

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2019

**Bc. MIROSLAV
SLOVINEC**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

VLIV Mg ČÁSTIC V MATRICI ORGANICKÝCH NÁTĚROVÝCH
HMOT NA ABRAZIVNÍ ODOLNOST POVLAKŮ

THE INFLUENCE OF Mg PARTICLES IN THE MATRIX OF
ORGANIC PAINTS ON THE ABRASION RESISTANCE OF COATINGS

AUTOR: Bc. Miroslav SLOVINEC

STUDIJNÍ PROGRAM: Strojní inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jan KUDLÁČEK, Ph.D.

PRAHA 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Slovinec** Jméno: **Miroslav** Osobní číslo: **437122**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Vliv Mg částic v matrici organických nátěrových hmot na abrazivní odolnost povlaků

Název diplomové práce anglicky:

The influence of Mg particles in the matrix of organic paints on the abrasion resistance of coatings

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor problematiky organických nátěrových hmot
2. Otěruvzdorné nátěrové hmoty
3. Experimentální ověření abrazivních a ochranných vlastností organických povlaků s Mg částicemi
4. Technicko-ekonomické hodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Michal Zoubek, ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **05.08.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2019**


Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

2.5.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci „Vliv Mg částic v matrici organických nátěrových hmot na otěruvzdornost povlaků“ jsem vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/200 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 5. 8. 2019

.....

Miroslav Slovinec

Poděkování

Děkuju vedoucímu své diplomové práce Ing. Janovi Kudláčkovi, Ph.D. za odborné vedení a rady při psaní této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalovi Zoubkovi za cenné rady při přípravě, aplikaci a zkoušení nátěrových hmot. Děkuju firmě Viton a Hempel za poskytnutí nátěrových hmot pro zkoušení a Ing. Valdemarovi Neišlovi ze společnosti Olympus IMS za pomoc při tvorbě snímků konfokálním mikroskopem.

Tato práce byla vypracována na základě podpory centra kompetence CVPÚ (Centrum výzkumu povrchových úprav – TE02000011) za finanční spoluúčasti TA ČR.

Ústav strojírenské technologie

Program: Strojní inženýrství

Obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Název diplomové práce: Vliv Mg částic v matrici organických nátěrových hmot na otěruvzdornost povlaků

Autor bakalářské práce: Bc. Miroslav Slovinec

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Michal Zoubek

Rozsah diplomové práce: Počet stran: 132
Počet obrázků: 83
Počet grafů: 2
Počet tabulek: 70
Počet příloh: 9

Anotace

Tato práce se zabývá problematikou otěruvzdorných nátěrových hmot a vlivu hořčíkových částic na jejich otěruvzdorné vlastnosti. Cílem práce je porovnání vlastností Mg pigmentovaných a konvenčních nátěrových systémů. Experiment se skládá z korozních zkoušek, zkoušek přilnavosti před a po expozici v umělých atmosférách a zkoušek otěruvzdornosti.

Klíčová slova

Nátěrová hmota, otěruvzdornost, hořčík, pigment, korozní ochrana, korozní zkoušky, zkoušky přilnavosti, Taber abraser

Annotation

This thesis concerns itself with the issue of abrasion resistant paints and the influence of Mg particles in the matrix of organic paints on its abrasion resistance properties. The aim of this thesis is comparison of Mg pigmented paints abrasion resistance properties with conventionally used abrasion resistant paints. The experiment consists of corrosion tests in simulated atmospheres, adhesion tests prior and after exposure in simulated atmospheres and abrasion resistance tests.

Key words

Paint, abrasion resistance, magnesium, pigment, corrosion protection, corrosion testing, adhesion testing, Taber abraser

Obsah

1. Úvod.....	10
1.1. Koroze	10
1.2. Agresivita prostředí	13
1.2.1. Doba ovlhčení	14
1.2.2. Rychlost koroze r_{corr}	15
1.3. Urychlené korozní zkoušky v umělých atmosférách	16
1.3.1. Zkouška v solné mlze	16
1.3.2. Kondenzační zkouška odolnosti proti vlhkosti	18
1.3.3. Machu test.....	20
1.4. Hodnocení korozního poškození povlaků po ukončení korozních zkoušek v umělých atmosférách	21
1.4.1. Hodnocení stupně puchýřkování	21
1.4.2. Hodnocení stupně prorezavění.....	21
1.4.3. Hodnocení delaminace a koroze v okolí řezu.....	22
2. Organické nátěrové hmoty	23
2.1. Složení organických nátěrových hmot	24
2.2. Pojiva.....	24
2.3. Pigmenty	27
2.3.1. Anorganické pigmenty.....	28
Anorganické pigmenty bílé.....	30
Anorganické pigmenty pestré	30
Antikorozní pigmenty	32
2.3.2. Hořčík	32
2.3.3. Parametry systému pigment – pojivo.....	33
2.4. Plniva.....	35
2.5. Rozpouštědla, ředidla	36
2.6. Aditiva.....	38
2.7. Návrh ochranných nátěrových systémů	38
2.8. Zkoušky přilnavosti nátěrových hmot.....	40
2.8.1. Odtrhová zkouška přilnavosti	40
2.8.2. Mřížková zkouška přilnavosti.....	41
2.8.3. Zkouška přilnavosti křížovým řezem	42

3.	Otěruvzdorné povlaky.....	43
3.1.	Mechanismus abrazivního opotřebení.....	43
3.2.	Otěruvzdorné nátěrové hmoty.....	45
3.2.1.	AkzoNobel 23T3.....	46
3.2.2.	AkzoNobel 24T3.....	46
3.2.3.	Surface Technology Armourcote 5180.....	47
3.2.4.	Surface Technology Armourcote 4141.....	47
3.2.5.	Surface Technology Armourcote 4580.....	48
3.2.6.	Viton PE 73.....	48
3.2.7.	Viton CP 05.....	49
3.2.8.	Hempel Hempadur Multi-strength GF 35870.....	49
3.2.9.	Hempel Hempadur Multi-strength 45753.....	50
3.3.	Metoda zkoušení otěruvzdornosti povlaků na přístroji Taber Abraser.....	50
3.3.1.	Metody hodnocení otěruvzdornosti zkoušky na přístroji Taber Abraser .	51
3.4.	Metody hodnocení úbytku tloušťky po zkoušce otěruvzdornosti na přístroji Taber Abraser	52
3.4.1.	Hodnocení suché tloušťky povlaku zařízením Elcometer 121/4 P.I.G.....	52
3.4.2.	Měření úbytku tloušťky na konfokálním mikroskopu	53
4.	Experimentální část.....	54
4.1.	Příprava vzorků	55
4.2.	Nátěrové systémy a metody jejich aplikace	56
4.3.	Hodnocení urychlených korozních zkoušek v umělých atmosférách	63
4.3.1.	Zkouška v neutrální solné mlze	63
4.3.2.	Kondenzační zkouška	71
4.3.3.	Machu test.....	75
4.3.4.	Vyhodnocení urychlených korozních zkoušek	77
4.4.	Hodnocení přilnavosti před a po zkouškách v korozních atmosférách.....	78
4.4.1.	Odrhová zkouška přilnavosti před a po expozici.....	79
4.4.2.	Hodnocení přilnavosti před a po expozici – mřížková zkouška, zkouška křížovým řezem	87
4.5.	Hodnocení otěruvzdornosti zkouškou Taber abraser.....	90
4.5.1.	Hodnocení úbytku tloušťky	94
4.5.2.	Hodnocení hmotnostního úbytku.....	96

4.5.3. Hodnocení otěruvzdornosti Mg pigmentovaných nátěrových hmot při vyšším zatížení.....	97
4.5.4. Hodnocení úbytku tloušťky na konfokálním mikroskopu	99
5. Technicko-ekonomické zhodnocení	114
5.1. Vícekriteriální porovnání	116
6. Závěr	118
7. Literatura.....	120
8. Seznam obrázků.....	124
9. Seznam tabulek	127
10. Seznam zkratk	130
11. Seznam jednotek	130
12. Seznam příloh (přiložené DVD)	132

1. Úvod

Touha po technologickém pokroku a posunu lidských možností klade nemalé požadavky na vývoj nových perspektivnějších materiálů, strojů a výrobních technologií. Ačkoli lze rozvoj nových, modernějších, jak kovových, tak nekovových materiálů považovat za rychlý, možnosti jejich aplikace jsou značně omezené. To je dáno náročností jejich výroby, dostupností, možnostmi masové produkce, ale hlavně jejich cenou. Proto dodnes zůstává nejužívanějším materiálem ve stavebnictví a strojírenství ocel.

Během posledních 50 let proběhl významný rozvoj v oblasti oceli. Existuje široká škála tříd ocelí se specifickými mechanickými, fyzikálními a technologickými vlastnostmi vhodnými pro užití v dané sféře technologické aplikace. Ocel, jako ostatně všechny materiály, časem degraduje. Vystavením vnějším i provozním podmínkám postupně dochází ke zhoršování její užitných vlastností, až nakonec nastane její úplné znehodnocení. Jednou z nejrozšířenějších metod ochrany materiálů je povrchová úprava.

Základní funkcí povrchové úpravy je ochrana povrchu materiálu před atmosférickými vlivy. Ocel se řadí mezi reaktivní kovy, které za přítomnosti vlhkosti, CO₂, chloridů a jiných agresivních látek podléhají korozi.

1.1. Koroze

Koroze je obecně definována jako nevratný proces znehodnocení materiálu působením vnějších vlivů. Běžným procesem tvorby korozních produktů je oxidace, tj. odevzdávání elektronů kovu prostředí za vzniku oxidických vrstev znehodnoceného materiálu – korozních produktů. V některých případech je tvorba těchto vrstev na povrchu žádoucí, jelikož slouží jako tvrdá, nepropustná vrstva oxidů kovu, která následně chrání materiál před další degradací. Toto platí například pro hliník, kde dojde k vytvoření tenké vrstvy (do 1 μm) oxidu hlinitého Al₂O₃, nebo i mědi – měděnka.

Koroze je v literatuře a normě ČSN EN ISO 8044 dělena dle typu korozního děje, typu napadení, korozního prostředí a typu namáhání, které podporuje vznik koroze.

- Vodivosti prostředí:
 - Elektrochemická koroze – Také definovaná jako koroze ve vodivém prostředí. Základními prvky elektrochemické koroze jsou oxidační a redukční reakce. Oxidační reakci lze definovat jako anodickou, kdy dochází k oxidaci kovu a tvorbě korozních produktů. Při redukční reakci dochází ke katodické redukci složek korozního prostředí. Podstatou elektrochemického korozního děje je spotřeba elektronů uvolněných při anodické reakci katodickou reakcí.
 - Chemická koroze – Nebo také koroze v elektricky nevodivém prostředí. Obecně probíhá reakcí materiálu s oxidujícími nebo redukčními plyny. Koroze v prostředí oxidujících plynech (kyslík, oxid uhličitý, ...) vzniká zejména za vyšších teplot. Průvodním jevem je tvorba korozních produktů na povrchu materiálu. Reakce kovu s redukčními plyny má obecně difuzní charakter. Při korozní reakci s redukčními plyny nedochází k vzniku korozních produktů na povrchu materiálu.
- Druh prostředí:
 - Atmosférická koroze – Korozní prostředí tvoří zemská atmosféra při teplotě prostředí. Základním faktorem vzniku atmosférické koroze je vytvoření vrstvičky elektrolytického roztoku na povrchu materiálu. Toto je dáno vlhkostí prostředí a cyklického dosažení rosného bodu. Důležitou roli sehrávají také nečistoty obsažené v prostředí, zejména SO₂, NaCl a CO₂, které jsou vedlejším produktem průmyslové výroby. Dalším prvkem ovlivňujícím tvorbu atmosférické koroze je kyslík.
 - Koroze v plynech – Korozní prostředí tvoří suchý plyn bez kapalné fáze na povrchu materiálu. Tento korozní proces má vzhledem k nevodivosti prostředí chemický charakter. Základními faktory tvorby korozních produktů jsou obsah kyslíku v prostředí, teplota a tlak plynu. Významným zástupcem plynné koroze za vysokých teplot jsou okuje.
 - Půdní koroze – Korozní prostředí tvoří půda, ve které jsou obsaženy jak tuhé, tak kapalné a plynné fáze. Lze proto tvrdit, že se jedná o korozi v elektrolytickém roztoku. Elektrolyt je tvořen půdní vlhkostí,

ve které jsou obsaženy chloridy, uhličitany, sírany ale i rozpuštěné plyny. Významným faktorem jsou také plyny, a to kyslík, dusík a CO_2 .

- Korozní děj v kapalinách – Nejrozšířenější korozní děj probíhající v kapalném elektrolytickém prostředí. Hlavním parametrem vzniku a rychlosti korozního děje v kapalinách je obsah kyslíku. Dalšími faktory jsou nečistoty obsažené v elektrolytu, jako například soli, kaly a plyny. Korozní děj v kapalinách může být i důsledkem neelektrochemických dějů. Za tyto můžeme považovat chemické reakce, napadení mikroorganismy, kavitace a jiné.
- Výskyt korozního děje:
 - Nerovnoměrná korozní děje – Vzniká na oddělených místech povrchu materiálu v důsledku jiného lokálního složení materiálu nebo jiného charakteru korozního prostředí.
 - Bodová korozní děje – Vznik lokálních korozních napadení do hloubky materiálu. Tento typ korozního děje je typický zejména v místech porušené pasivační vrstvy.
 - Rovnoměrná korozní děje – Korozní produkty vznikají souběžně na celém povrchu materiálu. Vzhledem k rovnoměrnosti korozního napadení možno určit rychlost korozního úbytku.
 - Mezikrystalová korozní děje – Vzniká při vyšší rychlosti korozního děje na hranicích zrn než korozní děje samotných zrn. Při přechodu korozního děje od hranic zrn do zrna dochází k transkrystalické korozní ději. Tyto typy korozního děje jsou vzhledem ke své náročnější detekci významně nebezpečnější.
 - Selektivní korozní děje – Složky slitin korodují dle poměru jejich výskytu ve slitině. Základním parametrem tvorby korozních produktů je chemické složení jednotlivých složek slitiny. V některých prostředích tak může docházet pouze ke korozní ději jedné složky.
- Korozní děje způsobené vnějšími činiteli:
 - Korozní praskání – Lze ho definovat jako proces vzniku mezikrystalické a transkrystalické korozní děje působením napjatosti a korozního prostředí, který má za následek porušení materiálu.

- Korozní únava – Děj, při kterém dochází vlivem cyklického namáhání a tvorby korozních produktů ke snižování meze únavy materiálu.
- Vibrační koroze – Vysoké opotřebení styčných ploch kovových materiálů, které konají vzájemně kmitavý pohyb o malé amplitudě v důsledku tvorby korozních produktů.
- Koroze bludnými proudy – Probíhá v důsledku působení elektrických proudů z elektrických zdrojů kovových zařízení v půdě. [1][2]

1.2. Agresivita prostředí

Základním aspektem návrhu vhodné ochrany materiálů je definice vlivů, kterým bude daná součást nebo konstrukce v provozu vystavena. Ve sféře protikorozní ochrany je nejdůležitějším parametrem při výběru správné povrchové úpravy materiálu stupeň korozní agresivity atmosféry dle ČSN EN ISO 9223 [3].

Tabulka 1 - Stupně korozní agresivity dle ČSN EN ISO 9223 a popis typických prostředí [3]

Stupeň korozní agresivity prostředí	Korozní agresivita	Typ prostředí	
		Vnitřní	Venkovní
C1	Velmi nízká	Vytápěné prostory, nízká relativní vlhkost, nevýznamné znečištění (kanceláře, školy, ...)	Suché/chladné klimatické pásmo, malé znečištění a malá doba ovlhčení (pouště, centrální Arktida/Antarktida)
C2	Nízká	Prostory s měnící se teplotou a relativní vlhkostí, malá kondenzace a znečištění (sklady, ...)	Mírné klimatické pásmo, malé znečištění, krátká doba ovlhčení (venkovní oblasti, pouště, subarktické oblasti, ...)
C3	Střední	Středná četnost kondenzace a znečištění z výrobních procesů (pivovary, mlékárny, prádelny, ...)	Mírné klimatické pásmo se středním znečištěním nebo s určitým vlivem chloridů, subtropické a tropické klimatické pásmo s malým znečištěním (městské oblasti, pobřežní oblasti, ...)

C4	Vysoká	Velká četnost kondenzace a znečištění z výrobních procesů (průmyslové závody, ...)	Mírné klimatické pásmo, vysoké znečištění nebo vysoký vliv chloridů, subtropické a tropické pásmo se středním znečištěním (průmyslové oblasti, pobřežní oblasti bez postřiku slanou vodou, silné působení rozmrazovacích solí, ...)
C5	Velmi vysoká	Velmi vysoká četnost kondenzace a/nebo znečištění z výrobních procesů (doly, jeskyně využívané k průmyslovým účelům, ...)	Mírné a subtropické pásmo s velmi vysokým znečištěním a/nebo významným vlivem chloridů (průmyslové oblasti, pobřežní oblasti, ...)
CX	Extrémní	Téměř neustálá kondenzace, rozsáhlé působení extrémní vlhkosti a/nebo velké znečištění z výrobních procesů (neprovětrané přístřešky v tropických oblastech s vysokou relativní vlhkostí a významným působením vzdušných chloridů a pevných částic podporujících korozi)	Subtropické a tropické pásmo s velmi dlouhou dobou ovlhčení a vysokým znečištěním, doprovodné znečištění výrobních procesů, působení solné mlhy (průmyslové oblasti, pobřežní a příbřežní oblasti)

1.2.1. Doba ovlhčení

Dalším parametrem ovlivňujícím agresivitu prostředí a tím i návrh protikorozní ochrany je doba ovlhčení τ (Time of wetness). Tento parametr je ovlivňován zejména běžnými klimatickými vlivy typickými pro dané klimatické pásmo, jako je déšť, tající sníh, mlha a podobně. Doba ovlhčení je definována jako doba, po kterou je relativní vlhkost vyšší než 80 % a teplota je vyšší než 0 °C. Doba ovlhčení τ je vyjádřena v hodinách za rok [h.a⁻¹]. [3]

Tabulka 2 - Doba ovlhčení dle ČSN EN ISO 9223 [3]

Doba ovlhčení [h.a ⁻¹] 1]	Úroveň	Typické prostředí
$\tau \leq 10$	τ_1	Vnitřní klimatizované prostory
$10 < \tau \leq 250$	τ_2	Vnitřní neklimatizované prostory s výjimkou oblastí s vlhkým klimatem
$250 < \tau \leq 2500$	τ_3	Suché chladné klimatické oblasti a mírné provětrávané oblasti
$2500 < \tau \leq 5500$	τ_4	Všechny klimatické oblasti s výjimkou suchých a chladných, provětrávané přístřešky ve vlhkých oblastech a neprovětrávané přístřešky v mírných oblastech
$5500 < \tau$	τ_5	Oblasti s vlhkým klimatem, neprovětrávané přístřešky ve vlhkých podmínkách

1.2.2. Rychlost koroze r_{corr}

Rychlost koroze r_{corr} nebo také rychlost korozního úbytku udává přibližnou rychlost degradace standardních kovů (uhlíkové oceli, zinku, mědi a hliníku) v prvním roce expozice v prostředí s daným stupněm agresivity (1.2.). Tento parametr sehrává významnou roli zejména při návrhu materiálu konstrukce bez povrchové úpravy, například pro krátkodobé využití. Také je vhodným rozhodovacím parametrem při použití ocelových součástí opatřených katodickou ochranou v podobě povlaku zinku. Dle korozního úbytku zinku lze s přihlédnutím na předpokládanou životnost konstrukce navrhnout vhodnou tloušťku zinkového povlaku, ale také zvážit aplikaci dodatečné bariérové ochrany ve formě nátěrového systému, tedy duplexního systému. [3]

Tabulka 3 - Rychlost koroze r_{corr} po prvním roku expozice dle ČSN EN ISO 9223 [3]

Stupeň korozní agresivity	Rychlost koroze kovů r_{corr}				
	Jednotky	Uhlíková ocel	Zinek	Měď	Hliník
C1	$\text{g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$	$r_{corr} \leq 10$	$r_{corr} \leq 0,7$	$r_{corr} \leq 0,9$	Zanedbatelná
	$\mu\text{m.a}^{-1}$	$r_{corr} \leq 1,3$	$r_{corr} \leq 0,1$	$r_{corr} \leq 0,1$	-
C2	$\text{g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$	$10 < r_{corr} \leq 200$	$0,7 < r_{corr} \leq 5$	$0,9 < r_{corr} \leq 5$	$r_{corr} \leq 0,6$
	$\mu\text{m.a}^{-1}$	$1.3 < r_{corr} \leq 25$	$0,1 < r_{corr} \leq 0,7$	$0,1 < r_{corr} \leq 0,6$	-
C3	$\text{g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$	$200 < r_{corr} \leq 400$	$5 < r_{corr} \leq 15$	$5 < r_{corr} \leq 12$	$0,6 < r_{corr} \leq 2$
	$\mu\text{m.a}^{-1}$	$25 < r_{corr} \leq 50$	$0,7 < r_{corr} \leq 2,1$	$0,6 < r_{corr} \leq 1,3$	-
C4	$\text{g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$	$400 < r_{corr} \leq 650$	$15 < r_{corr} \leq 30$	$12 < r_{corr} \leq 25$	$2 < r_{corr} \leq 5$
	$\mu\text{m.a}^{-1}$	$50 < r_{corr} \leq 80$	$2,1 < r_{corr} \leq 4,2$	$1,3 < r_{corr} \leq 2,8$	-
C5	$\text{g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$	$650 < r_{corr} \leq 1500$	$30 < r_{corr} \leq 60$	$25 < r_{corr} \leq 50$	$5 < r_{corr} \leq 10$
	$\mu\text{m.a}^{-1}$	$80 < r_{corr} \leq 200$	$4,2 < r_{corr} \leq 8,4$	$2,8 < r_{corr} \leq 5,6$	-
C6	$\text{g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$	$1500 < r_{corr} \leq 5500$	$60 < r_{corr} \leq 180$	$50 < r_{corr} \leq 90$	$r_{corr} > 10$
	$\mu\text{m.a}^{-1}$	$200 < r_{corr} \leq 700$	$8,4 < r_{corr} \leq 25$	$5,6 < r_{corr} \leq 10$	-

1.3. Urychlené korozní zkoušky v umělých atmosférách

1.3.1. Zkouška v solné mlze

Zkouška odolnosti při působení solné mlhy se řadí mezi nejběžněji využívané korozní zkoušky pro zjištění korozní odolnosti kovových materiálů bez povlaku, s dočasným ochranným povlakem, popřípadě s trvalým ochranným povlakem. Obecně však nemožno předpokládat přímou korespondenci mezi korozním chováním materiálů testovaných v prostředí solné mlhy a jejich chováním v provozních podmínkách. Podobně není možné na základě výsledků zkoušky v solné mlze porovnání více různých materiálů. Proto je hlavním výstupem této zkoušky hodnocení spojitosti, porozity, popřípadě jiných defektů ochranných povlaků. [4]

Dle zkoušeného materiálu je zavedených několik variant zkoušek v solné mlze. Pro zkoušení kovů, kovových povlaků, konverzních povlaků, anodicky oxidovaných povlaků a organických povlaků na kovech je využívána zkouška v neutrální solné mlze (NSS). Pro zkoušení dekorativních povlaků na bázi měď-nikl-chrom nebo nikl-chrom, popřípadě pro anodicky oxidovaných nebo organických povlaků na hliníku je zavedena zkouška v okyselené solné mlze přidáním ledové kyseliny octové (AASS) nebo zkouška v okyselené solné mlze přidáním ledové kyseliny octové s chloridem měďnatým (CASS). [4]

Dle zkoušeného materiálu je volen počet a tvar zkoušených vzorků. Před začátkem zkoušky musí být všechny vzorky důkladně očištěny vhodným prostředkem nereagujícím s povrchem materiálu. V případě vzorků vyřezávaných z většího kusu je potřebné zamaskovat případné necelistvosti povlaku v okolí řezu dalším povlakem. [4]

Následně jsou vzorky umístěny do zkušební komory tak, aby nebránili proudění mlhy z rozprašovače, aby nebyly ve styku s vnitřním povrchem komory a aby byly nepřetržitě vystaveny působení mlhy. Důležitý je úhel uložených vzorků, který má být v rozmezí 15° až 25° vzhledem ke svislici. Zkušební podmínky jednotlivých zkoušek v solné mlze jsou uvedeny v Tabulce 4. [4]

Tabulka 4 - Parametry zkoušky v solné mlze dle ČSN EN ISO 9227 [4]

Parametry zkušební zkoušky	Neutrální solná mlha (NSS)	Okyselená solná mlha (AASS)	Okyselená solná mlha s chloridem měďnatým (CASS)
Teplota	35 °C ± 2°C	35 °C ± 2°C	50 °C ± 2°C
Průměrná rychlost hromadění rozprašované mlhy z vodorovné sběrné plochy 80 cm ²	1,5 ml.h ⁻¹ ± 0,5 ml.h ⁻¹		
Koncentrace roztoku chloridu sodného (v nahromaděném roztoku)	50 g.l ⁻¹ ± 5 g.l ⁻¹		
pH (v nahromaděném roztoku)	6,5 až 7,2	3,1 až 3,3	3,1 až 3,3

Zkouška probíhá za nepřetržitého rozprašování roztoku. Otevření zkušební komory je přípustné pouze za účelem doplnění zkušební roztoku, kontroly nebo polohování vzorků. Dle zkoušeného materiálu se délka zkoušky pohybuje v hodnotách 2 h, 6 h, 24 h, 48 h, 96 h, 168 h, 240 h, 480 h, 720 h a 1008 h. Po ukončení zkušebního procesu jsou vzorky vyjmuty ze zkušební komory a sušeny na vzduchu po dobu 0,5 až 1 hodiny. Následně jsou opláchnuty tekoucí vodou v teplotou nepřesahující 40 °C a sušeny proudem vzduchu. [4]

Dle prvotních požadavků je zkouška v solné mlze vyhodnocována dle následujících kritérií:

- Vzhled po zkoušce
- Vzhled po odstranění povrchových korozních produktů
- Počet a rozložení korozních produktů
- Doba do prvních příznaků koroze
- Změna hmotnosti
- Mikroskopické změny
- Změna mechanických vlastností [4]

V případě zkoušení povlaků opatřených umělým řezem je dalším vyhodnocovaným parametrem stupeň delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8 (1.4.3.).

1.3.2. Kondenzační zkouška odolnosti proti vlhkosti

Výstupem kondenzační zkoušky je stanovení odolnosti povlaků při nepřetržité nebo střídavé kondenzaci atmosférické vlhkosti na povrchu vzorků s nižší teplotou povrchu, než je teplota nasyceného vzduchu ve zkušební komoře. Tato zkouška probíhá za teploty vzduchu v komoře 40 ± 3 °C. [5]

Dle požadovaných zkušebních podmínek jsou zavedeny tři provedení kondenzační zkoušky a to:

- CH – Kondenzace s konstantní vlhkostí
- AHT – Kondenzace s proměnnou vlhkostí a teplotou vzduchu
- AT – Kondenzace s proměnnou teplotou vzduchu [5]

Pro dosažení relevantních výsledků a reprodukovatelnosti zkoušky je nutné zavedení specifických zkušebních postupů a podmínek, které jsou shrnuty v Tabulce ...

Tabulka 5 - Parametry kondenzační zkoušky dle ČSN EN ISO 6270-2 [5]

Zkušební prostředí		Délka cyklu		Podmínky v komoře po dosažení rovnováhy		
Typ	Kód	Doba zkoušky	Celkem	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	
Kondenzační prostředí s konstantní vlhkostí		CH	Od zahřátí do ukončení expozice	$(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$	Přibližně 100 % s kondenzací na zkušebních vzorcích	
Měnicí se kondenzační prostředí	S měnicí se vlhkostí a teplotou vzduchu	AHT	8 h včetně zahřátí	24 h	$(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$	Přibližně 100 % s kondenzací na zkušebních vzorcích
			16 h včetně zachlazení (klimatická komora otevřena nebo odvětrávána)		$18 ^\circ\text{C}$ až $28 ^\circ\text{C}$	Bližící se okolí
	S měnicí se teplotou vzduchu	AT	8 h včetně zahřátí	24 h	$(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$	Přibližně 100 % s kondenzací na zkušebních vzorcích
			16 h včetně zachlazení (klimatická komora zavřena)		$18 ^\circ\text{C}$ až $28 ^\circ\text{C}$	Přibližně 100 % (= nasycená)

Zkoušené vzorky jsou na začátku zkoušky vloženy do kondenzační komory se zásobníkem demineralizované vody s hloubkou minimálně 10 mm a teplotou vody maximálně $60 ^\circ\text{C}$. Podobně jako u zkoušky solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227 (1.3.1.) je důležité umístění a orientace vzorků ve zkušební komoře. Požadavky na umístění zkoušených vzorků jsou definovány následovně:

- Úhel minimálně 60° vzhledem k horizontální rovině
- Vzorky se nesmí dotýkat

- Vzdálenost od stěny komory minimálně 100 mm
- Vzdálenost od hladiny vody minimálně 200 mm
- Vzdálenost mezi sousedícímu vzorky minimálně 20 mm [5]

Dále je potřebné zamezit skapávání zkondenzované vody z povrchu komory nebo jiných vzorků na povrch vzorků a zabezpečení rovnoměrné kondenzace na všech vzorcích. Zkouška je ukončena po uplynutí stanovené doby zkoušení nebo po dosažení stanoveného znehodnocení povlaku. [5]

1.3.3. Machu test

Machu test je metoda hodnocení korozní odolnosti zejména práškových nátěrových hmot definována specifikací Qualicoat. Základní myšlenkou zavedení této zkoušky je simulování zkoušky v solné mlze (1.3.1) v až dvacetinásobně kratším časovém období. Při zkoušení vzorků metodou Machu test by mělo být během 24 hodin dosaženo podobných výsledků jako po 500 hodinách zkoušení v prostředí solné mlhy. [6][7][8]

Příprava a testování vzorků spočívá ve vytvoření umělého řezu ve tvaru písmene X na testovaném povlaku nožem s tloušťkou čepele 1 mm a jejich úplného ponoření do plastové nádoby se zkušebním roztokem. Jelikož se jedná o zkoušku za zvýšené teploty je uzavřená plastová nádoba se vzorky a zkušebním roztokem umístěna do další nádoby s ohřívanou vodou pro dosažení definovaných zkušebních podmínek. Složení zkušebního roztoku a zkušební podmínky jsou uvedeny v Tabulce 6.[6][7][8]

Tabulka 6 - Zkušební podmínky a složení lázně korozní zkoušky Machu test [7][8]

NaCl	$50 \pm 1 \text{ g.l}^{-1}$
CH ₃ COOH	$10 \pm 1 \text{ ml.l}^{-1}$
H ₂ O ₂ (30%)	$5 \pm 1 \text{ ml.l}^{-1}$
Teplota	$37 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Doba testu	$48 \pm 0,5 \text{ hod}$
pH roztoku	3,0 – 3,3

Po 24 hodinách expozice je přidáno dalších $5 \pm 1 \text{ ml.l}^{-1}$ H₂O₂ (30%). V případě potřeby je hodnota pH upravena přidáním hydroxidu sodného. [7][8]

Po uplynutí zkušební doby musí být všechny vzorky důkladně opláchnuty a vysušeny. Vyhodnocovacím parametrem je ztráta přilnavosti nátěru v okolí umělého řezu. Hodnocení je provedeno postupným odlupováním uvolněného povlaku pomocí vhodného nože (Stanley). Ve specifikaci Qualicoat je definovaný počet tří zkoušených vzorků. Za vyhovující výsledek Machu testu je považována delaminace v rozsahu maximálně 0,5 mm na každá straně řezu. Výsledky testu jsou následně vyhodnocovány následovně: [6]

- A. 3 vyhovující vzorky = 0 nevyhovujících vzorků
- B. 2 vyhovující vzorky = 1 nevyhovující vzorek
- C. 1 vyhovující vzorek = 2 nevyhovující vzorky
- D. 0 vyhovujících vzorků = 3 nevyhovující vzorky [6]

Tabulka 7 - Hodnocení výsledků korozní zkoušky Machu test [6]

Výsledek zkoušky	Hodnocení
A	Vyhovující
B	Vyhovující
C	Nevyhovující
D	Nevyhovující

1.4. Hodnocení korozního poškození povlaků po ukončení korozních zkoušek v umělých atmosférách

1.4.1. Hodnocení stupně puchýřkování

Jedním z parametrů vyhodnocovaných po kondenzační zkoušce dle ČSN EN ISO 6270-2 (1.3.2.) je stupeň puchýřkování. Hodnocení stupně puchýřkování probíhá porovnáním povrchu vzorků po ukončení zkoušky se standardními obrázky uvedenými v normě ČSN EN ISO 4628-2. Tyto obrázky definují 4 stupně pro hustotu puchýřků na povrchu vzorku a 4 stupně pro velikost těchto puchýřků. [9]

1.4.2. Hodnocení stupně prorezavění

Stupeň prorezavění (Ri) je definován jako viditelná koroze pronikající na povrch povlaku a viditelné podkorodování. Hodnocení stupně podkorodování probíhá

porovnáním se standardními obrázky uvedenými v normě ČSN EN ISO 4628-3. Hodnoty stupňů prorezavění jsou uvedeny v Tabulce 8. [10]

Tabulka 8 - Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3 [10]

Stupeň prorezavění	Zkorodovaná oblast [%]
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 ž 50

1.4.3. Hodnocení delaminace a koroze v okolí řezu

Po ukončení korozních zkoušek vzorků s umělým řezem, popřípadě jiným umělým defektem je vyhodnocováním parametrem stupeň delaminace a stupeň koroze. Stupeň delaminace je potřebné vyhodnocovat ihned po vyjmutí vzorku ze zkušebního prostředí, pokud není stanoveno jinak. Hodnocení stupně delaminace spočívá v oddělování uvolněného nátěru v okolí řezu od podkladu nožem. Posouzení stupně koroze je provedeno po vyhodnocení stupně delaminace a po sejmutí nátěru v okolí umělého defektu vhodným nechanickým nebo chemickým prostředkem. [11]

Samotné hodnocení stupňů delaminace a koroze je v normě definováno dvěma způsoby. První je vyhodnocení výpočtem a druhý je porovnání se standardizovanými obrázky.[11]

Stanovení delaminace výpočtem:

$$d_1 = \frac{a+b+c+d+e+f}{6} \quad (1)$$

$$d = \frac{d_1 - w}{2} \quad (2)$$

kde

d_1 – průměrná celková šířka oblasti delaminace v milimetrech;

w – šířka původního řezu nebo jiného umělého defektu v milimetrech;

a, b, c, d, e, f – výsledky jednotlivých měření delaminace. [11]

Stanovení koroze výpočtem:

$$w_c = \frac{a+b+c+d+e+f}{6} \quad (3)$$

$$c = \frac{w_c - w}{2} \quad (4)$$

kde

w_c – průměrná celková šířka oblasti koroze v milimetrech;

w – šířka původního řezu nebo jiného umělého defektu v milimetrech;

a, b, c, d, e, f – výsledky jednotlivých měření koroze. [11]

2. Organické nátěrové hmoty

Organické nátěry se řadí mezi nejběžnější metody povrchové úpravy materiálů. Jejich základní funkcí je bariérová ochrana základního materiálu, tedy vytvoření překážky mezi základním materiálem a okolním prostředím. Tato bariéra následně zamezuje přístupu vody, kyslíku, iontů, popřípadě jiných agresivních látek k povrchu materiálu. Dále slouží k zamezení vodivého spojení základního kovu s elektrolytem nebo jiným kovem, čím je zabráněno tvorbě galvanického článku u montovaných konstrukcí. Existuje široké spektrum materiálů, na které jsou aplikovány organické nátěrové hmoty z funkčních, ochranných nebo i dekorativních důvodů. Nejběžnějšími jsou kovy, dřevo a stěny budov. V řadě případů, zejména při aplikaci v korozně vysoce agresivních prostředích jsou využívány kombinace nátěrových hmot s kovovými povlaky, zejména zinkovými. Tyto systémy nazýváme duplexní. Jejich výhodou je jak bariérová ochrana nátěrovou hmotou, tak katodická ochrana zinkovým povlakem. [12][13]

Nátěrovými hmotami lze obecně nazvat všechny hmoty nanášené na podklad vhodnou technikou, které následně vytváří souvislý ochranný, funkční nebo dekorativní film. K dispozici je dnes rozmanitý sortiment nátěrových hmot z hlediska vzhledu, účelu použití nebo pořadí v nátěrovém systému. [13]

- Dělení dle charakteristických vlastností:
 - Transparentní nátěrové hmoty – laky – vytvářející průhledný film
 - Pigmentované nátěrové hmoty – barvy – vytvářející neprůhledný film
- Dělení dle účelu použití:
 - Vnitřní – dekorace vnitřních prostor budov, nábytku

- Venkovní – ochranné nátěry vnějších stěn budov, konstrukcí (odolnost proti povětrnostním vlivům)
- Speciální – navrženy pro specifické aplikace, například odolnost proti agresivním sloučeninám (ropa, kyselina)
- Dělení dle pořadí v nátěrovém systému
 - Napouštěcí – napouštění savých podkladů (dřevo) před aplikací základního nátěru
 - Základní – první vrstva na nenatřeném podkladu
 - Vyrovnávací – tmely – vyrovnání nerovností podkladu
 - Podkladové – mezivrstva mezi základním a vrchním nátěrem
 - Vrchní – poslední vrstva nátěrového systému, zejména dekorativní
 - Maskovací – maskovací účely (vojenská technika) [13][14]

Nátěrové hmoty a jejich jednotlivé přísady jsou míchány a nanášeny buď to v kapalném, nebo tuhém skupenství. Následné vytváření ochranného filmu probíhá buď to chemickým, nebo fyzikálním pochodem.

