

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

Formulace ochranných organických povlaků s vysokým  
obsahem kovového zinku a hořčíku

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018

Zuzana Voltrová

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Diplomová práce

AUTOR PRÁCE: Bc. Zuzana Voltrová

KONZULTANT: Ing. Miroslav Kohl

VEDOUCÍ PRÁCE: prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.

2018

University of Pardubice  
Faculty of chemical technology  
Institute of chemistry and technology of macromolecular materials

# Formulation of protective organic coatings with a high content of metallic zinc and magnesium

Thesis

AUTHOR: Bc. Zuzana Voltrová

CONSULTANT: Ing. Miroslav Kohl

SUPERVISOR: prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.

2018

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2017/2018

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zuzana Voltrová**  
Osobní číslo: **C16501**  
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Organické povlaky a nátěrové hmoty**  
Název tématu: **Formulace ochranných organických povlaků s vysokým obsahem kovového zinku a hořčíku**  
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

## Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma nátěrové hmoty a povlaky s obsahem obětovatelných pigmentů. Zaměřte se na kovový zinek, hořčík, popřípadě i kovové povlaky slitinové.
2. Charakterizujte použité pigmenty z hlediska fyzikálně-chemických vlastností a parametrů používaných v oboru nátěrových hmot (hustota, spotřeba oleje, výpočet kritické objemové koncentrace pigmentu (KOKP), morfologie částic SEM, popř. další).
3. Pro přípravu nátěrových hmot (NH) použijte epoxysterovou pryskyřici rozpouštědlového typu a proveďte její základní charakterizaci (stanovení složení IČ-FTIR, hustoty, sušiny a viskozity).
4. Připravte série modelových NH s obsahem hořčíku při objemové koncentraci pigmentu (OKP) = 1, 5, 10, 15, 30, 50 a 56 % a tyto NH doplňte vápencem na konstantní hodnotu OKP/KOKP. Dále připravte NH s obsahem sférického zinku při OKP = 10, 30, 50, 61 a 63 %, které doplňte vápencem na konstantní hodnotu OKP/KOKP a NH s obsahem lamelárního zinku při OKP = 10, 30, 39 a 42 %, které doplňte vápencem na konstantní hodnotu OKP/KOKP.
5. Připravte zinkem pigmentované NH s obsahem hořčíku (OKP = 1, 3, 5, 10 a 15 %). Obsah hořčíku bude kombinován s obsahem sférického a lamelárního zinku v NH při celkové koncentraci pigmentů těsně pod hodnotou KOKP sférického zinku (OKP = 61 %) i lamelárního zinku (OKP = 39 %). Dále připravte zinkem pigmentované nátěrové hmoty s vybranými sulfidy (XS) s povrchovou úpravou vodivými polymery (VP) při (OKP = 1, 3 a 5 %). Obsah XS/VP bude kombinován se sférickým zinkem v NH při celkové koncentraci pigmentů těsně pod hodnotou KOKP kovového zinku (OKP = 61 %). Jako standard antikoroziční účinnosti budou sloužit NH s obsahem sférického zinku (OKP = 61 %) a lamelárního zinku (OKP = 39 %).
6. Nátěrové hmoty aplikujte na skleněné panely a stanovte fyzikální vlastnosti povrchu nátěrů.
7. Dále charakterizujte chemickou odolnost povlaků pomocí MEK testu. Proveďte test chemické odolnosti nátěrů dle Machu a Schifmanna pro tyto typy povlaků.
8. Pro stanovení mechanické odolnosti aplikujte připravené nátěrové hmoty na ocelové panely a proveďte testy fyzikální odolnosti nátěrů, zhodnoňte odolnost vůči ohybu, úderu, hloubení a stupeň přilnavosti mřížkou a přilnavost odtrhovou zkouškou. Tyto testy proveďte podle příslušných ČSN EN ISO norem.
9. Pro stanovení korozní odolnosti aplikujte připravené nátěrové hmoty na ocelové panely, které testujte v korozních prostředích (5 % neutrální solné mlze, v atmosféře s NaCl a  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , v atmosféře s obsahem  $\text{SO}_2$ ). Proveďte elektrochemické měření a výsledky diskutujte v závislosti na OKP použitého pigmentu i tvaru částic použitých pigmentů.
10. Charakterizujte korozní projevy nátěrů v závislosti na pH kapaliny pomocí stacionární kapkové metody.
11. Navrhněte mechanismus ochrany těchto systémů a závěrem doporučte, do jakého typu prostředí a pro jaké aplikace lze nátěry doporučit. Zhodnoňte, u kterých testovaných nátěrů došlo k synergickému efektu.
12. Popište nové poznatky, přínosy a závěry této práce pro praxi.


Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.**  
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Miroslav Kohl**  
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek  
Datum zadání diplomové práce: **2. prosince 2017**  
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2018**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.  
děkan

L.S.



Ing. David Veselý, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 10. 5. 2018

Zuzana Voltrová

**Poděkování:**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Andrée Kalendové, Dr. a konzultantovi Ing. Miroslavu Kohlovi za odborné vedení této práce, rady, ochotu a nemalé úsilí věnované jejímu zpracování.

Zároveň bych chtěla poděkovat mé rodině a příteli za podporu poskytovanou během celého mého studia.



## **ANOTACE**

Obsahem diplomové práce je studium náhrady části zinku (izometrický a lamelární zinek) v nátěrových hmotách vhodným kovovým vodivým pigmentem (kovový hořčík) nebo sulfidy (disulfid molybdenu, disulfid wolframu) s povrchovou úpravou vodivým polymerem (polyanilin, polypyrrol).

Teoretická část je zaměřena na základní charakterizaci použitých pigmentů, vodivých polymerů a sulfidů. Dále byly v teoretické části popsány mechanismy ochrany a problematika z hlediska ekologie těchto materiálů. Experimentální část se zabývá formulací nátěrových hmot, aplikací na skleněné a ocelové panely a jejich testováním s cílem stanovit mechanickou odolnost pomocí mechanických zkoušek a korozní odolnost v různých korozních prostředích pomocí zrychlených korozních zkoušek. Všechny výsledky byly zpracovány, porovnány a na závěr byl pro vybrané nátěrové hmoty určen stupeň korozní agresivity.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

antikorozní pigmenty, zinek, hořčík, sulfidy, vodivé polymery

## **ANNOTATION**

The content of the thesis is the study of the replacement of zinc (isometric and lamellar zinc) in coatings with suitable metal conductive pigment (metallic magnesium) or sulphides of molybdenum disulfide, tungsten disulfide) with a surface-conducting polymer (polyaniline, polypyrrole).

The theoretical part is focused on basic characterization of used pigments, conductive polymers and sulphides. Mechanisms of protection and ecology of these materials have been described. The experimental part deals with formulation of paints, applications on glass and steel panels and their testing in order to determine the mechanical resistance through mechanical tests and corrosion resistance in various corrosive environments by means of accelerated corrosion tests. All the results were processed, compared, and at the conclusion the degree of corrosive aggression was determined for selected colors.

## **KEYWORDS**

anticorrosive pigments, zinc, magnesium, sulfides, conductive polymers

# OBSAH

<b>1. TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>26</b>
1.1 Korozie .....	26
1.2 Elektrochemická korozie .....	26
1.3 Antikoroziční pigmenty .....	28
1.3.1 Antikoroziční působení pigmentů .....	29
1.4 Inhibitory korozí .....	30
1.4.1 Mechanismus působení .....	30
1.5 Zinek .....	31
1.5.1 Vlastnosti .....	31
1.5.2 Výroba .....	31
1.5.3 Použití .....	32
1.5.4 Účinek zinku v nátěrových hmotách .....	32
1.5.5 Zinek a ekologie .....	35
1.6 Hořčík .....	35
1.6.1 Vlastnosti .....	35
1.6.2 Výroba .....	36
1.6.3 Použití .....	36
1.6.4 Účinek hořčíku v nátěrových hmotách .....	37
1.7 Vodivé polymery .....	37
1.7.1 Mechanismus působení vodivých polymerů .....	38
1.7.2 Příprava vodivých polymerů .....	38
1.7.3 Polyanilin .....	39
1.7.4 Polypyrrrol .....	40
1.8 Sulfidy .....	41
1.8.1 Mechanismus působení s vodivými polymery .....	41
1.8.2 MoS <sub>2</sub> .....	42
1.8.3 WS <sub>2</sub> .....	42
1.9 Nátěrové hmoty .....	43
1.9.1 Pigment .....	43
1.9.2 Pojivo .....	43
1.9.3 Plnivo .....	45
1.9.4 Systém pigment - pojivo při různých OKP .....	45
<b>2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>46</b>
2.1 Cíl práce .....	46

2.2	Charakteristika surovin .....	46
2.1.1	Pigmenty .....	46
2.1.2	Pojivo .....	48
2.1.3	Aditiva.....	48
2.1.4	Rozpouštědla a pomocné látky.....	48
2.3	POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJE .....	49
2.4	SYNTÉZY PIGMENTŮ.....	49
2.5	HODNOCENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PIGMENTŮ .....	50
2.4.1	Spotřeba oleje.....	50
2.4.2	Hustota .....	51
2.4.3	Kritická objemová koncentrace pigmentu (KOKP).....	51
2.6	PŘÍPRAVA NÁTĚROVÝCH HMOT .....	51
2.5.1	Formulace nátěrových hmot.....	51
2.5.2	Dispergace a postup přípravy nátěrových hmot.....	54
2.5.3	Příprava zkušebních vzorků na ocelových panelech.....	54
2.5.4	Příprava vzorků na hliníkových panelech .....	55
2.5.5	Příprava zkušebních vzorků na skleněných panelech .....	55
2.5.6	Příprava volných nátěrových povlaků na fólie.....	55
2.7	HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ NÁTĚROVÝCH HMOT POMOCÍ ZKOUŠEK MECHANICKÉ ODOLNOSTI .....	55
2.6.1	Měření tloušťky nátěrových filmů .....	55
2.6.2	Stanovení relativní povrchové tvrdosti .....	56
2.6.3	Stanovení změny lesku nátěrových filmů .....	56
2.6.4	Bucholzova vrypová zkouška .....	57
2.6.5	MEK test .....	57
2.6.6.....	Stanovení pH a měrné elektrické vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů .....	57
2.6.7	Stanovení smáčivosti pomocí měření kontaktních úhlů glycerolu a vody .....	58
2.6.8	Stanovení změny barevnosti nátěrových filmů .....	58
2.6.9	Stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky .....	59
2.6.10	Stanovení odolnosti nátěrů při úderu .....	60
2.6.11	Stanovení odolnosti nátěrů při ohybu.....	61
2.6.12	Stanovení odolnosti nátěrů při hloubení.....	61
2.6.13	Stanovení přilnavosti nátěrů pomocí mřížkové metody.....	61
2.8	HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ NÁTĚROVÝCH HMOT POMOCÍ ZRYCHLENÝCH KOROZNÍCH ZKOUŠEK .....	63

2.7.1	Zrychlená korozní zkouška v atmosféře neutrální solné mlhy .....	63
2.7.2	Zrychlená korozní zkouška v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO <sub>2</sub> .....	63
2.7.3.....	Zrychlená korozní zkouška v atmosféře s obsahem síranu amonného a chloridu sodného .....	64
2.7.4	Zrychlená korozní zkouška v atmosféře neutrální solné mlhy v kombinaci se střídáním teplot .....	64
2.7.5....	Stanovení hmotnostních korozních úbytků ve vodných výluzích volných nátěrových filmů .....	64
2.7.6	Zrychlená ponorová zkouška dle Machu a Schiffmana .....	65
2.7.7	Stanovení korozních projevů nátěrových filmů v závislosti na pH kapaliny pomocí stacionární kapkové metody.....	66
2.6.14	Lineární polarizace.....	66
2.9	Metody hodnocení zrychlených korozních zkoušek .....	67
2.8.1	Hodnocení puchýřů .....	67
2.8.2	Hodnocení koroze okolo zkušebního řezu .....	69
2.8.3	Hodnocení prokorodování.....	69
2.8.4	Stanovení antikorozi účinnosti a celkové antikorozi účinnosti .....	70
2.8.5	Stanovení stupně korozní agresivity prostředí .....	71
3.	<b>VÝSLEDKY</b> .....	<b>72</b>
3.1	Fyzikálně-chemické vlastnosti .....	72
3.2	Zkoušky mechanické odolnosti a nepřímé korozní zkoušky.....	72
3.2.1	Výsledky stanovení relativní povrchové tvrdosti.....	73
3.2.2	Výsledky stanovení změny lesku nátěrových filmů.....	74
3.2.3	Výsledky Buchholzovy vrypové zkoušky.....	76
3.2.4	Výsledky stanovení MEK testu a přilnavosti na skleněných panelech .....	77
3.2.5	Výsledky stanovení pH vodných extraktů volných nátěrových filmů .....	79
3.2.6	Výsledky stanovení vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů .....	80
3.2.7	Výsledky měření kontaktních úhlů glycerolu a vody na nátěrových filmech .....	82
3.2.8	Výsledky stanovení barevnosti.....	83
3.2.9	Výsledky stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky .....	84
3.2.10	Výsledky stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky po expozici v kondenzované vlhkosti s obsahem SO <sub>2</sub> .....	86
3.2.11	Výsledky stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky po expozici v atmosféře s obsahem (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a NaCl.....	87
3.2.12	Výsledky stanovení fyzikálně-mechanických zkoušek.....	88
3.3	Zrychlené korozní zkoušky .....	89
3.3.1	Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy .....	90

□	dvouvrstvé organické povlaky .....	90
□	dvouvrstvé organické povlaky s vrchním nátěrem.....	91
3.3.2.....	Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO <sub>2</sub> .....	93
3.3.3	Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem síranu amonného a chloridu sodného .....	94
3.3.4	Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy v kombinaci se střídáním teplot .....	95
□	dvouvrstvé organické povlaky .....	95
□	dvouvrstvé organické povlaky s vrchním nátěrem.....	97
3.3.5.....	Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy na hliníkových panelech .....	98
3.3.6	Výsledky stanovení hmotnostních korozních úbytků nátěrových filmů ve vodných výluhůch volných nátěrových filmů.....	100
3.3.7	Výsledky zrychlené ponorové zkouška dle Machu a Schiffmana.....	101
3.3.8	Výsledky stanovení korozních projevů v závislosti na pH kapaliny.....	103
3.3.9	Výsledky metody lineární polarizace .....	106
<b>4.</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>107</b>
4.1	Fyzikálně-chemické vlastnosti .....	107
4.2	Zkoušky mechanické odolnosti a nepřímé korozní zkoušky.....	107
4.2.1	Diskuze relativní povrchové tvrdosti .....	107
4.2.2	Diskuze změny lesku nátěrových filmů .....	112
4.2.3	Diskuze Buchholzovy vrypové zkoušky .....	114
4.2.4	Diskuze MEK testu .....	115
4.2.5	Diskuze měření pH vodných výluhů volných nátěrových filmů.....	116
4.2.6	Diskuze měrné elektrické vodivosti vodných výluhů volných nátěrových filmů .....	118
4.2.7	Diskuze měření velikosti kontaktních úhlů glycerolu a vody .....	121
4.2.8	Diskuze stanovení barevnosti nátěrových filmů .....	123
4.2.9	Diskuze stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky .....	125
4.2.10	Diskuze stanovení fyzikálně-mechanických zkoušek .....	132
4.3	Zrychlené korozní zkoušky .....	134
4.3.1	Diskuze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy .....	134
4.3.2.....	Diskuze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO <sub>2</sub> .....	144
4.3.3.....	Diskuze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem síranu amonného a chloridu sodného .....	148
4.3.4	Diskuze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy v kombinaci se střídáním teplot .....	152

4.3.5.....	Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy na hliníkových panelech .....	154
4.3.6.....	Diskuze hmotnostních korozních úbytků ve vodných výluzích volných nátěrových filmů .....	156
4.3.7	Diskuze zrychlené ponorové zkoušky dle Machu a Schiffmana.....	158
4.3.8	Diskuze korozních projevů nátěrových filmů v závislosti na pH kapaliny pomocí stacionární kapkové metody.....	161
4.3.9	Diskuze měření lineární polarizace .....	162
4.3.10	Určení stupně korozní agresivity.....	163
5.	<b>PŘÍNOSY DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>165</b>
6.	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>167</b>
7.	<b>LITERATURA</b> .....	<b>168</b>
	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>175</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Elektrochemická koroze na oceli.....	26
Obrázek 2 Elektrochemická řada napětí kovů a korozní řada.....	28
Obrázek 3 Bariérová ochrana u lamelárních a sférických částic.....	29
Obrázek 4 Sférický a lamelární zinek .....	31
Obrázek 5 Mechanismus působení zinku.....	33
Obrázek 6 a) elektrochemický mechanismus b) vznik korozních produktů c) bariérový mechanismus [83].....	34
Obrázek 7 Vznik korozních produktů u sférických částic zinku v nátěrovém filmu .....	34
Obrázek 8 Vznik korozních produktů u lamelárních částic zinku v nátěrovém filmu.....	35
Obrázek 9 Kovový hořčík .....	36
Obrázek 10 Struktura polyanilinu [55] .....	39
Obrázek 11 Formy polyanilinu [59].....	40
Obrázek 12 Struktura polypyrrolu [55].....	40
Obrázek 13 Esterifikace epoxysterové pryskyřice při teplotě 80 - 150°C .....	44
Obrázek 14 Esterifikace epoxysterové pryskyřice za vyšších teplot (>150°C).....	44
Obrázek 15 Částice izometrického a lamelárního zinku při různém OKP v pojivu [81].....	45
Obrázek 16 Geometrie uložení refraktometrů (20°, 60° a 85°) .....	56
Obrázek 17 Optický tenziometr (a) a nanášení kapek mikropipetou (b) .....	58
Obrázek 18 CIE - LAB (osy L*, a*, b*) .....	59
Obrázek 19 Schéma při odtrhové zkoušce přilnavosti .....	59
Obrázek 20 Vzory pro hodnocení stupně popraskání nátěrového filmu .....	61
Obrázek 21 Schematický náčrt použité cely s elektrodami .....	67
Obrázek 22 Vzory panelů pro určení stupně puchýřovatění .....	68
Obrázek 23 Vzory panelů pro určení stupně podkorodování.....	70
Obrázek 24 Kontaktní úhel glycerolu (vlevo) a vody (vpravo) u nátěrového filmu Zn <sub>iso</sub> při OKP = 61 % .....	122
Obrázek 25 Kontaktní úhel glycerolu (vlevo) a vody (vpravo) u nátěrového filmu Zn <sub>lam</sub> při OKP = 39 % .....	122
Obrázek 26 Nejlepší výsledek (vlevo): WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> (OKP <sub>VP</sub> = 5 %) a nejhorší výsledek (vpravo): Zn <sub>iso</sub> (OKP <sub>Zn</sub> = 63 %) při odtrhové zkoušce přilnavosti.....	125
Obrázek 27 Nejlepší výsledek (vlevo): Mg/Zn <sub>lam</sub> (OKP <sub>Mg</sub> = 1 %) a nejhorší výsledek (vpravo): Zn <sub>iso</sub> (OKP <sub>Zn</sub> = 63 %) při odtrhové zkoušce přilnavosti po expozici v SO <sub>2</sub> .....	128
Obrázek 28 Nejlepší výsledek (vlevo): Mg/Zn <sub>lam</sub> (OKP <sub>Mg</sub> = 1 %) a nejhorší výsledek (vpravo): Mg (OKP <sub>Mg</sub> = 56 %) při odtrhové zkoušce přilnavosti po expozici v (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a NaCl .....	130
Obrázek 29 Snímky nátěrového filmu s obsahem Zn <sub>iso</sub> při OKP <sub>Zn</sub> = 61 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu .....	135
Obrázek 30 Snímky nátěrového filmu s obsahem Zn <sub>lam</sub> při OKP <sub>Zn</sub> = 39 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu .....	135
Obrázek 31 Snímky nátěrových filmů s obsahem Zn <sub>iso</sub> při OKP <sub>Zn</sub> = 61 % (vlevo) a Zn <sub>lam</sub> při OKP <sub>Zn</sub> = 39 % (vpravo) po 960 hodinách expozice.....	143
Obrázek 32 Snímky nátěrového filmu s obsahem Zn <sub>iso</sub> při OKP <sub>Zn</sub> = 61 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu .....	145
Obrázek 33 Snímky nátěrového filmu s obsahem Zn <sub>lam</sub> při OKP <sub>Zn</sub> = 39 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu .....	146
Obrázek 34 Snímky nátěrového filmu s obsahem Zn <sub>iso</sub> při OKP <sub>Zn</sub> = 61 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu .....	148



Obrázek 35 Snímky nátěrového filmu s obsahem $Zn_{lam}$ při $OKP_{Zn} = 39\%$ před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu .....	149
Obrázek 36 Nátěrové filmy s obsahem Mg, $Zn_{iso}$ a $Zn_{lam}$ (zleva) při $OKP = KOKP$ po expozici v atmosféře s obsahem chloridu sodného.....	155
Obrázek 37 Korozní projevy při různých pH pufrů (zleva pH = 2, 4, 6, 8, 10 a 12) u srovnávacího nátěru $Zn_{iso}$ při $OKP_{Zn} = 61\%$ .....	161
Obrázek 38 Korozní projevy při různých pH pufrů (zleva pH = 2, 4, 6, 8, 10 a 12) u srovnávacího nátěru $Zn_{lam}$ při $OKP_{Zn} = 39\%$ .....	161
Obrázek 39 Záznam z měření metodou lineární polarizace .....	162

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Formulace nátěrové hmoty s obsahem Mg při $OKP_{Mg} = 1, 5, 10, 15, 30, 50$ a 56 % doplněné vápencem na $OKP_{OM} = 56$ % .....	52
Tabulka 2 Formulace nátěrové hmoty s obsahem $Zn_{iso}$ při $OKP_{Zn} = 10, 30, 50, 61$ a 63 % doplněné vápencem na $OKP_{OM} = 61$ % .....	52
Tabulka 3 Formulace nátěrové hmoty s obsahem $Zn_{lam}$ při $OKP_{Zn} = 10, 30, 39$ a 42 % doplněné vápencem na $OKP_{OM} = 39$ % .....	52
Tabulka 4 Formulace nátěrové hmoty s obsahem Mg při $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$ a 15 % doplněné $Zn_{iso}$ na $OKP_{Zn} = 61$ % .....	53
Tabulka 5 Formulace nátěrové hmoty s obsahem Mg při $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$ a 15 % doplněné $Zn_{lam}$ na $OKP_{Zn} = 39$ % .....	53
Tabulka 6 Formulace nátěrové hmoty s obsahem $MoS_2$ / PANI ( $OKP = 1, 3$ a 5 %) doplněné $Zn_{iso}$ na $OKP_{Zn} = 61$ % .....	53
Tabulka 7 Formulace nátěrové hmoty s obsahem $WS_2$ / PANI ( $OKP = 1, 3$ a 5 %) doplněné $Zn_{iso}$ na $OKP_{Zn} = 61$ % .....	53
Tabulka 8 Formulace nátěrové hmoty s obsahem $MoS_2$ / PPy ( $OKP = 1, 3$ a 5 %) doplněné $Zn_{iso}$ na $OKP_{Zn} = 61$ % .....	53
Tabulka 9 Formulace nátěrové hmoty s obsahem $WS_2$ / PPy ( $OKP = 1, 3$ a 5 %) doplněné $Zn_{iso}$ na $OKP_{Zn} = 61$ % .....	54
Tabulka 10 Formulace vrchního nátěru .....	54
Tabulka 11 MEK test - stupně .....	57
Tabulka 12 Hodnotící tabulka odtrhové zkoušky přilnavosti .....	60
Tabulka 13 Hodnotící tabulka pro stanovení přilnavosti mřížkovou metodou .....	62
Tabulka 14 Příprava pufrů o různém pH.....	66
Tabulka 15 Stupeň puchýřovatení - hodnotící tabulka.....	68
Tabulka 16 Koroze v řezu - hodnotící tabulka.....	69
Tabulka 17 Koroze podkladu - hodnotící tabulka.....	69
Tabulka 18 Stupně korozní agresivity prostředí s příklady prostředí .....	71
Tabulka 19 Stupeň korozní agresivity - určení pro nátěrové filmy.....	71
Tabulka 20 Fyzikálně-chemické vlastnosti .....	72
Tabulka 21 Relativní povrchová tvrdost u nátěrových filmů s obsahem Mg, $Zn_{iso}$ a $Zn_{lam}$ .....	73
Tabulka 22 Relativní povrchová tvrdost u nátěrových filmů s obsahem $Mg/Zn_{iso}$ a $Mg/Zn_{lam}$ .....	73
Tabulka 23 Relativní povrchová tvrdost u nátěrových filmů s obsahem $MoS_2$ - PANI/ $Zn_{iso}$ , $WS_2$ - PANI/ $Zn_{iso}$ , $MoS_2$ - PPy/ $Zn_{iso}$ a $WS_2$ - PPy/ $Zn_{iso}$ .....	74
Tabulka 24 Změna lesku nátěrových filmů s obsahem Mg, $Zn_{iso}$ a $Zn_{lam}$ .....	74
Tabulka 25 Změna lesku nátěrových filmů s obsahem $Mg/Zn_{iso}$ a $Mg/Zn_{lam}$ .....	75
Tabulka 26 Změna lesku nátěrových filmů s obsahem $MoS_2$ - PANI/ $Zn_{iso}$ , $WS_2$ - PANI/ $Zn_{iso}$ , $MoS_2$ - PPy/ $Zn_{iso}$ a $WS_2$ - PPy/ $Zn_{iso}$ .....	75
Tabulka 27 Buchholzova vrypová zkouška u nátěrových filmů s obsahem Mg, $Zn_{iso}$ a $Zn_{lam}$ .....	76
Tabulka 28 Buchholzova vrypová zkouška u nátěrových filmů s obsahem $Mg/Zn_{iso}$ a $Mg/Zn_{lam}$ .....	76
Tabulka 29 Buchholzova vrypová zkouška u nátěrových filmů s obsahem $MoS_2$ - PANI/ $Zn_{iso}$ , $WS_2$ - PANI/ $Zn_{iso}$ , $MoS_2$ - PPy/ $Zn_{iso}$ a $WS_2$ - PPy/ $Zn_{iso}$ .....	77
Tabulka 30 MEK test a přilnavost na skle u nátěrových filmů s obsahem Mg, $Zn_{iso}$ a $Zn_{lam}$ .....	77
Tabulka 31 MEK test a přilnavost na skle u nátěrových filmů s obsahem $Mg/Zn_{iso}$ a $Mg/Zn_{lam}$ .....	78
Tabulka 32 MEK test a přilnavost na skle u nátěrových filmů s obsahem $MoS_2$ - PANI/ $Zn_{iso}$ , $WS_2$ - PANI/ $Zn_{iso}$ , $MoS_2$ - PPy/ $Zn_{iso}$ a $WS_2$ - PPy/ $Zn_{iso}$ .....	78
Tabulka 33 Stanovení pH vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem Mg, $Zn_{iso}$ a $Zn_{lam}$ .....	79

Tabulka 34 Stanovení pH u destilované a redestilované vody.....	79
Tabulka 35 Stanovení pH vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	79
Tabulka 36 Stanovení pH vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	80
Tabulka 37 Stanovení vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> .....	80
Tabulka 38 Stanovení vodivosti u destilované a redestilované vody.....	81
Tabulka 39 Stanovení vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	81
Tabulka 40 Stanovení vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	81
Tabulka 41 Kontaktní úhly u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> .....	82
Tabulka 42 Kontaktní úhly u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	82
Tabulka 43 Kontaktní úhly u nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	82
Tabulka 44 Stanovení barevnosti nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> .....	83
Tabulka 45 Stanovení barevnosti nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	83
Tabulka 46 Stanovení barevnosti nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	84
Tabulka 47 Odrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> .....	84
Tabulka 48 Odrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	85
Tabulka 49 Odrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	85
Tabulka 50 Odrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> po expozici v kondenzované vlhkosti s obsahem SO <sub>2</sub> .....	86
Tabulka 51 Odrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> po expozici v kondenzované vlhkosti s obsahem SO <sub>2</sub> .....	86
Tabulka 52 Odrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> po expozici v atmosféře s obsahem (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a NaCl.....	87
Tabulka 53 Odrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> po expozici v atmosféře s obsahem (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a NaCl.....	87
Tabulka 54 Fyzikálně-mechanické zkoušky organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> (DFT = 60 ± 20 μm).....	88
Tabulka 55 Fyzikálně-mechanické zkoušky organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> (DFT = 60 ± 20 μm).....	88
Tabulka 56 Fyzikálně-mechanické zkoušky organických povlaků s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> (DFT = 60 ± 20 μm).....	89
Tabulka 57 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 720 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> .....	90
Tabulka 58 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 720 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	90
Tabulka 59 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 720 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	91
Tabulka 60 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 960 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> + vrchní nátěr.....	91

Tabulka 61 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 960 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> + vrchní nátěr .....	92
Tabulka 62 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 960 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> + vrchní nátěr .....	92
Tabulka 63 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO <sub>2</sub> po 720 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> .....	93
Tabulka 64 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO <sub>2</sub> po 720 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	93
Tabulka 65 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO <sub>2</sub> po 720 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	94
Tabulka 66 Výsledky zrychlené korozní zkoušky organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> v atmosféře síranu amonného a chloridu sodného po 2160 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) .....	94
Tabulka 67 Výsledky zrychlené korozní zkoušky organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> v v atmosféře síranu amonného a chloridu sodného po 2160 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) .....	95
Tabulka 68 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> (DFT = $90 \pm 10 \mu\text{m}$ ) .....	95
Tabulka 69 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> (DFT = $90 \pm 10 \mu\text{m}$ ) .....	96
Tabulka 70 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> (DFT = $90 \pm 10 \mu\text{m}$ ) .....	96
Tabulka 71 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> + vrchní nátěr .....	97
Tabulka 72 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> + vrchní nátěr .....	97
Tabulka 73 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách (DFT = $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> + vrchní nátěr .....	98
Tabulka 74 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl na hliníkových panelech po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> (DFT = $60 \pm 10 \mu\text{m}$ ) .....	98
Tabulka 75 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl na hliníkových panelech po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> (DFT = $60 \pm 10 \mu\text{m}$ ) .....	99
Tabulka 76 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl na hliníkových panelech po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> (DFT = $60 \pm 10 \mu\text{m}$ ) .....	99
Tabulka 77 Hmotnostní korozní úbytky ve vodných výluzích nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> .....	100
Tabulka 78 Hmotnostní korozní úbytky v redestilované a destilované vodě .....	100
Tabulka 79 Hmotnostní korozní úbytky ve vodných výluzích nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	100

Tabulka 80 Hmotnostní korozní úbytky ve vodných výluzích nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	101
Tabulka 81 Zkouška dle Machu a Schiffmana u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> .....	101
Tabulka 82 Zkouška dle Machu a Schiffmana u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> ..	102
Tabulka 83 Zkouška dle Machu a Schiffmana u nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	102
Tabulka 84 Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm).....	103
Tabulka 85 Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm).....	103
Tabulka 86 Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm).....	104
Tabulka 87 Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm).....	104
Tabulka 88 Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm).....	105
Tabulka 89 Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm).....	105
Tabulka 90 Výsledky metody lineární polarizace u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> ...	106
Tabulka 91 Výsledky metody lineární polarizace u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> a Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	106
Tabulka 92 Výsledky metody lineární polarizace u nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	106

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Závislost relativní povrchové tvrdosti na čase u nátěrových filmů s obsahem Mg a Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> při různém OKP .....	108
Graf 2 Závislost relativní povrchové tvrdosti na čase u nátěrových filmů s obsahem Mg a Zn <sub>iso</sub> .....	109
Graf 3 Závislost relativní povrchové tvrdosti na čase u nátěrových filmů s obsahem Mg a Zn <sub>lam</sub> .....	109
Graf 4 Závislost relativní povrchové tvrdosti na čase u nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	110
Graf 5 Vyhodnocení pH vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> .....	116
Graf 6 Vyhodnocení pH vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem Mg/ Zn <sub>iso</sub> nebo Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	117
Graf 7 Vyhodnocení pH vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	118
Graf 8 Vyhodnocení vodivosti vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> .....	119
Graf 9 Vyhodnocení vodivosti vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem Mg/ Zn <sub>iso</sub> nebo Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	120
Graf 10 Vyhodnocení vodivosti vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	120
Graf 11 Hodnoty L*, a*, b* u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> .....	124
Graf 12 Odtrhová zkouška přilnavosti u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> .....	126
Graf 13 Odtrhová zkouška přilnavosti u nátěrových filmů s obsahem Mg / Zn <sub>iso</sub> nebo Mg / Zn <sub>lam</sub> .....	126
Graf 14 Odtrhová zkouška přilnavosti u nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	127
Graf 15 Odtrhová zkouška přilnavosti po expozici v SO <sub>2</sub> u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> .....	128
Graf 16 Odtrhová zkouška přilnavosti po expozici v SO <sub>2</sub> u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> nebo Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	129
Graf 17 Odtrhová zkouška přilnavosti po expozici v (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a NaCl u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> .....	130
Graf 18 Odtrhová zkouška přilnavosti po expozici v (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn <sub>iso</sub> nebo Mg/Zn <sub>lam</sub> .....	131
Graf 19 Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> .....	136
Graf 20 Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> .....	136
Graf 21 Koroze podkladu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> .....	136
Graf 22 Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn <sub>iso</sub> a Mg / Zn <sub>lam</sub> .....	137
Graf 23 Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn <sub>iso</sub> a Mg / Zn <sub>lam</sub> .....	138
Graf 24 Koroze podkladu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn <sub>iso</sub> a Mg / Zn <sub>lam</sub> .....	138
Graf 25 Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	139
Graf 26 Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	140
Graf 27 Koroze podkladu u nátěrových filmů pigmentovaných MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub> , MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> a WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	140
Graf 28 Celková antikoroziční účinnost nátěrových filmů po expozici v atmosféře s NaCl (standardy označeny růžovou barvou) .....	142
Graf 29 Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn <sub>iso</sub> .....	146
Graf 30 Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn <sub>lam</sub> .....	147
Graf 31 Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn <sub>iso</sub> nebo Zn <sub>lam</sub> .....	149
Graf 32 Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn <sub>iso</sub> .....	150

Graf 33 Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn <sub>lam</sub> .....	151
Graf 34 Hmotnostní korozní úbytky vodných výluhů volných nátěrových filmů Mg, Zn <sub>iso</sub> a Zn <sub>lam</sub> ...	157
Graf 35 Hmotnostní korozní úbytky vodných výluhů volných nátěrových filmů Mg/Zn <sub>iso</sub> , Mg/Zn <sub>lam</sub> , MoS <sub>2</sub> -PANI/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> -PANI/Zn <sub>iso</sub> , MOS <sub>2</sub> -PPy/Zn <sub>iso</sub> , WS <sub>2</sub> -PPy/Zn <sub>iso</sub> .....	157
Graf 36 Koroze v řezu u nátěrových filmů po 2. cyklu zrychlené ponorové zkoušky dle Machu a Schiffmana .....	159

## SEZNAM ZKRATEK

°C	stupeň Celsia
ČSN	technická norma České republiky
DFT	tloušťka nátěrového filmu
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kyselina sírová
KOKP	kritická objemová koncentrace pigmentu
MEK	methylethylketon
Mg	hořčík
MgO	oxid hořečnatý
Mg(OH) <sub>2</sub>	hydroxid hořečnatý
Mg / Zn <sub>iso</sub>	kombinace hořčíku s isometrickým zinkem
Mg / Zn <sub>lam</sub>	kombinace hořčíku s lamelárním zinkem
MoS <sub>2</sub>	disulfid molybdenu
MoS <sub>2</sub> - PANI	disulfid molybdenu povrchově upravený polyanilinem
MoS <sub>2</sub> - PPy	disulfid molybdenu povrchově upravený polypyrrolem
MoS <sub>2</sub> - PANI / Zn <sub>iso</sub>	kombinace disulfidu molybdenu (povrchově upraveného polyanilinem) s isometrickým zinkem
MoS <sub>2</sub> - PPy / Zn <sub>iso</sub>	kombinace disulfidu molybdenu (povrchově upraveného polypyrrolem) s isometrickým zinkem
Např.	například
o.č.	olejové číslo
Omyacarb	komerční název pro použité plnivo
OKP	objemová koncentrace pigmentu
PANI	polyanilin
PPy	polypyrrol
Q	kvocient udávající poměr (OKP/KOKP) · 100
tzv.	tak zvané
VP	sulfid povrchově upravený vodivým polymerem
WorléeDur 46	komerční název pro použitou epoxyesterovou pryskyřici jako pojivo
WS <sub>2</sub>	disulfid wolframu
WS <sub>2</sub> - PANI	disulfid wolframu povrchově upravený polyanilinem
WS <sub>2</sub> - PPy	disulfid wolframu povrchově upravený polypyrrolem
WS <sub>2</sub> - PANI / Zn <sub>iso</sub>	kombinace disulfidu wolframu (povrchově upraveného polyanilinem) s isometrickým zinkem
WS <sub>2</sub> - PPy / Zn <sub>iso</sub>	kombinace disulfidu wolframu (povrchově upraveného polypyrrolem) s isometrickým zinkem
Zn <sub>iso</sub>	isometrický zinek
Zn <sub>lam</sub>	lamelární zinek
ZnO	oxid zinečnatý
Zn(OH) <sub>2</sub>	hydroxid zinečnatý



## ÚVOD

Koroze je v oboru organických povlaků velmi diskutované téma, protože může způsobit velké ekonomické ztráty při ochraně proti korozi a při opravách. Například v České republice jsou ztráty, které způsobuje koroze, odhadovány na několik miliard korun ročně. Dále pak koroze způsobuje vážné škody a havárie v důsledku poškození materiálu. Tomu lze zabránit ochranou povrchu pomocí organických povlaků, které obsahují antikorozi pigmenty. Ty musejí splňovat základní požadavky, jako jsou zachování použitelnosti a funkčnosti daného zařízení, které je chráněno. Nároky na ochranu proti korozi se stále zvyšují a to vyžaduje vývoj nových materiálů odolných proti korozi.

Zinkový prach je používán jako antikorozi pigment v organických povlacích už od první poloviny 19. století. Avšak v poslední době je diskutována jeho účinnost v nátěrových hmotách, kde jeho katodická ochrana působí jen krátce a pak přechází na bariérovou ochranu v důsledku utěsnění pórů koroziními produkty [1], [2].

Zinek je také považován za toxický hlavně pro vodní organismy. Používání zinku v antikorozi povlacích je řízeno environmentálními předpisy, které jsou stále přísnější. Z tohoto důvodu jsou hledány možnosti, díky kterým by bylo možné dosáhnout náhrady části zinku a snížení jeho obsahu v nátěrových hmotách [3].

V posledních letech je věnována velká pozornost vodivým polymerům. Jejich elektrochemické vlastnosti jsou velmi vhodné při ochraně proti korozi. Jsou testovány různé metody náhrady zinku právě vodivými polymery [4].

