používají při sanaci koroze napadenou ocelí. [22] [26]

Mezi nevýhody epoxidových nátěrových hmot patří jejich malá odolnost proti UV záření, malá pružnost a odpařování rozpouštědla během nanášení a zasychání nátěru. [26]

Vzhledem k jejich vlastnostem se dvousložkové ředitelné epoxidové nátěrové hmoty používají na pojezdové podlahové plochy v oblasti průmyslu a řemeslných dílen s nízkým až středním namáháním. Proto musí být odolné proti mechanickému poškození a proti působení chemikálií. Dále se uplatňují jako ochranný nátěr pro vysoce namáhané plochy stěn v interiéru, které musí být odolné působení chemikálií a dezinfekčním prostředkům. [22] [24]

#### 4.3.3 Polyuretanové nátěrové hmoty

Polyuretanové nátěrové hmoty (PUR) se rozdělují na jednosložkové a dvousložkové. Dvousložkové mají častější využití. Dají se charakterizovat také jako polyadiční nátěrové hmoty. Jsou vyráběny z nenasyčených polyesterových pryskyřic. Vytvrzují se chemicky a rychlost vytvrzování je výrazně ovlivněna teplotou. Z chemického hlediska jsou polyuretany kombinací polyesterů a polyamidů. Polyuretanové nátěrové hmoty vyžadují kvalitní přípravu podkladu. [22] [26] [24]

Dnes je jejich využití hlavně na povrchy vyžadující vysokou odolnost a jako nátěry na exotické dřeviny pro zachování jejich původního vzhledu. Také se používají tam, kde je vyžadována stálost lesku a barevného odstínu

(nežloutnou). Zároveň mají výbornou mechanickou odolnost, dobrou odolnost proti chemikáliím a rozpouštědlům, trvalou elasticitu a vysokou odolnost proti otěru. [24]

Nevýhodou polyuretanových nátěrových hmot je izokyanátová složka, která je základní složkou tužidla. Izokyanátová složka patří mezi velice dráždivé jedy. Při pokojové teplotě reaguje s jakoukoliv sloučeninou obsahující aktivní vodík. To znamená, že reaguje i se stykem s částí těla. Z toho důvodu je nutné mít při práci těchto nátěrových hmot ochranné pomůcky a přísun čistého vzduchu. [22] [26]

#### 4.3.4 Vodou ředitelné nátěrové hmoty

Vodou ředitelné nátěrové hmoty jsou dnes nejpoužívanějším druhem povrchové ochrany u většiny výrobců cementotřískových desek. Jejich pojivo je rozpouštěné nebo rozptýlené ve vodě s malým obsahem organických rozpouštědel koalescentů. Tím se při jejich používání výrazně omezuje množství vypařovaných organických rozpouštědel. [26]

Vzhledem k tomu, že požadavky kladené na jednotlivé nátěry jsou různé, liší se i složení těchto hmot. Hlavní skupinou jsou fyzikálně zasychající typy nátěrových hmot. Požadovaných vlastností se dosahuje výběrem vhodného typu hmoty a správné kombinace surovin. [27]

Jednou z hlavních výhod těchto nátěrových hmot je, že se nemusí k ředění používat ředidla, která jsou škodlivá pro člověka i pro životní prostředí. Na ředění postačí obyčejná voda. Dále jsou tyto hmoty odolné proti vzniku trhlin, mají vysokou pružnost, dobrou odolnost proti povětrnostním vlivům a většina z nich je nehořlavá. Obsahují však těžší rozpouštědla a vícesytné alkoholy. Z toho důvodu je maximální hranice použití vody 5 – 10 %. Pokud se toto rozmezí nedodrží, změní se viskozita nátěru a nátěr se nedá aplikovat na podklad. [27]

Mezi nevýhody vodou ředitelných nátěrových hmot patří relativně velká energetická náročnost na sušení, z důvodu dlouhé odpařovací doby vody. Naopak ale tyto hmoty splňují předpisy pro vypouštění rozpouštědel do vzduchu, a proto nejsou nutná drahá zařízení pro jejich čištění a spalování zbytků. [27]

## 5 NÁTĚRY SE STRUKTUROU POVRCHU

Volba plniv a pigmentů závisí hlavně na funkci, kterou bude nátěr plnit. Základní nátěry plní funkci především ochrannou a u vrchních nátěrů předpokládáme estetickou kvalitu, mechanickou a chemickou odolnost, stabilitu barvy a lesku v daném prostředí.

Pigmenty a plniva se liší indexem lomu světla, který určuje kryvost materiálu, tedy tloušťku nátěru, který zakryje podklad. Pigmenty a plniva se řadí mezi materiály přírodního a syntetického původu a jsou dodávány ve formě prášku nebo past v tekutém médiu. Tvar částic u práškových materiálů je různý a dá se dobře využít v různých formulacích. V případě sypkých materiálů hraje důležitou roli velikost jednotlivých částic. Čím menší jsou zrna pigmentu, tím větší má materiál měrný povrch a tím více pojiva je potřebné pro úplné obalení všech částic. Proto se pigmenty i pojiva charakterizují tzv. spotřebou oleje. Spotřeba oleje vyjadřuje hmotnost Iněného oleje, která je nutná ke smočení 100 g pigmentu. Spotřeba oleje pomáhá udržet obsah pigmentů a plniv pod kritickou objemovou koncentrací. Kritická objemová koncentrace je stav, kdy je pigment zcela obalen pojivem. Při překročení této meze dochází k výraznému zhoršení vlastností nátěru.

Pigmenty zajišťují v nátěrové hmotě estetickou funkci, a to barevný odstín, nyvost, bělost nebo i speciální metalizační efekt. V základních nátěrech plní ale i další funkce, jako je například antikoroziční účinek. Plniva již podle názvu tvoří v některých případech „výplň“, která snižuje výslednou cenu nátěrové hmoty. Ve většině případu vhodný výběr plniva výrazně zvyšuje mechanické i optické vlastnosti nátěru.

Vlastnosti nátěrové hmoty výrazně ovlivňuje objemový poměr pigmentu a plniv k pojivu. Ve většině nátěrových systémů jsou veškeré částice pigmentů a plniv zcela obaleny pojivem, což zajišťuje soudržnost vrstvy a dobrou mechanickou, chemickou a koroziční odolnost. [28]

Do nátěrových hmot se plniva a pigmenty přidávají z několika důvodů: pro získání barevného odstínu, pro zdrsnění povrchu nebo pro získání lesku, z důvodu změn reologických vlastností nátěrové hmoty, zvyšují fyzikální vlastnosti (pevnost a odolnost proti oděru) ale také snižují náklady na nátěrovou hmotu. Dále plniva v nátěrech zvyšují odolnost proti korozi, chemickým látkám a povětrnostním vlivům, zvyšují požární odolnost a chrání materiál před UV zářením. [29]

### 5.1 Plniva

Plniva tvoří kostru nátěrových hmot, protože zesilují strukturu nátěru a zlepšují jeho vlastnosti. Mezi částicová plniva patří celá škála přírodních a syntetických, anorganických a organických materiálů. Vzhledem k účinkům na

mechanické vlastnosti polymeru mají buď vyztužující, nebo nevyztužující charakter.

**Nevyztužujícím plnivem** je například moučka získaná rozemletím břidlice, kaolinu, křídly a dalších levných materiálů, které se používají ve formě prášku.

**Vyztužující plniva** se používají hlavně za účelem zvýšení rázové houževnatosti polymerů, zvýšením pevnosti i modulu pružnosti. Mezi nejdůležitější plniva těchto vlastností se používají skleněná, uhlíková, kovová, aramidová, minerální, přírodní nebo jiná vlákna.

Mezi **částicová plniva** patří např. uhličitán vápenatý, oxidy křemíku, skleněný prášek, mleté minerály (slída, kaolin, břidlice, křída), dřevitá moučka apod.

**Vláknitými plnivy** jsou skleněná vlákna, uhlíková vlákna, kovová vlákna, minerální vlákna, přírodní vlákna nebo aramidová vlákna.

Pro kompozity s vyztuženými polymery jsou z mechanického hlediska nejlepší skleněná, ale také uhlíková vlákna. [30]

## 5.2 Příklady alternativních plniv

Plniva jsou látky anorganického nebo organického původu a používají se jako částicové plnivo ve formě prášku, ve formě částic malých rozměrů (kuličky) nebo jako vlákna různých délek. Funkční plniva rozšiřují spektrum vlastností a umožňují vstup plastů do nových aplikací. Jejich zabudování do plastů je snadné a nabízí nespočetné možnosti pro zlepšení a diferenciaci materiálů. Plniva mají zásadní vliv na zpracovatelnost, mechanické, tepelné, optické a elektrické vlastnosti. [31]

Při provádění zahraniční studie byl použit jako alternativní plnivo **polypropylen (PP)** pocházející z potravinářských kontejnerů. Byl vybrán jako termoplast polymerní matrice, pro svou nízkou toxicitu, vysokou tuhost, tepelnou izolaci, odolnost proti biologické degradaci a pro jeho výborné hydrofobní vlastnosti. Má také dobrou mechanickou pevnost a zaručuje směsi dobrou rozměrovou stabilitu. Výsledky tohoto výzkumu ukázaly, že PP je materiál sám o sobě kvalitní, ale ve spojení s polymerní matricí vykazuje špatnou adhezi povrchu mezi částicemi a polymerní matricí. Pro zvýšení adheze je potřeba použít vazebné činidlo nebo provést předběžnou úpravu PP částic pro zvýšení fyzikální adheze mezi částicemi. [32]

V jiné zahraniční studii bylo sledováno zlepšení antikoročních vlastností polymerních povlaků s anorganickými přísadami, a to **polyvinylchloridem (PVC) a oxidem křemičitým**. Částice oxidu křemičitého byly dispergovány v polyvinylchloridu. Pro zjištění morfologických vlastností povlaků byla použita skenovací elektronová mikroskopie (SEM). Bylo zjištěno, že částice oxidu

křemičitého nejsou rovnoměrně rozptýleny a tvoří shluky v polymerní matrici. Navíc povlak s těmito plnivy vykazoval hydrofilní vlastnosti povrchu. Avšak elektrochemická studie v 3,5% roztoku NaCl potvrdila, že odolnost proti korozi materiálu upraveného povlakem z oxidu křemičitého a PVC byla lepší, oproti vzorkům s neupraveným povrchem. [33]

Pro kabelový průmysl se často v polymerech zpomalujících hoření používají plniva hydroxidů kovů (trihydroxid hlinitý – ATH). Částice ATH jsou hydrofilní a pokud je polymer s tímto použitým plnivem vystaven vlhkosti, absorbuje vodu, a tudíž nemá žádné izolační vlastnosti. Další studie byla tedy zaměřena na zlepšení těchto vlastností. Trihydroxid hlinitý byl rozdispergován v **polyetylenu (PE)**. Při zkoumání morfologie materiálu s aplikovaným povlakem bylo zjištěno, že částice ATH byly dobře rozptýleny a distribuovány v matrici PE, a to jak na povrchu filmu, tak i v celé jeho tloušťce. Studie absorpce vody byla prováděna na dvou různých velikostech částic ATH. Povlak s mikro-ATH částicemi nevykazoval absorpci vody, ale s nano-ATH částicemi byla během prvních hodin pozorována rychlá absorpce vody. To bylo pravděpodobně způsobeno velkým specifickým povrchem nano částic. [34]

### 5.3 Dispergace a smáčení pigmentů a plniv

Dispergace je proces, při kterém se vytvoří stabilní soustava jednotlivých částic pigmentu v pojivu. Velikost částic pigmentu je maximálně v desítkách mikrometrů. Pro vytvoření stabilní vrstvy je potřeba extrémně vysoké množství energie. Dnes již ale existují tzv. dispergační aditiva (disperzanty), která mají za úkol snížit množství použité energie a stabilizovat vytvořený systém. Molekula aditiva obsahuje část, která je snášenlivá s vodou (je hydrofilní) a řetězec, který je snášenlivý s olejem a podobnými médii (je hydrofobní). V rozpouštědlovém pojivu se hydrofilní části přichytí na části pigmentu a vytvoří na povrchu obal, který je nakonec lehce smáčitelný pojivem díky hydrofobním řetězcům na opačné straně molekuly aditiva. Ve vodném prostředí probíhá orientace molekul opačným směrem. [28]

Kromě disperzantů se jako pomocné přípravky používané v nátěrových hmotách používají odpěňovače. Odpěňovače se používají z toho důvodu, že při činnosti dispergačního zařízení se do barvy dostává vzduch, a nebo mohou některé bublinky vzniknout chemickou reakcí pojiva. U vodou ředitelných nátěrových hmot se odpěňovače používají vždy. Jsou to přípravky na bázi silikonů, minerálních olejů a podobných látek. Bubliny se odstraňují tak, že kapička odpěňovače naruší tenkou vrstvu, která obklopuje uzavřený vzduch a umožní jeho únik z nátěru. [28]

## 6 DEGRADACE NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ

Hlavní roli v procesu vytváření kvalitního nátěru hraje předúprava povrchu. Špatně odmaštěný nebo nedokonale očištěný povrch má za následek až 90 % vad nebo selhání nátěrů. Aplikovaný nátěr z levnější řady na očištěný a odmaštěný povrch materiálu je téměř vždy účinnější než použití drahých nátěrů na neupravený povrch. [28]

Degradaci polymeru způsobují rozkladné procesy, které mají za následek změnu struktury (např. zkracováním makromolekul nebo jejich síťováním), změnu vlastností i zabarvení polymeru. Degradace polymeru může probíhat jak při jeho výrobě (současně vysoká teplota i mechanické namáhání), tak i v pevném stavu při dlouhodobém užívání výrobku (vlivem vnějších a vnitřních vlivů). [30]

### 6.1 Degradace nátěrových hmot vlivem vlhkosti a mrazu

Na materiál s povrchovou úpravou nátěrem může vlhkost působit ve dvou fázích, a to v plynné nebo kapalně. Plynná fáze působí ve formě vodní páry, vzdušné vlhkosti a mlhy, kapalná fáze ve formě kondenzované vlhkosti, deště, rosy nebo jako tající sníh a led. [35]

Přítomnost vlhkosti ve dřevě může způsobit problémy nátěrového systému. Protože nátěrový systém omezuje pohyb vlhkosti, vlhkost se udržuje na rozhraní mezi povrchem dřeva a nátěrovou hmotou. Jestliže se vlhkost drží na rozhraní, může dojít ke ztrátě adheze mezi povrchem a nátěrem a vytvoří se puchýřky. Jestliže je nátěr porušen, vlhkost prostupuje dále do dřevní hmoty a způsobuje ještě větší selhání (prasknutí dřeva, další poruchy nátěru apod.). V případě, že je bobtnání dřeva a nátěru odlišné, může dojít k prasknutí nátěrové hmoty. Ve většině případů je bobtnání dřeva větší než bobtnání nátěru. [36]

Řešením těchto problémů je zabránit vnikání vlhkosti do dřeva, aby se snížil obsah vlhkosti ve dřevě a zlepšit rozměrovou stabilitu dřeva. Bylo prokázáno, že acetylace dřeva významně snižuje obsah vlhkosti v buněčné stěně a omezuje pohyb vlhkosti ve dřevě. [36]

Acetylace dřeva je technologie, která zahrnuje reakci dřeva s acetanhydridem, při níž dochází k esterifikaci volné hydroxylové skupiny v buněčné stěně. Nejvhodnějšími hydroxylovými skupinami jsou ty, které se podílejí hlavně na vázání vody v buněčné stěně. Vázané acetylové skupiny jsou větší a tak zabírají prostor v buněčné stěně, která by jinak mohla být naplněna vodou. [36]

Vodní srážky mají vliv na povrch nátěrových systémů z hlediska zvyšování rychlosti křídování. Naopak ale mohou přispět k odstranění špíny od prachu či řas. V letním období mohou vodní srážky způsobovat teplotní šoky.

Teplota nátěrů tmavé barvy poklesne v horkých letních dnech o více než 40 °C během dvou minut. Naopak v zimním období, kdy je pokles teplot do minusových hodnot, dochází ke kondenzaci proniklé vlhkosti a k následnému zamrznutí. Tím se zvyšuje celkový objem vody (přibližně o 10 %) a tlak vzniklý touto objemovou změnou. Zamrznutí vody působí jak na vrstvy nátěru, tak na samotný materiál. Působení mrazu má za následek vznik tahových trhlinek a odpadávání jednotlivých vrstev povrchové úpravy.

## 6.2 Degradace nátěrových hmot vlivem UV záření

U ochranných povlaků dochází vlivem absorpce světelné energie k hluboké fotooxidační destrukci, která se projevuje zejména zhoršením mechanicko-fyzikálních vlastností polymerů spolu s možnou degradací podkladového materiálu. [37]

Dnes se do nátěrových hmot přidávají i tzv. UV absorbéry (UV stabilizátory), které zpomalují degradační procesy v důsledku slunečního záření a fungují na principu přeměny UV záření v neškodné záření o nižší hladině energie. Pro polymery je nejnebezpečnější UV záření v oblasti vlnových délek 290 až 400 nm, vyvolávající vznik volných radikálů (volných, nepárových elektronů). Vzniklé radikály mohou vyvolat degradaci – štěpení nebo síťování makromolekul. [30]

Pro transparentní a bezbarvé materiály se nejčastěji používají organické absorbéry. Ty UV záření nepropustí, ale absorbují ho a fungují na principu tautomerní změny, eventuálně ve vyzáření přebytečné energie ve formě tepla. Stabilizační účinek je nejčastěji způsoben likvidací volných radikálů, zhášením excitovaných stavů molekul, rozkladem hydroperoxidů apod. V praxi se jako organické UV absorbéry osvědčily deriváty benzofenonu, hydroxibenzenofenony s různými substituenty, benzotriazoly nebo stéricky bráněné aminové stabilizátory. Nejlepších výsledků bylo však docíleno použitím radikálově polymerizovatelného stabilizátoru benzotriazolového typu ve formě kyseliny metakrylové. [37] [38]

Stabilizace polymerů se provádí převážně tak, že se k základnímu polymeru vmíchá UV stabilizátor jako aditivum. Nízkomolekulární světelné stabilizátory nejsou ve filmotvorném polymeru pevně poutány, a proto samovolně migrují směrem k povrchu nátěrového filmu a lze je z polymerní matrice snadno extrahovat. Postupem času se jeho obsah snižuje až na třetinu původní koncentrace, což má za následek snížení ochranného účinku a nakonec vede k úplné ztrátě celého nátěru. [36] [38]



### 6.3 Degradace nátěrových hmot vlivem prachových částic

V oblastech s velkým výskytem tuhých částic často dochází k jejich usazování na nátěrových systémech. Tyto částice obsahují rozpustné soli způsobující degradaci nátěru nebo podkladního materiálu. Při působení vlhkosti tyto částice způsobují pod nátěrem vznik puchýřků naplněných roztokem příslušné rozpustné soli. V našich podmínkách je nejvíce takového materiálu elektrárenského popílku, který obsahuje rozpustné sírany.

Některé tuhé částice mohou být napadeny jinými látkami, např. silikony a při dopadu na čerstvý nátěr způsobují vznik kráterku. Toto nebezpečné napadení silikony se týká hlavně velkých lakoven. Pevné částice mohou proniknout do nátěru a následně negativně ovlivnit jeho výslednou celistvost. Na základě degradačních zkoušek bylo zjištěno, že nátěry zhotovené v bezprašných prostředích vykazovaly při dlouhodobém působení nepříznivých vlivů větší odolnost, než nátěry zhotovené v běžném prostředí. [38]

### 6.4 Degradace nátěrových hmot vlivem působení síranů

Soli jsou binární nebo vícesložkové sloučeniny, které jsou složené z jednoduchých nebo složitých kationtů a aniontů. Z hlediska poškozování nátěrů je důležitým kritériem rozpustnost solí. Na degradačních pochodech se podílejí jenom ve vodě dobře rozpustné nebo poměrně dobře rozpustné soli. Nejčastějšími solemi, které způsobují degradaci nátěrových hmot, jsou obvykle sírany, chloridy a dusičnany.

Míra degradace závisí především na korozní agresivitě vody, která je ovlivňována chemickým složením, přítomností kyslíku, teplotou a prouděním. Měkké a dešťové vody jsou velmi agresivní, protože mohou být znečištěny chloridovými a síranovými ionty z ovzduší. Voda pronikající do stavebních materiálů kapilárními silami obsahuje rozpuštěné soli. Po odpaření vody se soli hromadí nejčastěji pod nátěry. Důležitou roli při pohybu a hromadění solí v konkrétních místech hraje rozpustnost solí a pohyblivost jednotlivých iontů. Dobře rozpustné soli (chloridy, dusičnany) migrují lépe a rychleji a do větších vzdáleností než sírany. Proto se u fasád poškozených vzlínající vlhkostí vyskytuje ve spodní části větší koncentrace síranů.

Krystalizace nebo hydratace solí v pórech, dutinách, v prasklinách nebo pod nátěry je hlavním destruktivním mechanismem, kterým se soli podílejí na poškozování porézních materiálů. V praxi se tato destrukce projevuje v podobě odpadávání vrstev nátěrů. [39]

## 6.5 Degradace nátěrových hmot v přírodním prostředí

Polymery užívané jako nátěrové hmoty mohou být jak přirozené tak umělé. Jedná se zpravidla o materiál tvořený opakující se stavební jednotkou, kterou je v daném případě menší molekula zvaná monomer. Tyto materiály jsou často užívány pro svou pevnost a trvanlivost. Na konci jejich životnosti je však kladen požadavek na zpětný rozklad těchto látek na úroveň jednodušších materiálů přirozeně se vyskytujících v přírodě. Degradace všech polymerů probíhá podle jednoduchého řetězce. Prvně dojde k rozkladu polymeru na monomery (tzv. depolymerizace) a následně dochází k mineralizaci těchto monomerů. Prvotní rozklad polymeru může být následkem působení různých fyzikálních, chemických či biologických sil.

Příkladem fyzikálních sil může být ohřívání/chlazení, tuhnutí/tání či vlhčení/sušení, které způsobují mechanické poškození a rozklad polymeru. Dalším příkladem depolymerizace je růst specifických hub a plísní na úrovni stavebních jednotek polymerů, který má za následek napuchání a praskání složených řetězců. Klíčovým jevem zapříčiňujícím rozklad polymerů je narušení polymeru a vytváření nových menších povrchů, které mohou dále reagovat s chemickými a biochemickými činiteli, a tím zajišťovat další rozklad původní látky.

Půdní mikrobi mohou často způsobit proces depolymerizace vylučováním enzymů do půdní vody a tyto enzymy poté zahájí rozklad polymerů. Co se týká polymerů odolnějších vůči rozkladu, příroda vyvinula systém, kdy určitý druh houby, vylučuje peroxid vodíku, který v kombinaci s určitým enzymem dokáže pozvolna spustit proces depolymerizace.

Jiné mikrobiální výměšky dále mohou vytvářet prostředí, ve kterých se polymer stává chemicky nestabilní. Takovou látkou je například kyselina sírová, jakožto produkt vyměšování specifických bakterií.

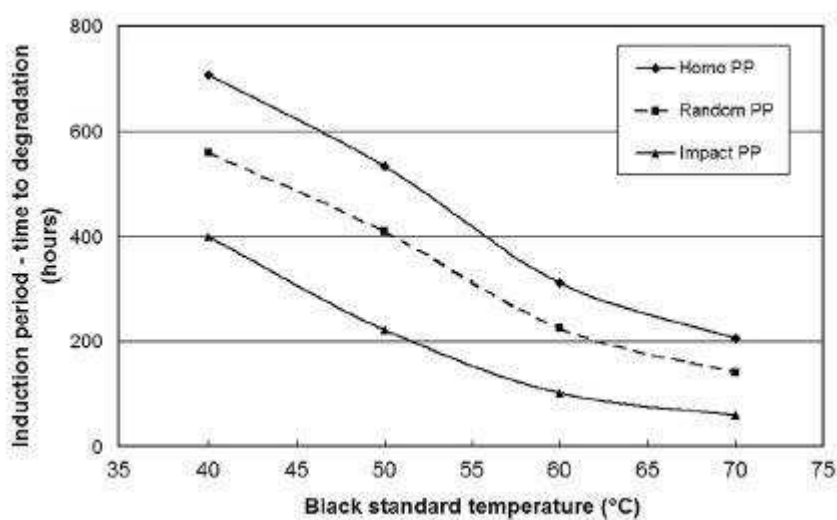
Více a podrobněji o této problematice pojednává zdroj [40], ze kterého bylo čerpáno v rámci této podkapitoly.

## 6.6 Akcelerovaná degradace vlivem UV záření a zvýšené teploty

Polymery jsou stejně jako jiné plasty vystavovány mnoha vlivům prostředí, což může mít za následek změnu jejich fyzikálně chemických vlastností. Kromě působení tepla a atmosférického kyslíku je obzvlášť podstatný vliv UV záření, který iniciuje chemické reakce vedoucí k nenávratným změnám materiálu.

Jedním z výzkumů bylo právě sledování degradace polymerů při působení UV záření za zvýšené teploty v průběhu zrychleného stárnutí. Zrychlené testy se v průmyslu často používají pro rychlé vyhodnocení fotostability polymeru, na základě kterého je vytvořen odhad jeho životnosti. Materiálem zkušebních těles byl polypropylen a tělesa byla vystavena

UV záření při působení teplot 40, 50, 60 a 70 °C ve zkušební komoře Q-Sun. Porovnávacím kritériem degradace polymeru byl tzv. karbonylový index, který je vyjádřen jako poměr absorbance v oblasti maxima intenzity odpovídající methylovým skupinám ku absorbanci v oblasti maxima intenzity karbonylových skupin. Jedním z výstupů tohoto experimentu je graf na obrázku 3, který zobrazuje závislost životnosti vzorku (tj. doby, kdy dosáhne předem stanoveného stupně degradace) na teplotě ve zkušební komoře, kde probíhá zrychlené stárnutí vzorku. V daném experimentu byly zkoumány tři vzorky, přičemž každý vzorek reprezentoval jednu skupinu polypropylenů, tj. homopolymer polypropylenů (hPP), random kopolymer polypropylenů (raco PP) a kopolymer polypropylenů (cPP). [41]



**Obrázek 3:** Závislost životnosti PP na teplotě zkušební komory při zrychleném testu stárnutí [41]

## B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část je zaměřena na návrh několika typů nátěrových systémů pro povrchovou úpravu cementotřískových desek, jejichž složení bylo případně modifikováno přidáním alternativních plniv, s cílem zlepšení jejich rezistence vůči nepříznivým klimatickým a chemicky agresivním vlivům, které simulují reálné externí vlivy, jenž desky musí odolávat a současně dosažení strukturovaného povrchu, který činí vzhled desek zajímavým z estetického hlediska. Nicméně podstatnou částí experimentální části je návrh a podrobná specifikace metodiky laboratorních akcelerovaných testů simulujících působení nepříznivých vlivů v reálném expozičním prostředí.