- Chemické pochody – Vytvrzení nátěru nastává chemickou reakcí nátěru s kyslíkem, popřípadě polyadici, polykondenzací nebo polyadici. Jsou typické pro alkydové, epoxidové, polyuretanové a vypalovací nátěrové hmoty.
- Fyzikální pochody – Vytvrzení nátěru probíhá ztuhnutím předtím roztavené hmoty, nebo odpařením rozpouštědel. Typické pro nitrocelulózoové hmoty, lihové hmoty a hmoty na bázi asfaltů. [13][14]

2.1. Složení organických nátěrových hmot

Faktorem určujícím vlastnosti a funkci organického povlaku je složení nátěrové hmoty. Obecnými složkami nátěrových hmot jsou pojiva, rozpouštědla, plniva, pigmenty případně další aditiva. [16][17]

2.2. Pojiva

Pojiva jsou základní filmotvorné látky nátěrových hmot. Společně s těkavými složkami (rozpouštědla, ředidla) tvoří roztok nazývaný také základní lak, který bez přidání pigmentů tvoří průhledný film. Pojiva a obsah pigmentů mají nejvýznamnější vliv na konečné mechanické vlastnosti povlaku (odolnost, houževnatost, tvrdost) ale i

na vzhledové vlastnosti (lesk). Na ochranné vlastnosti nátěru mají zásadní vliv dva činitele, a to jeho mechanické a fyzikální vlastnosti a také soudržnost mezi filmem a natíraným povrchem. [13][14]

Filmotvorních látek nátěrových hmot existuje široké spektrum. Zejména se jedná o rostlinné oleje a pryskyřice. Přírodní pryskyřice mají dnes ve tvorbě pojiv omezené zastoupení. Využívají se pouze chemické deriváty kalafuny, celulózy nebo rostlinných olejů, a to jako základní surovina pro alkydové pryskyřice. Naopak základní složkou moderních nátěrových hmot jsou syntetické pryskyřice, nejvíce epoxidové, epoxyesterové, polyuretanové, akrylátové, alkydové, silikonové a melaminformaldehydové a močovinoformaldehydové pryskyřice. [13][14]

- Epoxidové pryskyřice – Mají v rámci spektra syntetických pryskyřic nejširší možnosti formulace. V nátěrových hmotách jsou nejčastěji využívány jako nízkomolekulární pryskyřice na bázi dianu, popřípadě bisfenolu A. Významné zastoupení mají zejména v dvousložkových nátěrových hmotách s vysokou chemickou stálostí. [13][14]

Řetězec epoxidových pryskyřic se skládá z reaktivnějších epoxydových skupin a hydroxylových skupin, jejichž reaktivita se využívá během vytvrzovacího procesu. Pro vytvoření nerozpustného makromolekulárního filmu je nutné epoxidové pryskyřice síťovat. Síťování je obecně zabezpečeno přidáním polyaminů. Dle způsobu vytvrzení rozdělujeme epoxidové pryskyřice do následujících skupin:

- Za studena tvrditelné – První složkou nátěrové hmoty je roztok epoxidové pryskyřice s malým množstvím močovinného nebo silikonového kondenzátu a druhou složkou je polyaminové tvrdidlo.
- Vypalovací – Směs epoxidových pryskyřic s 20–30% zastoupením fenolických nebo močovinných pryskyřic s nevysychavými mastnými kyselinami (epoxyestery) a nevysychavými alkydy (močovinné nebo melaminové pryskyřice).
- Na vzduchu schnoucí – Směs epoxidových pryskyřic a kombinace kyselin vysychavých olejů s vysychavými alkydy (silikativy).
- Práškové – Vytvrzení je zabezpečeno přidáním aromatických polyaminů nebo anhydridů kyselin a vypálením při teplotě nad teplotou tání epoxydové pryskyřice (běžně 180 °C).

- Vodou ředitelné – Převedení epoxidové složky i polyaminového tvrdidla do vodné emulze.
- Jednosložkové – Vytvrzení probíhá reakcí polyaminu se vzdušnou vlhkostí, při které se uvolňují ketiminy. Následně dochází k odpařování příslušných ketonů z nátěrového filmu. [13][14]
- Epoxyesterové pryskyřice – Výroba esterifikací hydroxilových skupin epoxidových pryskyřic pomocí kyselin z rostlinných olejů za teplot 200-220 °C. Využívají se zejména u jednosložkových nátěrových hmot zasychajících na vzduchu. Podobně jako u olejů a alkydů síťování zabezpečeno autooxidační reakcí nenasyčených mastných kyselin za katalýzy (sikativace) Co^{2+} . [13][14]
- Polyuretanové pryskyřice – Uretany vznikají během reakce izokyanátů s alkoholy. Konečné vlastnosti dvousložkového polyuretanového nátěru určuje volba izokyanátových a hydroxylových vytvrzovacích složek (polyestery, alkydy s větším obsahem -OH skupin, polyakryláty a další). Existuje tedy široká škála polyuretanových nátěrových hmot s různými vlastnostmi. Všechny se však vyznačují velmi dobrou odolností proti mechanickému namáhání, vodě a chemickou stálostí. [13][14]
- Akrylátové pryskyřice – Moderní pojiva zejména vodou ředitelných nátěrových hmot vyráběné esterifikací kyseliny akrylové a metakrylové. Využití nacházejí taky jako vytvrzovací činidla polyuretanových nátěrových hmot. [13][14]
- Alkydové pryskyřice – Samotná alkydová pryskyřice dnes v nátěrových hmotách není příliš využívána. Je spíše součástí kombinace s jinými filmotvornými složkami nátěrů, a to zejména melaminformaldehydovými nebo močovinoformaldehydovými pryskyřicemi u nátěrů vypalovaných při 120 °C. [13][14]
- Silikonové pryskyřice – Základní surovinou silikonových pryskyřic jsou chlorsilany vznikající reakcí křemíku s metylchloridem. Jejich hydrolyzou vznikají silanoly, které jsou následnou kondenzací převedeny na silikony (polysiloxany). Polysiloxany sehraávají částečnou roli při zesíťování silikonových pryskyřic. Vyznačují se vysokou odolností vůči vysokým teplotám (trvale 260 °C), oxidaci, a elektroizolačními vlastnostmi. Jejich malá přilnavost je kompenzována přidáním alkydů, epoxidů a podobně, čím se však snižuje

odolnost vůči vysokým teplotám. Přidávány jsou výhradně nepolární rozpouštědla, například toluen nebo xylen. [13][14]

- Melaminformaldehydové a močovinoformaldehydové pryskyřice – Pojiva vyráběné kondenzací melaminu nebo močoviny s formaldehydem. Jsou využívány pouze kombinovaně s jinými pojivy, zejména alkydovými pryskyřicemi. Mají pozitivní vliv na mechanické vlastnosti a chemickou odolnost povlaku. [13][14]

2.3. Pigmenty

Ve pojivu nátěrových hmot jsou dispergovány částice (prášky) nerozpustné v pojivech a rozpouštědlech, které nazýváme pigmenty. Pigmenty zastávají v nátěrových hmotách několik funkcí, a to hlavně:

- Určují barevný odstín nátěru – Estetičnost nátěru.
- Krycí schopnost nátěru – Schopnost nátěru zakrýt podkladový materiál při definované tloušťce nátěru.
- Světlostálost – Odolnost vůči změně odstínu nátěru působením UV záření.
- Odolnost vůči povětrnostním vlivům – Souvisí s vlivem pigmentu na celkovou odolnost nátěru. Hlavním parametrem je odolnost samotného pigmentu vůči atmosférickým podmínkám, například jestli nedochází k rozpouštění pigmentu během deště a jeho vymývání z nátěru, které by vedlo k jeho znehodnocení.
- Další – Pigmenty pro specifické použití, například antikorozi pigmenty, ...[14][15]

Dalším parametrem dělení pigmentů je jejich složení, a to:

- Organické
- Anorganické
- Směsné

Organické pigmenty jsou obecně méně používané, zejména pro venkovní konstrukce, jelikož dochází působením slunečního záření k napadnutí organické molekuly a přetržení základních molekulových vazeb, což má za následek znehodnocení pigmentu. Dalším kritériem rozdělení pigmentů je například barevný odstín. [14][15]

2.3.1. Anorganické pigmenty

Pigmenty jsou ve světové výrobě významně zastoupeny. Uplatnění nachází ve výrobě nátěrových hmot, plastů, stavebnictví, papírenském a gumárenském průmyslu, elektrotechnice a mnohých dalších odvětvích. S růstem výroby se zvyšuje také jejich spotřeba a nároky na jejich výrobu. Jelikož zdroje organických pigmentů jsou pro pokrytí této potřeby nedostatečné, přikládá se význam výrobě anorganických pigmentů. Anorganické pigmenty jsou děleny na základě různých parametrů, například na:

- Bílé (nepestré)
 - Kryvé – opakní
 - Nekryvé – neopakní
- Barevné (pestré)
 - Přírodní
 - Syntetické
 - Oxidy kovů
 - Směsné oxidy kovů
 - Ostatní [14][15]

Dalším způsobem klasifikace pigmentů je také jejich funkce, a to buď to krycí (základní pigmenty), nebo speciální funkce, například antikorozi, luminiscenční, nebo lesklé pigmenty. V dnešní době je využíváno široké spektrum anorganických pigmentů. Z praktických důvodů budou v této práci blíže popisovány pouze z hospodářského hlediska nejvýznamnější anorganické pigmenty. [14][15]

Tabulka 9 - Rozdělení anorganických pigmentů [14]

Typ pigmentu		Vlastnosti	Příklad	
Přírodní anorganické pigmenty			Okry, sieny, grafit	
Syntetické anorganické pigmenty	Nepestré pigmenty	Bílé pigmenty	Oxid titaničitý, oxid zinečnatý	
		Černé pigmenty	Saze	
	Pestré pigmenty		Barevný odstín určuje selektivní absorpce světla; rozptyl světla	Oxidy železa kobaltová modř, chromová žluť
	Speciální pigmenty	Keramické a smaltářské pigmenty	Barevný odstín určuje selektivní absorpce světla; rozptyl světla	Spinely, rutily
		Antikoroziní pigmenty	Elektrochemická, chemická nebo fyzikální ochrana základního materiálu	Fosforečnan zinečnatý, zinkový prach, suřík
		Magnetické pigmenty	Informační paměť důsledkem usměrněné magnetizace	Magnetické oxidy železa, kovové pigmenty
		Lesklé pigmenty	Pigmenty s kovovým leskem	Usměrněná reflexe na nasměrovaných kovových ploškách
	Pigmenty s perleťovým		Násobná reflexe na paralelně	Pigmenty z rybí perleti

			leskem	orientovaných lístečcích	
		Luminofory	Fluorescenční	Selektivní světlená absorpce energeticky bohatého UV záření s následnou okamžitou luminiscencí	Sulfidy zinku, případně alkalických zemín dotované ionty těžkých kovů (Cu, Ag, Au, Mn)
			Fosforescenční		

Anorganické pigmenty bílé

- Titanová běloba – Také nazývaná oxid titaničitý. Je nejdominantnějším bílým pigmentem, s výjimkou pigmentů pro speciální použití, ve světové výrobě, zejména nátěrových hmot a plastů. Největším přínosem tohoto pigmentu je jeho vysoká kryvost a vyjasňovací schopnost (barvivost). Známé jsou dva typy titanové běloby, a to anatasová a rutilová. Zejména rutilová titanová běloba je významná svou výbornou vyjasňovací schopností a odolností proti degradaci (žloutnutí, ztrátě lesku, šednutí) za působení povětrnostních vlivů. [14][15]
- Zinková běloba – Je tvořena minimálně 99 % oxidu zinečnatého. Tento pigment je společně s titanovou bělobou nejvíce využívaným, i když je v důsledku vyšších nákladů titanovou bělobou vytlačován z výroby nátěrových hmot. Vyznačuje se zvyšováním tvrdosti nátěru tvorbou zinečnatých mýdel s mastnými kyselinami pojiva. Dále zvyšuje trvanlivost lesku a zpomaluje žloutnutí nátěru. Mezi jeho hlavní aplikace patří gumárenský průmysl. [14][15]

Anorganické pigmenty pestré

- Chromanové pigmenty – V současnosti jsou využívány jako náhrada organických pigmentů, i když se z důvodu jejich toxicity užívání chromanových pigmentů snižuje. Nejvýznamnějšími byly chromanové žlutě, oranžě, červeně a zeleně. [14][15]

- **Železité pigmenty** – Tyto pigmenty synteticky vyráběné ze solí železa, které jsou vedlejším produktem při jiných chemických výrobcích, jsou z chemického hlediska směsí oxidů a hydroxidů, u kterých lze vhodným chemickým složením dosáhnout odstínů žluté, červené, hnědé. Mezi železité pigmenty se řadí také železokyanidová modř. Železité pigmenty se vyznačují dobrými krycími vlastnostmi, barvivostí, odolností proti atmosférickým podmínkám a s výjimkou železokyanidové modře i alkalickým prostředím. [14][15]
- **Saze** – Vyrábějí se z uhlíku vzniklého při nedokonalém spalování organických látek, jako je například zemní plyn nebo odpadní minerální oleje za omezeného přístupu vzduchu. Saze jsou dnes nejvyužívanějším černým pigmentem. [14][15]
- **Kovové bronzy** – Nejvýznamnějším zástupcem je hliníkový bronz. Pro své krycí, a díky své schopnosti uspořádání částic přes sebe v mokřém nátěru, čím je zamezeno pronikání vlhkosti a plynů k základnímu materiálu, i antikorozi vlastnosti, nachází hliníkový bronz široké spektrum aplikací. Patří mezi ně například nádrže v petrochemickém průmyslu, cisterny pohonných hmot, žáruvzdorné průmyslové nátěry dekorativní nátěry, fólie a další. Také je využíván v automobilovém průmyslu na optické efekty karoserie automobilu – metalízu. [14][15]
- **Slitiny mědi** – Barevný odstín těchto pigmentů závisí na obsahu mědi, kdy se se snižujícím je obsahem mědi mění na bledě zlatý, výrazně zlatý až zlatozelený. Případně je možná úprava barevného odstínu různou dobou ohřevu při 120 °C. [14][15]
- **Železitá slída** – Pigment získáván hornickým způsobem ve formě přírodního oxidu železitého. Vyznačuje se svou lístkovou strukturou, díky které získává vysokou odolnost vůči UV záření, vodě, průmyslným plynům a dalším vlivům. Proto je nutné dbát během míchání pigmentu do pojiva na zachování této lístkové struktury. Vhodným nástrojem je proto míchadlo. Dalšími výhodnými vlastnostmi železité slídy jsou odolnost vůči vysokým teplotám, povětrnostním vlivům i alkalickým prostředím. Je však nevhodná pro použití v prostředí kyselin. [14][15]

Antikoroziční pigmenty

- Fosforečnan zinečnatý – V minulosti patřili mezi nejvýznamnější antikoroziční pigmenty suboxid olova a zinková žluť. Vzhledem k jejich toxicitě byl kladen důraz na vývoj alternativních antikorozičních pigmentů, které by byly environmentálně nezávadné. Jednou z takových alternativ je i fosforečnan zinečnatý. Tento pigment, obecně dispergován v alkydové pryskyřici, chlorokaučuku, vinylové pryskyřici nebo jiném pojivu, vytváří rychleschnoucí nátěr s dobrou adhezí jak k podkladovému materiálu, tak i případnému vrchnímu nátěru. Nátěry s pigmentem fosforečnanu zinečnatého jsou však vysoce náchylné v prostředích s vysokou koncentrací NaCl a v kyselých prostředích. Proto jsou tyto nátěry obohacovány o sloučeniny neutralizující kyselé produkty, například zinkovou bělobu nebo vápenec. [14][15]
- Kovový zinek – Nátěrové hmoty pigmentované zinkovým práškem s velikostí částic 3 až 8 μm , nazývané taky „Zinc rich paints“, poskytují podkladovému materiálu jak elektrochemickou (katodickou) tak i bariérovou ochranu. Pro dosažení elektrochemické ochrany je však nutné dostatečnou koncentrací pigmentu vytvořit vodivé spojení částic zinku v nátěru. Obecně je zinkový prach aplikován s řadou pojiv, konkrétně s epoxyestery, epoxidovými, polyuretanovými a polyesterovými pryskyřicemi na otryskaný ocelový povrch. [14][15]

2.3.2. Hořčík

Hořčík má zatím v oblasti povrchových úprav poměrně řídké zastoupení. Proběhlo však již několik výzkumů pro jeho aplikaci v leteckém a kosmonautickém průmyslu, kde je považován za jednu z alternativ protikoroziční ochrany hliníkových součástí, která byla v minulosti zabezpečována povlaky na bázi chromátu. Jelikož je chromát z hlediska životního prostředí závadný, je snaha tento typ povrchové ochrany z průmyslu vyloučit v co nejvyšší míře. [18][19][20]

Hořčíkový pigment, podobně jako zinkový prach, byl navržen jako forma elektrochemické (katodické) ochrany hliníkových součástí. Hořčík se vyznačuje také okamžitou oxidací při vystavení atmosférickému prostředí. Na povrchu částic hořčíku je okamžitě vytvořena vrstva oxidu hořčíku, která zamezuje pohybu iontů a difuzi kyslíku k chráněnému povrchu. [18][19][20]

Pro hořčičkové nátěrové hmoty „Mg rich primers“ patří mezi vhodná pojiva epoxy-polyamidové pryskyřice, popřípadě silikonové pryskyřice. Tyto povlaky se vyznačují dobrými mechanickými vlastnostmi, chemickou odolností a také výbornou přilnavostí k podkladu i případnému vrchnímu nátěru. [18]

2.3.3. Parametry systému pigment – pojivo

Systém pigment pojivo je charakterizován několika parametry, z nichž nejdůležitějším je hodnota objemové koncentrace pigmentu OKP, která definuje vztah objemu pigmentu k celkovému objemu všech netěkavých složek nátěrové hmoty. Je daná vztahem [13][15]

$$OKP = \frac{V_{(P+F)} * 100}{V_{(P+F)} + V_B} \quad (5)$$

Kde $V_{(P+F)}$ [cm³] je objem pigmentu a plniva a V_B [cm³] je objem netěkavých látek pojiva.

Hodnota OKP určuje výsledné vlastnosti nátěrového filmu. Zvyšující se hodnota OKP výrazně ovlivňuje parametry jako lesk, tvrdost, tvorba puchýřků a další. Pro určení meze, při které dochází k prudké změně těchto parametrů, byla zavedena charakteristika kritické objemové koncentrace pigmentu KOKP, která je vypočtena ze známých hodnot spotřeby oleje (olejového čísla) a hustoty pigmentu. Je dána vztahem [13][15]

$$KOKP = \frac{\frac{10000}{\rho}}{\left(\frac{100}{\rho} + \frac{o.č.}{0,93}\right)} \quad (6)$$

Kde ...

Další charakteristikou definující vlastnosti pigmentovaných nátěrových hmot je kvocient Q, který je určen z poměru OKP a KOKP dle vztahu

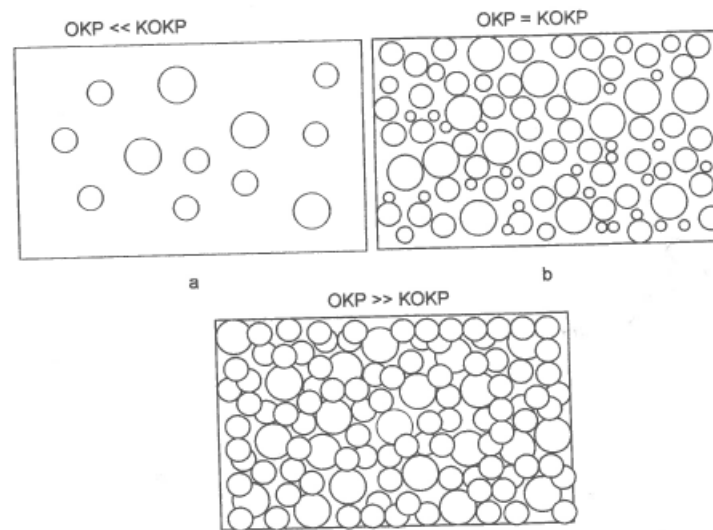
$$Q = \frac{OKP}{KOKP} * 100 [\%] \quad (7)$$

Kvocient Q je významný pro porovnání nátěrových hmot s různými pigmenty a tím i odlišnou hodnotou KOKP. Z experimentálně zjištěných dat vyplývá, že nátěrové hmoty se stejnou hodnotou Q mají také podobné vlastnosti. [15]

Stanovení hodnoty KOKP je závislé na několika předpokladech, a to

- Předpoklad čistě objemového jevu
- Přítomnost všech složek systému ve formulaci nátěrové hmoty
- Dispergace pigmentu v pojivu danou metodou
- Odpaření veškerého rozpouštědla [15]

Ve formulaci nátěrové hmoty je pro z ohledu funkčnosti nátěru nutné brát zřetel na přítomnost dostatečného množství pojiva pro celkové vyplnění prostoru mezi částicemi pigmentu. [15]

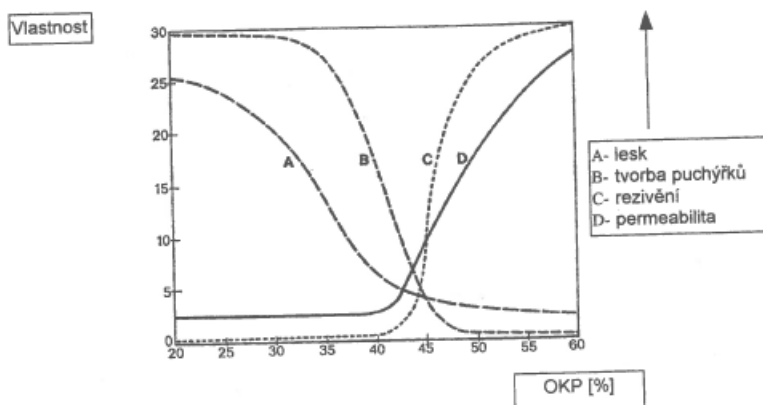


Obrázek 1- Prostorové uspořádání pigmentu při zvyšování OKP nátěrového filmu [15]

A – Nátěr s velkou vzdáleností mezi částicemi pigmentu, který vykazuje vysoký lesk a nepropustnost pro vodní páru.

B – Nátěr s těsným seskupením částic pigmentu a celkovou výplní prostoru mezi částicemi pojivem. Nedochozí ke změně lesku a propustnosti, avšak zvyšuje se tvrdost nátěru.

C – Nátěr s částečně nevyplněným prostorem mezi částicemi pigmentu, co má za následek pokles lesku a zvýšení propustnosti nátěru pro vodní páru. Vzhledem k přístupu vodní páry k povrchu součásti dochází k podrezivění a puchýřkování nátěru. Z důvodu vysoké koncentrace pigmentu se zvyšuje i tvrdost nátěru. [15]



Obrázek 2- Závislost vlastností pigmentovaného nátěrového filmu na OKP [15]

2.4. Plniva

Plniva zastávají ve struktuře nátěrových hmot zesilovací funkci nátěrového filmu. Účelem plniv je dosažení potřebné objemové koncentrace pevných látek a ovlivnění vlastností nátěru. Při návrhu složení nátěrové hmoty závisí volba vhodného plniva od jeho vlastností, které jsou promítnuty i do finálního filmu. Na rozdíl od pigmentů není jejich funkcí úprava barevného odstínu, proto mívají zpravidla světlý odstín a v porovnání s pigmenty i výrazně nižší kryvost. [14][15]

Ve světovém měřítku plniva značně převyšují spotřebu pigmentů. Využívaná anorganická plniva jsou dle původu rozdělována na přírodní a syntetická, vyznačující se vysokou chemickou stálostí. Mezi nejběžnější přírodní plniva patří uhličitan a křemičitan a mezi syntetická například hydroxid hlinitý. [14][15]

- Kaolin – Kaolin, nebo také křemičitan hlinitý, přispívá k usnadnění nanášení nátěrové hmoty v důsledku zgelování (tixotropie), které omezuje stékání nátěrové hmoty po svislém povrchu. Jeho další výhodnou vlastností je i lístková struktura přispívající k vyšší pevnosti filmu a nižší praskavosti.
- Talek – Křemičitan horečnatý obohacený o různé příměsi ovlivňujícími tvar a tvrdost jeho částic, který zabraňuje sedimentaci částic pigmentů v nátěrové hmotě. Také svou vláknitou nebo jehlicovitou strukturou přispívá k vyšší pevnosti a nižší praskavosti nátěru.
- Písek – Písková plniva jsou využívána zejména z dekorativních, nebo zdrsňovacích účelů. Použitím různobarevných částic písku lze dosáhnout

barevných efektů, avšak je nutné zamezit přítomnosti prachu nebo jiného jemného plniva.

- Skla – Dalším plnivem využívaným pro dekorativní účely jsou také skleněné granule, popřípadě syntetická skleněná vlákna. Jejich další funkcí je i mechanické zpevnění povlaku a zakrytí prohlubní v podkladovém materiálu. [14][15]

2.5. Rozpouštědla, ředidla

Základní funkcí rozpouštědel ve složení nátěrových hmot je rozpuštění filmotvorných látek do kapalného skupenství. Toto je důležité zejména z pohledu usnadnění nanášení nátěrových hmot. Nejvýznamnějším a nejrozšířenějším rozpouštědlem je voda. Avšak, velké množství filmotvorných látek je ve vodě nerozpustných. Z tohoto důvodu byly do formulace nátěrových hmot zavedena organická rozpouštědla. I když je snaha o omezení užívání organických rozpouštědel, zejména z environmentálních, ekonomických a hygienických důvodů, jsou v dnešní době součástí téměř všech nátěrových hmot, včetně vodou ředitelných (do 3 %). [14][15]

Jak už bylo řečeno, rozpouštědla slouží pro převedení filmotvorných látek nátěrových hmot do kapalného skupenství, za účelem jejich aplikace. Dá se proto považovat rozpouštědla za nástroj přenosu nátěrové hmoty z jednoho místa na druhé. Po přenesení pozbývá rozpouštědlo svůj význam ve struktuře nátěrové hmoty a je potřebné jeho odstranění z nátěrové hmoty, obecně odpařením během schnutí nátěru. Pro správnou volbu ředidla je důležitých několik technologických parametrů, a to

- Rozpouštěcí síla
- Těkavost
- Stabilita
- Toxicita
- Hořlavost
- Barva [14][15]

Mezi zavedené metody klasifikace rozpouštědel patří rozdělení dle chemického složení (alifatické uhlovodíky, aromatické uhlovodíky, chlorované uhlovodíky, alkoholy, ketony, estery, ...), dle bodu varu rozpouštědla, dle těkavosti (odpařivosti)

nebo polaritě. Dalším důležitým parametrem rozdělení rozpouštědel je jejich vliv na dané filmotvorné látky. Dle tohoto parametru jsou rozpouštědla klasifikována jako

- Prává (aktivní) rozpouštědla – Sama o sobě vykazují schopnost dokonale rozpustit danou filmotvornou látku. Tato rozpouštěcí schopnost je měřena viskozitou rozpuštěného roztoku nátěrové hmoty
- Nepravá (latentní) rozpouštědla – Jelikož nejsou sama o sobě schopná rozpustit danou filmotvornou látku, do nátěrové hmoty jsou přidávány pouze společně s pravým rozpouštědlem. Jejich hlavní funkcí je snížení viskozity nátěrové hmoty – zředění.
- Ředidla – Jsou přidávána do nátěrové hmoty za účelem snížení viskozity na hodnotu potřebnou pro danou metodu aplikace. Jsou to obvykle směsi pravých a nepravých rozpouštědel nezávadných pro konkrétní nátěrovou hmotu. [14][15]

V praxi je potřebný návrh správného rozpouštědla pro konkrétní filmotvornou látku, jelikož jeden typ rozpouštědla může být pro jednu filmotvornou látku aktivní, avšak pro jinou latentní. Z důvodu široké škály rozpouštědel zde budou blíže zmíněny pouze nejvýznamnější rozpouštědla.

- Rozpouštěcí technické benzíny – Rozpouštědla vyráběná z benzínových frakcí destilovaných při 60 až 160 °C. Jsou užívány jako odmašťovadla, rychletěkáva rozpouštědla, popřípadě jako nepravá rozpouštědla nitrocelulóзовých nátěrových hmot.
- Lakový benzín – Vyráběn z ropné frakce destilující za 140 až 200 °C. Je nejširěji využíván jako pravé i nepravé rozpouštědlo při vícevrstvých asfaltových, olejových, nebo syntetických alkydových nátěrových hmotách.
- Toluén – Aromatický uhlovodík využíván zejména jako nepravé rozpouštědlo v nitrocelulóзовých nátěrových hmotách, nebo v silikonových nátěrových hmotách.
- Xylen – Zastává významnou úlohu ve výrobě syntetických alkydových, silikonových, chlorokaučkových a v kombinaci s butanolem epoxidových nátěrových hmot.
- Butylalkohol – Je nazývaný také butanol. Je využíván jako nepravé rozpouštědlo nitrocelulóзовých nátěrových hmot a ve směsích je součástí složení alkydových a epoxidových nátěrových hmot.

- Ketony – Z důvodu jejich vysoké ceny a toxicity bývají dnes uplatňovány jen velmi omezeně.
- Estery – Kvůli své příjemné vůni je přidáván do jiných rozpouštědel za účelem zmírnění zápachu. Mezi hlavní zastupitele esterů patří etylacetát a butylacetát. Oba patří mezi nejvhodnější rozpouštědla nitrocelulóзовých nátěrových hmot. [14][15]

2.6. Aditiva

Běžná formulace nátěrových hmot skládajících se z pojiva, pigmentů, plniv a rozpouštědel není dostatečná pro stále se zvyšující nároky na vlastnosti nátěrů. Proto jsou zpravidla do nátěrových hmot přidávána aditiva. Aditiva jsou do nátěrových hmot přidávána v malých dávkách, obecně do 1 %. Každé aditivum má následně vliv na specifické vlastnosti, například dispergaci a smáčení pigmentů, charakter povrchu nátěru, odolnost vůči povětrnostním vlivům, zamezení napadení mikroorganismy a podobně. Aditiva jsou dle funkce rozděleny do následovných skupin

- Pomocné látky – sušidla, lékařská aditiva
- Zhušťovadla
- Iniciátory, katalyzátory, urychlovače, inhibitory [14][15]

2.7. Návrh ochranných nátěrových systémů

Norma ČSN EN ISO 12 944 specifikuje návrh ochranných nátěrových systémů pro ocelové konstrukce, klasifikaci agresivity prostředí, zásady technologičnosti konstrukce s ohledem na protikorozní ochranu, metody zkoušení nátěrových systémů a další. [21]

Při navrhování vhodného ochranného nátěrového systému pro ocelovou konstrukci jsou nejdůležitější dva parametry – agresivita provozního prostředí a požadovaná životnost konstrukce. Stupně agresivity prostředí jsou už shrnuty v kapitole 1.2. Životnost konstrukce je definována následovně:

- Nízká (low) – do 5 let
- Střední (medium) – 5 až 10 let
- Vysoká (high) – 10 až 15 let
- Velmi vysoká (very high) – 15 a více let

V návaznosti na stanovené pracovní podmínky konstrukce a požadovanou životnost jsou následně navrženy vhodné nátěrové systémy pro otryskaný ocelový, popřípadě galvanicky nebo žárově zinkovaný povrch. V normě ČSN EN ISO 12 944-5 jsou uvedeny následovné parametry nátěrového systému – doporučený počet vrstev, typ pojiva základní vrstvy a navazujících vrstev nátěrového systému a doporučená nominální tloušťka suchého filmu NDFT. [21]

Tabulka 10 - Tabulka doporučené parametry nátěrových systému na otryskaný ocelový povrch dle ČSN EN ISO 12 944 [21]

Životnost		Nízká			Střední			Vysoká			Velmi vysoká		
Typ základní vrstvy		Zn (R)		Jiné	Zn (R)		Jiné	Zn (R)		Jiné	Zn (R)		Jiné
Pojivo základní vrstvy		ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY
Pojivo navazujících vrstev		EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY
C2	MNOC	a			-	-	1	1	1	1	2	2	2
	NDFT				-	-	100	60	120	160	160	180	200
C3	MNOC	-	-	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	NDFT	-	-	100	60	120	160	160	180	200	200	240	260
C4	MNOC	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	-
	NDFT	60	120	160	160	180	200	200	240	260	260	300	-
C5	MNOC	2	2	-	2	2	-	3	2	-	3	3	-
	NDFT	160	180	-	200	240	-	260	300	-	320	360	-

Tabulka 11- Doporučené parametry nátěrových systémů pro žárově zinkované ocelové konstrukce dle ČSN EN ISO 12 944 [21]

Životnost		Nízká		Střední		Vysoká		Velmi vysoká	
Pojivo základní vrstvy		EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY
Pojivo navazujících vrstev		EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY
C2	MNOC	a		a		1	1	1	2
	NDFT					80	80	120	160
C3	MNOC	a		1	1	1	2	2	2
	NDFT			80	80	120	160	160	200
C4	MNOC	1	1	1	2	2	2	2	-
	NDFT	80	80	120	160	160	200	200	-
C5	MNOC	1	2	2	2	2	-	2	-
	NDFT	120	160	160	200	200	-	240	-

Kde

„a“ – v případě potřeby použít nátěrový systém pro vyšší korozní agresivitu prostředí nebo životnost

„-“ - nemožno použít

Zn (R) – Základní nátěr pigmentovaný zinkem (Zinc-rich primer)

ESI – Ethyl-silikonová pryskyřice

EP – Epoxydová pryskyřice

PUR – Polyuretanová pryskyřice

AK – Alkydová pryskyřice

AY – Akrylová pryskyřice

MNOC – Minimální počet vrstev (Minimal number of coats)

NDFT – nominální tloušťka suchého filmu v μm (Nominal dry film thickness) [21]

2.8. Zkoušky přilnavosti nátěrových hmot

2.8.1. Odtrhová zkouška přilnavosti

Odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 4624 je jedna z nejběžnějších metod určení adheze jednovrstvého nebo vícevrstvého nátěru na chráněném materiálu. Zkouška spočívá v přilepením zkušebního tělíska (panenky) přímo na povrch

zkoušeného nátěrového systému pevným lepidlem a následným odtržením zkušebního tělíska ve směru kolmém k povrchu zkoušeného systému. Vyhodnocovanými parametry jsou napětí potřebné k odtržení zkušebního tělíska a charakteristika lomu. Vzniknutý lom může být buď to:

- Adhezní – k porušení došlo na rozhraní dvou vrstev
- Kohezní – došlo k porušení soudržnosti vrstvy

V praxi je běžné, že je po odtržení vyhodnocena kombinace adhezního a kohezního lomu. Pro stanovení vrstvy/vrstev ve/mezi kterými došlo k porušení je využívána klasifikace uvedena v Tabulce 12.