# 1. TEORETICKÁ ČÁST

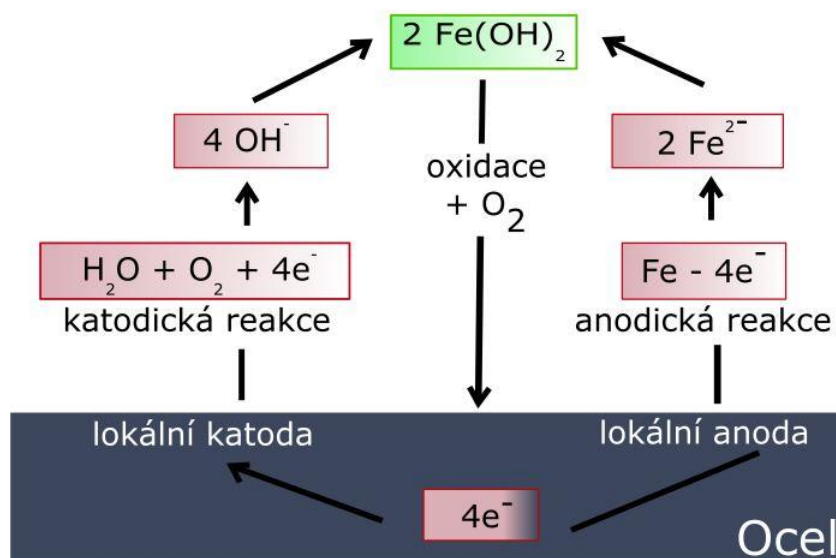
## 1.1 Koroze

Koroze je proces, při kterém dochází ke zhoršení a znehodnocení daného materiálu působením okolního prostředí. Toto znehodnocení materiálu je způsobeno chemickými, fyzikálními nebo biologickými jevy. Při korozi dochází k fyzikálně-chemickým interakcím mezi kovem a okolním prostředím. U většiny korozních procesů oxidační a redukční kroky probíhají odděleně na různých místech kovu. To je možné díky tomu, že jsou kovy vodivé a elektrony mohou protékat kovem z anodické do katodické oblasti.

Koroze může být způsobena v různém prostředí. Nejčastější je atmosférická koroze, protože tomuto prostředí je vystavena většina výrobků. Další druhy koroze jsou například koroze v říční a mořské vodě (působí hlavně na plavidla, hráze, přístavy), v půdě (působení na potrubí, základy budov) a také na různých průmyslových pracovištích s vyšší korozní agresivitou (chemikálie, spaliny, plyny) [5].

## 1.2 Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze (Obrázek 1) se skládá z oxidace anodického kovu a katodické redukce kyslíku. Obě reakce musí probíhat společně a ve vodivém prostředí elektrolytu. Při anodické reakci elektrony vznikají a katodická reakce je spotřebovává. Koroze vzniká kvůli tvorbě korozního galvanického článku [6].



Obrázek 1 Elektrochemická koroze na oceli

Pokud se ponoří kovová elektroda do roztoku, ve kterém jsou ionty tohoto kovu, ustaví se rovnováha. Rovnováha reakce je charakterizována jako:



Elektrodotový potenciál lze vypočítat podle vzorce Vzorec 1

a je závislý na hodnotě standardního elektrodotového potenciálu daného kovu a na aktivitě iontů.

$$E_r = E^0 + \frac{RT}{zF} \ln a_{Me^{z+}}$$

Vzorec 1

kde:  $E^0$  standardní elektrochemický potenciál kovu  
R univerzální plynová konstanta  
T teplota  
F Faradayova konstanta  
z mocenství kovového iontu  
 $a_{Me^{z+}}$  aktivita iontů

Pokud je aktivita iontů jednotková a reakce probíhá za standardních podmínek, logaritmický člen je pak roven nule. Rovnovážný potenciál  $E_r$  je po úpravě rovnice roven standardnímu elektrodotovému potenciálu  $E_0$  daného kovu.

Elektrochemická řada napětí kovů definuje ušlechtilost kovů podle standardního elektrodotového potenciálu. Kovy se podle této řady dělí na ušlechtilé a neušlechtilé v závislosti, zda mají pozitivní nebo negativní potenciál v porovnání s nulovou hodnotou potenciálu standardní vodíkové elektrody.

Korozní řada znázorňuje postavení kovů podle jejich korozní odolnosti. Byla vytvořena z důvodu, že elektrochemická řada není ve všech případech použitelná v provozních podmínkách. Nezahrnuje například tvorbu korozních produktů. Na obrázku 2 je srovnána elektrochemická ušlechtilost a korozní odolnost různých kovů. Kovy, které mají největší záporný potenciál, mají i nejmenší odolnost proti korozi [7], [8], [9].

Elektrochemická řada napětí kovů														
záporný potenciál											kladný potenciál			
Mg	Al	Ti	Mn	Zn	Cr	Fe	Cd	Ni	Sn	Pb	Cu	Ag	Pt	Au
Mn	Mg	Zn	Cd	Fe	Sn	Al	Pb	Ni	Cu	Cr	Ag	Ti	Pt	Au

Korozní řada - řada kovů podle vzrůstu korozní odolnosti →

**Obrázek 2** Elektrochemická řada napětí kovů a korozní řada

### 1.3 Antikorozi pigmenty

Jako pigment označujeme barevnou látku, která je nerozpustná v pojivu a ve vodě. Nejdůležitější vlastnost pigmentu je jeho krycí schopnost. Ta závisí na rozdílu indexu lomu pigmentu a pojiva. Čím je tento rozdíl větší, tím je krycí schopnost vyšší [10].

Nejrozšířenější ochranou kovových materiálů je aplikace organických povlaků vytvořených z antikorozi barev obsahující antikorozi pigmenty. To zajišťuje chemickou nebo elektrochemickou reakci antikoroziho pigmentu s kovem samotným nebo s korozním činidlem pronikajícím ochranným organickým povlakem [11].

Antikorozi pigmenty se dají rozdělit do 5 základních skupin:

- rozpustné - ionty železa, které opouští povrch kovu při korozi, jsou vázány těmito pigmenty (např. chromanové pigmenty)
- nerozpustné - pigmenty reagují s pojivem na bázi olejů a tím vznikají produkty, pomocí kterých se na povrchu kovu inhibuje koroze (např. suřík)
- kovové - elektrochemická ochrana kovu, poskytují katodickou ochranu (např. zinek, hořčík)
- komplexotvorné - ionty železa vytvářejí s pigmenty koordinační sloučeniny, které blokují anodická místa a jejich činnost (např. fosforečnany, molybdenany)
- zásadité - zvýšení koncentrace hydroxylových iontů v systému, difuze spolu s vodou k povrchu kovu (např. oxid zinečnatý) [12]

Dále se dají antikorozi pigmenty rozdělit do tří skupin podle protikorozi ochrany. Jsou to pigmenty stimulující, neutrální a inhibiční.

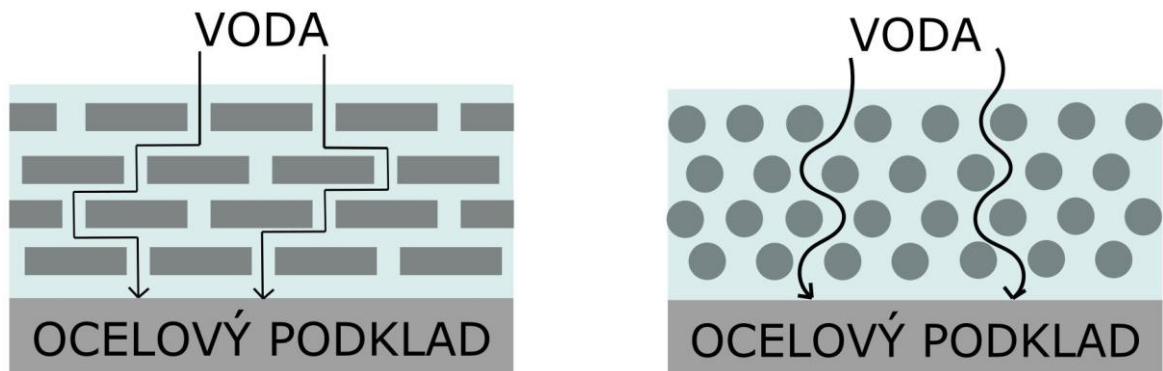
Stimulující pigmenty (např. grafit) urychlují korozi, neutrální (např. titanová běloba) na korozi nemají žádný vliv a inhibiční pigmenty (práškový zinek) zpomalují proces koroze [13].

### 1.3.1 Antikorozní působení pigmentů

Antikorozní pigmenty se dají rozdělit podle antikorozního působení do tří základních skupin: fyzikálně působící, chemicky působící a elektrochemicky působící.

- **Fyzikálně působící**

Fyzikálně působící pigmenty jsou chemicky inertní a jsou označovány jako neaktivní nebo pasivní. Principem fyzikálně působících pigmentů je tvorba bariéry (Obrázek 3), přes kterou neprochází ionty, které urychlují korozi (např. kyslík, voda). Jednotlivé částice pigmentu, které jsou dispergovány v pojivu, se co nejvíce dotýkají tak, aby vznikla bariéra. U lamelárních pigmentů je toto antikorozní působení ještě vyšší díky lepšímu uspořádání částic. Tím je prodloužena dráha iontů a je tak lépe zabráněno jejich pronikání.



Obrázek 3 Bariérová ochrana u lamelárních a sférických částic

- **Chemicky působící**

Chemicky působící pigmenty, označované jako aktivní, obsahují rozpustné složky, které mohou udržovat konstantní hodnotu pH v organickém povlaku. Tato ochrana je založena na působení iontů s pojivem, kovovým podkladem nebo dalšími ionty v systému. Při tomto působení může dojít i k oxidačně-redukčním reakcím, při kterých vznikají další nové sloučeniny, které pak v systému vystupují jako inhibitory.

- **Elektrochemicky působící**

Elektrochemicky působící pigmenty pasivují kovový povrch. Ty, které zabraňují korozi železa vytvořením ochranného povlaku, jsou považovány za aktivní v anodické oblasti kovového povrchu (anodická ochrana) nebo v katodické oblasti (katodická ochrana) [14], [15], [16].

## 1.4 Inhibitory koroze

Inhibitory jsou látky, které snižují rychlost chemických reakcí. Používají se v elektrochemických reakcích a jejich opakem jsou katalyzátory, které se používají v chemických reakcích. Inhibitory pouze mění fázové vlastnosti na rozhraní v systému kov-prostředí.

Existuje mnoho faktorů, na kterých závisí účinnost inhibitorů. Tyto faktory mohou účinek snižovat nebo podporovat. Jedná se například o koncentraci inhibitoru, pH, teplotu, stimulatory koroze a další.

### 1.4.1 Mechanismus působení

Inhibitory mají specifický účinek, což znamená, že neexistuje univerzální inhibitor, který by působil v různých korozních prostředích.

- **Anodické inhibitory**

Jsou to sloučeniny, které potlačují anodickou elektrochemickou reakci na povrchu kovu. Tyto inhibitory lze použít v případě, když probíhá koroze kovu v závislosti na anodickém ději a zmenšuje se účinná plocha anody.

Používají se v případech, kde se vytvářejí málo rozpustné produkty koroze (oxidy, hydroxidy, soli). Mezi hlavní anodické inhibitory patří chromáty, fosfáty, křemičitany apod. Pokud jsou přidávány v nedostatečné koncentraci, může to vést k lokální korozi. Proto je potřeba stanovit vhodnou koncentraci, která bude bezpečná pro dané podmínky.

- **Katodické inhibitory**

Katodické inhibitory jsou chemické sloučeniny potlačující katodickou elektrochemickou reakci na kovových površích. Některé tvoří nerozpustné látky s hydroxylovými ionty ( $\text{OH}^-$ ) po depolarizaci kyslíku a brání tak přístupu do katodických oblastí na povrchu kovu.

Použití těchto inhibitorů je bezpečné jak v případě anodického děje, tak v případě katodického děje koroze kovu. Hlavní katodické inhibitory jsou hydrogenuhličitan vápenatý, soli zinku a hořčíku, polyfosfáty a další.

- **Smíšené inhibitory**

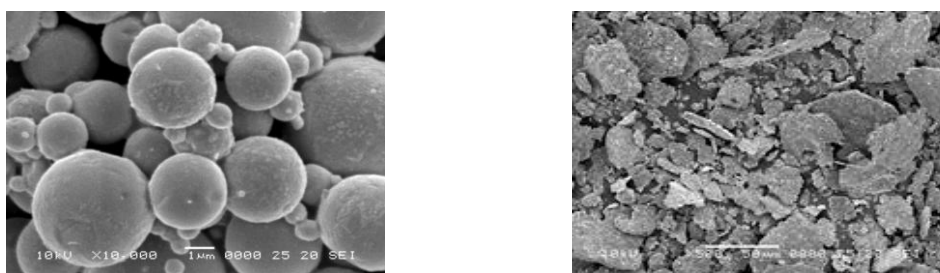
Smíšené inhibitory jsou někdy nazývány synergické, protože snižují jak katodické, tak anodické reakce na povrchu kovu. Jsou účinnější než anodické nebo katodické. Existuje mnoho anorganických a organických sloučenin tohoto typu.

Tyto sloučeniny chrání kov třemi různými způsoby. Jsou to fyzikální adsorpce, chemisorpce a tvorba filmu [17], [18], [19].

## 1.5 Zinek

### 1.5.1 Vlastnosti

Zinek je stříbrolesklý měkký kov, vyskytující se v přírodě ve formě sloučenin. Jsou to například sfalerit (ZnS), zinkit (ZnO) nebo kalamín (ZnCO<sub>3</sub>). Řadí se mezi neušlechtilé a biogenní prvky, je snadno rozpustný ve zředěných kyselinách i ve vodných roztocích silných hydroxidů. Ve sloučeninách je dvojmocný a tento ion je toxický [20].

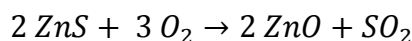


**Obrázek 4** Sférický a lamelární zinek

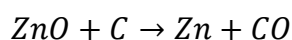
Zinek se používá ve formě sférických nebo lamelárních částic (Obrázek 4). Lamelární částice mají nižší tendenci k usazování a jsou schopny sorpce většího množství pojiva než sférické částice, což znamená, že jsou schopny dosáhnout nižší OKP v nátěrových hmotách. Další výhodou lamelárních částic je, že odrážejí ultrafialové záření, čímž chrání pojivo od degradace a také více zpevňují organický povlak, což zlepšuje celkové mechanické vlastnosti nátěrových hmot [21], [22], [23], [24].

### 1.5.2 Výroba

Zinek se vyrábí dvěma možnými způsoby. Prvním a hlavní způsob je pražení sfaleritu a následná redukce vzniklého oxidu zinečnatého pomocí koksu (Rovnice 1 a 2). Obě reakce probíhají za zvýšené teploty. Vznikající oxid siřičitý lze dále využít na výrobu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



Rovnice 1



Rovnice 2

Další způsob výroby je elektrolyticky. Působením kyseliny sírové na rudy zinku vznikne síran zinečnatý, ze kterého elektrolyzou získáme čistý zinek [25].

Samotný zinkový prach se vyrábí z taveného zinku pomocí odpařování a atomizace vodní parou a následném ochlazení. Vzniklý prášek obsahuje kulaté částice, které mají výbornou kryvost [26].

### **1.5.3 Použití**

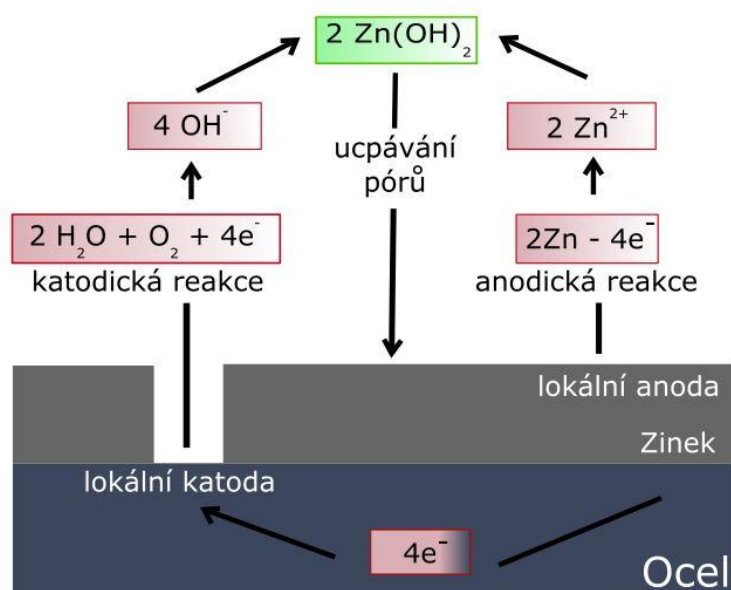
Zinek má mnoho využití. Používá se při odlévání přesných součástí, při výrobě mosazi, v lékařství a kosmetice a jako mikroživina pro zvířata, rostliny a lidi. Avšak hlavní využití má jako antikorozní pigment v organických povlacích, protože mají jedinečnou vlastnost chránit kov, i když dochází k mírnému mechanickému poškození povlaku [27]. Povlaky bohaté na zinek jsou jedním z nejúčinnějších povlaků používaných k ochraně oceli proti korozi. Používají se v mnoha agresivních prostředích, jako je například mořská voda nebo průmyslové prostředí [28].

### **1.5.4 Účinek zinku v nátěrových hmotách**

Mechanismus, kterým zinek chrání ocelový podklad, je tzv. princip obětované katody (Obrázek 5). Je to jedna z běžných metod protikorozní ochrany [29].

Zinek poskytuje katodickou ochranu ocelovým substrátům díky nižšímu elektrodovému potenciálu, než má materiál, který má být chráněn. V elektrochemické řadě napětí kovů je zinek daleko vlevo od vodíku. Vzhledem k tomu, že hustota zinku je vyšší než hustota korozních zplodin, vytvářejí tyto korozní zplodiny objemné produkty koroze, které zpevňují ochranný povlak a brání průchodu iontů povlakem [30], [31].

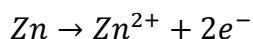




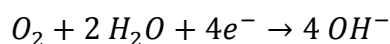
**Obrázek 5** Mechanismus působení zinku

Uspořádání zinkových částic v organickém povlaku umožňuje elektrický kontakt mezi částicemi (anoda) a ocelovým substrátem (katoda). Existence tohoto galvanického páru odděluje anodické a katodické procesy koroze.

V prvním stupni probíhá rozpouštění zinku (Rovnice 3). Zinečnaté ionty  $Zn^{2+}$  difundují póry ven jako produkt koroze. Katodický proces (Rovnice 4) odpovídá redukci kyslíku v elektrolytu [32].



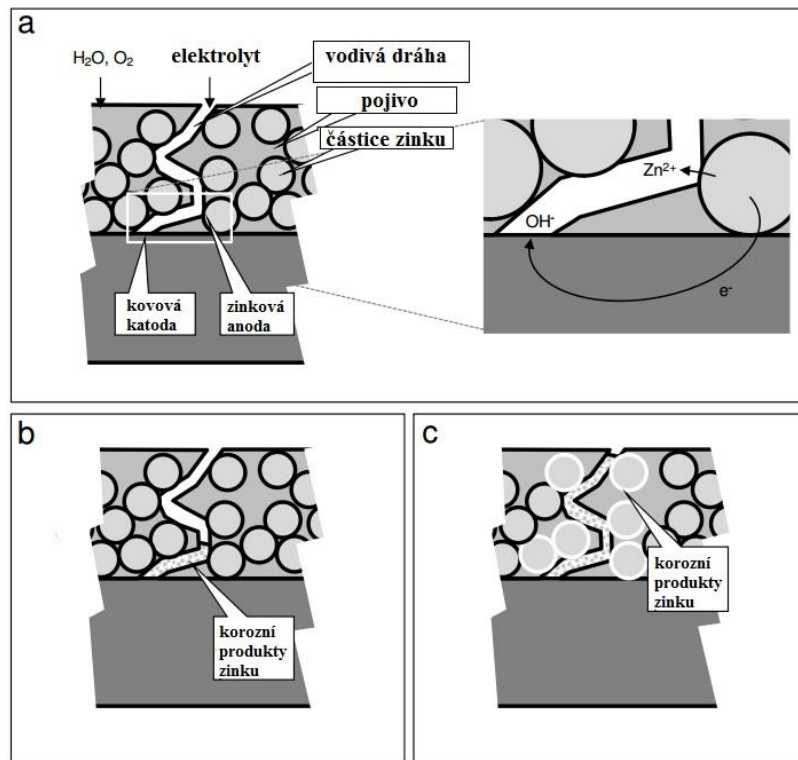
Rovnice 3



Rovnice 4

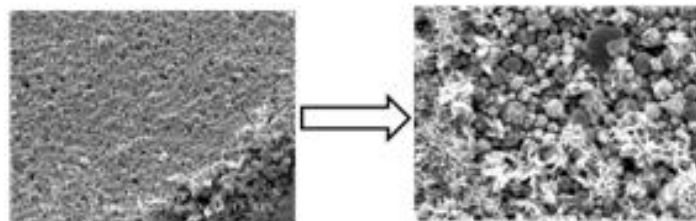
V počátečním stadiu zinkový nátěrový film, který je v elektrickém kontaktu s ocelovým povrchem, hraje roli obětní anody poskytující katodickou ochranu. Kov reaguje s kyslíkem, vodou a oxidem uhličitým přítomným ve vzduchu, což vede ke vzniku korozních produktů. Korozní produkty zinku například oxidy, hydroxidy nebo uhličitany (Obrázek 5). Tyto produkty jsou schopny utěsnit všechny póry v povlaku a tak začne působit bariérová ochrana. Čím větší je množství produktů koroze, které se tvoří na povrchu částic zinku, tím vyšší je pravděpodobnost ztráty elektrického kontaktu mezi samotnými částicemi nebo částicemi a ocelovým substrátem. To může vést ke snížení a nakonec k úplné ztrátě ochrany

založené na katodickém mechanismu a přechodu na mechanismus pouze bariérový (Obrázek 6) [33][34].



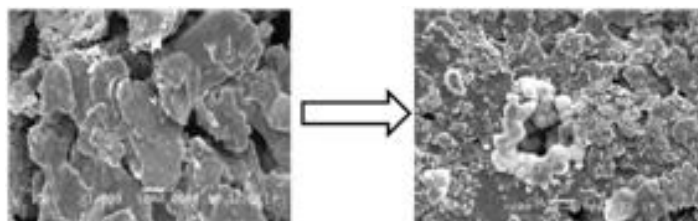
**Obrázek 6** a) elektrochemický mechanismus b) vznik korozních produktů c) bariérový mechanismus [83]

Velikost sférických částic zinku ovlivňuje vlastnosti antikorozičního povlaku. Menší částice poskytují vyšší antikoroziční účinnost. Volné prostory mezi jednotlivými částicemi jsou u velkých částic mnohem větší než u malých částic, a s tím je spojena rychlost plnění porů produkty koroze. Na obrázku Obrázek 7 (vlevo) je vidět, jak některé částice zinku jsou od sebe v takové vzdálenosti, že mezi těmito částicemi může volně procházet voda nebo látky způsobující korozi až na podklad. Struktura s produkty oxidace, které pokrývají povlak, je na obrázku 7 (vpravo).



**Obrázek 7** Vznik korozních produktů u sférických částic zinku v nátěrovém filmu

Lamelární částice díky svému tvaru mají velký povrch, a tím je zajištěn lepší kontakt s kovovým podkladem (Obrázek 8).



**Obrázek 8** Vznik korozních produktů u lamelárních částic zinku v nátěrovém filmu

Pro zajištění bariérové ochrany substrátu je důležitá tzv. bílá rez, která je tvořena při oxidaci zinku. Existují různé reakce, při kterých vznikají produkty s kyselou i zásaditou povahou. Kyselé produkty jsou neutralizovány pomocí  $Zn(OH)_2$  nebo  $ZnO$  a přispívají, stejně jako zásadité, k ochraně proti korozi [21], [35], [36].

### 1.5.5 Zinek a ekologie

Při používání zinku (např. těžba, výroba a zpracování produktů) se mohou vyskytnout emise do vody, půdy a atmosféry. Největším producentem zinku je Čína. Více než 50 % celosvětové produkce je používáno pro galvanizaci. Mezi ostatní procesy patří například výroba mosazi, slitin a sloučenin zinku.

Kovový zinek vystavený atmosférickým podmínkám může začít korodovat, a tím je v malém množství uvolňován do okolního prostředí. Produkce zinku spotřebovává velké množství energie a zatěžuje životní prostředí. Při produkci vzniká oxid uhličitý, který se podílí na globálním oteplování, dále pak oxid siřičitý a oxidy dusíku. Při výrobním procesu také vzniká velké množství odpadu a těžkých kovů, které znečišťují půdu.

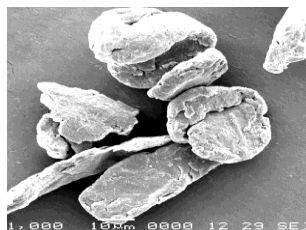
V dnešní době jsou emise při výrobě zinku přísně kontrolovány. Jsou vytvořené směrnice, které například udávají množství emisí do ovzduší nebo vody. Existují studie, které identifikují klíčové procesy a látky, které vznikají při výrobě a snaží se docílit snížení environmentálního zatížení [37], [38], **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, [40].

## 1.6 Hořčík

### 1.6.1 Vlastnosti

Hořčík (Obrázek 9) je vysoce elektropozitivní kov stříbrobílé barvy. V přírodě se vyskytuje pouze ve formě sloučenin. Jsou to například dolomit ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ) a karnalit ( $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6 H_2O$ ). Z nich lze hořčík extrahovat, avšak nejčastěji se získává z mořské vody, ve které je hojně zastoupen. Ve sloučeninách je dvojmocný a není toxický.

Je rozpustný ve zředěných kyselinách a reaguje s organickými látkami za vzniku Grignardových sloučenin. Je také součástí chlorofylu rostlin, který se podílí na fotosyntéze [41][42].



**Obrázek 9** Kovový hořčík

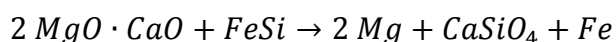
### 1.6.2 Výroba

V roce 1808 anglický chemik Sir Humphry Davy izoloval malé množství hořčíku pomocí elektrolýzy taveniny. V roce 1831 francouzský chemik Antoine Bussy jako první vytvořil významné množství hořčíku působením par kovového draslíku na chlorid hořečnatý bezvodý [43].

V dnešní době se hořčík vyrábí buď elektrolýzou taveniny bezvodého chloridu hořečnatého, nebo termickou redukcí kalcinovaného dolomitu [44].

Při elektrolýze taveniny směsi chloridů alkalických kovů a chloridu hořečnatého se hořčík vylučuje při teplotě 700 - 800 °C na katodě, která je ze železa. Na anodu se používá grafit. Tímto způsobem vyrábí hořčík největší výrobci v USA a Norsku.

Termická redukce (Rovnice 5) probíhá za použití ferrosilicia při teplotě 1200 °C ve vakuu.



Rovnice 5

Těmito způsoby vyrobený hořčík se musí ještě vyčistit pomocí rafinace nebo destilace. Při destilaci se získá nejčistší hořčík [45].

### 1.6.3 Použití

Hořčík je hojně využíván v pyrotechnice na výrobu světlic a zápalných bomb, protože hoří zářivě bílým světlem. Je to nejlehčí konstrukční materiál. Samotný se moc nevyužívá, jelikož je hořlavý již při nižších teplotách. Proto se využívá hlavně v kombinaci s hliníkem.

Tyto slitiny jsou využívány tam, kde jsou potřeba lehké materiály. Je to například v leteckém a raketovém průmyslu a dále na výrobu podkov nebo sněžnic [46].

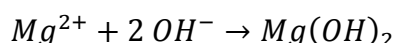
Dále je hořčík potřebný pro funkci různých biochemických reakcí v těle. Mezi nejdůležitější patří udržování normální funkce svalů a nervů, podpora imunitního systému a srdce, regulace hladiny glukózy v krvi, pomoc při výrobě bílkovin a energie a kosti díky němu jsou silné [47].

#### 1.6.4 Účinek hořčíku v nátěrových hmotách

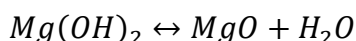
Hořčík chrání kovové podklady stejným principem jako zinek, tj. katodickou ochranou, kde se chová jako obětovaná anoda. Je to jedna z nejčastěji používaných metod ve vodném a půdním prostředí. Pro zajištění ochrany musí být částice Mg v elektrickém kontaktu s kovovým podkladem a mezi sebou. Na rozdíl od zinku, hořčík zůstává aktivní a neprojevuje pasivaci i při neutrálním pH [48].

Ochranné působení probíhá dvoustupňovým mechanismem, kde v prvním stupni probíhá katodická ochrana a ve druhém stupni se uplatňuje bariérový účinek.

Vady na povrchu nátěru, které způsobí odhalení pokladu, tvoří katodické oblasti. V katodických místech organického povlaku může být kvůli redukci vodíku pH zcela alkalické. Když ionty Mg dosáhnou katodických oblastí, vysráží se jako  $Mg(OH)_2$  a  $MgO$  (Rovnice 6 a 7). Na povrchu vzniká porézní vrstva a tvoří určitý stupeň bariérové ochrany [49].



Rovnice 6



Rovnice 7

Hydroxid hořečnatý je málo rozpustný v alkalickém prostředí, proto je hořčík v tomto prostředí odolný proti korozi.  $Mg(OH)_2$  se dále může přeměňovat v prostředí s vysokou vzdušnou vlhkostí na uhličitan hořečnatý, který také korozi účinnost zvyšuje. V kyselém prostředí vznikají produkty, které korozi urychlují [50].

### 1.7 Vodivé polymery

Vodivé polymery jsou aromatické sloučeniny a mají mechanické vlastnosti jako polymery a elektrické vlastnosti jako polovodiče. Díky těmto vlastnostem jsou vhodné k ochraně kovů před korozi. S kovovým substrátem vytváří vrstvu, která díky redoxním

vlastnostem vodivého polymeru inhibuje korozi. Vodivý polymer může být aplikován na kovový substrát jako samotný nebo v kombinaci s dalšími pigmenty.

Vodivé polymery jsou jedinečné v tom, že v jejich organických řetězcích se střídají jednoduché a dvojně vazby. Toto střídání vazeb se označuje jako konjugovaný systém. Mezi nejdůležitější vodivé polymery patří polyanilin a polypyrrol [51].

### **1.7.1 Mechanismus působení vodivých polymerů**

Elektrická vodivost je charakterizována přenosem elektrického náboje. Je tedy důležitá přítomnost nositele daného náboje, které u polymerů vznikají jako u anorganických polovodičů tzv. dopováním. Avšak dopujících látek je v případě vodivých polymerů potřeba více než u anorganických polovodičů. Vodivost je inverzní odpor a značí se v jednotkách zvaných Siemens (S) [52].

Existují různé mechanismy, které vysvětlují antikorozi vlastnosti vodivých polymerů. Jsou to například anodická ochrana, řízené uvolňování inhibitorů a bariérová ochrana. Dále pak antikorozi odolnost u vodivých polymerů souvisí s dopováním, nebo jestli jsou ve směsi.

Dopování je proces oxidace nebo redukce neutrálního polymeru a poskytnutí proti-aniontu nebo proti-kationtu (tj. dopantu). Vodivé polymery mohou existovat v různých oxidačních stavech, mezi kterými mohou přecházet. Tento proces zavádí do polymeru nosiče náboje ve formě iontu. Doping může být prováděn chemicky nebo elektrochemicky v závislosti na oxidačním potenciálu. Při použití elektrického potenciálu se dopanty začnou pohybovat v závislosti na polaritě dovnitř nebo ven z polymeru a umožňují, aby náboj prošel polymerem. Dopované látky mají velmi často funkci inhibitoru, které brání koroznímu působení v oblastech, kde došlo kvůli defektu k lokální korozi [53].

### **1.7.2 Příprava vodivých polymerů**

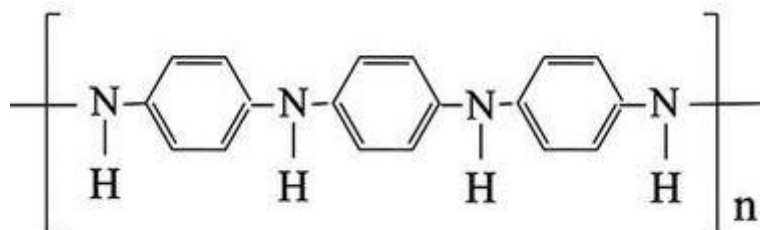
Vodivé polymery se dají běžně připravit dvěma způsoby. Prvním z nich je chemický způsob, druhý z nich je elektrochemický způsob.

Při chemickém způsobu přípravy se reakce nazývá monomerní oxidace a probíhá ve vodném prostředí za použití oxidačního činidla. Jako oxidační činidlo se dají použít železité a měďnaté soli, halogeny a jiné. Volbou oxidačního činidla, rozpouštědla, teploty a doby reakce se dá ovlivnit výtěžek vodivého polymeru.

Elektrochemický způsob syntézy zahrnuje určité výhody. Oxidace monomeru probíhá na anodě a není tak potřeba žádné oxidační činidlo. Dále pak produkt vzniká ve formě elektroaktivní folie, která je vysoce vodivá a může mít kontrolovanou tloušťku a hmotnost.

Tímto způsobem syntetizovaný vodivý polymer má lepší adhezi než chemicky syntetizovaný [54], [55].

### 1.7.3 Polyanilin



Obrázek 10 Struktura polyanilinu [55]

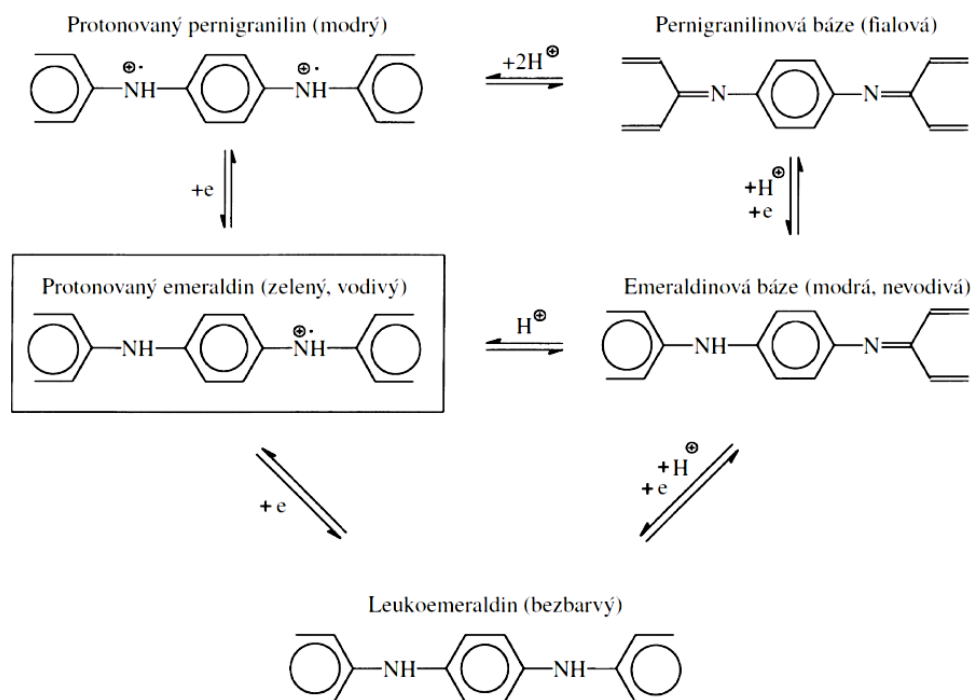
- **Vlastnosti**

Polyanilin (PANI) je jeden z nejstarších a nejznámějších vodivých polymerů (Obrázek 10). Je známý také jako anilinová čerň. Jeho významnost spočívá v jeho jedinečných vlastnostech, jako je elektrochemická a optická aktivita, stabilita a nízkonákladová chemická a elektrochemická syntéza. Jeho použití v biologických aplikacích je oproti polypyrrolu omezeno nízkou zpracovatelností, nedostatečnou pružností a biologickou neodbouratelností. Polyanilin existuje v různých formách, které se liší pouze stupněm oxidace (Obrázek 11). Jsou to například leukoemeraldin, emeraldin a pernigranilin. Nejvíce vodivou a nejstabilnější formou polyanilinu je emeraldin. Vytváří charakteristické morfologie, a to globule, nanovlákná a nanotrubičky. Vyrábí se jako samotný prášek, ale ten lze obtížně aplikovat. Proto se z něj lisují pelety, které se běžně používají k charakterizaci elektrických vlastností [56], [57][58].

Polyanilin může fungovat jako inhibitor díky přítomnosti funkční skupiny C=N, která může být adsorbována na povrchu kovu. Tím omezuje anodickou nebo katodickou reakci [59],[60].

- **Výroba**

Polyanilin se nejběžněji získává oxidací anilinu peroxydisulfidem amonným v kyselém prostředí. Forma, ve které vzniká, se nazývá emeraldinová sůl. Pro tvorbu vodivé formy polyanilinu je potřeba poměrně vysoká kyselost prostředí (pH < 2,5). Během oxidace jsou atomy vodíku uvolňovány jako protony [58], [60].



**Obrázek 11** Formy polyanilinu [59]

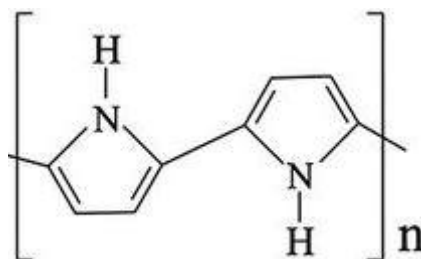
- **Použití**

Díky zelené barvě polyanilinu se dá použít pro výrobu maskovacích sítí ve vojenském prostředí. Dále pak je využíván k ochraně před detektory, protože absorbuje infračervené i mikrovlnné záření.

Čidla na bázi vodivého polyanilinu mají využití v různých typech detektorů. Detektory jsou schopné detekovat různé vůně a chemikálie.

Další oblasti využití jsou například u lithiových baterií nebo vodivých textilií [61].

### 1.7.4 Polypyrrol



**Obrázek 12** Struktura polypyrrolu [55]



- **Vlastnosti**

Polypyrrol (PPy) je jedním z nejvíce studovaných vodivých polymerů díky jeho vlastnostem a možnostem využití (Obrázek 12). Má dobrou in vitro a in vivo biologickou kompatibilitu, dobrou chemickou stabilitu na vzduchu a ve vodě a poměrně vysokou vodivost za standardních podmínek.

- **Výroba**

Polypyrrol lze snadno syntetizovat ve velkém množství při pokojové teplotě v široké škále rozpouštědel. Polymerace pyrrolu může probíhat v různých režimech. Jsou to například potenciostatický, potenciodynamický nebo galvanostatický. Může být vyroben s různě velkým povrchem a různými pórovitostmi. Dále pak lze do něj zabudovat různé bioaktivní molekuly, aby byl vhodný i pro biomedicínské aplikace.