## 7 METODIKA PRÁCE

Výzkum ověření odolnosti nátěrových systémů cementotřískových desek CETRIS je rozdělen z hlediska řešení do několika etap. Konkrétně se jedná o následující:

### **I. Návrh složení nátěrového systému a materiálové báze jednotlivých vrstev**

#### **II. Výběr vhodného alternativního plniva do finální vrstvy nátěru**

#### **III. Analýza plniv vč. zkrácených testů trvanlivosti**

#### **IV. Návrh expozičních podmínek**

- stanovení odolnosti proti mrazu
- stanovení odolnosti proti mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám
- stanovení odolnosti proti siřičitanům
- stanovení odolnosti proti kombinaci mrazu a UV záření

#### **V. Expozice desek s nátěrovými systémy za definovaných podmínek**

#### **VI. Vizualní hodnocení**

#### **VII. Testování fyzikálně-mechanických parametrů**

- stanovení odolnosti nátěrů proti oddělení od podkladu mřížkovou zkouškou
- stanovení přilnavosti odtrhovou metodou
- stanovení tloušťky nátěru
- stanovení odolnosti proti úderu
- stanovení odolnosti proti vrypu

#### **VIII. Posouzení změn barevného odstínu**

#### **IX. Hodnocení mikrostruktury**

#### **X. Zhodnocení výsledků.**

### **I. Návrh složení nátěrového systému a materiálové báze jednotlivých vrstev**

Návrh vhodného typu nátěrového systému vč. jeho aplikace na cementotřískové desky byl realizován ve spolupráci s výrobním závodem cementotřískových desek CIDEM Hranice a.s., a se společností BTA industry a.s., která se zabývá povrchovými úpravami (zejména nátěrovými hmotami) stavebních konstrukcí. Vzhledem k přiblížení reálných podmínek byly použity továrně vyrobené desky včetně strojní aplikace nátěrové hmoty přímo ve výrobním závodě CIDEM Hranice a.s. Na základě výsledků zjištění výzkumu z předchozích let, zejména pak uvedených v [1] a [2] bylo sestaveno několik variant povrchových úprav na bázi vícevrstvých nátěrových systémů, přičemž do některých byla ve finální vrstvě aplikována strukturní plniva z primárních, příp. alternativních surovinových zdrojů.

Nátěrové hmoty byly strojně (pomocí linky na nástřik barev) aplikovány na cementotřískové desky o rozměrech cca 300 × 70 × 12 mm. Byly aplikovány čtyři vrstvy povrchové úpravy s použitím minimálně jedné epoxidové vrstvy v každé skladbě, přičemž ostatní vrstvy obsahovaly nátěrové hmoty na bázi akrylátové. Zároveň byly ošetřeny i hrany vzorků všemi třemi, respektive čtyřmi nátěry. Desky s aplikovaným nátěrem byly dále laboratorně testovány. Podrobná specifikace testovaných nátěrových systémů je uvedena v následující tabulce (viz Tabulka 1).

**Tabulka 1:** Přehled navržených typů nátěrových systémů a specifikace jejich složení vč. uvedení prostřední, v němž byl nátěr testován

Ozn.	Základová vrstva na rub a hrany	1. základová vrstva na líc a hrany	2. základová vrstva na líc a hrany	Finální vrstva na líc a hrany	Prostředí			
					M	CH	SO <sub>2</sub>	Q
Rz	BTAi AK CR <sub>n</sub> 150-190 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CR <sub>n</sub> 80-120 g/m <sup>2</sup>	BTAi EP 3AB <sub>n</sub> , 100-140 g/m <sup>2</sup>	BTAi AKS CT <sub>n</sub> <sup>1</sup>	X	X	X	–
Rb	BTAi AK CR <sub>n</sub> 150-190 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CR <sub>n</sub> 80-120 g/m <sup>2</sup>	BTAi EP 3AB <sub>n</sub> , 100-140 g/m <sup>2</sup>	BTAi AKS CT <sub>n</sub> <sup>1</sup>	X	X	X	–
1Z	BTAi AK CR <sub>n</sub> 150-190 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CR <sub>n</sub> 80-120 g/m <sup>2</sup>	BTAi EP 3AB <sub>n</sub> , 100-140 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CT <sub>n</sub> , 150-190 g/m <sup>2</sup>	X	–	X	X
1Z-S	BTAi AK CR <sub>n</sub> 150-190 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CR <sub>n</sub> 80-120 g/m <sup>2</sup>	BTAi EP 3AB <sub>n</sub> , 100-140 g/m <sup>2</sup>	BTAi AKS CT <sub>n</sub> , 150-190 g/m <sup>2</sup>	X	–	X	X
2C	BTAi AK CR <sub>n</sub> 150-190 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CR <sub>n</sub> 80-120 g/m <sup>2</sup>	BTAi EP 3AB <sub>n</sub> , 100-140 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CT <sub>n</sub> , 150-190 g/m <sup>2</sup>	X	–	X	X
2C-S	BTAi AK CR <sub>n</sub> 150-190 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CR <sub>n</sub> 80-120 g/m <sup>2</sup>	BTAi EP 3AB <sub>n</sub> , 100-140 g/m <sup>2</sup>	BTAi AKS CT <sub>n</sub> , 150-190 g/m <sup>2</sup>	X	–	X	X
3S	BTAi AK CR <sub>n</sub> 150-190 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CR <sub>n</sub> 80-120 g/m <sup>2</sup>	BTAi EP 3AB <sub>n</sub> , 100-140 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CT <sub>n</sub> , 150-190 g/m <sup>2</sup>	X	–	X	X
3S-S	BTAi AK CR <sub>n</sub> 150-190 g/m <sup>2</sup>	BTAi AK CR <sub>n</sub> 80-120 g/m <sup>2</sup>	BTAi EP 3AB <sub>n</sub> , 100-140 g/m <sup>2</sup>	BTAi AKS CT <sub>n</sub> , 150-190 g/m <sup>2</sup>	X	–	X	X

### Legenda:

BTAi AK CR<sub>n</sub> – vodou ředitelná nátěrová hmota na akrylátové bázi; základní vrstva; strojní nástřik na výrobní lince cementotřískových desek

BTAi EP 3AB<sub>n</sub> – dvou složková epoxidová nátěrová hmota s možností ředění vodou; základní vrstva; strojní nástřik na výrobní lince cementotřískových desek

BTAi AK CT<sub>n</sub> – vodou ředitelná nátěrová hmota na akrylátové bázi; finální (vrchní) vrstva; strojní nástřik na výrobní lince cementotřískových desek

BTAi AKS CT<sub>n</sub> – vodou ředitelná nátěrová hmota na akrylátové bázi; finální (vrchní) vrstva obsahující strukturní plniva (alternativní na bázi polyvinylchloridu či polyetyleny); aplikace na cementotřískové desky stříkací pistolí laboratorně

BTAi AKS CT<sub>n</sub> – vodou ředitelná nátěrová hmota na akrylátové bázi; finální (vrchní) vrstva obsahující strukturní plniva (primární na bázi polytetrafluoretyleny); strojní nástřik na výrobní lince cementotřískových desek

<sup>1</sup> Vzhledem ke způsobu aplikace nátěru (nástřik pistolí ručně v laboratoři – nikoli na strojní automatizované lince) nebylo možné určit přesné množství nanášené na zkušební těleso.

**Specifikace nátěrových hmot:**

AK CR – jedná se o jednosložkovou, vodou ředitelnou nátěrovou hmotu na bázi modifikované akrylátové pryskyřice s obsahem anorganických pigmentů, plniv a speciálních aditiv (smáčedlo, zahušťovadlo a biocidní prostředek);

AK CT – jedná se o jednosložkovou, vodou ředitelnou nátěrovou hmotu na bázi modifikované akrylátové disperze s obsahem anorganických i organických pigmentů, plniv a speciálních aditiv (smáčedlo, zahušťovadlo, biocidní prostředek a UV stabilizátor) s možností použití strukturního plniva ve formě polymerních částic;

EP 3AB – jedná se o dvousložkovou nátěrovou hmotu, kdy složka A je na bázi disperze středněmolekulární epoxidové pryskyřice a složka B je na bázi emulze polyaminu s příměsí isopropanolu, propanolu, dispergačního prostředku, smáčedla a obsahuje anorganické pigmenty a plniva.

**II. Výběr vhodného alternativního plniva do finální vrstvy nátěru**

Pro snížení nákladů a pro zlepšení estetických vlastností nátěrového systému byla do finální vrstvy nátěrové hmoty použita strukturní plniva. Výběr plniv byl zvolen s ohledem na aktuální situaci související s recyklací plastových odpadů z výroby.

Nejprve byly na zkušební tělesa cementotřískových desek použity nátěry s alternativním plnivem PE a PVC. Tato plniva pochází z recyklace plastů ve formě jemnozrnného granulátu a takto byla dodána přímo od jejich zpracovatele (spol. Melbax plastic, s.r.o.).

Plnivo na bázi primárních surovin použité do nátěrových systémů pro cementotřískové desky byly teflonové kuličky, které vytvořily požadovanou strukturu povrchu desek. Polytetrafluoretylén (PTFE) neboli Teflon je částečně krystalický fluoroplast ze skupiny termoplastů, jehož tepelná odolnost je od  $-170$  do  $+250$  °C, krátkodobě 300 °C. Vyznačuje se nejnižším součinitelem tření a nejvyšší odolností proti chemikáliím. Dobře odolává také povětrnostním vlivům a mikroorganismům.

**III. Analýza plniv vč. zkrácených testů trvanlivosti**

Pro zjištění velikosti částic plniv používaných do nátěrů byl proveden síťový rozbor a následné sestrojení křivky zrnitosti pro jednotlivá plniva.

Zkušební tělesa s alternativními plnivy byla vystavena degradačním vlivům: mrazu, působení chemických rozmrazovacích látek a siřičitanů.

**IV. Návrh expozičních podmínek**

Návrh expozičních podmínek byl zvolen vzhledem k reálnému působení nepříznivých prostředí při obvyklé expozici desek. Z toho důvodu byly zvoleny tyto expoziční podmínky: působení chemických rozmrazovacích látek, působení siřičitanů a působení kombinace mrazu a UV záření. Délka působení

jednotlivých vlivů byla stanovena na základě zjištěných poznatků z předchozího výzkumu, dále zjištění učiněných v rámci zpracování teoretické části a pak také operativně podle míry degradace desek během expozice.

#### **V. Dlouhodobá expozice desek s nátěrovými systémy za definovaných podmínek**

Zkušební tělesa se strojně aplikovanými nátěry byla podrobena působení sířičitanů a kombinaci mrazu a UV záření.

#### **VI. Vizuální hodnocení**

V této etapě byly vzorky před, dále v průběhu i po expozici vizuálně hodnoceny a porovnány se vzorky referenčními. Byly především pozorovány tvorby trhlinek, výkvětů, odlupování, puchýřky a případné odpadávání nátěrové hmoty.

#### **VII. Testování fyzikálně-mechanických parametrů**

Pro hodnocení fyzikálně-mechanických, ale i estetických vlastností byly provedeny tyto zkoušky: vizuální posouzení, stanovení odolnosti nátěrů proti oddělení od podkladu mřížkovou zkouškou, stanovení přilnavosti nátěru odtrhovou zkouškou, stanovení tloušťky nátěru, stanovení odolnosti proti úderu a stanovení odolnosti proti vrypu.

#### **VIII. Posouzení změn barevného odstínu a lesku**

V této části byly vyjádřeny vizuální změny jednotlivých nátěrů pomocí komparačního parametru a změny lesku. Tyto hodnoty byly následně zpracovány a vyhodnoceny do grafů.

#### **IX. Analýza mikrostruktury**

Pro detailní analýzu charakteru identifikovaných poruch konkrétního nátěru po expozici v nepříznivých prostředích byly vybrané varianty povrchových úprav podrobeny doplňkové mikrostrukturní analýze.

#### **X. Zhodnocení výsledků**

V této etapě byla shrnuta veškerá naměřená data, okomentovány vyhodnocené výsledky a zhodnocena sestavená metodika pro simulaci dlouhodobého ověření vyvinutých nátěrů v nepříznivých podmínkách.



## 8 SESTAVENÍ METODIKY TESTOVÁNÍ

### 8.1 Návrh expozičních podmínek

Návrh expozičních podmínek byl zvolen s ohledem na reálné působení nepříznivých prostředí působících ve vzájemném sledu při obvyklé expozici desek.

#### 8.1.1 Akcelerované testy simulující dlouhodobé reálné podmínky

Návrh metodiky akcelerovaných zkoušek byl zvolen na základě působení nepříznivého prostředí simulujícího agresivní reálné vlivy, které se běžně vyskytují v mírném podnebném pásu. Mírný kontinentální pás se obecně vyznačuje velkými ročními výkyvy teplot. V letním období jsou průměrné teploty kolem 25 °C a v zimním období teploty dosahují minusových hodnot. Také se v mírném pásu vyskytuje velké množství srážek. Stanovení odolnosti proti mrazu bylo zahrnuto do metodiky akcelerovaných testů z toho důvodu, že působení kapalné vody (dešťová voda, rosa, tající sníh) nebo vodní páry (vzdušná vlhkost) pronikající degradovanou vrstvou povrchové úpravy do cementotřískové desky způsobuje změnu obsahu vlhkosti dřeva, a tím dochází k rozměrovým změnám desky. Dřevo zvětšuje svůj objem při sorpci vody a smršťuje se při desorpci. Také vznik ledu může způsobit trhlinky povrchové úpravy a následnou degradaci cementotřískové desky.

Současně s výkyvy teplot působí během dne v exteriéru (lokálně proniká i do interiéru) je UV záření, jehož přirozeným zdrojem je Slunce. UV záření lze dle vlnové délky rozdělit na tři typy – UVA, UVB a UVC. Z hlediska degradace polymerů se jeví jako nejvíce zásadní typ UVA o vlnové délce 315 až 400 nm, který tvoří drtivou většinu UV záření, jež dopadne na zemský povrch (až 99 %). [42]

Dalším velmi významným agresivním prostředím, které je třeba zahrnout do metodiky akcelerovaných testů, jež mají za následek degradaci polymerních nátěrových systémů cementotřískových desek je tedy UV záření. Degradace nátěrů vlivem UV záření se zprvu projevuje ztrátou lesku (souvislost s postupnou degradací polymerní matrice nátěru), poté barevnými odchylkami a v konečném důsledku může dojít k výraznému poškození polymerního pojiva, což zpravidla zapříčiní uvolňování částic pigmentů a plniv.

Kromě výkyvů teplot a UV záření jsou také podstatné agresivní složky obsažené v ovzduší. Jedním z nejvíce agresivních plynů přítomných v ovzduší je oxid siřičitý. Z tohoto důvodu se jeví jako podstatné, ověření odolnosti vyvíjených nátěrových systémů proti působení siřičitanů Oxid siřičitý totiž v ovzduší oxiduje za přítomnosti vody se vzdušným kyslíkem na kyselinu sírovou, která je s kyselinou siřičitou příčinou kyselých dešťů. Tyto kyselé roztoky pronikají zpravidla do daného materiálu, kde pak vlivem koncentračního

spádu teplot, vlhkosti atd. krystalizují v soli, které následně narušují strukturu kontaminované hmoty. Případně pokud jsou v hmotě obsaženy složky schopné reagovat se sloučeninami obsahujícími ionty síry pocházející z oxidu siřičitého, tak může docházet k průběhu nežádoucích chemických reakcí.

Všechny tři typy prostředí jsou značně agresivní, přičemž záměrně byli vybráni zástupci tak, aby byly postiženy co možná nejrozličnější a současně nejčastěji působící degradační vlivy na polymerní hmoty, které v tomto případě reprezentují povrchové úpravy cementotřískových desek. Z působení UV záření je patrné, že toto se vzhledem ke svému charakteru výrazně projeví nejvíce v případě degradace polymerního nátěrového systému. Ovšem, působení cyklického zmrazování / rozmrazování v kombinaci s vodou, příp. oxidu siřičitého, je patrné, že tyto činitele budou působit, vyjma nátěrového systému, také na cementotřískovou desku. Vliv mrazu (výkyvy teplot) se projeví vždy – rozdílné deformace nátěru a desky (vlivem v diferencích součinitelů délkové teplotní roztažnosti), kdežto aby docházelo k rozpínání ve struktuře desek, je třeba, aby do nich pronikla voda (při testování mrazuvzdornosti), příp. agresivní plyn (během působení oxidu siřičitého).

Vzhledem k tomu, že působení chemických rozmrazovacích látek není pro cementotřískové desky v reálných podmínkách tak obvyklé a rovněž princip degradace spjat s cyklickým střídáním kladných a záporných teplot v kombinaci s vodou, bylo toto prostředí pro kombinovanou metodiku vyřazeno. Stanovení odolnosti vůči CHRL bylo použito separátně pro ověření nátěrů modifikovaných alternativními plnivými.

Po pečlivém uvážení a zohlednění dostupných poznatků a informací byly zvoleny tři agresivní prostředí, které velmi dobře simulují nepříznivé podmínky exteriéru, a to působení mrazu, UV záření a působení siřičitanů. Pro získání přesnější simulace nepříznivých podmínek exteriéru bylo provedeno na zkušebních tělesech kombinované působení jednotlivých prostředí, přičemž působení cyklického zmrazování / rozmrazování bylo realizováno v kombinaci s UV zářením. Odolnost vůči siřičitanům byla analyzována separátně, neboť se jedná o velmi agresivní plyn, kdy byl uvažován delší časový úsek.

Návrh konkrétních expozičních podmínek pro akcelerované testy trvanlivosti je tedy následující:

- působení mrazu a UV záření sestávající z:
  - expozice 150 cyklů cyklického zmrazování a rozmrazování v přítomnosti vody – ČSN 1328
  - expozice v QUV komoře s lampou UVA o intenzitě  $0,89 \text{ W/m}^2$  v kombinaci s kondenzací vody (při teplotě 40 až 60 °C) po dobu 2400 hodin (300 cyklů) – ČSN EN 13523-10
  - výše uvedená prostředí budou působit bezprostředně vzájemně po sobě – 25 cyklů mraz, 400 hodin UV, 25 cyklů mraz, 400 hodin UV až do dosažení 150 cyklů mrazu a 2400 hodin UV.

- působení oxidu siřičitého při zvýšené teplotě a výrazně zvýšené relativní vlhkosti v délce 120 dní (cyklů) na horní mezi koncentrace tohoto plynu v testovaném prostředí – ČSN EN ISO 3231.

### 8.1.2 Stanovení odolnosti proti mrazu

Zkušební tělesa byla exponována cyklickému zmrazování a rozmrazování podle ČSN EN 1328 Cementotřískové desky – Stanovení odolnosti proti mrazu.

Sada zkušebních těles se uloží po dobu 24 hodin do vodní lázně, která má teplotu  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Po vyjmutí z vodní lázně se tělesa podrobí řadě cyklů zmražení a rozmražení. Zmražení těles probíhá v mrazicím boxu, kde je teplota prostředí  $(-18 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , které je potřeba dosáhnout během 1 až 2 hodin. Tato teplota se poté udržuje další hodinu. Následuje rozmražení těles, kdy se tělesa vyjmou z mrazicího boxu a ohřejí se ve vodní lázni po dobu 1 až 2 hodin. Vodní lázeň má teplotu  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Každý zmrazovací a rozmrazovací cyklus trvá 4 až 6 hodin. U každého vzorku se tento cyklus opakoval minimálně 25x, přičemž jejich počet byl zvyšován se zvyšující se kvalitou nátěru.

### 8.1.3 Stanovení odolnosti proti chemickým rozmrazovacím látkám

Pro ověření odolnosti vůči mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám byla využita technická norma ČSN 73 1326.

Zkušební tělesa se před expozicí uloží po dobu 24 hodin do vodní lázně, která má teplotu  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Po nasycení vodou jsou tělesa uložena do 3% roztoku NaCl tak, aby hladina roztoku dosahovala maximálně do poloviny tloušťky vzorku. Takto uložený vzorek podstoupí několik zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů. Jeden cyklus se skládá z ochlazení zkušební plochy z  $+20 ^\circ\text{C}$  na  $-15 ^\circ\text{C}$  za dobu 45 až 50 minut. Následně je za stejnou dobu zkušební plocha opět zahřívána na teplotu  $+20 ^\circ\text{C}$  pomocí teplosměnného média, kterým je zkušební roztok. Na obou teplotních úrovních dochází k výdrži na stejné teplotě po dobu 15 minut. Tento jeden cyklus trvá přibližně 2 hodiny. Jedná se o agresivnější zkoušku, než v případě mrazuvzdornosti, a proto bylo celkem provedeno na zkušební sadě těles jen 25 cyklů.

### 8.1.4 Stanovení odolnosti proti UV záření

Odolnost proti UV záření byla provedena podle požadavků technické normy ČSN EN 13523-10.

Zkušební tělesa jsou vystavena působení cyklů UV záření, řízené kondenzací vody a zvýšené teplotě v QUV komoře. Tělesa se uloží do zkušební komory tak, aby byla strana s aplikovaným nátěrem rovnoběžně s výbojkami ve vzdálenosti přibližně 50 mm od nejbližšího místa povrchu výbojky. Zkušební tělesa se za sucha, vždy po 4 hodinách, vystaví UV záření o intenzitě přibližně  $0,89 \text{ W/m}^2$  při teplotě černého panelu  $(60 \pm 3) ^\circ\text{C}$  a následně po 4 hodinách

kondenzaci vody bez záření při teplotě černého panelu  $(40 \pm 3)$  °C. Jeden cyklus tedy odpovídá 8h expozice.

U zkušebních těles bylo vždy po 400 hodinách provedeno vizuální pozorování se zaměřením na případně vzniklé poruchy a byly stanoveny změny barvy a lesku jednotlivých zkušebních těles.



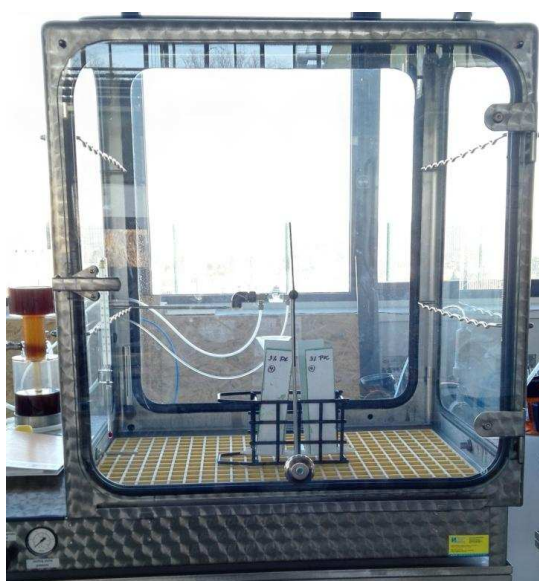
**Obrázek 4:** QUV komora pro urychlené stárnutí materiálů

### 8.1.5 Stanovení odolnosti proti siřičitanům

Zkušební tělesa byla vystavena působení siřičitanům. Expoziční podmínky byly zvoleny podle ČSN EN ISO 3231 Nátěrové hmoty – Stanovení odolnosti vlhkým atmosférám s obsahem oxidu siřičitého.

Zkušební vzorky jsou umístěny do vzduchotěsné zkušební komory o obsahu cca 800 l, s vodotěsnou vaničkou. Po uzavření komory se naplní vanička  $(2 \pm 0,2)$  l vody a dávkuje se 1,0 l oxidu siřičitého (což odpovídá koncentraci 0,125 %). Po zavedení oxidu siřičitého se zapne vytápění komory. Teploty  $(40 \pm 3)$  °C musí být dosaženo nejdéle za 1,5 hodiny. Teplota se udržuje po dobu 8 hodin od zahájení vytápění zkušebního cyklu. Po této době vypne topení a otevřou se dveře komory na dalších 16 hodin. Pro dosažení předepsaných počtů cyklů se tento postup opakuje stejným způsobem s tím, že se pokaždé vymění voda ve vaničce.

Zkušební tělesa byla vždy po 5 cyklech vizuálně zhodnocena a byla u nich změřena změna barevného odstínu a lesku. Tělesa byla cyklována dle míry degradace, což odpovídalo 120 cyklům.



**Obrázek 5:** Vzduchotěsná komora HK 800 pro stanovení odolnosti vůči působení  $\text{SO}_2$  (fáze – intenzivní cirkulace, resp. výměna vzduchu v komoře, vysoušení zkušebních těles)



**Obrázek 6:** Vzduchotěsná komora HK 800 v průběhu testování odolnosti vůči působení  $\text{SO}_2$  (fáze – působení plynu, zvýšené teploty a relativní vlhkosti)

## 8.2 Zkušební postupy pro ověření vlastností nátěrů

### 8.2.1 Ošetřování zkušebních těles v průběhu expozice

Pro zjištění, zda má nějaký vliv na míru degradace povrchové úpravy očištění nátěru, byla spodní polovina lícové strany daného zkušebního tělesa vždy po expozici očištěna. Po ukončení expozice, před finálním testováním byl však povrch lícové strany zkušebního tělesa po celé ploše ještě jednou očištěn.

### 8.2.2 Vizuální hodnocení

Vždy po dosažení určitého počtu cyklů po expozici zkušebních vzorků v nepříznivém prostředí bylo provedeno vizuální hodnocení degradace nátěrové hmoty. Pozornost byla věnována především na množství vzniklých trhlinek v nátěrech, na místa vzniku trhlinek a na odlupování nátěru. Také byl pozorován rozdíl vzhledu mezi nátěrovými hmotami bez strukturních plniv a se strukturními plnivy.