Tabulka 12 - Klasifikace charakteru lomu při odtrhové zkoušce přilnavosti dle ČSN EN ISO 4624 [22]

Klasifikace	Popis
A	Kohezní lom v podkladu
A/B	Adhezní lom mezi podkladem a první vrstvou
B	Kohezní lom první vrstvy
B/C	Adhezní lom mezi první a druhou vrstvou
-	Kohezní lom poslední vrstvy
-/Y	Adhezní lom mezi poslední vrstvou a lepidlem
Y	Kohezní lom v lepidle
Y/Z	Adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním tělískem

Odrhová pevnost je většinou určena přímo zkušebním zařízením. Obecně je dána vzorcem

$$\sigma = \frac{F}{A} [MPa] \quad (8)$$

Kde

F – síla potřebná k odtržení zkušebního tělíska [N]

A – průřez podstavy zkušebního tělíska [mm²]






2.8.2. Mřížková zkouška přilnavosti

Z důvodu dlouhého časového úseku potřebného k vykonání odtrhové zkoušky (doba do úplného vytvrzení lepidla), popřípadě problematické instalace zkušebních tělísek bývá často užívanou metodou hodnocení přilnavosti nátěrových nátěrů mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 2409. Tato zkouška spočívá ve vytvoření 6 horizontálních a 6 vertikálních řezů, běžně dle šablony, s roztečí 1 mm, 2 mm nebo 3 mm v závislosti na

tloušťce zkoušeného nátěru. Volba rozteče je shrnuta v Tabulce 13. Po vytvoření mřížky je buď to štětcem nebo lepící páskou odstraněn veškerý uvolněný povlak v okolí mřížky a za vhodného světla je vyhodnocována adheze povlaku v okolí řezu. Stupně hodnocení přilnavosti mřížkovou zkouškou jsou zobrazeny na Obrázku 3. [23]

Tabulka 13 - Rozteč řezů mřížkové zkoušky přilnavosti dle tloušťky povlaku dle ČSN EN ISO 2409 [23]

Tloušťka povlaku [μm]	Rozteč řezů [mm]
Do 60	1
61 až 120	2
121 až 250	3







Vzhled plochy po zkoušce	Popis	Klasifikace	Vzhled plochy po zkoušce	Popis	Klasifikace
	Hrany řezu zcela hladké. Žádný čtverec mřížky není odloupen.	0		Povlak poškozen částečně nebo zcela ve velkých pásech podél hran řezu a/nebo je zcela odloupen na různých částech čtverců, poškozená plocha mřížky 15 až 35%.	3
	Malé kousky povlaku odloupeny v místech křížení, poškozená plocha mřížky < 5%.	1		Povlak poškozen ve velkých pásech podél hran řezu a/nebo se některé čtverce částečně nebo zcela odloupily, poškozená plocha mřížky 35 až 65%.	4
	Povlak se odlupuje podél řezu nebo v křížení, poškozená plocha 5 mřížky až 15%.	2	NEUVEDENO	Jakýkoli rozsah odloupení, který nelze klasifikovat ani stupněm 4.	5

Obrázek 3 - Stupně hodnocení přilnavosti povlaku mřížkovou zkouškou na základě normy ČSN EN ISO 2409 [23]

Při tloušťkách nátěrového systému větších než 250 μm se obecně mřížková zkouška nevyužívá. V těchto případech ji nahrazuje zkouška přilnavosti křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16 276-2 (2.9.3).

2.8.3. Zkouška přilnavosti křížovým řezem

Podobně jako mřížková zkouška přilnavosti (2.9.2), i zkouška křížovým řezem spočívá ve vytvoření řezu dle šablony. Tento řez ve tvaru písmena X je složen ze dvou přibližně 40 mm dlouhých řezů, které mezi sebou svírají úhel 30° až 40°. Po vytvoření řezu je buď to štětcem nebo lepící páskou odstraněn uvolněný povlak v okolí řezu. Stupně hodnocení přilnavosti křížovým řezem jsou zobrazeny na Obrázku 4. [24]

Vzhled plochy po zkoušce	Popis	Stupeň	Vzhled plochy po zkoušce	Popis	Stupeň
	Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.	0		Roztřepené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm obou stranách.	3
	Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečíku.	1		Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.	4
	Roztřepené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5 mm na každé straně.	2		Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.	5

Obrázek 4 - Stupně hodnocení přilnavosti zkouškou křížovým řezem na základě normy ČSN EN ISO 16276-2 [24]

3. Otěruvzdorné povlaky

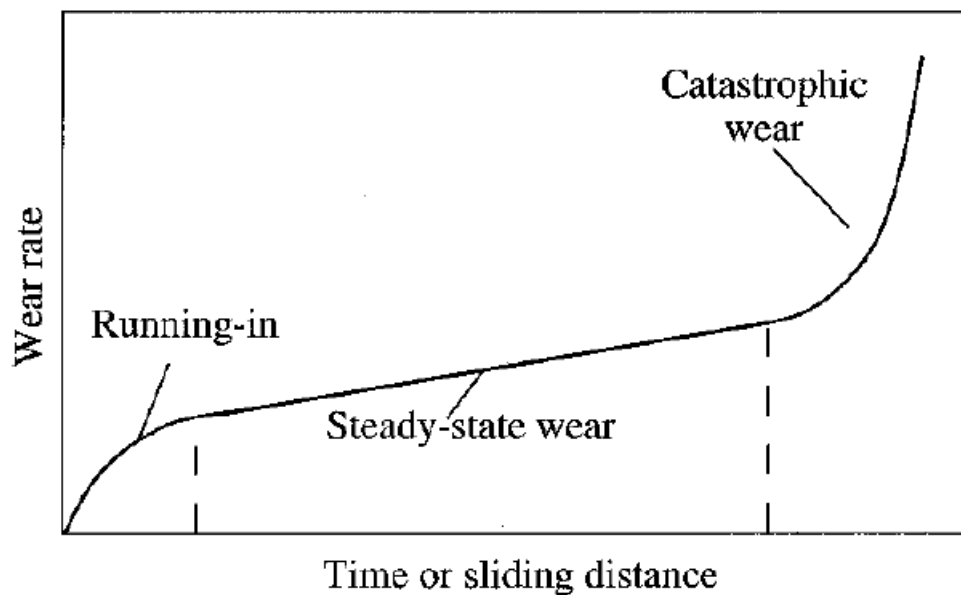
Ve většině případů dochází během provozu nástrojů, součástí a konstrukcí ke kontaktu s jinými částicemi nebo materiálem. Může se jednat o kontakt vyplývající z funkce, například u obráběcích nástrojů, nebo kontakt s náhodnými tělesy během provozu, například karoserie automobilů a kamínky odlétající od kol. Pro každou povlakovanou součást je požadována kratší nebo delší životnost, která by při porušení ochranného povrchu nebyla zákonitě dodržena a došlo by k znehodnocení nebo selhání součástí před skončením její životnosti. Proto je jedním z nejdůležitějších kritérií při navrhování povrchové ochrany materiálu odolnost vůči otěru za daných pracovních podmínek.

3.1. Mechanismus abrazivního opotřebení

Namáhání povrchu součástí na otěr obecně vyplývá ze styku dvou těles s nedokonale hladkým povrchem a jejich následným pohybem vůči sobě. Při tomto pohybu dochází ke změnám na povrchu jedné ze součástí. Obecně zavedená klasifikace definuje adhezní otěr, abrazivní otěr, otěr způsobený únavou povrchu a otěr způsobený tribochemickými jevy (difuze). Během dlouhého pohyblivého styku více povrchů dojde v důsledku jednoho nebo více typů otěrů k narušení povrchu jedné nebo obou součástí. Během tohoto styku dochází také k postupnému zvyšování koeficientu tření působením

odlomených částic. Opotřebení povrchu však neprobíhá lineárně, ale průběh je možno rozdělit do jednotlivých fází:

- Začátek otěru (running-in) – Rychlý průběh opotřebení
- Lineární opotřebení (steady-state wear) – Pomalý nárůst opotřebení po dlouhou dobu, která tvoří většinu životnosti součásti. Toto stádium trvá až do vyčerpání povrchové pevnosti povrchu, kdy dochází k selhání
- Katastrofické (catastrophic) opotřebení – Prudký nárůst opotřebení [25][26]



Obrázek 5- Závislost opotřebení na době a vzdálenosti kontaktu [26]

Tento průběh opotřebení je specifický například pro soustružnické nože.

V současnosti jsou definovány dva typy abrazivního otěru, a to:

- Tvrdé částice jednoho povrchu vylamují nebo přesouvají částice druhého povrchu (Two-body wear)
- Volné částice zachycené mezi dvěma povrchy způsobují vylamování nebo přesouvání částic jednoho nebo druhého povrchu (Three-body wear) [25]

Samotný otěr může probíhat třemi způsoby:

- Orání (plowing) – Dojde k posunutí materiálu na stranu od abrazivních částic a vytvoření rýhy a vyvýšeného povrchu. Tento mechanismus opotřebení nemá za následek oddělení materiálu.
- Řezání (cutting) – Dojde k úplnému oddělení materiálu ve formě malých zrn nebo šupinek s minimální nebo žádnou tvorbou kopečků vedle rýhy. Podobný princip je aplikován u konvenčního obrábění.
- Fragmentace (fragmentation) – Dojde k oddělení částic materiálu působením abrazivních částic a tvorbě trhlin v okolí rýhy. Poblíž těchto trhlin dochází k dalšímu samovolnému odlamování částic materiálu. [25]

Abrazivní opotřebení je nejvíce ovlivňováno vlastnostmi materiálu a povrchu součásti. Nejdůležitější jsou drsnost, tvrdost a elasticita.

- Drsnost – Drsnost nebo textura povrchu je definována jako odchylka kontury povrchu od ideálního (rovného) tvaru povrchu. Se zvyšující se odchylkou se zvyšuje drsnost povrchu, což má za následek vyšší koeficient tření a tím i větší opotřebení povrchu.
- Tvrdost – Tvrdost je vyjádřením odporu povrchu materiálu proti vniku cizího tělesa. Se zvyšující se tvrdostí materiálu se zvyšuje i otěruvzdornost, avšak dochází také ke zvyšování křehkosti materiálu, což může mít za následek odlamování částic z povrchu při rázovém namáhání povrchu (nárazy malých částic na povrch materiálu). Proto není pravidlem, že tvrdší materiál má vyšší odolnost vůči otěru než elastický materiál.
- Elasticita – Výhodná zejména u rázovém styku s cizími částicemi, jelikož velká část energie nárazu je následně vrácena původní částici. Důležitým faktorem je zde také pevnost materiálu. U méně pevných materiálů může síla rázu po překročení elastické deformace způsobit přetržení a destrukci materiálu. [25][26][27]

3.2. Otěruvzdorné nátěrové hmoty

Na nátěrové hmoty užívané v průmyslu jsou kladeny nejrůznější požadavky jak na ochranné, tak i funkční vlastnosti. Jedním z požadovaných parametrů může být i trvanlivost za mechanického namáhání povlaku, kdy dochází během funkce součásti

nebo konstrukce ke kontaktu s jinými tělesy nebo částicemi. Příkladem můžou být například nátěry přepravných kontejnerů. U těchto nátěrů je kladen důraz zejména na jejich otěruvzdornost.

Zvýšené otěruvzdornosti a mechanické odolnosti je u nátěrových hmot docíleno volbou pevného pojiva (nejvíce užívané jsou polyuretanové nebo epoxidové pryskyřice), ale i přidavkem pigmentů zvyšujících tyto vlastnosti. Účelem těchto pigmentů může být zvýšení tvrdosti nátěru, ale i snížení jejich koeficientu tření. V následujících kapitolách je uvedeno shrnutí otěruvzdorných nátěrových systémů od vybraných výrobců nátěrových hmot.

3.2.1. AkzoNobel 23T3

23T3 je dvousložková polyuretanová nátěrová hmota, u které je díky pigmentaci PTFE (teflon) dosahuje výborných otěruvzdorných a kluzných vlastností. Užívána je na ochranu kontrolních povrchů letadel různých výrobců (Boeing, Lockheed a další). [28]

Nátěrová hmota 23T3 je nanášena vzduchovým nebo HVLP (high volume low pressure) stříkáním. Vhodné parametry aplikace jsou uvedeny v Tabulce 14.

Tabulka 14 - Parametry aplikace AkzoNobel 23T3 [28]

Doporučená tloušťka suchého filmu DFT	125 – 250 μm
Vydatnost	20 $\text{m}^2 \cdot \text{l}^{-1}$ při tloušťce DFT 25,4 μm
Doporučená teplota	15 – 35 $^{\circ}\text{C}$
Vlhkost	35 – 75 %
Hmotnost suchého filmu	44 $\text{g} \cdot \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$ při tloušťce DFT 25,4 μm

3.2.2. AkzoNobel 24T3

24T3 je rychleschnoucí dvousložková polyuretanová nátěrová hmota, u které je dosaženo vysoké otěruvzdornosti a nízkého koeficientu tření pigmentací fluoropolymery. Podobně jako 23T3 (3.3.1.) je využívána pro kontrolní povrchy letadel různých výrobců (Boeing, Lockheed a další). Vyznačuje se odolností vůči hydraulickým kapalinám, leteckému palivu, motorovým olejům, rozpouštědlům, vodě a čistícím prostředkům. [29]

Nátěrová hmota 24T3 je podobně jako 23T3 (3.3.1) je nanášena vzduchovým nebo HVLP (high volume low pressure) stříkáním. Vhodné parametry aplikace jsou uvedeny v Tabulce 15.

Tabulka 15 - Parametry aplikace AkzoNobel 24T3 [29]

Doporučená tloušťka suchého filmu DFT	203 – 254 μm
Vydatnost	20,57 $\text{m}^2 \cdot \text{l}^{-1}$ při tloušťce DFT 25 μm
Doporučená teplota	15 – 35 $^{\circ}\text{C}$
Vlhkost	35 – 75 %
Hmotnost suchého filmu	44,07 $\text{g} \cdot \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$ při tloušťce DFT 25 μm

3.2.3. Surface Technology Armourcote 5180

Armourcote 5180 je třívrstvý nátěrový systém, kde vrchní vrstva je tvořena epoxydovou pryskyřicí, u které je dosaženo kluzných vlastností pigmentací MoS_2 . Tento nátěrový systém se vyznačuje Vysokou odolností vůči abrazi, korozi a díky nízkému koeficientu tření i dobrými kluznými vlastnostmi. Tento nátěrový systém je využíván v ropném průmyslu u závitů aktuátorů a přírubových šroubů. Technologické parametry Armourcote 5180 jsou uvedeny v Tabulce 16. [30]

Tabulka 16 - Technologické parametry Armourcote 5180 [30]

Doporučená tloušťka suchého filmu DFT	20 – 25 μm každé vrstvy
Koeficient tření	0,4 – 0,6
Funkční teplota	-184 – 260 $^{\circ}\text{C}$

3.2.4. Surface Technology Armourcote 4141

Armourcote 4141 je nátěrová hmota tvořená polyamidovou pryskyřicí pigmentovanou PTFE (teflon) a MoS_2 . Vyznačuje se vysokou otěruvzdorností a nízkým koeficientem tření. Využívaná je u kuličkových ložisek, závitech šroubů, převodovek a hydraulických válců. Technologické parametry Armourcote 4141 jsou uvedeny v Tabulce 17. [31]

Tabulka 17 - Technologické parametry Armourcote 4141 [31]

Doporučená tloušťka suchého filmu DFT	15 – 20 μm každé vrstvy
Koeficient tření	0,2
Funkční teplota	-80 – 250 $^{\circ}\text{C}$

3.2.5. Surface Technology Armourcote 4580

Armourcote 4580 je vrchní nátěrová hmota na bázi rozpouštědel pigmentovaná PTFE (teflon) užívaná ve strojním i potravinářském průmyslu. Vyznačuje se výbornou odolností vůči kyselinám a rozpouštědlům. Je využívána u čepelí potravinářských nožů, čepelí pil a ložisek. Technologické parametry Armourcote 4580 jsou uvedeny v Tabulce 18. [32]

Tabulka 18 - Technologické parametry Armourcote 4580 [32]

Doporučená tloušťka suchého filmu DFT	20 – 25 μm každé vrstvy
Koeficient tření	0,4 při síle 10 N a 0,26 při síle 50 N
Funkční teplota	-80 – 230 $^{\circ}\text{C}$

3.2.6. Viton PE 73

PE 73 je samozákladující polyuretanová nátěrová hmota vyznačující se výbornou mechanickou a chemickou odolností. Je proto využívána v širokém spektru průmyslných odvětví, jako například kontejnery, výrobní linky, potrubí a jiné. Aplikace je možná pomocí vzduchového stříkání, štětcem nebo válečkem na ocelové podklady, dřeno nebo i minerální podklady. Technologické parametry a doba zasychání jsou uvedeny v Tabulkách 19 a 20. [33]

Tabulka 19 - Technologické parametry Viton PE 73 [33]

Objem sušiny	70 %
Teoretická vydatnost	17,8 $\text{m}^2 \cdot \text{l}^{-1}$ při 40 μm DFT
Hustota	1,5 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Tabulka 20 - Doba zasychání Viton PE 73 [33]

120 μm WFT, teplota 23 ± 2 °C, relativní vlhkost vzduchu $50 \pm$ 5%	Odolnost proti prachu	Suchý na dotek	Možná manipulace
	35 min	3 hodiny	7 hodin

3.2.7. Viton CP 05

CP 05 je vrchní dvousložková polyuretanová nátěrová hmota vyznačující se výbornou korozní, mechanickou a chemickou odolností. Aplikace je možná vzduchovým stříkáním, bezvzduchovým vysokotlakým stříkáním, štětcem nebo válečkem. Technologické parametry a doba zasychání jsou uvedeny v Tabulkách 21 a 22. [34]

Tabulka 21 - Technologické parametry Viton CP 05 [34]

Objem sušiny	47 %
Teoretická vydatnost	11,8 m ² .l ⁻¹ při 40 μm DFT
Hustota	1,21 g.cm ⁻³

Tabulka 22 - Doba zasychání Viton CP 05 [34]

120 μm WFT, teplota 23 ± 2 °C, relativní vlhkost vzduchu $50 \pm$ 5%	Odolnost proti prachu	Suchý na dotek	Možná manipulace
	25 – 35 min	5 – 6 hodin	16 – 17 hodin

3.2.8. Hempel Hempadur Multi-strength GF 35870

Hempadur Multi-strength GF 35870 je vysocenanášivá samozákladující epoxidová nátěrová hmota vytvrzovaná aminovým aduktem. Díky výztuži skleněnými vločkami je u této nátěrové hmoty dosaženo vysoké odolnosti vůči abrazi a nárazu. Také vykazuje velmi dobré protikorozní vlastnosti. Je proto využívána u vysoce abrazně a korozně namáhaných konstrukcí a součástí. Příkladem jsou přístavní pilíře, pracovní paluby, nebo i vnitřní povrchy skladovacích nádrží ropy a topného oleje. Aplikace je prováděna bezvzduchovým vysokotlakým stříkáním. Technologické a aplikační parametry jsou uvedeny v Tabulce 23. [35]

Tabulka 23 - Technologické a aplikační parametry Hempadur Multi-strength GF 35870 [35]

Doporučená tloušťka suchého filmu DFT	350 μm
Doporučená tloušťka mokrého filmu WFT	400 μm
Maximální provozní teplota za sucha	140 $^{\circ}\text{C}$
Maximální provozní teplota ve vodě	80 $^{\circ}\text{C}$
Objem sušiny	87 \pm 1 %
Teoretická vydatnost	2,5 $\text{m}^2\cdot\text{l}^{-1}$ při DFT 350 μm
Hustota	1,3 $\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$

3.2.9. Hempel Hempadur Multi-strength 45753

Hempadur Multi-strength 45753 je vysocenanášivá samozakladující dvousložková epoxidová nátěrová hmota, u které se vytvrzením polyamid/aminem dosahuje vysoké korozní a abrazní odolnosti. Je využívána pro součásti vystavené vysokému abraznímu a koroznímu namáhání, například trupy a nákladní prostory lodí. Tento nátěrový systém je určen zejména do chladnějších prostředí. Aplikace je prováděna bezvzduchovým vysokotlakým stříkáním. Technologické a aplikační parametry jsou uvedeny v Tabulce 24. [36]

Tabulka 24 - Technologické a aplikační parametry Hempadur Multi-strength 45753 [36]

Doporučená tloušťka suchého filmu DFT	200 μm
Doporučená tloušťka mokrého filmu WFT	250 μm
Maximální provozní teplota za sucha	140 $^{\circ}\text{C}$
Maximální provozní teplota ve vodě	50 $^{\circ}\text{C}$
Objem sušiny	79 \pm 1 %
Teoretická vydatnost	4 $\text{m}^2\cdot\text{l}^{-1}$ při DFT 200 μm
Hustota	1,6 $\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$

3.3. Metoda zkoušení otěruvzdornosti povlaků na přístroji Taber Abraser

V dnešní době je zavedeno několik metod testování otěruvzdornosti materiálů. Jednou z nich je i zkouška otěruvzdornosti rotujícími abrazivními kolečky na přístroji Taber Abraser daná normou ASTM 4060.

Zkouška je provedena upnutím vzorku (běžně plech kruhového tvaru s průměrem $d = 10,2$ cm) na rotační podložku přístroje Taber Abraser, umístěním dvou abrazivních kotoučů zatížených závažím o hmotnosti 500 g, popřípadě 1000 g na zkoušený povrch a následnou rotací vzorku kolem jeho vertikální osy. Relativním pohybem vzorku a abrazivních koleček dochází k abrazivnímu opotřebení zkoušeného povrchu při zaznamenávání počtu abrazivních cyklů. [27][37]

3.3.1. Metody hodnocení otěruvzdornosti zkoušky na přístroji Taber Abraser

Dle vyhodnocovaných parametrů jsou zavedeny 4 metody hodnocení otěruvzdornosti na přístroji Taber Abraser.

A. Vizuální metoda koncového bodu

Hodnocení otěruvzdornosti je provedeno při dosažení určitého koncového bodu. Tento bod může být definován jako změna vzhledu nebo jiné charakteristiky zkoušeného vzorku. Vzorky vyhodnocované touto metodou musí být pro toto hodnocení uzpůsobeny. Tato metoda je využívána například u pokovovaných nebo glazurovaných vzorků. Parametrem hodnocení je počet abrazivních cyklů potřebných pro dosažení koncového bodu. [37]

B. Metoda úbytku váhy

Podmínkou použitelnosti této hodnotící metody je stejná měrná hmotnost zkoušených vzorků nebo povlaků. Parametrem hodnocení je index úbytku váhy v miligramech na 1000 abrazivních cyklů. Hodnota tohoto indexu je dána vzorcem:

$$\frac{\Delta m * 1000}{\text{Počet cyklů}} = \text{index opotřebení} \quad (9)$$

Kde

Δm – úbytek hmotnosti po zkoušce otěruvzdornosti [mg] [37]

C. Metoda ztráty objemu

Tato metoda hodnocení je vhodná pro porovnání materiálů, u kterých není ideální hodnocení měřením úbytku váhy, tj. materiály s různou měrnou hmotností. Pro objektivní porovnání vzorků s různou měrnou hmotností je potřebné při výpočtu

indexu opotřebení počítat s takzvaným opravným faktorem, který vztahuje index opotřebení k objemu materiálu. Ten je dán vztahem:

$$\frac{\Delta m \cdot 1000}{\text{Opravný faktor (Měrná hmotnost)} \cdot \text{Počet cyklů}} = \text{index opotřebení} \quad (10)$$

Kde

Δm – úbytek hmotnosti po zkoušce otěruvzdornosti [mg] [37]

D. Metoda měření hloubky opotřebování

Výstupem této hodnotící metody je závislost ztráty tloušťky zkoušeného materiálu na počtu abrazivních cyklů. Úbytek tloušťky by měl být stanoven měřením na alespoň 4 místech a následným zprůměrováním naměřených hodnot. Výpočet indexu opotřebení je dán vzorcem:

$$\frac{\Delta t \cdot 1000}{\text{Počet cyklů}} = \text{index opotřebení} \quad (11)$$

Kde

Δt – úbytek tloušťky po zkoušce otěruvzdornosti [μm] [37]

3.4. Metody hodnocení úbytku tloušťky po zkoušce otěruvzdornosti na přístroji Taber Abraser

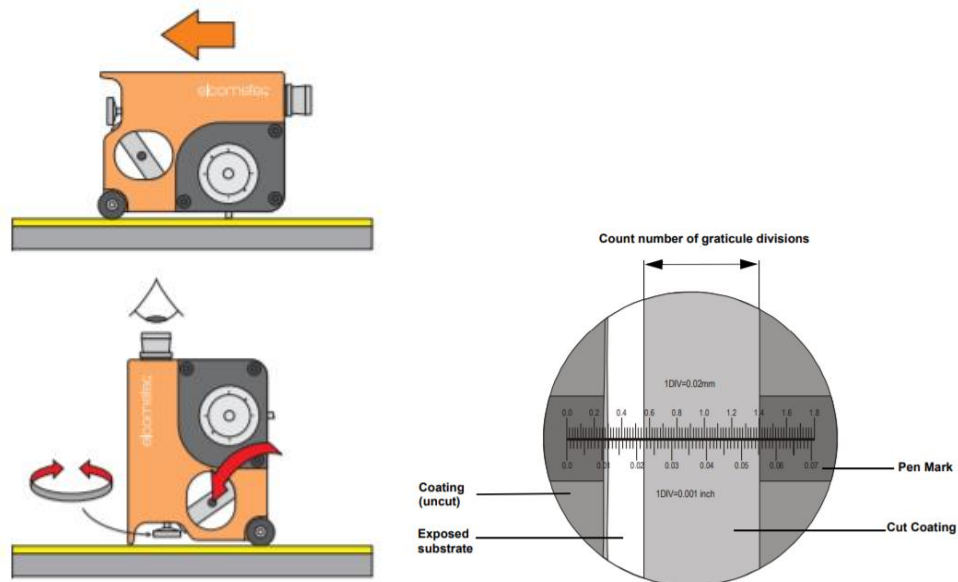
3.4.1. Hodnocení suché tloušťky povlaku zařízením Elcometer 121/4 P.I.G.

Měření suché tloušťky povlaku ručním přístrojem Elcometer 121/4 P.I.G. (Paint inspection gauge) je destruktivní vyhodnocovací metoda, která spočívá ve vyhotovení řezu přes celou tloušťku povlaku nožem s definovaným úhlem ostří. Přístroj Elcometer 121/4 je vybaven celkem třemi noži s různým úhlem ostří. Volba nože je závislá na tloušťce povlaku. Definovaná geometrie nožů a vhodné tloušťky jejich použití jsou uvedeny v Tabulce 25. [38]

Tabulka 25 - Geometrie nožů přístroje Elcometer 121/4 P.I.G [38]

Číslo nože	Maximální tloušťka povlaku [μm]	Úhel ostří
1	1600	45°
4	800	$26,6^\circ$
6	160	$5,7^\circ$

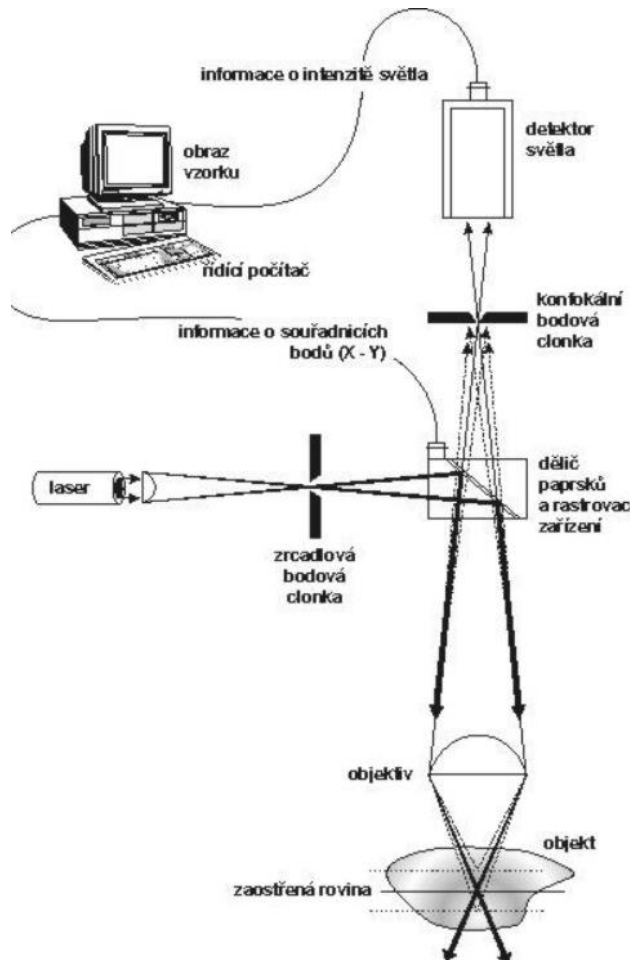
Po vyhotovení řezu je změřen horizontální rozměr nařezaného povlaku od základního materiálu až po povrch vrstvy mikroskopem vybaveným měrkou, který je součástí zařízení. Následně je naměřený počet dílků převeden na tloušťku povlaku pomocí převodní tabulky uvedené výrobcem.



Obrázek 6 - Princip měření DFT přístrojem Elcometer 121/4 P.I.G. (vlevo) a měření horizontálního rozměru povlaku měrkou na mikroskopu (vpravo) [38]

3.4.2. Měření úbytku tloušťky na konfokálním mikroskopu

Jednou z nedestruktivních metod změřením úbytku tloušťky povlaku je měření na laserovém konfokálním mikroskopu. Toto měření probíhá postupným řádkovacím snímáním rovin XY s definovaným posuvem ve směru osy Z. Po nasnímání je z jednotlivých optických řezů v ose Z pomocí počítačového softwaru sestaven 2D i 3D profil zkoumané části tělesa. [39][40]



Obrázek 7- Princip snímání konfokálního mikroskopu [40]

4. Experimentální část

Experimentální část se skládá ze dvou částí. V první části experimentu jsou vyhodnocovány ochranné vlastnosti zkoušených nátěrových systémů v prostředí neutrální solné mlhy NSS dle ČSN EN ISO 9227, v prostředí kontinuální kondenzace CH dle ČSN EN ISO 6270-2 a zkoušením odolnosti nátěrových systémů Machu test. Součástí tohoto hodnocení jsou také zkoušky přilnavosti nátěrových systémů. Jedná se konkrétně o odtrhovou zkoušku dle ČSN EN ISO 4224, mřížkovou zkoušku dle ČSN EN ISO 2409 a zkoušku křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2.

V druhé části je hodnocena otěruvzdornost zkoušených nátěrových systémů na přístroji Taber abraser. Veškeré přípravy a zkoušení vzorků byly provedeny na Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojní ČVUT v Praze.

4.1. Příprava vzorků

Pro zkoušení korozní odolnosti v prostředí neutrální solné mlhy a kontinuální kondenzace byly jako vzorky zvoleny desky o rozměru 150 mm x 100 mm x 4 mm z oceli ČSN 11 532 (S355J0). Na těchto vzorcích jsou provedeny také všechny zkoušky přílnavosti. Všechny desky byly před aplikací nátěrových systémů důkladně odmaštěny a otryskány ocelovou drtí na stupeň Sa 2½ dle ČSN EN ISO 8501-1.

Pro zkoušku korozní odolnosti Machu test a zkoušku otěruvzdornosti na přístroji Taber abraser byly vzorky zhotoveny z plechů Q-Panel o rozměru 152 mm x 102 mm x 1,02 mm z oceli S235JR od společnosti Q-Lab. Tyto vzorky byly upraveny pro upnutí v pracovním prostoru Taber abraser, a to úpravou rozměrů na 102 mm x 102 mm x 1,02 mm na dílenských nůžkách a vystříhnutím díry o průměru $d = 8$ mm pro upínací šroub.

Parametry drsnosti povrchu vzorků vyhodnoceny přístrojem Mitutoyo SJ210 jsou uvedeny v Tabulce 26. Parametry měření vzorků pro korozní a adhezní zkoušky byly $\lambda_c = 2,5$ mm a $N = 5$. Pro měření drsnosti Q-Panelů byly voleny parametry $\lambda_c = 0,8$ mm a $N = 5$.

Tabulka 26 - Průměrné hodnoty drsnosti povrchu zkoušených vzorků

Průměrná drsnost povrchu [μm]	Ra	Rz	Rq
Deska 150 mm x 100 mm x 4 mm	10,0	68,3	12,9
Q-Panel	0,7	4,0	0,9



Obrázek 8 - Drsnoměr Mitutoyo SJ210

4.2. Nátěrové systémy a metody jejich aplikace

Pro experimentální zhodnocení otěruvzdornosti bylo navrženo 6 nátěrových systémů. Pro zjištění vlivu hořčíkového pigmentu na otěruvzdornost byly připraveny nátěrové hmoty s koncentrací 5 a 10 hm. % hořčíkových mikročástic v matrici Viton CP 05. Pro porovnání s jiným otěruvzdorným pigmentem byla navržena nátěrová hmota s koncentrací 5 hm. % korundového abraziva ve stejné matrici. Zkoušena byla také samotná matrice Viton CP 05 bez přídavku otěruvzdorného pigmentu. Dále byly zkoušeny dvě konvenční otěruvzdorné nátěrové hmoty od společnosti Hempel. Konkrétně se jedná o Hempadur Multi-strength 45753 a Hempadur Multi-strength GF 35870.

Pro zkoušení korozní odolnosti byl přidán dvouvrstvý nátěrový tvořený systém se základní nátěrové hmoty Viton ZG 13 a vrchní vrstvy Viton CP 05 s koncentrací 5 hm. % hořčíkového nanoprášku. Cílem zkoušení dodatečného dvouvrstvého nátěrového systému bylo zjištění případných odchylek korozivzdorných vlastností hořčíkem pigmentovaných nátěrových hmot. Rozměry použitých otěruvzdorných pigmentů jsou uvedeny v Tabulce 27.

Tabulka 27 - Rozměry použitých otěruvzdorných pigmentů [41][42]

Pigment	Rozměry [μm]
Mg mikročástice	40 - 45
Mg nanoprášek	30 - 200
Umělé korundové abrazivo	250 – 300

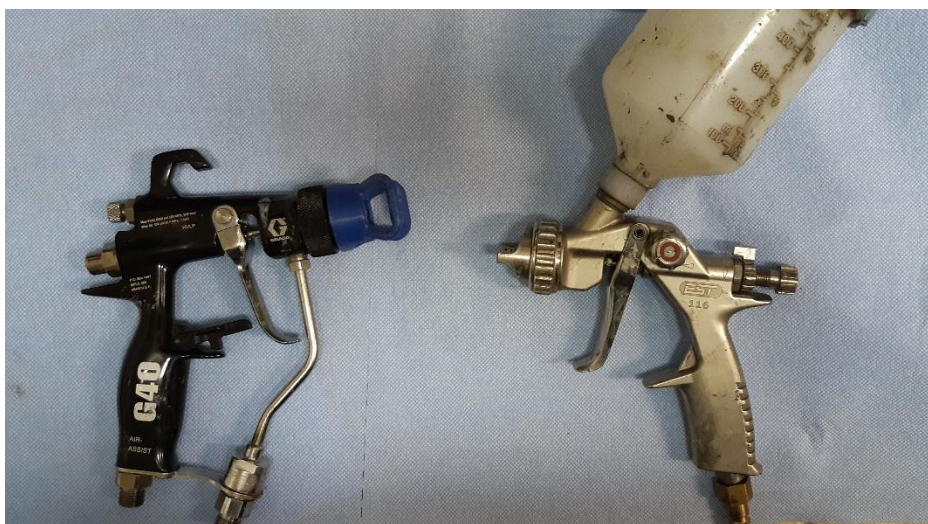
Poznámka: I když mají samotné nanočástice Mg menší rozměr než mikročástice Mg, vlivem extrémních adhezních sil jednotlivých nanočástic se vytvořily shluky, které jsou rozměrově mnohem větší. Tyto adhezní vazby nebylo možné dostupnými metodami porušit.