Po jeho syntéze už se dále obtížně zpracovává, protože se jeho struktura stane tuhá, křehká a nerozpustná.

- **Použití**

Polypyrrol se díky vysoké vodivosti používá v mnoha aplikacích, jako jsou palivové články, protikorozní ochrana, počítačové displeje, mikrochirurgické nástroje, biosenzory a jako materiál v inženýrství nervových tkání [61].

## **1.8 Sulfidy**

### **1.8.1 Mechanismus působení s vodivými polymery**

V posledních letech rozšířily spektrum antikoročních pigmentů sulfidové sloučeniny molybdenu a wolframu, které byly modifikovány vodivým polymerem. Sloučeniny molybdenu a wolframu jsou dobrými inhibitory koroze.

Částice tvořené anorganickou látkou, která je pokryta vodivou polymerní vrstvou, jsou výhodné pro korozní ochranu. Jádro je tvořeno chemicky aktivním pigmentem, který přispívá k fyzikálním vlastnostem nátěru.

V systému pigment / vodivý polymer mají obě složky antikorozní účinek a může být antikorozní účinnost vysoká i při nízkém OKP díky tomu, že obě složky působí společně. Částice molybdenu nebo wolframu mohou působit v místech, kde není vrstva PANI nebo PPy [62].

## 1.8.2 MoS<sub>2</sub>

- **Vlastnosti**

Disulfid molybdenu (MoS<sub>2</sub>) patří do skupiny dichalkogenidů přechodných kovů. Má vrstvenou strukturu, kde jsou atomy vázány kovalentní vazbou a vytvářejí tak dvojrozměrné struktury, které jsou vzájemně poutány slabými silami. Je hlavním přírodním zdrojem molybdenu. Vyskytuje se v rudách, ale jen v poměrně nízkých koncentracích. V současné době jsou známy tři modifikace MoS<sub>2</sub>.

Kombinací s vodivým materiálem (např. PANI nebo PPy) se může zlepšit vodivost disulfidu molybdenu [63], [64], [65].

- **Použití**

Díky vrstvené struktuře a slabých interakcí mezi nimi je možné zavedení cizích iontů nebo molekul mezi vrstvy. Tento mechanismus se nazývá interkalace. MoS<sub>2</sub> zde vystupuje jako interkalující hostitel pro vytvoření elektrodového materiálu v bateriích s vysokou hustotou energie. Toho se dá využít například pro lithium-iontové baterie [66].

MoS<sub>2</sub> je považován za vynikající elektrodu pro reakci na vývoj vodíku. Bylo zjištěno, že krystaly mají nejlepší elektrochemickou stabilitu v kyselém prostředí. Je tak možné nahradit platinovou elektrodu, která je nákladná a je jí nedostatek [67], [68].

Dále je disulfid molybdenu využíván jako mazadlo díky tomu, že jednotlivé vrstvy, které jsou poutány slabými silami, se mohou snadno pohybovat proti sobě [69][70].

## 1.8.3 WS<sub>2</sub>

- **Vlastnosti**

Disulfid wolframu (WS<sub>2</sub>) se skládá ze dvou vrstev těsně uzavřených atomů chalkogenidu, které mezi sebou mají jednu kovovou vrstvu. Stejně jako MoS<sub>2</sub> tvoří válcové nanostruktury. Jsou to například nanotrubičky [71]

- **Použití**

Disulfid wolframu může díky své struktuře působit jako účinná fotovodivá vrstva ve fotovoltaických zařízeních a fotoelektrochemických solárních člancích. Další využití má WS<sub>2</sub> jako tuhé mazivo, protože vícevrstvý film má hustší strukturu a vyšší adhezi k substrátu než film s jednou vrstvou [68], [72].

Díky nízkému vnitřnímu tření se používají jako tenké povlaky v prostředí bez vlhkosti. Ve vlhkých podmínkách se rychle rozkládají [73].

## 1.9 Nátěrové hmoty

Nátěrové hmoty tvoří zpravidla pigment, pojivo, plnivo a další přídavné látky. Tento systém po nanesení na daný podklad vytvoří tenkou vrstvu, které se říká organický povlak [74].

### 1.9.1 Pigment

Základní vlastností pigmentu je, že dává nátěrovým hmotám požadovaný odstín a krycí schopnost. Jsou to práškové látky, které mohou být původu organického nebo anorganického a v některých případech i směsného.

Základní fyzikálně-optické vlastnosti pigmentů:

- krycí schopnost - zabránění průchodu světla prostředím a tvorba neprůhledných povlaků, tuto vlastnost určují rozptyl světla a schopnost absorpce světla
- barevnost - barvy pigmentů mohou být pestré (např. modrá, červená, žlutá) nebo nepestré (bílá, černá, šedá), barva pigmentu závisí na vlastnostech dopadajícího světla [75]

### 1.9.2 Pojivo

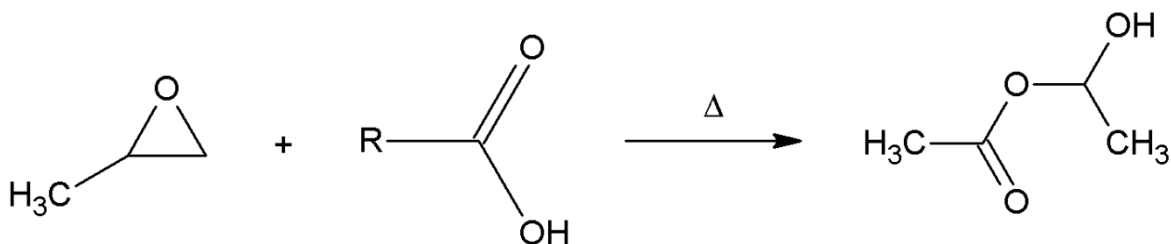
Pojivo nebo také filmotvorná látka je základem nátěrových hmot. Základní funkcí filmotvorné látky je tvorba filmu. Dále má vliv na některé vlastnosti nátěrového filmu. Mezi tyto vlastnosti patří například lesk, tvrdost, chemická odolnost a přilnavost [76].

- **Epoxyesterové pryskyřice**

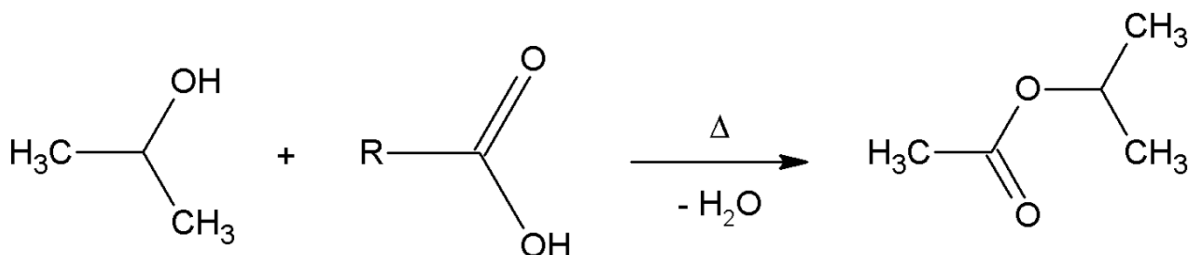
Organické povlaky obsahující tyto pryskyřice jsou vláčné, chemicky odolné a vysoce přilnavé k podkladu.

Epoxyesterové pryskyřice vznikají esterifikací epoxidových pryskyřic s mastnými kyselinami rostlinných olejů. Běžně používané epoxidové pryskyřice jsou bisfenolového typu a mastné kyseliny rostlinných olejů mohou být vysychavé, nevysychavé i polovysychavé. Používaným nevysychavým olejem je například palmový olej. Mezi vysychavé oleje patří například sojový nebo lněný olej. Při esterifikaci probíhá reakce jak na epoxidových, tak na hydroxylových skupinách [77].

Při teplotě 80 - 150°C dochází k esterifikaci epoxidových skupin (Obrázek 13). Při teplotě vyšší než 150°C se esterifikují také hydroxylové skupiny (Obrázek 14) a při vyšších teplotách je možná i vedlejší reakce tzv. etherifikace [78].

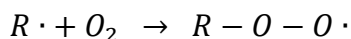


**Obrázek 13** Esterifikace epoxyesterové pryskyřice při teplotě 80 - 150°C

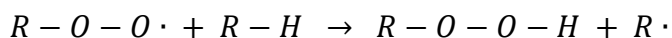


**Obrázek 14** Esterifikace epoxyesterové pryskyřice za vyšších teplot (>150°C)

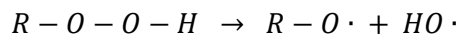
Zasychání epoxyesterových pryskyřic je rychlejší než u alkydových pryskyřic, a to na vzduchu autooxidačně. Radikály jsou vytvořeny odštěpením vodíku a reagují s kyslíkem za vzniku peroxidického radikálu (Rovnice 8). Tento radikál buď reaguje dál, kdy je ukončen řetězec (vznik hydroperoxidu) nebo vznikne nový peroxidový radikál (Rovnice 9). Vzniklý hydroperoxid se za přítomnosti katalyzátorů rozpadá a tvoří se kyslíkové a peroxidické radikály (Rovnice 10, Rovnice 11). Řetězec je zakončen spojením jednotlivých radikálů.



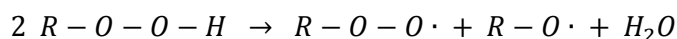
Rovnice 8



Rovnice 9



Rovnice 10



Rovnice 11

Epoxyesterové pryskyřice jsou hojně využívány v celé řadě aplikací. Jsou to například nátěrové hmoty, lepidla, tiskové barvy, laminované desky a jiné [79].

### 1.9.3 Plnivo

Plniva jsou práškové látky podobné pigmentům a používají se k „plnění“ daného systému, čímž se docílí určitých žádaných vlastností. Mají ale malou krycí a vybarvovací schopnost.

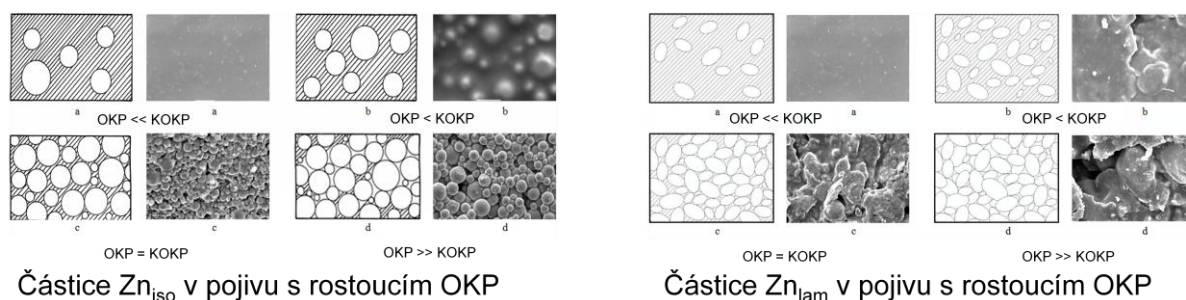
- **Uhličitan vápenatý**

Uhličitan vápenatý ( $\text{CaCO}_3$ ) je přírodní plnivo, který se získává při těžbě daných minerálů. Má vysokou bělost, je netoxický a poměrně snadno se mísí s různými pojivy. V nátěrových hmotách může být jeho výhoda v tom, že při hoření se z něj uvolňuje oxid uhličitý, proto mají nátěry nižší hořlavost

### 1.9.4 Systém pigment - pojivo při různých OKP

Účinnost povlaku závisí na objemové koncentraci pigmentu. Mnoho vlastností, jako je tah, propustnost, lesk, vykazují náhlou změnu u určitých OKP, které jsou definovány jako kritická objemová koncentrace pigmentu [80].

Kritická objemová koncentrace pigmentu je jeden z nejdůležitějších parametrů při formulaci nátěrových hmot. Poměr OKP a KOKP se nazývá kvocient (Q), který by měl být  $> 1$ . Na obrázku 15 jsou znázorněny situace při rostoucí KOKP v pojivu u isometrických a lamelárních částic [81].



**Obrázek 15** Částice izometrického a lamelárního zinku při různém OKP v pojivu [81]

## 2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 2.1 Cíl práce

Cílem práce bylo snížení obsahu zinku v nátěrových hmotách a nalezením vhodné náhrady tak, aby antikoroziční účinnost a mechanická odolnost byla srovnatelná nebo vyšší než u nátěrových hmot obsahujících samostatný zinek jako pigment. U kombinací sulfidů (povrchově upravených polyanilinem nebo polypyrrolem) s isometrickým zinkem byla hledána optimální objemová koncentrace, při které je dosaženo vyšší koroziční odolnosti v porovnání se standardním organickým povlakem, který obsahuje pouze isometrický zinek při objemové koncentraci 61 %.

V první fázi byly připraveny nátěrové filmy pigmentované hořčíkem při  $OKP_{Mg} = 1, 5, 10, 15, 30, 50$  a  $56$  %, isometrickým zinkem při  $OKP_{Zn} = 10, 30, 50, 61$  a  $63$  % a lamelárním zinkem při  $OKP_{Zn} = 10, 30, 39$  a  $42$  %. Dále pak byly připraveny kombinace hořčíku s isometrickým nebo lamelárním zinkem při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$  a  $15$  % a kombinace povrchově upravených sulfidů s isometrickým zinkem při  $OKP_{VP} = 1, 3$  a  $5$  %. Jako standard pro antikoroziční účinnost sloužily nátěry s obsahem isometrického zinku při  $OKP_{Zn} = 61$  % a lamelárního zinku při  $OKP_{Zn} = 39$  %.

Úkolem práce bylo testování fyzikálně – mechanických vlastností připravených nátěrových filmů na skleněných a ocelových panelech. Dále byly studovány antikoroziční vlastnosti výše uvedených povlaků pomocí cyklických korozičních zkoušek (atmosféra s obsahem NaCl, SO<sub>2</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> s NaCl) a elektrochemickou technikou lineární polarizace. Na závěr byly vybrány nejúčinnější nátěrové filmy, které byly doporučeny do prostředí o stupni různém koroziční agresivity.

### 2.2 Charakteristika surovin

#### 2.1.1 Pigmenty

- Mg

Výrobce: Alfa Aesar

Složení: 99,8% práškový hořčík

Barva: šedá

Značení: Mg

- **Zn isometrický - VM 4P16**

Výrobce: Dr. Hans Heubach GmbH, Německo

Složení: 99% sférický práškový zinek

Barva: šedá

Značení: Zn<sub>iso</sub>

- **Zn lamelární - Z2031**

Výrobce: Sunchemical

Složení: lamelární práškový zinek

Barva: šedá

Značení: Zn<sub>lam</sub>

- **MoS<sub>2</sub>**

Výrobce: Sigma Aldrich

Složení: disulfid molybdenu pokrytý polyanilinem

Barva: černá

Značení: MoS<sub>2</sub> - PANI / Zn<sub>iso</sub>

- **WS<sub>2</sub>**

Výrobce: Sigma Aldrich

Složení: disulfid wolframu pokrytý polyanilinem

Barva: černá

Značení: WS<sub>2</sub> - PANI / Zn<sub>iso</sub>

- **MoS<sub>2</sub>**

Výrobce: Sigma Aldrich

Složení: disulfid molybdenu pokrytý polypyrrolem

Barva: černá

Značení: MoS<sub>2</sub> - PPy / Zn<sub>iso</sub>

- **WS<sub>2</sub>**

Výrobce: Sigma Aldrich

Složení: disulfid wolframu pokrytý polypyrrolem

Barva: černá

Značení: WS<sub>2</sub> - PPy / Zn<sub>iso</sub>

### 2.1.2 Pojivo

- **Worléedur - D 46**

Výrobce: Worlée-Chemie GmbH, Německo

Složení: epoxyesterová pryskyřice (60 % epoxid, 40 % konjugované mastné kyseliny tungového oleje)

Funkce: epoxyesterové pojivo

Sušina: 60 %

Číslo kyselosti: 4,1 mg KOH

Rozpouštědlo: xylen

### 2.1.3 Aditiva

- **Omyacarb**

Výrobce: Lachema a.s., Brno

Barva: bílá

Funkce: plnivo

Značení: OM

### 2.1.4 Rozpouštědla a pomocné látky

- **Xylen**

Výrobce: Lach-Ner s.r.o., Neratovice

Sumární vzorec:  $C_8H_{10}$

Hustota: směs o, m, p – xylenu

Funkce: ředidlo

- **Chloroform**

Výrobce: Penta, výrobní divize Chrudim, ČR

Sumární vzorec:  $CHCl_3$

Hustota:  $1,48 \text{ g.cm}^{-3}$

Funkce: odmašťovadlo

- **Mořící roztok**

Složení: 1000 ml 20% HCl + 5 g urotropin

Funkce: odstranění korozních zplodin z povrchu panelu



- **Voda**

Složení: destilovaná voda

Hustota:  $1,00 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Výrobce: Univerzita Pardubice

## **2.3 POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJE**

- **Charakterizace pigmentů**

Laboratorní váhy, firma Kern&Sohn GmbH, Německo; Analytické váhy, firma OHAUS, Švýcarsko; Autopyknometr Micrometrics AutoPyknometr 1320, USA.

- **Příprava nátěrových hmot**

Disolver Dispermat Donventa AG, Švýcarsko; krabicová nanášecí pravítka se štěrbinou 200, 250 a 300  $\mu\text{m}$ .

- **Stanovení fyzikálně-mechanické odolnosti**

Tloušťkoměr MINITEST 1100, firma Elektro-Fysik, Německo; Kyvadlový přístroj BYK, kyvadlo typu Persoz; Leskoměr, firma Pausch Messtechnik GmbH, Německo; Erichsenův přístroj na stanovení odolnosti vůči hloubení, firma Erichsen, Německo; Přístroj na stanovení odolnosti úderu; Zařízení na stanovení odolnosti vůči ohybu; Řezací nůž pro stanovení přilnavosti (Cross cut, Elcometr).

- **Stanovení korozní odolnosti**

Solná komora na zrychlenou korozní zkoušku, firma Liebish, Německo; Komora pro korozní zkoušku v atmosféře  $\text{SO}_2$ ; pH metr WTW 320; Konduktometr Handylab LF1, firma Schott.

## **2.4 SYNTÉZY PIGMENTŮ**

- **Syntéza  $\text{MoS}_2$  / PANI a  $\text{WS}_2$  / PANI**

Částice disulfidu molybdenu ( $\text{MoS}_2$ ) nebo disulfidu wolframu ( $\text{WS}_2$ ) byly pokryty vodivou polyanilinovou vrstvou během oxidace anilinu v kyselém prostředí. Na syntézu bylo použito 40 g disulfidu molybdenu (Molybdenum(IV) sulfide - Sigma Aldrich) nebo 40 g disulfidu wolframu (Tungsten(IV) sulfide - Sigma Aldrich). Plnění anilinu bylo zvoleno na 20 hm.% hmotnosti sulfidů. Do vodné suspenze těchto sulfidů byl přidán 0,2 M anilinhydrochlorid (ANI HCl). Se sulfidovou suspenzí s obsahem anilinhydrochloridu byl následně smíchán 0,25 M peroxodisíran amonný (APS), který byl nejprve rozpuštěn

v destilované vodě. APS sloužil jako oxidovadlo anilinu. Celá směs byla ponechána při laboratorní teplotě po dobu 24 h a poté byla pod vakuem zfiltrována a promyta kyselinou chlorovodíkovou a acetonem. Připravený pigment s povrchovou úpravou PANI byl sušen při laboratorní teplotě [82].

- **Syntéza MoS<sub>2</sub> / PPy a WS<sub>2</sub> / PPy**

Částice disulfidu molybdenu (MoS<sub>2</sub>) nebo disulfidu wolframu (WS<sub>2</sub>) byly pokryty globulárním polypyrrolem při oxidaci pyrrolu pomocí hexahydrátu chloridu železitého (FeCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O). Na syntézu bylo použito 40 g disulfidu molybdenu (sirník molybdeničitý, Molyka RF - Ekolube s.r.o.) nebo 40 g disulfidu wolframu (Tungsten(IV) sulfide - Sigma Aldrich). Plnění pyrrolu bylo opět zvoleno na 20 hm.% hmotnosti sulfidů. Do vodné suspenze sulfidů byl přidán 0,2 M pyrrol rozpuštěný v destilované vodě a vše bylo důkladně promícháno. Poté byl postupně přidáván roztok 0,5 M FeCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O, který sloužil jako oxidovadlo. Směs byla nakonec přefiltrována a promyta kyselinou chlorovodíkovou a ethanolem. Připravený pigment s povrchovou úpravou PPy byl sušen při laboratorní teplotě [82].

## 2.5 HODNOCENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PIGMENTŮ

### 2.4.1 Spotřeba oleje

Pomocí tohoto stanovení bylo zjištěno, kolik g lněného oleje je zapotřebí k tomu, aby z daného pigmentu vznikla soudržná pasta o určitých vlastnostech. Spotřeba oleje je důležitá k výpočtu kritické objemové koncentrace (KOKP). Stanovení bylo provedeno metodou tlouček-miska dle ČSN 67 0351.

Do glazurované třecí misky byl navážen cca 1g pigmentu a poté byl za současného tření tloučkem z byrety postupně přikapáván lněný olej. Po nabalení veškerého pigmentu na tlouček bylo stanovení ukončeno a z byrety byla odečtena spotřeba oleje v ml, která byla následně dosazena do vztahu pro výpočet olejového čísla (Vzorec 2), kde *o.č.* je olejové číslo [g oleje/100g pigmentu],  $\rho$  je hustota lněného oleje: [0,93 g·cm<sup>-3</sup>], *V* je objem spotřebovaného lněného oleje [ml] a *m* je navážka pigmentu [g]

$$\text{o. č.} = \frac{\rho \cdot V \cdot 100}{m}$$

Vzorec 2

## 2.4.2 Hustota

Hustota je důležitou vlastností každého pigmentu, díky níž se dá vypočítat hodnota KOKP. Stanovení bylo provedeno dle ČSN 670542 na plynovém autopyknometru Micrometrics AutoPyknometr 1320 pomocí změření objemu vzorku plynem (helium), který byl měřeným vzorkem vytěsněn. Měrná hmotnost byla určena autopyknometrem s přesností na  $0,01 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

## 2.4.3 Kritická objemová koncentrace pigmentu (KOKP)

Koncentrace pigmentu v pojivu se vyjadřuje pomocí objemové koncentrace pigmentu (OKP). O kritické objemové koncentraci (KOKP) mluvíme v případě, pokud OKP vzroste nad určitou mez, kde se výrazně mění vlastnosti nátěrového filmu (např. lesk, tvrdost, tvorba puchýřů a propustnost pro vodní páru). Při  $\text{OKP} = \text{KOKP}$  je v systému tolik pojiva, že je vyplněn prostor mezi částicemi pigmentu a plniva.

Kritická objemová koncentrace pigmentu byla vypočtena dle daného vzorce (Vzorec 3), kde *o.č.* je olejové číslo [g oleje/100g pigmentu],  $\rho_{olej}$  je hustota lněného oleje [ $0,93 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ] a  $\rho_{pigment}$  je hustota pigmentu [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ].

$$KOKP = \frac{10000}{\rho_{pigment} \left( \frac{100}{\rho_{pigment}} + \frac{o.č.}{\rho_{olej}} \right)}$$

Vzorec 3

## 2.6 PŘÍPRAVA NÁTĚROVÝCH HMOT

### 2.5.1 Formulace nátěrových hmot

Formulace nátěrových hmot byla provedena pomocí programu „Formul“. Jako pojivo byla použita epoxyesterová pryskyřice rozpouštědlového typu. Jako plnivo byl zvolen u některých systémů vápenec (Omyacarb). Hodnoty OKP pigmentu byly zvoleny podle typu pigmentu.

U nátěrových hmot obsahujících kovový hořčík byl do pojiva přidáván Mg při  $\text{OKP}_{\text{Mg}} = 1, 5, 10, 15, 30, 50$  a  $56 \%$  a poté byly NH doplněny vápencem na  $\text{OKP}_{\text{OM}} = 56 \%$ . U nátěrových hmot obsahující isometrický zinek byl do pojiva přidáván  $\text{Zn}_{\text{iso}}$  při  $\text{OKP}_{\text{Zn}} = 10, 30, 50, 61$  a  $63 \%$  a poté byly NH vápencem doplněny na  $\text{OKP}_{\text{OM}} = 61 \%$ . U nátěrových hmot obsahující lamelární zinek byl do pojiva přidáván  $\text{Zn}_{\text{lam}}$  při  $\text{OKP}_{\text{Zn}} = 10, 30, 39$  a  $42 \%$  a poté byly tyto NH doplněny vápencem na  $\text{OKP}_{\text{OM}} = 39 \%$ .

Dále byly připraveny nátěrové hmoty pigmentované zinkem s obsahem hořčíku při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$  a  $15 \%$ . Po přidání hořčíku do pojiva při daném OKP byly NH doplněny isometrickým nebo lamelárním zinkem. V případě isometrického zinku na  $OKP_{Zn} = 61 \%$  a v případě lamelárního zinku na  $OKP_{Zn} = 39 \%$ .

Nátěrové hmoty pigmentované zinkem s vybranými sulfidy (XS) s povrchovou úpravou vodivými polymery (VP) byly připraveny při  $OKP_{VP} = 1, 3$  a  $5 \%$ . Do pojiva byl přidán daný sulfid pokrytý vodivým polymerem a poté byly NH doplněny isometrickým zinkem na  $OKP_{Zn} = 61 \%$ .

Jako standard byly určeny NH obsahující isometrický zinek při  $OKP_{Zn} = 61 \%$  a lamelární zinek při  $OKP_{Zn} = 39 \%$ .

Výsledky jednotlivých formulací v množství 100 g jsou uvedené v tabulkách 1-10.

**Tabulka 1** Formulace nátěrové hmoty s obsahem Mg při  $OKP_{Mg} = 1, 5, 10, 15, 30, 50$  a  $56 \%$  doplněné vápencem na  $OKP_{OM} = 56 \%$

$OKP_{Mg} [\%]$	1	5	10	15	30	50	56
<b>Surovina</b>	<b>hmotnostní %</b>						
<b>WorléeDur</b>	32,04	32,3	32,65	33,06	34,75	39,29	41,89
<b>Omyacarb</b>	67,61	65,85	63,39	60,58	49,03	17,89	0
<b>Mg</b>	0,35	1,85	3,95	6,36	16,23	42,82	58,11

**Tabulka 2** Formulace nátěrové hmoty s obsahem  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 10, 30, 50, 61$  a  $63 \%$  doplněné vápencem na  $OKP_{OM} = 61 \%$

$OKP_{Zn} [\%]$	10	30	50	61	63
<b>Surovina</b>	<b>hmotnostní %</b>				
<b>WorléeDur</b>	25,57	21,02	15,92	12,84	11,92
<b>Omyacarb</b>	62,09	39,89	15,01	0	0
<b><math>Zn_{iso}</math></b>	12,34	39,09	69,08	87,16	88,08

**Tabulka 3** Formulace nátěrové hmoty s obsahem  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 10, 30, 39$  a  $42 \%$  doplněné vápencem na  $OKP_{OM} = 39 \%$

$OKP_{Zn} [\%]$	10	30	39	42
<b>Surovina</b>	<b>hmotnostní %</b>			
<b>WorléeDur</b>	43,19	33,1	28,65	26,18
<b>Omyacarb</b>	38,13	11,65	0	0
<b><math>Zn_{lam}</math></b>	18,68	55,25	71,33	73,82

**Tabulka 4** Formulace nátěrové hmoty s obsahem Mg při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$  a  $15$  % doplněné  $Zn_{iso}$  na  $OKP_{Zn} = 61$  %

$OKP_{Mg}$ [%]	1	3	5	10	15
<b>Surovina</b>	<b>hmotnostní %</b>				
WorléeDur	12,89	13,01	13,12	13,46	13,86
$Zn_{iso}$	86,96	86,56	86,12	84,91	83,48
Mg	0,14	0,44	0,75	1,63	2,67

**Tabulka 5** Formulace nátěrové hmoty s obsahem Mg při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$  a  $15$  % doplněné  $Zn_{lam}$  na  $OKP_{Zn} = 39$  %

$OKP_{Mg}$ [%]	1	3	5	10	15
<b>Surovina</b>	<b>hmotnostní %</b>				
WorléeDur	28,89	29,39	29,93	31,47	33,4
$Zn_{lam}$	70,79	69,62	68,35	64,72	60,18
Mg	0,32	0,99	1,72	3,81	6,42

**Tabulka 6** Formulace nátěrové hmoty s obsahem  $MoS_2$  / PANI ( $OKP = 1, 3$  a  $5$  %) doplněné  $Zn_{iso}$  na  $OKP_{Zn} = 61$  %

$OKP_{MoS_2 / PANI}$ [%]	1	3	5
<b>Surovina</b>	<b>hmotnostní %</b>		
WorléeDur	27,78	29,59	31,79
$MoS_2$ / PANI	0,54	1,75	3,21
$Zn_{iso}$	71,68	68,65	65,01

**Tabulka 7** Formulace nátěrové hmoty s obsahem  $WS_2$  / PANI ( $OKP = 1, 3$  a  $5$  %) doplněné  $Zn_{iso}$  na  $OKP_{Zn} = 61$  %

$OKP_{WS_2 / PANI}$ [%]	1	3	5
<b>Surovina</b>	<b>hmotnostní %</b>		
WorléeDur	27,67	29,33	31,27
$WS_2$ / PANI	0,68	2,2	3,99
$Zn_{iso}$	71,66	68,48	64,74

**Tabulka 8** Formulace nátěrové hmoty s obsahem  $MoS_2$  / PPy ( $OKP = 1, 3$  a  $5$  %) doplněné  $Zn_{iso}$  na  $OKP_{Zn} = 61$  %

$OKP$ [%]	1	3	5
<b>Surovina</b>	<b>hmotnostní %</b>		
WorléeDur	28,23	31,15	34,98
$MoS_2$ / PPy	0,65	2,18	4,16
$Zn_{iso}$	71,13	66,67	60,86

**Tabulka 9** Formulace nátěrové hmoty s obsahem WS<sub>2</sub> / PPy (OKP = 1, 3 a 5 %) doplněné Zn<sub>iso</sub> na OKP<sub>Zn</sub> = 61 %

OKP [%]	1	3	5
Surovina	hmotnostní %		
WorléeDur	28,14	30,96	34,57
WS <sub>2</sub> / PPy	0,82	2,78	5,28
Zn <sub>iso</sub>	71,04	66,26	60,15

**Tabulka 10** Formulace vrchního nátěru

Druh nátěrové hmoty	Surovina [hmotnostní %]			
	WorléeDur	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Omyacarb
vrchní nátěr	80,16	3,78	4,92	11,14

### 2.5.2 Dispergace a postup přípravy nátěrových hmot

Pomocí dispergačního zařízení typu Disolver byly připraveny jednotlivé nátěrové hmoty. Do dispergačního zařízení byla nejdříve navážena epoxyesterová pryskyřice. Poté byly při malých otáčkách postupně přidávány pigmenty. Následná dispergace byla provedena při 2000 ot·min<sup>-1</sup> po dobu 30 minut se skleněnými kuličkami (30 g). Pomocí xylenu byla v průběhu dispergace ještě upravována viskozita NH. Bylo připraveno 150 g nátěrové hmoty od každého vzorku, které byly ponechány v označených skleněných nádobách.

### 2.5.3 Příprava zkušebních vzorků na ocelových panelech

Nátěrové hmoty byly nanášeny na 3 druhy ocelových panelů třídy 11 o různých rozměrech. Na mechanické zkoušky byly použity panely o rozměrech 200 x 60 x 0,9 mm. Na elektrochemické zkoušky, zkoušku barevnosti a pro korozní zkoušky ocelové panely o rozměrech 150 x 100 x 0,9 mm.

Všechny panely byly před použitím odmaštěny chloroformem a poté byly na takto připravený povrch panelů nanášeny pomocí krabicového nanášecího pravítka se štěrbinou 200 μm, 250 μm nebo 300 μm připravené nátěrové hmoty. Po zaschnutí organických povlaků byla u některých panelů pro korozní zkoušky nanášena druhá vrstva. Nenařené a zadní části panelů byly opatřeny ochrannou barvou, aby nedošlo k nežádoucímu prokorodování a podkorodování panelů.

#### **2.5.4 Příprava vzorků na hliníkových panelech**

Hliníkové panely o rozměrech 0,8 x 75 x 152 mm byly nejprve odmaštěny chloroformem a poté na ně byly pomocí krabicového nanášecího pravítka se štěrbinou 200 µm nebo 250 µm nanесeny nátěrové hmoty. Tyto panely byly připraveny pro zkoušku v atmosféře se solnou mlhou.

#### **2.5.5 Příprava zkušebních vzorků na skleněných panelech**

Skleněné panely o rozměrech 200 x 100 x 5 mm byly nejprve důkladně omyty jarovou vodou, odmaštěny chloroformem a poté na ně byly nanесeny pomocí krabicového nanášecího pravítka s definovanou štěrbinou 200 µm nebo 250 µm nátěrové hmoty pro stanovení relativní povrchové tvrdosti, Bucholzovy vrypové zkoušky a lesku organických povlaků. Dále pak byly skleněné panely použity na MEK test. Na malá sklíčka o rozměrech 26 x 76 x 1,1 mm byly nanесeny nátěrové hmoty pro stanovení celkové povrchové energie nátěrových filmů.

#### **2.5.6 Příprava volných nátěrových povlaků na fólie**

Na polyethylenové fólie o rozměru 297 x 210 mm byly rozetřeny nátěrové hmoty. Po zaschnutí byly nátěry sejmuty z fólie ve formě malých kousků a dále použity ke stanovení pH, měrné elektrické vodivosti vodných výluhů volných nátěrových filmů a korozních úbytků.

### **2.7 HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ NÁTĚROVÝCH HMOT POMOCÍ ZKOUŠEK MECHANICKÉ ODOLNOSTI**

#### **2.6.1 Měření tloušťky nátěrových filmů**

Tloušťka nátěrového filmu je vzdálenost mezi povrchem podkladu a povrchem filmu. Tloušťka má významný vliv na výsledky mechanických a antikoročních zkoušek. Měření tloušťky na ocelových panelech bylo provedeno dle ČSN EN ISO 2808 pomocí tloušťkoměru MINITEST 1100 na 10 místech povrchu nátěrového filmu a poté byl vypočten aritmetický průměr hodnot z těchto měření. Tloušťkoměr byl před zahájením měření kalibrován na kovový podklad, který byl totožný s podkladem u zkoumaného vzorku. Měření tloušťky na skleněných panelech bylo provedeno dle ČSN 67 3061 pomocí třibodového tloušťkoměru.

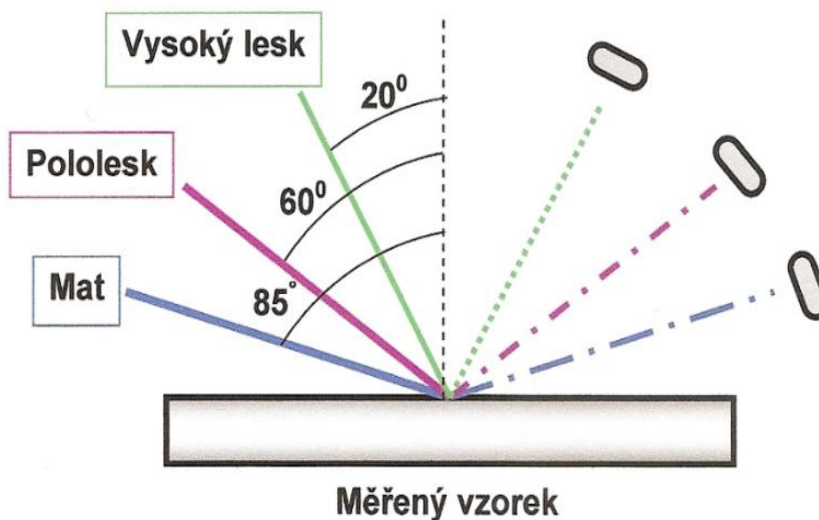
## 2.6.2 Stanovení relativní povrchové tvrdosti

Tvrдость byla měřena pomocí kyvadlového přístroje typu Persoz. Principem zkoušky bylo stanovení doby útlumu kyvadla, které je v kontaktu s nátěrovým filmem pomocí dvou ocelových kuliček. Měření probíhalo v úhlovém rozsahu z  $12^\circ$  na  $4^\circ$ . Na začátku měření byl změřen standard, jehož tvrdost je 100% a k němuž se následně vztahovaly hodnoty měřených vzorků. Čas u testovaných vzorků je vždy kratší než u skleněného standardu z důvodu toho, že nátěrové filmy jsou vždy měkčí. Stanovení bylo provedeno dle ČSN 67 3076.

## 2.6.3 Stanovení změny lesku nátěrových filmů

Lesk je dán veličinou zvanou číslo lesku. Je definován jako optická vlastnost, která se projevuje pomocí pravidelných odrazů světelných paprsků. Pokud nastane změna lesku, tak v organickém povlaku dochází k destruktivním pochodům.

Zkouška byla provedena dle ČSN 67 3063 pomocí leskoměru Q - gloss 3, který byl kalibrován na černé sklo s indexem lomu 1,567. Lesk byl měřen u každého vzorku třikrát při  $20^\circ$ ,  $60^\circ$  a  $85^\circ$  (Obrázek 16) a poté byla vypočtena průměrná hodnota. Výsledná hodnota byla stanovena jako procento lesku vztažené ke standardu.



**Obrázek 16** Geometrie uložení refraktometrů ( $20^\circ$ ,  $60^\circ$  a  $85^\circ$ )



#### 2.6.4 Bucholzova vrypová zkouška

Zkouška byla provedena pomocí Bucholzova vrypového zařízení, kde je sledována délka vtisku, která udává zbytkovou deformaci nátěrového filmu.

Zařízení, které obsahuje ostří, bylo položeno se závažím na nátěrový film po dobu 30 s, a poté se pomocí zvětšující optické soustavy a zabudované stupnice sledovala délka vtisku na nátěrovém filmu. Váha, která působila na vzorek, byla  $500 \pm 5$  g. Zkouška byla provedena dle ČSN EN ISO 2815.

#### 2.6.5 MEK test

MEK test byl proveden na skleněných panelech. Principem bylo zjistit stupeň, který odpovídá vytvrzení organického pojiva. Zkouška byla provedena pomocí methylethylketonu, který byl aplikován na bílou gázu. Bylo provedeno 50 dvoutahů (1 dvoutah = 1 sec) na organickém povlaku a poté byl zaznamenán stupeň poškození nátěrového filmu. Dále pak test pokračoval a byl zjištěn celkový čas, při kterém došlo k úplnému obnažení podkladu. Zkouška byla provedena dle ASTM D 4752-10. Odolnost byla vyhodnocena dle tabulky 11.