### 8.2.3 Stanovení přilnavosti nátěru odtrhovou zkouškou

Přilnavost nátěru odtrhovou zkouškou byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 4624 Nátěrové hmoty – Odtrhová zkouška přilnavosti. Tato norma popisuje hodnocení přilnavosti jednovrstvých nebo vícevrstvých nátěrových systémů připravených z nátěrových hmot nebo obdobných výrobků.

Přilnavost se hodnotí měřením minimálního napětí v tahu potřebného k oddělení nebo odtržení nátěru v kolmém směru k podkladu.

Na povrch zkušebních těles byl dvousložkovým lepidlem fixován kovový terč o průměru 50 mm. Po zatvrdnutí lepicí hmoty mezi kovovým terčem a povrchem zkušebního tělesa byl pomocí řezacího nástroje proříznut nátěr okolo terče až na podklad zkušebního vzorku.

Takto připravené zkušební tělísko bylo upevněno do trhacího zařízení, pod které se položila vyrovnávací podložka tak, aby na ní trhací zařízení stálo všemi třemi stojkami. Stupnice otáček na trhacím zařízení byla nastavena na nulu. Pomalým a plynulým otáčením ve směru hodinových ručiček se kolmo k rovině natřeného podkladu zvyšovalo napětí v tahu tak, aby k odtržení kovového terče došlo do 90 s od počátku nárůstu napětí.

Po odtržení terče se zaznamenala hodnota síly potřebná k přetržení zkušební sestavy a také bylo vizuálně posouzeno, v jakém místě došlo k odtržení terče (v matrici desky, rozhraní deska/nátěr apod.). Typy porušení ploch po odtržení terče jsou znázorněny v následující tabulce (viz Tabulka 2).

**Tabulka 2:** Typy porušení ploch dle ČSN EN 1542

Označení	Popis porušení
A	Kohezní porušení uvnitř podkladu
A/B	Adhezní porušení mezi podkladem a první vrstvou
B	Kohezní porušení v první vrstvě
B/C	Adhezní porušení mezi první a druhou vrstvou
C	Kohezní porušení v druhé vrstvě
-/Y	Adhezní porušení mezi poslední vrstvou a lepidlem
Y	Kohezní porušení v lepidle
Y/Z	Adhezní porušení mezi lepidlem a kruhovým terčem
V případě, že dojde ke kombinaci těchto typů porušení, musí se provést vizuální prohlídka plochy porušení a stanovit procentuální podíl jednotlivých typů porušení podle velikosti plochy, např.: A : A/B : B = 40 % : 10 % : 50 %.	



*Obrázek 7: Zkušební sestava pro stanovení přilnavosti nátěru odtrhovou zkouškou*

#### **8.2.4 Stanovení odolnosti nátěrů proti oddělení od podkladu mřížkovou zkouškou**

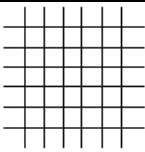
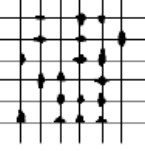
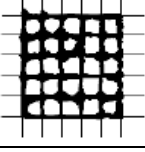
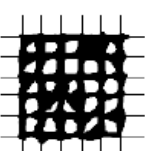
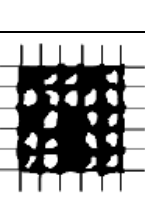
Stanovení odolnosti nátěru proti oddělení od podkladu mřížkovou zkouškou se provádí na základě normy označené ČSN EN ISO 2409 Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška. Tato norma stanovuje metodu hodnocení odolnosti nátěrů proti oddělení od podkladů, jestliže je nátěr proříznut pravouhloú mřížkou, která proniká až k podkladu.

Na povrchu zkušebních vzorků bylo provedeno speciálním řezacím nožem stejnoměrným tlakem šest rovnoběžných řezů ve vzdálenosti 2 mm. Řezy byly vytvořeny pomocí distanční šablony. Nejprve byly provedeny řezy v jednom směru a poté se distanční šablona otočila o 90 ° a provedlo se dalších šest řezů tak, aby na povrchu zkušebního vzorku vznikla mřížka. Řezy musí v podkladu zanechat stopu nebo vryp, ale hloubka jejich průniku do podkladu musí být co nejmenší.

Na takto připravenou mřížku byla nalepena samolepicí páska a uhladila se po celé ploše mřížky špičkou prstu nebo nehtem. Po 5 minutách od připevnění pásky se páska odstranila během 0,5 až 1,0 s.

Zkouška se vyhodnotí tak, že se zaznamená objem porušení nátěru a zařadí se do šestistupňové klasifikace, která je uvedena v Tabulce 3.

**Tabulka 3:** Klasifikace nátěru s mřížkou dle ČSN EN ISO 2409:2013

Klasifikace	Popis porušení	Vzhled povrchu plochy s mřížkou, na které se vyskytlo odlupování <sup>a</sup>
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není odloupen	
1	Odloupení malých šupinek povlaku v místech křížení řezů. Zasažená plocha není větší než 5 % plochy mřížky.	
2	Nátěr odloupen podél hran řezů a v místech jejich křížení. Zasažená plocha převyšuje 5 %, ale není větší než 15 % plochy mřížky.	
3	Nátěr částečně nebo zcela odloupen ve velkých pásech podél hran řezů a/nebo částečně nebo zcela odloupen na různých částech čtverců. Zasažená plocha převyšuje 15 %, ale není větší než 35 % plochy mřížky.	
4	Nátěr odloupen ve velkých pásech podél hran řezů a/nebo se některé čtverce částečně nebo zcela odlouply. Zasažená plocha převyšuje 35 %, ale není větší než 65 % plochy mřížky.	
5	Jakýkoli rozsah odloupení, který nelze klasifikovat ani stupněm 4.	-

<sup>a</sup> Obrázky znázorňují příklady mřížek v rámci jednotlivých klasifikačních stupňů. Uvedené procentuální podíly jsou založeny na vizuálním dojmu z obrázků a při digitálním zpracování obrazu nemusí být nutně dosaženy stejné podíly.





**Obrázek 8:** Pomůcky potřebné pro mřížkovou zkoušku

### 8.2.5 Stanovení tloušťky nátěru

Zkouška byla provedena podle ČSN EN ISO 2808:2007 Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru.

Byla použita optická metoda klínového řezu, kdy se na zkoušené ploše vyznačila čára černým fixem a následně se kolmo k nakreslené čáře provedl řez, který pronikl až k podkladu. Na stupnici se pomocí mikroskopu odečetla šířka základní a horní vrstvy nátěru v řezu. Tloušťka podkladu se pak vypočítala podle rovnice:

$$t = b \cdot \tan \alpha$$

kde: t ... tloušťka nátěru;  
b ... odečtená šíře řezu, stanovená pomocí mikroskopu;  
 $\alpha$  ... úhel řezu provedený nožem.



**Obrázek 9:** Přístroj P.I.G. 455 pro měření tloušťky nátěru

### 8.2.6 Stanovení odolnosti nátěru proti vrypu

Stanovení odolnosti nátěrových systémů proti vrypu bylo provedeno na základně postupů uvedených v ČSN EN ISO 1518-2 Nátěrové hmoty – Stanovení odolnosti proti vrypu.

Postup zkoušky byl následující. Do držáku se vložila pružinka, která udává specifikovaný odpor a také hrot jehly o poloměru 1 mm. Na stupnici se dle použité pružinky nastavila síla, která působí na povrch nátěru a hrot jehly se táhl konstantní rychlostí po povrchu nátěru. Zatížení jehly se postupně po vhodných krocích zvyšovalo, dokud nedošlo k viditelnému porušení nátěru. Vzdálenost mezi jednotlivými vrypy musí být nejméně 5 mm a vzdálenost vrypu k hraně zkušebního vzorku musí být minimálně 10 mm.

Vyhodnocení spočívá v tom, že se zaznamená minimální zatížení, při kterém jehla pronikla nátěrem v určitém rozsahu.

Pro vyhodnocení odolnosti proti vrypu byla dle míry porušení sestavena klasifikační stupnice obsahující celkem 5 tříd. Podrobný popis této klasifikační stupnice míry poškození je uveden v následující tabulce (viz Tabulka 4).

**Tabulka 4:** Klasifikace míry porušení nátěru po vrypu

Klasifikace	Popis porušení
1	Lehce viditelný přerušovaný vryp
2	Lehce viditelný nepřerušovaný málo hluboký vryp
3	Viditelný středně hluboký vryp
4	Dobře viditelný středně hluboký vryp
5	Dobře viditelný hluboký vryp s tvorbou nátěrových trhlinek



**Obrázek 10:** Zkušební přístroj pro určení odolnosti nátěru proti vrypu

### 8.2.7 Stanovení odolnosti nátěru proti dynamickému zatížení

Postup zkoušky byl proveden podle ČSN EN ISO 6272-1 – Zkouška padajícím závažím, velká plocha úderníku.

Zkušební vzorek se vložil do zkušební sestavy nátěrem směrem nahoru. Umístil se tak, aby na zkoušené místo bylo spuštěno normalizované závaží o hmotnosti  $(1000 \pm 10)$  g. Výška, ze které padá závaží, se volí nejprve taková, která nezpůsobí deformaci nátěru a podkladu. Jejím postupným zvyšováním lze stanovit hodnotu, při které nastane poškození nátěru i podkladu. Určitá výška zároveň znázorňuje danou sílu, která působí na vzorek při dopadu závaží.

Pro vybrané vzorky byly zvoleny výšky (2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15) cm. Při vyhodnocování této zkoušky se používá lupa nebo mikroskop, aby se zjistila míra a způsob poškození nátěru.

Vyhodnocení odolnosti proti úderu bylo dle míry porušení klasifikováno stupnicí 1–4. Klasifikace míry poškození je zobrazena v následující tabulce (viz. Tabulka 5).

**Tabulka 5:** Klasifikace míry porušení nátěru po dynamickém zatížení

Klasifikace	Popis porušení
1	Úder téměř bez otisku závaží
2	Úder s nepatrným otiskem závaží
3	Úder s viditelným otiskem závaží bez porušení
4	Úder s otiskem a trhlinkami po jeho obvodu
5	Úder s otiskem a trhlinkami po jeho obvodu i uvnitř



**Obrázek 11:** Zkušební sestava pro stanovení odolnosti nátěru proti dynamickému zatížení

### 8.2.8 Stanovení změny barevného odstínu nátěru

U zkušebních vzorků s aplikovaným nátěrem byly stanoveny změny barevného odstínu dle normy ČSN EN ISO 11664-4 Kolorimetrie – Část 4: Kolorimerický prostor CIE 1976  $L^*a^*b^*$ .

Stanovení změny barevného odstínu nátěru je prováděno pomocí reflexního spektrofotometru a určí se číselnou hodnotou  $\Delta E_{CMC}$ , která udává rozdíl barvy mezi zkušebním vzorkem a referenčním vzorkem ve stejném barevném prostoru. Rovnice pro  $\Delta E_{CMC}$  popisuje elipsoidní rozhraní, kdy referenční vzorek je ve středu elipsoidu a dohodnutá tolerance  $\Delta E_{CMC}$  popisuje prostor, ve kterém jsou všechny zkoušené vzorky ve vztahu k předloze akceptovatelné.

Rozdíl barvy je složen ze tří složek, které zahrnují všechny rozdíly barvy mezi zkušebním vzorkem a referenčním vzorkem. Skládají se z:

- **složky světlosti**, která je vážena tolerancí světlosti ( $\Delta L^*/1 \cdot S_L$ ) a je charakterizována jako  $\Delta L_{CMC}$  – kladné označení (zkušební vzorek je světlejší než referenční), záporné označení (zkušební vzorek je tmavší než referenční);
- **složky chroma**, která je vážena tolerancí chroma ( $\Delta C_{ab}^*/c \cdot S_c$ ) a je charakterizována jako  $\Delta C_{CMC}$  – kladné označení (zkušební vzorek je brilantnější než referenční), záporné označení (zkušební vzorek je méně brilantní než referenční);

- **složky stínu**, která je vážena tolerancí odstínu ( $\Delta H_{ab}^* / S_H$ ) a je charakterizována jako  $\Delta H_{CMC}$  – kladné označení (rozdíl odstínu zkušební vzorku od referenčního směřuje proti směru hodinových ručiček), záporné označení (rozdíl odstínu zkušební vzorku od referenčního směřuje ve směru hodinových ručiček).

Barevná odchylka  $\Delta E_{CMC}$  se vypočte podle rovnice:

$$\Delta E_{CMC}(l:c) = \left[ (\Delta L^* / l \cdot S_L)^2 + (\Delta C_{ab}^* / c \cdot S_c)^2 + (\Delta H_{ab}^* / S_H)^2 \right]^{1/2}$$

Vypočtená hodnota  $\Delta E_{CMC}$  pro referenční a zkušební vzorek se porovná s určitou hodnotou tolerance. Na základě toho se vyhodnotí, zda je zkušební vzorek vůči referenčnímu vzorku přijatelný.

**Tabulka 6:** Klasifikace odchylky barevného odstínu  $\Delta E_{CMC}$  [43]

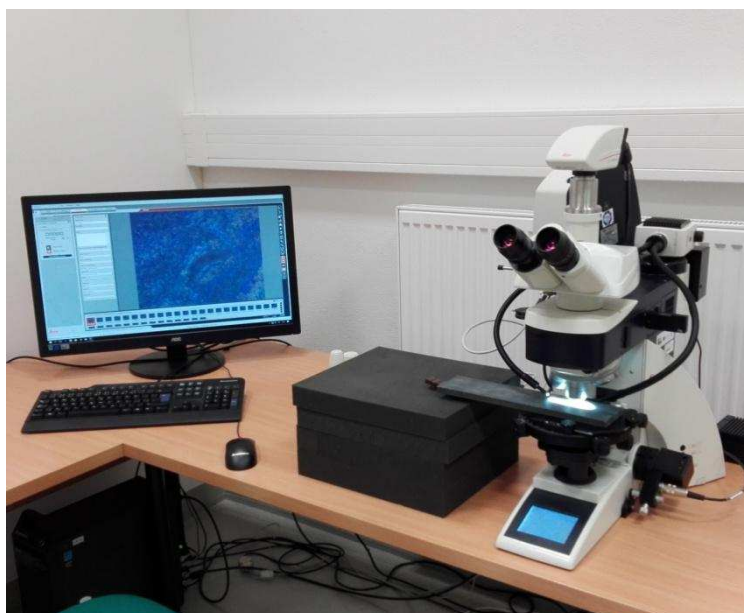
$\Delta E_{CMC}$	Rozdíl	$\Delta E_{CMC}$	Rozdíl
0,0 až 0,2	nepostřehnutelný		
0,2 až 0,5	velmi slabý	0,2 až 1,0	postřehnutelný
0,5 až 1,5	slabý	2,0 až 4,0	rozeznatelný
1,5 až 3,0	jasně postřehnutelný	4,0 až 8,0	ještě nerušící
3,0 až 6,0	střední		mírně rušící
6,0 až 12,0	výrazný		
12,0 až 16,0	velmi výrazný		
větší než 16,0	rušící		



**Obrázek 12:** Spektroforometr KONICA MINOLTA CM-600d pro měření barevných změn nátěrových hmot

### 8.2.9 Mikroskopické posouzení poruch nátěru

Pro detailní posouzení degradace struktury nátěrových systémů byly vybrané vzorky zkoumány i pomocí optického mikroskopu typu LEICA DM4000 M LED a rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM) typu TESCAN MIRA3 XMU. Byly sledovány způsoby porušení nátěrových systémů, množství a velikost trhlinek v nátěru a místa vzniku trhlinek v nátěru s použitým plnivem.



**Obrázek 13:** Optický mikroskop LEICA



**Obrázek 14:** Elektronový mikroskop TESCAN

## 9 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

Fyzikálně-mechanické zkoušky byly prováděny na všech sadách těles. Uvedené vyhodnocené výsledky jsou průměrné hodnoty z jednotlivých měření.

### 9.1 Analýza alternativních plniv

#### 9.1.1 Sítový rozbor

Pro zjištění rozložení jednotlivých frakcí plniva (PE a PVC) byl proveden sítový rozbor. Postup provádění sítového rozboru definuje norma ČSN EN 933-1: Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor. Principem této zkoušky je mechanické roztržení a oddělení zkoušeného materiálu pomocí sady sít se sestupnou velikostí otvorů ok. Bylo zvoleno prosévání za sucha na sadě sít o velikosti ok 0,5; 0,25; 0,125 a 0,063 mm.

Odvážený materiál byl nasypán na síta seřazená sestupně od shora dle velikosti ok a následně byl ručně proset. Po prosetí odváženého materiálu byla zrna, která zůstala na jednotlivých sítích zvážena, včetně propadu pod sítem 0,063 mm. Poté byl vypočten procentuální podíl z celkové navážky s následným dopočtem souhrnného procenta propadu. Výsledkem je křivka zrnitosti zkoušeného materiálu.



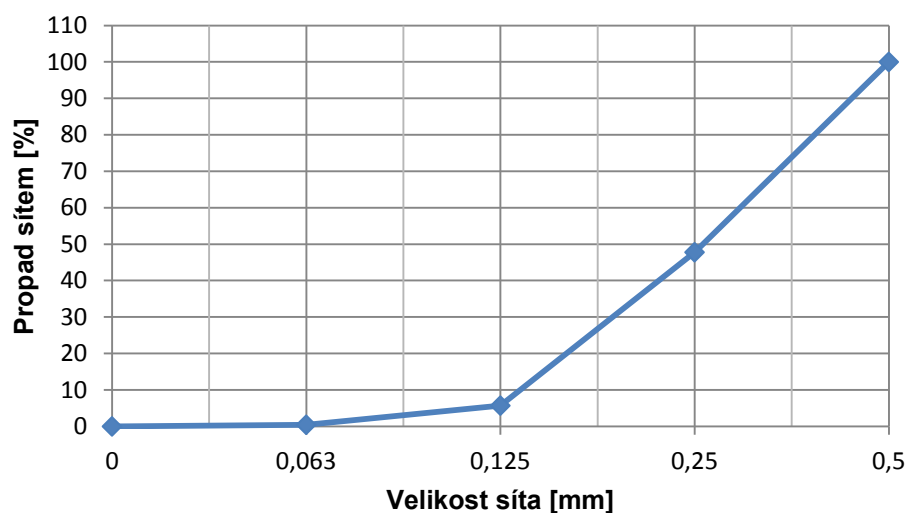
**Obrázek 15:** Sada zkušebních sít s PE



**Obrázek 16:** Sada zkušebních sít s PVC

**Tabulka 7:** Sítový rozbor plniva PE

Velikost síta [mm]	Hmotnost [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítem [%]
0,5	0,53	2,67	2,67	100,00
0,25	9,82	49,55	52,22	47,78
0,125	8,34	42,08	94,30	5,70
0,063	1,04	5,25	99,55	0,45
-	0,09	0,45	100,00	0,00
<b>Celkem</b>	19,82	100,00		

**Obrázek 17:** Křivka zrnitosti plniva PE

Z křivky zrnitosti je zřejmé, že největší podíl v zastoupení částic PE zaujímaly frakce o velikosti menší než 0,25 mm a 0,125 mm, jelikož dílčí zbytek na síti velikosti ok 0,25 mm byl cca 50 % a na síti o velikosti ok 0,125 mm byl cca 42 % z celkové navážky materiálu.





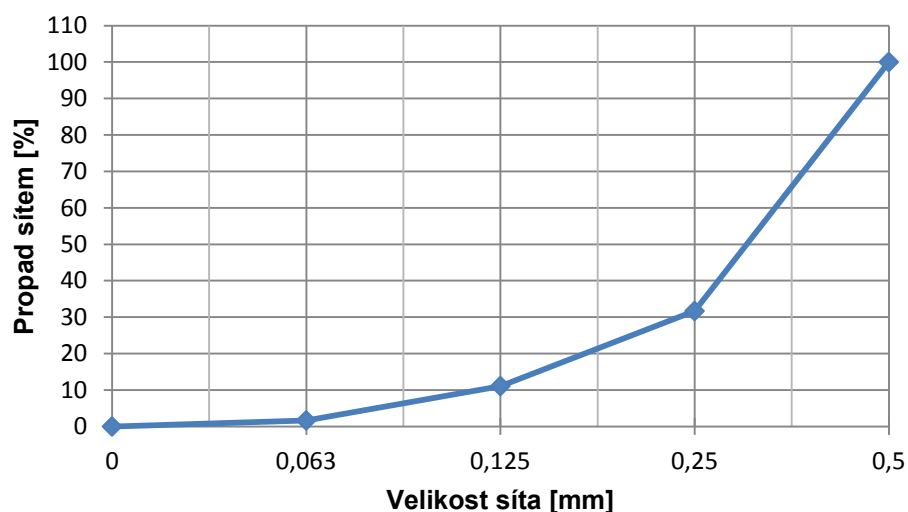
Obrázek 18: Detailní zobrazení plniva PE



Obrázek 19: Detail plniva PE

Tabulka 8: Sítový rozbor plniva PVC

Velikost síta [mm]	Hmotnost [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
0,5	4,88	23,92	23,92	100,00
0,25	9,06	44,41	68,33	31,67
0,125	4,20	20,59	88,92	11,08
0,063	1,92	9,41	98,33	1,67
-	0,34	1,67	100,00	0,00
<b>Celkem</b>	20,40	100,00		



Obrázek 20: Křivka zrnitosti plniva PVC

V případě plniva PVC bylo patrné největší zastoupení částic o velikosti 0,25 mm až 0,5 mm. Při porovnání křivek zrnitosti (viz Obrázek 19 a 20) je patrné, že plnivo PE obsahovalo větší množství částic nad 0,125 mm oproti alternativnímu plnivu na bázi PVC.



**Obrázek 21:** Detailní zobrazení plniva PVC



**Obrázek 22:** Detail plniva PVC

## 9.2 Nátěry s alternativními plnivý

Pro simulaci reálné výroby cementotřískových desek opatřených povrchovou úpravou byly nátěry s alternativními plnivý aplikovány na zkušební vzorky ručně. Všechny základové vrstvy nátěrů byly aplikovány strojně na lince výrobního závodu CIDEM, pouze finální vrstva s plnivý byla aplikována ručně pomocí stříkací pistole Extol. Jak již bylo řečeno, alternativním plnivem byl použit PE a PVC.

Byly aplikovány dvě barvy nátěrové hmoty, a to v odstínu zelené a šedé. Skladba nátěrových systémů je zobrazena v Tabulce 1. Při volbě obsahu plniva v nátěrové hmotě byly nejprve na vzorcích orientačně testovány varianty 2 – 5 % hmotnostních. Na základě vizuálního hodnocení a schopnosti aplikace byla zvolena varianta 3 % hmotnostní obsahu plniva v nátěrové hmotě. Tato varianta byla zvolena proto, že plnivo na vzorcích bylo rovnoměrně rozprostřeno po celé jeho ploše a zároveň nebyl zaznamenán problém při aplikaci nátěru s tímto obsahem plniva. Důvodem výběru varianty se 3 % plniva, bylo také zajištění průchodnosti nátěru tryškami na strojní nástřikové lince ve výrobě cementotřískových desek, kdy vyšší dávka plniva představuje vyšší pravděpodobnost rizika ucpávání trysek v průběhu aplikace nátěrových hmot.

Po řádné dispergaci plniva v nátěrové barvě byla směs nalita do stříkací pistole a následně aplikována na povrch zkušebních těles. Po zaschnutí nátěrového systému byla zkušební tělesa vystavena následujícím expozičním prostředím: sířičitanům, mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám.



**Obrázek 23:** Příprava nátěrových hmot s PE



**Obrázek 24:** Stříkácí pistole Extol



**Obrázek 25:** Detail nátěru s plnivem vzorku Z3PE



**Obrázek 26:** Detail nátěru s plnivem vzorku S3PE



**Obrázek 27:** Detail nátěru s plnivem vzorku Z3PV



**Obrázek 28:** Detail nátěru s plnivem vzorku S3PV

### 9.2.1 Vizuální posouzení



**Obrázek 29:** Poškození nátěrového systému vzorku Z3PV-M50



**Obrázek 30:** Poškození hrany nátěrového systému vzorku Z3PV-M50



**Obrázek 31:** Poškození nátěrového systému vzorku Z3PE-M50



**Obrázek 32:** Poškození hrany nátěrového systému vzorku Z3PE-M50

Zkušební tělesa byla vystavena působení mrazu po dobu 50 cyklů. Po expozici v mrazu bylo u těles provedeno vizuální posouzení degradace nátěrového systému obsahujícího alternativní plniva.

V případě nátěrového systému zelené barvy došlo ve všech případech k jeho značnému poškození, které se projevilo popraskáním a částečným odloupením finální vrstvy nátěru ve větší ploše. Na bočních hranách zkušebních těles se porušení nátěru projevilo stejně jako na lícové straně tělesa. Popraskání nátěrového systému bylo způsobeno pravděpodobně tím, že vlivem průniku malého množství vody přes povrchovou úpravu a následného působení mrazu se zvětšil objem desky a nátěrový systém nebyl dostatečně pružný na to, aby odolal těmto objemovým změnám. Dalším důvodem degradace nátěrového systému vlivem působení mrazu může být použití alternativního plniva.