Všechny nátěrové systémy byly připravovány a aplikovány v laboratořích Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojní ČVUT v Praze. Dispergace pigmentů byla provedena rotačním míchadlem po dobu 45 minut. Nátěrové hmoty byly dle doporučení výrobce nanášeny buď to vzduchovým nebo bezvzduchovým vysokotlakým stříkáním. Po jejich vytvrzení na vzduchu po dobu 7 dní byla stanovena tloušťka suchého filmu

DFT tloušťkoměrem Elcometer 456 s kombinovanou sondou pro měření feromagnetických i neferomagnetických podkladů. Přehled navržených nátěrových systémů, metoda jejich aplikace je uvedena v Tabulce 28. Technické listy všech použitých nátěrových hmot jsou uvedeny v Příloze I.

Tabulka 28 - Přehled navržených nátěrových systémů a metoda jejich aplikace

Série	Nátěrová hmota	Typ nátěrové hmoty	Metoda nanášení
A	HEMPADUR Multistrength 45753	EP	Bezvzduchové stříkání
B	HEMPADUR Multistrength GF 35870	EP	Bezvzduchové stříkání
C	Viton CP 05	PUR	Vzduchové stříkání
D	Viton CP 05 + 5 hm. % Mg	PUR	Vzduchové stříkání
E	Viton CP 05 + 10 hm. % Mg	PUR	Vzduchové stříkání
F	Viton CP 05 + 5 hm. % korund	PUR	Vzduchové stříkání
G	Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg	EP + PUR	Vzduchové stříkání



Obrázek 9 - Stříkací pistole bezvzduchého vysokotlakého (vlevo) a vzduchového (vpravo) stříkání



Obrázek 10 - Vzorky - Machu test + Taber abraser (horní řada), NSS + CH (dolní řada)

Korozní odolnost v prostředí solné mlhy byla vyhodnocována na třech vzorcích pro každý nátěrový systém. Jeden z každé série vzorků pro zkoušku v NSS byl opatřen umělým řezem. Odolnost v prostředí kontinuální kondenzace byla vyhodnocována na dvou vzorcích pro každý nátěrový systém. Pro porovnání hodnot přilnavosti byl pro každý nátěrový systém připraven jeden referenční vzorek. Přehled vzorků pro zkoušení korozní odolnosti v prostředí neutrální solné mlhy NSS a kontinuální kondenzace CH a tloušťka suchého filmu DFT změřena tloušťkoměrem Elcometer 456 jsou uvedeny v Tabulkách 29 až 35.

Tabulka 29 - DFT nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength 45753 změřená tloušťkoměrem Elcometer 456

Číslo vzorku	Zkouška	Ø [μm]	max [μm]	min. [μm]
A1	NSS	225,0	292,0	161,0
A2	NSS	235,5	255,0	217,0
A3	NSS + řez	247,2	283,0	214,0
A4	CH	185,0	201,0	171,0
A5	CH	190,0	147,0	214,0
A6	Reference	204,2	253,0	183,0

Tabulka 30 - DFT nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength GF 35870 změřená tloušťkoměrem Elcometer 456

Číslo vzorku	Zkouška	Ø [μm]	max [μm]	min. [μm]
B1	NSS	381,8	413,0	359,0
B2	NSS	344,0	367,0	324,0
B3	NSS + řez	360,0	463,0	303,0
B4	CH	200,7	220,0	181,0
B5	CH	207,5	268,0	160,0
B6	Reference	287,7	323,0	270,0

Tabulka 31 - DFT nátěrové hmoty Viton CP 05 změřená tloušťkoměrem Elcometer 456

Číslo vzorku	Zkouška	Ø [μm]	max [μm]	min. [μm]
C1	NSS	297,0	309,0	266,0
C2	NSS	298,7	336,0	253,0
C3	NSS + řez	293,2	326,0	237,0
C4	CH	248,2	282,0	225,0
C5	CH	266,0	302,0	233,0
C6	Reference	314,7	336,0	297,0

Tabulka 32 - DFT nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Mg změřená tloušťkoměrem Elcometer 456

Číslo vzorku	Zkouška	Ø [μm]	max [μm]	min. [μm]
D1	NSS	305,8	423,0	236,0
D2	NSS	304,8	322,0	294,0
D3	NSS + řez	305,2	380,0	216,0
D4	CH	264,5	342,0	224,0
D5	CH	276,3	336,0	225,0
D6	Reference	311,2	344,0	269,0

Tabulka 33 - DFT nátěrové hmoty Viton CP 05 + 10 hm. % Mg změřená tloušťkoměrem Elcometer 456

Číslo vzorku	Zkouška	Ø [μm]	max [μm]	min. [μm]
E1	NSS	203,8	264,0	157,0
E2	NSS	202,7	277,0	153,0
E3	NSS + řez	201,7	266,0	151,0
E4	CH	201,5	274,0	136,0
E5	CH	194,0	228,0	134,0
E6	Reference	188,0	321,0	144,0

Tabulka 34 - DFT nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Korund změřená tloušťkoměrem Elcometer 456

Číslo vzorku	Zkouška	Ø [μm]	max [μm]	min. [μm]
F1	NSS	180,2	206,0	136,0
F2	NSS	174,5	231,0	142,0
F3	NSS + řez	175,3	246,0	141,0
F4	CH	235,3	325,0	200,0
F5	CH	235,2	350,0	158,0
F6	Reference	219,0	247,0	144,0

Tabulka 35 - DFT nátěrové hmoty Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášku změřená tloušťkoměrem Elcometer 456

Číslo vzorku	Zkouška	Ø [μm]	max [μm]	min. [μm]
G1	NSS	403,2	434,0	366,0
G2	NSS	394,8	438,0	350,0
G3	NSS + řez	401,0	427,0	377,0
G4	CH	443,7	486,0	412,0
G5	CH	431,5	474,0	405,0
G6	Reference	415,3	466,0	389,0

Pro vyhodnocení korozní odolnosti metodou Machu test byl z každého nátěrového systému připraven jeden vzorek. Přehled vzorků pro zkoušku korozní odolnosti Machu test a tloušťka povlaku změřená tloušťkoměrem Elcometer 456 jsou uvedeny v Tabulce 36.

Tabulka 36 – Přehled vzorků pro zkoušku korozní odolnosti Machu test

Číslo vzorku	Ø [μm]	max [μm]	min. [μm]
MA	184,7	214,0	134,0
MB	543,0	640,0	416,0
MC	258,7	284,0	224,0
MD	273,0	330,0	224,0
ME	251,3	280,0	210,0
MF	246,0	262,0	224,0
MG	433,3	524,0	372,0

Zkouška otěruvzdornosti byla provedena na dvou vzorcích pro každý nátěrový systém s výjimkou Viton CP 05 + 5 hm. % Mg, kde byl přidán vzorek pro vyhodnocení abrazního opotřebení při vyšším počtu abrazních cyklů. Zkouška otěruvzdornosti nebyla provedena na dvouvrstvém nátěrovém systému Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášku (Série G). Přehled vzorků pro zkoušku otěruvzdornosti a rozmezí tloušťky povlaku změřené tloušťkoměrem Elcometer 456 jsou uvedeny v Tabulce 37.

Tabulka 37- Přehled vzorků pro zkoušku otěruvzdornosti na Taber abraser

Nátěrový systém	Označení vzorku	Tloušťka suchého filmu DFT [μm]
HEMPADUR Multistrength 45753	TA1	200 – 250
	TA2	
HEMPADUR Multistrength GF 35870	TB1	550 – 650
	TB2	
Viton CP 05	TC1	200 – 300
	TC2	
Viton CP 05 + 5 hm. % Mg	TD1	200 – 300
	TD2	
	TD3	
Viton CP 05 + 10 hm. % Mg	TE1	150 – 250
	TE2	
Viton CP 05 + 5 hm. % korund	TF1	150 - 250
	TF2	



Obrázek 11 - Tloušťkoměr Elcometer 456

4.3. Hodnocení urychlených korozních zkoušek v umělých atmosférách

4.3.1. Zkouška v neutrální solné mlze

Jak je popsáno v podkapitole 4.2, urychlené korozní zkoušce v prostředí neutrální solné mlhy bylo vystaveno celkem 21 vzorků, z toho na 7 vzorcích (jeden z každého nátěrového systému) byl vytvořen umělý řez o rozměru 100 mm x 0,5 mm. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 9227 ve zkušební komoře Leibisch S 400 M-TR v celkovém trvání 720 hodin. Před začátkem zkoušky byly okraje všech vzorků zamaskovány ochranným voskem. Vzorky byly kontrolovány a dokumentovány po době zkoušení 24 h, 48 h, 72 h, 192 h, 360 h, 480 h a 720 h. Po ukončení zkoušky byly vzorky vyjmuty ze zkušební komory, důkladně opláchnuty a vysušeny. Vyhodnocovanými parametry po expozici v prostředí neutrální solné mlhy jsou stupně puchýřkování, delaminace a koroze.

Z důvodu podobnosti výsledků zkoušky v NSS zde nebudou uvedeny všechny vzorky. Celková fotodokumentace je uvedena v Příloze A. Případné rozdíly v barevném odstínu vzorků ze stejné série jsou způsobeny osvětlením během dokumentování výsledků. U vzorků opatřených řezem byl nátěr v okolí řezu odstraněn alespoň 24 hodin po ukončení zkoušky. Během procesu odstraňování nátěru mohlo dojít ke zbroušení korozních produktů z povrchu vzorku.



Obrázek 12 - Zkušební komora Leibisch S 400 M-TR

Výsledky urychlené korozní zkoušky v neutrální solné mlze nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength 45753 – Série A:



Obrázek 13 - Vzorek A1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Vyhodnocení zkoušky NSS na vzorcích A1 a A2:

Během zkoušky na vzorcích A1 a A2 bez umělého řezu nedošlo k žádné viditelné degradaci nebo jinému poškození.

Vyhodnocení vzorku A3 opatřeného umělým řezem:



Obrázek 14 - Vzorek A3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)

Tabulka 38 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek A3

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Stupeň koroze v řezu	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	V řezu	0	0,9	0	720

Výsledky urychlené korozní zkoušky v neutrální solné mlze nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength GF 35870 – Série B:

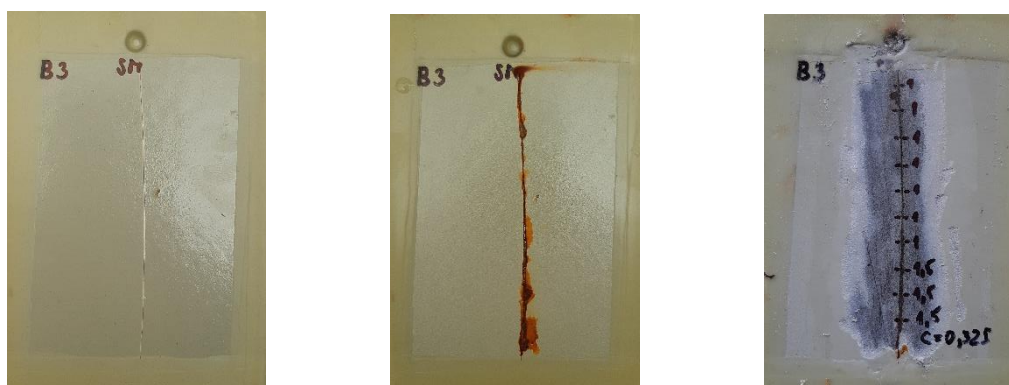


Obrázek 15 - Vzorek B1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Vyhodnocení zkoušky NSS na vzorcích B1 a B2:

Na vzorcích B1 a B2 bez umělého řezu nedošlo během zkoušky v prostředí neutrální solné mlhy k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

Vyhodnocení vzorku B3 opatřeného umělým řezem:



Obrázek 16 - Vzorek B3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)

Tabulka 39 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek B3

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Stupeň koroze v řezu	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	V řezu	0	0,325	0	720

Výsledky urychlené korozní zkoušky v neutrální solné mlze nátěrové hmoty Viton CP 05 – Série C:



Obrázek 17 - Vzorek C1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Vyhodnocení zkoušky NSS na vzorcích C1 a C2:

Na vzorcích C1 a C2 bez umělého řezu nedošlo během zkoušky v prostředí neutrální solné mlhy k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

Vyhodnocení vzorku C3 opatřeného umělým řezem:



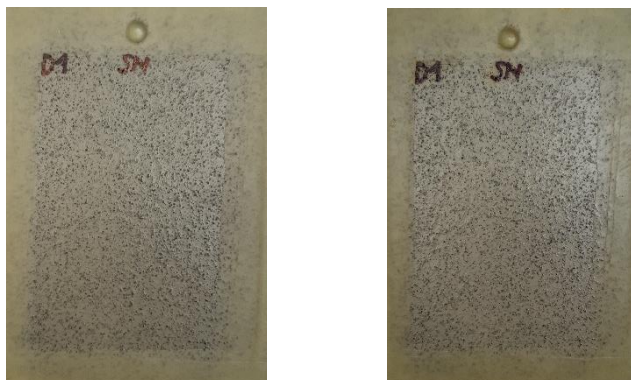
Obrázek 18 - Vzorek C3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)

Tabulka 40 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek C3

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Stupeň koroze v řezu	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 2	V řezu, pod nátěrem	0	0,3	2-2(S3)	720

Poznámka: Po 720 hodinách expozice v solné mlze došlo ke tvorbě puchýřků v okolí umělého řezu. Po odstranění nátěru bylo viditelné lokální podkorodování černé barvy.

Výsledky urychlené korozní zkoušky v neutrální solné mlze nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Mg – Série D:



Obrázek 19 - Vzorek D1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Vyhodnocení zkoušky NSS na vzorcích D1 a D2:

Na vzorcích D1 a D2 bez umělého řezu nedošlo během zkoušky v prostředí neutrální solné mlhy k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

Vyhodnocení vzorku D3 opatřeného umělým řezem:

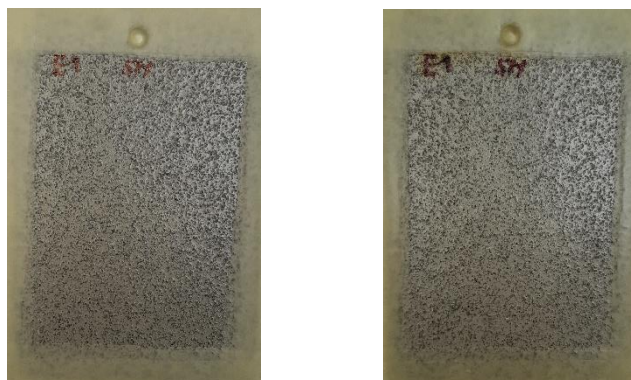


Obrázek 20 - Vzorek D3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)

Tabulka 41 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek D3

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Stupeň koroze v řezu	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	V řezu	0	0,8	0	720

Výsledky urychlené korozní zkoušky v neutrální solné mlze nátěrové hmoty Viton CP 05 + 10 hm. % Mg – Série E:

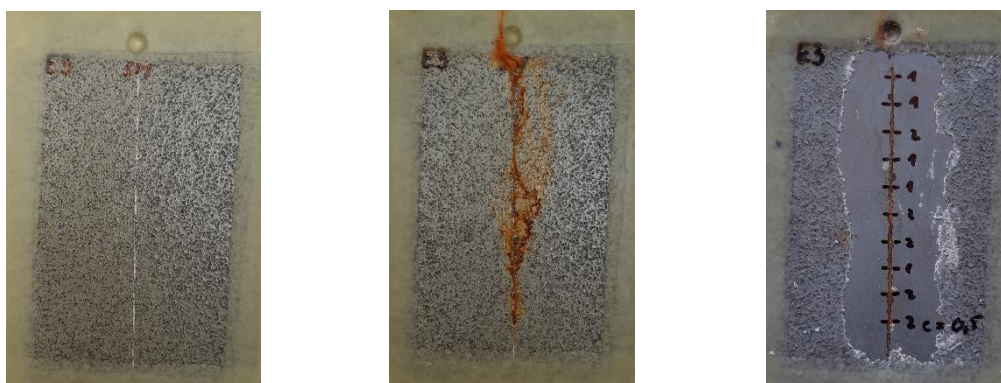


Obrázek 21 - Vzorek E1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Vyhodnocení zkoušky NSS na vzorcích E1 a E2:

Na vzorcích E1 a E2 bez umělého řezu nedošlo během zkoušky v prostředí neutrální solné mlhy k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

Vyhodnocení vzorku E3 opatřeného umělým řezem:



Obrázek 22- Vzorek E3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)

Tabulka 42 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek E3

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Stupeň koroze v řezu	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	V řezu	0	0,5	0	720

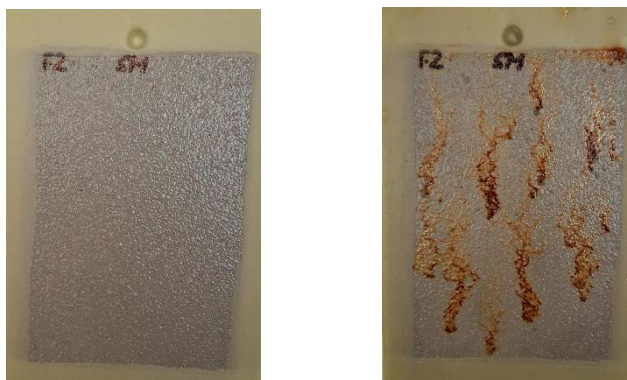
Výsledky urychlené korozní zkoušky v neutrální solné mlze nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % korund – Série F:



Obrázek 23 - Vzorek F1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Tabulka 43 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek F1

Prorezavění	Koroze	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 4	Pod nátěrem	0	720



Obrázek 24 - Vzorek F2 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Tabulka 44 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek F2

Prorezavění	Koroze	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 4	Pod nátěrem	0	720

Vyhodnocení zkoušky NSS na vzorcích F1 a F2:

Na vzorcích F1 a F2 nátěrového systému Viton CP 05 s přidavkem 5 hm. % syntetického korundu došlo po 720 hodinách expozice v NSS k lokálnímu prorezavění. Toto je zřejmě důsledkem nedostatečné smáčivosti korundových částic, která zapříčinila

necelistvost nátěrového filmu na rozhraní matrice-pigment. Tyto necelistvosti následně snižují bariérovou ochranu podkladového materiálu.

Vyhodnocení vzorku E3 opatřeného umělým řezem:

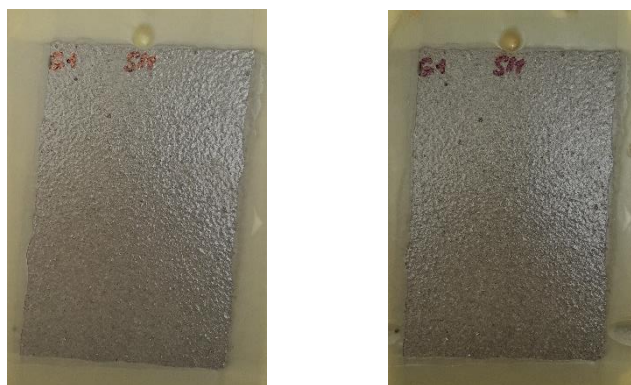


Obrázek 25 - Vzorek F3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)

Tabulka 45 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek F3

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Stupeň koroze v řezu	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 4	V řezu + pod nátěrem	0	0,375	0	720

Výsledky urychlené korozní zkoušky v neutrální solné mlze nátěrové hmoty Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášek – Série G:



Obrázek 26 - Vzorek G1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Vyhodnocení zkoušky NSS na vzorcích G1 a G2:

Na vzorcích G1 a G2 bez umělého řezu nedošlo během zkoušky v prostředí neutrální solné mlhy k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

Vyhodnocení vzorku E3 opatřeného umělým řezem:

Obrázek 27 - Vzorek G3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)

Tabulka 46 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek G3

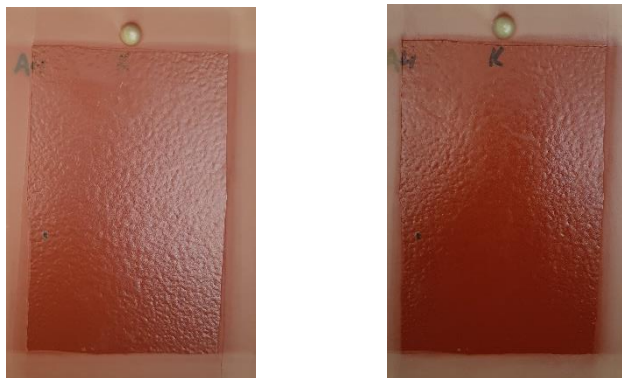
Prorezavění	Koroze	Delaminace	Stupeň koroze v řezu	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	V řezu	0	0,325	0	720

4.3.2. Kondenzační zkouška

Kondenzační zkoušce odolnosti vůči vlhkosti dle ČSN EN ISO 6270-2 byly vystaveny dva vzorky z každého nátěrového systému. Podobně jako při zkoušce v neutrální solné mlze (4.3.1.) byly okraje vzorků před začátkem zkoušky zamaskovány ochranným voskem. Kontrola a dokumentace vzorků byla provedena pro době trvání zkoušky 24 h, 48 h, 72 h, 192 h, 360 h, 480 h, 720 h. Po ukončení zkoušky byly vzorky vyjmuty ze zkušební komory, důkladně opláchnuty a osušeny.

Z důvodu podobnosti výsledků kondenzační zkoušky zde nebudou uvedeny všechny vzorky. Celková fotodokumentace je uvedena v Příloze B. Případné rozdíly v barevném odstínu vzorků ze stejné série jsou způsobeny osvětlením během dokumentování výsledků.

Výsledky kondenzační zkoušky nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength 45753 – Série A:

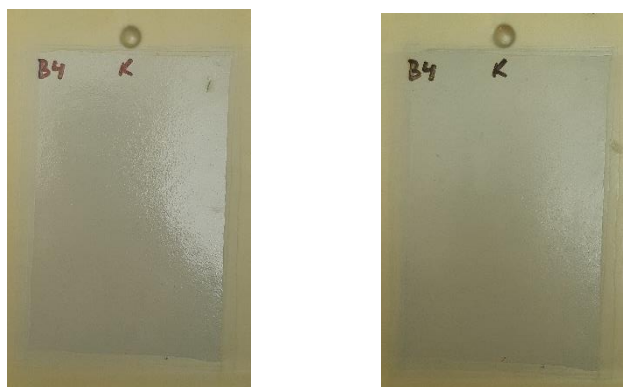


Obrázek 28 - Vzorek A4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Vyhodnocení kondenzační zkoušky na vzorcích A4 a A5:

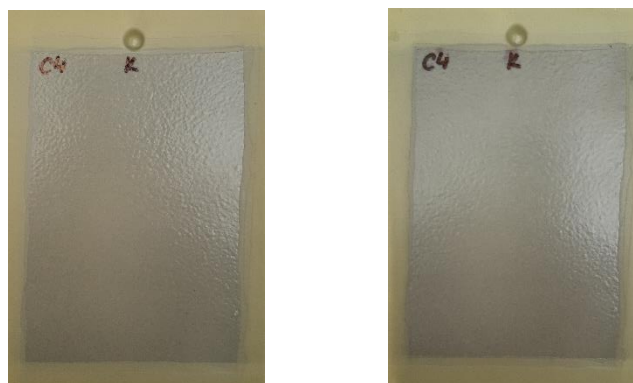
Na vzorcích A4 a A5 nedošlo během kondenzační zkoušky odolnosti vůči vlhkosti k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

Výsledky kondenzační zkoušky nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength GF 35870 – Série B:



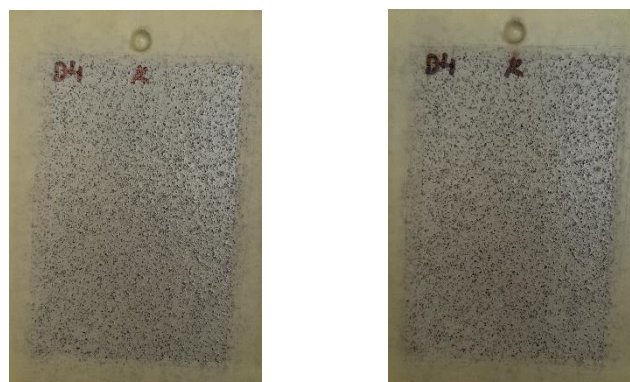
Obrázek 29 - Vzorek B4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Na vzorcích B4 a B5 nedošlo během kondenzační zkoušky odolnosti vůči vlhkosti k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

Výsledky kondenzační zkoušky nátěrové hmoty Viton CP 05 – Série C:

Obrázek 30 - Vzorek C4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

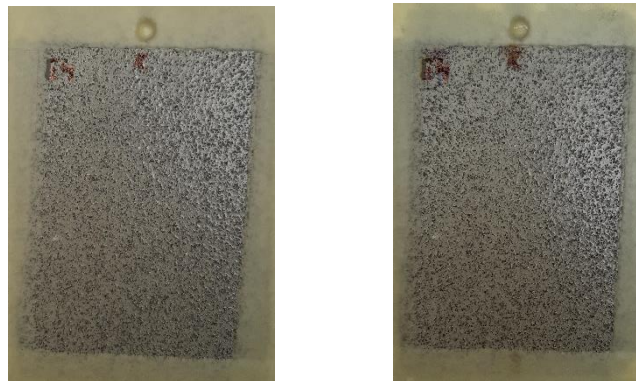
Na vzorcích C4 a C5 nedošlo během kondenzační zkoušky odolnosti vůči vlhkosti k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

Výsledky kondenzační zkoušky nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Mg – Série D:

Obrázek 31 - Vzorek D4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Na vzorcích D4 a D5 nedošlo během kondenzační zkoušky odolnosti vůči vlhkosti k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

**Výsledky kondenzační zkoušky nátěrové hmoty Viton CP 05 + 10 hm. % Mg –
Série E:**



Obrázek 32 - Vzorek E4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Na vzorcích E4 a E5 nedošlo během kondenzační zkoušky odolnosti vůči vlhkosti k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

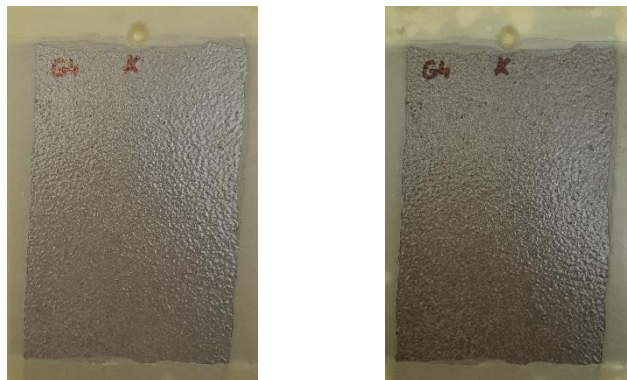
**Výsledky kondenzační zkoušky nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % korund –
Série F:**



Obrázek 33 - Vzorek F4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

Na vzorcích F4 a F5 nedošlo během kondenzační zkoušky odolnosti vůči vlhkosti k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

Výsledky kondenzační zkoušky nátěrové hmoty Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášek – Série G:

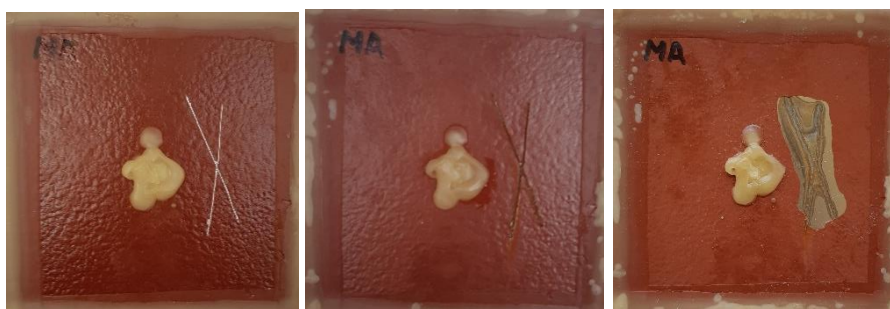


Obrázek 34 - Vzorek G4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)

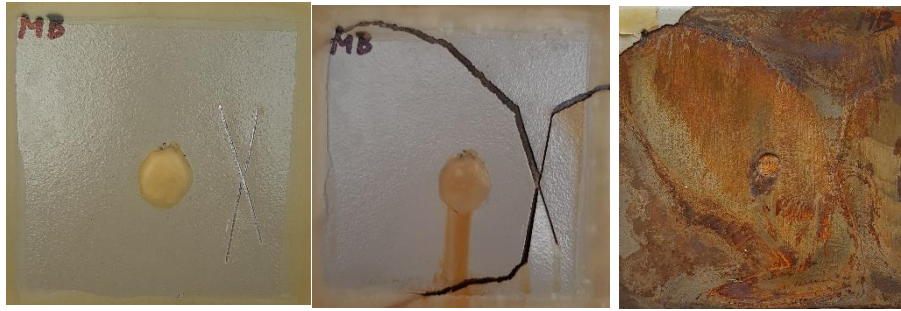
Na vzorcích G4 a G5 nedošlo během kondenzační zkoušky odolnosti vůči vlhkosti k žádné viditelné degradaci nebo jiného poškození.

4.3.3. Machu test

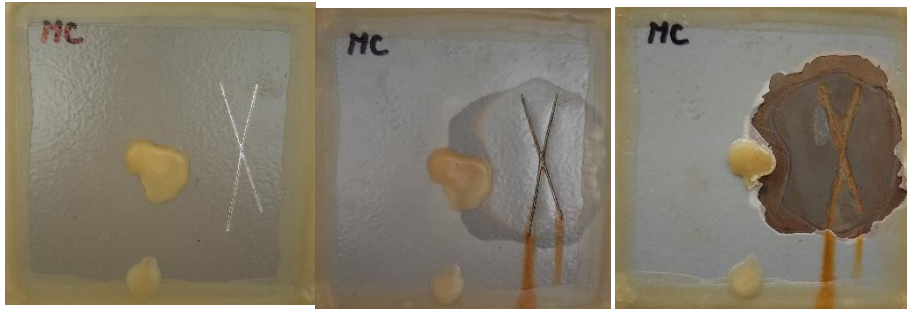
Machu test proběhl dle specifikace Qualicoat (1.3.3.) úplným ponořením zkoušených vzorků do zkušební roztoku. Před začátkem zkoušky bylo provedeno nanesení maskovacího vosku na okraje vzorků a středovou díru. Byl také vytvořen řez ve tvaru písmene X nožem se šířkou ostří 1 mm. Celková doba testu byla stanovena na 36 hodin, která by měla dle specifikace Qualicoat odpovídat 750 hodinám expozice v prostředí solné mlhy. Vzorky byly dokumentovány po 24 a 36 hodinách expozice ve zkušebním roztoku. Celková fotodokumentace je součástí Přílohy C.



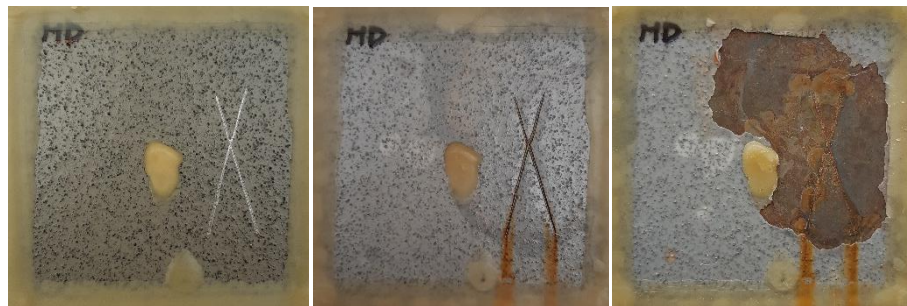
Obrázek 35 - Vzorek MA - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo)



Obrázek 36 - Vzorek MB - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo)



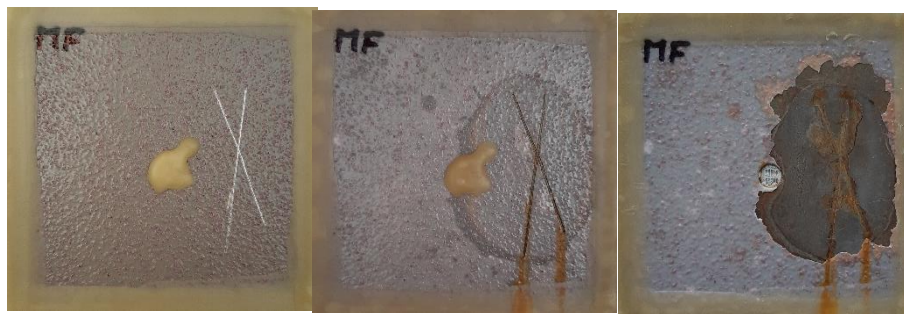
Obrázek 37 - Vzorek MC - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo)



Obrázek 38 - Vzorek MD - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo)



Obrázek 39 - Vzorek ME - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo)



Obrázek 40 - Vzorek MF - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo)



Obrázek 41 - Vzorek MG - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo)

4.3.4. Vyhodnocení urychlených korozních zkoušek

- **Zkouška v solné mlze:**

Během expozice v prostředí neutrální solné mlhy došlo k zjevné degradaci materiálu pod ochranným povlakem u dvou nátěrových systémů, a to u matrice Viton CP 05 bez dodatečného pigmentu (Série C) a u matrice Viton CP 05 pigmentované korundovým abrazivem (Série F). V případě nepigmentované nátěrové hmoty Viton CP 05 (C) došlo zřejmě v důsledku porozity nátěrového filmu ke tvorbě puchýrků (2-2(S3)). Po odstranění nátěru byla pod těmito puchýřky zaznamenána degradace základního materiálu projevena lokálním zčernáním materiálu. Tento jev byl zaznamenán pouze na vzorku C3 s umělým řezem. Naopak u série F (Viton CP 05 + 5 hm. % korund) bylo zaznamenáno rozsáhlé podkorodování nátěrového filmu (Ri 4). Toto podkorodování se po sejmutí nátěru projevilo zčernáním základního materiálu na ploše menší než 8 % celkové plochy vzorku. Toto může být následkem neúplného obalení částic korundového pigmentu matricí v důsledku jejich nižší smáčivosti. Na dalších vzorcích nebyly během expozice zaznamenány žádné známky degradace.

Při vyhodnocení vzorků s umělým řezem nebyla zjištěna žádná delaminace v okolí řezu. Hodnoty koroze v okolí řezu byly ve směs nízké, v intervalu 0,3 až 1

mm. Nejvyšší hodnota stupně koroze byla změřena na vzorku nátěrového systému Hempadur Multi-strength 45753 (0,9 mm).

- **Zkouška odolnosti vůči vlhkosti v prostředí kontinuální kondenzace:**

Na vzorcích nebylo během expozice zaznamenáno žádných známek degradace nebo jiného ho poškození. Proto lze odolnost vybraných nátěrových systémů ve vlhkém prostředí považovat za velmi dobrou.