Tabulka 11 MEK test - stupně

<b>Stupeň 0</b>	Úplné obnažení podkladu.
<b>Stupeň 1</b>	Značné a hluboké narušení nátěrového filmu, ale již ne k podkladu.
<b>Stupeň 2</b>	Zřetelné poškození (poškrábání) nátěrového filmu.
<b>Stupeň 3</b>	Lehké poškození (poškrábání) nátěrového filmu.
<b>Stupeň 4</b>	Povrch nátěru není poškozený, pouze vyleštěný a nepatrné množství pigmentu uvolněného z nátěru je patrné na otěrové gáze.
<b>Stupeň 5</b>	Povrch nátěru není nijak poškozen, ani nejsou zbytky pigmentu na otěrové gáze.

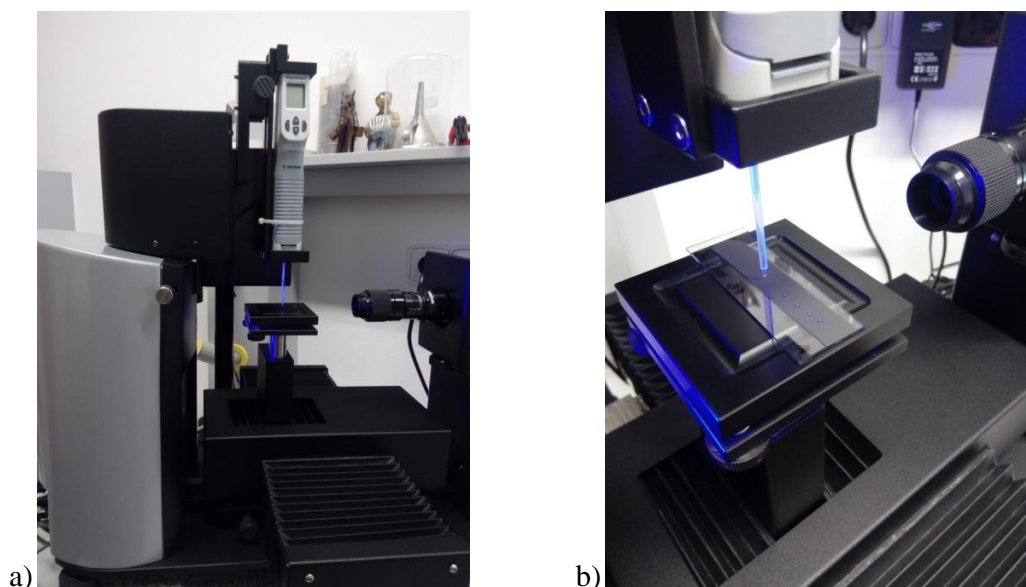
#### 2.6.6 Stanovení pH a měrné elektrické vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů

Toto stanovení proběhlo dle ČSN EN ISO 787-9 (měření pH) a dle DIN ISO 784/14 (měření měrné elektrické vodivosti). Do předem vyčištěných nádobek byl připraven 10 % vodný výluh obsahující 10 g volných nátěrových filmů a 90 ml redestilované vody. Pro měření pH vodných výluhů byl použit pH metr WTW 320, který byl před každým měřením kalibrován pomocí pufrů, které měly pH = 4, 7 a 10. Pro měření měrné elektrické vodivosti vodných výluhů byl použit konduktometr Handylab LF1. První měření proběhlo po 24

hodinách od přípravy výluhů a poté každých 7 dní celkem po dobu 28 dní. Při měření pH byla zjištěna přítomnost alkalických nebo kyselých složek ve vodných výluzích.

### 2.6.7 Stanovení smáčivosti pomocí měření kontaktních úhlů glycerolu a vody

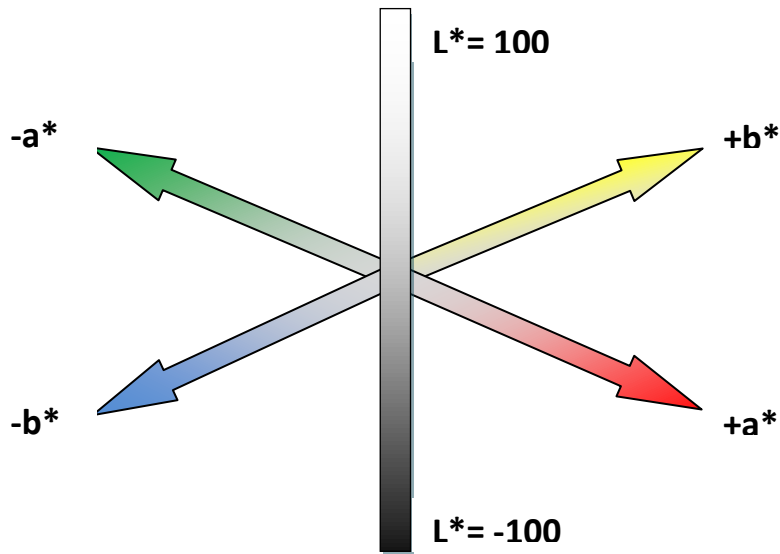
Principem stanovení smáčivosti bylo měření kontaktního úhlu kapaliny (voda, glycerol), kde bylo známé povrchové napětí, na fázovém rozhraní pevná látka - kapalina. Zkouška byla provedena pomocí optického tenziometru (Obrázek 17). Mikropipetou byly nanášeny kapky o určitém objemu ( $1\mu\text{l}$ ) dané kapaliny na nátěrový film a změny kontaktního úhlu byly zaznamenány pomocí kamery a matematicky vyhodnoceny pomocí přístrojové techniky. Pokud je kontaktní úhel větší než  $90^\circ$ , nátěrový film je nesmáčivý a v případě menšího kontaktního úhlu než  $90^\circ$  se jedná o smáčivý nátěrový film.



**Obrázek 17** Optický tenziometr (a) a nanášení kapek mikropipetou (b)

### 2.6.8 Stanovení změny barevnosti nátěrových filmů

Změna barevnosti podává informace o stupni degradace a o ztrátě bariérové funkce vrchního nátěru. Podle normovaného systému CIE - LAB, je každá barva označena třemi osami  $L^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$ , které slouží ve viditelné oblasti k přesnému popisu barev (Obrázek 18). Ty udávají obraz uložení daných barev v prostoru. Osa  $L^*$  nabývá hodnot od 0 do 100 a udává světlost mezi černou a bílou. Osa  $a^*$  vyjadřuje polohu barvy mezi červenou ( $+a^*$ ) a zelenou ( $-a^*$ ). Osa  $b^*$  vyjadřuje polohu barvy mezi žlutou ( $+b^*$ ) a modrou ( $-b^*$ ).



Obrázek 18 CIE - LAB (osy  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ )

### 2.6.9 Stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky

Odtrhová zkouška přilnavosti slouží k určení jak přilnavosti nátěrového filmu, tak ke kontrole kvality podkladu. Stanovení bylo provedeno dle ČSN EN ISO 4624. Měřicí parametry byly: zvýšení napětí na 152 kPa/s, mezní síla 15 kN. Na předem očištěný a odmaštěný váleček o průměru 20 mm bylo rovnoměrně nanášeno dvousložkové lepidlo epoxidového typu, poté byl váleček přilepen na povrch nátěrového filmu. Toto uspořádání (Obrázek 19) bylo ponecháno v klidu do doby, než bylo lepidlo vytvrzeno (24 hodin).



Obrázek 19 Schéma při odtrhové zkoušce přilnavosti

Po vytvrzení bylo přebytečné lepidlo okolo válečku odstraněno speciálním řezným nástrojem. Poté bylo toto zkušební uspořádání umístěno do zařízení určeného na odtrhovou zkoušku a bylo zahájeno měření. Poté bylo zaznamenáno tahové napětí potřebné k roztržení nejslabší fáze nebo složky v systému nátěrového filmu, kdy se může vyskytnout adhezní i kohezní lom. Typ lomu byl určen dle hodnotící tabulky 12. Maximální síla byla přepočítána na odtrhovou pevnost [MPa] podle vzorce 4, kde  $E$  je odtrhová síla [N].

$$\text{Odtrhová pevnost} = \frac{E}{314}$$

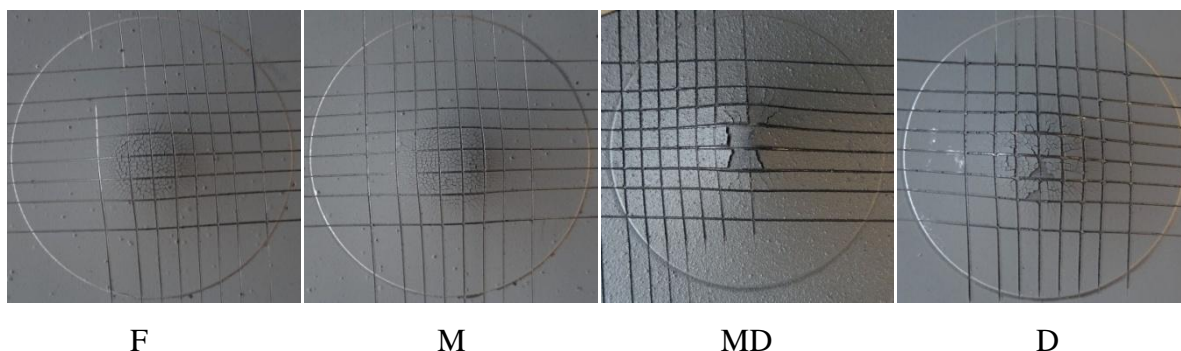
Vzorec 4

**Tabulka 12** Hodnotící tabulka odtrhové zkoušky přilnavosti

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 vrstvy
-/Y	Adhezní lom mezi poslední vrstvou a lepidlem
Y	Kohezní lom v lepidle
Y/Z	Adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním tělískem

### 2.6.10 Stanovení odolnosti nátěrů při úderu

Při této zkoušce dochází k deformaci kovového podkladu nátěrového filmu a je hodnocena přilnavost daného filmu. Na nátěrové filmy byla vytvořena pomocí speciálního řezacího nástroje s 6 čepemi mřížka (rozestup čepelí byl 2 mm). Poté se na panel s nátěrovým filmem nechalo volným pádem spadnout závaží o hmotnosti 1000 g postupně z výšky 20 cm, 60 cm a 100 cm. Poté bylo sledováno, zda došlo při dané výšce k viditelnému mechanickému poškození nátěrového filmu. Tyto výsledky byly zaznamenány ve formě písmen F, M, MD a D. Ta určovala množství prasklin na nátěrovém filmu, kde písmeno F označovalo malé popraskání a písmeno D označovalo velké praskliny na nátěrovém filmu (Obrázek 20).



**Obrázek 20** Vzory pro hodnocení stupně popraskání nátěrového filmu

### 2.6.11 Stanovení odolnosti nátěrů při ohybu

Při této zkoušce byla hodnocena odolnost nátěrového filmu proti odlupování a tvoření trhlinek při mechanickém namáhání. Ke stanovení odolnosti nátěrů při ohybu byly použity válcové trny o různých předepsaných průměrech. Vzorek byl nejprve ohýbán přes trn s průměrem 5 mm. Pokud nedošlo k mechanickému poškození, byl použit trn s průměrem 2 mm. Pokud u 5 mm trnu došlo k poškození nátěru, byl použit trn s průměrem 7 mm. Do tabulky bylo zaznamenáno, při kterém průměru došlo k prasknutí nátěrového filmu nebo k jeho uvolnění od podkladového materiálu, které bylo sledováno pomocí lupy.

### 2.6.12 Stanovení odolnosti nátěrů při hloubení

Při této zkoušce byla zjištěna míra tažnosti nátěrového filmu. Na nátěrové filmy byl nejprve vytvořen řez ve formě kříže v místě, kde bylo prováděno měření. Pro toto stanovení byl použit Erichsenův přístroj, jehož součástí je ocelová koule o průměru 20 mm. Ta byla postupně vtlačována do upevněného plechu s nátěrem z rubové strany, který se postupně deformoval. Měření probíhalo buď do porušení nátěrového filmu, nebo do dosažení 10 mm hloubení. Nátěrový film byl pozorován pomocí lupy. Výsledkem byla hloubka v mm, při které došlo k poškození nátěrového filmu nebo při dosažení 10 mm hloubení.

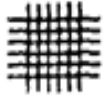
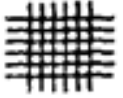


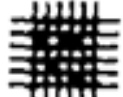
### 2.6.13 Stanovení přilnavosti nátěrů pomocí mřížkové metody

Přilnavost je definována pomocí stupňů přilnavosti a je souhrnem všech sil, pomocí kterých je nátěrový film poután ke kovovému podkladu. Je ovlivněna mnoha faktory. Například čím více je pigmentu v nátěrové hmotě, tím je přilnavost nižší. Dále pak je závislá na tloušťce měřeného vzorku a na době zasychání.

Zkouška byla provedena pomocí mřížkové metody dle ČSN ISO 2409 pomocí speciálního řezacího nástroje s 6 ostrými čepeli. Všechny vzorky měly tloušťku nátěrového

filmu v rozmezí 61 - 120  $\mu\text{m}$ , proto byl vybrán řezný nástroj s rozestupem čepelí 2 mm, kterým byly na nátěrovém filmu vytvořeny řezy ve tvaru mřížky. Vzhled a stupeň přilnavosti vzniklé mřížky byl vyhodnocen pomocí hodnotící tabulky (Tabulka 13).

**Tabulka 13** Hodnotící tabulka pro stanovení přilnavosti mřížkovou metodou

Klasifikace [st.]	Popis	Vzhled
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %	
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen o více než 5 % a méně než 15 % celkové plochy.	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15 %, ale menší než 35 %.	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více než 35 %, ale méně než z 65 %.	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4.	-

## **2.8 HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ NÁTĚROVÝCH HMOT POMOCÍ ZRYCHLENÝCH KOROZNÍCH ZKOUŠEK**

Při zrychlených korozních zkouškách jsou simulovány vlivy různých prostředí. Tyto zkoušky jsou zrychlené, aby proběhly v kratší době než u klasických atmosférických zkoušek a jsou používány v laboratorních podmínkách za využití různých typů komor. Pro zrychlené korozní zkoušky byly nátěrové filmy opatřeny řezem o délce 7 cm, kde řez pronikl až na kovový podklad.

### **2.7.1 Zrychlená korozní zkouška v atmosféře neutrální solné mlhy**

Pomocí zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy byl zkoumán vliv zvýšené teploty, vlhkosti a NaCl na nátěrový film. Zkouška simuluje prostředí s vysokým obsahem chloridu sodného, což může být například v přímořských oblastech nebo na zasolených silnicích. Zkouška byla provedena dle ČSN EN ISO 72 53.

Zkouška probíhala po dobu 720 hodin ve dvanáctihodinových cyklech, kde prvních 10 h byly nátěrové filmy vystaveny neutrální mlze 5% vodného roztoku NaCl při teplotě  $38 \pm 1$  °C. Dále byly nátěrové filmy při teplotě 28°C sušeny po dobu 1h a následně probíhala po dobu 1 hodiny při teplotě 40°C kondenzace vlhkosti. Po 720 hodinách byly vzorky z komory vyjmuty a byly na nich vyhodnoceny korozní projevy. Pomocí 20% roztoku NaOH byl nátěrový film odstraněn a znovu byly hodnoceny korozní projevy na kovovém podkladu.

### **2.7.2 Zrychlená korozní zkouška v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub>**

Zrychlená korozní zkouška v atmosféře s obsahem SO<sub>2</sub> simuluje prostředí s vysokým obsahem oxidu siřičitého, což je například v oblastech silného průmyslového znečištění. Zkouška byla provedena dle ČSN ISO 32 31.

Panely byly ponechány v komoře po dobu 1680. Na panely působila atmosféra s obsahem SO<sub>2</sub>, 100% relativní vlhkostí a teplotou  $35 \pm 1$  °C. Zkouška byla cyklická a jeden cyklus trval 24 hodin, který byl rozdělen na dvě části. V první osmihodinové části probíhala kondenzace vlhkosti s SO<sub>2</sub> a v druhé šestnáctihodinové části byly vzorky sušeny při teplotě  $23 \pm 5$  °C a vlhkosti, která byla menší než 75 %. Po 1680 hodinách byly hodnoceny korozní projevy jak na nátěrovém filmu, tak na samotném kovovém podkladu. Nátěrový film byl odstraněn pomocí 20% roztoku NaOH.

### **2.7.3 Zrychlená korozní zkouška v atmosféře s obsahem síranu amonného a chloridu sodného**

Tato zrychlená korozní zkouška probíhala po dobu 2160 hodin. Vzorky byly v expozici směsi 0,35 hm. % síranu amonného a 0,05 hm. % chloridu sodného. Jeden cyklus trval 24 hodin a byl rozdělen do dvou částí po 12 hodinách, kde prvních 10 hodin působila při  $35 \pm 2^\circ\text{C}$  na vzorky mlha směsného elektrolytu, další 1 hodinu působila při  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  kondenzace vody a poslední hodinu vzorky schly při okolní teplotě. Po 2160 hodinách expozice byly u nátěrových filmů hodnoceny korozní projevy v ploše a řezu nátěrového filmu a stupeň prokorodování. Po odstranění nátěrového filmu pomocí 20% roztoku NaOH byly vyhodnoceny i korozní projevy na kovovém podkladu.

### **2.7.4 Zrychlená korozní zkouška v atmosféře neutrální solné mlhy v kombinaci se střídáním teplot**

Tato zrychlená korozní zkouška vychází ze zkoušek vůči střídání teplot ( $-20^\circ\text{C}$  a  $+60^\circ\text{C}$ ) a ze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy.

Zkouška byla složena ze čtyř cyklů, kde každý cyklus trval 24 hodin. V prvním cyklu byly panely ponechány v atmosféře s obsahem neutrální solné mlhy (5% NaCl) při teplotě  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ . Tento cyklus byl rozdělen na dva stejné dvanáctihodinové cykly, kde prvních 10 h byly nátěrové filmy vystaveny neutrální mlze 5% vodného roztoku NaCl při teplotě  $38 \pm 1^\circ\text{C}$ , poté byly sušeny po dobu 1 h při teplotě  $28^\circ\text{C}$  a následně probíhala po dobu 1 hodiny kondenzace vlhkosti při teplotě  $40^\circ\text{C}$ . Ve druhém cyklu byly panely umístěny do sušárny při teplotě  $60^\circ\text{C}$ . Třetí cyklus byl totožný s prvním cyklem. To znamená, že panely byly opět ponechány v atmosféře s obsahem neutrální solné mlhy. Ve čtvrtém cyklu byly panely umístěny v mrazáku při teplotě  $-20^\circ\text{C}$ .

Tyto cykly se opakovaly po dobu 30 dní. Po ukončení zkoušky byly vyhodnoceny korozní projevy na nátěru a poté byl nátěrový film pomocí 20% roztoku NaOH odstraněn. Po odstranění nátěru byl vyhodnocen stupeň prokorodování na ocelový panel v ploše a v řezu.

### **2.7.5 Stanovení hmotnostních korozních úbytků ve vodných výluzích volných nátěrových filmů**

Z volných nátěrových filmů byly připraveny 10 hm. % suspenze v redestilované vodě. Po dobu 30 dní byla měřena pH a měrná elektrická vodivost. Poté byly vloženy do výluhů odmaštěné ocelové panely o rozměru 26 x 38 x 0,83 mm, u kterých byla předem zvážena hmotnost na analytických vahách s přesností na 0,0001 g. Dále bylo měřeno pH a vodivost



dalších 7 dní. Po ukončení měření byly ocelové panely vyjmuty z vodných výluhů, očištěny mořicím roztokem a chloroformem. Poté byly opět zváženy na analytických vahách a podle vzorce 5 byla stanovena hodnota koroze v ploše panelu, kde  $K_m$  je hmotnostní korozní úbytek vztážený na jednotku plochy [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  $m$  je hmotnost čistého panelu [g],  $m_1$  je hmotnost zkorodovaného panelu [g] a  $S$  je plocha korozního panelu [ $\text{cm}^2$ ].

$$K_m = 10^4 \cdot \frac{(m - m_1)}{2S}$$

Vzorec 5

Hodnota  $K_m$  byla poté stanovena v hmotnostních procentech, které byly vztážené k hmotnostnímu úbytku slepého pokusu, tj. čistá redestilovaná voda (Vzorec 6). Ve vzorci 6 je hmotnostní korozní úbytek vztážený na úbytek v redestilované vodě [%] značen jako  $X$ ,  $K_m$  je hmotnostní korozní úbytek ve výluhu volného nátěrového filmu [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ] a  $K_{m(H_2O)}$  je hmotnostní korozní úbytek v redestilované vodě [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ].

$$X = \frac{K_m}{K_{m(H_2O)}} \cdot 100$$

Vzorec 6

### 2.7.6 Zrychlená ponorová zkouška dle Machu a Schiffmana

Zkouška byla provedena dle ČSN 67 3087 ve třech cyklech. První a druhý cyklus odpovídal době 16 h a byl rozdělen na dvě části. V první části byly vzorky vystaveny po dobu 8 h působení roztoku 50 g chloridu sodného (p.a.), 5 ml peroxidu vodíku (30%) a destilované vody doplněné do 1000 ml při teplotě  $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . V druhé části byly vzorky opláchnuty destilovanou vodou a ponechány po dobu 8 h při teplotě  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  na denním světle. Ve třetím cyklu byl roztok tvořen 50g chloridu sodného (p.a.), 10 ml kyseliny octové (100%), 5 ml peroxidu vodíku (30%) a destilovanou vodou doplněnou do 1000 ml a 16 h cyklus probíhal stejným principem jako při prvním a druhém cyklu. Po prvním a druhém cyklu byla vyhodnocena změna tloušťky nátěrového filmu, puchýře v ploše a koroze řezu v procentech. Po třetím cyklu tyto projevy nebylo možné vyhodnotit z důvodu ztráty přilnavosti nátěrového filmu ke kovovému povrchu panelu. Pro tuto zkoušku byly nátěrové filmy opatřeny řezem ve tvaru kříže.

### 2.7.7 Stanovení korozních projevů nátěrových filmů v závislosti na pH kapaliny pomocí stacionární kapkové metody

Na panely o rozměrech 200 x 60 x 0,9 mm s aplikovanými nátěrovými hmotami bylo přilepeno pomocí epoxysterové pryskyřice 6 skleněných válečků. Do každého z válečků byl nalit pufr o různém pH (pH = 2, 4, 6, 8, 10 a 12). Na přípravu těchto pufrů byl potřeba roztok 0,04M H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0,04M H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a 0,04M CH<sub>3</sub>COOH. Do tohoto roztoku byl podle tabulky 14 přidáván 0,2M NaOH tak, aby vznikl pufr o daném pH. Poté bylo do roztoků přidáno 3,5 hm. % NaCl. Roztoky se ve válečcích měnily po 1 týdnu a stanovení probíhalo celkem po dobu 4 týdnů. Na nátěrových filmech byly hodnoceny puchýře v ploše a prokorodování na ocelový podklad při každé výměně roztoků. Dále pak byl hodnocen vývoj vodíku po nalití roztoku do válečků.

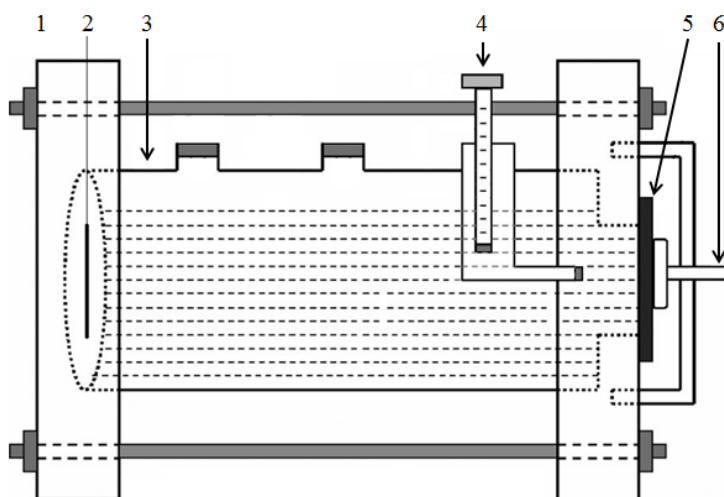
Tabulka 14 Příprava pufrů o různém pH

pH	Objem 0,04M roztoku H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a CH <sub>3</sub> COOH [ml]	Objem 0,2M NaOH [ml]
2	100	5
4		25
6		42,5
8		60
10		80
12		100

### 2.6.14 Lineární polarizace

Pro měření byla použita cela, u které je součástí referenční elektroda, protielektroda a pracovní elektroda. Referenční elektroda je tvořena nasycenou kalomelovou elektrodou (SCE), protielektroda je z platiny a pracovní elektroda je tvořena samotným vzorkem. Metoda lineární polarizace je založena na sledování rychlosti koroze a klade důraz na stanovení polarizačního odporu.

Součástí zařízení (Obrázek 21) byl válcový zásobník, který byl naplněn 3,5 hm. % roztokem NaCl, kde 1cm<sup>2</sup> pracovní elektrody byl vystaven tomuto prostředí. Poté byly vzorky pomocí techniky lineární polarizace proměřeny rychlostí 0,166mV·s<sup>-1</sup> od -10 mV/E<sub>OC</sub> do +10 mV/E<sub>OC</sub>. Po proměření vzorků byly vyhodnoceny veličiny jako je samovolný korozní potenciál (E<sub>cor</sub>), polarizační odpor (R<sub>p</sub>), proudová hustota (I<sub>cor</sub>) a rychlost koroze (V<sub>cor</sub>).



**Obrázek 21** Schematický náčrt použité cely s elektrodami

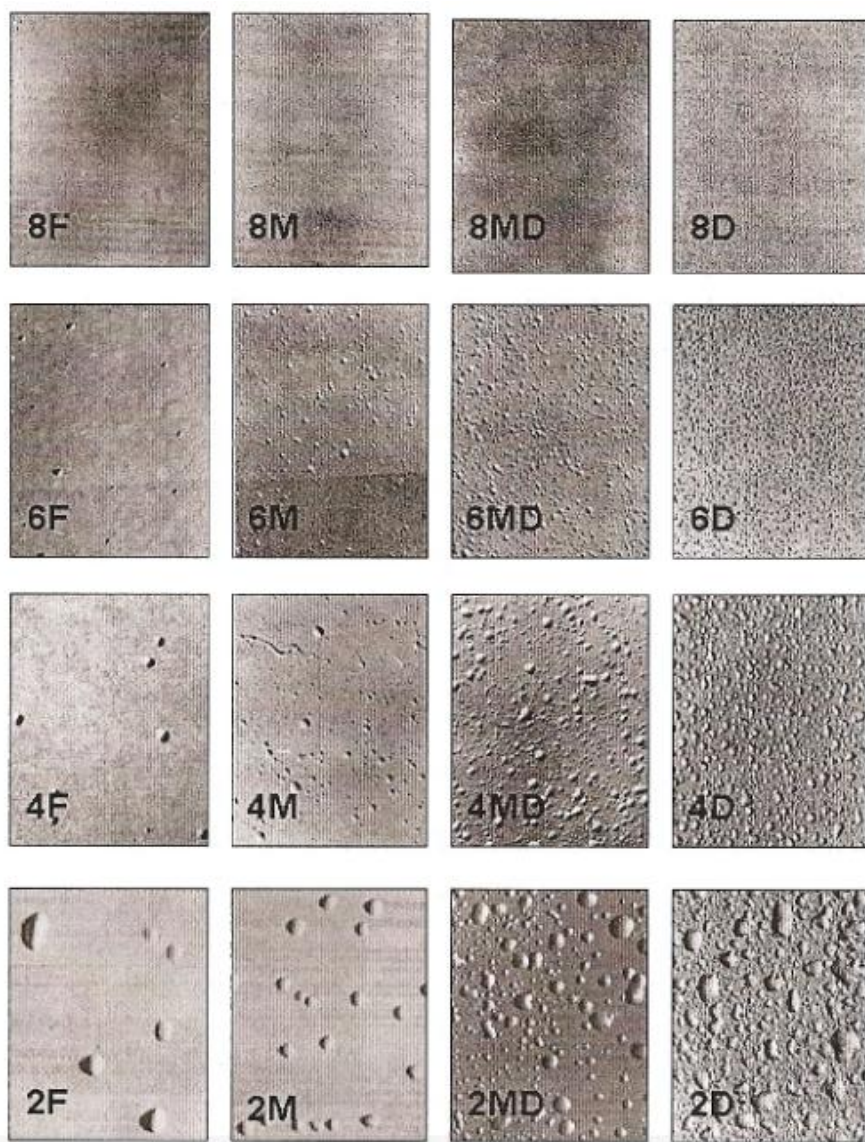
Popis obrázku: 1 – PTFE deska, 2 – platinová elektroda, 3 – válcový skleněný 250 ml zásobník s roztokem NaCl, 4 – referenční elektroda, 5 – pracovní elektroda (ocelový panel s organickým povlakem), 6 – šroub pro upevnění pracovní elektrody.

## 2.9 Metody hodnocení zrychlených korozních zkoušek

Nátěrové filmy i samotné kovové podklady byly subjektivně hodnoceny pomocí hodnotících tabulek 15 - 17 dle norem ASTM D.

### 2.8.1 Hodnocení puchýřů

Hodnocení bylo provedeno dle ASTM D 714-87. Tabulka obsahuje čtyři hodnotící čísla (2, 4, 6 a 8), kde číslo 2 označuje největší puchýře a číslo 8 nejmenší puchýře. K jednotlivým číslům byla v tabulkách přiřazena i písmena D, MD, M a F. Ta určují hustotu puchýřů v ploše nátěrového filmu. Písmeno D udává největší hustotu a písmeno F nejmenší hustotu (Obrázek 22). Nakonec byla pomocí tabulky 15 přiřazena jednotlivým panelům hodnotící čísla.



**Obrázek 22** Vzory panelů pro určení stupně puchýřovatění

**Tabulka 15** Stupeň puchýřovatění - hodnotící tabulka

Stupeň puchýřovatění			
ASTM	Hodnotící číslo	ASTM	Hodnotící číslo
8F	90	8MD	25
6F	80	6MD	20
4F	70	4MD	15
2F	60	2MD	10
8M	50	8D	5
6M	40	6D	0
4M	35	4D	0
2M	30	2D	0

## 2.8.2 Hodnocení koroze okolo zkušebního řezu

Pomocí hodnocení koroze v řezu může posoudit schopnost organického povlaku zabránit šíření koroze pod nátěrovým filmem při mechanickém poškození. Koroze byla sledována na nátěrovém filmu i na samotném kovovém podkladu.

Výsledkem hodnocení byla koroze v řezu v mm, které bylo následně přiřazeno hodnotící číslo dle tabulky 16. Zkouška byla provedena dle ASTM D 1654-92.

**Tabulka 16** Koroze v řezu - hodnotící tabulka

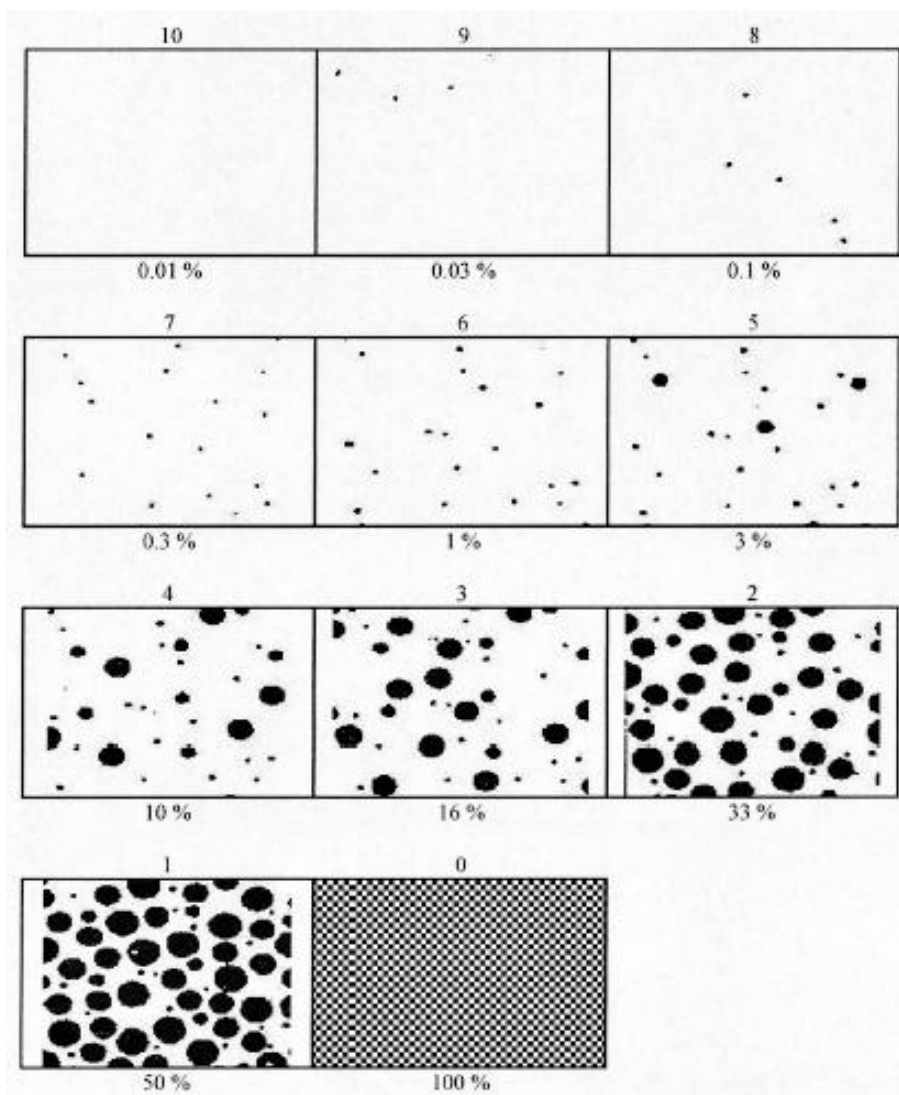
Koroze v řezu [mm]			
ASTM	Hodnotící číslo	ASTM	Hodnotící číslo
0	100	5 - 7	40
0 - 0,5	90	7 - 10	30
0,5 - 1	80	10 - 13	20
1 - 2	70	13 - 16	10
2 - 3	60	>16	5
3 - 5	50	-	-

## 2.8.3 Hodnocení prokorodování

Prokorodování bylo hodnoceno v celé ploše panelu (Obrázek 23). Byla zkoumána ochranná schopnost nátěrového filmu, která se uvádí v procentech. Následně bylo každému výsledku přiřazeno hodnotící číslo dle tabulky 17. Hodnocení bylo provedeno dle ASTM D 610-85.

**Tabulka 17** Koroze podkladu - hodnotící tabulka

Koroze podkladu [%]			
ASTM	Hodnotící číslo	ASTM	Hodnotící číslo
0,01	100	10	40
0,03	90	16	30
0,1	80	33	20
0,3	70	50	10
1	60	100	5
3	50	-	-



**Obrázek 23** Vzory panelů pro určení stupně podkorodování

#### 2.8.4 Stanovení antikorozi účinnosti a celkové antikorozi účinnosti

Antikorozi účinnost (AÚ) jednotlivých organických povlaků byla stanovena dle předchozích měření a jedná se o aritmetický průměr vypočítaný pomocí výsledků přilnavosti nátěrového filmu, tvorby puchýřů v ploše, tvorby puchýřů v řezu, koroze v řezu a podkorodování nátěrového filmu v ploše panelu. AÚ byla vypočtena dle vzorce Vzorec 7, kde *A* je přilnavost nátěrového filmu, *B* je tvorba puchýřů v ploše nátěru, *C* je tvorba puchýřů ve zkušebním řezu, *D* je koroze ve zkušebním řezu a *E* je podkorodování nátěru v celé ploše panelu.

$$AÚ = \frac{A + B + C + D + E}{5}$$

Vzorec 7

## 2.8.5 Stanovení stupně korozní agresivity prostředí

Zkouška byla provedena dle ČSN EN ISO 12944-2. Aby mohl být vybrán vhodný nátěrový systém, je potřeba určit daný stupeň prostředí, kterému bude vystaven. Jednotlivé stupně jsou uvedeny v tabulce 18 a tabulka 19 popisuje, jak mají být jednotlivé stupně určeny.

**Tabulka 18** Stupně korozní agresivity prostředí s příklady prostředí

Stupně korozní agresivity	Příklady prostředí mírných klimatických pásem	
	Venkovní	Vnitřní
<b>C 1 velmi nízká</b>	-	Vytápěné budovy s čistou atmosférou, např. kanceláře, školy, obchody, hotely
<b>C 2 nízká</b>	Atmosféry s nízkou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí	Nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci, např. sklady, sportovní haly
<b>C 3 střední</b>	Městské a průmyslové atmosféry s mírným znečištěním SO <sub>2</sub> , přímořské prostředí s nízkou salinitou	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, např. výroby potravin, prádelny, pivovary, mlékárny
<b>C 4 vysoká</b>	Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s mírnou salinitou	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží
<b>C 5 i velmi vysoká (průmyslová)</b>	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší

**Tabulka 19** Stupeň korozní agresivity - určení pro nátěrové filmy

Stupně korozní agresivity	Životnost	ISO 6270 kondenzace vody [h]	ISO 7253 neutrální solná mlha [h]
<b>C 2 nízká</b>	nízká	48	-
	střední	48	-
	vysoká	120	-
<b>C 3 střední</b>	nízká	48	120
	střední	120	240
	vysoká	240	480
<b>C 4 vysoká</b>	nízká	120	240
	střední	240	480
	vysoká	480	720
<b>C 5 i velmi vysoká (průmyslová)</b>	nízká	240	480
	střední	480	720
	vysoká	720	1440

### 3. VÝSLEDKY

#### 3.1 Fyzikálně-chemické vlastnosti

Metody stanovení fyzikálně-chemických vlastností jsou popsány v kapitole 2.4. Jedná se o stanovení spotřeby oleje, hustoty, velikosti částic a KOKP. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 20.