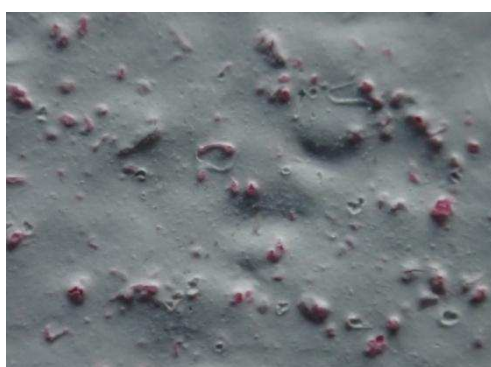
**Obrázek 33:** Poškození nátěrového systému vzorku S3PV-M50



**Obrázek 34:** Poškození hrany nátěrového systému vzorku S3PV-M50

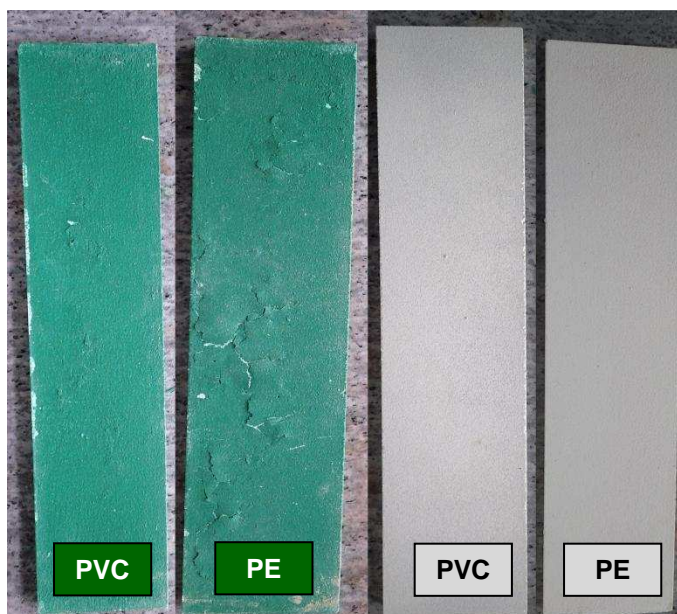


**Obrázek 35:** Poškození nátěrového systému vzorku S3PE-M50



**Obrázek 36:** Poškození hrany nátěrového systému vzorku S3PE-M50

U zkušebních těles s šedým nátěrem nebylo porušení povrchové úpravy tak zřetelné. V tomto případě došlo spíše k tomu, že na povrchu částic plniva nátěr degradoval do takové míry, že se oddělil od zrn plniva. Při delším působení mrazu lze tedy předpokládat, že plnivo ztratí úplně soudržnost s nátěrem, čímž se vytvoří póry, které mohou zasahovat až do následující podkladní vrstvy. V důsledku toho pak dojde k vytvoření prostoru pro lepší pronikání vody či agresivních médií a tím tak k rychlejší a masivnější degradaci nátěrové hmoty, resp. cementotřískové desky.



**Obrázek 37:** Souhrnný pohled na vzorky po působení CHRL25



**Obrázek 38:** Poškození nátěrového systému vzorku Z3PV-CH25



**Obrázek 39:** Poškození hrany nátěrového systému vzorku Z3PV-CH25



**Obrázek 40:** Poškození nátěrového systému vzorku Z3PE-CH25



**Obrázek 41:** Poškození hrany nátěrového systému vzorku Z3PE-CH25

Chemické rozmrazovací látky působily na zkušební tělesa 25 cyklů. Dle obrázků 38 až 41 je zřejmé, že degradace povrchové úpravy chemickými rozmrazovacími látkami byla značná, jelikož bylo poruchami zasaženo více než 40 % lícové plochy a v extrémních případech došlo k úplné ztrátě přilnavosti finální vrstvy nátěrového systému, kdy k porušení došlo v rozhraní s následující podkladní vrstvou povrchové úpravy. Na hranách zkušebních těles došlo ke ztrátě přilnavosti a následnému odloupení nátěru.



**Obrázek 42:** Poškození nátěrového systému vzorku S3PV-CH25



**Obrázek 43:** Poškození hrany nátěrového systému vzorku S3PV-CH25

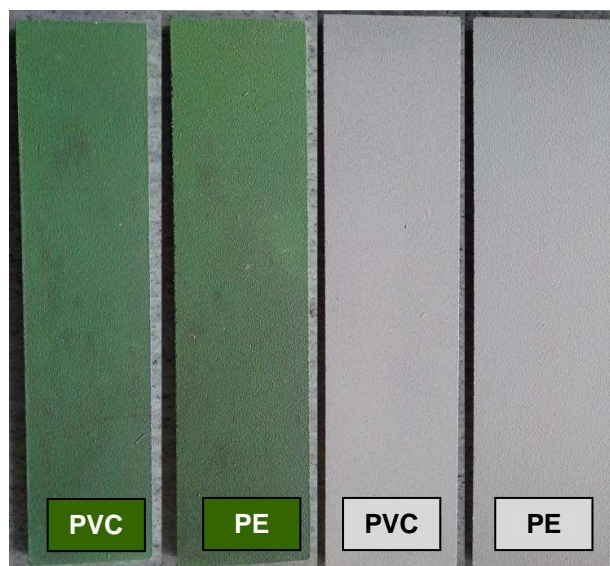


**Obrázek 44:** Poškození nátěrového systému vzorku S3PE-CH25



**Obrázek 45:** Poškození hrany nátěrového systému vzorku S3PE-CH25

Na obrázcích 42 až 45 jsou znázorněna zkušební tělesa s nátěrovým systémem šedé barvy. V těchto případech nebylo identifikováno porušení finální vrstvy nátěru až na následující podkladní vrstvu, ale četnost vzniklých trhlinek lze charakterizovat jako výrazně zvýšeného rozsahu.



**Obrázek 46:** Souhrnný pohled na vzorky po působení  $\text{SO}_2$

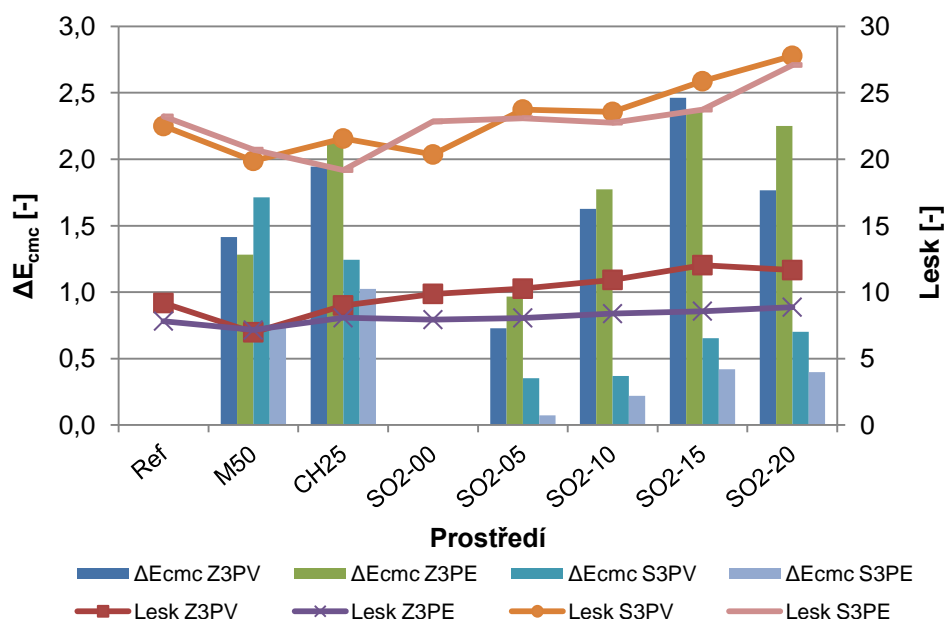
Pro zjištění odolnosti proti siřičitanům nátěrových systémů s alternativními plnivy byla tělesa uložena na 20 cyklů do vzduchotěsné zkušební komory, kam byl přiváděn oxid siřičitý o dané koncentraci. Následně bylo provedeno vizuální hodnocení exponovaných vzorků.

Povrchová úprava po 20 cyklech v komoře nebyla výrazně porušena trhlinkami nebo puchýřky, ale v případě zeleného nátěru se na ní objevily šedé až černé skvrny. To bylo pravděpodobně způsobeno nahromaděním zkondenzovaného plynu s oxidem siřičitým na jednom místě a neúplným nebo pomalým vyschnutím vznikly tyto tmavé skvrny na povrchové úpravě desky. Další důvodem, proč vznikly tmavé skvrny na povrchu nátěru, může být ten, že proběhla určitá chemická interakce siřičitanů se základovou či finální vrstvou.

### 9.2.2 Změna barevného odstínu

Níže v grafu (viz. Obrázek 47) je znázorněna komparace dosažených hodnot odchylek barevného odstínu a dále i změn lesku finální vrstvy nátěrového systému obsahujícího alternativní strukturní plniva v závislosti na expozičním prostředí.





**Obrázek 47:** Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěrů s alternativními plnivy

U typu nátěrového systému Z3PV i Z3PE byla změna barevného odstínu po působení chemických rozmrazovacích látek výrazná a nejvíce se pohybuje v kategorii slabý a jasně postřehnutelný (příp. rozeznatelný a ještě nerušící). Působením oxidu siřičitého na zkušební tělesa se s přibývajícím cykly výrazně zvyšovala i změna barevného odstínu, kdy při dosažení 15 cyklů nastala změna nejvyšší. Lesk se u těchto povrchových úprav příliš neměnil.

Povrchové úpravy S3PV a S3PE vykazují po expozici v prostředí SO<sub>2</sub> pouze velmi slabý barevný rozdíl, kdežto v případě M50 a CH<sub>25</sub> se jedná o výraznou změnu barevného odstínu. U nátěrového systému S3PE byly naměřeny nejmenší odchylky změn barevného odstínu ze všech nátěrů s alternativními plnivy, po působení nepříznivých prostředí. Ani u těchto nátěrových systémů nebyly pozorovány žádné výrazné změny lesku.

Z grafu je také patrné, že vliv použitého plniva v závislosti na změnách barevného odstínu při expozici v různých prostředích se jasně projevil pouze v případě typu nátěru S3, kdy menší odchylky byly zaznamenány v případě plniva na bázi polyetylénu.

### 9.3 Optimalizované nátěrové systémy ověřené akceleračními testy

Zkušební tělesa bez strukturního plniva (1Z, 2C, 3S) i se strukturním plnivem (1Z-S, 2C-S, 3S-S) dodané od firmy CIDEM Hranice, a.s., byla vystavena kombinaci expozičních prostředí, a to mrazu a UV záření. Nejprve byly vzorky vystaveny 25 cyklům mrazu a poté 400 hodinám UV záření, což představuje jednu fázi. Po skončení této expoziční kombinace, tj. fáze byla sada

s největším porušením odebrána a ostatní zkušební tělesa byla podrobena další fázi kombinace mrazu a UV záření, která byla ukončena po dokončení 800 hodin v QUV komoře. U zkušebních vzorků s nejdelším cyklováním bylo dosaženo 150 cyklů působení mrazu a 2400 hodin působení UV záření. Označení expozičních prostředí v závislosti na počtu realizovaných cyklů či uplynulých hodin v nepříznivých podmínkách je zobrazeno v následující tabulce (viz Tabulka 9).

**Tabulka 9:** Označení expozičních prostředí dle expoziční doby

Označení expozičního prostředí	Fáze	Počet cyklů působení mrazu	Počet hodin působení UV záření
REF	0	0	0
M25,Q04	1	25	400
M50,Q08	2	50	800
M75,Q12	3	75	1200
M100,Q16	4	100	1600
M125,Q20	5	125	2000
M150,Q24	6	150	2400

Na obrázcích uvedených v následujících kapitolách nejsou obsažena tělesa po 25 cyklech mrazu a 400 hod v QUV komoře, jelikož z kapacitních důvodů QUV komory a časových možností nebyla tato zkušební tělesa podrobena fyzikálně-mechanickým testům. Zároveň se s ohledem na již poměrně v předchozích letech optimalizovaných nátěrů jevílo jako zajímavější testování až po delší časové expozici. Z tohoto důvodu je u těchto zkušebních těles uveden pouze rozdíl v barevném odstínu.

### 9.3.1 Vizuální zhodnocení

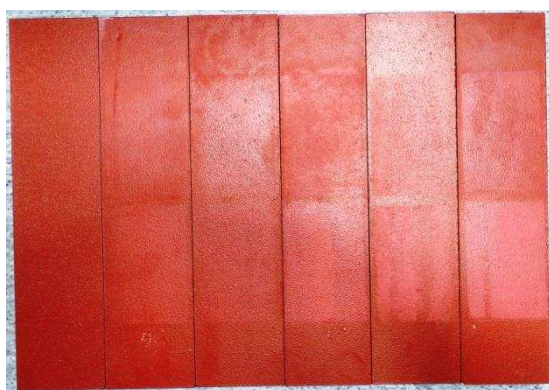
Na zkušebních tělesech bylo vždy po působení jedné fáze, tj. mrazu (25 cyklů) a UV záření (400 hodin) provedeno vizuální posouzení degradace nátěrového povrchu i jeho hran. Pro zjištění, zda má nějaký vliv na míru degradace povrchové úpravy očištění nátěru, byla spodní polovina lícové strany daného zkušebního tělesa vždy po expozici očištěna. V této kapitole jsou z důvodu velkého počtu vzorků zvoleny obrázky z očištěné strany vždy jen vybraných zkušebních těles z každé sady.



**Obrázek 48:** Sada reprezentativních zkušebních těles 1Z seřazena zleva od REF po M150, Q24



**Obrázek 49:** Sada reprezentativních zkušebních těles 1Z-S seřazena zleva od REF po M150, Q24



**Obrázek 50:** Sada reprezentativních zkušebních těles 2C seřazena zleva od REF po M150, Q24



**Obrázek 51:** Sada reprezentativních zkušebních těles 2C-S seřazena zleva od REF po M150, Q24



**Obrázek 52:** Sada reprezentativních zkušebních těles 3S seřazena zleva od REF po M150, Q24



**Obrázek 53:** Sada reprezentativních zkušebních těles 3S-S seřazena zleva od REF po M150, Q24

Na obrázcích 48 až 53 jsou zobrazeny sady reprezentativních zkušebních těles, které byly vystaveny kombinaci mrazu a UV záření. Sady

zkušebních těles jsou řazeny zleva referenční zkušební těleso, dále zkušební tělesa po M50,Q08; M75,Q12; M100,Q16; M125,Q20 a M150,Q24.



**Obrázek 54:** Detail lícové strany nátěrového systému 1Z-REF



**Obrázek 55:** Detail lícové strany nátěrového systému 2C-REF



**Obrázek 56:** Detail lícové strany nátěrového systému 1Z po působení M50 a Q08



**Obrázek 57:** Detail lícové strany nátěrového systému 1Z-S po působení M50 a Q08



**Obrázek 58:** Detail lícové strany nátěrového systému 2C po působení M50 a Q08



**Obrázek 59:** Detail lícové strany nátěrového systému 2C-S po působení M50 a Q08



**Obrázek 60:** Detail lícové strany nátěrového systému 3S po působení M50 a Q08



**Obrázek 61:** Detail lícové strany nátěrového systému 3S-S po působení M50 a Q08

Na obrázcích 54 až 61 jsou znázorněny detaily očištěné části lícové plochy zkušebních vzorků po expozici M50, Q800. Z obrázků je patrné, že nejvíce byly zasaženy vzorky šedé, kde se nacházelo velké množství vzniklých trhlinek. Vzniklé trhlinky v nátěrové hmotě mohou způsobit průnik škodlivých látek do cementové matrice a následně snížit mechanické vlastnosti cementotřískové desky. U vzorku 2C a 3S je v některých malých částech nátěru viditelná změna odstínu. Změna odstínu je způsobena kondenzací vodní páry a UV zářením.



**Obrázek 62:** Detail lícové strany nátěrového systému 1Z po působení M125 a Q20



**Obrázek 63:** Detail lícové strany nátěrového systému 1Z-S po působení M125 a Q20



**Obrázek 64:** Detail lícové strany nátěrového systému 2C po působení M125 a Q20



**Obrázek 65:** Detail lícové strany nátěrového systému 2C-S po působení M125 a Q20



**Obrázek 66:** Detail lícové strany nátěrového systému 3S po působení M125 a Q20



**Obrázek 67:** Detail lícové strany nátěrového systému 3S-S po působení M125 a Q20

Po expozici vzorků po dobu M125, Q20 se výskyt trhlinek nezvýšil ve velké míře. Po této fázi však bylo zaznamenáno výrazné snížení lesku nátěru, což bylo okem zpozorovatelné i u žlutého typu nátěru, který se jevil vždy z hlediska změn barevného odstínu, resp. lesku velmi odolně až netečně.



**Obrázek 68:** Vybraná zkušební tělesa (typ nátěru 1Z, 1Z-S a 2C) po působení 120 cyklů oxidu siřičitého



**Obrázek 69:** Detailní zobrazení nátěrového systému 1Z vystaveného  $\text{SO}_2$  po 100 cyklech



**Obrázek 70:** Detailní zobrazení nátěrového systému 1Z-S vystaveného  $\text{SO}_2$  po 110 cyklech



**Obrázek 71:** Detailní zobrazení nátěrového systému 2C vystaveného  $\text{SO}_2$  po 90 cyklech



**Obrázek 72:** Detailní zobrazení nátěrového systému 3S vystaveného  $\text{SO}_2$  po 120 cyklech (patrné prorůstání krystalů skrz nátěrový systém)

Pro zjištění odolnosti proti siřičitanům strojně aplikovaných nátěrových systémů byla tělesa uložena na 120 cyklů do vzduchotěsné zkušební komory, kam byl přiváděn oxid siřičitý o dané koncentraci. Průběžně, po uplynutí určitého počtu cyklů, bylo provedeno vizuální hodnocení exponovaných zkušebních těles.

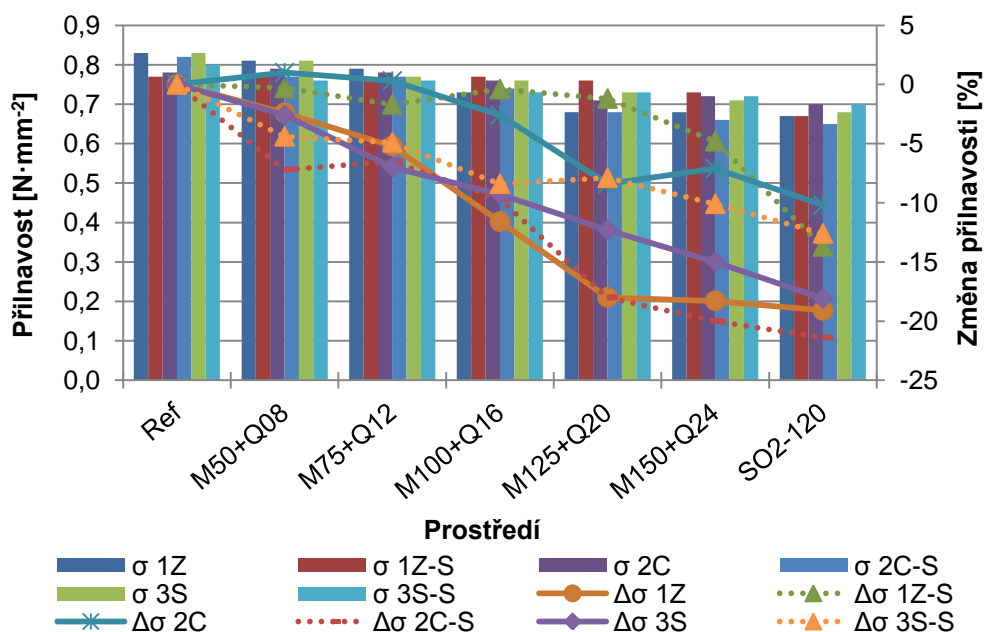
Povrchová úprava po 120 cyklech v  $\text{SO}_2$  komoře byla značně degradovaná a obsahovala vyšší množství poruch, než v případě kombinované metodiky (mráz + UV záření). Největší poškození bylo na zkušebním tělese 1Z, jelikož v horní části vzorku došlo k odstranění žlutého pigmentu ze struktury nátěru až na podkladní vrstvu. V případě vzorku 1Z-S nastalo odstranění žlutého pigmentu z nátěru, ale plniva nikoliv. U všech vzorků vznikly po působení nepříznivého prostředí v povrchové úpravě trhlinky a puchýřky. Vrcholek puchýřku byl porušen a uvnitř se vytvořily, působením dalšího

množství plynu s oxidem siřičitým, krystaly. Vzniklé krystaly zvětšovaly postupně svůj objem a degradace povrchové úpravy se stupňovala.

### 9.3.2 Přílnavost nátěrů

V následujících tabulkách a grafech je uvedeno porovnání průměrných hodnot přílnavosti testovaných nátěrových systémů.

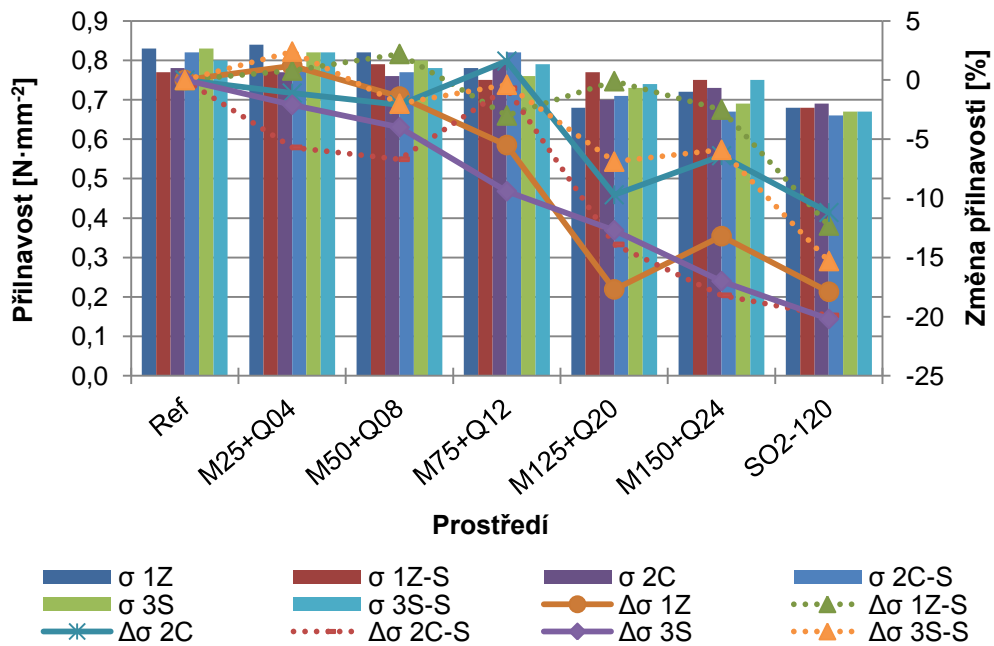
Ve všech případech zkušebních těles došlo ke koheznímu porušení uvnitř podkladu, respektive desky a to jak v na neočištěné tak i na očištěné straně. Jedná se tedy spíše o sledování poklesu vlastností samotných cementotřískových desek, protože i přes viditelné poruchy je nátěr velmi dobře soudržný s podkladem. Vhodnost nátěru lze tedy spíše hodnotit podle ochranné funkce desek před nepříznivými vlivy, tak jak se případně změní vlastnosti samotné desky, neboť nátěr je značně odolný a nejslabším článkem je v tomto systému podklad tvořený cementotřískovou deskou.



**Obrázek 73:** Srovnání přílnavosti na neočištěné ploše zkušební sady těles 1Z až 3S-S po působení nepříznivých vlivů

Z naměřených hodnot je patrné, že působení agresivního prostředí (mrazu a UV záření) má mírný vliv na snížení hodnot přílnavosti, ale nikoli však na typ porušení. Nemá tedy vliv na přílnavost samotného nátěru k desce.





**Obrázek 74:** Srovnání přilnavosti na očištěné ploše zkušební sady těles 1Z až 3S-S po působení nepříznivých vlivů

Největší snížení přilnavosti nátěru na očištěné lícové straně zkušebního tělesa bylo u typu povrchové úpravy 1Z po působení M125+Q20, kde přilnavost (resp. soudržnost cementotřískové desky) klesla téměř o 20 % oproti referenčnímu vzorku.

Větší vliv na přilnavost nátěrů mělo působení SO<sub>2</sub>. Pokles hodnot jednotlivých zkušebních těles se od sebe ale nijak výrazně neměnil. Největší změna přilnavosti (19,9 %) nastala u zkušebních těles 2C-S.

Na základě grafického vyhodnocení přilnavosti nátěrových systémů nelze vypořádat či vyvodit jednoznačné závislosti na vlivu čištění proti agresivním vlivům exponovaných ploch zkušebních těles.



**Obrázek 75:** Zkušební tělesa zleva 1Z-REF; 1Z-M75,Q12; 1Z-S-REF; 1Z-S-M75,Q12 po provedené odtrhové zkoušce



**Obrázek 76:** Vybraná sada 2C-REF; 2C-M75,Q12; 2C-S-REF; 2C-S-M75,Q12 po provedené odtrhové zkoušce



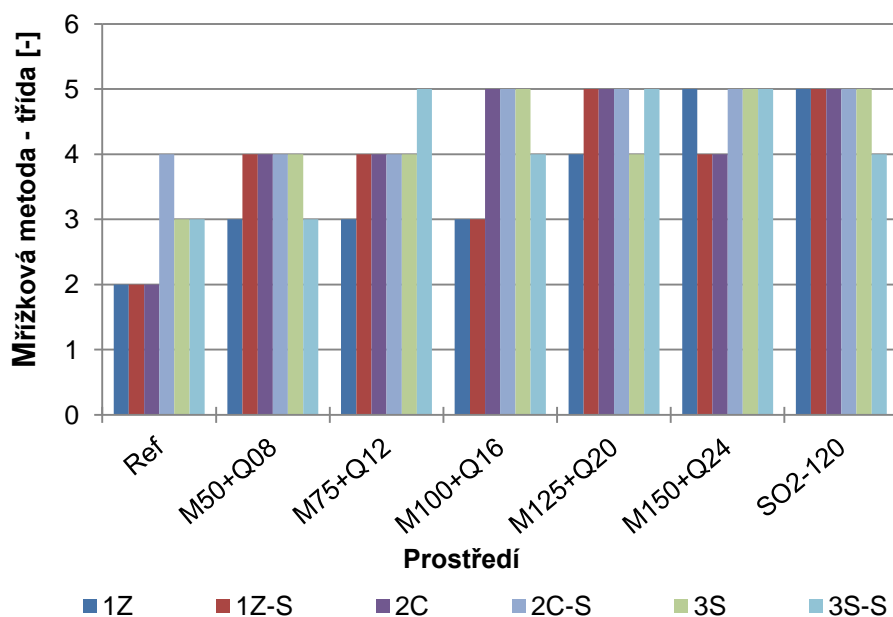
**Obrázek 77:** Vybraná sada 3S-REF; 3S-M75,Q12; 3S-REF; 3S-S-M75,Q12 po provedené odtrhové zkoušce

9.3.3 Oddělení nátěru od podkladu

Na každém zkušebním vzorku byla provedena mřížková zkouška a vyhodnocena podle normy ČSN EN ISO 2409:2013.