- **Machu test:**

Z dosažených výsledků Machu testu lze konstatovat, že přímá úměra mezi dobou expozice v solné mlze a v prostředí pracovního roztoku Machu testu neexistuje. Dle kritérií stanovených specifikací Qualicoat nutno všechny nátěrové systémy považovat za nevyhovující, jelikož došlo ke značné delaminaci v okolí umělého defektu. Je však potřeba zmínit, že rozdílnost výsledků zkoušky v solné mlze a machu testu mohla do jisté míry ovlivnit, jak rozdílnost použitých vzorků (zejména z hlediska drsnosti), tak i fakt, že zkouška Machu test je určena zejména pro testování práškových nátěrových hmot. Tuto zkoušku však lze považovat za porovnání odolnosti jednotlivých nátěrových systémů v kyselém kapalném prostředí. Z tohoto porovnání vychází nejlíp nátěrové systémy Hempadur Multi-strength 45753 (A) a Viton CP 05 + 10 hm. % Mg částic (C). Naopak v případě Hempadur Multi-strength GF 35870 (B) a Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášku došlo během expozice v prostředí zkušební roztoku k úplné delaminaci a destrukci povlaku.

4.4. Hodnocení přilnavosti před a po zkouškách v korozních atmosférách

Odtrhová zkouška ČSN EN ISO 4624 (2.8.1.), mřížková zkouška přilnavosti ČSN EN ISO 2409 (2.8.2.) a zkouška křížovým řezem ČSN EN ISO 16276-2 (2.8.3.) byly provedeny jak na referenčních vzorcích, tak na vzorcích po expozici 720 hodin v prostředí solné mlhy a kontinuální kondenzace.

Při odtrhové zkoušce byly na zdrsňený povrch zkoušených nátěrových systémů dvousložkovým epoxidovým lepidlem UHU Endfest lepena zkušební tělíška (panenky) s průměrem podstavy $d = 20$ mm. Následně byly vzorky ponechány při pokojové teplotě

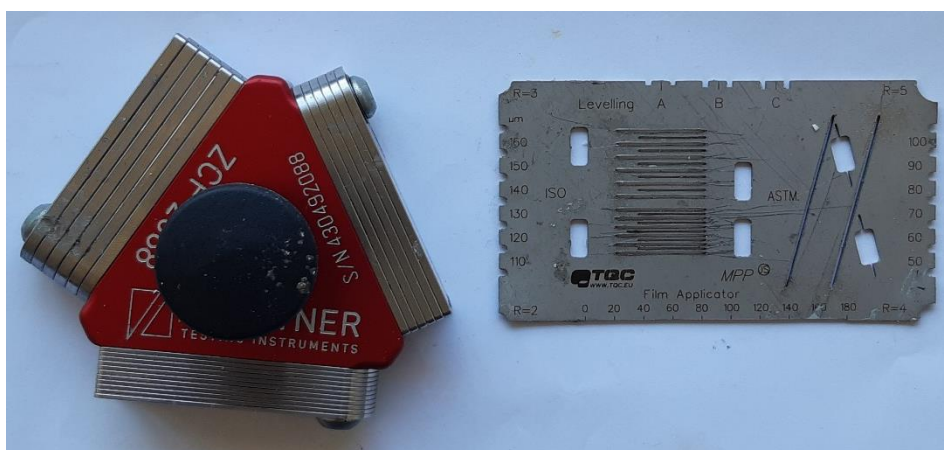
po dobu 24 hodin. Po vytvrzení lepidla byla vyhodnocována hodnota maximálního odtrhového napětí hydraulickým odtrhoměrem Elcometer 510.



Obrázek 42 - Hydraulický odtrhoměr Elcometer 510 (vlevo), Epoxidové lepidlo UHU Plus Endfest a zkušební tělísko (vpravo)

Při mřížkové zkoušce a zkoušce křížovým řezem byly speciálním nožem Stanley vytvořeny série řezů dle šablony Zehntner ZCF 2088 a šablony TQC. Po vytvoření řezů byly štětcem a lepicí páskou odstraněny uvolněné části povlaku v okolí řezů.

Veškerá fotodokumentace zkoušek přilnavosti je uvedena v Příloze D a E.



Obrázek 43 - Šablona mřížkové zkoušky Zehntner ZCF 2088 (vlevo), univerzální šablona TQC (vpravo)

4.4.1. Odtrhová zkouška přilnavosti před a po expozici

Před lepením zkušebních tělísek byl povrch zkoušených nátěrových systémů i povrch zkušebních tělísek zdrsňen brusným papírem a následně očištěn a odmaštěn. Po vykonání zkoušky na referenčních vzorcích bylo zjištěno nedostatečné zdrsňení zkušebních tělísek, čehož důsledkem byla nízká adheze lepidla na povrchu zkušebního

tělíska. Z tohoto důvodu byly na referenčních vzorcích všech sérií provedeny dvě měření navíc. Hodnoty dosažené v měřeních 4 a 5 jsou tedy považovány za referenční. Na vzorcích, kde byly vyhodnoceny nízké hodnoty odtrhového napětí s adhezním charakterem lomu na rozhraní vrchní vrstva-lepidlo (100 % B/Y), bylo vykonáno také jedno dodatečné měření.

Tabulka 47 - Odtrhová zkouška přilnavosti Hempadur Multi-strength 45753

Č. vzorku	Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4		Měření č. 5	
	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]
A1 (NSS)	2,9	100% B/Y	3,6	100% B/Y	3,92	100% B/Y	-	-	-	-
A2 (NSS)	2,6	100% B/Y	1,81	100% B/Y	4,75	100% B/Y	-	-	-	-
A4 (CH)	0,25	100% B/Y	0,14	100% B/Y	Odtržen orukou	-	2,84	100% B/Y	-	-
A5 (CH)	4,88	100% B/Y	3,94	100% B/Y	4,2	100% B/Y	1,45	100% B/Y	-	-
A6 (REF)	3,92	100% B/Y	4,27	100% B/Y	3,7	100% B/Y	7,66	60% Y/Z 40% B/Y	9,06	95% B/Y 5% Y/Z

Vyhodnocení odtrhové zkoušky – Série A:

Vzorky série A vykazovali po expozici v umělých atmosférách výraznou ztrátu adheze mezi lepidlem a zkoušeným nátěrovým filmem. Toto vedlo k nízkým hodnotám maximálního odtrhového napětí, v některých případech došlo k odtržení zkušebního tělíska už během upínání do hydraulického odtrhoměru. Ztráta adheze může být důsledkem nasycení nátěru vlhkostí a chloridy. Vzhledem k vysokým hodnotám odtrhového napětí vyhodnoceným na referenčním vzorku však lze adhezní vlastnosti nátěrového systému A považovat za velmi dobré.

Tabulka 48 - Odtrhová zkouška přilnavosti Hempadur Multi-strength GF 35870

Č. vzorku	Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4		Měření č. 5	
	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]
B1 (NSS)	7,55	85% Y/Z 15% B	7,5	80% Y/Z 20% B	7,57	50% Y/Z 50% B	-	-	-	-
B2 (NSS)	8,15	60% Y/Z 30% B/Y 10% B	7,03	80% Y/Z 10% B/Y 10% B	7,03	70% Y/Z 20% B 10% B/Y	-	-	-	-
B4 (CH)	B4	2,12	100% B/Y	2,68	95% B/Y 5% A/B	2,82	100% B/Y	1,32	100% B/Y	-
B5 (CH)	2,18	100% B/Y	0	rukou	1,88	100% B/Y	1,45	100% B/Y	-	-
B6 (REF)	6,7	100% Y/Z	7,52	100% Y/Z	8,52	100% Y/Z	7,32	70% Y/Z 30% B	7,08	60% Y/Z 40% B

Vyhodnocení odtrhové zkoušky – Série B:

Na referenčním vzorku série B byla dle charakteru lomu vyhodnocena nižší kohézní soudržnost. Podobných výsledků charakteru lomu bylo dosaženo i na vzorcích exponovaných v solné mlze, přičemž nedošlo k výrazné změně maximálního odtrhového napětí. Avšak u vzorků vystavených vlhkému prostředí kondenzační zkoušky byla opět pozorována ztráta adheze mezi lepidlem a povrchem nátěrového filmu, zapříčiněna zřejmě nasycením povlaku vlhkostí.

Tabulka 49 - Odtrhová zkouška přilnavosti Viton CP 05

Č. vzorku	Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4		Měření č. 5	
	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]
C1 (NSS)	5,7	70% Y/Z 30% B/Y	5,31	90% B/Y 10% Y/Z	6,62	70% Y/Z 30% B/Y	-	-	-	-
C2 (NSS)	5,26	70% Y/Z 30% B/Y	6,27	50% Y/Z 50% B/Y	5,42	70% Y/Z 30% B/Y	-	-	-	-
C4 (CH)	1,42	100% B/Y	4,28	100% B/Y	0,65	100% B/Y	1,55	100% B/Y	-	-
C5 (CH)	1,5	100% B/Y	0	rukou	0	rukou	1,53	100% B/Y	-	-
C6 (REF)	6,7	100% Y/Z	4,65	100% Y/Z	5,7	100% Y/Z	9,85	95% B/Y 5% B	8,56	90% B/Y 10% A/B

Vyhodnocení odtrhové zkoušky – Série C:

Podobně jako u série A a B, i v případě série C byla zaznamenána ztráta přilnavosti mezi lepidlem a povrchem filmu, a to zejména po expozici v kondenzační komoře. U vzorků C1 a C2 testovaných v prostředí solné mlhy bylo dosaženo relativně vysokých hodnot odtrhového napětí (nad 5 MPa), přičemž nedošlo k žádnému poškození povlaku.

Tabulka 50 - Odtrhové zkouška přilnavosti Viton CP 05 + 5 hm. % Mg

Č. vzorku	Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4		Měření č. 5	
	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]
D1 (NSS)	5,23	95% B/Y 5% A/B	4,95	98% B/Y 2% A/B	6,47	93% B/Y 7% A/B	-	-	-	-
D2 (NSS)	5,67	98% B/Y 2% A/B	3,58	99% B/Y 1% A/B	4,98	99% B/Y 1% B	-	-	-	-
D4 (CH)	2,32	100% B/Y	1,36	100% B/Y	1,79	100% B/Y	2,26	100% B/Y	-	-
D5 (CH)	1,91	100% B/Y	1,36	100% B/Y	2,11	100% B/Y	2,44	100% B/Y	-	-
D6 (REF)	4,3	100% Y/Z	5	100% Y/Z	5,99	100% Y/Z	9,74	90% A/B 10% B/Y	9,66	40% A/B 30% B/Y 30% Y/Z

Vyhodnocení odtrhové zkoušky – Série D:

Při odtrhové zkoušce série D byla vyhodnocena vysoká odtrhová pevnost filmu pigmentovaného 5 hm. % Mg částicemi, avšak bylo dosaženo vysokého podílu adhezního lomu mezi nátěrem a podkladem. Po expozici v solné mlze byl tento podíl výrazně nižší. To může být důsledkem nižší adheze mezi lepidlem a nátěrem (asi o 40 %). U vzorků exponovaných v prostředí kontinuální kondenzace byla opět zaznamenána ztráta adheze mezi lepidlem a nátěrovým filmem.

Tabulka 51 - Odtrhová zkouška přilnavosti Viton CP 05 + 10 hm. % Mg

Č. vzorku	Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4		Měření č. 5	
	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]
E1 (NSS)	6,43	97% B/Y 3% A/B	8,74	90% B/Y 10% A/B	5,74	90% B/Y 5% A/B 5% A	-	-	-	-
E2 (NSS)	6,08	97% B/Y 2% A/B 1% A	6,8	97% B/Y 3% A/B	7,57	95% B/Y 5% A/B	-	-	-	-
E4 (CH)	Odtržen o rukou	-	1,64	100% B/Y	Odtržen o rukou	-	2,1	100% B/Y	-	-
E5 (CH)	5,45	85% B/Y 8% A/B 7% Y/Z	2,83	99% B/Y 1% A/B	2,78	98% B/Y 2% A/B	1,93	100% B/Y	-	-
E6 (REF)	4,67	100% Y/Z	5,89	100% Y/Z	4,57	100% Y/Z	9,89	60% B/Y 40% Y/Z	9,39	80% B/Y 20% Y/Z

Vyhodnocení odtrhové zkoušky – Série E:

Hodnoty odtrhového napětí referenčního vzorku nátěrového systému pigmentovaného 10 hm. % Mg mikročastic byly odpovídající sérii D, avšak nedošlo k adheznímu lomu mezi podkladem a nátěrem. Toto může být důsledkem zvýšené pevnosti filmu dané vyšší koncentrací Mg pigmentu. Po expozici v solné mlze byl pozorován jak mírný pokles adheze nátěru a podkladu, tak mírné podkorodování. U vzorků exponovaných v prostředí kontinuální kondenzace byla opět zaznamenána ztráta adheze mezi lepidlem a nátěrovým filmem.

Tabulka 52 - Odtrhová zkouška přilnavosti Viton CP 05 + 5 hm. % korund

Č. vzorku	Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4		Měření č. 5	
	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]
F1 (NSS)	2,49	99% B/Y 1% B	2,29	98% B/Y 2% B	1,72	98% B/Y 2% B	1,84	99% B/Y 1% B	-	-
F2 (NSS)	6,34	57% B/Y 40% A/B 3% B	5,13	50% B/Y 45% A/B 3% A 2% B	5,98	60% B/Y 35% A/B 3% B 2% A	-	-	-	-
F4 (CH)	2,5	100% B/Y	2,06	100% B/Y	1,45	100% B/Y	1,73	100% B/Y	-	-
F5 (CH)	1,69	100% B/Y	1,86	100% B/Y	1,61	100% B/Y	0,52	100% B/Y	-	-
F6 (REF)	4,92	100% Y/Z	3,77	100% Y/Z	4,02	100% B/Y	10,97	95% B/Y 5% A/B	10,34	97% B/Y 3% B

Vyhodnocení odtrhové zkoušky – Série F:

Nátěrový systém pigmentovaný 5 hm. % korundového abraziva vykazoval před expozicí v umělých atmosférách vysokých hodnot odtrhového napětí i adhezní a kohézní soudržnosti nátěru a podkladu. U vzorku F2 však byl zaznamenán značný pokles přilnavosti povlaku a nátěrového filmu v důsledku podkorodování.

Tabulka 53 - Odtrhová zkouška přilnavosti Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášek

Č. vzorku	Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4		Měření č. 5	
	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]	Max. napětí [MPa]	Podíl lomu [%]
G1 (NSS)	8,28	40% B/C 30% Y/Z 15% C/Y 10% A/B 5% A	7,43	50% B/C 30% Y/Z 15% A/B 5% A	7,76	40% B/C 30% Y/Z 20% C/Y 8% A/B 2% A	-	-	-	-
G2 (NSS)	1,54	100% C/Y	1,65	100% C/Y	2,44	100% C/Y	6,42	90% C/Y 5% A/B 3% B/C 2% A	-	-
G4 (CH)	6,67	90% C/Y 5% Y/Z 3% B/C 2% B	6,66	100% C/Y	5,59	100% C/Y	-	-	-	-
G5 (CH)	6,62	95% C/Y 5% Y/Z	4,12	100% C/Y	4,59	98% C/Y 2% B/C	8,72	90% C/Y 5% A/B 3% A 2% B/C	-	-
G6 (REF)	5,57	100% Y/Z	5,17	100% Y/Z	5,98	100% Y/Z	6,37	100% B/C	6	100% B/C

Vyhodnocení odtrhové zkoušky – Série G:

Při odtrhové zkoušce referenčního vzorku série G byl před expozicí v umělých atmosférách zaznamenán adhezní lom mezi základní a vrchní vrstvou nátěrového systému. Po expozici byl však u všech vzorků s výjimkou G1 vyhodnocen převládající

adhezní lom mezi vrchní vrstvou a lepidlem při podobném odtrhovém napětí. Na rozdíl od předchozích nátěrových systému zde nedošlo k výrazné změně odtrhového napětí po expozici v umělých atmosférách.

4.4.2. Hodnocení přilnavosti před a po expozici – mřížková zkouška, zkouška křížovým řezem

Tabulka 54 - Mřížková zkouška, křížový řez - Hempadur Multi-strength 45753

Č. vzorku	Mřížková zkouška		Křížový řez
A1 (NSS)	1	0	0
A2 (NSS)	0	0	0
A4 (CH)	2	-	1
A5 (CH)	1	-	1
A6 (REF)	0	-	0

Tabulka 55 - Mřížková zkouška, křížový řez - Hempadur Multi-strength GF 35870

Č. vzorku	Mřížková zkouška		Křížový řez
B1 (NSS)	0	0	0
B2 (NSS)	0	0	0
B4 (CH)	0	-	1
B5 (CH)	0	-	0
B6 (REF)	0	-	0

Tabulka 56 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton CP 05

Č. vzorku	Mřížková zkouška		Křížový řez
C1 (NSS)	0	0	0
C2 (NSS)	0	0	0
C4 (CH)	0	-	0
C5 (CH)	0	-	0
C6 (REF)	0	-	0

Tabulka 57 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton CP 05 + 5 hm. % Mg

Č. vzorku	Mřížková zkouška		Křížový řez
D1 (NSS)	0	0	0
D2 (NSS)	0	0	0
D4 (CH)	1	-	1
D5 (CH)	1	-	0
D6 (REF)	0	-	0

Tabulka 58 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton CP 05 + 10 hm. % Mg

Č. vzorku	Mřížková zkouška		Křížový řez
E1 (NSS)	1		0
E2 (NSS)	1		1
E4 (CH)	1		2
E5 (CH)	1		1
E6 (REF)	0		0

Tabulka 59 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton CP 05 + 5 hm. % korund

Č. vzorku	Mřížková zkouška	Křížový řez
F1 (NSS)	2	1
F2 (NSS)	1	1
F4 (CH)	1	0
F5 (CH)	1	0
F6 (REF)	0	0

Tabulka 60 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášek

Č. vzorku	Mřížková zkouška	Křížový řez
G1 (NSS)	0	0
G2 (NSS)	0	0
G4 (CH)	0	0
G5 (CH)	0	0
G6 (REF)	0	0

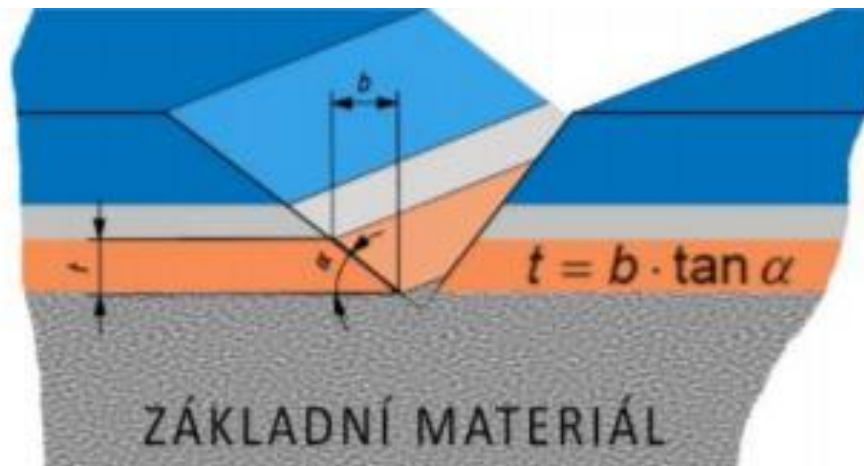
Vyhodnocení mřížkové zkoušky a křížového řezu:

Po provedení mřížkové zkoušky a křížového řezu byl vyhodnocen největší pokles přilnavosti na vzorcích Viton CP pigmentovaných 10 hm. % Mg (E) a 5 hm. % korundového abraziva (F). Vesměs však lze na základě těchto zkoušek vyhodnotit adhezní vlastnosti zkoušených povlaků jako velmi dobré.

4.5. Hodnocení otěruvzdornosti zkouškou Taber abraser

Zkouška otěruvzdornosti proběhla dle postupu popsaného v kapitole 3.4. Vzorky pro zkoušku otěruvzdornosti byly upnuty na rotační podložku zkušebního přístroje Taber abraser. Následně byly na povrch vzorku položeny dva abrazivní kotouče CALIBRADE H-10 upnuty na dvou sklápěcích ramenech. Po 100, 200, 300, 400, 500 a 1000 abrazních cyklech byly vzorky vyndány, očištěny a zváženy na citlivých laboratorních váhách Mettler H64. Z rozdílu počáteční hmotnosti a hmotnosti po uplynutí daného počtu abrazních cyklů byl stanoven hmotnostní úbytek.

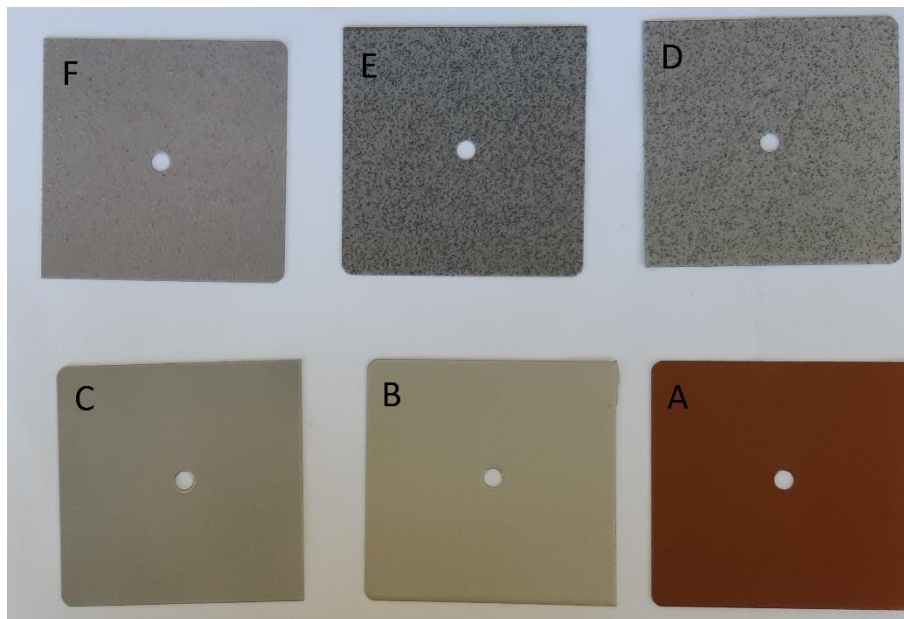
Po 1000 cyklech byla na každém vzorku přístrojem Elcometer 121/4 P.I.G. (3.5.1.) změřena suchá tloušťka povlaku na nepoškozeném povlaku i vydřené oblasti. Z důvodu vyšší přesnosti byly hodnoty horizontálního rozměru povlaku měřeny na mikroskopu Olympus SZ61. Změřené rozměry byly přepočítány na hodnotu tloušťky dle schéma na Obrázku 44. Výsledná hodnota úbytku tloušťky byla stanovena rozdílem průměrné hodnoty 10 měření uvnitř a vně vydřené oblasti. Veškerá fotodokumentace měření úbytku tloušťky je uvedena v Příloze G.



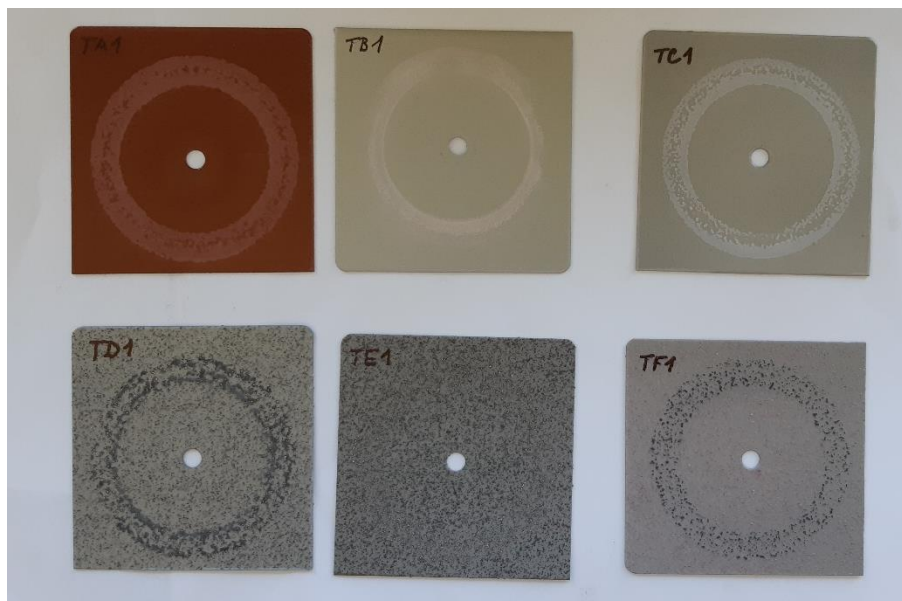
Obrázek 44 - Hodnocení DFT metodou klínového řezu [43]



Obrázek 45 - Taber abraser (vlevo), Abrasní kotouče CALIBRADE H-10 (vpravo)

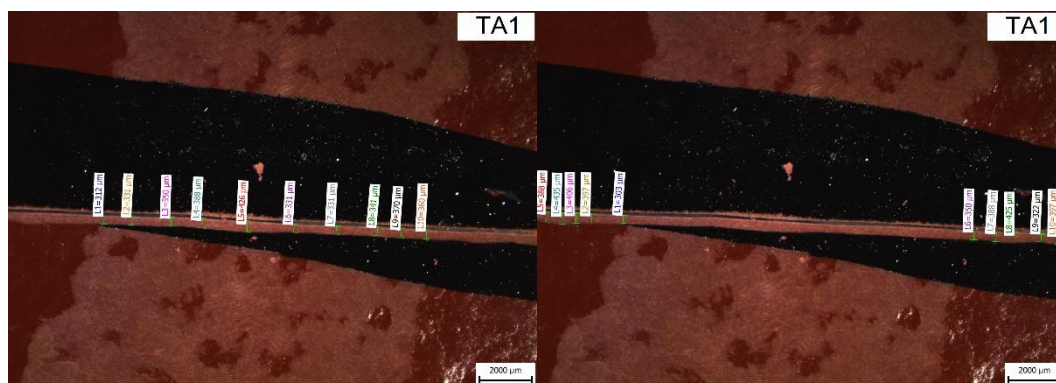


Obrázek 46 - Vzorky před zkouškou ořezuvzdornosti Taber abraser

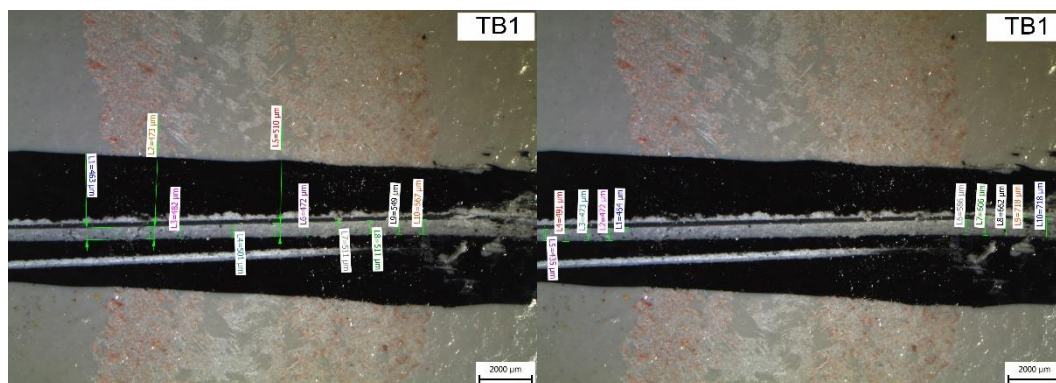


Obrázek 47 - Vzorky po 1000 cyklech Taber abraser

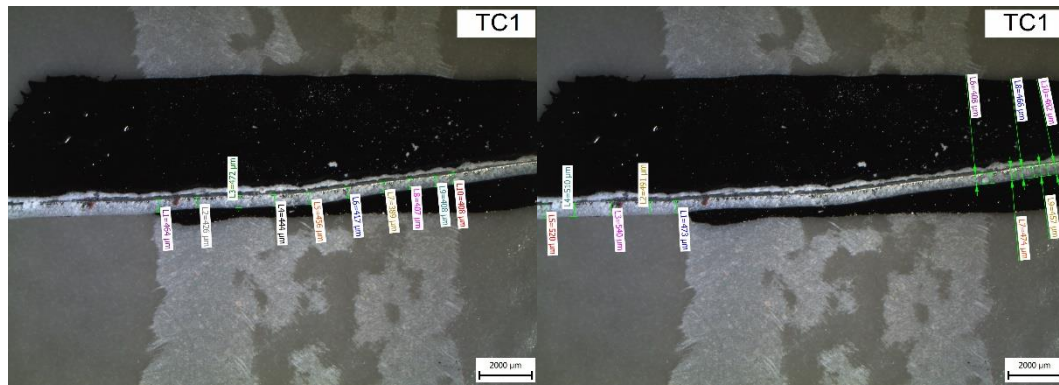
Z důvodu podobnosti zde je uveden snímek pouze jednoho vzorku každého nátěrového systému. Celková fotodokumentace je uvedena v Příloze G.



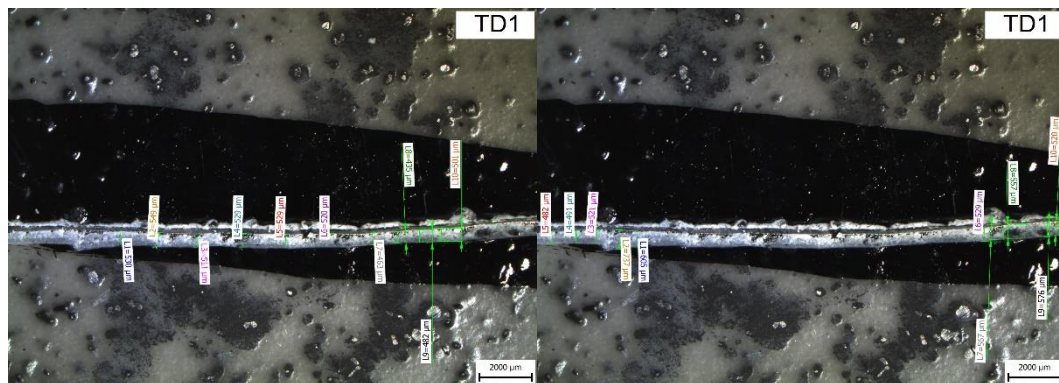
Obrázek 48 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TA1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)



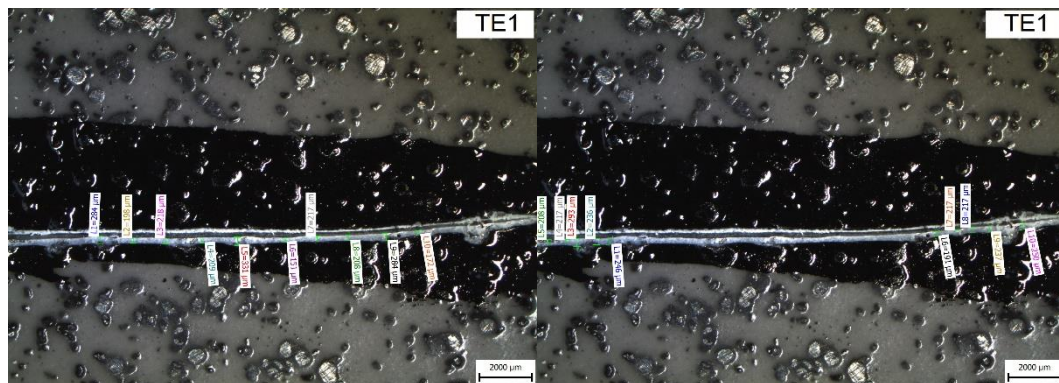
Obrázek 49 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TB1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)



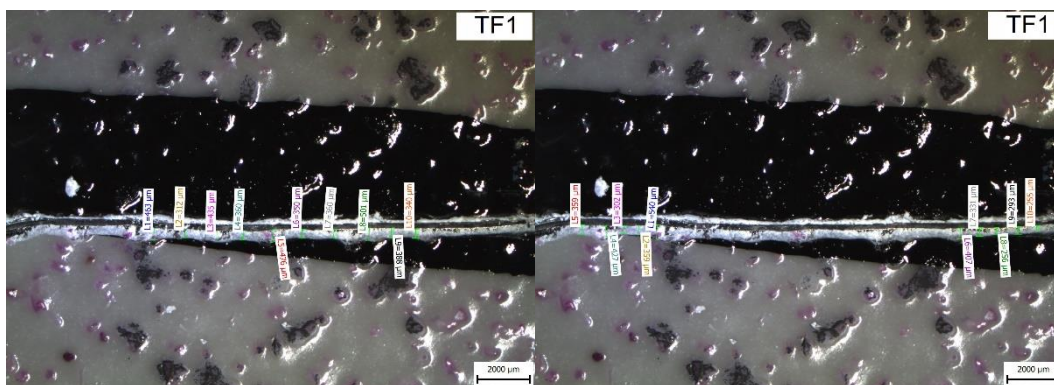
Obrázek 50 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TC1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)



Obrázek 51 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TD1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)



Obrázek 52 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TE1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)

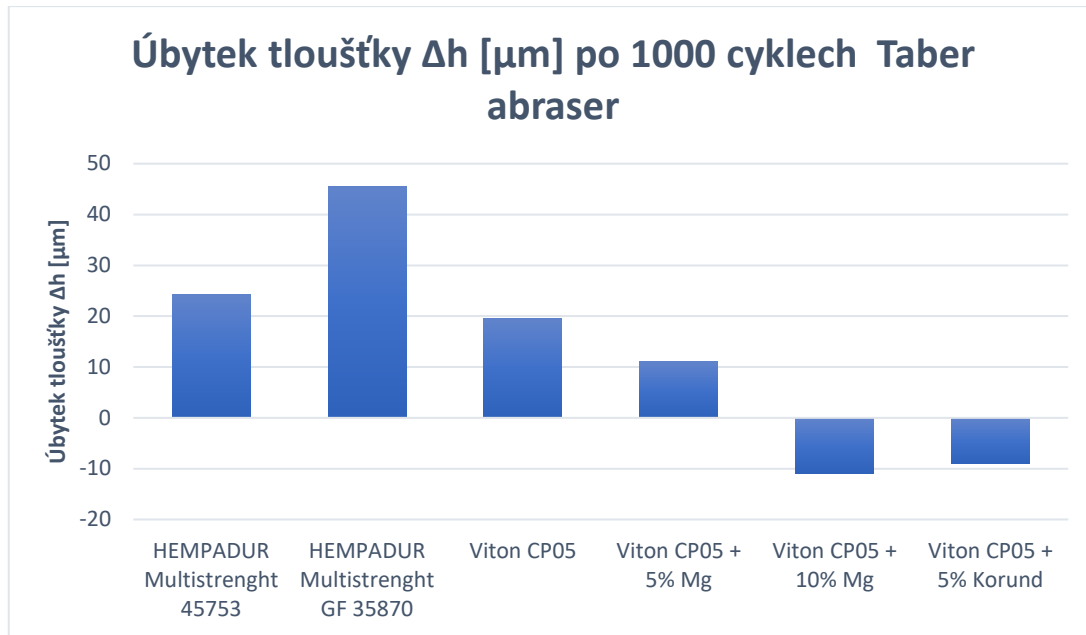


Obrázek 53 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TF1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)

4.5.1. Hodnocení úbytku tloušťky

Tabulka 61 - Vypočtené hodnoty úbytku tloušťky po 1000 abrazních cyklech

Série	Nátěrová hmota	Vzorek	h_0 [μm]	h_1 [μm]	Δh [μm]	$\bar{\Delta h}$ [μm]
A	HEMPADUR Multistrength 45753	TA1	190,84	177,27	13,57	24,21
		TA2	232,00	197,15	34,85	
B	HEMPADUR Multistrength GF 35870	TB1	561,50	503,90	57,60	45,55
		TB2	610,50	577,00	33,50	
C	Viton CP05	TC1	241,42	214,88	26,54	19,50
		TC2	263,30	250,83	12,47	
D	Viton CP05 + 5% Mg	TD1	279,68	252,84	26,84	11,02
		TD2	249,08	253,89	-4,81	
E	Viton CP05 + 10% Mg	TE1	115,78	113,77	2,00	-10,94
		TE2	136,91	160,79	-23,89	
F	Viton CP05 + 5% korund	TF1	176,72	199,55	-22,83	-9,06
		TF2	203,96	199,25	4,71	



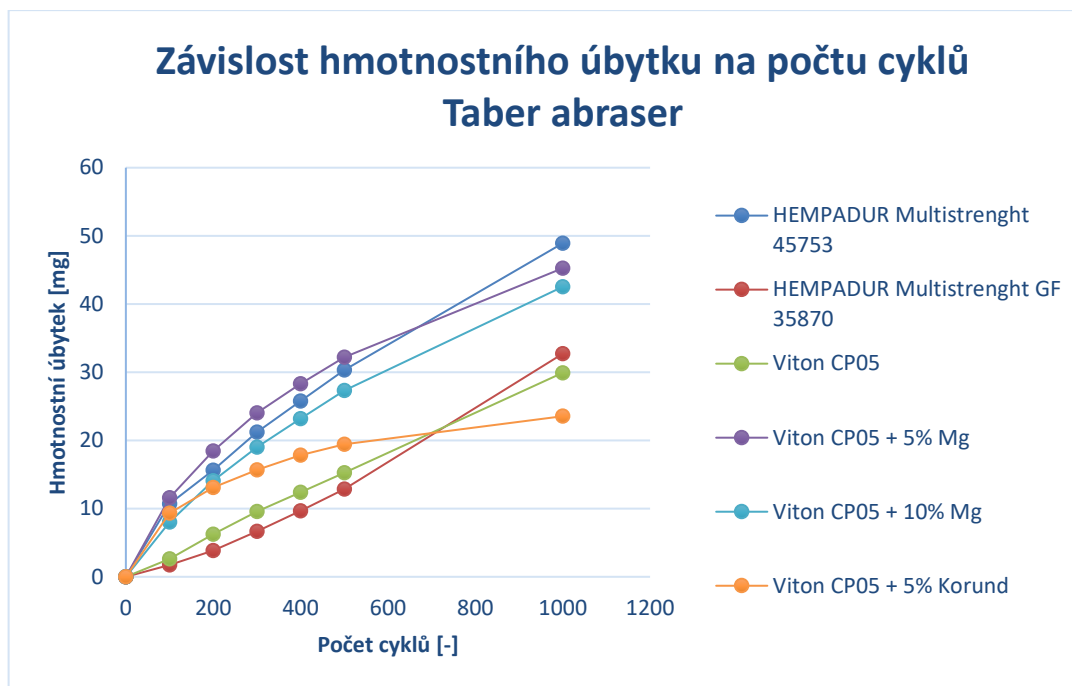
Vyhodnocení úbytku tloušťky po 1000 cyklech na Taber abraser:

Z výsledků dosažených měření tloušťky povlaku uvnitř a vně vydržené oblasti vzorků po zkoušce otěruvzdornosti lze konstatovat vyšší otěruvzdorné vlastnosti jak Mg, tak korundem pigmentovaných nátěrových hmot. Během zkušebního procesu došlo k prvotnímu zarovnání vysoké kontury povrchu pigmentovaných nátěrů. Tyto hladké styčné plochy následně zpomalily další opotřebení, a zabránily jakémukoli poškození základní matrice. Nejvyšší hodnota úbytku tloušťky byla změřena na vzorku nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength GF 35870 (45,55 μm). Vysoká amplituda kontury povrchu pigmentovaných nátěrových hmot však neumožňuje přesné vyhodnocení tloušťky povlaku destruktivní metodou při použití přístroje Elcometer 121/4 P.I.G. Z tohoto důvodu bylo při vyhodnocení úbytku tloušťky povlaku dosaženo i záporných hodnot. Proto je výhodnější metodou vyhodnocení úbytku tloušťky měření na konfokálním mikroskopu.