Tabulka 20 Fyzikálně-chemické vlastnosti

Pigment	Spotřeba oleje [g/100g]	Hustota [g·cm <sup>3</sup> ]	KOKP [%]
Mg	40,61	1,78	56,23
Zn (isometrický)	7,60	7,09	63,32
Zn (lamelární)	19,86	6,36	42,42
MoS <sub>2</sub> / PANI	73,35	3,13	28,82
WS <sub>2</sub> / PANI	55,46	3,96	29,73
MoS <sub>2</sub> / PPy	92,55	3,69	21,37
WS <sub>2</sub> / PPy	73,86	4,74	21,00
Omyacarb	46,90	2,73	42,00

#### 3.2 Zkoušky mechanické odolnosti a nepřímé korozní zkoušky

V kapitole 3.2.1 jsou v tabulkách 21 - 23 uvedeny výsledky měření relativní povrchové tvrdosti na kyvadlovém přístroji typu Persoz. V kapitole 3.2.2 jsou v tabulkách 24 - 26 výsledky stanovení změny lesku. V kapitole 3.2.3 jsou v tabulkách 27 - 29 výsledky Buchholzovy vrypové zkoušky od 2. do 90. dne. Kapitola 3.2.4 uvádí výsledky MEK testu a přilnavosti na skleněných panelech v tabulkách 30 - 32. V kapitole 3.2.5 a 3.2.6 jsou v tabulkách 33 - 40 uvedeny výsledky pH a měrné elektrické vodivosti vodných výluhů volných nátěrových filmů. V kapitole 3.2.7 jsou v tabulkách výsledky smáčivosti pomocí měření kontaktních úhlů kapaliny. V kapitole 3.2.8 je uvedena barevnost nátěrových filmů. V kapitolách 3.2.9 - 3.2.11 jsou uvedeny výsledky odtrhové zkoušky přilnavosti (Tabulka 47 - 53). Kapitola 3.2.12 obsahuje výsledky zkoušek mechanické odolnosti na ocelových panelech (Tabulka 54 Tabulka 56).



### 3.2.1 Výsledky stanovení relativní povrchové tvrdosti

Tabulka 21 Relativní povrchová tvrdost u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Relativní povrchová tvrdost [%]							
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den	35. den	42. den	90. den
Mg	1	12	26	29	30	31	32	31	36
	5	11	27	30	31	32	33	32	36
	10	11	24	28	29	32	33	33	38
	15	10	23	28	29	30	33	33	33
	30	10	22	28	29	30	31	30	32
	50	12	24	28	30	31	31	30	34
	56	15	24	27	28	29	30	29	32
Zn <sub>iso</sub>	10	9	28	33	36	37	37	36	38
	30	10	29	34	36	37	37	36	39
	50	10	32	34	36	37	38	37	38
	61	11	32	36	37	38	38	37	41
	63	13	33	37	38	39	39	38	41
Zn <sub>lam</sub>	10	10	23	28	29	30	31	30	33
	30	9	20	23	25	31	31	30	33
	39	8	15	23	24	25	26	25	29
	42	9	14	21	23	24	24	23	30

Tabulka 22 Relativní povrchová tvrdost u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Relativní povrchová tvrdost [%]							
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den	35. den	42. den	90. den
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	11	29	34	35	36	37	35	38
	3	14	32	33	34	35	36	36	39
	5	14	31	33	34	35	35	35	38
	10	13	29	34	35	35	34	33	36
	15	12	29	31	32	33	34	32	36
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	9	13	22	23	24	25	25	29
	3	8	12	21	24	25	26	24	27
	5	7	13	20	25	26	26	25	28
	10	8	15	23	24	26	26	25	28
	15	8	18	24	26	27	27	26	28

**Tabulka 23** Relativní povrchová tvrdost u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Relativní povrchová tvrdost [%]							
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den	35. den	42. den	90. den
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	14	25	28	29	30	30	29	31
	3	13	23	25	25	26	26	25	27
	5	11	18	19	21	21	23	22	25
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	15	24	27	28	29	30	29	31
	3	14	22	26	27	28	29	28	30
	5	11	20	26	27	28	28	27	28
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	21	28	30	30	32	33	32	32
	3	12	25	29	29	31	31	30	31
	5	10	24	28	29	30	30	29	30
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	14	26	27	28	29	30	29	31
	3	12	24	27	27	28	29	27	28
	5	11	21	25	26	28	28	26	27

### 3.2.2 Výsledky stanovení změny lesku nátěrových filmů

**Tabulka 24** Změna lesku nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Lesk								
		2. den			14. den			35. den		
		20°	60°	85°	20°	60°	85°	20°	60°	85°
Mg	1	0,3	1,4	2,3	0,4	1,4	2,3	0,4	1,4	2,3
	5	0,4	1,2	1,7	0,3	1,2	1,7	0,3	1,2	1,7
	10	0,3	1,0	1,5	0,3	1,0	1,5	0,3	1,0	1,5
	15	0,2	1,1	1,4	0,3	1,0	1,4	0,3	1,0	1,4
	30	0,3	0,9	0,9	0,3	0,8	0,9	0,3	0,8	0,9
	50	0,3	0,9	0,9	0,3	0,9	0,9	0,3	0,8	0,9
	56	0,4	1,1	0,9	0,4	1,2	0,9	0,4	1,1	0,9
Zn <sub>iso</sub>	10	0,3	1,0	5,7	0,3	1,0	5,6	0,3	1,0	5,6
	30	0,3	1,0	5,0	0,3	1,0	5,0	0,3	1,0	5,0
	50	0,3	1,1	5,0	0,3	1,0	4,9	0,3	1,0	4,9
	61	0,4	1,3	5,0	0,4	1,2	4,9	0,4	1,2	4,9
	63	0,4	1,2	3,3	0,4	1,2	3,1	0,4	1,3	3,2
Zn <sub>lam</sub>	10	0,6	5,5	8,1	0,6	5,3	7,8	0,5	5,3	7,8
	30	0,2	1,9	2,2	0,2	1,9	2,2	0,2	1,9	2,1
	39	0,2	1,2	1,7	0,1	1,1	1,7	0,1	1,2	1,7
	42	0,1	0,7	1,2	0,1	0,7	1,3	0,1	0,7	1,2

**Tabulka 25** Změna lesku nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Lesk								
		2. den			14. den			35. den		
		20°	60°	85°	20°	60°	85°	20°	60°	85°
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	0,9	6,9	5,4	0,8	6,3	5,4	0,8	6,1	5,3
	3	0,4	1,2	4,3	0,4	1,2	4,3	0,4	1,2	4,2
	5	0,4	1,1	3,3	0,4	1,1	3,3	0,3	1,2	3,2
	10	0,4	1,2	3,2	0,3	1,2	3,2	0,4	1,2	3,1
	15	0,4	1,1	1,9	0,3	1,2	1,9	0,4	1,1	1,9
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	0,1	1,0	1,5	0,1	1,0	1,4	0,2	0,9	1,4
	3	0,2	1,0	1,5	0,1	1,0	1,4	0,2	1,0	1,4
	5	0,2	1,8	1,9	0,2	1,6	1,8	0,2	1,6	1,7
	10	0,2	1,7	1,9	0,2	1,6	1,8	0,2	1,6	1,7
	15	0,3	2,3	2,2	0,2	2,1	2,1	0,2	2,0	2,1

**Tabulka 26** Změna lesku nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Lesk								
		2. den			14. den			35. den		
		20°	60°	85°	20°	60°	85°	20°	60°	85°
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	0,6	2,3	24,3	0,6	2,3	24,3	0,6	2,3	24,2
	3	0,5	1,9	18,1	0,5	1,9	18,1	0,5	1,9	18,1
	5	0,4	1,8	11,2	0,4	1,9	11,2	0,4	1,9	11,1
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	0,4	2,2	14,3	0,4	2,2	14,3	0,4	2,2	14,2
	3	0,4	1,8	11,0	0,4	1,9	11,0	0,4	1,9	10,9
	5	0,4	1,7	10,9	0,4	1,7	10,9	0,4	1,7	10,8
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	0,6	2,3	26,3	0,6	2,3	26,3	0,6	2,3	26,2
	3	0,5	1,9	13,6	0,6	2,1	13,6	0,6	2,1	13,5
	50	0,4	1,3	5,5	0,5	1,3	5,5	0,5	1,3	5,4
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	0,6	2,2	20,7	0,6	2,2	20,7	0,6	2,2	20,7
	3	0,6	2,1	16,4	0,5	2,1	16,4	0,5	2,1	16,2
	5	0,3	0,8	1,4	0,3	0,8	1,4	0,3	0,8	1,3

### 3.2.3 Výsledky Buchholzovy vrypové zkoušky

Tabulka 27 Buchholzova vrypová zkouška u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Tvrdość dle Bucholtze [mm]		
		2. den	42. den	90. den
Mg	1	14	13	12
	5	16	15	12
	10	15	13	10
	15	12	12	10
	30	12	12	10
	50	16	14	10
	56	20	14	10
Zn <sub>iso</sub>	10	12	12	10
	30	12	10	10
	50	12	10	10
	61	16	11	10
	63	16	10	10
Zn <sub>lam</sub>	10	20	12	10
	30	16	12	10
	39	16	12	10
	42	20	12	10

Tabulka 28 Buchholzova vrypová zkouška u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Tvrdość dle Bucholtze [mm]		
		2. den	42. den	90. den
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	16	12	10
	3	14	12	10
	5	14	12	10
	10	14	14	12
	15	14	14	12
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	16	12	10
	3	20	13	12
	5	20	14	12
	10	16	12	10
	15	20	12	10

**Tabulka 29** Buchholzova vrypová zkouška u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Tvrdość dle Bucholtze [mm]		
		2. den	42. den	90. den
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	20	16	14
	3	20	18	16
	5	20	18	16
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	18	14	12
	3	18	14	12
	5	18	16	14
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	16	12	10
	3	16	12	10
	50	16	12	10
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	20	18	16
	3	20	18	16
	5	20	18	16

### 3.2.4 Výsledky stanovení MEK testu a přilnavosti na skleněných panelech

**Tabulka 30** MEK test a přilnavost na skle u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Přilnavost [stupeň]	Stupeň hodnocení po 50s [stupeň]	Čas do úplného odstranění [sec]
Mg	1	0	5	200
	5	0	5	195
	10	0	4	188
	15	0	3	156
	30	0	3	125
	50	1	3	110
	56	1	0	100
Zn <sub>iso</sub>	10	0	4	185
	30	0	4	140
	50	0	3	113
	61	2	3	110
	63	2	3	108
Zn <sub>lam</sub>	10	0	4	245
	30	1	4	160
	39	1	4	150
	42	1	4	145

**Tabulka 31** MEK test a přilnavost na skle u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Přilnavost [stupeň]	Stupeň hodnocení po 50s [stupeň]	Čas do úplného odstranění [sec]
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	1	4	285
	3	1	3	252
	5	2	3	185
	10	2	2	95
	15	2	2	84
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	1	4	225
	3	1	4	215
	5	1	3	190
	10	1	3	170
	15	1	2	147

**Tabulka 32** MEK test a přilnavost na skle u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Přilnavost [stupeň]	Stupeň hodnocení po 50s [stupeň]	Čas do úplného odstranění [sec]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	5	0	15
	3	5	0	9
	5	5	0	7
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	5	0	15
	3	5	0	14
	5	5	0	6
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	4	0	5
	3	4	0	10
	5	4	0	30
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	4	0	5
	3	4	0	13
	5	4	0	14

### 3.2.5 Výsledky stanovení pH vodných extraktů volných nátěrových filmů

Tabulka 33 Stanovení pH vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	pH				
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den
Mg	1	9,88	7,84	7,65	8,19	8,21
	5	10,15	9,31	9,18	9,27	9,30
	10	10,35	9,51	9,47	9,49	9,50
	15	10,36	9,90	9,89	9,80	9,80
	30	10,37	10,21	10,13	10,01	10,03
	50	10,42	10,31	10,44	10,28	10,30
	56	10,43	10,38	10,55	10,51	10,52
Zn <sub>iso</sub>	10	8,53	8,52	8,77	8,61	8,65
	30	8,50	8,39	8,57	8,61	8,58
	50	8,40	8,31	8,43	8,59	8,55
	61	7,68	7,69	7,80	8,01	7,98
	63	7,59	7,57	7,66	7,96	7,95
Zn <sub>lam</sub>	10	7,70	8,68	8,62	8,74	8,72
	30	8,61	8,03	8,21	8,51	8,54
	39	7,37	8,00	8,01	8,22	8,16
	42	7,31	7,76	7,78	7,96	7,94

Tabulka 34 Stanovení pH u destilované a redestilované vody

Pigment	OKP [%]	pH				
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den
Destilovaná voda	0	7,70	7,76	7,88	8,16	8,20
Redestilovaná voda	0	7,72	7,74	7,88	8,30	8,35

Tabulka 35 Stanovení pH vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	pH				
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	9,88	8,90	8,92	9,03	9,01
	3	10,20	9,04	9,21	9,21	9,19
	5	10,10	9,41	9,24	9,34	9,30
	10	10,25	9,38	9,82	9,70	9,68
	15	10,11	9,75	9,85	9,85	9,86
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	9,21	8,94	8,95	8,90	8,95
	3	9,31	9,14	8,98	8,98	9,00
	5	9,44	9,23	9,00	8,99	9,03
	10	9,40	9,34	9,28	9,30	9,30
	15	9,42	9,49	9,58	9,49	9,51

**Tabulka 36** Stanovení pH vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	pH				
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	8,06	8,06	8,27	8,41	8,40
	3	7,84	7,56	8,04	8,21	8,18
	5	7,56	7,50	7,80	8,20	8,16
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	7,14	7,52	7,79	8,23	8,20
	3	7,06	7,48	7,64	8,16	8,15
	5	6,97	7,32	7,63	8,11	8,11
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	8,17	7,86	7,67	8,20	8,23
	3	7,76	7,45	7,60	8,18	8,15
	5	7,54	7,39	7,55	8,07	7,99
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	7,51	7,35	7,56	8,01	7,01
	3	7,41	7,19	7,43	7,91	7,90
	5	7,24	7,14	7,40	7,85	7,84

### 3.2.6 Výsledky stanovení měrné elektrické vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů

**Tabulka 37** Stanovení měrné elektrické vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Měrná elektrická vodivost [μS · cm <sup>-1</sup> ]				
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den
Mg	1	164	330	451	546	685
	5	279	630	977	1251	1720
	10	350	650	980	1278	1742
	15	352	668	990	1333	1754
	30	391	844	1222	1524	1990
	50	577	1319	1698	2080	2560
	56	590	1327	1735	2196	2660
Zn <sub>iso</sub>	10	165	334	372	397	437
	30	143	246	258	264	273
	50	142	240	253	258	261
	61	41	74	80	83	84
	63	36	60	62	63	65
Zn <sub>lam</sub>	10	188	452	585	599	714
	30	166	408	511	560	704
	39	67	102	110	167	139
	42	63	89	99	134	140



**Tabulka 38** Stanovení měrné elektrické vodivosti u destilované a redestilované vody

Pigment	OKP [%]	Měrná elektrická vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]				
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den
Destilovaná voda	0	36	36	37	38	38
Redestilovaná voda	0	4	4	4	5	5

**Tabulka 39** Stanovení měrné elektrické vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Měrná elektrická vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]				
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	175	450	665	734	791
	3	246	457	857	1081	1289
	5	253	540	956	1206	1460
	10	261	575	981	1281	1598
	15	307	646	997	1297	1661
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	149	354	510	607	823
	3	157	407	560	673	963
	5	166	441	597	779	1018
	10	234	564	794	1030	1352
	15	238	568	940	1195	1625

**Tabulka 40** Stanovení měrné elektrické vodivosti vodných extraktů volných nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Měrná elektrická vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]				
		2. den	7. den	14. den	21. den	28. den
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	58	74	76	78	78
	3	58	79	80	86	87
	5	59	89	92	97	97
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	45	59	65	68	70
	3	47	64	68	69	72
	5	50	70	72	73	79
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	30	48	52	54	58
	3	43	55	58	60	65
	5	45	61	65	67	72
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	34	46	51	52	54
	3	40	62	66	68	75
	5	44	64	70	72	79

### 3.2.7 Výsledky měření kontaktních úhlů glycerolu a vody na nátěrových filmech

**Tabulka 41** Kontaktní úhly u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Kontaktní úhel - glycerol [°]	Kontaktní úhel - voda [°]
Mg	1	96	100
	5	106	102
	10	107	102
	15	108	102
	30	108	107
	50	108	107
	56	108	109
Zn <sub>iso</sub>	61	117	110
Zn <sub>lam</sub>	39	97	95

**Tabulka 42** Kontaktní úhly u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Kontaktní úhel - glycerol [°]	Kontaktní úhel - voda [°]
Mg / Zn <sub>iso</sub>	5	116	111
	15	113	104
Mg / Zn <sub>lam</sub>	5	90	85
	15	77	72

**Tabulka 43** Kontaktní úhly u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Kontaktní úhel - glycerol [°]	Kontaktní úhel - voda [°]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	76	84
	5	76	84
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	76	84
	5	76	84
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	76	84
	5	76	84
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	76	84
	5	76	84

### 3.2.8 Výsledky stanovení barevnosti

Tabulka 44 Stanovení barevnosti nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Hodnoty barevnosti		
		L*	a*	b*
Mg	1	59,83	-0,53	1,81
	5	55,39	-0,18	1,71
	10	51,49	-0,06	1,85
	15	51,47	0,02	2,18
	30	50,54	0,27	1,97
	50	48,68	0,31	2,02
	56	46,44	0,32	1,93
Zn <sub>iso</sub>	10	46,98	-1,75	-1,51
	30	47,41	-1,89	-1,81
	50	53,64	-1,96	-1,25
	61	57,94	-2,18	-1,52
	63	58,11	-2,19	-1,51
Zn <sub>lam</sub>	10	32,17	-0,37	0,06
	30	32,25	-0,42	0,22
	39	33,30	-0,46	0,37
	42	33,38	-0,50	0,44

Tabulka 45 Stanovení barevnosti nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Hodnoty barevnosti		
		L*	a*	b*
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	47,20	-2,00	-1,81
	3	56,72	-2,20	-1,56
	5	56,75	-2,13	-1,54
	10	57,19	-2,17	-1,73
	15	57,60	-2,23	-1,46
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	33,06	-0,43	0,37
	3	33,11	-0,45	0,36
	5	33,55	-0,41	0,27
	10	33,61	-0,37	0,31
	15	33,87	-0,33	0,28

**Tabulka 46** Stanovení barevnosti nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Hodnoty barevnosti		
		L*	a*	b*
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	45,58	-2,37	-2,16
	3	36,07	-1,66	-1,23
	5	32,29	-1,8	-1,36
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	46,22	-2,42	-2,09
	3	43,65	-2,36	-1,51
	5	40,95	-2,32	-1,04
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	45,38	-2,22	-2,09
	3	44,53	-1,92	-1,97
	5	42,91	-1,53	-1,79
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	44,53	-2,19	-1,77
	3	44,09	-2,14	-1,75
	5	39,15	-1,96	-1,63

### 3.2.9 Výsledky stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky

**Tabulka 47** Odtrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Organické povlaky			
		Charakter lomu			Odtrhová pevnost [MPa]
		A/B	B	-/Y	
Mg	1	-	85	15	1,52
	5	-	85	15	1,45
	10	-	75	25	1,43
	15	-	75	25	1,41
	30	-	85	15	1,32
	50	-	95	5	1,23
	56	-	95	5	1,11
Zn <sub>iso</sub>	10	-	95	5	1,88
	30	-	85	15	1,57
	50	-	85	15	0,75
	61	-	95	5	0,64
	63	-	90	10	0,52
Zn <sub>lam</sub>	10	-	85	15	1,56
	30	-	75	25	1,31
	39	-	70	30	1,23
	42	-	80	20	1,12

A/B = lom mezi nátěrem a podkladem, B = kohezní lom ve vrstvě, -/Y = lom mezi nátěrem a lepidlem

**Tabulka 48** Odtrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Organické povlaky			
		Charakter lomu			Odtrhová pevnost [MPa]
		A/B	B	-/Y	
Mg/ Zn <sub>iso</sub>	1	-	85	15	1,31
	3	-	85	15	0,85
	5	-	90	10	0,75
	10	-	90	10	0,69
	15	-	90	10	0,65
Mg/ Zn <sub>lam</sub>	1	-	95	5	1,86
	3	-	75	25	1,56
	5	-	75	25	1,41
	10	-	75	25	1,37
	15	-	75	25	1,30

A/B = lom mezi nátěrem a podkladem, B = kohezní lom ve vrstvě, -/Y = lom mezi nátěrem a lepidlem

**Tabulka 49** Odtrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Organické povlaky			
		Charakter lomu			Odtrhová pevnost [MPa]
		A/B	B	-/Y	
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	95	-	5	2,74
	3	95	-	5	2,92
	5	10	85	5	2,93
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	10	90	-	2,59
	3	10	90	-	2,83
	5	10	90	-	2,96
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	10	85	5	2,58
	3	85	10	5	2,69
	5	80	15	5	2,91
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	5	90	5	2,64
	3	80	20	-	2,73
	5	90	5	5	3,14

A/B = lom mezi nátěrem a podkladem, B = kohezní lom ve vrstvě, -/Y = lom mezi nátěrem a lepidlem

### 3.2.10 Výsledky stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky po expozici v kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub>

**Tabulka 50** Odtrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub> po expozici v kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub>

Pigment	OKP [%]	Po expozici v SO <sub>2</sub>			
		Charakter lomu			Odtrhová pevnost [MPa]
		A/B	B	-/Y	
Mg	1	-	90	10	0,96
	5	-	95	5	0,88
	10	-	90	10	0,86
	15	-	90	10	0,81
	30	-	90	10	0,78
	50	80	-	20	0,73
	56	70	-	30	0,63
Zn <sub>iso</sub>	10	-	95	5	0,82
	30	-	95	5	0,79
	50	85	-	15	0,55
	61	-	90	10	0,54
	63	-	85	15	0,49
Zn <sub>lam</sub>	10	-	90	10	1,25
	30	-	85	15	1,23
	39	-	90	10	1,17
	42	-	90	10	1,11

**Tabulka 51** Odtrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> po expozici v kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub>

Pigment	OKP [%]	Po expozici v SO <sub>2</sub>			
		Charakter lomu			Odtrhová pevnost [MPa]
		A/B	B	-/Y	
Mg/ Zn <sub>iso</sub>	1	-	90	10	0,61
	3	-	75	25	0,59
	5	-	85	15	0,55
	10	-	90	10	0,54
	15	-	90	10	0,54
Mg/ Zn <sub>lam</sub>	1	-	100	-	1,50
	3	-	100	-	1,22
	5	-	100	-	1,21
	10	-	95	5	1,18
	15	-	95	5	1,14

A/B = lom mezi nátěrem a podkladem, B = kohezní lom ve vrstvě, -/Y = lom mezi nátěrem a lepidlem

### 3.2.11 Výsledky stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky po expozici v atmosféře s obsahem $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ a NaCl

**Tabulka 52** Odtrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg,  $\text{Zn}_{\text{iso}}$  a  $\text{Zn}_{\text{lam}}$  po expozici v atmosféře s obsahem  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a NaCl

Pigment	OKP [%]	Po expozici v $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ a NaCl			
		Charakter lomu			Odtrhová pevnost [MPa]
		A/B	B	-/Y	
Mg	1	-	95	5	0,64
	5	5	85	10	0,63
	10	5	95	-	0,60
	15	10	85	5	0,52
	30	5	75	20	0,28
	50	-	100	-	0,28
	56	-	90	10	0,21
$\text{Zn}_{\text{iso}}$	10	-	90	10	0,63
	30	-	95	5	0,61
	50	5	85	10	0,56
	61	75	10	15	0,41
	63	85	-	15	0,28
$\text{Zn}_{\text{lam}}$	10	-	90	10	0,75
	30	5	95	5	0,73
	39	-	90	10	0,62
	42	-	90	10	0,49

**Tabulka 53** Odtrhová zkouška přilnavosti organických povlaků s obsahem Mg/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$  a Mg/ $\text{Zn}_{\text{lam}}$  po expozici v atmosféře s obsahem  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a NaCl

Pigment	OKP [%]	Po expozici v $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ a NaCl			
		Charakter lomu			Odtrhová pevnost [MPa]
		A/B	B	-/Y	
Mg/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$	1	45	55	-	0,61
	3	10	85	5	0,60
	5	5	90	5	0,55
	10	5	85	10	0,54
	15	-	85	15	0,49
Mg/ $\text{Zn}_{\text{lam}}$	1	5	90	5	0,90
	3	-	90	10	0,77
	5	-	85	15	0,76
	10	-	85	15	0,75
	15	-	85	15	0,66

A/B = lom mezi nátěrem a podkladem, B = kohezní lom ve vrstvě, -/Y = lom mezi nátěrem a lepidlem

### 3.2.12 Výsledky stanovení fyzikálně-mechanických zkoušek

**Tabulka 54** Fyzikálně-mechanické zkoušky organických povlaků s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub> (DFT = 60 ± 20 μm)

Pigment	OKP [%]	Hloubení [mm]	Úder [hodnotící písmeno]			Ohyb [mm]	Přilnavost [stupeň]
			20 cm	60 cm	100 cm		
Mg	1	>10	-	-	-	2	0
	5	>10	-	-	-	2	0
	10	>10	-	-	-	2	0
	15	>10	-	-	-	2	0
	30	>10	-	-	-	2	0
	50	>10	-	-	-	2	1
	56	>10	-	-	-	2	1
Zn <sub>iso</sub>	10	>10	F	M	M	7	0
	30	9	F	M	M	7	0
	50	4,46	MD	D	D	7	1
	61	4,12	D	D	D	7	1
	63	3,97	D	D	D	7	1
Zn <sub>lam</sub>	10	>10	-	-	F	2	0
	30	>10	-	-	F	2	0
	39	>10	-	-	M	2	1
	42	>10	-	-	M	2	1

F = málo popraskaný, M = středně popraskaný, MD = středně silně popraskaný, D = silně popraskaný

**Tabulka 55** Fyzikálně-mechanické zkoušky organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> (DFT = 60 ± 20 μm)

Pigment	OKP [%]	Hloubení [mm]	Úder [hodnotící písmeno]			Ohyb [mm]	Přilnavost [stupeň]
			20 cm	60 cm	100 cm		
Mg/ Zn <sub>iso</sub>	1	4,72	M	MD	D	5	0
	3	4,75	M	MD	D	5	1
	5	4,92	MD	D	D	5	1
	10	8,11	MD	D	D	5	2
	15	8,33	MD	D	D	5	2
Mg/ Zn <sub>lam</sub>	1	8,5	-	F	M	2	0
	3	8,9	-	F	M	2	0
	5	>10	-	F	M	2	1
	10	>10	-	F	M	2	1
	15	>10	-	F	M	2	1

F = málo popraskaný, M = středně popraskaný, MD = středně silně popraskaný, D = silně popraskaný



**Tabulka 56** Fyzikálně-mechanické zkoušky organických povlaků s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (DFT = 60 ± 20 μm)

Pigment	OKP [%]	Hloubení [mm]	Úder [hodnotící písmeno]			Ohyb [mm]	Přilnavost [stupeň]
			20 cm	60 cm	100 cm		
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	>10	F	F	M	2	0
	3	>10	F	F	M	2	0
	5	>10	F	MD	MD	2	0
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	>10	-	F	F	2	0
	3	>10	-	F	F	2	0
	5	>10	-	MD	D	2	0
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	>10	F	M	MD	2	0
	3	>10	F	M	MD	2	0
	5	>10	F	MD	MD	2	0
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	>10	F	M	M	2	0
	3	>10	F	M	MD	2	0
	5	>10	F	M	MD	2	0

F = málo popraskaný, M = středně popraskaný, MD = středně silně popraskaný, D = silně popraskaný

### 3.3 Zrychlené korozní zkoušky

V kapitole 3.3.1 jsou v tabulkách 57 - 59 uvedeny výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy po 720 hodinách a v tabulkách 60 - 62 po 960 hod u vrchních nátěrů. V kapitole 3.3.2 jsou v tabulkách 63 - 65 uvedeny výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem SO<sub>2</sub> po 720 hodinách. V kapitole 3.3.3 v tabulkách 66 - 67 jsou uvedeny výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem síranu amonného po 2160 h expozice. V kapitole 3.3.4 jsou v tabulkách 68 - 73 výsledky zrychlené korozní zkoušky se střídáním teplot na dvouvrstvých organických povlacích i na povlacích s vrchním nátěrem. V kapitole 3.3.5 jsou v tabulkách 74 - 76 výsledky korozních zkoušek na hliníkových panelech. V tabulkách 77 - 80 jsou uvedeny v kapitole 3.3.6 korozní úbytky ve vodných výluzích volných nátěrových filmů. V kapitole 3.3.7 jsou výsledky zrychlené ponorové zkoušky dle Machu a Schiffmana v tabulkách 81 - 83. Kapitola 3.3.8 (Tabulka 84 - 89) obsahuje výsledky stanovení korozních projevů nátěrových filmů v závislosti na pH a kapitola 3.3.9 výsledky lineární polarizace (Tabulka 90 - 92).

### 3.3.1 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy

- **dvouvrstvé organické povlaky**

**Tabulka 57** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 720 hodinách (DFT = 100 ± 10 µm) organických povlaků s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatení [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]	Koroze v řezu [mm]	Antikorozní účinnost
Mg	1	–	–	2F	–	0,4	75,0
	5	–	–	2M	–	0,5	70,0
	10	–	–	2M	–	0,5	70,0
	15	–	–	2M	–	0,5	70,0
	30	–	8M	2M	–	0,6	60,0
	50	–	6MD	2MD	–	0,7	52,0
	56	3	4F	2MD	3	0,7	43,0
Zn <sub>iso</sub>	10	50	6D	2MD	50	0,2	20
	30	33	6D	2MD	50	0,2	21,7
	50	33	6D	4MD	50	0,2	22,5
	61	3	6MD	6MD	10	0,1	32,5
	63	–	4M	6MD	3	0,1	49,2
Zn <sub>lam</sub>	10	10	4D	4D	33	0,1	25,0
	30	10	4D	4D	16	0,1	26,7
	39	1	4D	4F	3	0,1	45,0
	42	–	6D	4F	1	0,1	53,3

**Tabulka 58** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 720 hodinách (DFT = 100 ± 10 µm) organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatení [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]	Koroze v řezu [mm]	Antikorozní účinnost
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	-	8D	6MD	1	0,1	45,0
	3	1	8D	6MD	3	0,1	37,5
	5	3	8D	6MD	10	0,5	34,17
	10	3	8D	6MD	10	0,6	32,5
	15	10	8D	2MD	16	1,5	25,8
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	-	6D	4F	3	0,1	51,7
	3	1	6D	4M	10	0,2	37,5
	5	3	6D	4MD	10	0,4	32,5
	10	3	4D	4MD	16	0,6	29,7
	15	10	4D	4D	16	0,6	25,5

**Tabulka 59** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 720 hodinách (DFT =  $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem  $\text{MoS}_2$  - PANI/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$ ,  $\text{WS}_2$  - PANI/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$ ,  $\text{MoS}_2$  - PPy/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$  a  $\text{WS}_2$  - PPy/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]	Koroze v řezu [mm]	Antikorozní účinnost
$\text{MoS}_2$ - PANI/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$	1	0,1	-	4M	0,1	0,5	80,8
	3	0,1	6M	4F	3	0,5	71,7
	5	0,3	6M	4F	3	0,6	68,3
$\text{WS}_2$ - PANI/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$	1	-	-	4M	0,1	0,5	84,1
	3	-	6F	6M	0,1	0,7	80,0
	5	-	6F	6M	3	0,7	75,0
$\text{MoS}_2$ - PPy/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$	1	-	8F	4F	0,1	0,5	88,3
	3	-	6F	6F	0,1	0,6	86,7
	5	-	6F	6F	0,3	0,7	85,0
$\text{WS}_2$ - PPy/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$	1	0,1	-	4M	0,3	0,6	77,5
	3	0,1	8M	4M	0,3	0,6	69,1
	5	0,1	6M	6M	1	0,8	66,7

- dvouvrstvé organické povlaky s vrchním nátěrem**

**Tabulka 60** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 960 hodinách (DFT =  $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ) organických povlaků s obsahem Mg,  $\text{Zn}_{\text{iso}}$  a  $\text{Zn}_{\text{lam}}$  + vrchní nátěr

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
Mg	1	-	-	6F
	5	-	-	4MD
	10	-	-	4MD
	15	-	-	4MD
	30	-	-	4MD
	50	-	-	4MD
	56	-	-	4MD
$\text{Zn}_{\text{iso}}$	10	-	8F	4M
	30	-	8F	6MD
	50	-	8F	6M
	61	-	-	6M
	63	-	-	6M
$\text{Zn}_{\text{lam}}$	10	-	6M	6M
	30	-	8M	6M
	39	-	8F	6F
	42	-	-	6F

**Tabulka 61** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 960 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> + vrchní nátěr

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	8F
	3	-	8F	8MD
	5	-	8F	8MD
	10	-	8F	6MD
	15	-	8F	6MD
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	-	-	8M
	3	-	8F	8M
	5	-	6F	8MD
	10	-	6F	6MD
	15	-	6M	6MD

**Tabulka 62** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře chloridu sodného po 960 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> + vrchní nátěr

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	8F	6F
	3	-	8M	6F
	5	-	8M	6M
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	8F	6F
	3	-	8F	6F
	5	-	8M	6M
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	8F	8F
	3	-	6F	8F
	5	-	6M	6M
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	8F
	3	-	-	6F
	5	-	-	6M

### 3.3.2 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub>

**Tabulka 63** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub> po 720 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatení [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]	Koroze v řezu [mm]	Antikorozní účinnost
Mg	1	–	–	6M	–	3	83,3
	5	–	–	6M	–	3	83,3
	10	–	–	6MD	–	3	80,0
	15	–	–	6MD	–	3	80,0
	30	–	–	6D	–	3	76,7
	50	1	8M	6D	10	2	53,3
	56	3	6M	6D	33	2	46,7
Zn <sub>iso</sub>	10	0,1	–	8M	–	2	83,3
	30	0,1	–	8M	–	–	88,3
	50	0,1	–	8M	–	–	88,3
	61	0,1	–	8F	–	–	95,0
	63	0,1	–	8F	–	–	95,0
Zn <sub>lam</sub>	10	0,1	–	8M	–	–	88,3
	30	–	–	8F	–	–	98,3
	39	–	–	8F	–	–	98,3
	42	–	–	8F	–	–	98,3

**Tabulka 64** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub> po 720 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatení [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]	Koroze v řezu [mm]	Antikorozní účinnost
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	–	–	8F	–	–	98,3
	3	–	–	8F	–	–	98,3
	5	–	–	8M	–	–	91,7
	10	–	–	8M	–	–	91,7
	15	–	–	8M	–	–	91,7
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	–	–	8F	–	–	98,3
	3	–	–	8F	–	–	98,3
	5	–	–	8F	–	–	98,3
	10	–	–	8M	–	–	91,7
	15	–	–	8M	–	–	91,7

**Tabulka 65** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub> po 720 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatení [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	8F
	3	-	-	8M
	5	-	-	8M
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	8F
	3	-	-	8F
	5	-	-	8F
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	8M
	3	-	-	8M
	5	-	-	8M
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	8M
	3	-	-	8M
	5	-	-	8M

### 3.3.3 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem síranu amonného a chloridu sodného

**Tabulka 66** Výsledky zrychlené korozní zkoušky organických povlaků s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub> v atmosféře síranu amonného a chloridu sodného po 2160 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatení [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]	Koroze v řezu [mm]	Antikorozní účinnost
Mg	1	0,03	-	4M	1	0,6	75,8
	5	0,3	6M	4M	16	0,6	57,5
	10	0,3	6M	4MD	3	0,6	57,5
	15	1	6M	4MD	16	0,7	52,5
	30	50	4D	2D	50	>16	5,0
	50	100	2D	2D	100	>16	1,67
	56	100	2D	2D	100	>16	1,67
Zn <sub>iso</sub>	10	0,03	-	6D	0,03	0,7	75,0
	30	0,03	-	6D	0,03	0,7	75,0
	50	0,1	-	4MD	0,1	0,6	74,2
	61	0,3	6MD	2M	33	0,4	51,7
	63	1	6MD	4M	33	0,4	50,8
Zn <sub>lam</sub>	10	-	-	4D	0,03	1,4	75,0
	30	-	-	4MD	0,03	0,5	79,2
	39	-	-	4MD	0,03	0,5	79,2
	42	-	-	4MD	3	0,4	74,2

**Tabulka 67** Výsledky zrychlené korozní zkoušky organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> v v atmosféře síranu amonného a chloridu sodného po 2160 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]	Koroze v řezu [mm]	Antikorozní účinnost
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	0,03	8F	8D	16	1,2	62,5
	3	0,03	8F	8D	10	0,5	64,2
	5	0,03	8F	8D	10	0,4	64,2
	10	0,03	8F	8D	3	0,4	67,5
	15	0,03	8F	6D	3	0,3	67,5
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	-	-	6D	3	0,5	70
	3	-	-	6D	1	0,5	71,7
	5	-	-	6D	1	0,4	73,3
	10	-	-	6D	0,3	0,4	75,0
	15	-	-	4D	0,3	0,3	75,0

### 3.3.4 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy v kombinaci se střídáním teplot

- **dvouvrstvé organické povlaky**

**Tabulka 68** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub> (DFT = 90 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
Mg	1	-	-	4M
	5	-	-	4M
	10	-	-	4M
	15	-	-	4M
	30	-	8F	4MD
	50	3	6F	4MD
	56	33	4MD	4MD
Zn <sub>iso</sub>	10	-	6M	8M
	30	-	6M	8M
	50	-	8M	8M
	61	-	-	8F
	63	-	-	8F
Zn <sub>lam</sub>	10	-	4M	6F
	30	-	4M	8F
	39	-	-	8F
	42	-	-	8F

**Tabulka 69** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> (DFT = 90 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	3	6F	-
	3	3	6M	-
	5	3	6MD	8F
	10	3	6MD	8F
	15	3	6MD	8F
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	-	8F	8F
	3	-	8F	8F
	5	-	8F	8F
	10	-	8F	8F
	15	-	8F	8F

**Tabulka 70** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (DFT = 90 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	6MD
	3	-	-	6M
	5	-	-	6M
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	6MD
	3	-	-	6MD
	5	-	-	6M
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	6MD
	3	-	-	6MD
	5	-	-	6M
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	6MD
	3	-	-	6M
	5	-	-	6M



- **dvouvrstvé organické povlaky s vrchním nátěrem**

**Tabulka 71** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub> + vrchní nátěr

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
Mg	1	-	-	6F
	5	-	-	6MD
	10	-	-	6MD
	15	-	-	6MD
	30	-	-	6MD
	50	-	-	4MD
	56	-	-	4MD
Zn <sub>iso</sub>	10	-	-	4MD
	30	-	-	4MD
	50	-	-	4M
	61	-	-	6M
	63	-	-	6MD
Zn <sub>lam</sub>	10	-	-	4M
	30	-	-	4M
	39	-	-	6M
	42	-	-	6M

**Tabulka 72** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> + vrchní nátěr

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	6M
	3	-	-	6M
	5	-	-	6M
	10	-	-	6M
	15	-	-	6M
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	-	-	6M
	3	-	-	6M
	5	-	-	6M
	10	-	-	6M
	15	-	-	6M

**Tabulka 73** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot po 960 hodinách (DFT = 100 ± 10 μm) organických povlaků s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> + vrchní nátěr

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatení [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	6M
	3	-	-	6M
	5	-	-	6MD
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	6F
	3	-	-	6F
	5	-	-	6M
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	6F
	3	-	-	6F
	5	-	-	6M
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	6M
	3	-	-	6M
	5	-	-	6MD