**Tabulka 10:** Klasifikace odolnosti proti oddělení jednotlivých typů nátěrů od podkladu, neočištěná plocha

		OZN.	Klasifikace			OZN.	Klasifikace
ŽLUTÁ	1Z	REF	2	ČERVENÁ	2C-S	REF	4
		M50,Q08	3			M50,Q08	4
		M75,Q12	3			M75,Q12	4
		M100,Q16	3			M100,Q16	4
		M125,Q20	4			M125,Q20	5
		M150,Q24	5			M150,Q24	5
		SO2-120	5			SO2-120	5
	1Z-S	REF	2	ŠEDÁ	3S	REF	3
		M50,Q08	3			M50,Q08	3
		M75,Q12	4			M75,Q12	4
		M100,Q16	4			M100,Q16	4
		M125,Q20	3			M125,Q20	5
		M150,Q24	5			M150,Q24	4
		SO2-120	4			SO2-120	5
ČERVENÁ	2C	REF	2	ŠEDÁ	3S-S	REF	3
		M50,Q08	3			M50,Q08	2
		M75,Q12	4			M75,Q12	3
		M100,Q16	4			M100,Q16	5
		M125,Q20	5			M125,Q20	4
		M150,Q24	5			M150,Q24	5
		SO2-120	4			SO2-120	5

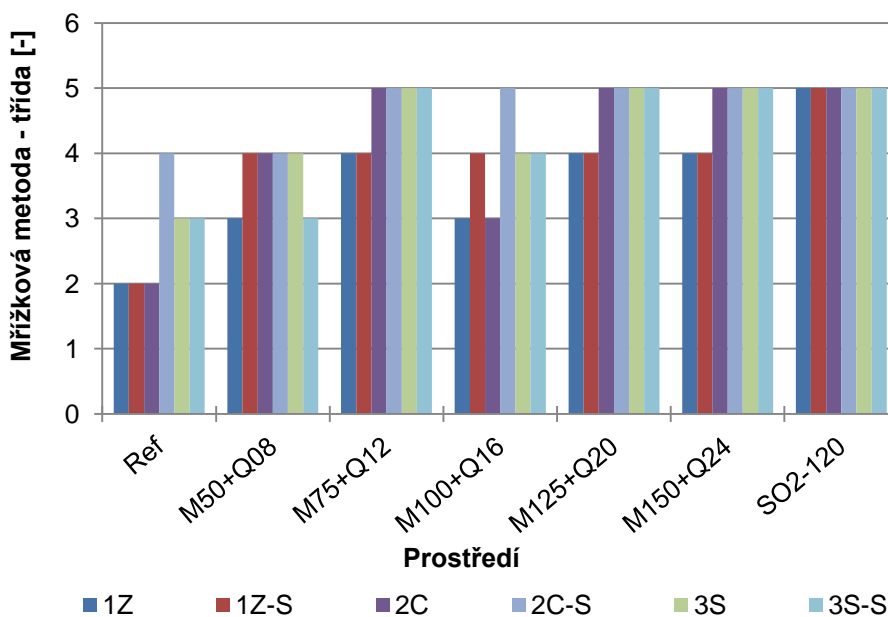


**Obrázek 78:** Vyhodnocení mřížkové zkoušky na neočištěné ploše zkušebních těles 1Z až 3S-S v závislosti na prostředí

U všech zkušebních těles se na soudržnosti nátěru s podkladem negativně projevilo působení mrazu a UV záření. Tělesa se zvyšujícím se počtem cyklů v nepříznivých podmínkách měla znatelně horší soudržnost s podkladem na neočištěné straně než tělesa referenční.

**Tabulka 11:** Klasifikace odolnosti proti oddělení jednotlivých typů nátěrů od podkladu, očištěná plocha

		OZN.	Klasifikace			OZN.	Klasifikace
ŽLUTÁ	1Z	REF	2	ČERVENÁ	2C-S	REF	4
		M50,Q08	3			M50,Q08	4
		M75,Q12	4			M75,Q12	5
		M100,Q16	3			M100,Q16	5
		M125,Q20	4			M125,Q20	5
		M150,Q24	4			M150,Q24	5
		SO2-120	5			SO2-120	5
	1Z-S	REF	2	ŠEDÁ	3S	REF	3
		M50,Q08	4			M50,Q08	4
		M75,Q12	4			M75,Q12	5
		M100,Q16	4			M100,Q16	4
		M125,Q20	4			M125,Q20	5
		M150,Q24	4			M150,Q24	5
		SO2-120	5			SO2-120	5
ČERVENÁ	2C	REF	2		3S-S	REF	3
		M50,Q08	3			M50,Q08	3
		M75,Q12	4			M75,Q12	5
		M100,Q16	5			M100,Q16	4
		M125,Q20	3			M125,Q20	5
		M150,Q24	5			M150,Q24	5
		SO2-120	5			SO2-120	5



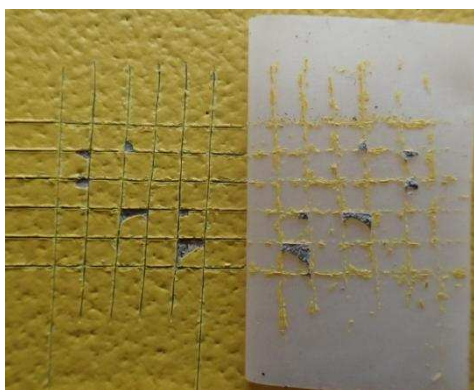
**Obrázek 79:** Vyhodnocení mřížkové zkoušky na očištěné ploše zkušebních těles 1Z až 3S-S v závislosti na prostředí

I v případě očištěné strany měla zkušební tělesa znatelně horší soudržnost s podkladem než tělesa referenční. Největší odolnost proti oddělení

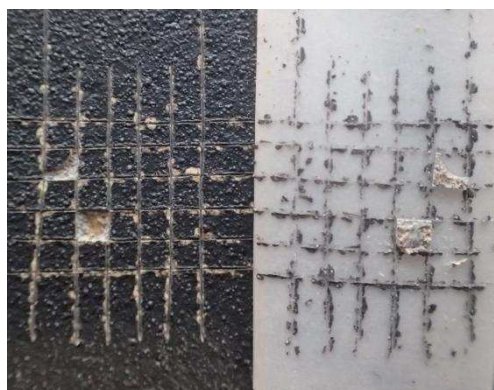
nátěru od podkladu vykazovaly na očištěné straně zkušebních těles povrchové úpravy 1Z a 1Z-S.

Na odolnosti nátěru proti oddělení od podkladu se projevilo nepříznivé působení  $\text{SO}_2$  u drtivé většiny zkušebních těles na neočištěné i očištěné straně. Takto exponované nátěry vykazovaly zřetelně horší odolnost proti oddělení nátěru od podkladu než referenční.

Z provedeného testování je ovšem patrný fakt, že i přes poměrně zhoršenou odolnost proti oddělení nátěru od podkladu, lze vyvíjený nátěrový systém hodnotit z hlediska jeho rezistence vůči separaci od podkladu kladně, protože k poruchám při mřížkové zkoušce vždy docházelo v povrchových partiích cementotřískových desek, tj. oddělení nátěrového systému probíhalo v povrchu desek, kdy bylo separováno celé testované souvrství nátěrových hmot (reprezentativní tělesa – viz Obrázek 80 až 83).



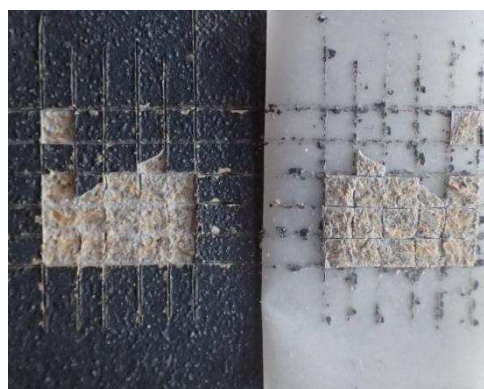
**Obrázek 80:** Příklad porušení nátěru po mřížkové zkoušce vzorku 1Z – REF



**Obrázek 81:** Příklad porušení nátěru po mřížkové zkoušce vzorku 3S-S – M25,Q04



**Obrázek 82:** Příklad porušení nátěru po mřížkové zkoušce vzorku 2C – M50,Q08



**Obrázek 83:** Příklad porušení nátěru po mřížkové zkoušce vzorku 3S-S – SO2-120

#### 9.3.4 Odolnost proti vrypu

Zkouška odolnosti proti vrypu vyhodnocena byla pouze vizuálně. Barevný odstín zkoušeného nátěru do jisté míry ovlivnil výsledek zkoušky,

jelikož u tmavých nebo barevně výrazných těles je porušení nátěru zřetelnější, než u těles světlých. Při vyhodnocování barevně nevýrazných povrchových úprav je potřeba použít vhodný osvětlovací zdroj, lupu nebo optický mikroskop.

**Tabulka 12:** Vyhodnocení odolnosti proti vrypu nátěrů na neočištěné ploše zkušebního tělesa

		OZN.	Síla [N]							
			4	6	8	10	15	20	25	30
ŽLUTÁ	1Z	REF	1	2	2	3	3	4	4	5
		M50,Q08	1	1	2	2	3	3	4	5
		M75,Q12	1	2	2	3	3	4	4	5
		M100,Q16	1	1	2	3	3	4	4	5
		M125,Q20	1	3	3	3	3	4	4	5
		M150,Q24	2	2	3	3	4	4	5	5
		SO2-120	2	2	3	4	4	5	5	5
	1Z-S	REF	1	2	2	2	3	3	4	5
		M50,Q08	1	2	2	3	3	4	4	5
		M75,Q12	2	2	3	3	3	3	4	5
		M100,Q16	1	3	3	3	3	4	4	5
		M125,Q20	2	2	3	3	3	4	5	5
		M150,Q24	1	3	3	3	4	4	5	5
		SO2-120	2	3	3	4	4	4	5	5
ČERVENÁ	2C	REF	1	1	1	2	2	3	4	5
		M50,Q08	1	1	2	2	2	3	4	5
		M75,Q12	1	1	1	3	3	3	4	5
		M100,Q16	1	1	2	3	3	3	4	5
		M125,Q20	1	2	3	3	3	4	5	5
		M150,Q24	1	1	3	4	4	4	4	5
		SO2-120	1	2	3	4	4	5	5	5
	2C-S	REF	2	2	2	3	3	4	4	4
		M50,Q08	1	2	3	4	4	4	4	5
		M75,Q12	1	3	3	3	4	4	4	5
		M100,Q16	1	2	4	4	4	4	5	5
		M125,Q20	2	3	3	4	3	4	5	5
		M150,Q24	1	3	3	4	4	5	4	5
		SO2-120	2	3	4	4	4	4	5	5
ŠEDÁ	3S	REF	1	1	1	3	3	4	4	5
		M50,Q08	1	1	2	3	3	4	4	5
		M75,Q12	1	2	2	3	4	3	4	5
		M100,Q16	1	1	2	3	4	3	4	5
		M125,Q20	1	2	3	4	4	4	4	5
		M150,Q24	2	2	3	3	4	4	5	5
		SO2-120	2	2	3	4	4	5	5	5
	3S-S	REF	1	2	2	3	3	4	4	5
		M50,Q08	1	2	2	3	4	3	4	5
		M75,Q12	1	3	3	4	3	4	5	5
		M100,Q16	1	3	2	4	4	3	5	5
		M125,Q20	2	3	3	4	3	4	4	5
		M150,Q24	2	3	3	4	4	4	5	5
		SO2-120	2	3	3	4	4	5	4	5

**Tabulka 13:** Vyhodnocení odolnosti proti vrypu nátěrů na očištěné ploše zkušebního tělesa

		OZN.	Síla [N]							
			4	6	8	10	15	20	25	30
<b>ŽLUTÁ</b>	<b>1Z</b>	REF	1	1	2	3	3	3	4	5
		M50,Q08	1	2	2	3	3	3	4	5
		M75,Q12	1	1	2	2	3	3	4	5
		M100,Q16	1	2	3	3	3	4	4	5
		M125,Q20	1	2	3	3	3	3	4	5
		M150,Q24	1	2	3	3	4	4	4	5
		SO2-120	2	2	3	4	4	4	5	5
	<b>1Z-S</b>	REF	1	3	3	3	3	4	4	5
		M50,Q08	1	2	3	3	3	4	4	5
		M75,Q12	3	2	3	3	3	4	4	5
		M100,Q16	2	3	3	3	3	4	4	5
		M125,Q20	2	3	3	3	3	4	4	5
		M150,Q24	2	3	3	3	3	4	5	5
		SO2-120	2	3	3	3	4	4	4	5
<b>ČERVENÁ</b>	<b>2C</b>	REF	1	1	2	3	3	3	4	5
		M50,Q08	1	1	2	3	3	3	4	5
		M75,Q12	1	1	2	3	3	3	4	5
		M100,Q16	1	2	2	3	3	3	4	5
		M125,Q20	1	2	3	3	3	4	4	5
		M150,Q24	1	2	3	3	4	4	4	5
		SO2-120	2	2	3	4	4	4	5	5
	<b>2C-S</b>	REF	2	3	3	4	3	4	4	5
		M50,Q08	2	3	3	3	3	4	4	5
		M75,Q12	1	3	3	4	4	3	4	5
		M100,Q16	2	3	4	4	4	4	4	5
		M125,Q20	2	3	3	4	3	4	5	5
		M150,Q24	2	3	3	4	4	4	5	5
		SO2-120	2	3	3	4	4	4	4	5
<b>ŠEDÁ</b>	<b>3S</b>	REF	1	2	2	3	3	3	4	5
		M50,Q08	2	2	2	3	3	4	5	5
		M75,Q12	1	1	2	3	4	3	4	5
		M100,Q16	1	2	2	3	4	4	4	5
		M125,Q20	1	2	3	3	3	4	5	5
		M150,Q24	1	2	2	3	3	3	5	5
		SO2-120	1	2	3	2	4	4	4	5
	<b>3S-S</b>	REF	2	3	3	4	3	4	4	5
		M50,Q08	1	3	2	3	4	3	4	5
		M75,Q12	1	3	3	4	3	4	5	5
		M100,Q16	2	2	2	3	3	3	4	5
		M125,Q20	2	3	3	4	3	4	5	5
		M150,Q24	2	3	3	4	4	4	5	5
		SO2-120	2	3	3	4	3	4	4	5

Při této zkoušce byla zjišťována nejnižší síla, při které byly zpozorovány první náznaky porušení nátěru. Zároveň byla sledována nejvyšší síla, při které se objevil dobře viditelný hluboký vryp.



U nátěrů bez strukturního plniva a po expozici M150,Q2400 byl zpozorován první náznak porušení při síle 6 N. U těles REF první porušení nastalo při síle 8 N. Po provedení vrypu při síle 30 N, došlo u každého tělesa k dobře viditelnému hlubokému vrypu.

U nátěrů se strukturním plnivem bylo zpozorováno první porušení při síle 4 N. A to jak v případě těles REF, tak i u M150,Q2400. K dobře viditelnému hlubokému vrypu byla za potřebí síla 30 N, taktéž u všech zkoušených vzorků.

Souhrnně lze konstatovat, že s rostoucí mírou agresivity, resp. intenzity působení nepříznivých vlivů dochází k mírnému snižování síly potřebné pro zanechání patrnějšího vrypu v jednotlivých nátěrech. Kdy v prostředí M150,Q24 se jeví jako mírně odolnější nátěr bez strukturního plniva.

### 9.3.5 Odolnost proti dynamickému zatížení

Na zkušebních tělesech byla po expozici v nepříznivých podmínkách provedena také zkouška odolnosti proti dynamickému zatížení.

Výška pádu závaží byla zvolena podle vyhodnocení zkoušení cementotřískové desky bez povrchové úpravy. Sady těles byly odzkoušeny a vizuálně vyhodnoceny podle míry porušení po účinku různě velkého dynamického zatížení definovaného výškou pádu závaží, o známé hmotnosti.

V následující tabulce (viz Tabulka 14) je vyhodnocení vizuálního posouzení poruchy nátěru po působení dynamického zatížení na neočištěné lícové ploše povrchové úpravy.

**Tabulka 14:** Vyhodnocení odolnosti nátěrů na neočištěné lícové ploše proti dynamickému zatížení

		OZN.	Výška závaží [cm]					
			2,5	5	7,5	10	12,5	15
ŽLUTÁ	1Z	REF	1	2	3	4	4	5
		M50,Q08	1	3	4	5	5	5
		M75,Q12	1	4	4	4	5	5
		M100,Q16	2	2	4	5	5	5
		M125,Q20	2	3	4	5	5	5
		M150,Q24	1	4	5	5	5	5
		SO2-120	1	4	5	5	5	5
	1Z-S	REF	2	2	3	3	4	5
		M50,Q08	1	2	4	4	4	5
		M75,Q12	1	4	4	4	5	5
		M100,Q16	2	4	4	4	4	5
		M125,Q20	1	4	4	4	5	5
		M150,Q24	2	4	5	5	5	5
		SO2-120	1	4	5	5	5	5
ČERVENÁ	2C	REF	1	2	4	4	5	5
		M50,Q08	2	2	4	4	5	5
		M75,Q12	2	3	4	5	5	5
		M100,Q16	1	5	5	5	5	5
		M125,Q20	1	4	5	5	5	5
		M150,Q24	1	4	5	5	5	5
		SO2-120	2	4	5	5	5	5
	2C-S	REF	1	2	3	3	3	4
		M50,Q08	1	2	2	3	4	5
		M75,Q12	2	3	3	4	5	4
		M100,Q16	2	2	4	4	4	5
		M125,Q20	1	3	4	4	4	4
		M150,Q24	2	4	4	4	4	5
		SO2-120	2	4	5	5	5	5
ŠEDÁ	3S	REF	1	2	4	4	4	5
		M50,Q08	1	4	4	4	5	5
		M75,Q12	2	3	4	4	5	5
		M100,Q16	2	3	4	5	5	5
		M125,Q20	2	4	4	5	5	5
		M150,Q24	2	4	5	5	5	5
		SO2-120	2	4	5	5	5	5
	3S-S	REF	2	3	3	4	4	5
		M50,Q08	1	3	2	4	4	4
		M75,Q12	1	2	4	4	5	4
		M100,Q16	1	3	4	4	4	4
		M125,Q20	1	3	4	4	4	5
		M150,Q24	2	2	4	4	5	5
		SO2-120	2	2	4	4	5	5

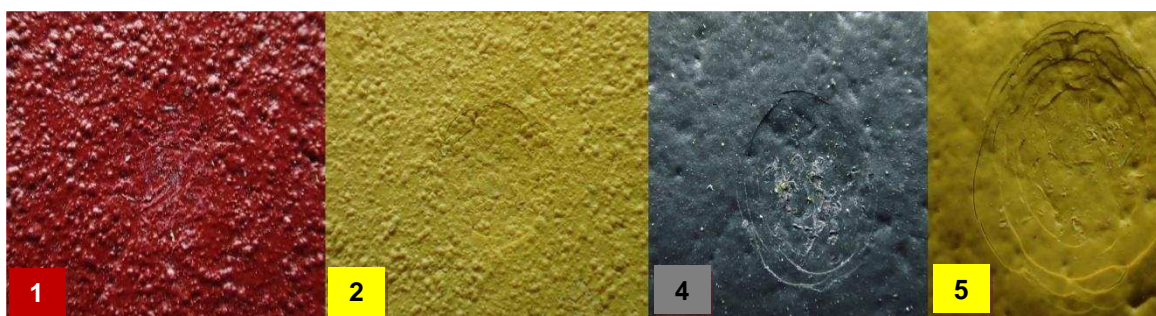
Následující tabulka (viz Tabulka 15) znázorňuje vyhodnocení vizuálního posouzení poruchy nátěru po působení dynamického zatížení na očištěné ploše povrchové úpravy.

**Tabulka 15:** Vyhodnocení odolnosti nátěrů na očištěné lícové ploše proti dynamickému zatížení

		OZN.	Výška závaží [cm]					
			2,5	5	7,5	10	12,5	15
<b>ŽLUTÁ</b>	<b>1Z</b>	REF	1	3	4	5	5	5
		M50,Q08	1	4	4	4	5	5
		M75,Q12	1	4	4	5	5	5
		M100,Q16	1	2	4	5	5	5
		M125,Q20	1	4	4	5	5	5
		M150,Q24	1	4	5	5	5	5
		SO2-120	1	5	5	5	5	5
	<b>1Z-S</b>	REF	1	3	3	4	4	4
		M50,Q08	1	3	4	4	4	5
		M75,Q12	2	4	4	4	5	5
		M100,Q16	2	4	4	4	4	5
		M125,Q20	1	4	4	4	4	5
		M150,Q24	2	4	5	4	5	5
		SO2-120	2	4	5	5	5	5
<b>ČERVENÁ</b>	<b>2C</b>	REF	1	3	4	5	5	5
		M50,Q08	1	3	4	5	5	5
		M75,Q12	1	4	4	5	5	5
		M100,Q16	1	5	5	5	5	5
		M125,Q20	1	5	4	5	5	5
		M150,Q24	2	4	5	5	5	5
		SO2-120	2	5	5	5	5	5
	<b>2C-S</b>	REF	1	2	3	4	4	4
		M50,Q08	1	2	4	4	4	4
		M75,Q12	2	3	4	4	4	4
		M100,Q16	2	2	4	4	4	4
		M125,Q20	1	2	4	4	4	4
		M150,Q24	2	4	4	4	4	5
		SO2-120	2	4	4	5	5	5
<b>ŠEDÁ</b>	<b>3S</b>	REF	1	3	4	5	5	5
		M50,Q08	1	4	4	5	5	5
		M75,Q12	1	2	4	4	5	5
		M100,Q16	2	4	4	4	5	5
		M125,Q20	1	4	4	5	5	5
		M150,Q24	2	4	4	4	5	5
		SO2-120	2	4	5	5	5	5
	<b>3S-S</b>	REF	1	2	3	4	4	4
		M50,Q08	2	2	2	4	4	4
		M75,Q12	1	3	4	4	4	4
		M100,Q16	1	2	4	4	4	4
		M125,Q20	1	2	4	4	4	4
		M150,Q24	2	2	4	4	4	5
		SO2-120	2	3	4	5	5	5

Zkušební tělesa se strukturním plnivem vykazovala odolnost proti dynamickému zatížení větší než povrchové úpravy bez tohoto plniva (teflonových kuliček). U nátěrů bez plniva se totiž už při výšce 7,5 cm objevily trhlinky po obvodu i uvnitř otisku. Kdežto v případě nátěrů s plnivem k tomuto došlo až při výšce 12,5 cm. Odolnost referenčních desek s nátěry se ale od zkušebních těles vystavených nepříznivému prostředí výrazně nelišila. Nejčastěji bylo viditelné porušení nátěru s trhlinkami po obvodu otisku i při relativně nízkých zatěžovacích silách.

Na základě naměřených hodnot lze říci, že strukturní plnivo, teflonové kuličky, zvyšují odolnost nátěrů proti dynamickému zatížení.



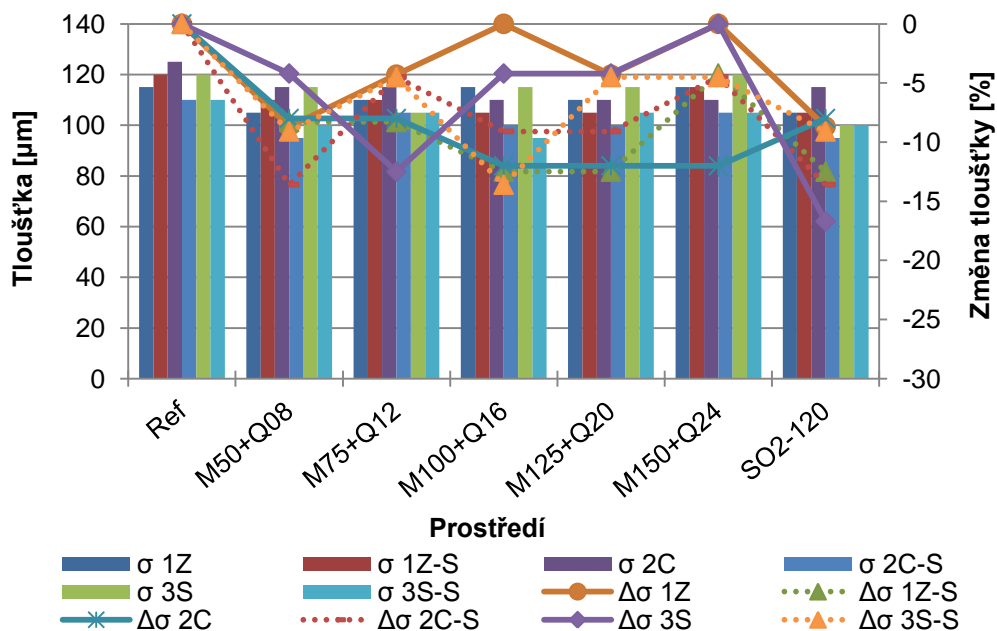
**Obrázek 84:** Zobrazení klasifikace míry poškození otisku ve vzorku



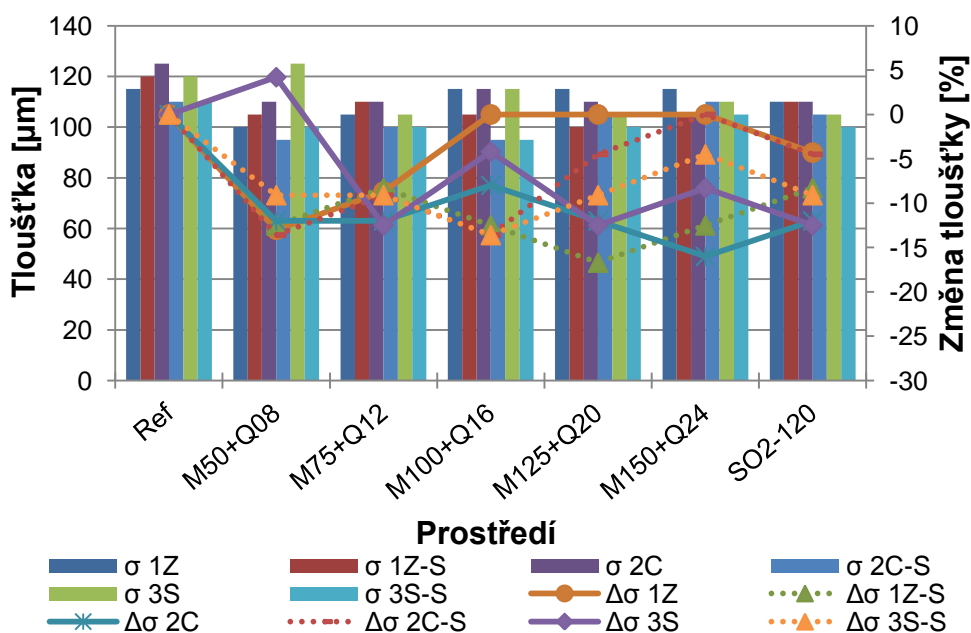
**Obrázek 85:** Příklady vzniklých otisků po působení dynamického zatížení

### 9.3.6 Tloušťka nátěru

Po kombinaci expozice mrazu a UV záření bylo u všech zkušebních těles provedeno destruktivní stanovení tloušťky nátěru. Byla změřena a stanovena tloušťka základního i finálního nátěru. Vyhodnocení celkové tloušťky povrchové úpravy jednotlivých těles je uvedeno v následujících grafech (viz Obrázek 86 a Obrázek 87).