4.5.2. Hodnocení hmotnostního úbytku

Tabulka 62 - Vypočtené hodnoty hmotnostního úbytku po 1000 cyklech

Série	Nátěrový systém	Vzorek	Počet cyklů						
			0	100	200	300	400	500	1000
			Hmotnostní úbytek Δm [mg/ počet cyklů]						
A	HEMPADUR Multistrength 45753	TA1	0	14,15	22,25	29,60	36,48	43,22	66,14
		TA2	0	7,30	9,00	12,80	15,05	17,39	31,69
Průměrný hmotnostní úbytek $\bar{\Delta m}$ [mg/počet cyklů]			0	10,72	15,62	21,20	25,76	30,30	48,91
B	HEMPADUR Multistrength GF 35870	TB1	0	2,10	4,50	8,05	11,64	15,10	33,17
		TB2	0	1,34	3,16	5,30	7,70	10,62	32,26
Průměrný hmotnostní úbytek $\bar{\Delta m}$ [mg/počet cyklů]			0	1,72	3,83	6,67	9,67	12,86	32,71
C	Viton CP05	TC1	0	3,40	8,22	11,99	14,92	18,07	32,50
		TC2	0	1,81	4,24	7,14	9,91	12,44	27,35
Průměrný hmotnostní úbytek $\bar{\Delta m}$ [mg/počet cyklů]			0	2,60	6,23	9,56	12,41	15,25	29,92
D	Viton CP05 + 5% Mg	TD1	0	12,51	19,78	25,17	29,51	33,31	47,02
		TD2	0	10,65	17,09	22,87	27,13	31,10	43,50
Průměrný hmotnostní úbytek $\bar{\Delta m}$ [mg/počet cyklů]			0	11,58	18,43	24,02	28,32	32,20	45,26
E	Viton CP05 + 10% Mg	TE1	0	7,80	14,54	20,10	24,49	29,16	45,40
		TE2	0	8,21	13,60	17,90	21,90	25,45	39,67
Průměrný hmotnostní úbytek $\bar{\Delta m}$ [mg/počet cyklů]			0	8,00	14,07	19,00	23,19	27,30	42,53
F	Viton CP05 + 5% Korund	TF1	0	11,06	16,25	19,82	22,77	25,02	29,01
		TF2	0	7,66	9,96	11,50	12,90	13,81	18,09
Průměrný hmotnostní úbytek $\bar{\Delta m}$ [mg/počet cyklů]			0	9,36	13,10	15,66	17,83	19,41	23,55



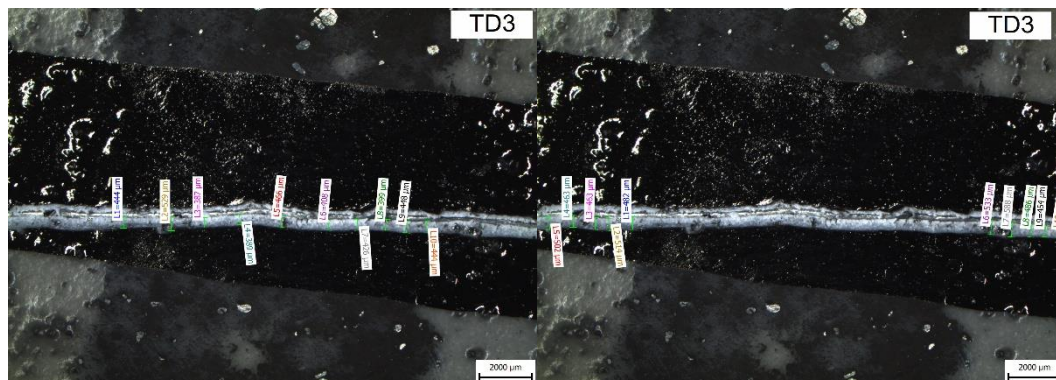
Vyhodnocení hmotnostních úbytků po 1000 cyklech na Taber abraser:

Z pohledu úbytku hmotnosti z výsledku zkoušky otěruvzdorní vyplývá, že nejhorší otěruvzdorné vlastnosti vykazují nátěrové systémy Hempadur Multi-strength 45753 (48,915 mg), Viton CP 05 + 5 hm. % Mg (45,26 mg) a Viton CP 05 + 10 hm. % Mg (42,535 mg). Vzájemné porovnání otěruvzdornosti těchto nátěrových systémů z pohledu úbytku hmotnosti však není objektivní, s přihlédnutím na rozdílnou hustotu nátěrových filmů. Tyto hodnoty hmotnostních úbytku by bylo pro objektivní porovnání nutno přepočíst opravným faktorem závislým na hustotě zkoušených nátěrových systémů. Zajímavým výstupem je však závislost hmotnostních úbytku jednotlivých nátěrových hmot na počtu abrazních cyklů. Z grafu závislosti hmotnostních úbytků na počtu cyklů je zjevný výrazný pokles rychlosti opotřebení nátěrového systému Viton CP 05 + 5 hm. % korundového abraziva po prvotním obroušení tenkých vrcholků zrn korundového pigmentu.

4.5.3. Hodnocení otěruvzdornosti Mg pigmentovaných nátěrových hmot při vyšším zatížení

Pro vyhodnocení otěruvzdorných vlastností Mg pigmentovaných nátěrových hmot při vyšším zatížení byla navržena zkouška nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Mg po dobu 7000 cyklu na Taber abraser. Hmotnostní úbytky byly měřeny na laboratorních váhách Mettler H64 po 5000, 6000 a 7000 cyklech. Po uplynutí 7000 cyklů bylo

provedeno i měření tloušťky povlaku uvnitř a vně opotřebené oblasti destruktivní metodou přístrojem Elcometer 121/4 P.I.G.



Obrázek 54 - Vzorek TD3 po 7000 abrazních cyklech - uvnitř (vlevo) a vně (vpravo) odřené oblasti

Tabulka 63 - Vzorek TD3 - hmotnostní úbytek po 7000 abrazních cyklech

Hmotnostní úbytek Δh [mg] Viton CP 05 + 5% Mg (TD3)	
Počet cyklů	Hmotnostní úbytek Δh [mg]
0	0
5000	106,95
6000	115,12
7000	118,45

Tabulka 64 - Vzorek TD3 - úbytek tloušťky po 7000 abrazních cyklech

Úbytek tloušťky Δh [μm] Viton CP 05 + 5% Mg po 7000 cyklech		
h_0 [μm]	h_1 [μm]	Δh [μm]
245,67	217,33	28,34

Vyhodnocení zkoušky otěruvzdornosti nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Mg po 7000 cyklech na Taber abraser:

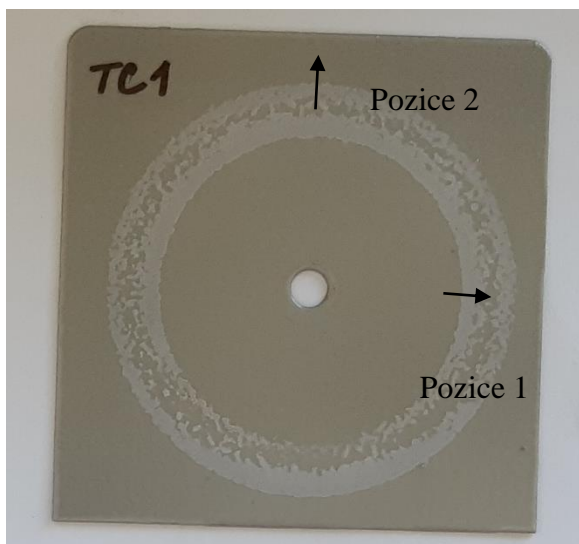
Zejména z hodnot hmotnostního úbytku je patrný výrazný pokles rychlosti abrazivního opotřebení při delším zatížení. Při době zkoušení 1000 cyklů byl vyhodnocen hmotnostní úbytek 45,26 mg, avšak mezi 6000. a 7000. abrazivním cyklem došlo

k úbytku hmotnosti pouze 3,33 mg. Z těchto hodnot lze konstatovat, že pigmentace Mg částicemi má pozitivní vliv na kluzné a otěruvzdorné vlastnosti matrice organické nátěrové hmoty.

4.5.4. Hodnocení úbytku tloušťky na konfokálním mikroskopu

Z důvodu nepřehledného měření úbytku tloušťky po zkoušce otěruvzdornosti zejména u pigmentovaných nátěrových systémů destruktivní metodou přístrojem Elcometer 121/4 P.I.G bylo zavedeno hodnocení úbytku tloušťky zkoušených vzorků pomocí snímání kontury povrchu konfokálním mikroskopem (3.4.2.). Výstupem jsou 3D výškové mapy a křivky profilu povrchu nátěru uvnitř a vně odřené oblasti.

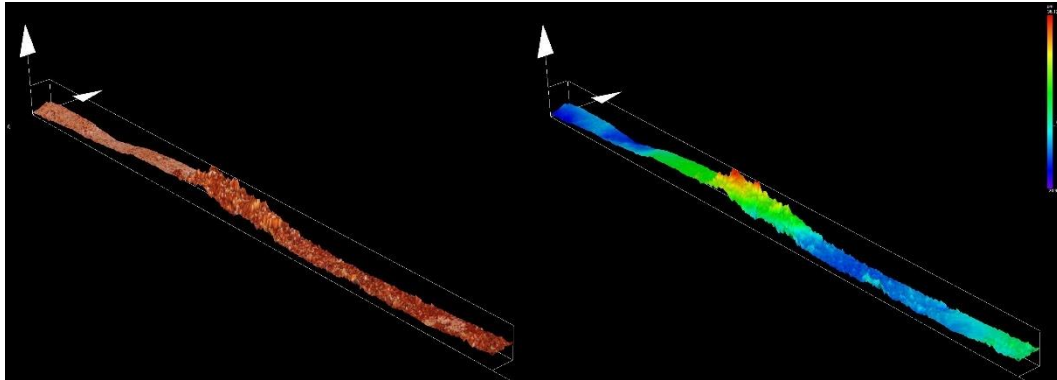
Z každé série zkoušených nátěrových hmot byl konfokálním mikroskopem snímán jeden vzorek. Na každém vzorku byly nasnímány dvě oblasti přechodu mezi opotřebeným a nepoškozeným nátěrem. V Pozici 1 je snímán přechod z nepoškozeného nátěru směrem ke středové kružnici opotřebené oblasti a v Pozici 2 je snímán přechod od středové kružnice opotřebené oblasti směrem do nepoškozeného nátěru. Fotodokumentace je uvedena v Příloze H.



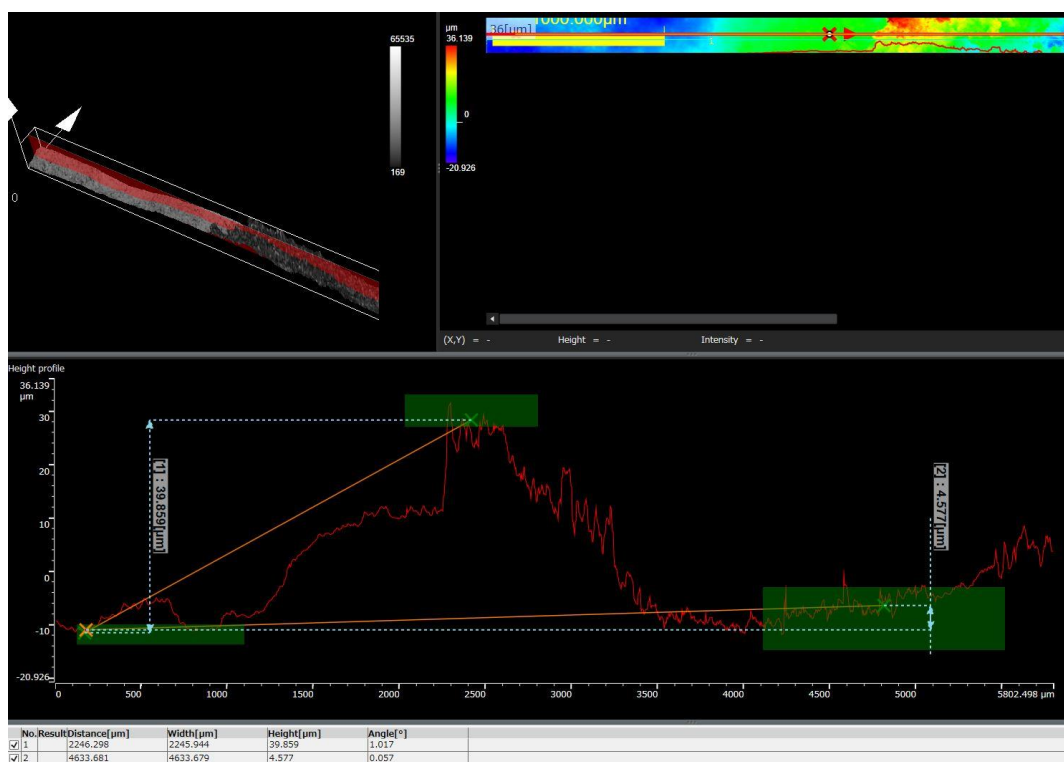
Obrázek 55 - Pozice snímání na konfokálním mikroskopu

Výsledky snímání profilu povrchu po zkoušce otěruvzdornosti nátěrové hmoty
Hempadur Multi-strength 45753 – Série A:

- Pozice 1

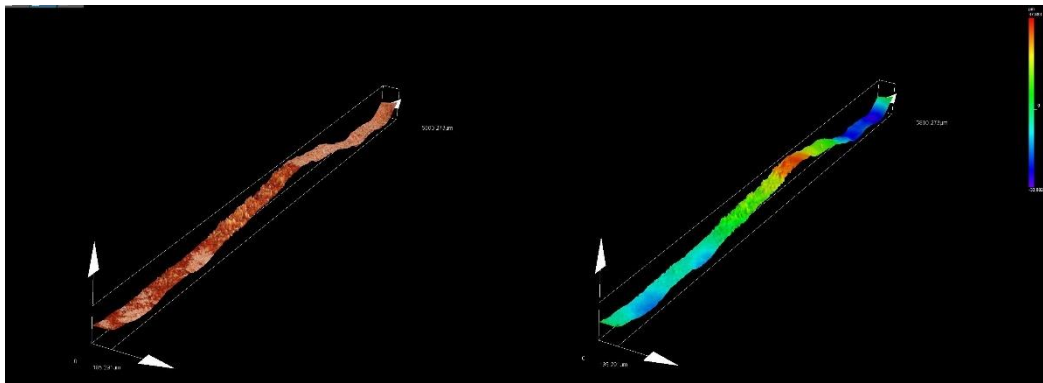


Obrázek 56 - Vzorek TA2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)

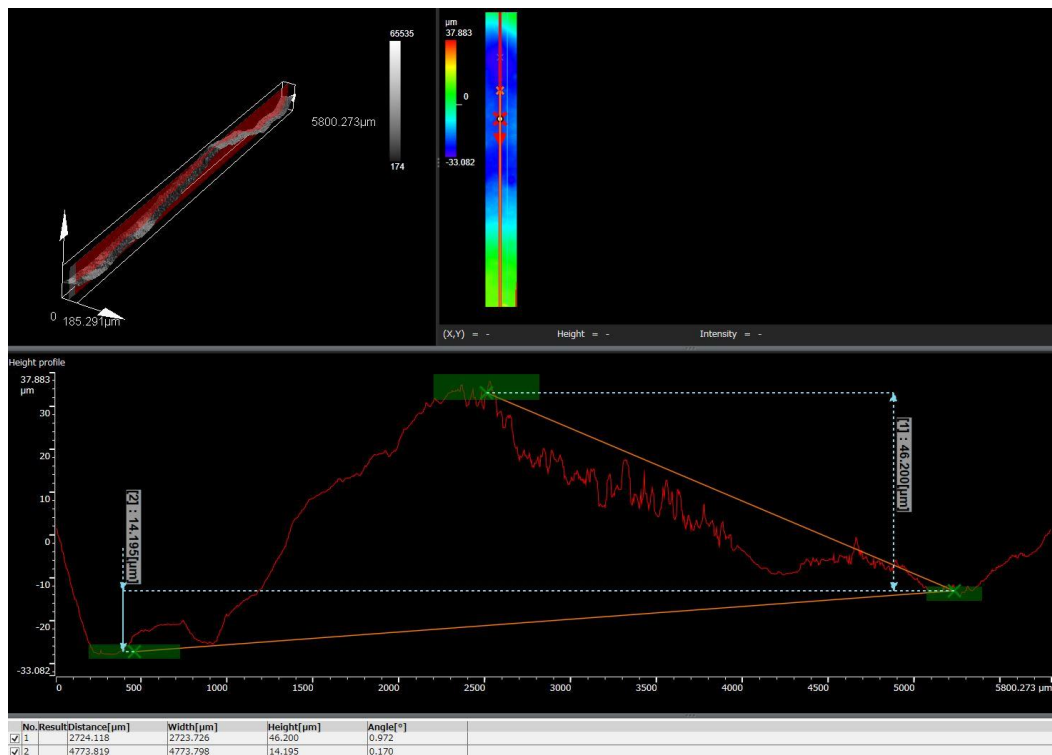


Obrázek 57 - Vzorek TA2 - profil povrchu

- **Pozice 2**



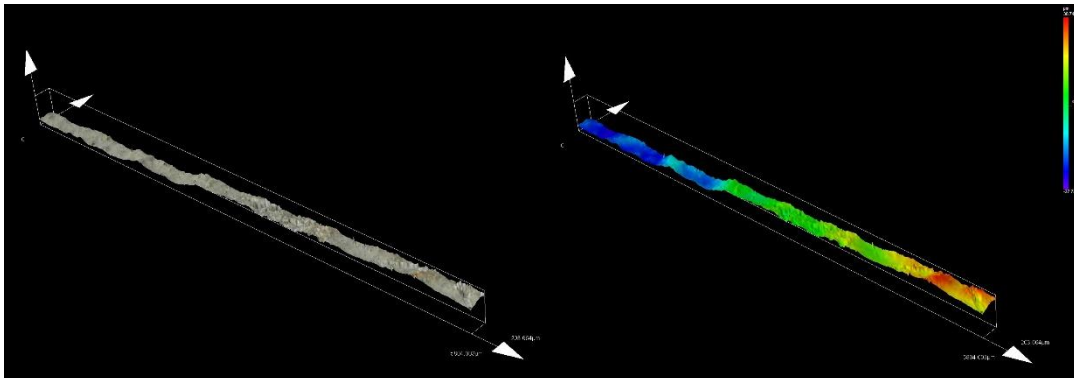
Obrázek 58- Vzorek TA2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)



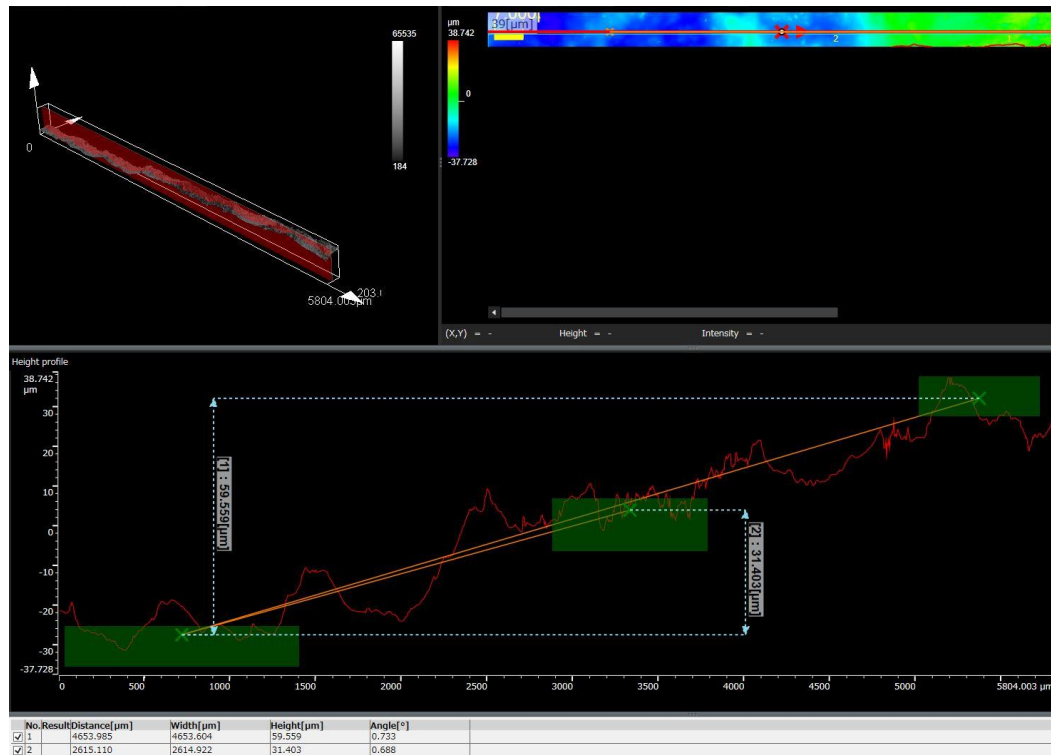
Obrázek 59 - Vzorek TA2 - profil povrchu

Výsledky snímání profilu povrchu po zkoušce otěruvzdornosti nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength GF 35870 – Série B:

- **Pozice 1**

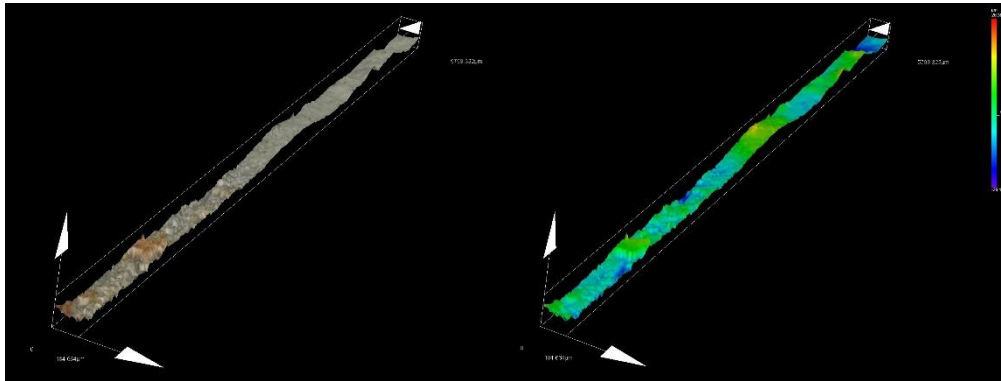


Obrázek 60 - Vzorek TB2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)

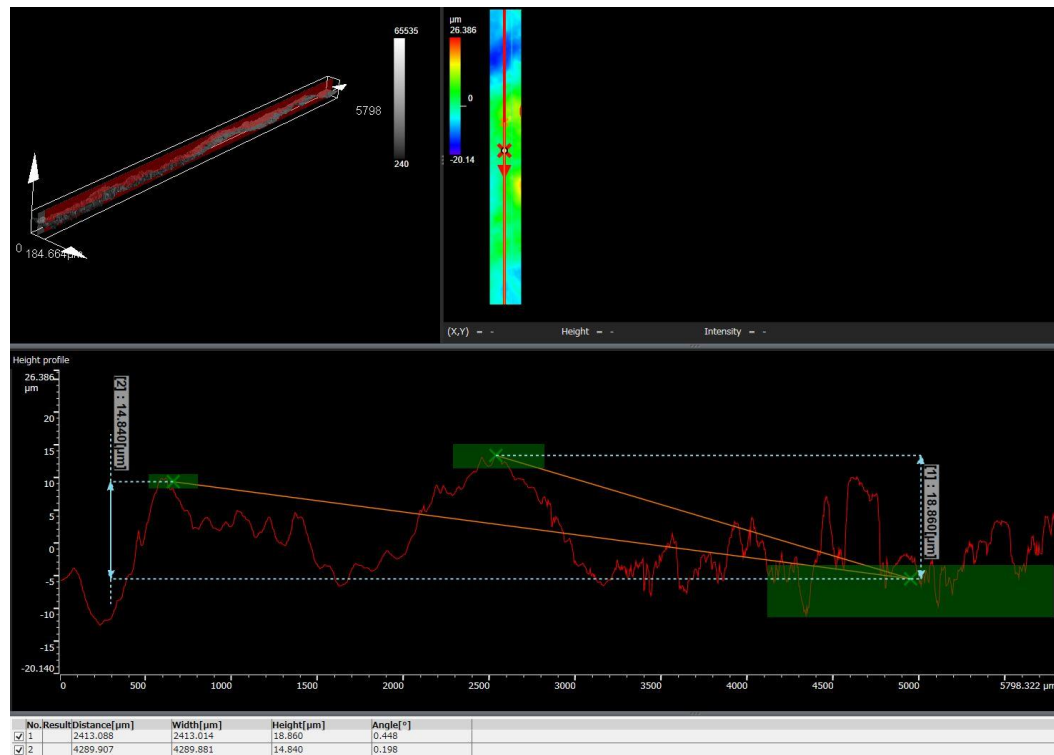


Obrázek 61 - Vzorek TB2 - profil povrchu

- Pozice 2



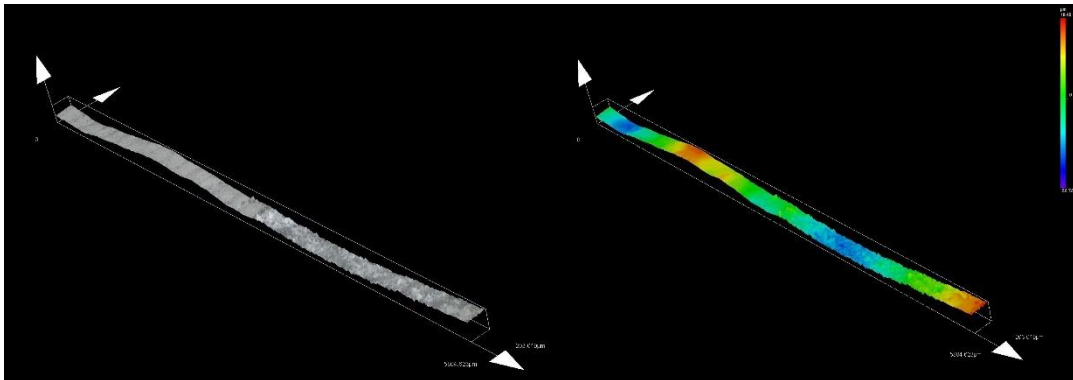
Obrázek 62 - Vzorek TB2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)



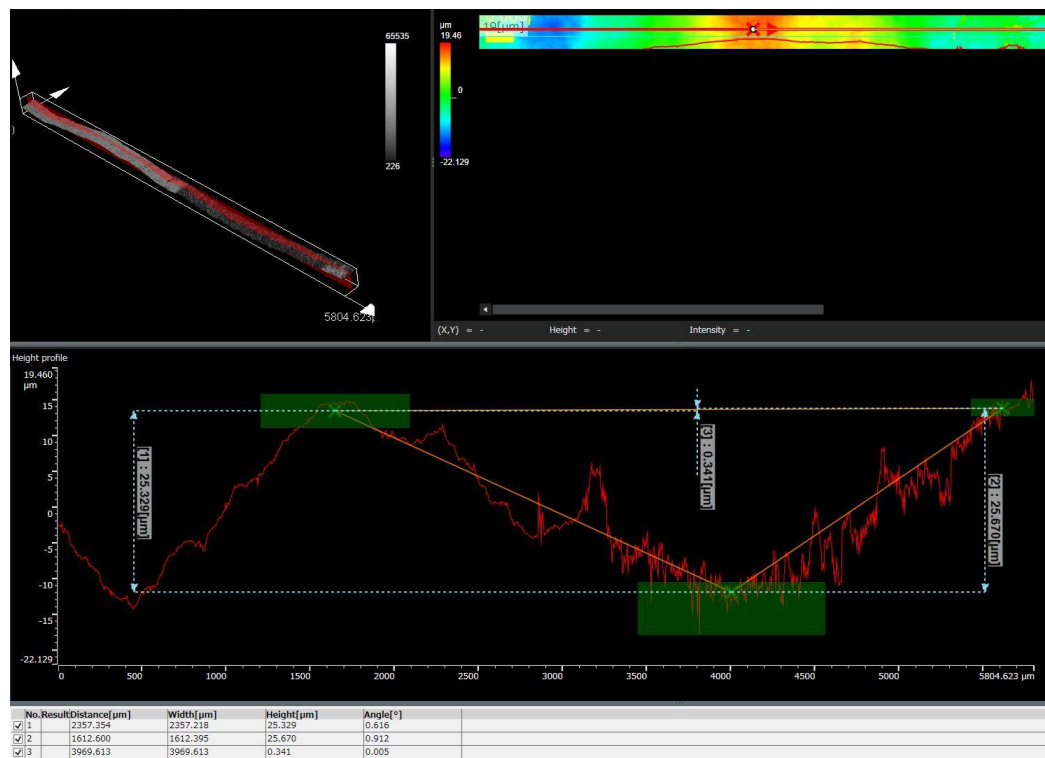
Obrázek 63 - Vzorek TB2 - profil povrchu

Výsledky snímání profilu povrchu po zkoušce otěruvzdornosti nátěrové hmoty Viton CP 05 – Série C:

- Pozice 1

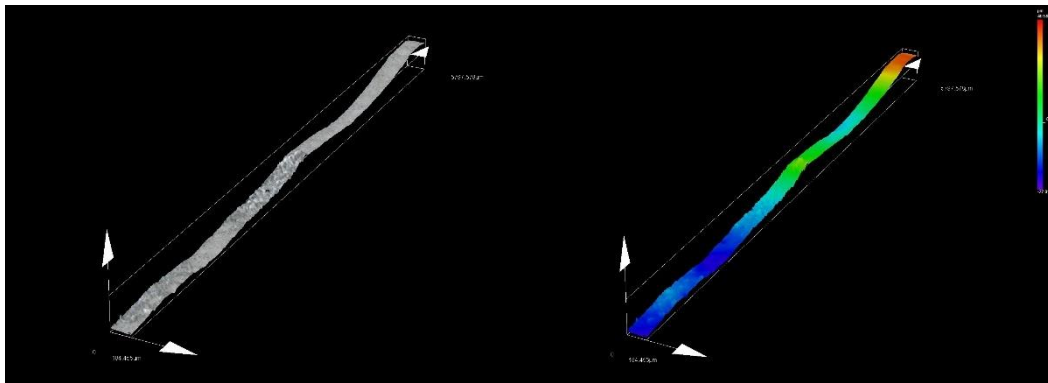


Obrázek 64 - Vzorek TC2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)