### 3.3.5 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy na hliníkových panelech

**Tabulka 74** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl na hliníkových panelech po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub> (DFT = 60 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatení [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]
Mg	1	-	-	-	-
	5	-	-	-	-
	10	-	-	-	-
	15	-	-	-	-
	30	-	-	-	-
	50	-	-	-	-
	56	-	-	-	-
Zn <sub>iso</sub>	10	-	-	-	-
	30	-	-	-	-
	50	-	8MD	8F	16
	61	-	6F	6F	33
	63	-	6M	6F	50
Zn <sub>lam</sub>	10	-	-	-	-
	30	-	8M	-	50
	39	33	4D	4MD	100
	42	33	4D	4MD	100

**Tabulka 75** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl na hliníkových panelech po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> (DFT = 60 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	-	-	8F	33
	3	-	-	8F	33
	5	-	-	-	16
	10	-	-	-	16
	15	-	-	-	-
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	50	4D	4MD	100
	3	33	6D	6MD	50
	5	3	8MD	8M	50
	10	1	8MD	8M	33
	15	1	8MD	8M	-

**Tabulka 76** Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl na hliníkových panelech po 960 hodinách u organických povlaků s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (DFT = 60 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	Koroze v ploše [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Puchýře v řezu [ASTM]	Koroze podkladu [%]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	4D	6D	100
	3	-	4D	6D	100
	5	-	6M	6D	100
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-	4M	6F	16
	3	-	8F	6F	33
	5	-	8F	8F	3
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	4M	6M	100
	3	-	4M	6M	50
	5	-	6F	8F	3
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-	4M	6M	33
	3	-	6M	6M	33
	5	-	6F	6M	3

### 3.3.6 Výsledky stanovení hmotnostních korozních úbytků nátěrových filmů ve vodných výluzích volných nátěrových filmů

**Tabulka 77** Hmotnostní korozní úbytky ve vodných výluzích nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	pH	Měrná elektrická vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]	$\Delta m$ [g]	Korozní úbytek na jednotku plochy [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ]	Korozní úbytek [%]
Mg	1	7,67	1728	0,0164	8,34	107,5
	5	8,60	1746	0,0130	6,66	85,8
	10	8,66	1756	0,0120	6,15	79,3
	15	8,96	1793	0,0107	5,44	70,1
	30	9,50	2010	0,0094	4,80	61,9
	50	9,75	2700	0,0012	0,61	7,9
	56	9,76	2180	0,0010	0,51	6,6
Zn <sub>iso</sub>	61	8,04	101	0,0199	10,17	131,1
Zn <sub>lam</sub>	39	7,54	156	0,0223	11,37	146,5

**Tabulka 78** Hmotnostní korozní úbytky v redestilované a destilované vodě

Pigment	OKP [%]	pH	Měrná elektrická vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]	$\Delta m$ [g]	Korozní úbytek na jednotku plochy [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ]	Korozní úbytek [%]
Redestilovaná voda	0	5,1	12,8	0,0152	7,76	100
Destilovaná voda	0	5,3	14,2	0,0188	9,56	123,2

**Tabulka 79** Hmotnostní korozní úbytky ve vodných výluzích nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	pH	Měrná elektrická vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]	$\Delta m$ [g]	Korozní úbytek na jednotku plochy [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ]	Korozní úbytek [%]
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	7,99	675	0,0179	9,17	118,2
	5	8,49	1475	0,0128	6,52	84,0
	15	9,52	1680	0,0084	4,30	55,4
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	8,51	822	0,0172	8,76	112,9
	5	8,48	993	0,0132	6,73	86,7
	15	9,19	1611	0,0079	4,02	51,8

**Tabulka 80** Hmotnostní korozní úbytky ve vodných výluzích nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	pH	Měrná elektrická vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]	$\Delta m$ [g]	Korozní úbytek na jednotku plochy [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ]	Korozní úbytek [%]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	8,09	84	0,0202	10,24	132,0
	5	7,77	85	0,0135	6,89	88,8
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	7,42	81	0,0166	8,40	108,3
	5	7,38	83	0,0128	6,50	83,8
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	7,17	56	0,0182	9,22	118,8
	5	6,97	77	0,0139	7,08	91,2
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	6,81	56	0,0182	9,28	119,6
	5	6,61	87	0,0144	7,33	94,5

### 3.3.7 Výsledky zrychlené ponorové zkouška dle Machu a Schiffmana

**Tabulka 81** Zkouška dle Machu a Schiffmana u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Tloušťka		Po 1. cyklu		Po 2. cyklu		Po 3. cyklu
		před	po	Stupeň puchýřovitění [ASTM]	Koroze v řezu [%]	Stupeň puchýřovitění [ASTM]	Koroze v řezu [%]	Ztráta přilnavosti [%]
Mg	1	60	50	-	-	-	12	-
	5	62	51	-	10	-	22	-
	10	71	59	-	10	-	36	-
	15	59	50	-	59	-	81	-
	30	61	52	-	81	-	95	25
	50	69	55	-	83	-	97	40
	56	66	53	-	85	-	98	50
Zn <sub>iso</sub>	10	60	55	-	8	-	29	25
	30	63	59	-	7	-	24	30
	50	64	69	-	5	8F	11	30
	61	55	60	-	1	8M	7	30
	63	54	61	6MD	1	6MD	4	100
Zn <sub>lam</sub>	10	55	50	-	99	-	100	10
	30	54	59	-	57	-	95	10
	39	50	60	-	34	8MD	70	30
	42	57	68	-	22	6MD	66	50

**Tabulka 82** Zkouška dle Machu a Schiffmana u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	Tloušťka		Po 1. cyklu		Po 2. cyklu		Po 3. cyklu
		před	po	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Koroze v řezu [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Koroze v řezu [%]	Ztráta přilnavosti [%]
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	50	64	-	-	8MD	-	50
	3	50	61	-	-	8MD	-	100
	5	53	62	-	10	8MD	13	100
	10	59	66	-	-	8MD	1,8	75
	15	54	67	-	-	8MD	2	50
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	57	65	-	2	6MD	32	30
	3	54	68	-	1	6MD	22	5
	5	52	65	-	1	6MD	18	-
	10	55	68	-	50	6MD	52	-
	15	50	63	-	1	6MD	6	20

**Tabulka 83** Zkouška dle Machu a Schiffmana u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	Tloušťka		Po 1. cyklu		Po 2. cyklu		Po 3. cyklu
		před	po	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Koroze v řezu [%]	Stupeň puchýřovatění [ASTM]	Koroze v řezu [%]	Ztráta přilnavosti [%]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	54	60	-	84	8M	98	25
	3	56	62	-	82	-	84	10
	5	50	55	6M	94	6MD	99	5
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	51	56	-	48	-	90	100
	3	51	55	-	68	-	94	50
	5	54	58	-	36	-	95	-
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	52	56	-	59	-	90	5
	3	51	54	-	95	-	98	-
	5	59	63	-	96	-	98	50
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	56	60	-	55	-	80	50
	3	53	58	-	18	-	90	-
	5	54	59	-	4	-	90	25

### 3.3.8 Výsledky stanovení korozních projevů v závislosti na pH kapaliny

**Tabulka 84** Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	pH											
		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
		Stupeň puchýrovatění [ASTM]						Koroze v ploše [%]					
Mg	1	2D	6M	8MD	8F	8F	8F	100	16	3	-	-	-
	5	2D	6M	8MD	8F	8F	8F	100	33	16	-	-	-
	10	2D	6MD	6MD	8F	8F	8F	100	33	16	-	-	-
	15	2D	6MD	6MD	8M	8F	8F	100	16	10	3	0,1	-
	30	2D	6MD	6MD	8M	8F	8F	100	33	16	3	0,3	0,3
	50	2D	4MD	4M	6M	6M	8F	100	10	10	10	3	1
	56	2D	4MD	4M	6M	6M	6M	100	16	16	16	10	3
Zn <sub>iso</sub>	10	2D	8M	8F	8F	8F	8M	100	-	-	-	-	1
	30	2D	8M	8F	8F	8F	8M	100	-	-	-	-	1
	50	2D	8M	8F	8F	8F	8M	100	-	-	-	-	3
	61	2D	8M	8M	8F	8F	8M	100	-	-	-	-	3
	63	2D	8M	8M	8F	8F	8M	100	3	-	-	-	3
Zn <sub>lam</sub>	10	2D	8F	-	-	-	8MD	100	-	-	-	-	-
	30	2D	8F	-	-	-	8M	100	-	-	-	-	-
	39	2D	8F	8F	-	-	8M	100	-	-	-	-	3
	42	2D	8F	8F	-	-	8M	100	-	-	-	-	3

**Tabulka 85** Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	pH					
		2	4	6	8	10	12
		Koroze podkladu [%]					
Mg	1	100	50	33	1	1	3
	5	100	100	33	3	1	3
	10	100	33	16	10	3	3
	15	100	50	33	3	1	3
	30	100	50	16	10	3	10
	50	100	33	16	16	16	16
	56	100	50	16	33	33	16
Zn <sub>iso</sub>	10	100	50	33	3	0,1	3
	30	100	50	16	16	0,1	33
	50	100	3	16	50	10	33
	61	100	3	16	10	0,1	33
	63	100	33	16	3	3	33
Zn <sub>lam</sub>	10	100	50	33	16	10	50
	30	100	0,1	0,1	16	33	50
	39	100	16	10	10	3	50
	42	100	0,1	0,1	0,1	3	16

**Tabulka 86** Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	pH											
		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
		Stupeň puchýřovatění [ASTM]						Koroze v ploše [%]					
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	2D	6M	8F	8D	8F	8M	100	1	1	1	1	3
	3	2D	6M	8F	8D	8F	8M	100	1	1	1	1	1
	5	2D	6M	8M	8D	8F	8M	100	3	1	1	1	1
	10	2D	6M	8M	8D	8F	8M	100	-	-	-	-	-
	15	2D	6M	8M	8MD	8F	8M	100	-	-	-	-	-
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	6D	8F	-	-	-	6M	100	-	-	-	-	-
	3	2D	8F	8F	-	-	6M	100	-	-	-	-	-
	5	2D	8F	6F	-	-	6M	100	-	-	-	-	-
	10	2D	8M	6F	-	-	6M	100	-	-	-	-	-
	15	2D	8F	8F	-	-	8M	100	-	-	-	-	-

**Tabulka 87** Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	pH					
		2	4	6	8	10	12
		Koroze podkladu [%]					
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	100	16	33	33	16	16
	3	100	50	33	33	33	50
	5	100	50	33	33	33	33
	10	100	33	16	16	33	33
	15	100	33	16	33	33	50
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	100	0,1	0,1	0,1	0,3	16
	3	100	0,1	0,3	1	3	16
	5	100	0,1	0,1	16	16	33
	10	100	10	1	16	33	50
	15	100	16	16	33	33	50



**Tabulka 88** Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	pH											
		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
		Stupeň puchýřovnění [ASTM]						Koroze v ploše [%]					
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	2D	8F	-	8F	-	8F	100	-	-	-	-	-
	3	2D	8F	8F	8F	-	8F	100	-	-	-	-	-
	5	2D	8M	8M	8F	8F	8F	100	-	-	-	-	0,1
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	2D	8F	8F	8F	8F	8F	100	-	-	-	-	-
	3	2D	8F	8F	8F	8F	8F	100	-	-	-	-	-
	5	2D	8F	8F	8F	8F	8F	100	-	-	-	-	0,1
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	2D	8F	-	-	-	8F	100	-	-	-	-	-
	3	2D	8F	8F	8F	8F	8F	100	-	-	-	-	-
	5	2D	8F	8F	8F	8F	8F	100	-	-	-	-	0,1
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	2D	8F	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
	3	2D	8F	-	-	-	8F	100	-	-	-	-	-
	5	2D	8M	8F	8F	8F	8F	100	-	-	-	-	0,1

**Tabulka 89** Vliv pH korozního prostředí na nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> po dobu 720 h (DFT = 50 ± 10 μm)

Pigment	OKP [%]	pH					
		2	4	6	8	10	12
		Koroze podkladu [%]					
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	100	3	1	0,1	0,1	3
	3	100	10	1	0,1	0,1	1
	5	100	16	1	0,1	0,1	1
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	100	1	1	0,1	0,1	3
	3	50	3	3	0,1	0,1	3
	5	100	10	3	0,1	0,1	3
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	100	3	1	0,1	0,1	3
	3	100	3	1	0,1	0,1	1
	5	100	3	1	0,1	0,1	1
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	100	10	3	0,1	0,1	0,1
	3	100	10	0,1	0,1	0,1	1
	5	100	10	0,1	0,1	0,1	0,1

### 3.3.9 Výsledky metody lineární polarizace

**Tabulka 90** Výsledky metody lineární polarizace u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	E <sub>corr</sub> [mV]	I <sub>corr</sub> [μA]	β <sub>a</sub> [mV]	β <sub>c</sub> [mV]	R <sub>p</sub> [Ω]	v <sub>corr</sub> [mm/rok]
Mg	1	-531	6,0 · 10 <sup>-6</sup>	20,3	31,0	56	9,0 · 10 <sup>-8</sup>
	5	-54	1,6 · 10 <sup>-5</sup>	19,9	13,0	141	2,4 · 10 <sup>-7</sup>
	10	157	2,5 · 10 <sup>-5</sup>	11,6	10,8	12,2	3,7 · 10 <sup>-7</sup>
	15	-458	1,2 · 10 <sup>-4</sup>	14,3	20,6	128	1,8 · 10 <sup>-6</sup>
	30	-306	3,1 · 10 <sup>-4</sup>	39,0	25,7	1203	4,7 · 10 <sup>-6</sup>
	50	-589	6,0 · 10 <sup>-3</sup>	41,9	37,9	262	8,9 · 10 <sup>-5</sup>
	56	-384	3,4 · 10 <sup>-2</sup>	16,5	19,9	29	5,0 · 10 <sup>-4</sup>
Zn <sub>iso</sub>	61	-816	6,5 · 10 <sup>-1</sup>	43,5	43,4	626	9,6 · 10 <sup>-3</sup>
Zn <sub>lam</sub>	39	-979	1,8 · 10 <sup>-1</sup>	41,5	43,0	202	2,6 · 10 <sup>-3</sup>

**Tabulka 91** Výsledky metody lineární polarizace u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>

Pigment	OKP [%]	E <sub>corr</sub> [mV]	I <sub>corr</sub> [μA]	β <sub>a</sub> [mV]	β <sub>c</sub> [mV]	R <sub>p</sub> [Ω]	v <sub>corr</sub> [mm/rok]
Mg / Zn <sub>iso</sub>	1	-492	1,5 · 10 <sup>-2</sup>	46,5	48,5	45	2,2 · 10 <sup>-1</sup>
	5	-859	4,3 · 10 <sup>-2</sup>	24,4	20,2	115	6,4 · 10 <sup>-1</sup>
Mg / Zn <sub>lam</sub>	1	-842	8,9 · 10 <sup>-2</sup>	27,5	37,3	131	1,3 · 10 <sup>-3</sup>
	5	-970	2,3 · 10 <sup>-1</sup>	14,5	19,4	254	3,4 · 10 <sup>-3</sup>

**Tabulka 92** Výsledky metody lineární polarizace u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Pigment	OKP [%]	E <sub>corr</sub> [mV]	I <sub>corr</sub> [μA]	β <sub>a</sub> [mV]	β <sub>c</sub> [mV]	R <sub>p</sub> [Ω]	v <sub>corr</sub> [mm/rok]
MoS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-555	1,8 · 10 <sup>-2</sup>	43,6	37,7	38532	2,7 · 10 <sup>-4</sup>
	5	-615	3,4 · 10 <sup>-2</sup>	45,0	43,0	1282	5,0 · 10 <sup>-4</sup>
WS <sub>2</sub> - PANI/Zn <sub>iso</sub>	1	-460	4,0 · 10 <sup>-3</sup>	42,2	39,6	1195	6,0 · 10 <sup>-5</sup>
	5	-472	9,4 · 10 <sup>-1</sup>	30,4	36,3	152	1,4 · 10 <sup>-2</sup>
MoS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-590	8,0 · 10 <sup>-3</sup>	40,9	39,5	201	1,2 · 10 <sup>-4</sup>
	5	-630	0,1 · 10 <sup>-1</sup>	33,1	49,1	113	1,5 · 10 <sup>-2</sup>
WS <sub>2</sub> - PPy/Zn <sub>iso</sub>	1	-351	2,6 · 10 <sup>-2</sup>	27,9	26,8	558	3,8 · 10 <sup>-4</sup>
	5	-536	3,6 · 10 <sup>-2</sup>	29,3	29,7	73	5,3 · 10 <sup>-4</sup>

## 4. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Tato kapitola obsahuje vyhodnocení a diskuzi výsledků, které jsou uvedeny v předchozí kapitole.

Všechny nátěrové filmy, které byly používány, vykazovaly šedé nebo černé zabarvení. Pouze u nátěrových filmů, kde byl naformulován vrchní nátěr, bylo zabarvení zelené. To způsobil přítomný oxid chromitý. S rostoucím OKP byla barva nátěrových filmů tmavší.

### 4.1 Fyzikálně-chemické vlastnosti

U všech pigmentů byly určeny základní fyzikálně-chemické vlastnosti, jako je olejové číslo, hustota a kritická objemová koncentrace pigmentu.

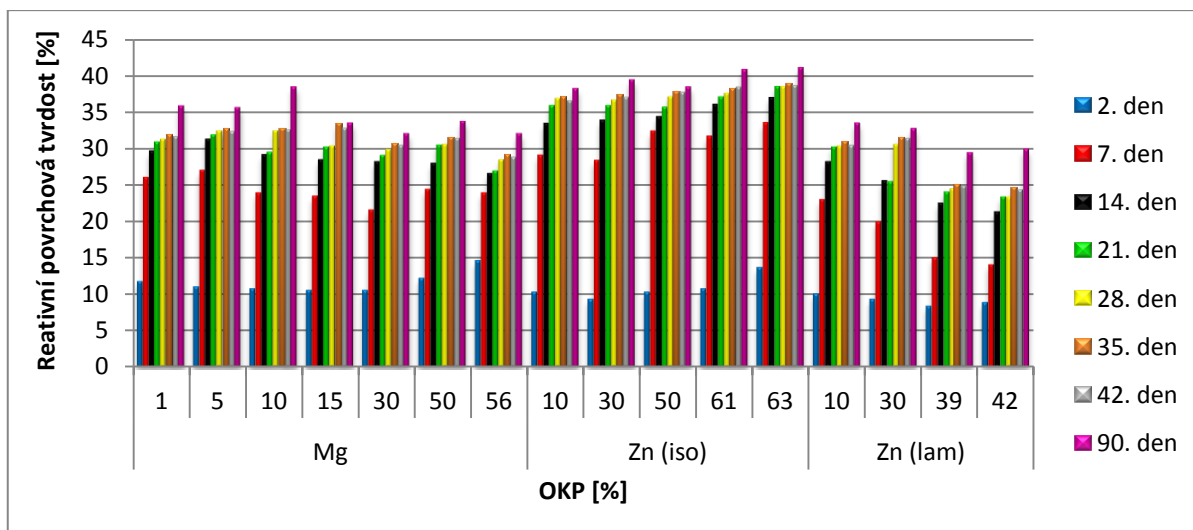
Z výsledků fyzikálně-chemických vlastností bylo zjištěno, že největší spotřebu lněného oleje při stanovení olejového čísla měl pigment  $\text{MoS}_2$  - PPy (92,55 g /100g pigmentu). Naopak nejnižší spotřebu lněného oleje měl isometrický zinek (7,6 g / 100 g pigmentu), což je přibližně 12 krát méně. Nejvyšší hustotu naměřenou hustoměrem měl isometrický zinek ( $7,09 \text{ g/cm}^3$ ) a nejnižší kovový hořčík ( $1,78 \text{ g/cm}^3$ ). Hodnoty sorpce lněného oleje jsou závislé na tvaru a velikosti částic. Pomocí měření hustoty a spotřeby oleje byla vypočtena kritická objemová koncentrace (KOKP) jednotlivých pigmentů. Nejvyšší KOKP byla vypočtena u  $\text{Zn}_{\text{iso}}$  (63,32 %), naopak nejnižší KOKP měl  $\text{WS}_2$  - PPy (21 %).

### 4.2 Zkoušky mechanické odolnosti a nepřímé korozní zkoušky

#### 4.2.1 Diskuze relativní povrchové tvrdosti

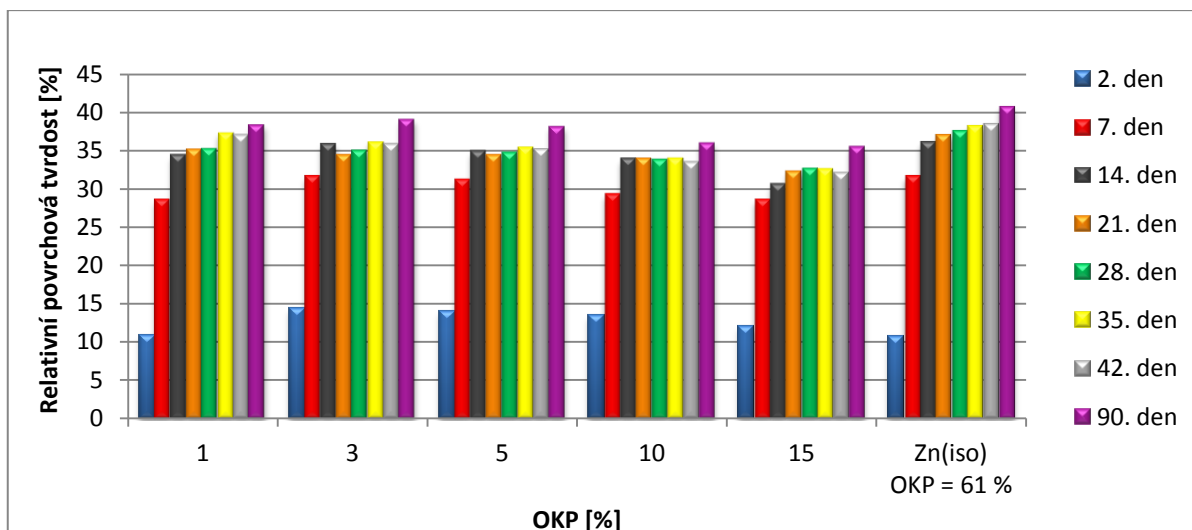
Relativní povrchová tvrdost byla měřena u organických povlaků natřených na skleněných panelech po dobu 42 dní. Měření bylo provedeno první den po natření, a dále pak 7. den, 14. den, 21. den, 28. den, 35. den a 42. den. Poté bylo provedeno ještě jedno měření, a to 90. den po natření.

Výsledky relativní povrchové tvrdosti vybraných nátěrových filmů jsou uvedeny v grafech 1-5.



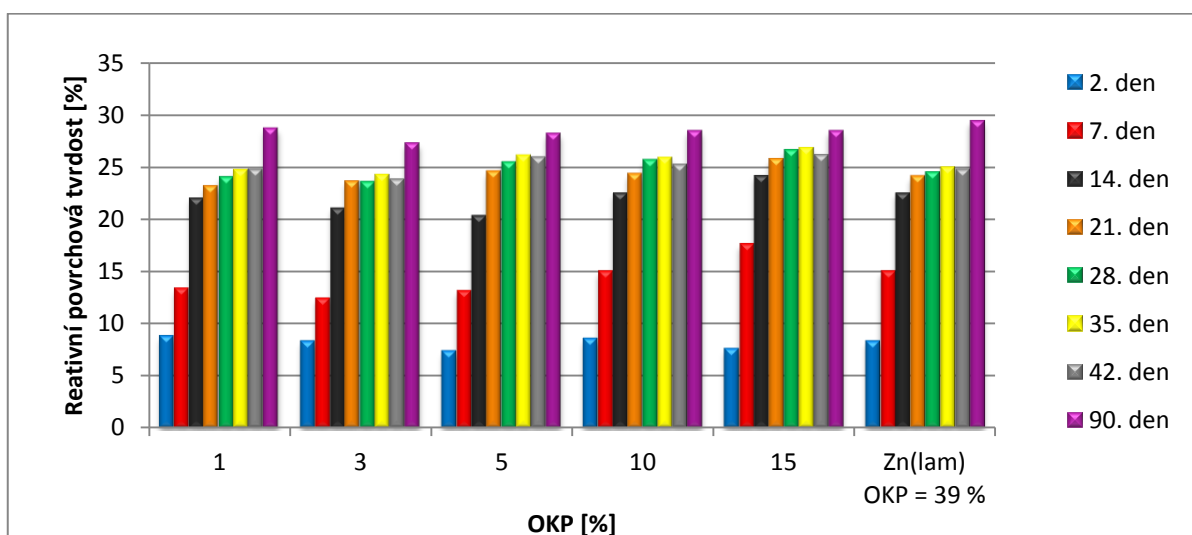
**Graf 1** Závislost relativní povrchové tvrdosti na čase u nátěrových filmů s obsahem Mg a  $Zn_{iso}$  nebo  $Zn_{lam}$  při různém OKP

U nátěrových filmů obsahující Mg ( $OKP_{Mg} = 1, 5, 10, 15, 30, 50$  a  $56$  %, doplněné vápencem na  $OKP_{OM} = 56$  %), u nátěrových filmů obsahující  $Zn_{iso}$  ( $OKP_{Zn} = 10, 30, 50, 61$  a  $63$  % doplněné vápencem na  $OKP_{OM} = 61$  %) a u nátěrových filmů obsahující  $Zn_{lam}$  ( $OKP_{Zn} = 10, 30, 39$  a  $42$  % doplněné vápencem na  $OKP_{OM} = 39$  %) rostla tvrdost v závislosti na čase do 35. dne. Nejvyšší nárůst tvrdosti byl pozorován mezi 2. a 7. dnem, a to u nátěrů pigmentovaných isometrickým zinkem (10 - 20 %), poté u nátěrů pigmentovaných hořčíkem (10 - 16 %) a pak u nátěrů pigmentovaných lamelárním zinkem (5 - 13 %). Mezi 7. a 14. dnem byl nárůst tvrdosti v porovnání s předchozím menší (max. o 8 %). Mezi 14. a 28. dnem rostla tvrdost už maximálně o 5 %. Od 35. do 42. dnu tvrdost zůstala na stejné hodnotě nebo klesla maximálně o 1 %. Porovnáním hodnot relativní povrchové tvrdosti u nátěrových filmů obsahující kovový hořčík (při  $OKP_{Mg} = 10$  a  $30$  %), isometrický zinek (při  $OKP_{Zn} = 10$  a  $30$  %) a lamelární zinek (při  $OKP_{Zn} = 10$  a  $30$  %) bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot tvrdosti dosahovaly po celou dobu měření nátěrové filmy pigmentované isometrickým zinkem a nejnižších hodnot tvrdosti dosahovaly po celou dobu měření nátěrové filmy pigmentované lamelárním zinkem. Po 90. dnech od natření došlo ještě k mírnému nárůstu tvrdosti. (Graf 1).



**Graf 2** Závislost relativní povrchové tvrdosti na čase u nátěrových filmů s obsahem Mg a Zn<sub>iso</sub>

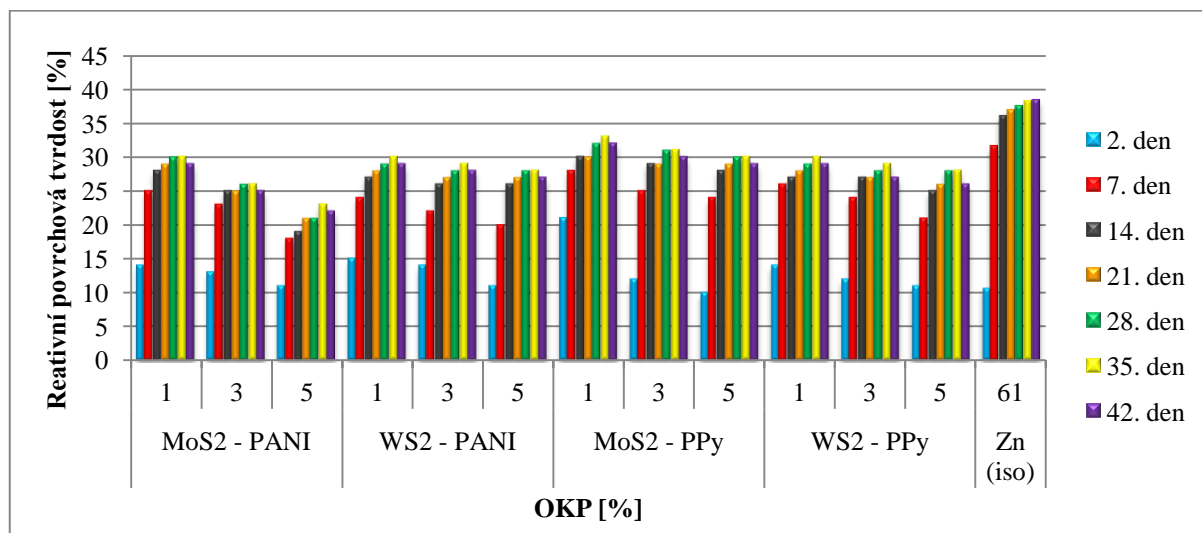
U nátěrových filmů, které obsahovaly Mg / Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 5, 10 a 15 %, doplněné isometrickým zinkem na OKP<sub>Zn</sub> = 61 %, rostla, v závislosti na čase, tvrdost do 35. dne. Mezi 2. a 7. dnem byl nárůst největší, a to přibližně o 15 %. Mezi 7. a 14. dnem byl oproti předchozímu nárůst už menší, a to maximálně o 5 %. Mezi 14. a 28. dnem rostla tvrdost už jen nepatrně nanejvýš o 3 %. Od 35. do 42. dnu tvrdost nátěrových filmů už nerostla nebo klesla maximálně o 1 %. V porovnání se srovnávacím nátěrem (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 %) byla tvrdost u nátěrových filmů s obsahem OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 5, 10 a 15 % nižší o 5 %. Po 90. dnech od natření došlo ještě k nárůstu tvrdosti (Graf 2).



**Graf 3** Závislost relativní povrchové tvrdosti na čase u nátěrových filmů s obsahem Mg a Zn<sub>lam</sub>

U nátěrových filmů obsahující Mg / Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 5, 10 a 15 %, doplněné lamelárním zinkem na OKP<sub>Zn</sub> = 39 %, rostla tvrdost v závislosti na čase až do 35. dne.

K největšímu nárůstu došlo mezi 2. a 14. dnem, kde vzrostla hodnota relativní povrchové tvrdosti přibližně o 15 %. Od 14. do 35. dne se tvrdost zvyšovala už jen nepatrně, a to maximálně o 5 %. Po 35. dnu už se tvrdost neměnila vůbec nebo klesla o 1 %. Při měření relativní povrchové tvrdosti po 90. dnech od natření, vzrostla ještě tvrdost o maximálně 5 %. Porovnáním těchto nátěrových filmů se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39\%$ ) byla tvrdost porovnatelná v rozmezí 1 - 2 % (Graf 3).



**Graf 4** Závislost relativní povrchové tvrdosti na čase u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/ $Zn_{iso}$ , WS<sub>2</sub> - PANI/ $Zn_{iso}$ , MoS<sub>2</sub> - PPy/ $Zn_{iso}$  a WS<sub>2</sub> - PPy/ $Zn_{iso}$

U nátěrových filmů, které obsahovaly MoS<sub>2</sub> - PANI/ $Zn_{iso}$ , WS<sub>2</sub> - PANI/ $Zn_{iso}$ , MoS<sub>2</sub> - PPy/ $Zn_{iso}$  a WS<sub>2</sub> - PPy/ $Zn_{iso}$  tvrdost rostla do 35. dne. Největší nárůst byl zaznamenán mezi 2. a 7. dnem, kdy tvrdost vzrostla o 7 - 14 %. Mezi 7. a 14. dnem to byl nárůst maximálně o 6 %. Od 14. do 35. dne vzrostla hodnota relativní povrchové tvrdosti pouze nepatrně, a to mezi 1 - 4 %. V porovnání se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61\%$ ) byly hodnoty relativní povrchové tvrdosti nižší v průměru o 10 % (Graf 4).

### Závěry patrné ze stanovení relativní povrchové tvrdosti

- Nejvyšší tvrdost 2. den po natření byla naměřena u nátěru obsahující MoS<sub>2</sub> - PPy /  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{VP} = 1\%$ , kde hodnota relativní povrchové tvrdosti byla 21 %. Po 35. dnech byla nejvyšší tvrdost naměřena u nátěru obsahující  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 63\%$ , kde hodnota relativní povrchové tvrdosti byla 39 %.

- Nejnižší tvrdost byla 2. den po natření naměřena u nátěru obsahující Mg / Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Mg</sub> = 5 %, kde hodnota relativní povrchové tvrdosti byla 7 %. Po 35. dnech byla nejnižší tvrdost naměřena u nátěru obsahující MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>VP</sub> = 5 %, kde hodnota relativní povrchové tvrdosti byla 23 %.
- Oproti srovnávacímu nátěru Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 % dosahovaly nátěrové filmy s obsahem Mg (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 5, 10, 15, 30, 50 a 56 %), nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>lam</sub> (při OKP<sub>Zn</sub> = 10, 30, 39 a 42 %) a nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn<sub>lam</sub> (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 5, 10 a 15 %) nižších hodnot relativní povrchové tvrdosti přibližně o 10 %.
- Nátěrové filmy obsahující Mg / Zn<sub>iso</sub> (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 5, 10 a 15 %) se oproti srovnávacímu nátěru Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 % příliš nelišily.
- Oproti srovnávacímu nátěru Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 % dosahovaly nátěrové filmy s obsahem Mg (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 5, 10, 15, 30, 50 a 56 %), nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> (při OKP<sub>Zn</sub> = 10, 30, 50, 61 a 63 %) a nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn<sub>iso</sub> (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 5, 10 a 15 %) vyšších hodnot relativní povrchové tvrdosti přibližně o 5 - 10 %.
- Nátěrové filmy obsahující Mg / Zn<sub>lam</sub> (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 5, 10 a 15 %) se oproti srovnávacímu nátěru Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 % příliš nelišily.
- Oproti srovnávacímu nátěru Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 % dosahovaly nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> nižších hodnot relativní povrchové tvrdosti přibližně o 10 %.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, kovovým hořčíkem, došlo s rostoucím OKP<sub>Mg</sub> ke snížení tvrdosti nátěru. Tvrdost nátěrového filmu Mg / Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 1 %) byla 37 % a u Mg / Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 15 %) byla 33 %.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly lamelární zinek, kovovým hořčíkem, došlo s rostoucím OKP<sub>Mg</sub> ke zvýšení tvrdosti nátěru. Tvrdost nátěrového filmu Mg / Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 1 %) byla 25 % a u Mg / Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 15 %) byla 27 %.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, disulfidem molybdenu s povrchovou úpravou PANI nebo PPy, došlo s rostoucím OKP<sub>VP</sub> ke snížení tvrdosti nátěru. Tvrdost nátěrového filmu MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub> a MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 1 %) byla 29 % a 32 %. Zatímco u MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub> a MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 5 %) byla tvrdost 22 % a 29 %.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, disulfidem wolframu s povrchovou úpravou PANI nebo PPy došlo také s rostoucím OKP<sub>VP</sub> ke snížení tvrdosti nátěru. Tvrdost nátěrového filmu WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 1 %) byla 22 % a 29 %.

byla u obou vzorků 30 %, tvrdost u  $WS_2$  - PANI/ $Zn_{iso}$  a  $WS_2$  - PPy/ $Zn_{iso}$  ( $OKP_{VP} = 5$  %) byla 28 %.

#### 4.2.2 Diskuze změny lesku nátěrových filmů

Lesk byl měřen u organických povlaků na skleněných panelech po dobu 35 dní pod úhly  $20^\circ$ ,  $60^\circ$  a  $85^\circ$ . Toto měření bylo zahájeno první den po natření a pak 14. a 35. den. Jelikož byly všechny nátěrové filmy matné, tak jsou pro vyhodnocení nejvhodnější hodnoty měření při  $85^\circ$ .

U nátěrových filmů obsahující Mg,  $Zn_{iso}$  a  $Zn_{lam}$  došlo k postupnému snížení lesku s rostoucím OKP při úhlu měření  $85^\circ$ . Porovnáním lesku u nátěrových filmů obsahující kovový hořčík (při  $OKP_{Mg} = 10$  %), isometrický zinek (při  $OKP_{Zn} = 10$  %) a lamelární zinek (při  $OKP_{Zn} = 10$  %) bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty lesku dosahoval nátěrový film pigmentovaný lamelárním zinkem (hodnota lesku od 2. do 35. dne byla okolo 8 %) a nejnižší hodnoty lesku dosáhl nátěrový film pigmentovaný kovovým hořčíkem s hodnotami lesku od 2. do 35. dne okolo 1,5 %.

U kombinací Mg / $Zn_{iso}$  postupně došlo při úhlu  $85^\circ$  ke snížení hodnot lesku s rostoucím  $OKP_{Mg}$ . Nátěrový film při  $OKP_{Mg} = 3$  % měl nejvíce podobné hodnoty lesku jako srovnávací nátěr  $Zn_{iso}$  ( $OKP_{Zn} = 61$  %). Při  $OKP_{Mg} = 1$  % byly hodnoty lesku vyšší než srovnávací nátěr přibližně o 0,5 % a při  $OKP_{Mg} = 5, 10$  a 15 % byly hodnoty lesku nižší než srovnávací nátěr o maximálně 3 %.

U kombinací Mg /  $Zn_{lam}$  došlo při úhlu  $85^\circ$  ke zvýšení hodnot lesku s rostoucím  $OKP_{Mg}$ . Nátěrové filmy při  $OKP_{Mg} = 5$  a 10 % měly nejvíce podobné hodnoty lesku jako srovnávací nátěr  $Zn_{lam}$  ( $OKP_{Zn} = 39$  %). Při  $OKP_{Mg} = 1$  a 3 % byly hodnoty lesku nepatrně nižší než srovnávací nátěr maximálně o 0,4 % a při  $OKP_{Mg} = 15$  % byly hodnoty lesku vyšší než srovnávací nátěr o maximálně 0,5 %.

U nátěrových filmů  $MoS_2$  - PANI/ $Zn_{iso}$ ,  $WS_2$  - PANI/ $Zn_{iso}$ ,  $MoS_2$  - PPy/ $Zn_{iso}$  a  $WS_2$  - PPy/ $Zn_{iso}$  rostla hodnota lesku při úhlu  $85^\circ$  s rostoucí  $OKP_{VP}$ . Nátěrový film  $MoS_2$  - PPy/ $Zn_{iso}$  ( $OKP_{VP} = 5$  %) dosahoval podobných hodnot lesku jako srovnávací nátěr  $Zn_{iso}$  ( $OKP_{Zn} = 61$  %). Kombinace  $WS_2$  - PPy/ $Zn_{iso}$  ( $OKP_{VP} = 5$  %) dosahovala nižších hodnot lesku než srovnávací nátěr  $Zn_{iso}$  ( $OKP_{Zn} = 61$  %) přibližně o 3,5 %. Všechny ostatní nátěrové filmy dosahovaly vyšších hodnot lesku než srovnávací nátěr, a to přibližně o 10 - 20 %.