**Obrázek 86:** Srovnání celkové tloušťky nátěrů neočištěné lícové plochy 1Z až 3S-S



**Obrázek 87:** Srovnání celkové tloušťky nátěrů očištěné lícové plochy 1Z až 3S-S

Vlivem působení kombinace mrazu a UV záření došlo u zkušebních těles k poklesu celkové tloušťky nátěru. Největší pokles celkové tloušťky nátěru byl pozorován u nátěru 2C po působení M125+Q20 a jednalo se o pokles 15 – 20 % od referenční hodnoty.

Pokles tloušťky nátěru nastal i při degradaci v SO<sub>2</sub> komoře. V porovnání s referenčním vzorkem hodnota tloušťky poklesla nejvíce u typu povrchové

úpravy 2C a 3S. Tloušťka těles 2C klesla přesně o 12 % a 3S o 12,5 %, oproti referenčnímu vzorku.

Nelze však vypožorovat zcela jednoznačnou závislost působení agresivního prostředí na tloušťku povrchové úpravy, protože tloušťka nátěru je už tak v celé ploše proměnná a některé odchylky tloušťky nemusí být způsobeny expozičním prostředím, ale mohou pocházet už z výroby. Při stanovení průměrné tloušťky totiž docházelo k rozptylům hodnot jednotlivých měření v rozmezí cca 7 – 14 % (někdy i v rámci jednoho řezu) a to se jednalo o neexponované nátěry.



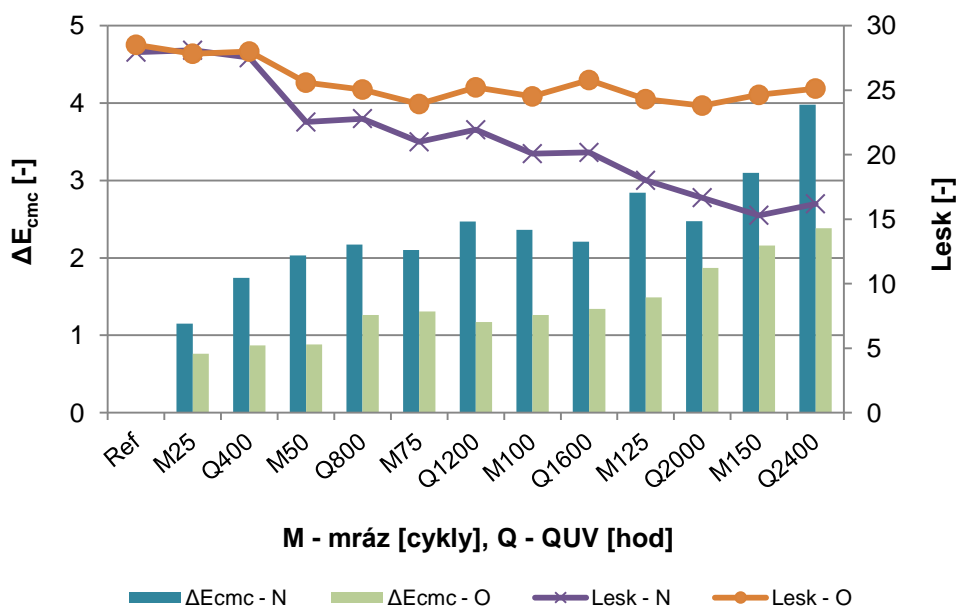
**Obrázek 88:** Řez nátěrem pro zjištění jeho celkové tloušťky s viditelným přechodem mezi základní a finální vrstvou



**Obrázek 89:** Ukázka řezu nátěrem pro zjištění celkové tloušťky

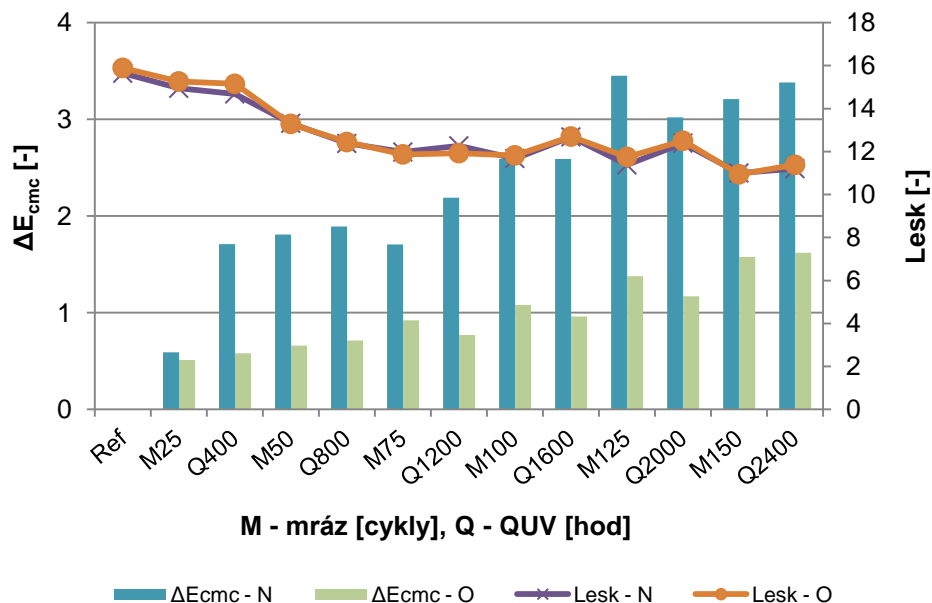
### 9.3.7 Změna barevného odstínu

Vyhodnocení změny barevného odstínu bylo provedeno stejně, jako je zmíněno v kapitole 9.2.2. Měření bylo prováděno na neočištěné ploše (N) i na očištěné ploše (O) zkušebního tělesa. Výsledky měření, které zahrnují změnu barevného odstínu a lesku jsou uvedeny v následujících grafech (viz Obrázek 90 až 98).



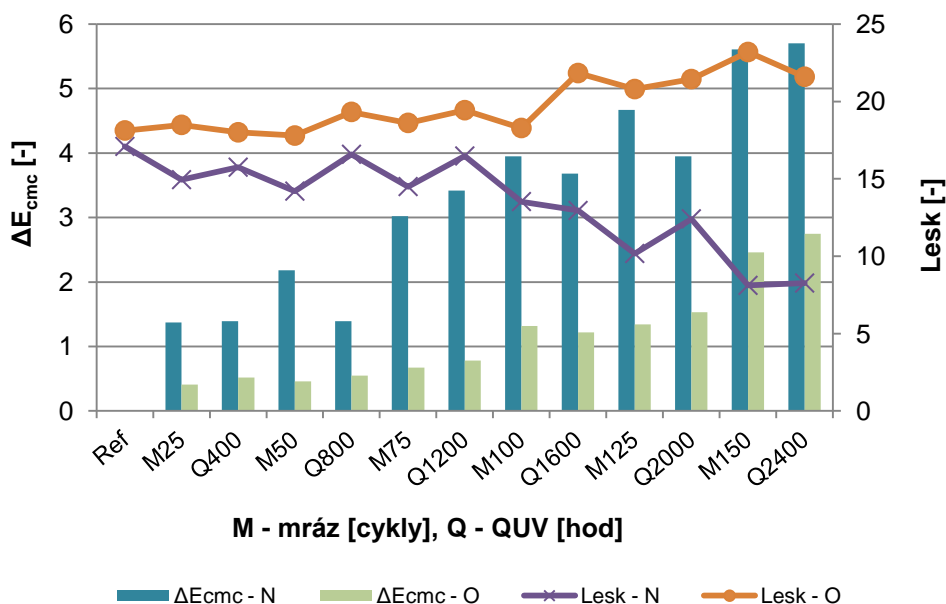
**Obrázek 90:** Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 1Z

Změna barevného odstínu u typu povrchové úpravy 1Z (viz Obrázek 90) se zvyšovala s přibývajícými cykly působení mrazu a UV záření a to jak na neočištěné, tak i na očištěné ploše. Barevná změna odstínu byla na ploše O výrazně menší než na ploše N. Největší barevná změna v případě očištěné plochy nastala po expozici 2400 hodin UV záření, kdy dle klasifikace odchylky barevného odstínu byla vyhodnocena jako jasně postřehnutelná, resp. rozeznatelná barevná změna povrchové úpravy. Neočištěná strana po vystavení působení 2400 hodin UV záření měla střední, resp. ještě nerušící barevnou změnu povrchové úpravy. Na neočištěné ploše však došlo k výraznému snížení lesku nátěru, oproti očištěné ploše. Změna barevného odstínu byla u těchto těles okem viditelná až po expozici 2000 hodin UV záření.



Obrázek 91: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 1Z-S

Působení mrazu a UV záření mělo na změnu barevného odstínu nátěru 1Z-S výrazný vliv v případě neočištěné plochy tělesa. U té byl barevný rozdíl oproti očištěné ploše až dvojnásobný. Největší změna nastala po expozici 125 cyklů v mrazu. Okem viditelná změna, tj. jasně postřehnutelný rozdíl barevného odstínu v případě očištěné plochy nátěru nastal po působení 2000 hodin UV záření. Změna lesku se projevila jeho poklesem se zvyšujícím se počtem cyklů expozice u obou stran vzorku obdobně.

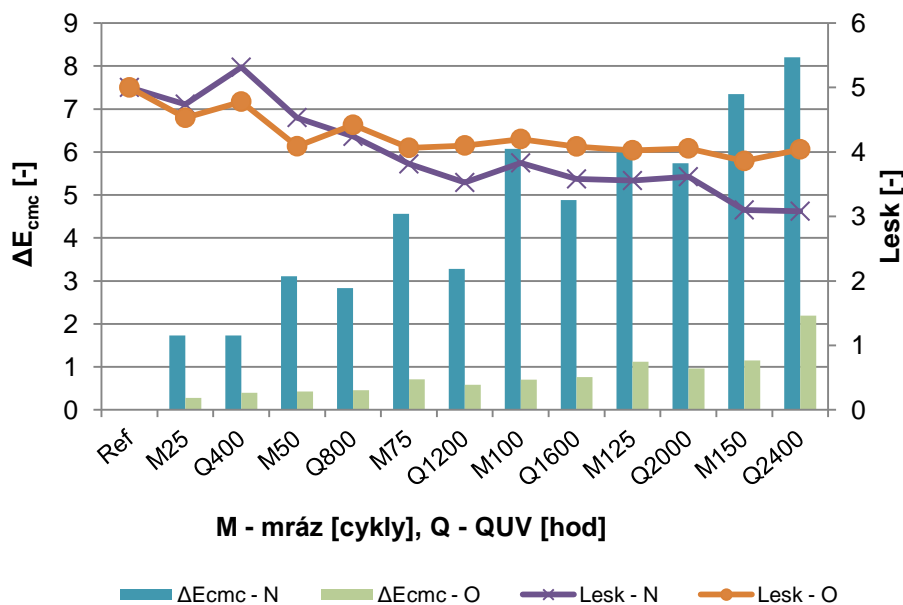


Obrázek 92: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 2C

U nátěru 2S dlouhé působení UV záření ve velké míře ovlivnilo jeho barevný odstín. Největší změny nastaly u neočištěné plochy nátěru od působení

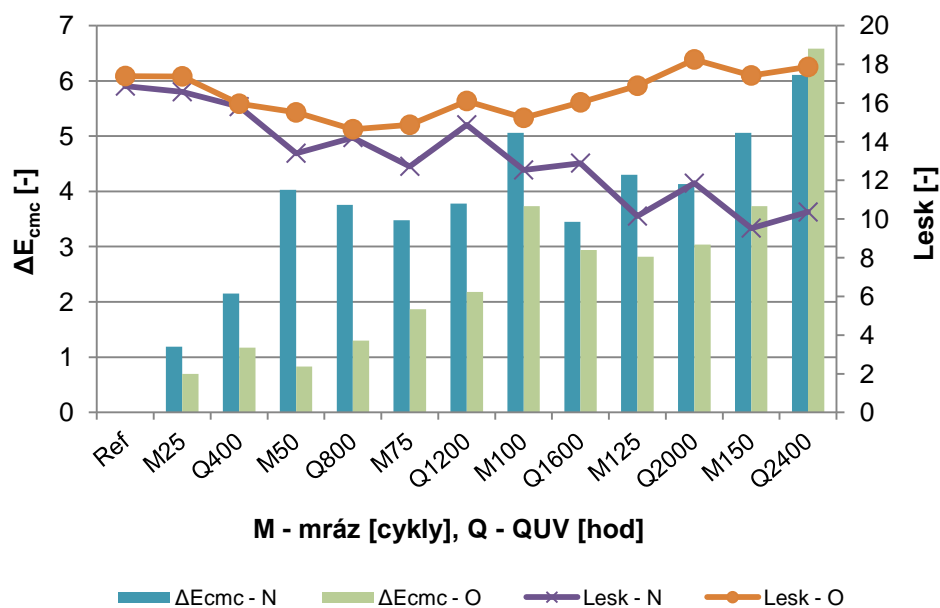


75 cyklů mrazu dále, kdy nastal jasně postřehnutelný, resp. rozeznatelný barevný rozdíl povrchové úpravy. Změna barevného odstínu byla u čištěné strany do expozice 1600 h UV záření slabá. Po této expozici však byla patrná jasně postřehnutelná barevná změna. U očištěné strany došlo k mírnému zvýšení lesku nátěru naproti nečištěné ploše, která se vyznačovala klesáním hodnot lesku.



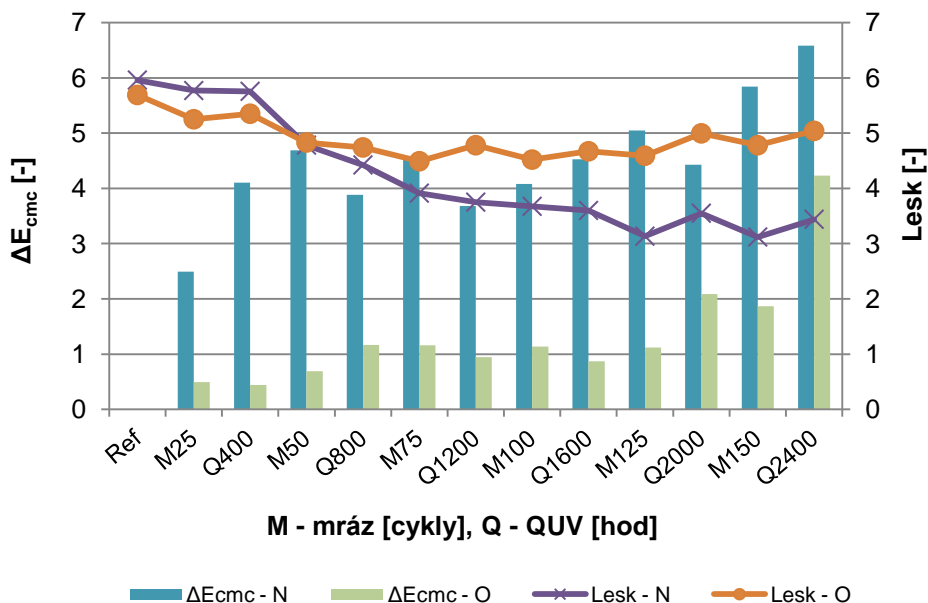
**Obrázek 93:** Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 2C-S

Mráz a UV záření způsobily na očištěné ploše nátěru 2C-S slabou změnu barevného odstínu. Jasně postřehnutelná, neboli rozeznatelná změna nastala až po expozici 2400 h UV záření. Hodnota lesku se u obou stran snižovala podobně.



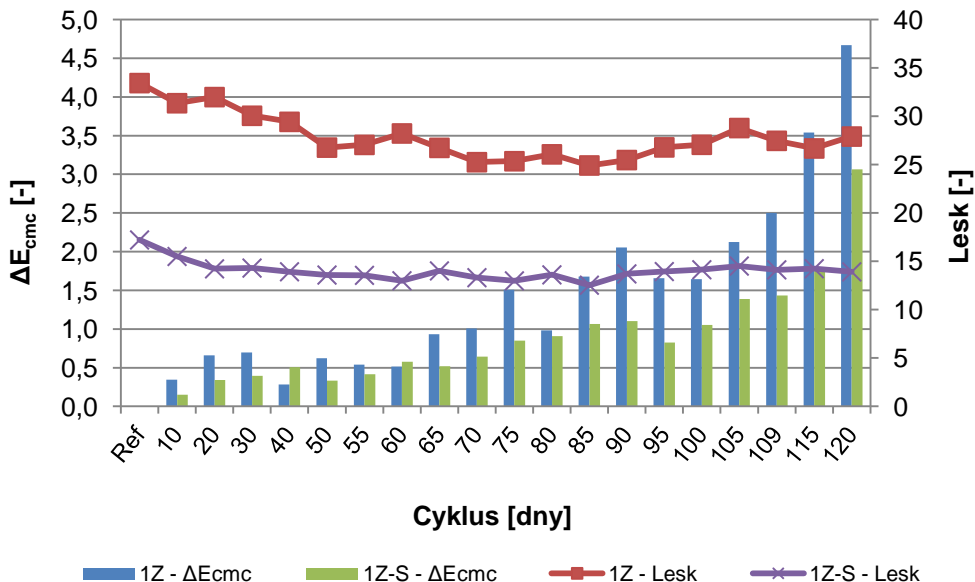
**Obrázek 94:** Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 3S

Největší změna barevného odstínu byla zjištěna u nátěru 3S. Už po 400 h působení UV záření byly naměřeny hodnoty větší než 1,0. Extrémní změna barevného rozdílu byla naměřena po 2400 h UV záření, kdy hodnota změny dosahovala až 6,5, což dle klasifikace odchylky barevného odstínu znamená výraznou, resp. mírně rušící barevnou změnu povrchové úpravy. Viditelný rozdíl barevné změny byl znatelný již po působení 50 cyklů mrazu na neочиštěné straně. Lesk se u tohoto nátěru v případě očištěné strany nepatrně zvyšoval a u neочиštěné strany snižoval.



Obrázek 95: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 3S-S

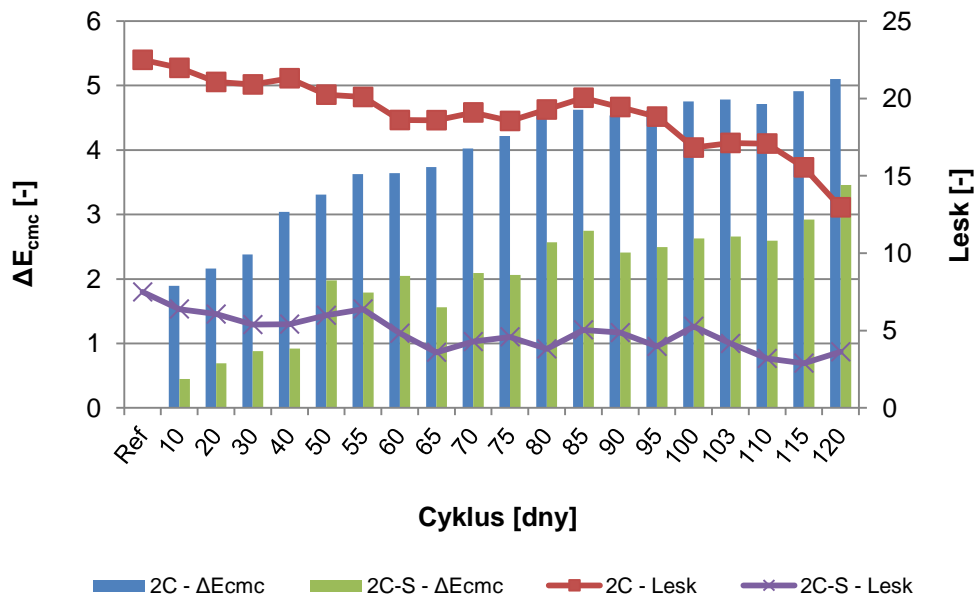
U zkušebnímu nátěru 3S-S neodolala barva nátěru působení 2000 h a 2400 h UV záření. Po vystavení tomuto působení nastaly na obou stranách vzorku velmi viditelné barevné změny. Naopak na barvě nátěru po UV záření (400 h, 800h, 1200 h a 1600 h) nebyla pouhým okem rozpoznána žádná změna. Na obou stranách zkušebních těles došlo také ke snížení lesku nátěru.



Obrázek 96: Závislost změny barevného odstínu a lesku na působení SO<sub>2</sub> u nátěru 1Z a 1Z-S

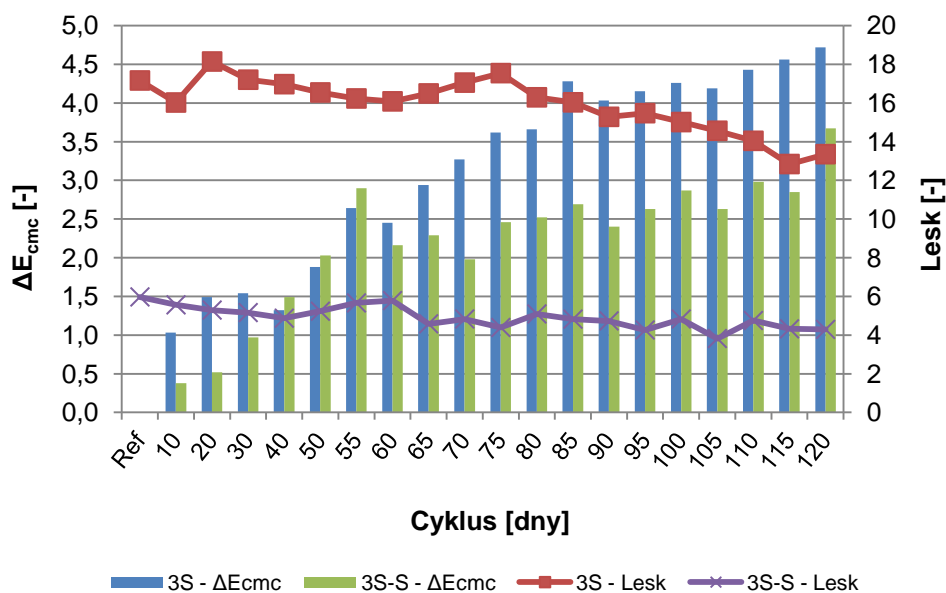
Změna barevného odstínu se při působení SO<sub>2</sub> se zvyšujícím se počtem cyklů postupně zvětšovala. U typu nátěru 1Z-S byly barevné odchylky výrazně

menší než u nátěru 1Z. Rozdíl barevné odchylky  $\Delta E_{CMC}$  mezi nátěrem s plnivem a nátěrem bez plniva dosahoval po nejdelší expozici v  $SO_2$  hodnoty kolem 11,0. Lesk se po vystavení vzorků do tohoto nepříznivého prostředí nijak výrazně neměnil.



**Obrázek 97:** Závislost změny barevného odstínu a lesku na působení  $SO_2$  u nátěru 2C a 2C-S

Největší změna barevného odstínu (střední, ještě neruší) nastala u sady zkušebních těles 2C, po expozici  $SO_2$ . Jasně postřehnutelné změny barevného odstínu nastaly už po 10 cyklech působení plynu a změna odstínu se s přibývajícými cykly výrazně měnila. Po dosažení 120 cyklů v expozici dosáhla barevná odchylka  $\Delta E_{CMC}$  hodnoty 5,10. Lesk se u toho nátěru postupně snižoval. Barevná odchylka u sady zkušebních těles 2C-S nedosahovala tak velké hodnoty, jako tomu bylo u nátěru bez plniva. Velké změny nastaly po 50 cyklech v  $SO_2$  komoře a nejvyšší odchylka dosahovala hodnoty 3,46. Tato sada zkušebních těles nijak významně neměnila svůj lesk.



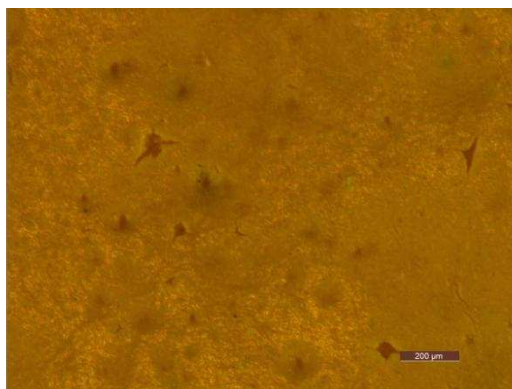
**Obrázek 98:** Závislost změny barevného odstínu a lesku na působení  $SO_2$  u nátěru 3S a 3S-S

Velmi výrazná změna barevného odstínu byla pozorována u nátěru 3S. Po vystavení zkušebních těles do  $SO_2$  komory na 55 cyklů dosahovala hodnota změny  $\Delta E_{cmc}$  2,64. Větší barevné změny nastaly u nátěru 3S-S, kdy po 65 cyklech se výrazně zvýšila hodnota barevné odchylky oproti nátěru 3S. Po dosažení 120 cyklů byla hodnota odchylky u nátěru 3S-S 3,67. Nátěr u zkušebních těles 3S vykazoval větší hodnoty lesku, ale v průběhu expozice se nijak výrazně neměnil.