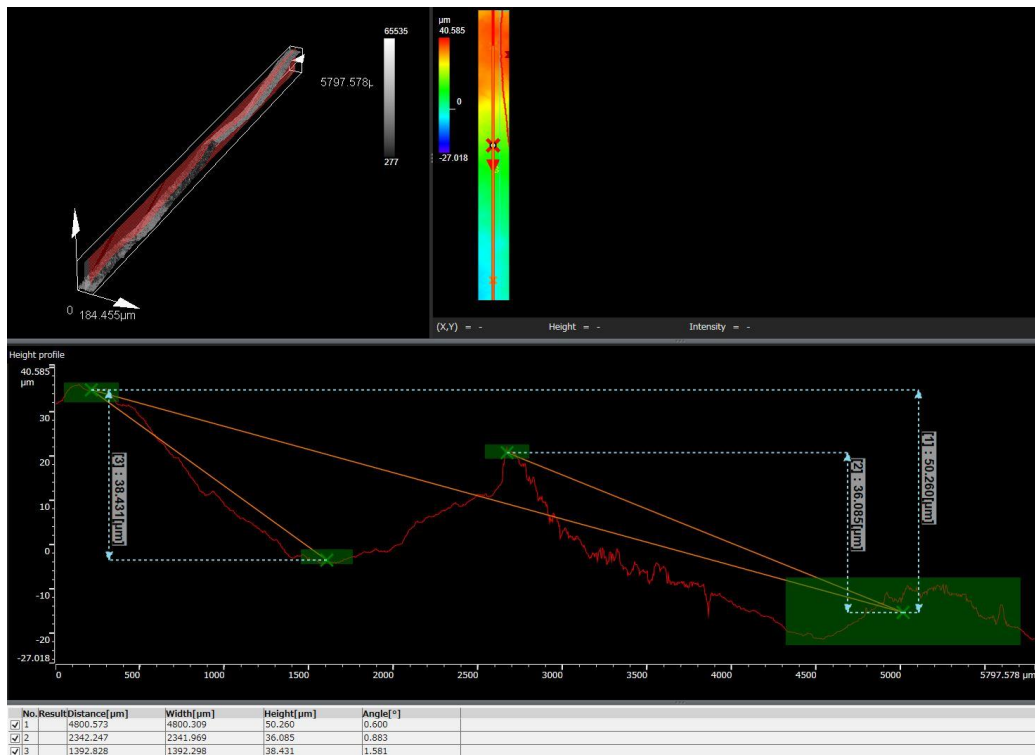


Obrázek 65 - Vzorek TC2 - profil povrchu

- **Pozice 2**



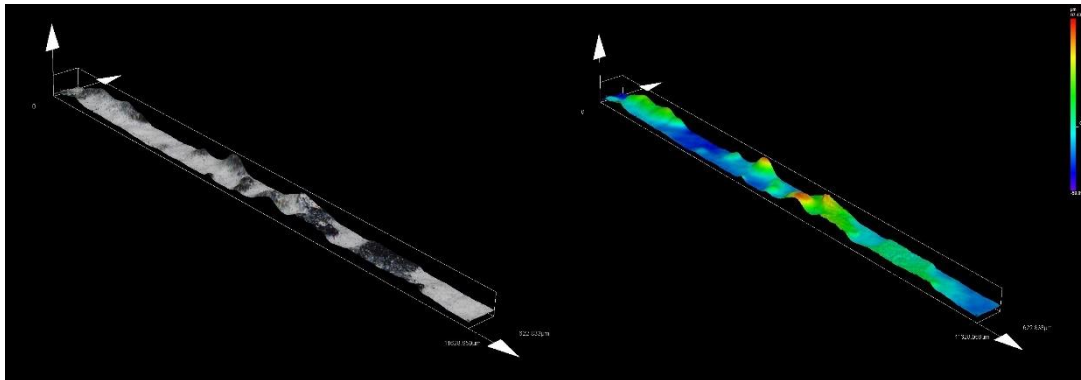
Obrázek 66 - Vzorek TC2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)



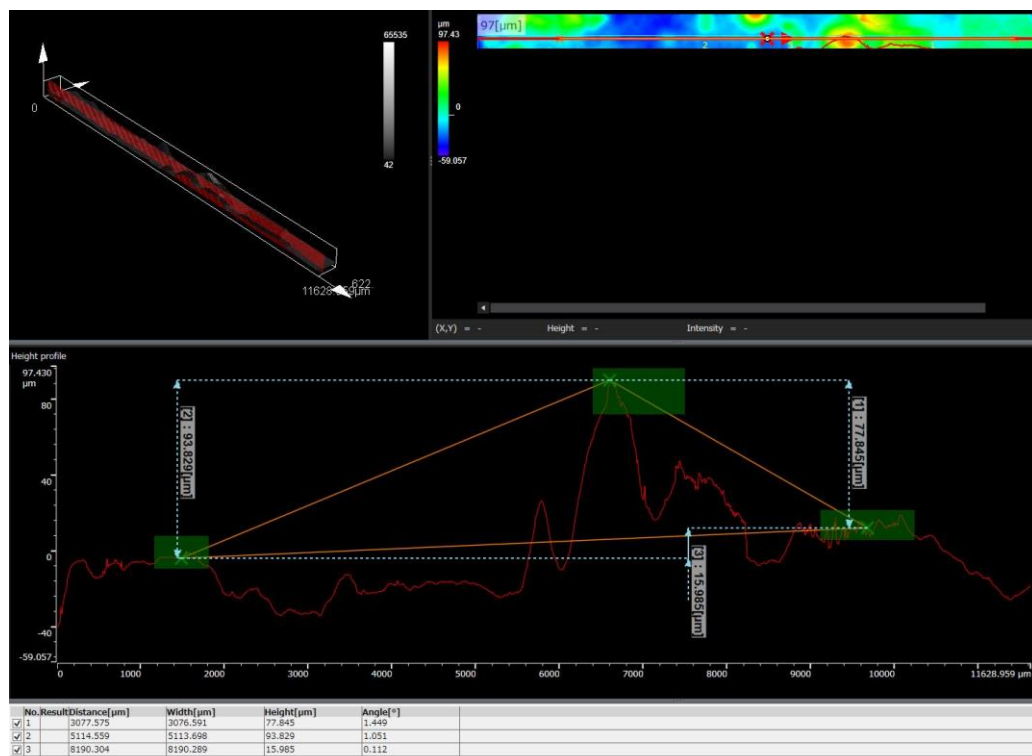
Obrázek 67 - Vzorek TC2 - profil povrchu

Výsledky snímání profilu povrchu po zkoušce otěruvzdornosti nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Mg – Série D – Vzorek TD2 (1000 cyklů):

- **Pozice 1**

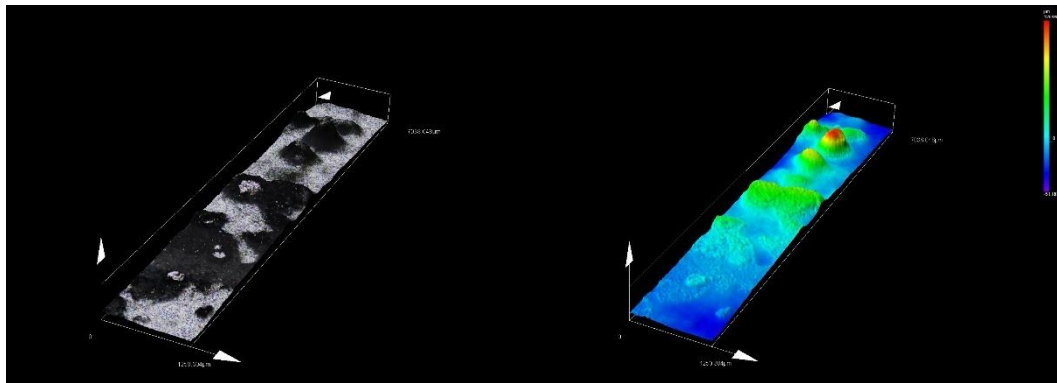


Obrázek 68 - Vzorek TD2: Z faktor 3x, zvětšení 453x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)

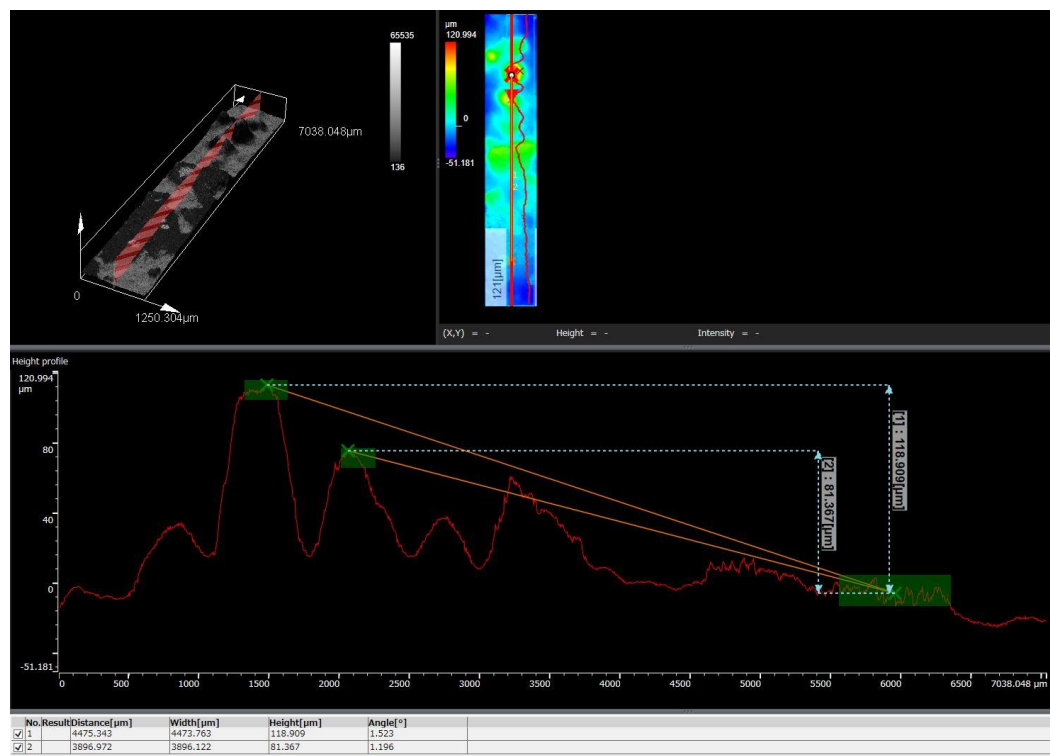


Obrázek 69 - Vzorek TD2 - profil povrchu

- **Pozice 2**



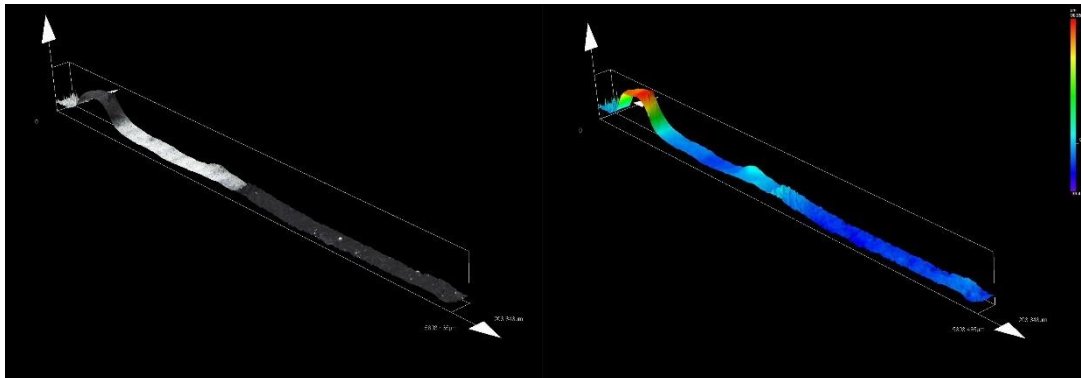
Obrázek 70 - Vzorek TD2: Z faktor 3x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)



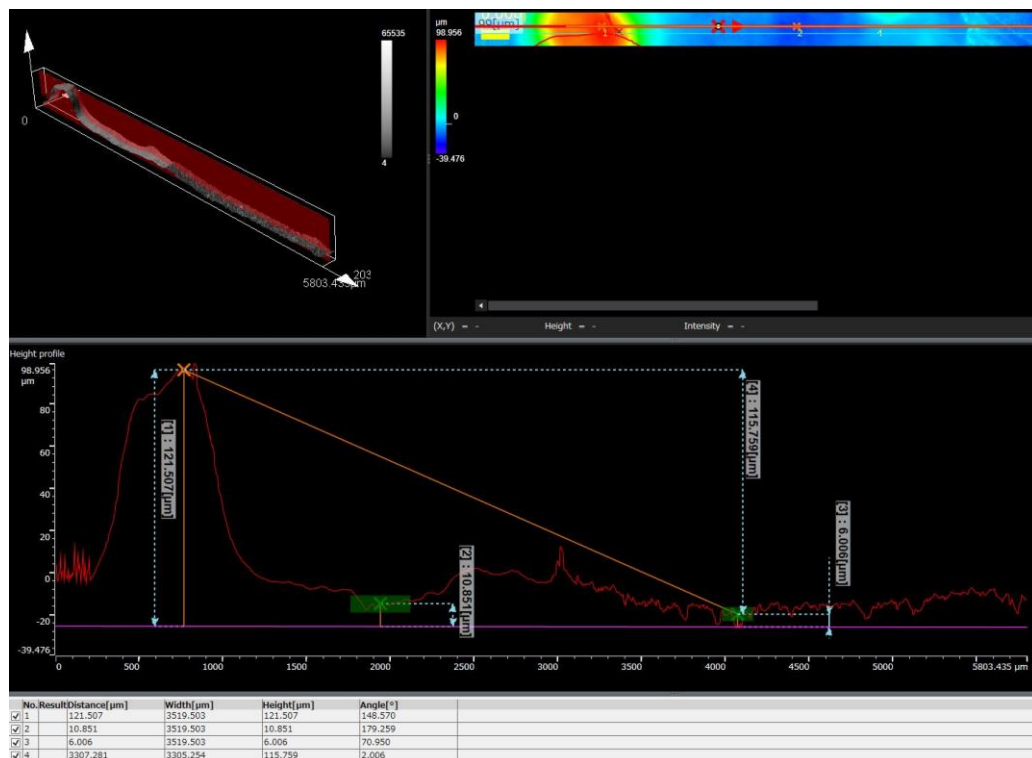
Obrázek 71 - Vzorek TD2 - profil povrchu

Výsledky snímání profilu povrchu po zkoušce otěruvzdornosti nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Mg – Série D – Vzorek TD3 (7000 cyklů):

- **Pozice 1**

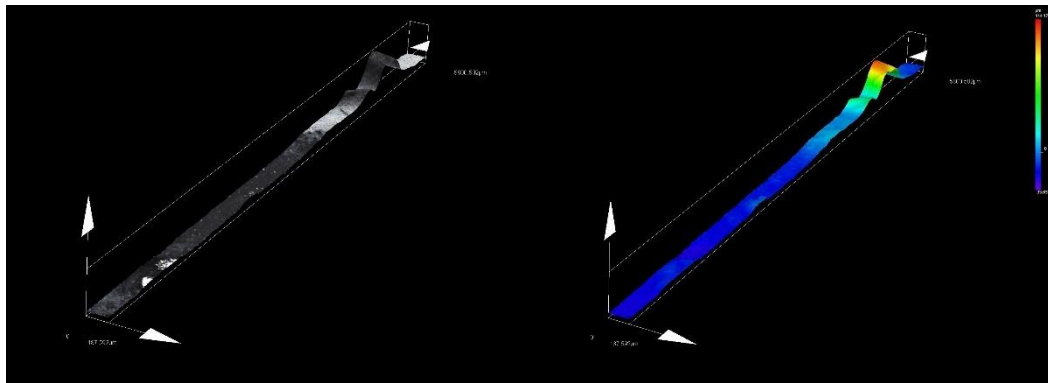


Obrázek 72 - Vzorek TD3: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)

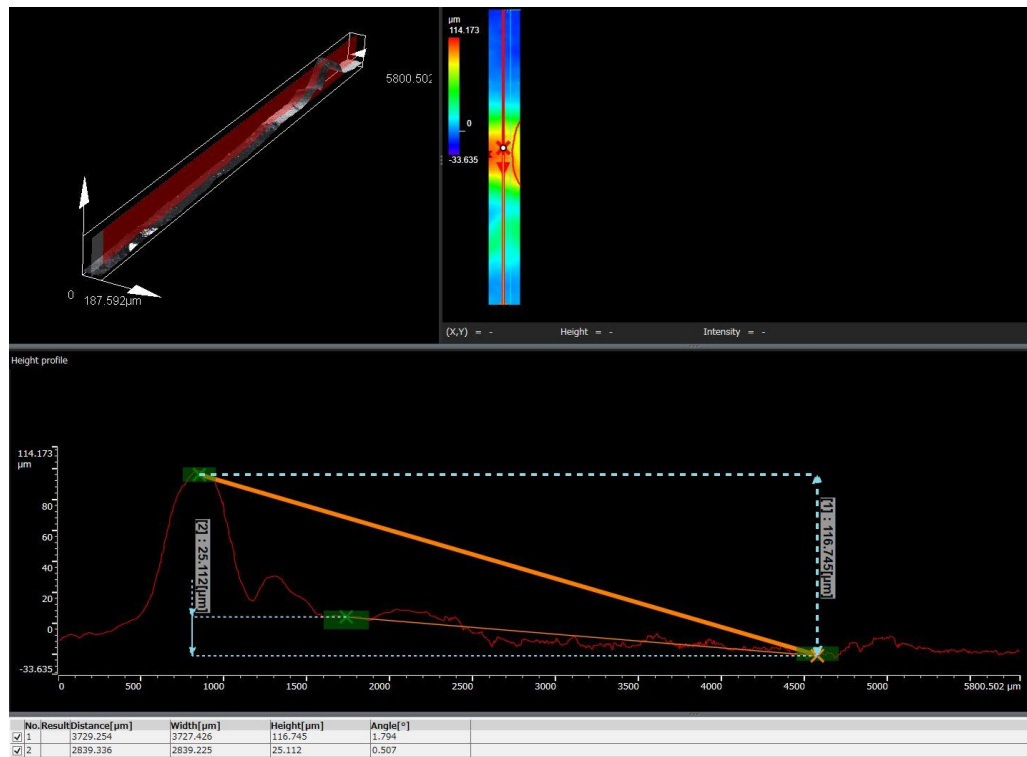


Obrázek 73 - Vzorek TD3 - profil povrchu

- **Pozice 2**



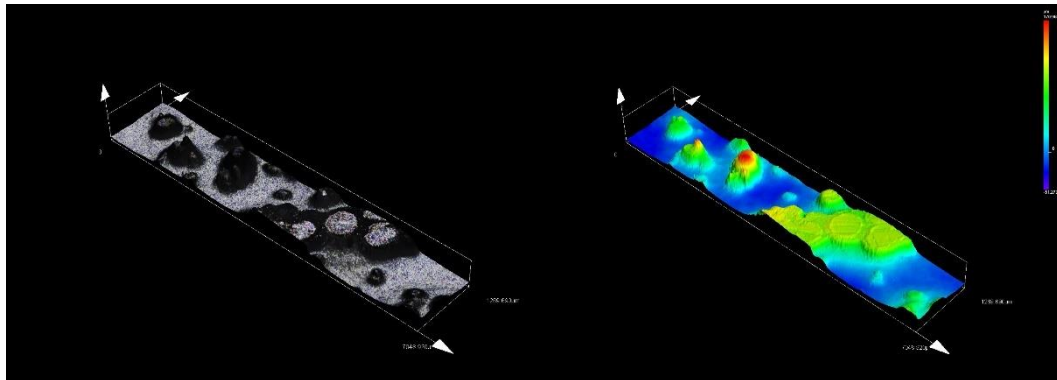
Obrázek 74 - Vzorek TD3: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)



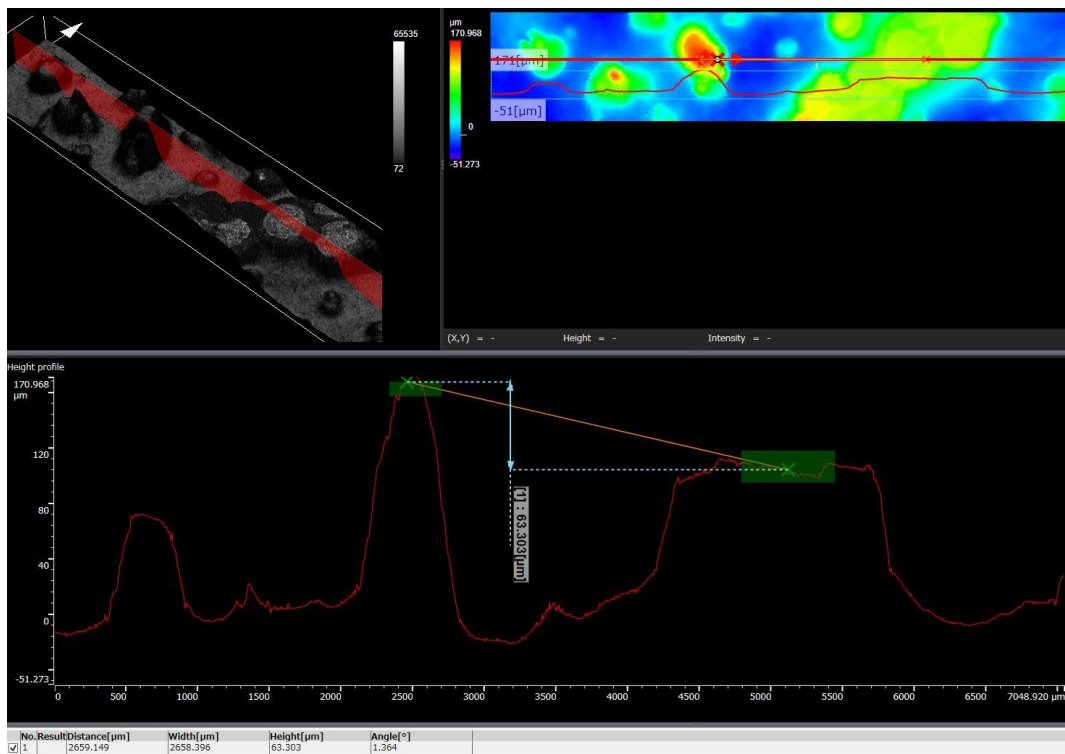
Obrázek 75 - Vzorek TD3 - profil povrchu

Výsledky snímání profilu povrchu po zkoušce otěruvzdornosti nátěrové hmoty Viton CP 05 + 10 hm. % Mg – Série E:

- **Pozice 1**

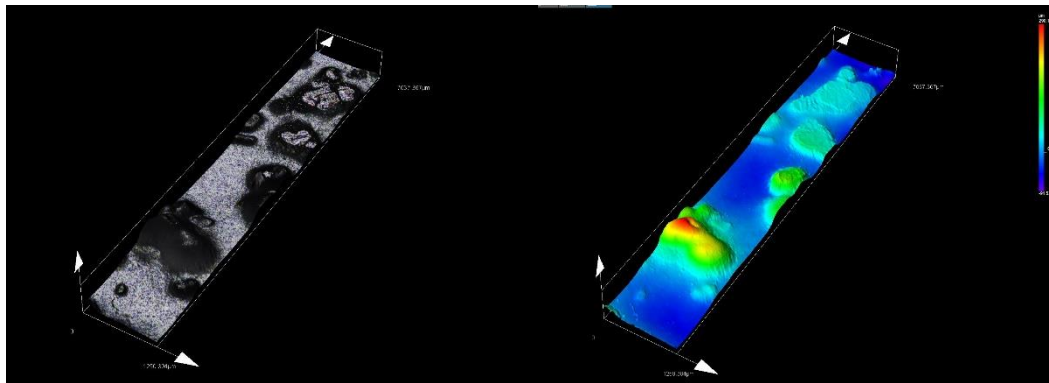


Obrázek 76 - Vzorek TE2: Z faktor 1x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)

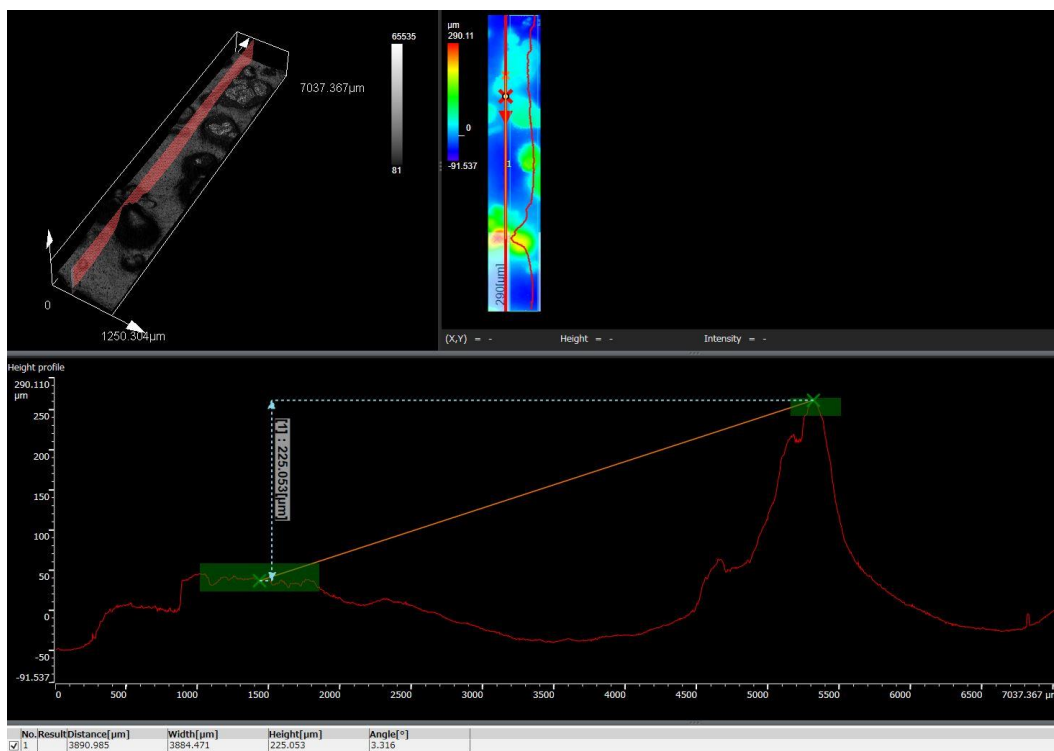


Obrázek 77 - Vzorek TE2 - profil povrchu

- **Pozice 2**



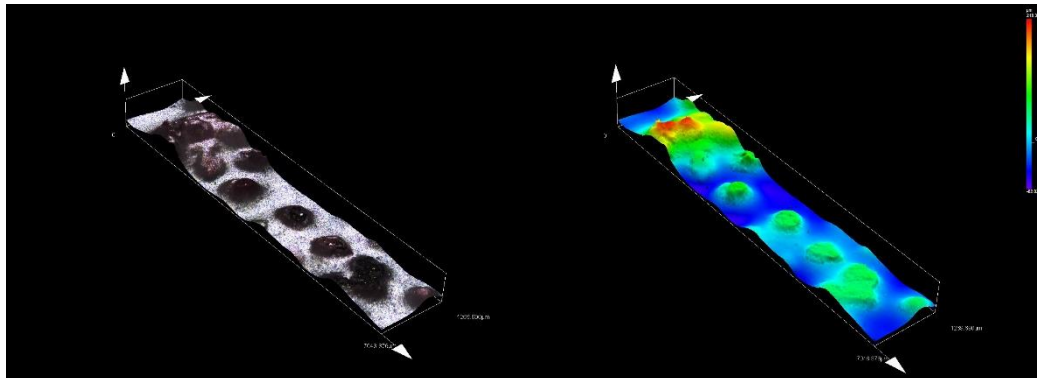
Obrázek 78 - Vzorek TE2: Z faktor 1x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)



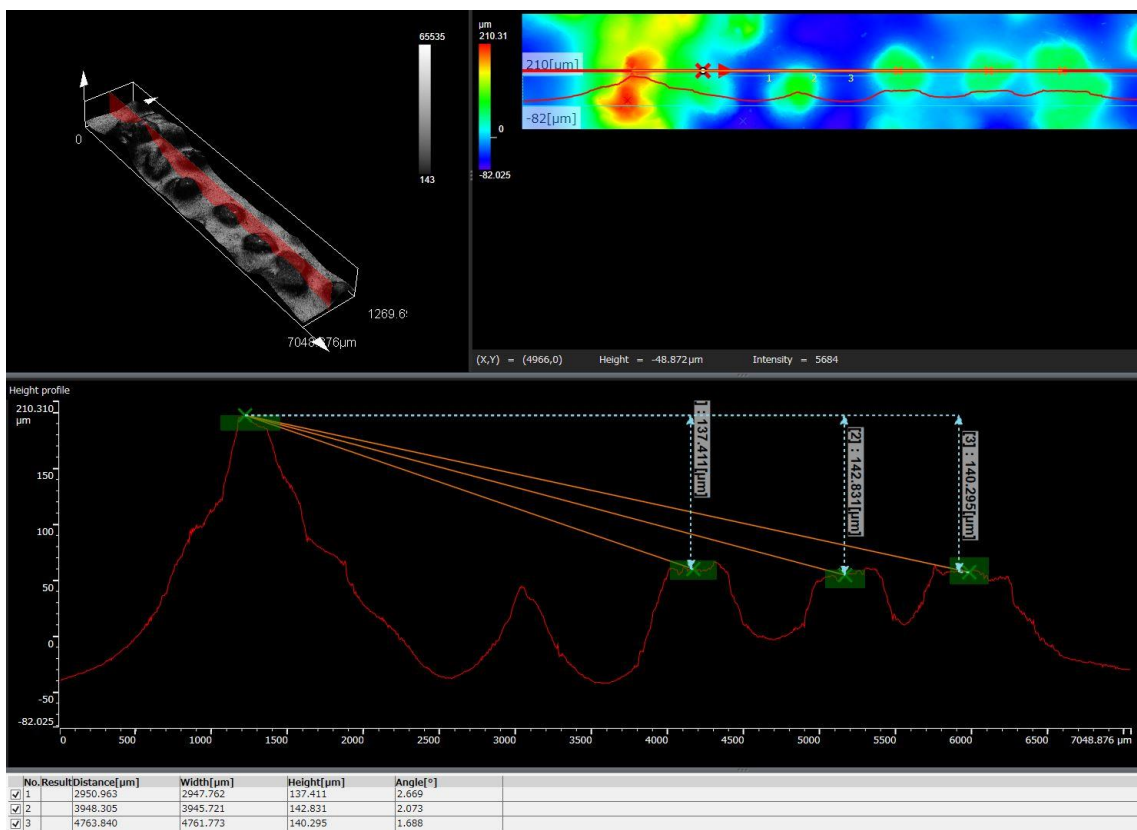
Obrázek 79 - Vzorek TE2 - profil povrchu

Výsledky snímání profilu povrchu po zkoušce otěruvzdornosti nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % korund – Série F:

- **Pozice 1**

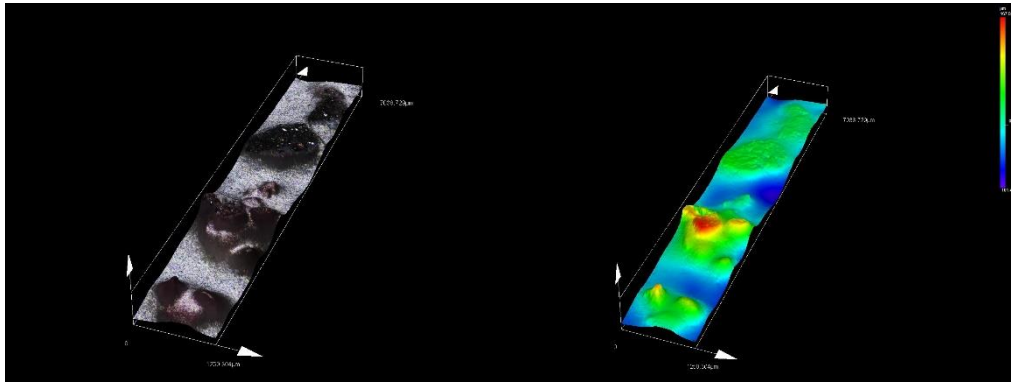


Obrázek 80 - Vzorek TF2: Z faktor 2x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)

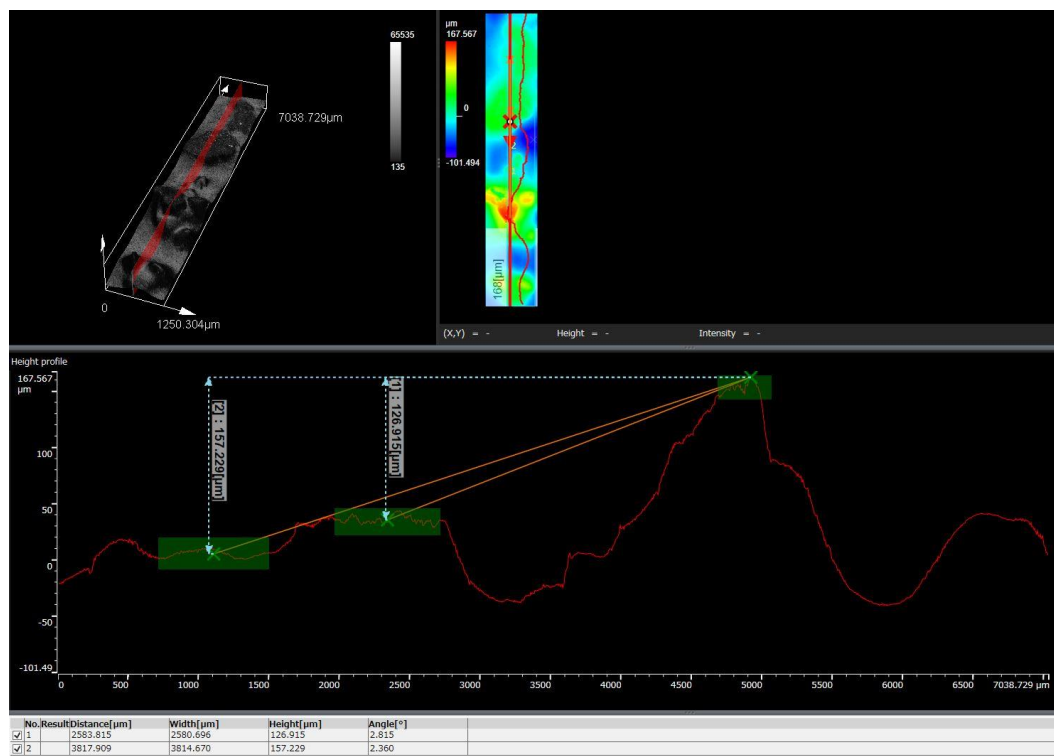


Obrázek 81 - Vzorek TF2 - profil povrchu

- **Pozice 2**



Obrázek 82 - Vzorek TF2: Z faktor 2x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo)



Obrázek 83 - Vzorek TF2 - profil povrchu

Vyhodnocení úbytku tloušťky snímáním na konfokálním mikroskopu:

Ze snímků pořízených konfokálním mikroskopem možno konstatovat, že u nátěrových systémů pigmentovaných Mg a korundovými částicemi během 1000 abrazivních cyklů došlo k zarovnání špiček zrn Mg a korundového pigmentu. Vytvořením těchto hladkých styčných ploch bylo zamezeno jakémukoli poškození základní matrice. Na vzorku TD3 nátěrové hmoty Viton CP 05 s přídavkem 5 hm. % Mg mikročástic došlo během 7000 abrazivních cyklů k zarovnání profilu povrchu. Po vyrovnání kontury byl postup abrazivního opotřebení téměř zastaven a poškození základní matrice bylo minimální. U

nátěrových systémů bez přidaného pigmentu je zřetelné značné zdrsnění povlaku vlivem působení abrazivních kotoučů. Z tohoto důvodu je hodnocení úbytku tloušťky ze křivky profilu povrchu získané snímáním na konfokálním mikroskopu obtížné. Proto je u těchto nátěrových systémů výhodnější hodnocení otěruvzdornosti na základě hmotnostních úbytků a úbytků tloušťky zjištěných přístrojem Elcometer 121/4 P.I.G.

5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Jedním z klíčových parametrů při výběru povrchové ochrany pro masové využití je cena. Cílem je dosažení co nejvyšší efektivity využití zdrojů při co nejnižším ekonomickém zatížení. Při určení efektivity jednotlivých variant jsou nejvýznamnější faktory vydatnost nátěrové hmoty, funkčnost, estetičnost a doba ochrany. Výstupem technicko-ekonomického zhodnocení je cena nátěru na 1 m² plochy.

Při pigmentovaných a vícesložkových nátěrových systémech je potřeba počítat s jednotkovou cenou [Kč.kg⁻¹] složek nátěrové hmoty. V případě, že výrobce udává cenu za obě složky společně, není potřebný přepočít, jelikož jednotková cena odpovídá ceně výsledné směsi.