## Závěry patrné z měření lesku

- U všech nátěrových filmů se všechny hodnoty lesku při 20°, 60° a 85° s časem měnily minimálně nebo vůbec.
- Nejnižší hodnoty lesku byly měřeny při úhlu 20°, nejvyšší při 85°.
- Největší změny lesku v závislosti na OKP pigmentu byly při úhlu měření 85°.
- Nejvyšší lesk po 35. dnech od natření při úhlu 85° byl naměřen u nátěru obsahující MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 1 %), kde hodnota lesku byla 26,2 %.
- Nejnižší lesk po 35. dnech od natření při úhlu 85° byl naměřen u nátěrů obsahující Mg (OKP<sub>Mg</sub> = 30 a 50 %), kde hodnota lesku byla 0,9 %.
- V porovnání se srovnávacím nátěrem Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 % po 35 dnech od natření, nátěrové filmy s obsahem Mg (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 5, 10, 15, 30, 50 a 56 %) dosahovaly při úhlu měření 85° nižších hodnot lesku o přibližně 2 - 4 %.
- Oproti srovnávacímu nátěru Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 % dosáhl (po 35 dnech při úhlu měření 85°) nátěrový film s obsahem Mg při OKP<sub>Mg</sub> = 5 % stejné hodnoty, při OKP<sub>Mg</sub> = 1 % byla hodnota lesku vyšší o 0,6 % a při OKP<sub>Mg</sub> = 10, 15, 30, 50 a 56 %) byly hodnoty lesku nižší o 0,2 - 0,8 %.
- Nátěrové filmy obsahující Mg / Zn<sub>iso</sub> (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 5, 10 a 15 %) dosahovaly po 35 dnech oproti srovnávacímu nátěru (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 %) při úhlu měření 85° nižších hodnot přibližně o 0,1 - 3 %. Čím vyšší bylo OKP<sub>Mg</sub>, tím nižší byly hodnoty oproti srovnávacímu nátěru.
- Porovnáním se srovnávacím nátěrem Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 % (po 35 dnech při úhlu měření 85°) dosahovaly nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Mg</sub> = 1 a 3 % nižších hodnot o 0,3 %, při OKP<sub>Mg</sub> = 5 a 10 % byly hodnoty lesku stejné a při OKP<sub>Mg</sub> = 15 % byla hodnota lesku vyšší o 0,4 %.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, kovovým hořčíkem, došlo ke snížení lesku. Hodnota lesku (po 35 dnech při úhlu 85°) nátěrového filmu Mg / Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 1 %) byla 5,3 % a u Mg / Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 15 %) byla 1,9 %.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly lamelární zinek, kovovým hořčíkem, došlo ke zvýšení lesku. Hodnota lesku (po 35 dnech při úhlu 85°) nátěrového filmu Mg / Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 1 %) byla 1,4 % a u Mg / Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 15 %) byla 2,1 %.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, disulfidem molybdenu s povrchovou úpravou PANI nebo PPy, došlo ke zvýšení lesku nátěrového filmu. Hodnota lesku (po 35 dnech při úhlu 85°) nátěrového filmu MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>

a MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 1 %) byla 24,2 % a 26,2 %. Zatímco u MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub> a MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 5 %) byla hodnota lesku 11,1 % a 5,4 %.

- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, disulfidem wolframu s povrchovou úpravou PANI nebo PPy došlo také ke zvýšení hodnoty lesku oproti srovnávacímu vzorku Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Zn</sub> = 61 %). Lesk nátěrového filmu WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 1 %) byla 14,2 % a 20,7, lesk u WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 5 %) byl 10,8 % a 1,3 %.
- Důvodem snížení lesku byla přítomnost částic pigmentu o různé velikosti a různém měrném povrchu. Nátěrový film postupně matní z důvodu postupného vysychání a tvrdnutí.

### 4.2.3 Diskuze Buchholzovy vrypové zkoušky

Buchholzova vrypová zkouška byla měřena společně s relativní povrchovou tvrdostí na skleněných panelech, a to na počátku (2. den po natření) a na konci (42. den po natření) měření. Poté bylo provedeno ještě jedno měření po 90. dnech od natření.

S časem byly všechny nátěrové filmy postupně odolnější proti vtisku. Mezi 2. a 42. dnem došlo k nárůstu tvrdosti u některých vzorků až o 8 %. Nejvyšší nárůst tvrdosti o 4 - 8 % byl zaznamenán u nátěrových filmů, které obsahovaly lamelární zinek a u kombinací tohoto typu zinku s hořčíkem. Isometrický zinek byl v porovnání s lamelárním méně odolný proti vtisku. To vše se projevilo i na kombinacích. A proto kombinace Mg / Zn<sub>lam</sub> byly více odolné než kombinace Mg / Zn<sub>iso</sub>. U kombinací isometrického zinku se sulfidy s povrchovou úpravou PANI nebo PPy byly hodnoty vtisku dle Buchholze v porovnání s hodnotami nátěrových filmů pigmentovaných isometrickým zinkem vyšší. To znamená, že tyto kombinace byly měkčí a méně odolnější proti vtisku než zinkem pigmentované nátěry. Po 90. dnech byly všechny nátěry ještě o tvrdší než na konci měření po 42. dnech, a to maximálně o 3 %.

### Závěry z Buchholzovy vrypové zkoušky

- Odolnost proti vtisku stoupala s časem.
- Nátěry s lamelárním zinkem byly odolnější proti vtisku než nátěry s isometrickým zinkem.
- Kombinace sulfidů (povrchově upravenými PANI nebo PPy) se zinkem nedošlo ke zvýšení odolnosti proti vtisku.

#### 4.2.4 Diskuze MEK testu

Při MEK testu byly nátěrové filmy pomocí gázy, která byla napuštěna methylethylketonem, otírány na stejném místě a stejnou silou. Po 50 dvojtazích, kdy jeden dvojtah trval 1 sekundu, byl vyhodnocen stupeň odolnosti.

U nátěrových filmů pigmentovaných kovovým hořčíkem s rostoucím  $OKP_{Mg}$  postupně klesal hodnotící stupeň. Nejlepší výsledky byly zjištěny u nátěrů obsahující Mg při  $OKP = 1, 5$  a  $10 \%$ , kde nebylo viditelné žádné poškození ani vyleštění povrchu nátěru, což odpovídalo stupni 5. Po 50 dvojtazích u Mg při  $OKP = 56 \%$  došlo k úplné degradaci nátěrového filmu methylethylketonem až na skleněný podklad. Tento vzorek byl vyhodnocen stupněm 0.

U nátěrových filmů pigmentovaných isometrickým zinkem došlo s rostoucím  $OKP_{Zn}$  ke zhoršení odolnosti při působení methylethylketonu. Při  $OKP_{Zn} = 10$  a  $30 \%$  k vyleštění povrchu filmu a nepatrné množství zinku bylo vidět na otěrové gáze. Tyto vzorky byly hodnoceny stupněm 4. Při  $OKP_{Zn} = 50, 61$  a  $63 \%$  došlo u vzorků k lehkému poškrábání nátěrového filmu a na otěrové gáze bylo vidět větší množství zinku. Těmto vzorkům byl přiřazen stupeň 3.

Nátěrové filmy pigmentované lamelárním zinkem byly při  $OKP_{Zn} = 10, 30$  a  $39 \%$  hodnoceny stupněm 4, protože došlo jen k nepatrnému uvolnění zinku a poškrábání povrchu. Při  $OKP_{Zn} = 42 \%$  byl hodnotící stupeň 3, protože zde došlo k většímu poškrábání povrchu nátěrového filmu, než u nižších koncentrací zinku.

U kombinací Mg /  $Zn_{iso}$  a Mg /  $Zn_{lam}$  stupeň odolnosti s rostoucím  $OKP$  klesal. Při  $OKP_{Mg} = 1, 3$  a  $5 \%$  byl hodnotící stupeň 3, kde došlo k lehkému poškrábání nátěrového filmu. Postupně se zvyšujícím se  $OKP$  bylo více viditelné poškození nátěrového filmu a nátěrové filmy při  $OKP_{Mg} = 10$  a  $15 \%$  byly již vyhodnoceny stupněm 2. To znamená, že došlo ke zřetelnému poškození nátěrového filmu.

U kombinací  $MoS_2 - PANI/Zn_{iso}$  a  $WS_2 - PANI/Zn_{iso}$  stupeň odolnosti s rostoucím  $OKP_{VP}$  klesal. Avšak u obou kombinací došlo k úplnému obnažení podkladu už na počátku testu, a to maximálně po 15 dvojtazích (při  $OKP_{VP} = 1 \%$ ). Všechny vzorky byly hodnoceny stupněm 0.

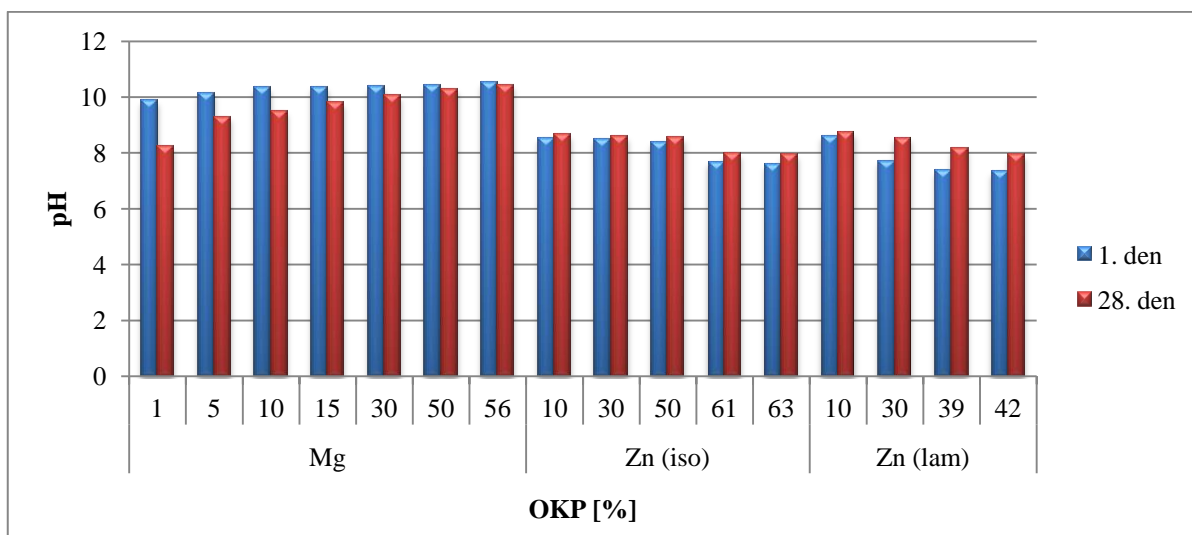
U kombinací  $MoS_2 - PPy/Zn_{iso}$  a  $WS_2 - PPy/Zn_{iso}$  stupeň odolnosti s rostoucí  $OKP_{VP}$  rostl. Nejvyšší počet dvojtahů byl zaznamenán u  $MoS_2 - PPy/Zn_{iso}$  ( $OKP_{VP} = 5 \%$ ), kde došlo k obnažení podkladu po 30 dvojtazích. Všechny vzorky byly také hodnoceny stupněm 0.

### Závěry z MEK testu

- U nátěrových filmů pigmentovaných kovovým hořčíkem došlo s rostoucím  $OKP_{Mg}$  ke snížení odolnosti.
- Nátěrové hmoty pigmentované isometrickým nebo lamelárním zinkem dosahovaly stupně 3-4 z maximálně 5 možných.
- U kombinací isometrického nebo lamelárního zinku s hořčíkem došlo s rostoucím  $OKP_{Mg}$  ke zhoršení odolnosti a dosahovaly stupně 2-3.
- U kombinací isometrického zinku se sulfidy s povrchovou úpravou vodivým polymerem došlo do několika vteřin k úplnému obnažení nátěru až na skleněný panel

### 4.2.5 Diskuze měření pH vodných výluhů volných nátěrových filmů

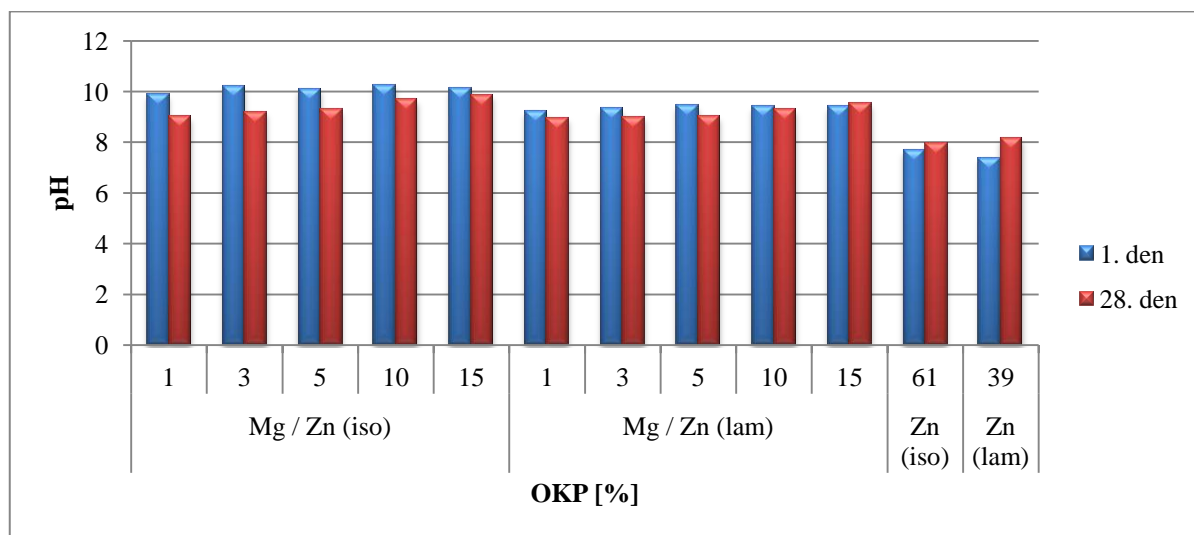
Z jednotlivých nátěrových filmů byly připraveny vodné výluhy v redestilované vodě a po dobu 28 dní bylo měřeno pH u všech těchto vzorků. Hodnoty pH byly měřeny i u samotné destilované a redestilované vody. U destilované i redestilované vody došlo v průběhu měření k poklesu kyselosti. V případě destilované vody stoupla hodnota pH z 7,70 na hodnotu 8,20 a v případě redestilované vody stoupla hodnota pH z 7,72 na hodnotu 8,35. V následujících grafech 11 - 13 jsou uvedeny hodnoty pH jednotlivých vodných výluhů volných nátěrových filmů a jejich vývoj během 28. dní.



**Graf 5** Vyhodnocení pH vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem Mg,  $Zn_{iso}$  nebo  $Zn_{lam}$

U nátěrových filmů s obsahem kovového hořčíku došlo k růstu pH s rostoucím  $OKP_{Mg}$ , avšak s časem došlo k poklesu pH. Hodnoty pH těchto vzorků se pohybovaly v zásadité oblasti ( $pH = 8 - 11$ ) po celou dobu měření. Příčinou snížení pH s časem by mohlo být vyextrahování kyselých látek ze vzorků. U nátěrových filmů s obsahem isometrického

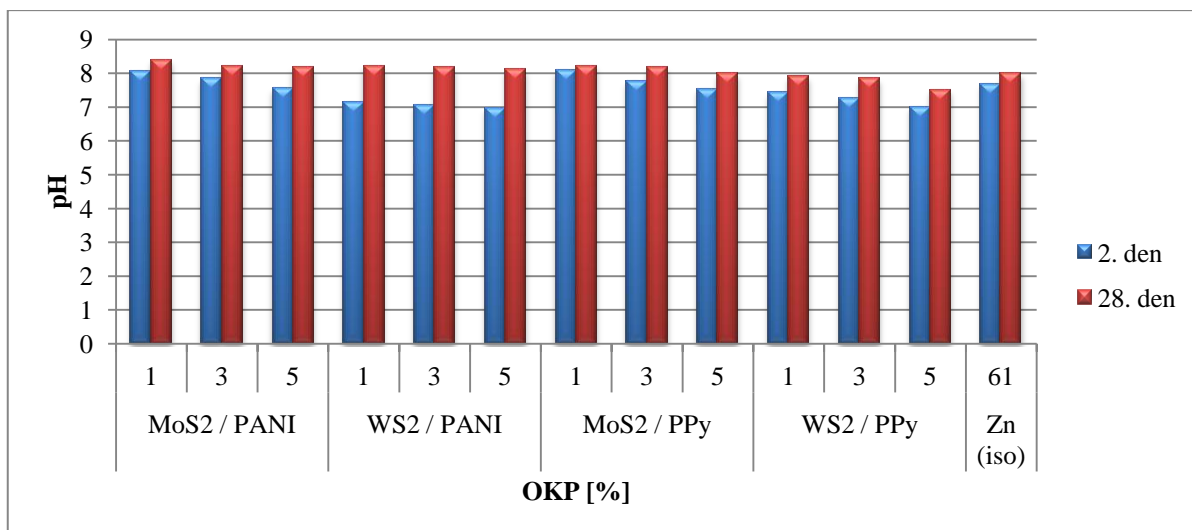
nebo lamelárního zinku byly hodnoty pH velmi podobné a pohybovaly se v neutrální až mírně zásadité oblasti (pH = 7 - 9). S rostoucím  $OKP_{Zn}$  došlo ke snížení hodnot pH maximálně o 1,3 %. S časem během měření došlo k růstu hodnot pH, a to maximálně o 1 %. Z těchto výsledků je patrné, že isometrický nebo lamelární zinek, kterým byly doplňovány nátěrové filmy, přispívají k růstu hodnot pH (Graf 5).



**Graf 6** Vyhodnocení pH vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem Mg/  $Zn_{iso}$  nebo Mg/ $Zn_{lam}$

Nátěrové filmy s obsahem kovového hořčíku při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$  a  $15$  % doplněné isometrickým zinkem na  $OKP_{Zn} = 61$  % dosahovaly na počátku měření hodnot pH mezi 9,88 - 10,25. Po 28. dnech měření došlo k poklesu pH na hodnoty mezi 9,01 - 9,86. V porovnání se srovnávacím vzorkem ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61\%$ ) dosahovaly všechny kombinace vyšších hodnot o cca 1 - 3 %. Nátěrové filmy doplněné lamelárním zinkem na  $OKP_{Zn} = 39$  % dosahovaly na počátku měření hodnot pH mezi 9,21 - 9,44 a také u těchto vzorků došlo během měření k poklesu pH na hodnoty mezi 8,95 - 9,51.

Z těchto výsledků vyplývá, že u obou kombinací hodnoty pH klesly během měření maximálně o 1 % a po celou dobu měření se pohybovaly ve středně alkalické oblasti. Přítomnost hořčíku jako pigmentu v nátěrovém filmu, který byl doplněn isometrickým nebo lamelárním zinkem, ovlivnila růst hodnot pH u těchto kombinací (Graf 6).



**Graf 7** Vyhodnocení pH vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

U nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI, WS<sub>2</sub> - PANI, MoS<sub>2</sub> - PPy a WS<sub>2</sub> - PPy doplněné isometrickým zinkem na OKP<sub>Zn</sub> = 61 % dosahovaly na počátku měření hodnot pH mezi 7,01 - 8,07. Po 28. dnech měření došlo k vzrůstu pH na hodnoty mezi 7,51 - 8,4. V porovnání se srovnávacím vzorkem (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61%) dosahovaly všechny kombinace během měření velice podobných hodnot pH.

Z těchto výsledků vyplývá, že u všech kombinací došlo během měření k vzrůstu hodnot pH maximálně o 1,14 % a po celou dobu měření se pohybovaly v neutrální až mírně alkalické oblasti (Graf 7).

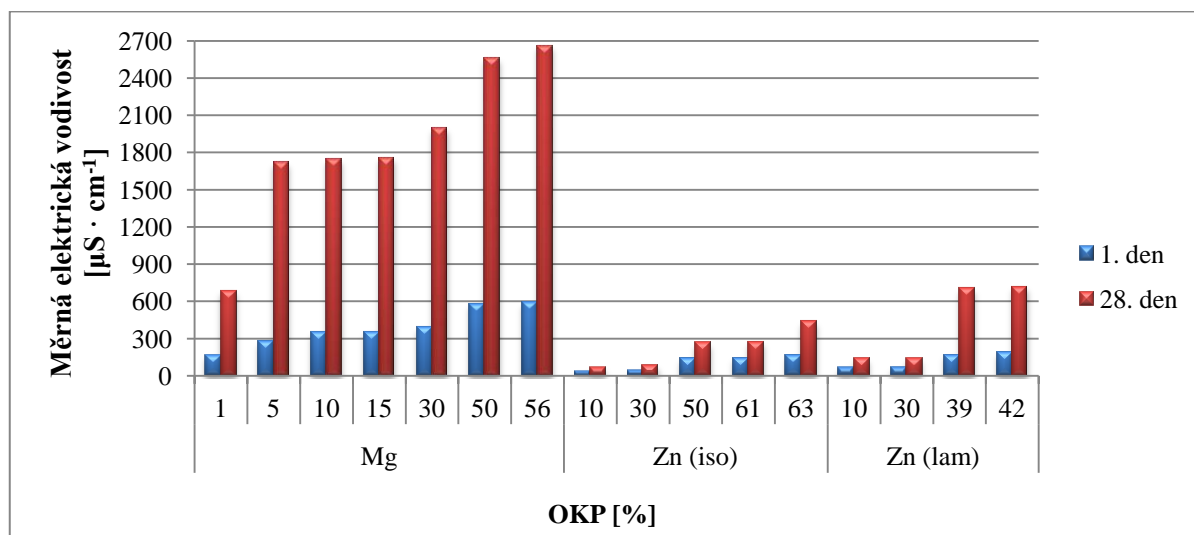
#### Závěry patrné z měření pH

- Nátěrové filmy pigmentované hořčíkem dosahovaly nejvyšších hodnot pH.
- Isometrický i lamelární zinek přispívaly k růstu pH.
- U kombinací hořčíku s isometrickým nebo lamelárním zinkem ovlivnila růst pH přítomnost hořčíku.
- U kombinací sulfidů s isometrickým zinkem nedošlo k výrazné změně pH oproti nátěrům pigmentovaných isometrickým zinkem.

#### 4.2.6 Diskuze měrné elektrické vodivosti vodných výluhů volných nátěrových filmů

Z jednotlivých nátěrových filmů byly připraveny vodné výluhy v redestilované vodě. Po dobu 28 dní byla měřena měrná elektrická vodivost u všech těchto vzorků a také u samotné destilované a redestilované vody. U destilované i redestilované vody došlo

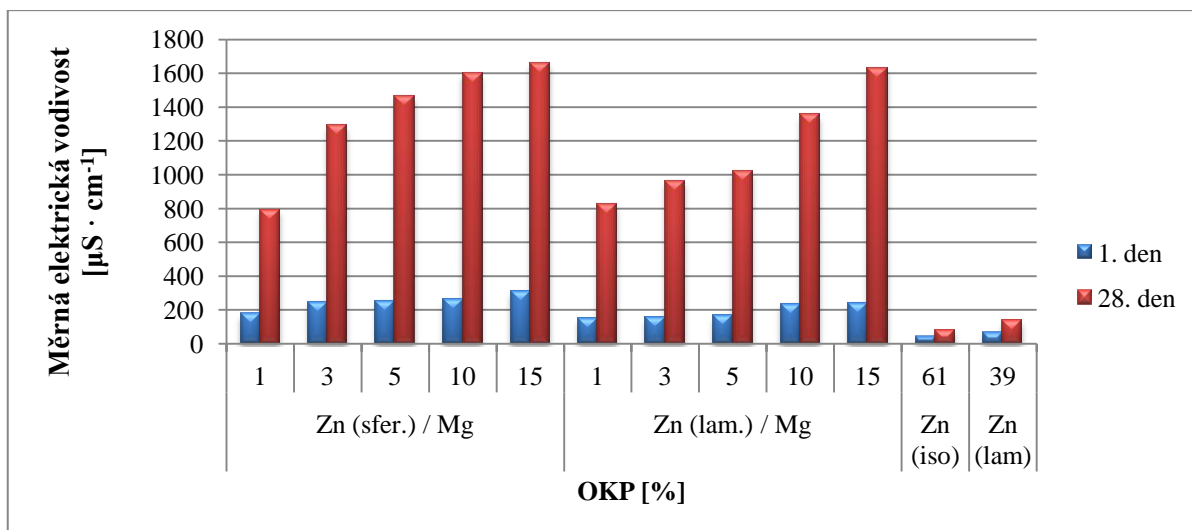
v průběhu měření k vzrůstu vodivosti. V případě destilované vody stoupla hodnota vodivosti z  $36 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  na hodnotu  $38 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  a v případě redestilované vody stoupla hodnota vodivosti ze  $4 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  na hodnotu  $5 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . V následujících grafech 14 - 16 jsou uvedeny hodnoty vodivosti jednotlivých vodných výluhů volných nátěrových filmů a jejich vývoj během 28. dní.



**Graf 8** Vyhodnocení vodivosti vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem Mg,  $\text{Zn}_{\text{iso}}$  nebo  $\text{Zn}_{\text{lam}}$

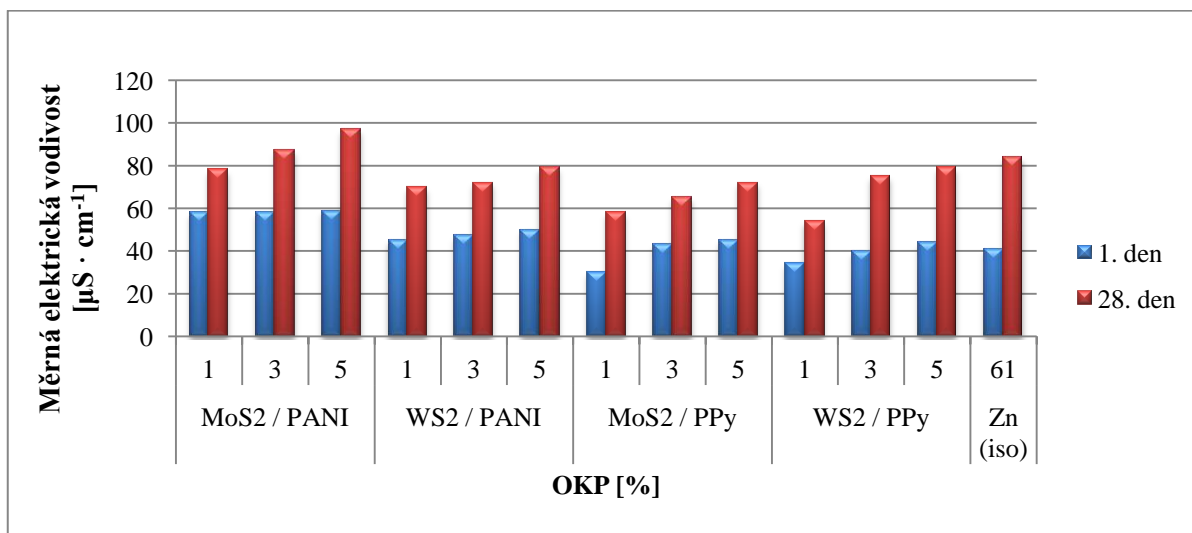
Nátěrové filmy s obsahem kovového hořčíku dosahovaly po celou dobu měření nejvyšších hodnot vodivosti, která rostla jak se vzrůstajícím  $\text{OKP}_{\text{Mg}}$ , tak s časem. Hodnoty vodivosti se u těchto vzorků pohybovaly na počátku měření mezi  $164 - 590 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  a po 28. dnech měření byly hodnoty vodivosti mezi  $685 - 2660 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

U nátěrových filmů s obsahem isometrického nebo lamelárního zinku hodnoty vodivosti vzrůstaly s časem i s rostoucím  $\text{OKP}_{\text{Zn}}$ . V případě isometrického zinku stouply během měření hodnoty vodivosti z  $36 - 165 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  na hodnoty  $65 - 437 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  v závislosti na OKP. V případě lamelárního zinku vzrostly hodnoty vodivosti z  $63 - 188 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  na hodnoty  $140 - 714 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  v závislosti na OKP (Graf 8).



**Graf 9** Vyhodnocení vodivosti vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem Mg/ Zn<sub>iso</sub> nebo Mg/Zn<sub>lam</sub>

Nátěrové filmy s obsahem kovového hořčíku při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$  a  $15\%$  doplněné isometrickým zinkem na  $OKP_{Zn} = 61\%$  nebo lamelárním zinkem na  $OKP_{Zn} = 39\%$  dosahovaly v porovnání se srovnávacími vzorky (Zn<sub>iso</sub> při  $OKP_{Zn} = 61\%$  nebo Zn<sub>lam</sub> při  $OKP_{Zn} = 39\%$ ) výrazně vyšších hodnot vodivosti. Vodivost rostla s  $OKP_{Mg}$  i s časem. To bylo způsobeno vysokými hodnotami vodivosti samotného pigmentu hořčíku. Vodivost u těchto kombinací dosahovala hodnot po 28. dnech měření  $791 - 1661 \mu S \cdot cm^{-1}$  v závislosti na OKP (Graf 9).



**Graf 10** Vyhodnocení vodivosti vodných výluhů u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

U nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI, WS<sub>2</sub> - PANI, MoS<sub>2</sub> - PPy a WS<sub>2</sub> - PPy doplněné isometrickým zinkem na  $OKP_{Zn} = 61\%$  rostla hodnota vodivosti v závislosti



na čase, avšak nárůst nebyl tak vysoký jako u kombinací zinku s hořčíkem. Během 28. dní měření došlo k nárůstu této veličiny maximálně o 38 jednotek. Vodivost těchto vzorků se pohybovala na konci měření v rozmezí  $54 - 97 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . V porovnání se srovnávacím vzorkem ( $\text{Zn}_{\text{iso}}$  při  $\text{OKP}_{\text{Zn}} = 61\%$ ) byly hodnoty vodivosti velice podobné na počátku i na konci měření (Graf 10).

#### **Závěry patrné z měření měrné elektrické vodivosti**

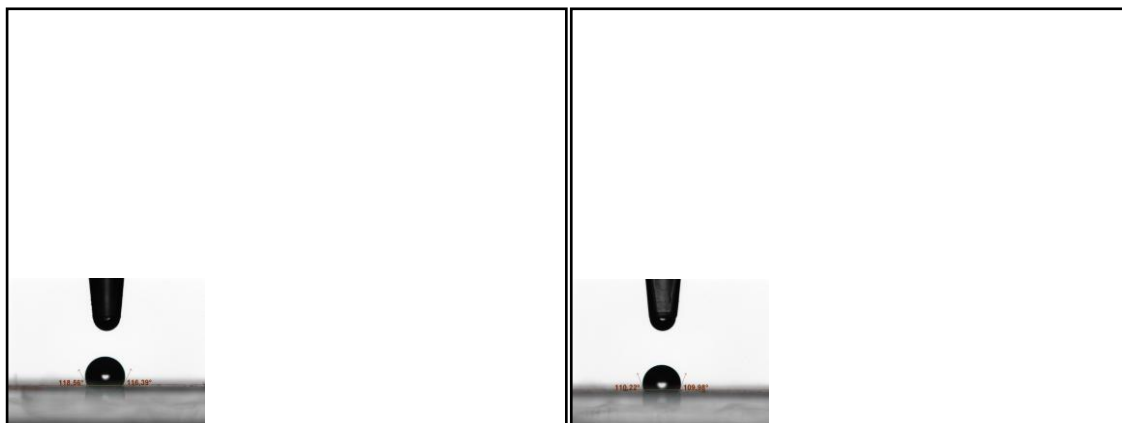
- Nejvyšších hodnot vodivosti dosahovaly nátěrové filmy pigmentované hořčíkem.
- U isometrického i lamelárního zinku došlo k růstu vodivosti se zvyšujícím se  $\text{OKP}_{\text{Zn}}$  i s časem.
- U kombinací hořčíku s isometrickým nebo lamelárním zinkem byla vysoká vodivost značně ovlivněna přítomností hořčíku.
- U kombinací sulfidů s isometrickým zinkem byly výsledky velmi podobné nátěrům pigmentovaných isometrickým zinkem.

#### **4.2.7 Diskuze měření velikosti kontaktních úhlů glycerolu a vody**

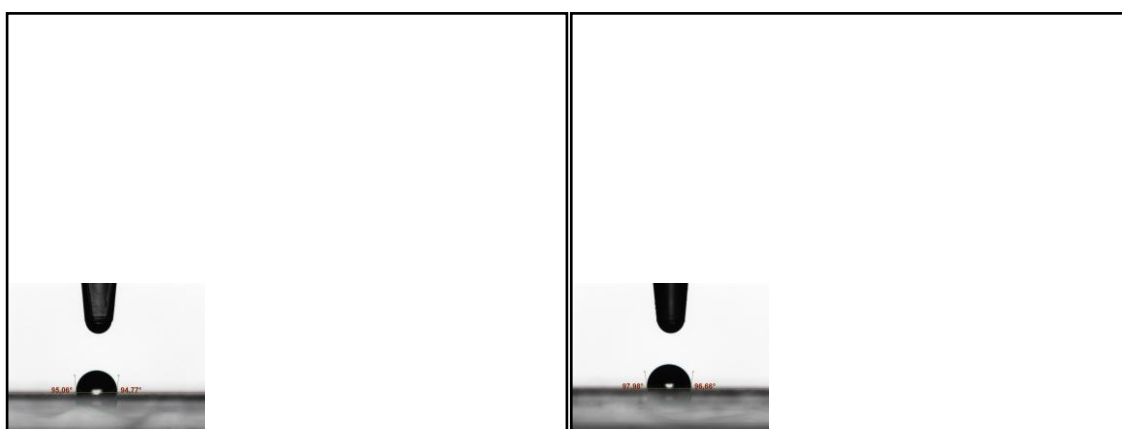
Velikost kontaktního úhlu byla měřena pomocí optického tenziometru z profilu kapky. Úhel byl určen pomocí tečny kapky v místě kontaktu s povrchem nátěru. Pokud byl úhel vyšší než  $90^\circ$  (tupý úhel), kapalina povrch nesmáčela. V případě úhlu menšího než  $90^\circ$  (ostrý úhel), kapalina povrch smáčela. Určení kontaktního úhlu je pro nátěry důležité především z hlediska adheze nátěru k podkladu. Hodnota kontaktního úhlu však mohla být ovlivněna různými faktory (kvalita povrchu, nečistoty, mikrotrhliny).

Z výsledků měření velikosti kontaktních úhlů je patrné, že vyšších hodnot kontaktních úhlů dosahoval glycerol. To bylo z důvodu, že je glycerol více hydrofobní než voda.

Na obrázcích 24 a 25 jsou znázorněny záznamy z měření u srovnávacích vzorků.



**Obrázek 24** Kontaktní úhel glycerolu (vlevo) a vody (vpravo) u nátěrového filmu  $Zn_{iso}$  při  $OKP = 61\%$



**Obrázek 25** Kontaktní úhel glycerolu (vlevo) a vody (vpravo) u nátěrového filmu  $Zn_{lam}$  při  $OKP = 39\%$

U nátěrových filmů pigmentovaných kovovým hořčíkem se zvyšujícím se  $OKP_{Mg}$  rostl kontaktní úhel glycerolu (z  $96^\circ$  na  $108^\circ$ ) i vody (z  $100^\circ$  na  $109^\circ$ ). Kontaktní úhel u isometrického zinku byl mezi glycerolem a nátěrovým filmem vyšší ( $117^\circ$ ) než mezi vodou a nátěrovým filmem ( $110^\circ$ ). Stejně tomu bylo u lamelárního zinku (glycerol -  $97^\circ$ , voda -  $95^\circ$ ), avšak hodnoty kontaktního úhlu byly nižší než u isometrického.

U kombinací hořčíku s isometrickým nebo lamelárním zinkem došlo s rostoucím  $OKP_{Mg}$  ke snížení kontaktního úhlu jak u glycerolu, tak u vody ( $Zn_{iso}$ : glycerol - ze  $116^\circ$  na  $113^\circ$ , voda - ze  $111^\circ$  na  $104^\circ$  a  $Zn_{lam}$ : glycerol - z  $90^\circ$  na  $77^\circ$ , voda - z  $85^\circ$  na  $72^\circ$ ). U obou typů kombinací byl kontaktní úhel mezi glycerolem a nátěrovým filmem vyšší než mezi vodou a nátěrovým filmem. U kombinací  $Mg/Zn_{lam}$  byl u všech měřených vzorků úhel nižší nebo roven  $90^\circ$ , což znamená, že došlo ke smáčení povrchu nátěru. To mohlo být způsobeno například rozdílným povrchem nátěru, kde lamelární částice díky jejich tvaru mohou způsobit menší pórovitost, která toto měření ovlivňuje. Vyšší hodnoty kontaktního úhlu u glycerolu byly způsobeny tím, že glycerol je více hydrofobní.

U kombinací sulfidů s povrchovou úpravou PANI nebo PPy s isometrickým zinkem se kontaktní úhel v rozmezí OKPVP = 1 - 5 % neměnil a u všech kombinací byly naměřeny stejné výsledky. Ke změně kontaktního úhlu došlo pouze při porovnání glycerolu a vody, kde u glycerolu byly naměřeny nižší hodnoty než u vody (glycerol - 76°, voda - 84°). Všechny naměřené hodnoty byly nižší než 90°, což značí smáčivost všech vzorků. Všechny vzorky u těchto kombinací měly oproti ostatním vzorkům hladký povrch bez viditelných nerovností a tím mohl být povrch nátěru lépe smáčivý. Vyšší úhel u vody tak mohl být způsoben rozdílnou hustotou vody a glycerolu.