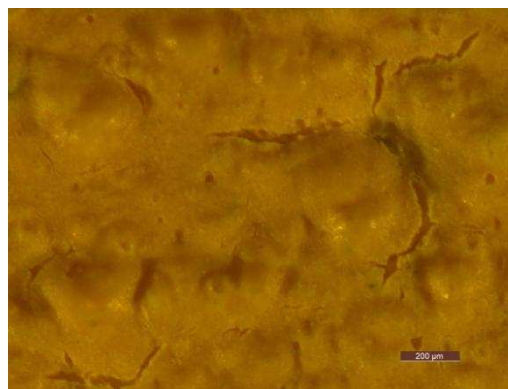
### 9.3.8 Hodnocení mikrostruktury nátěrů

Z důvodu velkého počtu zkušebních těles byly v této kapitole vybrány mikroskopické snímky pouze vybraných variant nátěrů a expozičních podmínek, tj. zkušebních těles vystavených nepříznivým podmínkám mrazu, UV záření a  $SO_2$  po dobu M-150 cyklů, QUV-2400 hodin a  $SO_2$ -120 cyklů. Na snímcích jsou detailně zobrazeny projevy případných poruch nátěrů. U nátěrů bez strukturního plniva vznikaly nejčastěji poruchy ve formě trhlinek a následně vniknutím vody a působením mrazu vznikly puchýře, které v extrémních případech vedly až k odloupení nátěru od podkladu. V případě nátěrů se strukturním plnivem vznikaly často trhlinky okolo zrna plniva.

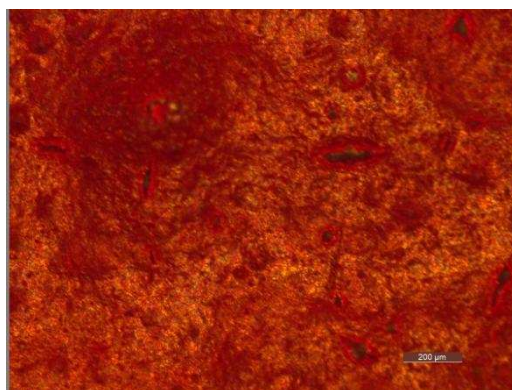
Níže jsou uvedeny vybrané snímky pořízené optickým mikroskopem (viz Obrázek 99 až 104).



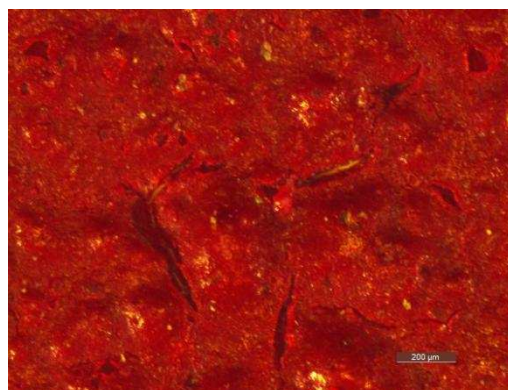
**Obrázek 99:** Mikroskopický snímek vzorku 1Z po M150, Q2400



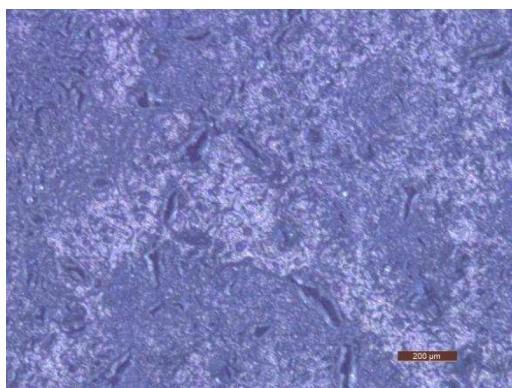
**Obrázek 100:** Mikroskopický snímek vzorku 1Z-S po M150, Q2400



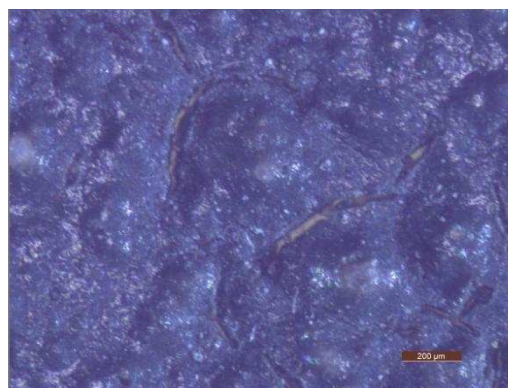
**Obrázek 101:** Mikroskopický snímek vzorku 2C po M150, Q2400



**Obrázek 102:** Mikroskopický snímek vzorku 2C-S po M150, Q2400

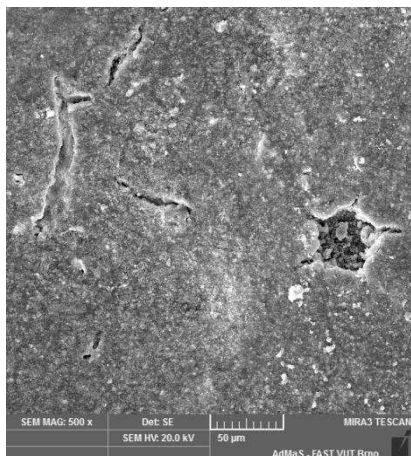


**Obrázek 103:** Mikroskopický snímek vzorku 3S po M150, Q2400

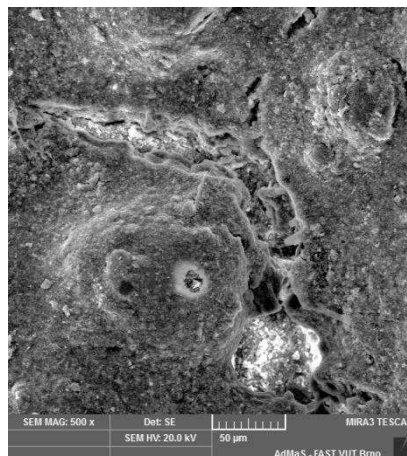


**Obrázek 104:** Mikroskopický snímek vzorku 3S-S po M150, Q2400

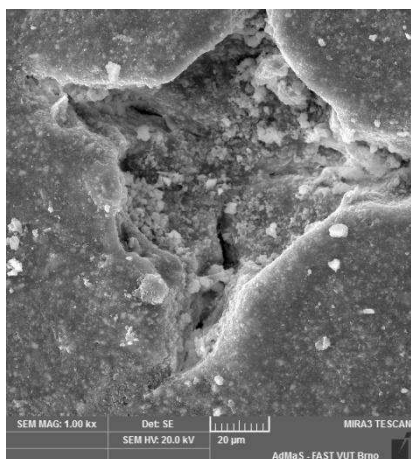
Dále jsou uvedeny snímky pořízené pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM; viz Obrázek 105 až 116).



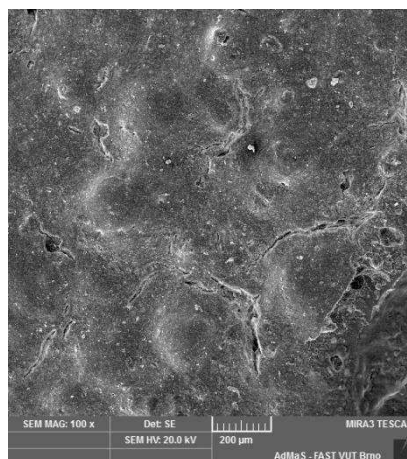
**Obrázek 105:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 1Z po M150, Q2400



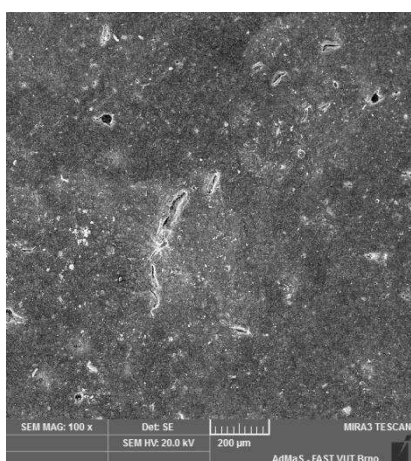
**Obrázek 106:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 1Z-S po M150, Q2400



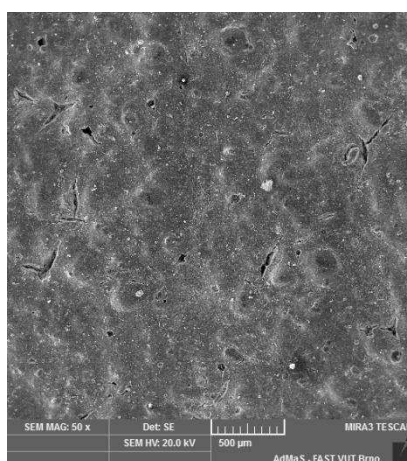
**Obrázek 107:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 2C po M150, Q2400



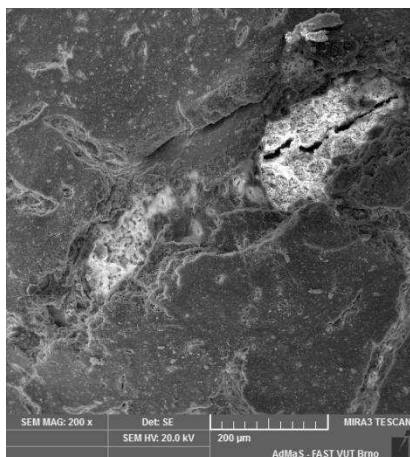
**Obrázek 108:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 2C-S po M150, Q2400



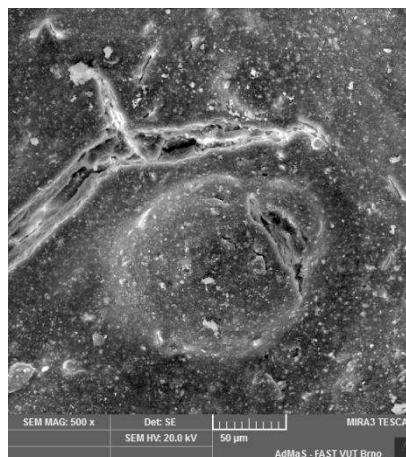
**Obrázek 109:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 3S po M150, Q2400



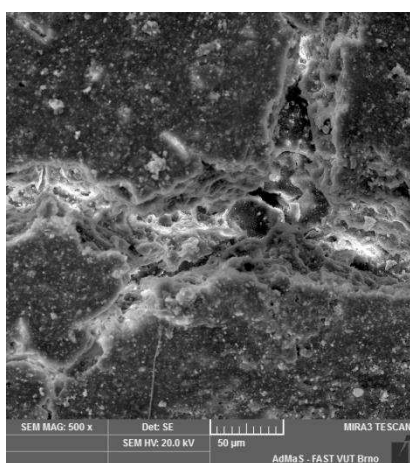
**Obrázek 110:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 3S-S po M150, Q2400



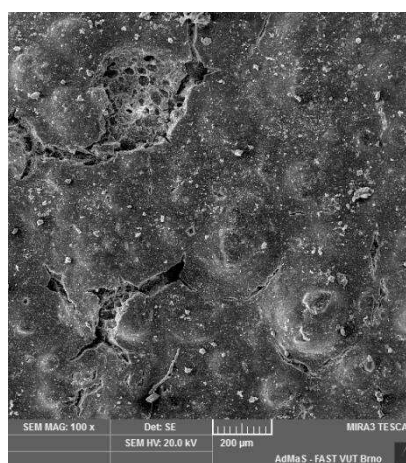
**Obrázek 111:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 1Z po SO<sub>2</sub>-120



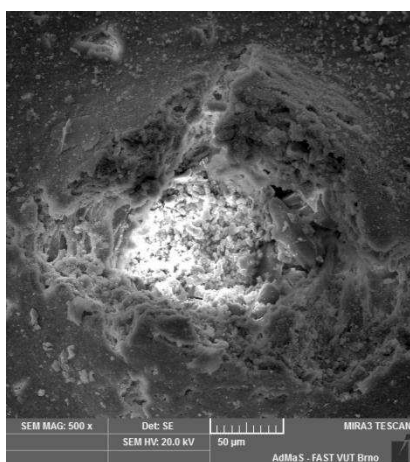
**Obrázek 112:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 1Z-S po SO<sub>2</sub>-120



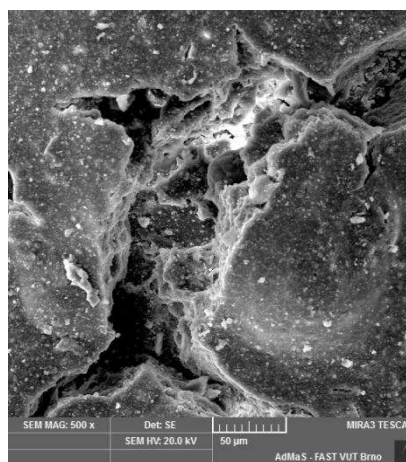
**Obrázek 113:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 2C po SO<sub>2</sub>-120



**Obrázek 114:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 2C-S po SO<sub>2</sub>-120



**Obrázek 115:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 3S po SO<sub>2</sub>-120



**Obrázek 116:** Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 3S-S po SO<sub>2</sub>-120



## 9.4 Shrnutí výsledků

Cílem experimentální práce bylo v rámci navazujícího výzkumu na výsledky a zjištění uvedená v [1], [2] a ve spolupráci s výrobním závodem CIDEM Hranice, a.s. a se společností BTA industry, a.s. ověřit optimalizované receptury nátěrových systémů jako povrchové úpravy cementotřískových desek pro zlepšení jejich odolnosti proti působení nepříznivých vlivů exteriéru.

Ověření odolnosti nátěrových hmot spočívalo na základě dlouhodobých testů v nepříznivých prostředích simulujících reálné vlivy. Pro tento účel byla sestavena a definována specifická metodika akcelerovaných laboratorních testů. Po zhodnocení dostupných informací byly zvoleny tři agresivní prostředí simulující nepříznivé podmínky v exteriéru. Konkrétně se jednalo o kombinaci působení mrazu a UV záření sestávající z expozice 150 cyklů cyklického zmrazování a rozmrazování v přítomnosti vody a expozice UV záření v kombinaci s kondenzací vody po dobu 2400 hodin (300 cyklů). Dále byla zkušební tělesa vystavena působení oxidu siřičitého při zvýšené teplotě a výrazně zvýšené relativní vlhkosti v délce 120 dní (cyklů).

V první části experimentální práce byla nejprve analyzována alternativní plniva PE a PVC. Pro zjištění velikosti částic jednotlivých plniv byl proveden síťový rozbor. Následně byl experimentálně stanoven obsah plniva v nátěrové hmotě, a to na 3 % hmotnostní. Poté byly nátěrové hmoty ručně aplikovány na zkušební tělesa, která byla následně vystavena agresivnímu prostředí pro ověření trvanlivosti alternativních plniv PE a PVC obsažených v nátěrových hmotách.

Byly zkoušeny 3 zkušební sady opatřeny povrchovou úpravou (nátěrem) bez použitého plniva a 3 zkušební sady opatřeny nátěrem s použitím plniva (teflonovými kuličkami). Sady se od sebe lišily barvou pigmentu. Pro zjištění, zda mají nějaký vliv na míru degradace povrchové úpravy nečistoty obsažené na povrchu nátěru, byla spodní polovina lícové strany vzorku vždy po expozici očištěna.

### 9.4.1 Vizuální hodnocení

Po působení kombinace mrazu a UV záření došlo u většiny nátěrů ke značné degradaci, která se projevila především vznikem trhlinek, vznikem puchýřků a u některých vzorků dokonce odpadáváním vrchní vrstvy nátěru. UV záření způsobilo spíše změnu odstínu a lesku barvy bez znatelného porušení struktury nátěru. Po vizuální stránce, se jevily jako nejvíce degradované nátěry 2C, 3S a 3S-S, u kterých byl viditelný rozdíl již po působení 25 cyklů mrazu a 400 hodinách UV záření. Nejméně porušené vzorky byly 1Z a 1Z-S, u kterých bylo viditelné porušení až po působení 125 cyklů mrazu a 2000 hodinách pod UV zářením.

Působení siřičitanů na exponované vzorky mělo negativní vliv na degradaci jejich povrchové úpravy. Nejvíce zasaženy byly vzorky 1Z a 1Z-S,

u kterých barevný pigment v určitých místech zcela vymizel. Plnivo v nátěru však působením SO<sub>2</sub> nebylo nijak výrazně poškozeno.

#### 9.4.2 Přílnavost nátěrů

U všech zkušebních těles došlo ke koheznímu porušení uvnitř cementotřískové desky a lze tedy konstatovat, že působení agresivního prostředí (mrazu, UV záření) nemělo vliv na sledovaný parametr, tj. přílnavost nátěrového systému. Nejlepší hodnoty přílnavosti s nejmenším rozptylem výsledků po jednotlivých expozicích vykazoval nátěr sady zkušebních těles 1Z-S.

Agresivní prostředí SO<sub>2</sub> mělo větší vliv na hodnoty přílnavosti (resp. možná spíše soudržnosti cementotřískové desky), ale také nijak neovlivnilo typ porušení zkušebních vzorků.

#### 9.4.3 Odolnosti proti oddělení nátěru od podkladu

Největší odolnost proti oddělení nátěru od podkladu vykazovaly nátěry sady 1Z a 1Z-S. U sady zkušebních těles 2C-S byla určena zhoršená odolnost proti oddělení od podkladu bez ohledu na to, zda se jednalo o nátěry referenční nebo exponované. Sada zkušebních těles 3S vykazovala po působení agresivních prostředí nejmenší odolnost nátěru proti oddělení od podkladu.

Po klasifikaci výsledků všech typů nátěrů lze souhrnně jako nejlepší vyhodnotit sady 1Z a 1Z-S.

#### 9.4.4 Odolnost proti vrypu

Každá sada byla zkoušena celkem 8 silami, při kterých byl prováděn vryp do nátěru. U nátěrových systémů docházelo k viditelným změnám až při působení větších sil na povrch nátěru, zejména pak při působení negativních vlivů, kdy bylo za potřebí menší síly potřebné k zanechání vrypu a schopnosti identifikace tohoto vrypu okem. Nejvíce odolné povrchové úpravy se prokázaly 2C, k jejichž porušení bylo potřeba působení síly o velikosti 10 N.

Působení SO<sub>2</sub> na zkušební tělesa výrazně ovlivnilo odolnost povrchové úpravy proti vrypu u všech vzorků. Už při působení síly 4 N bylo lehce viditelné porušení nátěru.

Na základě stanovených výsledků lze konstatovat, že nátěry bez použití teflonových kuliček jako strukturního plniva, vykazovaly větší odolnost proti poškození kovového hrotu než nátěry s plnivem.

#### 9.4.5 Odolnost proti dynamickému zatížení

Pro snížení mechanického porušení vlivem dynamického zatížení, musí nátěr vykazovat nejen tvrdost, ale zároveň schopnost elasticity. Tuto schopnost vzhledem k malé tloušťce do značné míry ovlivňují samotné vlastnosti použitého podkladu. Každý typ nátěru byl podroben působení šesti různým

okamžitým silám a následně na něm byla vyhodnocena míra porušení. Nejméně porušené nátěry měly sady zkušebních vzorků 1Z-S, 2C-S a 3S-S. Na základě naměřených hodnot lze konstatovat, že nátěry se strukturním plnivem vykazovaly lepší elastické vlastnosti a lépe odolávaly dynamickému zatížení.

Zkušební vzorky vystavené působení  $\text{SO}_2$  velmi špatně odolávaly dynamickému zatížení již při výšce závaží 5 cm. Z toho lze usoudit, že působení agresivního  $\text{SO}_2$  na nátěry snižuje jejich elastické vlastnosti (způsobuje křehnutí nátěrové hmoty na bázi makromolekulárních sloučenin) a špatně odolává dynamickému zatížení.

#### 9.4.6 Tloušťka nátěru

Vlivem působení kombinace mrazu a UV záření hodnota celkové tloušťky nátěru klesala u všech vzorků. Nelze však konstatovat jednoznačnou závislost působení agresivních podmínek na tloušťku povrchové úpravy, jelikož se tloušťka nátěru mění v celé jeho ploše a některé odchylky tloušťky nemusí být způsobeny expozičním prostředím, ale mohou pocházet již z výroby. Na výše uvedeném vlivu se rovněž podílí poměrně malá tloušťka nátěrového systému a drobné nerovnosti povrchu cementotřískových desek.

#### 9.4.7 Změna barevného odstínu

Už po vizuální hodnocení jednotlivých vzorků byly viditelné velké barevné změny vzorků, vystavených působení kombinace mrazu a UV záření. Tyto barevné změny byly exaktně stanoveny a posouzeny pomocí reflexního spektrofotometru. Následně byl dle normy vypočten komparační parametr, který definuje změnu barevného odstínu. Číselné určení barevných změn povrchu nátěrů včetně diferencí lesku viditelně korespondovalo s vizuálním posouzením pomocí oka.

Největší difference barevného odstínu vykazovala sada nátěru 3S, kdy už po 400 hodinách působení UV záření byly viditelné barevné odchylky. Působení UV záření v dlouhém časovém rozhraní postupně zvyšovalo i změny komparačního parametru. Nejmenší změny komparačního parametru byly vyhodnoceny u sady těles označené 1Z-S. Naměřené odchylky barevných změn na neočištěné straně vzorku byly výrazně vyšší než na očištěné straně zkušebních těles. To bylo způsobeno tím, že se na neočištěné straně vzorku vyskytovaly nečistoty, které bránily přímému kontaktu reflexního spektrofotometru s povrchem nátěru.

Hodnoty lesku nejvíce ovlivnilo postupné zvyšování doby působení UV záření. Nejvýraznější poklesy byly sledovány na neočištěných stranách vzorků.

Z naměřených výsledků lze říci, že použitím strukturních plniv do nátěrů a očištěním povrchové úpravy se sníží změna barevného odstínu.

## 10 ZÁVĚR

Použití cementotřískových desek se v oblasti stavebního průmyslu značně rozmáhá. Lze je použít například k obložení svislých stěn v interiéru i exteriéru, jako fasádní odvětrávané systémy, jako podlahové desky při sanaci starých dřevěných podlah apod. Cementotřískové desky obsahují organickou bázi, která za přítomnosti změn relativní vlhkosti není rozměrově stabilní. Z tohoto důvodu se používají vhodné povrchové úpravy, které omezují přímé působení agresivních vlivů na desku a prodlužují jejich životnost. V dnešní době není na trhu stavebních materiálů plně vyvinuta nátěrová hmota určena přímo pro strukturovanou povrchovou úpravu cementotřískových desek zajišťující výrazné zlepšení jejich vlastností, jako je rezistence nátěrových systémů vůči působení agresivního prostředí v kombinaci s povětrnostními vlivy.

Na základě zhodnocení teoretických poznatků lze konstatovat, že nejlepší volbou pro povrchovou úpravu desek je vhodná kombinace vodou ředitelných barev, což zahrnuje epoxidové a akrylátové vodou ředitelné nátěrové hmoty.

Záměrem experimentální části bylo navrhnout a ověřit metodiku simulující dlouhodobé testy pro povrchovou úpravu cementotřískových desek, jejichž složení bylo modifikováno primárními i alternativními strukturními plniv, při dosažení zvýšené rezistence vůči nepříznivým klimatickým a chemicky agresivním vlivům, které simulují reálné externí vlivy, jenž desky musí odolávat.

Na základě vyhodnocených výsledků lze konstatovat, že alternativní plniva (PE a PVC) nejsou vhodná pro použití do nátěrových hmot pro povrchové úpravy cementotřískových desek z hlediska dosažení zvýšené trvanlivosti v nepříznivých expozičních podmínkách.

Z tohoto důvodu byly ve druhé části experimentu ověřeny nátěrové systémy s primárními plniv, přičemž nátěrové hmoty byly aplikovány na strojní lince CIDEM Hranice, a.s. Jednalo se o dvě varianty povrchové úpravy, tj. s a bez použití strukturních plniv. Nátěrový systém obsahoval jednu vrstvu na epoxidové bázi, kdy zbylé vrstvy byly tvořeny vodou ředitelné nátěry na bázi akrylátů. Dle navržené metodiky byly cementotřískové desky, ošetřené vyvíjeným nátěrovým systémem, exponovány kombinací několika nepříznivých prostředí působících ve vzájemném sledu tak, jak je obvyklé při reálné expozici desek. Jednalo se o nově navrženou metodiku, která není běžně pro hodnocení trvanlivosti používána. Po expozici byly desky podrobeny laboratornímu testování. Ve všech případech povrchových úprav se objevovaly trhlinky a někdy došlo dokonce až k odloupení nátěru. Velký vliv na hodnocení estetických vlastností měla barva nátěru, kdy po působení UV záření u barevně výrazných nátěrů docházelo ke ztlačnější změně odstínu. Největší vizuální změny po působení kombinace mrazu a UV záření, byly pozorovány na nátěrech 2C a 3S. Nejvíce rezistentní sady, vystavené degradačnímu prostředí,

byly 1Z-S a 2C-S, které obsahovaly v nátěru plnivo (polytetrafluorethylenové částice kulovitého tvaru). Naměřené odchylky barevných změn na neočištěné straně těles byly výrazně vyšší než na očištěné straně zkušebních těles. Pokles lesku jednotlivých nátěrů byl nejvýraznější na neočištěných stranách vzorků a nejvíce byl ovlivňován postupným zvyšováním doby působení UV záření.

Na základě výsledků fyzikálně-mechanických a estetických zkoušek bylo zjištěno, že největší odolnost proti nepříznivým podmínkám vykazují nátěrové hmoty sady zkušebních vzorků 1Z-S, tedy zkušební sada s nátěrovou hmotou se žlutým pigmentem a s použitím strukturního plniva.

Důležitý je poznatek, že pro hodnocení odolnosti nátěrových systémů aplikovaných na cementotřískových deskách se jeví jako nejvíce podstatné analyzování změn barevného odstínu, neboť stanovení ostatních parametrů je značně ovlivněno nejslabším článkem ve zkoumaném souvrství, což je v tomto případě cementotřísková deska. Bylo prokázáno, že během stanovení přilnavosti dochází při dostatečné kvalitě, resp. odolnosti nátěru k poruchám výhradně v cementotřískové desce. Dále je patrné, že stanovené tloušťky a jejich změny jsou určeny spíše výrobním procesem, kdy nelze vždy zcela aplikovat při takto subtilních rozměrech vrstvy nátěrového systému totožné množství nátěrové hmoty dokonale rovnoměrně rozložené v ploše. Rovněž v případě mřížkové zkoušky je evidentní, že byly více ovlivněny povrchové partie desek, než vlastnosti samotného nátěrového systému. Nicméně, přes všechny výše uvedené skutečnosti se sestavený soubor metod (zahrnující základní zkoušky až po analýzy mikrostruktury) jeví jako vhodný a komplexní pro hodnocení parametrů z hlediska trvanlivosti soustavy *cementotřísková deska-nátěrový systém* v nepříznivých a agresivních expozičních podmínkách.