Tabulka 65 - Jednotková cena za kilogram nátěrové hmoty bez DPH

Nátěrová hmota	Složky	Jednotková cena [Kč.kg ⁻¹]	Poměr tužení	Celková jednotková cena [Kč.kg ⁻¹]
Hemadur Multi-strength 45753	Matrice - 45755	135,62	3:1 objemově	135,62
	Tužidlo - 98750			
Hemadur Multi-strength GF 35870	Matrice - 35879	192,25	3:1 objemově	192,25
	Tužidlo - 98870			
Viton CP 05	Matrice – CP 05	191,00	10:1 hmotnostně	204,36
	Tužidlo – PH 93	338,00		
Viton ZG 13	Matrice – ZG 13	154,82	6:1 hmotnostně	165,29
	Tužidlo – ZH 93	228,10		

Tabulka 66 - Jednotková cena za kilogram pigmentu bez DPH

Pigment	Jednotková cena [Kč.kg ⁻¹]
Mg mikročástice	10 082,19
Korundové abrazivo	49,00

Poznámka: Mg nanoprášek použitý v nátěrovém systému Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanopráše (G) zde není uveden, jelikož k jeho využití vedl nedostatek Mg mikročástic. Proto je při výpočtu jednotkové ceny za 1 kg nátěrového systému G brána v úvahu jednotková cena Mg mikročástic.

Tabulka 67 - Jednotková cena za kilogram nátěrového systému bez DPH

Série	Složky	Hmotnost v 1 kg nátěrové hmoty	Jednotková cena [Kč.kg ⁻¹]	Celková jednotková cena [Kč.kg ⁻¹]
A	Hemadur Multi-strength 45753	1	135,62	135,62
B	Hemadur Multi-strength GF 35870	1	192,25	192,25
C	Viton CP 05	1	204,36	204,36
D	Viton CP 05	0,95	194,14	698,24
	Mg mikročástice	0,05	504,10	
E	Viton CP 05	0,90	183,92	1192,14
	Mg mikročástice	0,10	1008,22	
F	Viton CP 05	0,95	194,14	196,59
	Korundové abrazivo	0,05	2,45	
G	Viton ZG 13	1	165,29	165,29
	Viton CP 05	0,95	194,14	698,24
	Mg mikročástice	0,05	504,10	

Poznámka: Jelikož nátěrový systém G je dvouvrstvý, je počítána jednotková cena za kilogram nátěrové hmoty základní i vrchní vrstvy.

Tabulka 68 - Jednotková cena nátěrového systému na 1 m² plochy

Série	Jednotková cena [Kč.kg ⁻¹]	Teoretická vydatnost při doporučené tloušťce nátěru [m ² .kg ⁻¹]	Jednotková cena [Kč.m ⁻²]
A	135,62	2,50	54,29
B	192,25	1,92	100,13
C	204,36	4,80	42,58
D	698,24	4,80	145,47
E	1192,14	4,80	248,36
F	196,59	4,80	40,96
G	Základní vrstva	165,29	183,03
	Vrchní vrstva	698,24	

Poznámka: Při určení teoretické vydatnosti nátěrových hmot sérií A a B byl proveden přepočít vydatnosti m².l⁻¹ uvedené v technických listech nátěrových hmot na vydatnost m².kg⁻¹.

Vyhodnocení porovnání na základě jednotkové ceny nátěrového systému na 1 m² plochy:

Z porovnání jednotlivých nátěrových systémů z hlediska jednotkové ceny vychází nejlíp nátěrový systém Viton CP 05 s přidavkem 5 hm. % korundového abraziva (F). Toto je důsledkem zejména nízké jednotkové ceny korundového pigmentu. Naopak

nevyšší jednotková cena nátěrového systému byla stanovena u Viton CP 05 s přídavkem 10 hm. % Mg mikročastic, v důsledku vysoké nákupní ceny hořčíkového pigmentu.

Při samotné cenové kalkulaci aplikace jednotlivých nátěrových hmot je však nutné brát v úvahu mnoho dalších faktorů. Mezi ně patří zejména náklady na stroje potřebné pro přípravu a nanášení jednotlivých nátěrových systémů. Dalšími mohou být náklady na skladování, dopravu i případnou likvidaci nátěrových hmot.

5.1. Vícekriteriální porovnání

Výstupem vícekriteriálního porovnání je volba nejvýhodnějšího nátěrového systému na základě výsledků jednotlivých korozních zkoušek, zkoušek otěruvzdornosti, přilnavosti i ekonomických aspektů. Jednotlivým kritériím je přiděleno hodnocení ve stupnici 1 až 10. Váha kritérií byla stanovena ve stupnici 1 až 5.

Tabulka 69 - Hodnocení zkoušených nátěrových systémů na základě provedených zkoušek

Kritérium	Hempadur Multi-strength 45753 (A)	Hempadur Multi-strength GF 35870 (B)	Viton CP 05 (C)	Viton CP 05 + 5 hm. % Mg (D)	Viton CP 05 + 10 hm. % Mg (E)	Viton CP 05 + 5 hm. % korund (F)	Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg (G)
Cena bez DPH [Kč.kg ⁻¹]	10	9	8	4	2	9	3
Vydatnost [m ² .kg ⁻¹]	5	4	8	8	8	8	7
Solná mlha	7	8	6	7	10	3	10
Kondenzace	10	10	10	10	10	10	10
Přilnavost	10	4	8	7	9	6	5
Machu test	10	0	6	5	9	6	0
Otěruvzdornost	6	4	5	8	9	10	8
Celkem	56	35	52	49	57	53	43

Poznámka: U nátěrového systému Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg (G) nebyla provedena zkouška otěruvzdornosti, jelikož cílem zařazení tohoto nátěrového systému bylo porovnání korozní odolnosti Mg pigmentované nátěrové hmoty bez a s přídavkem základní nátěrové hmoty. Jelikož vrchní vrstva nátěrového systému G byla tvořena nátěrovou hmotou Viton CP 05 + 5 hm. % Mg (D), lze předpokládat podobné výsledky zkoušky otěruvzdornosti.

Tabulka 70 - Přidělení váhy kritériím

Kritérium	Váha	A	B	C	D	E	F	G
Cena bez DPH [Kč.kg ⁻¹]	4	40	36	32	16	8	36	12
Vydatnost [m ² .kg ⁻¹]	3	15	12	24	24	24	24	21
Solná mlha	4	28	32	24	28	40	12	40
Kondenzace	3	30	30	30	30	30	30	30
Přilnavost	4	40	16	36	28	36	24	20
Machu test	3	30	0	18	15	27	24	0
Otěruvzdornost	5	30	20	25	40	45	50	40
Celkem		213	146	189	181	210	200	163
Pořadí		1	7	4	5	2	3	6

Vyhodnocení vícekritériálního porovnání:

Na základě hodnocení jednotlivých kritérií vychází z porovnání nejlíp nátěrová hmota Hempadur Multi-strength 45753 (A) a to zejména z důvodu nízké ceny nátěrové hmoty. Z ohledu obecných funkčních vlastností je však nejvýhodnější nátěrová hmota Viton CP 05 + 10 hm. % Mg mikročástic (E), která projevila během testování jak vysokou korozní odolnost v umělých atmosférách a kyselých kapalných prostředích, tak vysokou odolnost vůči abrazi. Naopak nejhůř z porovnání vychází nátěrová hmota Hempadur Multi-strength GF 35870 (B).

6. Závěr

Cílem rešeršní části této diplomové práce bylo seznámení se s problematikou organických nátěrových hmot se zaměřením se na jejich kompozici a ochranné vlastnosti. Mezi ně se řadí zejména korozní ochrana základního materiálu v prostředí chloridů, vysoké vlhkosti a kyselých roztoků. Dalším sledovaným aspektem ochrany pomocí organických nátěrových hmot byla ochrana vůči abrazivnímu poškození. Zde byl zpracován přehled otěruvzdorných nátěrových hmot jak od tuzemských, tak zahraničních výrobců.

Experimentální část se skládá z porovnání vybraných nátěrových systémů z hlediska korozní ochrany, otěruvzdornosti a ekonomické výhodnosti. Pro experimentální porovnání bylo navrženo celkem 7 nátěrových systémů. Jelikož cílem této diplomové práce je určení vlivu Mg částic na otěruvzdorné vlastnosti nátěrových hmot, byly navrženy 2 varianty nátěrové hmoty Viton CP 05 pigmentované Mg mikročásticemi s koncentrací 5 a 10 hm. %. Pro porovnání vlivu Mg pigmentu s jiným otěruvzdorným pigmentem byla přidána varianta nátěrové hmoty Viton CP 05 s přídavkem 5 hm. % syntetického korundového abraziva. Tyto pigmentované nátěrové hmoty byly porovnávány s konvenčními otěruvzdornými nátěrovými hmotami Hempadur Multi-strength 45753 a Hempadur Multi-strength GF 35870 od společnosti Hempel. Zkoušena byla také základní matrice Viton CP 05 bez přidaného pigmentu. Pro případnou sníženou korozní odolnost Viton CP 05 vlivem přítomnosti Mg mikročástic pro korozní zkoušení navržen také dvouvrstvý nátěrový systém se základní vrstvou Viton ZG 13 a vrchní vrstvou Viton CP 05 s přídavkem 5 hm. % Mg pigmentu.

Hodnocení korozní odolnosti zkoušených nátěrových systémů bylo provedenou zkouškou v neutrální solné mlze NSS, zkouškou v prostředí konstantní kondenzace CH a zkouškou v kyselém roztoku Machu test. Při zkoušce NSS nedošlo u vzorku bez umělého řezu žádného nátěrového systému, s výjimkou Viton CP 05 pigmentovaného korundovým abrazivem, k žádné viditelné degradaci ani jiného poškození po 720 hodinách expozice v prostředí solné mlhy. U nátěrového systému pigmentovaného korundem však došlo pravděpodobně vlivem nedokonalého obalení jednotlivých zrn korundového abraziva základní maticí ke snížení bariérové ochrany základního materiálu. Toto mělo za následek podkorodování povlaku, které se projevilo zčernáním základního kovu na přibližně 10 % exponované plochy. Kondenzační zkouška

prokázala vysokou odolnost všech nátěrových systémů vůči vlhkosti, kdy žádný vzorek po 720 hodinách expozice nejevil známky degradace. Při zkoušce Machu test byla ověřována korespondence výsledků zkoušky Machu test a zkoušky v solné mlze (48 hodin v roztoku Machu test = 1000 hodin v prostředí solné mlhy). Z fotodokumentace možno konstatovat, že úměra mezi expozicí v roztoku Machu testu a v solné mlze neexistuje. Z porovnání odolnosti jednotlivých nátěrových systémů v prostředí kyselého roztoku vychází nejlépe nátěrová hmota Hempadur Multi-strength 45753 a nátěrová hmota Viton CP 05 s přídavkem 10 hm. % Mg pigmentu. Naopak nejnižší odolnost vůči prostředí kyselého roztoku prokázali nátěrové systémy Hempadur Multi-strength GF 35870 a dvouvrstvý nátěrový systém Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg mikročástic, u kterých došlo k úplné destrukci povlaku.

Odtrhové zkoušky neprokázali výraznou změnu adhezních vlastností nátěrových systému po expozici v umělých atmosférách. Zřejmá však byla ztráta adhezních vlastností mezi povrchem nátěru a lepidlem, co je pravděpodobně důsledkem nasycení povlaku vlhkostí a chloridy.

Zkouška otěruvzdornosti na přístroji Taber abraser prokázala významné zvýšení odolnosti vůči abrazivnímu opotřebení v důsledku přítomnosti jak Mg, tak korundového pigmentu. U všech pigmentovaných nátěrových systémů došlo během působení abrazivních koleček k zarovnání špiček zrn pigmentu a vytvoření hladkých styčných ploch. Tyto kluzné plochy následně výrazně zpomalili rychlost opotřebení a zabránili poškození základní matrice. Korund, vzhledem ke své tvrdosti, vykazuje nižší rychlost abrazivního opotřebení než Mg. Proto lze nátěrovou hmotu Viton CP 05 s přídavkem 5 hm. % korundového abraziva považovat z pohledu otěruvzdornosti za nejlepší. Z výsledků korozních zkoušek však nutno zmínit, že tento nátěrový systém je vhodný pouze pro aplikaci v prostředí s nízkou korozní agresivitou. Naopak k největšímu opotřebení došlo u nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength GF 35870.

Dalším hodnotícím kritériem byla ekonomická výhodnost jednotlivých nátěrových systémů. Zde sehrává důležitou roli cena samotného Mg pigmentu, která má za následek až pětinasobně vyšší náklady na m² u Mg pigmentovaných nátěrových hmot. Nutno však brát ohled na jejich výborné korozní a otěruvzdorné vlastnosti. Proto je možné zvážit jejich aplikaci při korozně a abrazně namáhaných součástech a konstrukcích v kusové a malosériové výrobě.

7.Literatura

- [1] KREIBICH, Viktor. Teorie a technologie povrchových úprav. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01472-X.
- [2] ČSN EN ISO 8044. Koroze kovů a slitin - Základní termíny a definice. UNMZ, 2016.
- [3] ČSN EN ISO 9223. Koroze kovů a slitin - Korozní agresivita atmosfér - Klasifikace, stanovení a odhad. UNMZ, 2012.
- [4] ČSN EN ISO 9227. Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou. UNMZ, 2017.
- [5] ČSN EN ISO 6270-2. Nátěrové hmoty – Stanovení odolnosti proti vlhkosti – Část 2: Postup pro expozici zkušebních vzorků v prostředí kondenzace vody. Praha: UNMZ, 2017.
- [6] SPECIFICATIONS FOR A QUALITY LABEL FOR LIQUID AND POWDER ORGANIC COATINGS ON ALUMINIUM FOR ARCHITECTURAL APPLICATIONS. 16th ed. Zurich: QUALICOAT, 2019.
- [7] Korozní Machu test TQC VF 8700. Gamin [online]. Ostrava: Omega Design, c2019 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/tqc-vf-8700/>
- [8] Machu Test: Accelerated salt spray test. In: Powder coating consultants [online]. Estero: DirectiveGroup, c2013-2019 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <http://www.powdercc.com/pdf/Machu%20Test.pdf>
- [9] ČSN EN ISO 4628-2. Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování. Praha: UNMZ, 2016.
- [10] ČSN EN ISO 4628-3. Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prorezavění. Praha: UNMZ, 2016.
- [11] ČSN EN ISO 4628-8. Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu nebo jiného umělého defektu. Praha: UNMZ, 2012.
- [12] PROŠEK, T. Mechanisms of degradation of organic coatings. Koroze a ochrana materialu [online]. 2017, **61**(4), 155-161 [cit. 2019-07-14]. DOI: 10.1515/kom-2017-0019. ISSN 1804-1213. Dostupné z: <http://content.sciendo.com/view/journals/kom/61/4/article-p155.xml>

- [13] KALEDOVÁ, Andrea. Technologie nátěrových hmot II.: Povrchové úpravy a způsoby předúpravy materiálů. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 9788071945550.
- [14] KUBÁTOVÁ, Hana. Nátěry kovů. Praha: Grada, 2000. Profi & hobby. ISBN 80-247-9035-1.
- [15] KALEDOVÁ, Andrea. Technologie nátěrových hmot I.: Pigmenty a plniva pro nátěrové hmoty. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 9788071945765.
- [16] REICHEL, Alexander, Anette HOCHBERG a Christine KOPKE. Plaster, Render, Paint and Coatings: Details, Products, Case Studies [online]. Walter de Gruyter, 2012 [cit. 2019-07-14]. ISBN 3034614764, 9783034614764. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=TPTAAAAQBAJ&pg=PA63&lpg=PA63&dq=organic+paints+binder&source=bl&ots=D9_mp6pO1&sig=ACfU3U2jGoDOFRwxLbUG5ZSQ2J9Y5V3Hmg&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiqytKP5MXhAhWHLFAKHR5mBr04ChDoATABegQICRAB#v=onepage&q=organic%20paints%20binder&f=false
- [17] Paints. Essential chemical industry [online]. York: University of York Centre for Industry Education Collaboration, c2016, 2013 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <http://www.essentialchemicalindustry.org/materials-and-applications/paints.html>
- [18] NIE, Jun. Improvements in the use of magnesium pigments in corrosion protective coatings. United States -- North Dakota, 2010. Dissertations & Theses. North Dakota State University.
- [19] U, H., D. BATTOCCHI, D.E. TALLMAN a G.P. BIERWAGEN. Use of Magnesium Alloys as Pigments in Magnesium-Rich Primers for Protecting Aluminum Alloys. ProQuest Dissertations Publishing [online]. 2016, **65**(5) [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <https://search-proquest-com.ezproxy.techlib.cz/docview/223126259/fulltextPDF/72F560B4489B41F3PQ/1?accountid=119841>
- [20] PLAGEMANN, Peter, Joerg WEISE a Anja ZOCKOLL. Zinc–magnesium-pigment rich coatings for corrosion protection of aluminum alloys. Progress in organic coatings [online]. 2013, **76**(4) [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0300944012003153>
- [21] ČSN EN ISO 12 944. Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy. Praha: UNMZ, 2018.
- [22] ČSN EN ISO 4624. Nátěrové hmoty – Odtrhová zkouška přilnavosti. Praha: UNMZ, 2016.
- [23] ČSN EN ISO 2409. Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška. Praha: UNMZ, 2013.

- [24] ČSN EN ISO 16276-2. Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a criteria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez. Praha: CNI, 2008.
- [25] WU, Linmin, Xingye GUO a Jing ZHANG. Abrasive Resistant Coatings—A Review. *Lubricants* [online]. 2014, 2(2), 66-89 [cit. 2019-07-14]. DOI: 10.3390/lubricants2020066. ISSN 2075-4442. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2075-4442/2/2/66>
- [26] AXÉN, Niklas, Sture HOGMARK a Staffan JACOBSON. *Friction and Wear Measurement Techniques*. Uppsala University, 2001.
- [27] KOLESKE, J. V. *Paint and coating testing manual: fifteenth edition of the Gardner-Sward handbook*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2012. ISBN 978-0-8031-7017-9.
- [28] 23T3 Series. AkzoNobel [online]. Akzo Nobel N.V., c2019 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <https://aerospace.akzonobel.com/product/23t3-series>
- [29] 24T3 Series. AkzoNobel [online]. Akzo Nobel N.V., c2019 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <https://aerospace.akzonobel.com/product/24t3-series>
- [30] Armourcote 5180. In: *Surface Technology* [online]. Coventry, c2019 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: http://www.surface-technology.co.uk/wp-content/uploads/Armourcote-5180_new.pdf
- [31] Armourcote 4141. In: *Surface Technology* [online]. Coventry, c2019 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <http://www.surface-technology.co.uk/wp-content/uploads/Armourcote-4141.pdf>
- [32] Armourcote 4580. In: *Surface Technology* [online]. Coventry, c2019 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <http://www.surface-technology.co.uk/wp-content/uploads/Armourcote-4580.pdf>
- [33] PE 73. Viton [online]. Veselí nad Lužnicí: Viton, c2019 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <https://www.barvy-viton.cz/produkty/pe-73.html>
- [34] CP 05: Technický list. Veselí nad Lužnicí: Viton, c2019.
- [35] HEMPADUR Multistrength GF 35870. In: *Hempel* [online]. Brno, c2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.hempel.com/en/products/hempadur-multi-strength-gf-35870>
- [36] HEMPADUR Multistrength 45753. In: *Hempel* [online]. Brno, c2019 [cit. 2019-06-05]. Dostupné z: <https://www.hempel.com/en/products/hempadur-multi-strength-45753>
- [37] TABER ABRASER přístroj pro testování odolnosti proti otěru, omývání a poškrábání a dalším mechanickým vlivům. Ostrava: Proinex Instruments, c2017.

- [38] Elcometer 121/4 Standard & Top Paint Inspection Gauges (P.I.G.). Elcometer [online]. Michigan, USA, c2019 [cit. 2019-06-05]. Dostupné z: <https://www.elcometer.com/en/coating-inspection/dry-film-thickness/dry-film-thickness-destructive/elcometer-1214-standard-top-paint-inspection-gauges.html>
- [39] JIŘIKOVSKÝ, Karel. Laserový konfokální řádkovací mikroskop. MM Spektrum [online]. 2007 [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/laserovy-konfokalni-radkovaci-mikroskop.html>
- [40] PLÁŠEK, Jaromír. Konfokální mikroskop: Renezance experimentálních metod. Vesmír [online]. 1995, (74) [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1995/cislo-9/konfokalni-mikroskop.html>
- [41] MOULIS, Tomáš. Korozní chování nátěrových systémů s Mg částicemi na ocelových podkladech [online]. Technická 4, 160 00, Praha 6, 2016 [cit. 2019-07-22]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/66319?show=full>. Diplomová práce. Fakulta strojní ČVUT v Praze.
- [42] Růžový korund F-60 (25kg). ABRANOVA [online]. Rvenice 73, 440 01, Postoloprty - Rvenice: Abranova, c2019 [cit. 2019-07-22]. Dostupné z: <https://abranova-eshop.cz/ruzovy-korund-f-60-25kg>
- [43] ZOUBEK, Michal. Destruktivní měření tloušťky vícevrstevných nátěrových systémů. Povrcháři [online]. 2017, (1), 11 [cit. 2019-08-01]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201701_povrchari.pdf

8. Seznam obrázků

Obrázek 1- Prostorové uspořádání pigmentu při zvyšování OKP nátěrového filmu [15]	34
Obrázek 2- Závislost vlastností pigmentovaného nátěrového filmu na OKP [15]	35
Obrázek 3 - Stupně hodnocení přilnavosti povlaku mřížkovou zkouškou na základě normy ČSN EN ISO 2409 [23]	42
Obrázek 4 - Stupně hodnocení přilnavosti zkouškou křížovým řezem na základě normy ČSN EN ISO 16276-2 [24]	43
Obrázek 5- Závislost opotřebení na době a vzdálenosti kontaktu [26]	44
Obrázek 6 - Princip měření DFT přístrojem Elcometer 121/4 P.I.G. (vlevo) a měření horizontálního rozměru povlaku měrkou na mikroskopu (vpravo) [38]	53
Obrázek 7- Princip snímání konfokálního mikroskopu [40]	54
Obrázek 8 - Drsnoměr Mitutoyo SJ210	55
Obrázek 9 - Stříkácí pistole bezvzduchého vysokotlakého (vlevo) a vzduchového (vpravo) stříkání	57
Obrázek 10 - Vzorky - Machu test + Taber abraser (horní řada), NSS + CH (dolní řada)	58
Obrázek 11 - Tloušťkoměr Elcometer 456	62
Obrázek 12 - Zkušební komora Leibisch S 400 M-TR	63
Obrázek 13 - Vzorek A1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	64
Obrázek 14 - Vzorek A3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)	64
Obrázek 15 - Vzorek B1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	65
Obrázek 16 - Vzorek B3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)	65
Obrázek 17 - Vzorek C1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	66
Obrázek 18 - Vzorek C3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)	66
Obrázek 19 - Vzorek D1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	67
Obrázek 20 - Vzorek D3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)	67
Obrázek 21 - Vzorek E1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	68
Obrázek 22- Vzorek E3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)	68
Obrázek 23 - Vzorek F1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	69
Obrázek 24 - Vzorek F2 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	69
Obrázek 25 - Vzorek F3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)	70
Obrázek 26 - Vzorek G1 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	70
Obrázek 27 - Vzorek G3 - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), koroze v okolí řezu (vpravo)	71
Obrázek 28 - Vzorek A4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	72
Obrázek 29 - Vzorek B4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	72
Obrázek 30 - Vzorek C4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	73
Obrázek 31 - Vzorek D4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	73

Obrázek 32 - Vzorek E4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo).....	74
Obrázek 33 - Vzorek F4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo).....	74
Obrázek 34 - Vzorek G4 - 0 h (vlevo), 720 h (vpravo)	75
Obrázek 35 - Vzorek MA - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo).....	75
Obrázek 36 - Vzorek MB - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo).....	76
Obrázek 37 - Vzorek MC - 0 h (vlevo), 720 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo).....	76
Obrázek 38 - Vzorek MD - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo).....	76
Obrázek 39 - Vzorek ME - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo).....	76
Obrázek 40 - Vzorek MF - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo).....	77
Obrázek 41 - Vzorek MG - 0 h (vlevo), 36 h (uprostřed), delaminace v okolí řezu (vpravo).....	77
Obrázek 42 - Hydraulický odtrhoměr Elcometer 510 (vlevo), Epoxidové lepidlo UHU Plus Endfest a zkušební tělísko (vpravo).....	79
Obrázek 43 - Šablona mřížkové zkoušky Zehntner ZCF 2088 (vlevo), univerzální šablona TQC (vpravo)	79
Obrázek 44 - Hodnocení DFT metodou klínového řezu [43].....	90
Obrázek 45 - Taber abraser (vlevo), Abrasní kotouče CALIBRADE H-10 (vpravo)....	91
Obrázek 46 - Vzorky před zkouškou otěruvzdornosti Taber abraser	91
Obrázek 47 - Vzorky po 1000 cyklech Taber abraser	92
Obrázek 48 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TA1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)	92
Obrázek 49 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TB1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)	92
Obrázek 50 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TC1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)	93
Obrázek 51 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TD1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)	93
Obrázek 52 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TE1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)	93
Obrázek 53 - Měření tloušťky filmu: Vzorek TF1 - uvnitř vydřené oblasti (vlevo), vně odřené oblasti (vpravo)	94
Obrázek 54 - Vzorek TD3 po 7000 abrazních cyklech - uvnitř (vlevo) a vně (vpravo) odřené oblasti.....	98
Obrázek 55 - Pozice snímané na konfokálním mikroskopu	99
Obrázek 56 - Vzorek TA2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	100
Obrázek 57 - Vzorek TA2 - profil povrchu	100

Obrázek 58- Vzorek TA2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	101
Obrázek 59 - Vzorek TA2 - profil povrchu	101
Obrázek 60 - Vzorek TB2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	102
Obrázek 61 - Vzorek TB2 - profil povrchu	102
Obrázek 62 - Vzorek TB2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	103
Obrázek 63 - Vzorek TB2 - profil povrchu	103
Obrázek 64 - Vzorek TC2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	104
Obrázek 65 - Vzorek TC2 - profil povrchu	104
Obrázek 66 - Vzorek TC2: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	105
Obrázek 67 - Vzorek TC2 - profil povrchu	105
Obrázek 68 - Vzorek TD2: Z faktor 3x, zvětšení 453x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	106
Obrázek 69 - Vzorek TD2 - profil povrchu	106
Obrázek 70 - Vzorek TD2: Z faktor 3x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	107
Obrázek 71 - Vzorek TD2 - profil povrchu	107
Obrázek 72 - Vzorek TD3: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	108
Obrázek 73 - Vzorek TD3 - profil povrchu	108
Obrázek 74 - Vzorek TD3: Z faktor 4,7x, zvětšení 1358x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	109
Obrázek 75 - Vzorek TD3 - profil povrchu	109
Obrázek 76 - Vzorek TE2: Z faktor 1x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	110
Obrázek 77 - Vzorek TE2 - profil povrchu.....	110
Obrázek 78 - Vzorek TE2: Z faktor 1x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	111
Obrázek 79 - Vzorek TE2 - profil povrchu.....	111
Obrázek 80 - Vzorek TF2: Z faktor 2x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	112
Obrázek 81 - Vzorek TF2 - profil povrchu.....	112
Obrázek 82 - Vzorek TF2: Z faktor 2x, zvětšení 227x - barva (vlevo), výšková mapa (vpravo).....	113
Obrázek 83 - Vzorek TF2 - profil povrchu.....	113

9. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Stupně korozní agresivity dle ČSN EN ISO 9223 a popis typických prostředí [3].....	13
Tabulka 2 - Doba ovlhčení dle ČSN EN ISO 9223 [3]	15
Tabulka 3 - Rychlost koroze r_{corr} po prvním roku expozice dle ČSN EN ISO 9223 [3]	16
Tabulka 4 - Parametry zkoušky v solné mlze dle ČSN EN ISO 9227 [4]	17
Tabulka 5 - Parametry kondenzační zkoušky dle ČSN EN ISO 6270-2 [5].....	19
Tabulka 6 - Zkušební podmínky a složení lázně korozní zkoušky Machu test [7][8]....	20
Tabulka 7 - Hodnocení výsledků korozní zkoušky Machu test [6]	21
Tabulka 8 - Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3 [10].....	22
Tabulka 9 - Rozdělení anorganických pigmentů [14]	29
Tabulka 10 - Tabulka doporučené parametry nátěrových systému na otryskaný ocelový povrch dle ČSN EN ISO 12 944 [21]	39
Tabulka 11- Doporučené parametry nátěrových systémů pro žárově zinkované ocelové konstrukce dle ČSN EN ISO 12 944 [21].....	40
Tabulka 12 - Klasifikace charakteru lomu při odtrhové zkoušce přilnavosti dle ČSN EN ISO 4624 [22]	41
Tabulka 13 - Rozteč řezů mřížkové zkoušky přilnavosti dle tloušťky povlaku dle ČSN EN ISO 2409 [23]	42
Tabulka 14 - Parametry aplikace AkzoNobel 23T3 [28].....	46
Tabulka 15 - Parametry aplikace AkzoNobel 24T3 [29].....	47
Tabulka 16 - Technologické parametry Armourcote 5180 [30]	47
Tabulka 17 - Technologické parametry Armourcote 4141 [31]	48
Tabulka 18 - Technologické parametry Armourcote 4580 [32]	48
Tabulka 19 - Technologické parametry Viton PE 73 [33].....	48
Tabulka 20 - Doba zasychání Viton PE 73 [33]	49
Tabulka 21 - Technologické parametry Viton CP 05 [34]	49
Tabulka 22 - Doba zasychání Viton CP 05 [34]	49
Tabulka 23 - Technologické a aplikační parametry Hempadur Multi-strength GF 35870 [35].....	50
Tabulka 24 - Technologické a aplikační parametry Hempadur Multi-strength 45753 [36]	50
Tabulka 25 - Geometrie nožů přístroje Elcometer 121/4 P.I.G [38]	53
Tabulka 26 - Průměrné hodnoty drsnosti povrchu zkoušených vzorků.....	55
Tabulka 27 - Rozměry použitých otěruvzdorných pigmentů [41][42]	56
Tabulka 28 - Přehled navržených nátěrových systémů a metoda jejich aplikace.....	57
Tabulka 29 - DFT nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength 45753 změřená tloušťkoměrem Elcometer 456	58
Tabulka 30 - DFT nátěrové hmoty Hempadur Multi-strength GF 35870 změřená tloušťkoměrem Elcometer 456	59
Tabulka 31 - DFT nátěrové hmoty Viton CP 05 změřená tloušťkoměrem Elcometer 456	59

Tabulka 32 - DFT nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Mg změřená tloušťkoměrem Elcometer 456.....	59
Tabulka 33 - DFT nátěrové hmoty Viton CP 05 + 10 hm. % Mg změřená tloušťkoměrem Elcometer 456	60
Tabulka 34 - DFT nátěrové hmoty Viton CP 05 + 5 hm. % Korund změřená tloušťkoměrem Elcometer 456	60
Tabulka 35 - DFT nátěrové hmoty Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášku změřená tloušťkoměrem Elcometer 456	60
Tabulka 36 – Přehled vzorků pro zkoušku korozní odolnosti Machu test.....	61
Tabulka 37- Přehled vzorků pro zkoušku otěruvzdornosti na Taber abraser	62
Tabulka 38 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek A3.....	64
Tabulka 39 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek B3	65
Tabulka 40 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek C3	66
Tabulka 41 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek D3.....	67
Tabulka 42 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek E3	68
Tabulka 43 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek F1.....	69
Tabulka 44 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek F2.....	69
Tabulka 45 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek F3.....	70
Tabulka 46 - Vyhodnocení zkoušky v solné mlze - Vzorek G3.....	71
Tabulka 47 - Odtrhová zkouška přilnavosti Hempadur Multi-strength 45753.....	80
Tabulka 48 - Odtrhová zkouška přilnavosti Hempadur Multi-strength GF 35870.....	81
Tabulka 49 - Odtrhová zkouška přilnavosti Viton CP 05.....	82
Tabulka 50 - Odtrhové zkouška přilnavosti Viton CP 05 + 5 hm. % Mg	83
Tabulka 51 - Odtrhová zkouška přilnavosti Viton CP 05 + 10 hm. % Mg	84
Tabulka 52 - Odtrhová zkouška přilnavosti Viton CP 05 + 5 hm. % korund.....	85
Tabulka 53 - Odtrhová zkouška přilnavosti Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášek	86
Tabulka 54 - Mřížková zkouška, křížový řez - Hempadur Multi-strength 45753.....	87
Tabulka 55 - Mřížková zkouška, křížový řez - Hempadur Multi-strength GF 35870....	87
Tabulka 56 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton CP 05.....	88
Tabulka 57 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton CP 05 + 5 hm. % Mg.....	88
Tabulka 58 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton CP 05 + 10 hm. % Mg.....	88
Tabulka 59 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton CP 05 + 5 hm. % korund.....	89
Tabulka 60 - Mřížková zkouška, křížový řez - Viton ZG 13 + Viton CP 05 + 5 hm. % Mg nanoprášek.....	89
Tabulka 61 - Vypočtené hodnoty úbytku tloušťky po 1000 abrazních cyklech.....	94
Tabulka 62 - Vypočtené hodnoty hmotnostního úbytku po 1000 cyklech	96
Tabulka 63 - Vzorek TD3 - hmotnostní úbytek po 7000 abrazních cyklech.....	98
Tabulka 64 - Vzorek TD3 - úbytek tloušťky po 7000 abrazních cyklech	98
Tabulka 65 - Jednotková cena za kilogram nátěrové hmoty bez DPH.....	114
Tabulka 66 - Jednotková cena za kilogram pigmentu bez DPH.....	114
Tabulka 67 - Jednotková cena za kilogram nátěrového systému bez DPH	115
Tabulka 68 - Jednotková cena nátěrového systému na 1 m ² plochy	115

Tabulka 69 - Hodnocení zkoušených nátěrových systémů na základě provedených zkoušek	116
Tabulka 70 - Přidělení váhy kritériím.....	117

10. Seznam zkratek

DFT	Dry film thickness (tloušťka suchého filmu)
WFT	Wet film thickness (tloušťka mokrého filmu)
Zn (R)	Základní nátěr pigmentovaný zinkem (Zinc-rich primer)
ESI	Ethyl-silikonová pryskyřice
EP	Epoxydová pryskyřice
PUR	Polyuretanová pryskyřice
AK	Alkydová pryskyřice
AY	Akrylová pryskyřice
MNOC	Minimal number of coats (minimální počet vrstev)
NDFT	Nominal dry film thickness (nominální tloušťka suchého filmu v μm)
NSS	Neutral salt spray (neutrální solná mlha)
CH	Constant humidity (prostředí s konstantní vlhkostí)

11. Seznam jednotek

h	hodina (jednotka času)	1 h = 60 min, 1 h = 3600 s
a	rok (jednotka času)	
min	minuta (jednotka času)	1 min = 60 s
s	sekunda (jednotka času)	
g	gram (jednotka hmotnosti)	1 g = 0,001 kg
kg	kilogram (jednotka hmotnosti)	
mg	miligram (jednotka hmotnosti)	1 mg = 10^{-6} kg
m	metr (jednotka délky)	
μm	mikrometr (jednotka délky)	1 μm = 10^{-6} m
mm	milimetr (jednotka délky)	1 mm = 10^{-3} m
cm	centimetr (jednotka délky)	1 cm = 10^{-2} m

l	litr (jednotka objemu)	
ml	mililitr (jednotka objemu)	$1 \text{ ml} = 10^{-3} \text{ l}$
°C	Celsiův stupeň (jednotka teploty)	
%	Procento (vyjádření části celku)	
N	Newton (jednotka síly)	
Pa	Pascal (jednotka tlaku)	$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$
Kč	Koruna Česká CZK	

12. Seznam příloh (přiložené DVD)

Příloha A	Zkouška v solné mlze (NSS)
Příloha B	Kondenzační zkouška (CH)
Příloha C	Machu test
Příloha D	Odtrhová zkouška
Příloha E	Mřížková zkouška, křížový řez
Příloha F	Vyhodnocení stupně koroze v řezu
Příloha G	Měření úbytku tloušťky
Příloha H	Snímky z konfokálního mikroskopu
Příloha I	Technické listy