Vzhledem k průběhu chování nátěrů a dosaženým výsledkům po expozici v definovaných nepříznivých podmínkách lze poukázat na vhodnost navržené metodiky akcelerovaných zkoušek, kdy působí bezprostředně po sobě nepříznivé prostředí simulující běžné a agresivní reálné vlivy. Tři prostředí a jejich kombinace, které byly navrženy, velmi dobře simulují nepříznivé podmínky exteriéru. Koncentrace a intenzita, při které byly podmínky v laboratoři nastoleny, výrazně akcelerovala degradační procesy probíhající ve zkoumaných nátěrových systémech, resp. cementotřískových deskách, čímž byl tedy splněn cíl práce. Lze odhadovat, že při dosažení 150 cyklů mrazu a 2400 hod v QUV komoře došlo k laboratorní simulaci intenzity expozice, která může v reálných podmínkách působit po dobu několika let (cca 3-6 let). Přesné určení odpovídající doby expozice v reálných podmínkách je ovšem nutné ověřit vystavením desek s nátěry v reálných podmínkách, což si vyžaduje značnou časovou náročnost a skýtá prostor pro velmi zajímavé téma případného navazujícího výzkumu.

Vývoj samotného nátěrového systému určeného výhradně pro povrchovou úpravu cementotřískových desek poskytuje také obsáhlý prostor

pro navazující studium. Pro případný navazující výzkum lze doporučit například téma předúpravy povrchu před aplikací nátěrových hmot, čímž by mohlo dojít ke zvýšení hutnosti a soudržnosti povrchových partií cementotřískových desek a tak ke zlepšení trvanlivosti celkového systému. Dále by bylo vhodné se v rámci navazujícího výzkumu zabývat eliminací drobných poruch (zeména trhlinek) vznikajících již při zrání nátěrů, především pak při použití strukturních plniv, čímž by mohlo dojít k lepšímu uzavření povrchu desek a tím pak omezení schopnosti průniku agresivních látek do desky, což by mohlo ještě výrazně zlepšit jejich trvanlivost.

---

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1.] **VÖRÖŠOVÁ, S.** *Nátěry pro cementotřískové desky určené do nepříznivých expozičních podmínek*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, 2017.
- [2.] **ZRZA, O.** *Ošetření povrchu pro zlepšení odolnosti deskových materiálů s cementovou matricí a organickým plnivem*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, 2016.
- [3.] **BÖHM, M a kol.** *Materiály na bázi dřeva*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012. str. 183. ISBN 978-80-213-2251-6.
- [4.] Aglomerované materiály. *NIS* . [Online] [Citace: 4. Prosinec 2017.] <http://www.n-i-s.cz/cz/aglomerovane-materialy/page/190/>.
- [5.] Vlastnosti desek CETRIS. *CETRIS*. [Online] [Citace: 4. Prosinec 2017.] <http://www.cetris.cz/rady-a-informace/vlastnosti-desek-cetris/>.
- [6.] Desky z cementu a dřeva. *Chatar-chalupar*. [Online] [Citace: 4. Prosinec 2017.] <http://www.chatar-chalupar.cz/desky-z-cementu-a-dreva/>.
- [7.] **HRÁZKÝ, J. a KRÁL, P.** *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. 1. vyd. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004. ISBN 80-7157-751-0.
- [8.] **PYTLÍK, P.** *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. Brno : VUTIUM, 1998. ISBN 80-214-1123-6.
- [9.] **WEISZ, M.** Aglomerované materiály. [Online] Opava: Střední odborné učiliště stavební, 2013. [Citace: 4. Prosinec 2017.] [www.soustop.cz/dumy/Materialy/Agglomerovane\\_materialy.pptx](http://www.soustop.cz/dumy/Materialy/Agglomerovane_materialy.pptx).
- [10.] **REISNER, J. a BÖHM, M.** Desky spojené minerálními pojivky. *Lesnická práce, časopis pro lesnickou vědu a praxi*. [Online] [Citace: 5. Prosinec 2017.] <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-89-2010/lesnicka-prace-c-7-10/desky-pojene-mineralnimi-pojivy>.
- [11.] Podlahové systémy. *CETRIS*. [Online] [Citace: 5. Prosinec 2017.] <http://www.cetris.cz/systemy/podlahove-systemy/>.
- [12.] Střechy. *CETRIS*. [Online] [Citace: 5. Prosinec 2017.] <http://www.cetris.cz/systemy/stresni-systemy/>.
- [13.] Fasády. *CETRIS*. [Online] [Citace: 5. Prosinec 2017.] <http://www.cetris.cz/systemy/fasadni-systemy/>.
- [14.] Protipožární aplikace. *CETRIS*. [Online] [Citace: 5. Prosinec 2017.] <http://www.cetris.cz/systemy/pozarni-systemy/>.
- [15.] Podhledy a sokly. *CETRIS*. [Online] [Citace: 5. Prosinec 2017.] <http://www.cetris.cz/systemy/podhledy-a-sokly/>.
- [16.] Ztracené bednění. *CETRIS*. [Online] [Citace: 5. Prosinec 2017.] <http://www.cetris.cz/systemy/ztracene-bedneni/>.

- [17.] **DUSIL, P.** Životnost povrchové úpravy dřevěných stavebně-truhlářských konstrukcí a dílů. *Jipa*. [Online] 2009. [Citace: 6. Prosinec 2017.] [http://www.jipa.cz/editor/image/download2\\_soubory/zivotnost-povrchove-upravy-drevenych-stavebne-truhlarskych-konstrukci-a-dilu.pdf](http://www.jipa.cz/editor/image/download2_soubory/zivotnost-povrchove-upravy-drevenych-stavebne-truhlarskych-konstrukci-a-dilu.pdf).
- [18.] **DUCHÁČEK, V.** *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití, 2. vyd.* Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [19.] **TULKA, J.** *Povrchové úpravy materiálů.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005. ISBN 80-214-3062-1.
- [20.] **HADÁMEK, L.** Nátěrové hmoty-rozdělení. *Soustop*. [Online] 2013. [Citace: 7. Prosinec 2017.] [www.soustop.cz/dumy/Rozdel/Naterove\\_hmoty\\_rozdeleni.ppt](http://www.soustop.cz/dumy/Rozdel/Naterove_hmoty_rozdeleni.ppt).
- [21.] **LINHARTOVÁ, D.** *Vlastnosti a aplikace vybraných anti-depozitní a anti-graffiti polymerních povlaků.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2009.
- [22.] **SVOBODA, L. a kol.** *Stavební hmoty.* Bratislava : Jaga group, s.r.o., 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [23.] **WEISS, V. a STŘIHAVKOVÁ, E.** *Polymery.* Ústí nad Labem : Univerzita J.E.Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-738-8.
- [24.] Technické listy. *ATRYX, s. r. o.* [Online] 2008. [Citace: 8. Prosinec 2017.] <http://www.atryx.cz/naterove-hmoty/technicke-listy/#17>.
- [25.] Barvy a laky: slovník pro správný výběr nátěrové hmoty. *iReceptář.cz*. [Online] 7. Březen 2012. [Citace: 8. Prosinec 2017.] <http://www.ireceptar.cz/prokutily/postupy-a-navody/barvy-a-laky-slovník-pro-spravny-vyber-naterove-hmoty>.
- [26.] **TESAŘOVÁ, D.** *Povrchové úpravy dřeva.* Praha : Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4715-6.
- [27.] **TESAŘOVÁ, D.** *Nové trendy při dokončování vodou ředitelných nátěrových hmot nové generace.* Brno : Informační bulletin a sborník statí, 2007. ISBN 978-80-7375-0.
- [28.] **KUPČÁKOVÁ, Z. a MILIČ, R.** Výroba nátěrových hmot z pohledu výzkumníka. *Spektra*. [Online] SYNPO, a. s., Pardubice. [Citace: 8. Prosinec 2017.] [http://zdenka.psenickova.sweb.cz/clanek\\_spektra.htm](http://zdenka.psenickova.sweb.cz/clanek_spektra.htm).
- [29.] **McKEEN, L. W.** 5: Pigments, Fillers, and Extenders. *Science direct*. [Online] 2016. [Citace: 9. Prosinec 2017.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323371261000059>.
- [30.] Složení polymerů-přířady. *Publi*. [Online] [Citace: 9. Prosinec 2017.] <https://publi.cz/books/180/05.html>.
- [31.] **DeARMITT, Ch.** Applied Plastics Engineering Handbook (Second Edition), Functional Fillers for Plastics. *ScienceDirect*. [Online] 2017. [Cited: Prosinec 15,



2017.]

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323390408000237>.

[32.] **ECHVERRIA, C., et al.** The effect of microstructure, filler load and surface adhesion of marine. *ScienceDirect*. [Online] April 5, 2017. [Cited: Prosinec 15, 2017.]

<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0959652617307199>.

[33.] **CONRADI, M., et al.** Effect of silica/PVC composite coatings on steel-substrate corrosion protection. *ScienceDirect*. [Online] August 5, 2012. [Cited: Prosinec 15, 2017.]

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/S0300944012001865/1-s2.0-S0300944012001865-main.pdf?\\_tid=ba82737c-e662-11e7-a667-00000aab0f27&acdnat=1513869917\\_3d5c213321afcc569be64a07cf0726f8](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/S0300944012001865/1-s2.0-S0300944012001865-main.pdf?_tid=ba82737c-e662-11e7-a667-00000aab0f27&acdnat=1513869917_3d5c213321afcc569be64a07cf0726f8).

[34.] **PERTHUÉ, A., et al.** Impact of particle size in PE/ATH composites: The relationship between the. *ScienceDirect*. [Online] October 22, 2017. [Cited: Prosinec 15, 2017.]

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/S0300944017303648/1-s2.0-S0300944017303648-main.pdf?\\_tid=c4e959ca-e66c-11e7-abce-00000aab0f27&acdnat=1513874229\\_63d6f996f235325f002b89f5e1dc1bde](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/S0300944017303648/1-s2.0-S0300944017303648-main.pdf?_tid=c4e959ca-e66c-11e7-abce-00000aab0f27&acdnat=1513874229_63d6f996f235325f002b89f5e1dc1bde).

[35.] **KUČEROVÁ, I.** Nátěry oken - historie a současnost. *docplayer*. [Online] [Citace: 9. Prosinec 2017.] [docplayer.cz/19243955-Natery-oken-historie-a-soucasnost-irena-kucerova.html](http://docplayer.cz/19243955-Natery-oken-historie-a-soucasnost-irena-kucerova.html).

[36.] **ROWELL, R. and BONGERS, F.** Role of Moisture in the Failure of Coatings on Wood . *coatings*. [Online] November 27, 2017. [Cited: Prosinec 9, 2017.] [www.mdpi.com/2079-6412/7/12/219](http://www.mdpi.com/2079-6412/7/12/219).

[37.] **SCOTT, G.** *Degradable Polymers: Principles and Applications*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2003.

[38.] **HAMID, S.H., AMIN, M.B. and MAADHAH, A.G.** *Handbook of Polymer Degradation*. New York : Marcel Dekker, 2002.

[39.] **BALÍK, M. a kol.** *Odvlhčování staveb, 2. přepracované vydání*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2011. stránky ISBN 978-80-247-2693-9.

[40.] **neueden, autor.** Degradation of Polymers in Nature. *Dow corning*. [Online] [Citace: 7. Prosinec 2017.] <http://www.dowcorning.com/content/publishedlit/01-1112-01.pdf>.

[41.] **TOCHÁČEK, J. a VRÁTNIČKOVÁ, Z.** Polymer life-time prediction: The role of temperature in UV accelerated ageing of polypropylene and its copolymers. *ScienceDirect*. [Online] 2014. [Citace: 6. Prosinec 2017.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941814000774?via%3Dihub>.

[42.] **neueden, autor.** Sluneční záření a světlo. *Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta*. [Online] [Citace: 6. Prosinec 2017.]

---

[http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_sklad/frvs/hrudova/index\\_soubory/Page593.htm](http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index_soubory/Page593.htm)

[43.] **ZMEŠKAL, O., ČEPPAN, M. a DZIK, P.** Barevné prostory a správa barev. *fche.vut.* [Online] 10 2002.

[http://www.fch.vut.cz/lectures/imagesci/download/stud06\\_rozn02.pdf](http://www.fch.vut.cz/lectures/imagesci/download/stud06_rozn02.pdf).

[44.] **BÖHM, M.** Technologie výroby aglomerovaných materiálů. [Online] 2005. [http://fld.czu.cz/~bohml/aglomerovane\\_materialy.pdf](http://fld.czu.cz/~bohml/aglomerovane_materialy.pdf).

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Objemové procentuální zastoupení složek cementotřískových desek CETRIS [6].....	15
Obrázek 2: Zjednodušené schéma výroby CETRIS desek [5] .....	17
Obrázek 3: Závislost životnosti PP na teplotě zkušební komory při zrychleném testu stárnutí [41] .....	35
Obrázek 4: QUV komora pro urychlené stárnutí materiálů.....	44
Obrázek 5: Vzduchotěsná komora HK 800 pro stanovení odolnosti vůči působení SO <sub>2</sub> (fáze – intenzivní cirkulace, resp. výměna vzduchu v komoře, vysoušení zkušebních těles) .....	45
Obrázek 6: Vzduchotěsná komora HK 800 v průběhu testování odolnosti vůči působení SO <sub>2</sub> (fáze – působení plynu, zvýšené teploty a relativní vlhkosti) .....	45
Obrázek 7: Zkušební sestava pro stanovení přilnavosti nátěru odtrhovou zkouškou .....	47
Obrázek 8: Pomůcky potřebné pro mřížkovou zkoušku .....	49
Obrázek 9: Přístroj P.I.G. 455 pro měření tloušťky nátěru .....	50
Obrázek 10: Zkušební přístroj pro určení odolnosti nátěru proti vrypu .....	51
Obrázek 11: Zkušební sestava pro stanovení odolnosti nátěru proti dynamickému zatížení .....	52
Obrázek 12: Spektrofotometr KONICA MINOLTA CM-600d pro měření barevných změn nátěrových hmot .....	54
Obrázek 13: Optický mikroskop LEICA .....	54
Obrázek 14: Elektronový mikroskop TESCAN .....	54
Obrázek 15: Sada zkušebních sít s PE.....	55
Obrázek 16: Sada zkušebních sít s PVC .....	55
Obrázek 17: Křivka zrnitosti plniva PE .....	56
Obrázek 18: Detailní zobrazení plniva PE.....	57
Obrázek 19: Detail plniva PE .....	57
Obrázek 20: Křivka zrnitosti plniva PVC.....	57
Obrázek 21: Detailní zobrazení plniva PVC .....	58
Obrázek 22: Detail plniva PVC.....	58
Obrázek 23: Příprava nátěrových hmot s PE .....	59
Obrázek 24: Stříkací pistole Extol .....	59
Obrázek 25: Detail nátěru s plnivem vzorku Z3PE.....	59
Obrázek 26: Detail nátěru s plnivem vzorku S3PE.....	59
Obrázek 27: Detail nátěru s plnivem vzorku Z3PV .....	59
Obrázek 28: Detail nátěru s plnivem vzorku S3PV.....	59
Obrázek 29: Poškození nátěrového systému vzorku Z3PV-M50 .....	60
Obrázek 30: Poškození hrany nátěrového systému vzorku Z3PV-M50 .....	60
Obrázek 31: Poškození nátěrového systému vzorku Z3PE-M50 .....	60
Obrázek 32: Poškození hrany nátěrového systému vzorku Z3PE-M50 .....	60

Obrázek 33: Poškození nátěrového systému vzorku S3PV-M50.....	61
Obrázek 34: Poškození hrany nátěrového systému vzorku S3PV-M50.....	61
Obrázek 35: Poškození nátěrového systému vzorku S3PE-M50.....	61
Obrázek 36: Poškození hrany nátěrového systému vzorku S3PE-M50.....	61
Obrázek 37: Souhrnný pohled na vzorky po působení CHRL25.....	62
Obrázek 38: Poškození nátěrového systému vzorku Z3PV-CH25.....	62
Obrázek 39: Poškození hrany nátěrového systému vzorku Z3PV-CH25.....	62
Obrázek 40: Poškození nátěrového systému vzorku Z3PE-CH25.....	62
Obrázek 41: Poškození hrany nátěrového systému vzorku Z3PE-CH25.....	62
Obrázek 42: Poškození nátěrového systému vzorku S3PV-CH25.....	63
Obrázek 43: Poškození hrany nátěrového systému vzorku S3PV-CH25.....	63
Obrázek 44: Poškození nátěrového systému vzorku S3PE-CH25.....	63
Obrázek 45: Poškození hrany nátěrového systému vzorku S3PE-CH25.....	63
Obrázek 46: Souhrnný pohled na vzorky po působení SO <sub>2</sub> .....	64
Obrázek 47: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěrů s alternativními plnivy.....	65
Obrázek 48: Sada reprezentativních zkušebních těles 1Z seřazena zleva od REF po M150, Q24.....	67
Obrázek 49: Sada reprezentativních zkušebních těles 1Z-S seřazena zleva od REF po M150, Q24.....	67
Obrázek 50: Sada reprezentativních zkušebních těles 2C seřazena zleva od REF po M150, Q24.....	67
Obrázek 51: Sada reprezentativních zkušebních těles 2C-S seřazena zleva od REF po M150, Q24.....	67
Obrázek 52: Sada reprezentativních zkušebních těles 3S seřazena zleva od REF po M150, Q24.....	67
Obrázek 53: Sada reprezentativních zkušebních těles 3S-S seřazena zleva od REF po M150, Q24.....	67
Obrázek 54: Detail lícové strany nátěrového systému 1Z-REF.....	68
Obrázek 55: Detail lícové strany nátěrového systému 2C-REF.....	68
Obrázek 56: Detail lícové strany nátěrového systému 1Z po působení M50 a Q08.....	68
Obrázek 57: Detail lícové strany nátěrového systému 1Z-S po působení M50 a Q08.....	68
Obrázek 58: Detail lícové strany nátěrového systému 2C po působení M50 a Q08.....	68
Obrázek 59: Detail lícové strany nátěrového systému 2C-S po působení M50 a Q08.....	68
Obrázek 60: Detail lícové strany nátěrového systému 3S po působení M50 a Q08.....	69
Obrázek 61: Detail lícové strany nátěrového systému 3S-S po působení M50 a Q08.....	69

Obrázek 62: Detail lícové strany nátěrového systému 1Z po působení M125 a Q20 .....	69
Obrázek 63: Detail lícové strany nátěrového systému 1Z-S po působení M125 a Q20 .....	69
Obrázek 64: Detail lícové strany nátěrového systému 2C po působení M125 a Q20 .....	70
Obrázek 65: Detail lícové strany nátěrového systému 2C-S po působení M125 a Q20 .....	70
Obrázek 66: Detail lícové strany nátěrového systému 3S po působení M125 a Q20 .....	70
Obrázek 67: Detail lícové strany nátěrového systému 3S-S po působení M125 a Q20 .....	70
Obrázek 68: Vybraná zkušební tělesa (typ nátěru 1Z, 1Z-S a 2C) po působení 120 cyklů oxidu siřičitého .....	70
Obrázek 69: Detailní zobrazení nátěrového systému 1Z vystaveného SO <sub>2</sub> po 100 cyklech .....	71
Obrázek 70: Detailní zobrazení nátěrového systému 1Z-S vystaveného SO <sub>2</sub> po 110 cyklech .....	71
Obrázek 71: Detailní zobrazení nátěrového systému 2C vystaveného SO <sub>2</sub> po 90 cyklech .....	71
Obrázek 72: Detailní zobrazení nátěrového systému 3S vystaveného SO <sub>2</sub> po 120 cyklech (patrné prorůstání krystalů skrz nátěrový systém) .....	71
Obrázek 73: Srovnání přilnavosti na neočištěné ploše zkušební sady těles 1Z až 3S-S po působení nepříznivých vlivů .....	72
Obrázek 74: Srovnání přilnavosti na očištěné ploše zkušební sady těles 1Z až 3S-S po působení nepříznivých vlivů .....	73
Obrázek 75: Zkušební tělesa zleva 1Z-REF; 1Z-M75,Q12; 1Z-S-REF; 1Z-S-M75,Q12 po provedené odtrhové zkoušce .....	74
Obrázek 76: Vybraná sada 2C-REF; 2C-M75,Q12; 2C-S-REF; 2C-S-M75,Q12 po provedené odtrhové zkoušce .....	74
Obrázek 77: Vybraná sada 3S-REF; 3S-M75,Q12; 3S-REF; 3S-S-M75,Q12 po provedené odtrhové zkoušce .....	74
Obrázek 78: Vyhodnocení mřížkové zkoušky na neočištěné ploše zkušebních těles 1Z až 3S-S v závislosti na prostředí .....	76
Obrázek 79: Vyhodnocení mřížkové zkoušky na očištěné ploše zkušebních těles 1Z až 3S-S v závislosti na prostředí .....	77
Obrázek 80: Příklad porušení nátěru po mřížkové zkoušce vzorku 1Z – REF .	78
Obrázek 81: Příklad porušení nátěru po mřížkové zkoušce vzorku 3S-S – M25,Q04 .....	78
Obrázek 82: Příklad porušení nátěru po mřížkové zkoušce vzorku 2C – M50,Q08 .....	78

Obrázek 83: Příklad porušení nátěru po mřížkové zkoušce vzorku 3S-S – SO2-120.....	78
Obrázek 84: Zobrazení klasifikace míry poškození otisku ve vzorku .....	84
Obrázek 85: Příklady vzniklých otisků po působení dynamického zatížení.....	84
Obrázek 86: Srovnání celkové tloušťky nátěrů neочиštěné lícové plochy 1Z až 3S-S.....	85
Obrázek 87: Srovnání celkové tloušťky nátěrů očištěné lícové plochy 1Z až 3S-S.....	85
Obrázek 88: Řez nátěrem pro zjištění jeho celkové tloušťky s viditelným přechodem mezi základní a finální vrstvou .....	86
Obrázek 89: Ukázka řezu nátěrem pro zjištění celkové tloušťky.....	86
Obrázek 90: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 1Z.....	87
Obrázek 91: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 1Z-S .....	88
Obrázek 92: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 2C .....	88
Obrázek 93: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 2C-S.....	89
Obrázek 94: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 3S.....	90
Obrázek 95: Závislost změny barevného odstínu a lesku na prostředí u nátěru 3S-S.....	91
Obrázek 96: Závislost změny barevného odstínu a lesku na působení SO <sub>2</sub> u nátěru 1Z a 1Z-S.....	91
Obrázek 97: Závislost změny barevného odstínu a lesku na působení SO <sub>2</sub> u nátěru 2C a 2C-S .....	92
Obrázek 98: Závislost změny barevného odstínu a lesku na působení SO <sub>2</sub> u nátěru 3S a 3S-S.....	93
Obrázek 99: Mikroskopický snímek vzorku 1Z po M150, Q2400 .....	94
Obrázek 100: Mikroskopický snímek vzorku 1Z-S po M150, Q2400.....	94
Obrázek 101: Mikroskopický snímek vzorku 2C po M150, Q2400 .....	94
Obrázek 102: Mikroskopický snímek vzorku 2C-S po M150, Q2400 .....	94
Obrázek 103: Mikroskopický snímek vzorku 3S po M150, Q2400 .....	94
Obrázek 104: Mikroskopický snímek vzorku 3S-S po M150, Q2400.....	94
Obrázek 105: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 1Z po M150, Q2400 .....	95
Obrázek 106: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 1Z-S po M150, Q2400.....	95
Obrázek 107: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 2C po M150, Q2400 .....	95
Obrázek 108: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 2C-S po M150, Q2400 .....	95
Obrázek 109: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 3S po M150, Q2400 .....	95
Obrázek 110: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 3S-S po M150, Q2400 .....	95
Obrázek 111: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 1Z po SO2-120.....	96

<i>Obrázek 112: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 1Z-S po SO2-120.....</i>	<i>96</i>
<i>Obrázek 113: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 2C po SO2-120.....</i>	<i>96</i>
<i>Obrázek 114: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 2C-S po SO2-120.....</i>	<i>96</i>
<i>Obrázek 115: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 3S po SO2-120.....</i>	<i>96</i>
<i>Obrázek 116: Mikroskopický snímek (SEM) vzorku 3S-S po SO2-120.....</i>	<i>96</i>

---

## 13 SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Přehled navržených typů nátěrových systémů a specifikace jejich složení vč. uvedení prostřední, v němž byl nátěr testován.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 2: Typy porušení ploch dle ČSN EN 1542.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 3: Klasifikace nátěru s mřížkou dle ČSN EN ISO 2409:2013.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 4: Klasifikace míry porušení nátěru po vrypu.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 5: Klasifikace míry porušení nátěru po dynamickém zatížení.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 6: Klasifikace odchylky barevného odstínu <math>\Delta E_{CMC}</math> [43].....</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 7: Síťový rozbor plniva PE.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 8: Síťový rozbor plniva PVC.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 9: Označení expozičních prostředí dle expoziční doby.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka 10: Klasifikace odolnosti proti oddělení jednotlivých typů nátěrů od podkladu, neočištěná plocha.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 11: Klasifikace odolnosti proti oddělení jednotlivých typů nátěrů od podkladu, očištěná plocha.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 12: Vyhodnocení odolnosti proti vrypu nátěrů na neočištěné ploše zkušebního tělesa.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabulka 13: Vyhodnocení odolnosti proti vrypu nátěrů na očištěné ploše zkušebního tělesa.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka 14: Vyhodnocení odolnosti nátěrů na neočištěné lícové ploše proti dynamickému zatížení.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabulka 15: Vyhodnocení odolnosti nátěrů na očištěné lícové ploše proti dynamickému zatížení.....</i>	<i>83</i>