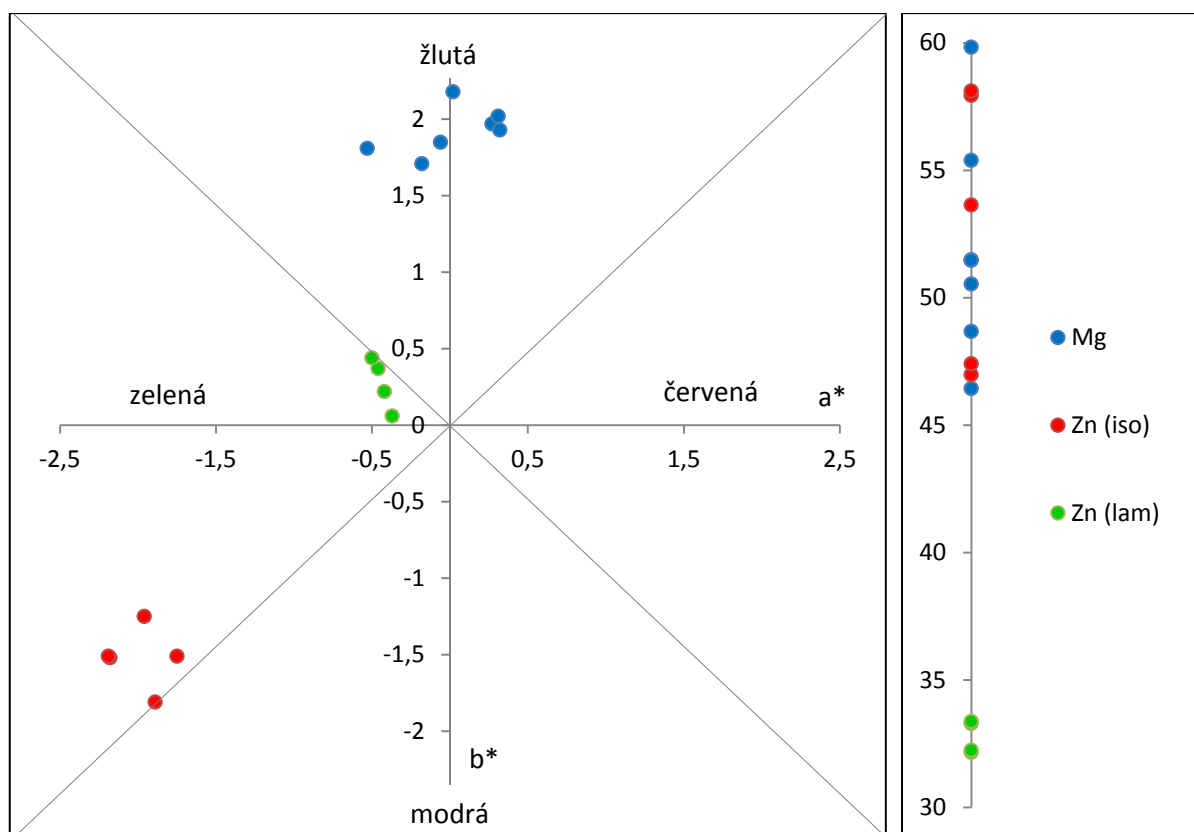
#### **Závěry patrné z měření smáčivosti pomocí kontaktního úhlu**

- Rozdíl mezi kontaktním úhlem glycerolu a vody byl maximálně 10°.
- Kontaktní úhel nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn<sub>iso</sub>, Zn<sub>lam</sub> a Mg/Zn<sub>iso</sub> byl vyšší než 90° (nesmáčivý povrch).
- Kontaktní úhel nátěrových filmů pigmentovaných Mg/Zn<sub>lam</sub>, MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> byl nižší než 90° (smáčivý povrch).
- Nátěrové filmy pigmentované isometrickým zinkem vykazovaly vyšší hodnoty kontaktního úhlu než nátěrové filmy pigmentované lamelárním zinkem.

#### **4.2.8 Diskuze stanovení barevnosti nátěrových filmů**

Při měření barevnosti na spektrofotometru byl použit systém CIE - LAB, ve kterém je prostor definován pomocí třech os, které jsou značeny L\*, a\*, b\*. L\* značí světelnost neboli jas, a\* a b\* jsou souřadnice barevnosti (a\* - změna mezi červenou a zelenou, b\* - změna mezi žlutou a modrou).

V grafu 11 jsou znázorněny hodnoty L\*, a\* a b\* vybraných nátěrových filmů.



**Graf 11** Hodnoty L\*, a\*, b\* u nátěrových filmů s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>

Vzorky pigmentované kovovým hořčíkem dosahovaly hodnot jasu L\* mezi 46,44 - 59,83 s klesajícím OKP<sub>Mg</sub>). U těchto vzorků byla naměřena sytost barvy dle souřadnic a\* a b\* ve žluté oblasti. Vzorky pigmentované isometrickým zinkem byly světlejší než vzorky pigmentované lamelárním zinkem. U obou typů zinku došlo s rostoucím OKP<sub>Zn</sub> ke zvýšení jasu na souřadnici L\* (Zn<sub>iso</sub>: ze 46,98 na 58,11 a Zn<sub>lam</sub>: z 32,17 na 33,38). Sytost barvy u isometrického a lamelárního zinku byla v zelené oblasti. Pouze u Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Zn</sub> = 30 %) byla sytost barvy v modré oblasti.

U kombinací hořčíku s isometrickým nebo lamelárním zinkem došlo s rostoucím OKP<sub>Mg</sub> ke zvýšení jasu. U Mg/Zn<sub>iso</sub> jas stoupl z hodnoty 47,2 na hodnotu 57,6. U Mg/Zn<sub>lam</sub> stoupl jas z hodnoty 33,06 na hodnotu 33,87. Porovnáním výsledků těchto kombinací bylo zjištěno, že kombinace s lamelárním zinkem byly tmavší než kombinace s isometrickým zinkem. Sytost barvy byla u všech těchto kombinací dle souřadnic a\* a b\* v zelené oblasti.

U kombinací sulfidů s povrchovou úpravou PANI nebo PPy došlo naopak k poklesu jasu s rostoucím OKP<sub>VP</sub>. Hodnoty jasu, tedy L\* byly u všech těchto kombinací v rozmezí 32,29 - 46,22. U těchto kombinací byla sytost barvy v zelené oblasti. Výjimkou byly pouze nátěry MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 3 a 5 %), kde byla sytost barvy v modré oblasti.

## Závěry z měření barevnosti

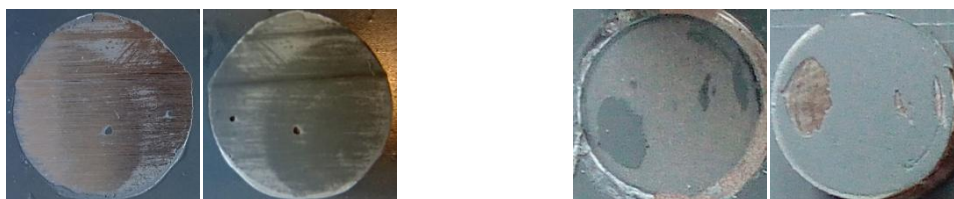
- Nejsvětlejší (nejvyšší jas) byly vzorky pigmentované hořčíkem.
- U nátěrových filmů pigmentovaných isometrickým zinkem byl naměřen vyšší jas než u pigmentovaných lamelárním zinkem (stejně tak u kombinací Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub>).
- U kombinací sulfidů (povrchově upravenými PANI nebo PPy) se Zn<sub>iso</sub> došlo se zvyšující se OKP<sub>VP</sub> k poklesu jasu.
- Všechny vzorky byly dle CIE - LAB naměřeny ve žluté (pouze Mg), zelené nebo modré oblasti.

### 4.2.9 Diskuze stanovení přilnavosti nátěrů pomocí odtrhové zkoušky

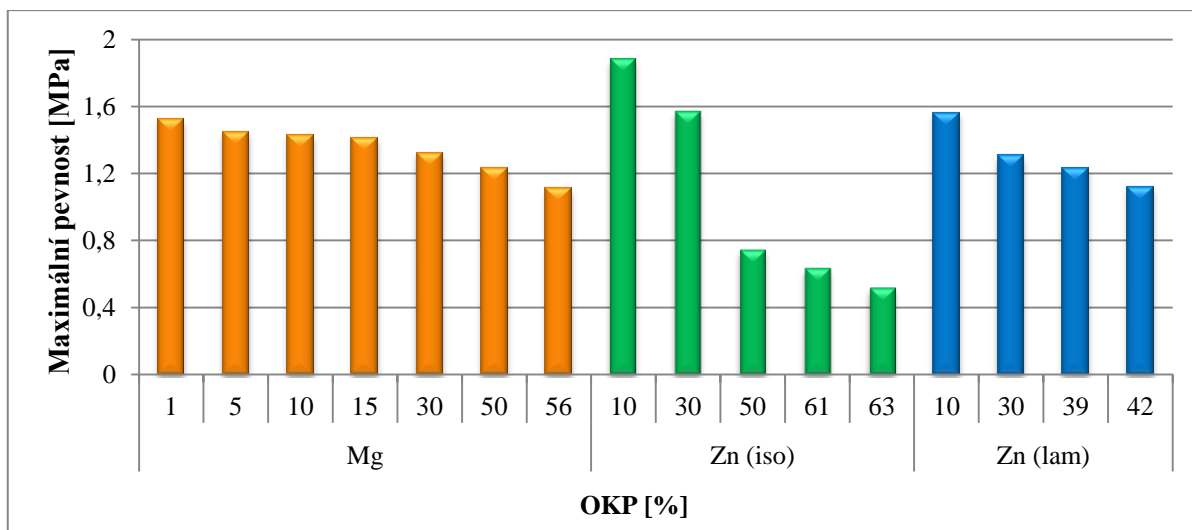
Odrhová zkouška přilnavosti byla provedena na všech nátěrových filmech speciálním odtrhovým přístrojem. Pomocí této zkoušky byly vyhodnoceny druhy lomu a maximální odtrhová pevnost.

- **Odrhová zkouška přilnavosti organických povlaků po vysušení**

Při odtrhové zkoušce přilnavosti byl u většiny vzorků pozorován kohezní lom ve vrstvě nátěru a lom mezi nátěrem a lepidlem. Výjimkou byly kombinace sulfidů s povrchovou úpravou PANI nebo PPy, kde byl pozorován i lom mezi nátěrem a kovovým podkladem.

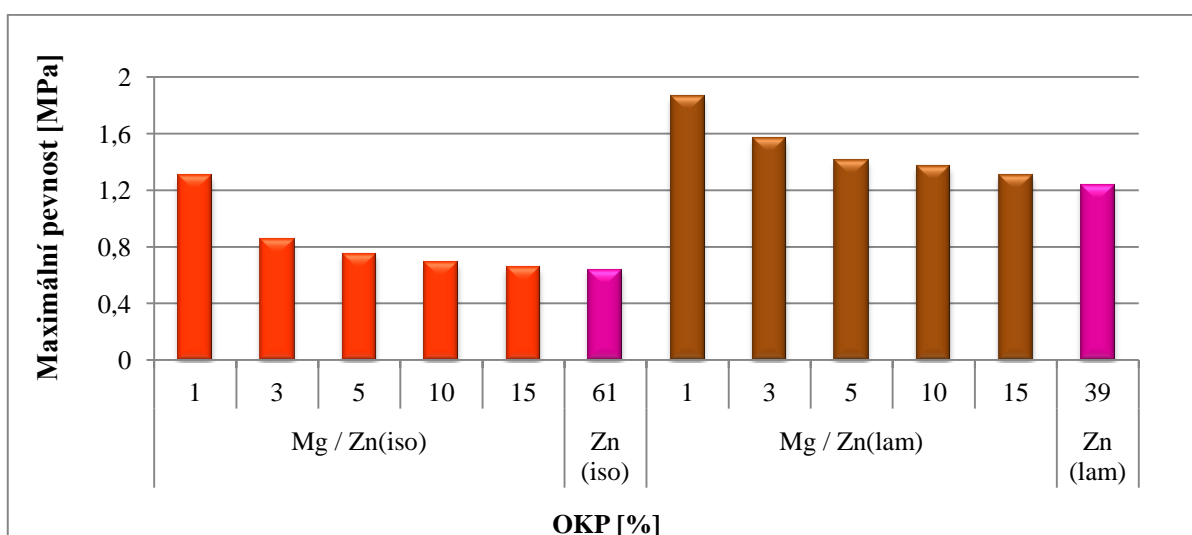


**Obrázek 26** Nejlepší výsledek (vlevo): WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 5 %) a nejhorší výsledek (vpravo): Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Zn</sub> = 63 %) při odtrhové zkoušce přilnavosti



**Graf 12** Odrhová zkouška přilnavosti u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn<sub>iso</sub> nebo Zn<sub>lam</sub>

U nátěrových filmů pigmentovaných hořčíkem, isometrickým zinkem nebo lamelárním zinkem došlo s rostoucí OKP ke snížení maximální pevnosti při odtrhové zkoušce přilnavosti. V případě nátěrů pigmentovaných Mg se maximální pevnost pohybovala v rozmezí 1,11 - 1,52 MPa. U nátěrů pigmentovaných Zn<sub>iso</sub> byla maximální odtrhová pevnost v rozmezí 0,52 - 1,88 MPa a u nátěrů pigmentovaných Zn<sub>lam</sub> byla v rozmezí 1,12 - 1,56 MPa. Srovnávací nátěr Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 % dosáhl nižší hodnoty maximální pevnosti (0,64 MPa) než srovnávací nátěr Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 %, kde byla hodnota 1,23 MPa (Graf 12).

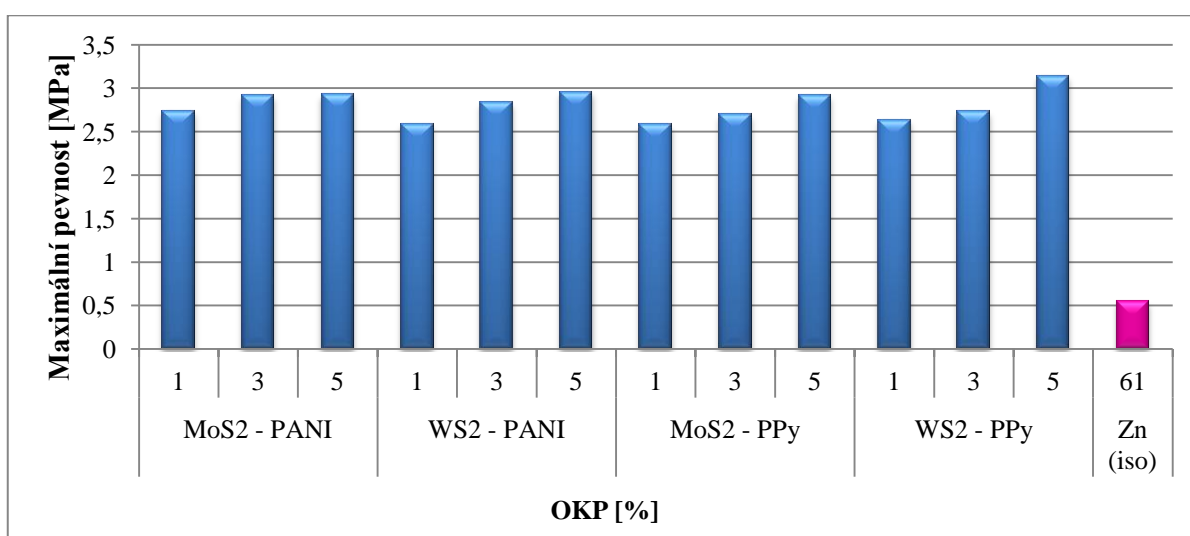


**Graf 13** Odrhová zkouška přilnavosti u nátěrových filmů s obsahem Mg / Zn<sub>iso</sub> nebo Mg / Zn<sub>lam</sub>

U nátěrových filmů s obsahem Mg / Zn<sub>iso</sub> byla maximální pevnost v rozmezí 0,65 - 1,31 MPa a dosahovala tak vyšších hodnot v porovnání se srovnávacím nátěrem (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 %), u kterého byla naměřena hodnota 0,64 MPa.

U nátěrových filmů s obsahem Mg / Zn<sub>lam</sub> byly hodnoty maximální pevnosti (1,3 - 1,86 MPa) vyšší v porovnání se srovnávacím nátěrem (Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 %), který dosáhl hodnoty 1,23 MPa.

Porovnáním nátěrových filmů s obsahem Mg / Zn<sub>iso</sub> a Mg / Zn<sub>lam</sub> bylo zjištěno, že maximální síla při odtrhové zkoušce přilnavosti byla vyšší u kombinací obsahující lamelární zinek (Graf 13).



**Graf 14** Odtrhová zkouška přilnavosti u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

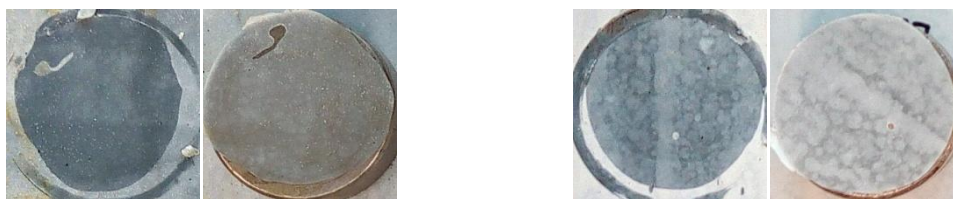
U nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> byla maximální pevnost porovnatelná. S rostoucím OKP<sub>VP</sub> došlo k růstu maximální síly potřebné k odtržení válečku (od 2,58 MPa do 3,14 MPa). Porovnáním se srovnávacím nátěrem (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 %) byla maximální síla u těchto vzorků 4 - 5x vyšší (Graf 14).

### Závěry patrné z odtrhové zkoušky přilnavosti

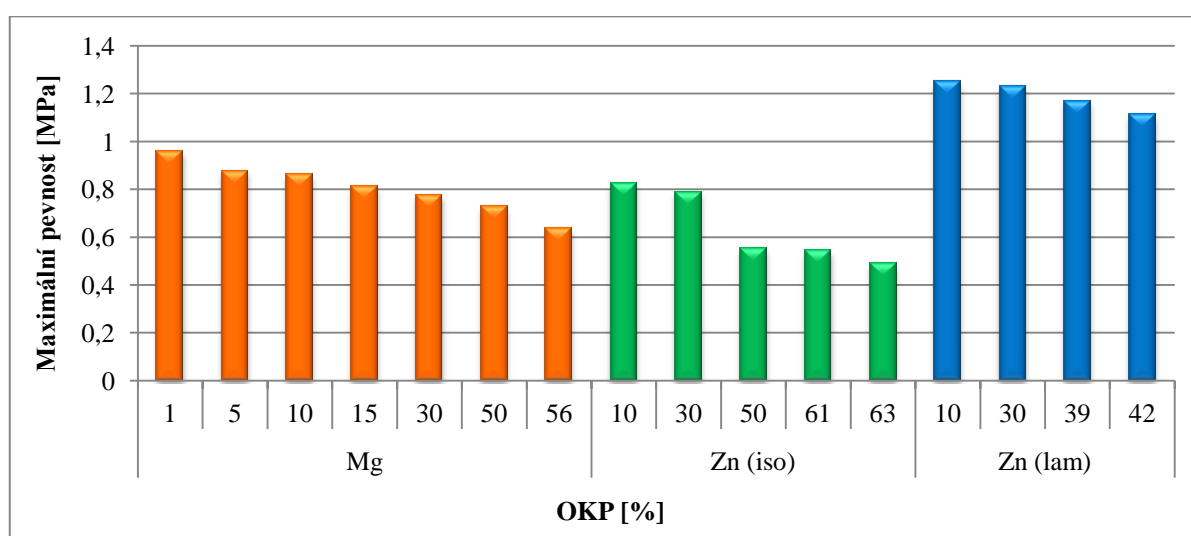
- Nejvyšší přilnavost byla naměřena u WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>VP</sub> = 5 % (3,143 MPa).
- Nejnižší přilnavost byla naměřena u Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 63 % (0,52 MPa).
- U nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn<sub>iso</sub>, Zn<sub>lam</sub> a jejich kombinací byl pozorován pokles přilnavosti s rostoucí OKP.

- U kombinací sulfidů s isometrickým zinkem došlo k nárůstu přilnavosti se zvyšující se OKP.
- U všech kombinací byla pozorována vyšší přilnavost při odtrhové zkoušce než u srovnávacích nátěrových filmů.
- **Odtrhová zkouška přilnavosti organických povlaků po expozici v SO<sub>2</sub>**

Odtrhová zkouška přilnavosti byla provedena u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn<sub>iso</sub>, Zn<sub>lam</sub>, Mg/Zn<sub>iso</sub> a Mg/Zn<sub>lam</sub> po 1680 hodinách expozice v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub>. U kombinací sulfidů s isometrickým zinkem tato zkouška nebyla provedena z důvodů ponechání vzorků na delší dobu expozice. U všech vzorků došlo ke snížení odtrhové pevnosti po expozici. K lomu mezi nátěrem a kovovým podkladem došlo pouze u nátěrového filmu s obsahem hořčíku (OKP<sub>Mg</sub> = 50 a 56 %) a u nátěrového filmu s obsahem isometrického zinku (OKP<sub>Zn</sub> = 50 %). Ke koheznímu lomu ve vrstvě nátěru došlo u všech vzorků s výjimkou opět u Mg (OKP<sub>Mg</sub> = 50 a 56 %) a Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Zn</sub> = 50 %). K lomu mezi nátěrem a lepidlem nedošlo pouze u kombinace Mg/Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3 a 5 %).



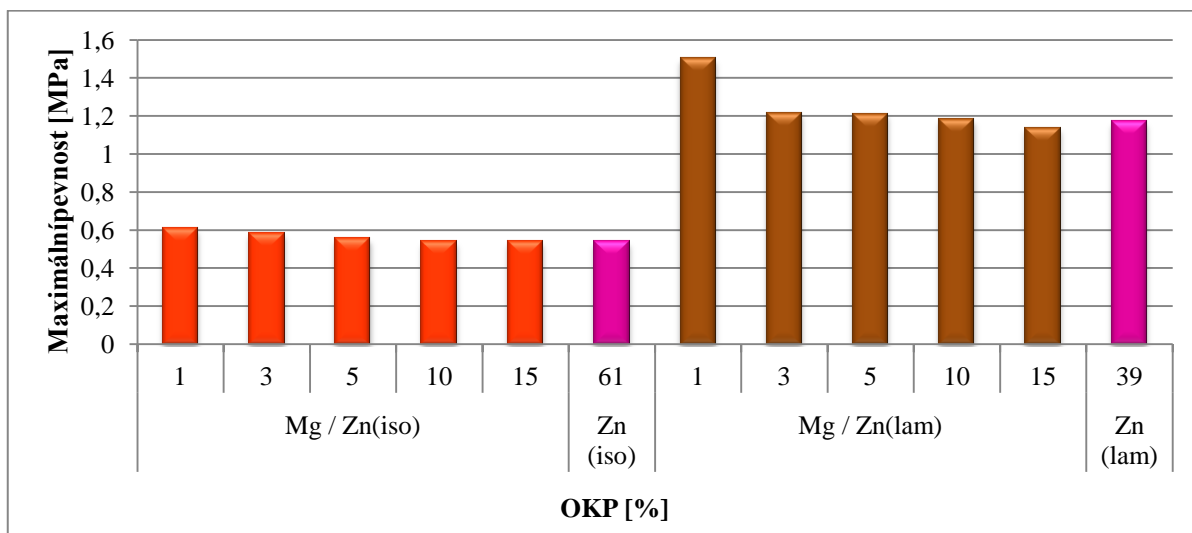
**Obrázek 27** Nejlepší výsledek (vlevo): Mg/Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 1 %) a nejhorší výsledek (vpravo): Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Zn</sub> = 63 %) při odtrhové zkoušce přilnavosti po expozici v SO<sub>2</sub>



**Graf 15** Odtrhová zkouška přilnavosti po expozici v SO<sub>2</sub> u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn<sub>iso</sub> nebo Zn<sub>lam</sub>



U všech vzorků došlo ke snížení maximální pevnosti při odtrhové zkoušce přilnavosti s rostoucí OKP. V případě nátěrů pigmentovaných kovovým hořčíkem maximální pevnost klesala s  $OKP_{Mg}$  z 0,96 MPa na 0,63 MPa. U nátěrů pigmentovaných isometrickým zinkem klesala maximální odtrhová pevnost z 0,82 MPa na 0,49 MPa a u nátěrů pigmentovaných lamelárním zinkem z 1,25 MPa na 1,11 MPa. Srovnávací nátěr  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$  dosáhl nižší hodnoty maximální pevnosti než srovnávací nátěr  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39 \%$  (Graf 15).



**Graf 16** Odtrhová zkouška přilnavosti po expozici v  $SO_2$  u nátěrových filmů s obsahem  $Mg/Zn_{iso}$  nebo  $Mg/Zn_{lam}$

U kombinací  $Mg / Zn_{iso}$  maximální pevnost klesala s rostoucí  $OKP_{Mg}$  z 0,61 na 0,54 MPa. Porovnáním se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$ ), u kterého byla naměřena maximální síla 0,54 MPa, byly hodnoty stejné nebo nepatrně vyšší.

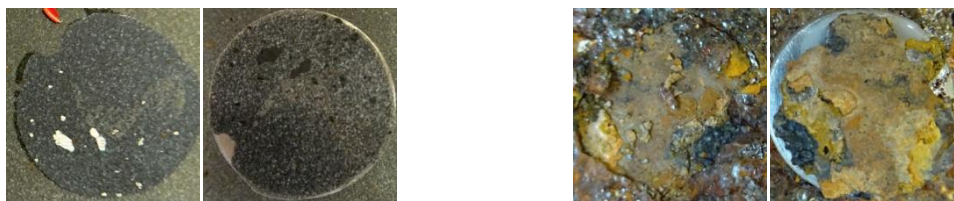
U kombinací  $Mg / Zn_{lam}$  dosahovaly hodnoty maximální pevnosti až 1,5 MPa, což bylo nejvíc se všech vzorků po expozici v  $SO_2$ . Porovnáním se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39 \%$ ), který dosáhl hodnoty maximální pevnosti 1,17 MPa, byly hodnoty u těchto kombinací vyšší s výjimkou nátěru při  $OKP_{Mg} = 15 \%$ , kde byla hodnota maximální síly nepatrně nižší (Graf 16).

### Závěry patrné z odtrhové zkoušky přilnavosti po expozici v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem $SO_2$

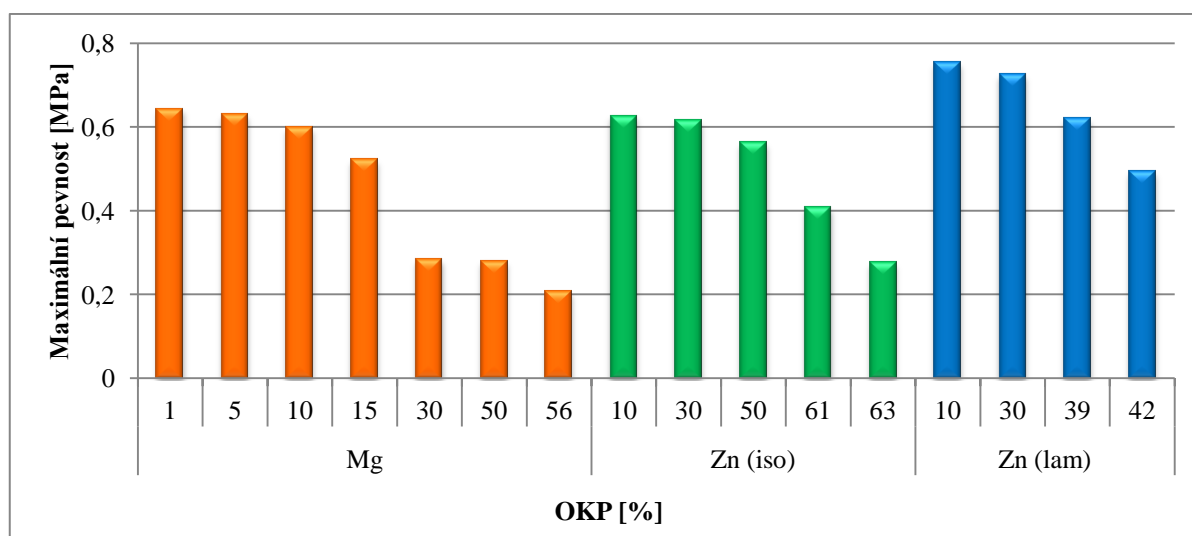
- Nejvyšší přilnavost byla pozorována u kombinace  $Mg/Zn_{lam}$  při  $OKP_{Mg} = 1 \%$ , kde byla naměřena maximální odtrhová pevnost 1,5 MPa.
- Nejnižší maximální odtrhová síla (0,49 MPa) byla naměřena u  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 63 \%$ .

- U všech měřených vzorků došlo k poklesu přilnavosti s rostoucí OKP.
- Oproti měření přilnavosti odtrhovou zkouškou u nátěrových filmů bez expozice došlo po expozici v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub> k poklesu maximální odtrhové pevnosti.
- **Odtrhová zkouška přilnavosti organických povlaků po expozici v (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a NaCl**

Odtrhová zkouška přilnavosti byla provedena po 2160 hodinách expozice v atmosféře s obsahem (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a NaCl. U všech vzorků došlo, stejně jako po expozici v SO<sub>2</sub>, ke snížení odtrhové pevnosti po expozici. U všech vzorků došlo ke koheznímu lomu ve vrstvě nátěru. Výjimkou byl pouze nátěrový film pigmentovaný isometrickým zinkem (OKP<sub>Zn</sub> = 63 %), kde ke koheznímu lomu ve vrstvě nátěru nedošlo. K lomu mezi nátěrem a lepidlem nedošlo u nátěrového filmu pigmentového hořčíkem (OKP<sub>Mg</sub> = 10 a 50 %) a u kombinace Mg/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 1 %). Na obrázku 28 jsou zobrazeny výsledky nejvyšší a nejnižší maximální síly z odtrhové zkoušky přilnavosti.



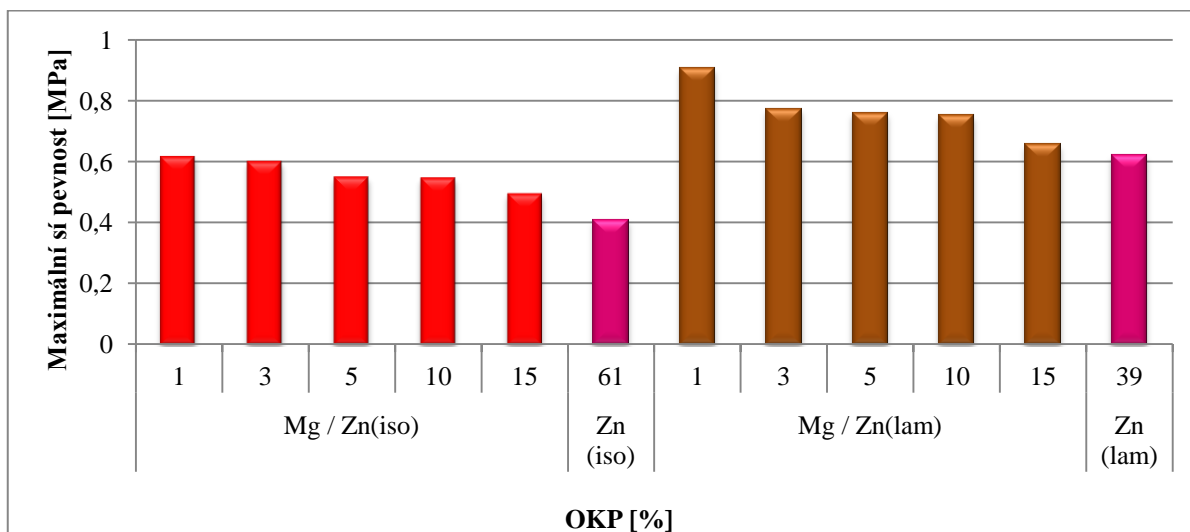
**Obrázek 28** Nejlepší výsledek (vlevo): Mg/Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 1 %) a nejhorší výsledek (vpravo): Mg (OKP<sub>Mg</sub> = 56 %) při odtrhové zkoušce přilnavosti po expozici v (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a NaCl



**Graf 17** Odtrhová zkouška přilnavosti po expozici v (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a NaCl u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn<sub>iso</sub> nebo Zn<sub>lam</sub>

U všech nátěrových filmů pigmentovaných kovovým hořčíkem, isometrickým zinkem nebo lamelárním zinkem došlo k poklesu maximální síly potřebné k odtrhu zkušebního válečku s rostoucí OKP (Graf 17).

U hořčíku byly naměřeny hodnoty maximální odtrhové pevnosti v rozmezí 0,21 - 0,64 MPa s klesající OKP<sub>Mg</sub>. U isometrického zinku byly hodnoty maximální odtrhové síly v rozmezí 0,41 - 0,63 MPa s klesajícím OKP<sub>Zn</sub>. Lamelární zinek dosahoval v porovnání s hořčíkem a isometrickým zinkem při OKP<sub>Zn</sub> = 10 a 30 % nejvyšších hodnot (0,73 a 0,75 MPa). Porovnáním srovnávacích nátěrů (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 % a Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 %) byla maximální odtrhová síla opět vyšší u lamelárního zinku (0,62 MPa) než u isometrického (0,41 MPa).



**Graf 18** Odtrhová zkouška přilnavosti po expozici v  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  u nátěrových filmů s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> nebo Mg/Zn<sub>lam</sub>

K poklesu maximální odtrhové síly s rostoucím OKP došlo i u kombinací Mg / Zn<sub>iso</sub> (z 0,61 na 0,49 MPa) a Mg / Zn<sub>lam</sub> (z 0,9 na 0,66 MPa). Porovnáním těchto hodnot se srovnávacími nátěry (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 % a Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 %) je zřejmé, že tyto kombinace dosahovaly vyšších hodnot maximální odtrhové síly než právě srovnávací vzorky při všech OKP<sub>Mg</sub> (Graf 18).

## Závěry patrné z odtrhové zkoušky přilnavosti

- U odtrhové zkoušky přilnavosti po expozici v  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  byl pozorován pokles přilnavosti oproti nátěrovým filmům bez expozice i oproti nátěrovým filmům po expozici v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem  $\text{SO}_2$ .
- Nejvyšší přilnavost (0,9 MPa) byla pozorována u Mg/Zn<sub>lam</sub> při  $\text{OKP}_{\text{Mg}} = 1 \%$ .
- Nejnižší přilnavost (0,21 MPa) byla pozorována u nátěru pigmentového Mg při  $\text{OKP}_{\text{Mg}} = 56 \%$ .

### 4.2.10 Diskuze stanovení fyzikálně-mechanických zkoušek

Všechny vzorky byly podrobeny zkouškám mechanické odolnosti. Mezi tyto zkoušky patří stanovení odolnosti při deformaci úderem pomocí padajícího závaží, stanovení odolnosti při ohybu na válcovém trnu, stanovení odolnosti proti hloubení v Erichsenově přístroji a stanovení přilnavosti mřížkovou metodou. Jelikož při normovaných zkouškách nebyly výsledky rozdílné, byly použity modifikované postupy. Proto nebude uvedena celková fyzikálně-mechanická odolnost. Výsledky těchto zkoušek jsou uvedeny v kapitole 3.2.12.

- **Úder**

Zkouška byla provedena z rubové strany ocelového panelu v místech, kde byla z lícové strany na nátěrovém filmu vytvořena mřížka pomocí speciálního řezného nástroje s rozstupem čepelí 2 mm. Výška padajícího závaží byla určena na 20, 60 a 100 cm. Byly hodnoceny defekty na nátěrovém filmu při těchto výškách pomocí písmen F, M, MD a D, kde F (few) značí nejnižší četnost prasklin na povrchu nátěrového filmu, písmena M a MD značí vyšší četnost a písmeno D nejvyšší četnost prasklin, kde docházelo například i k odlupování nebo odchlípnutí nátěrového filmu.

U nátěrových filmů pigmentovaných kovovým hořčíkem nedošlo u žádného  $\text{OKP}_{\text{Mg}}$  k viditelnému mechanickému poškození nátěrového filmu. U nátěrových filmů pigmentovaných isometrickým zinkem došlo při výšce 20, 60 i 100 cm k postupnému zhoršení odolnosti proti úderu padajícími závažími s rostoucím  $\text{OKP}_{\text{Zn}}$  až na hodnotící písmeno D (odloupnutí nátěru). U lamelárním zinkem pigmentovaných NH došlo k prasknutí nátěru pouze při výšce padajícího závaží 100 cm, kde došlo také ke zhoršení odolnosti s rostoucím  $\text{OKP}_{\text{Zn}}$  (z F na M).

U kombinací Mg / Zn<sub>iso</sub> došlo k porušení nátěru při všech výškách padajícího závaží a s rostoucím  $\text{OKP}_{\text{Mg}}$  došlo k většímu poškození (hodnocení od M do D). U kombinací

Mg / Zn<sub>lam</sub> došlo k poškození nátěrového filmu pouze při pádu závaží z výšky 60 a 100 cm, kde byly praskliny hodnoceny stupněm F a M.

U kombinací sulfidů pokrytými vodivými polymery s isometrickým zinkem došlo s rostoucím OKP<sub>VP</sub> také ke zhoršení odolnosti proti úderu. Maximální stupeň poškození byl však u těchto vzorků hodnocen stupněm MD.

- **Ohyb**

Zkouška byla provedena pomocí trnů o průměru 2, 5 a 7 mm. U všech vzorků byl nejprve proveden ohyb přes trn s průměrem 5 mm. Pokud nenastala na nátěrovém filmu žádná změna, byl použit trn o průměru 2 mm. Pokud byly při ohybu na trnu o průměru 5 mm pozorovány praskliny, byl použit trn o průměru 7 mm. Nižší průměr než 2 mm a vyšší než 7 mm nebyl u žádného vzorku potřeba.

U většiny vzorků došlo k popraskání nátěrového filmu až při průměru trnu 2 mm. Výjimkou byly nátěrové filmy pigmentované isometrickým zinkem (OKP<sub>Zn</sub> = 10, 30, 50, 61 a 63 %), u kterých došlo k popraskání i při použití trnu o průměru 7 mm (při vyšším průměru než 7 mm již k popraskání nedošlo). Další výjimkou byly nátěrové filmy pigmentované hořčíkem a doplněné isometrickým zinkem (OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 5, 10 a 15 %), u kterých došlo k porušení nátěru při průměru 5 mm, ale už ne při 7 mm.

- **Hloubení**

U všech vzorků byl nejprve na nátěrovém filmu vytvořen řez ve tvaru kříže. Poté byly vzorky podrobeny zkoušce odolnosti při průniku tělesa právě v místě řezu. Jako výsledek byly uvedeny hodnoty hloubení v mm, při kterém došlo k porušení nátěrového filmu.

Nejvyšší odolnost vůči hloubení (> 10 mm) vykazovaly nátěrové filmy pigmentované hořčíkem při všech OKP<sub>Mg</sub>, lamelárním zinkem při všech OKP<sub>Zn</sub> a nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI, WS<sub>2</sub> - PANI, MoS<sub>2</sub> - PPy a WS<sub>2</sub> - PPy také při všech OKP<sub>VP</sub>.

Nejnižší odolnost vůči hloubení vykazovaly nátěrové filmy pigmentované isometrickým zinkem, kde odolnost s rostoucím OKP<sub>Zn</sub> klesala (od 10 mm do 3,97 mm). To mohlo být způsobeno tvarem částic pigmentu a malého množství pojiva mezi jednotlivými částicemi. Horší odolnost měly i nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn<sub>iso</sub>, kde odolnost s rostoucím OKP<sub>Mg</sub> stoupala (od 4,72 mm do 8,33 mm).

- **Přilnavost**

Zkouška byla provedena pomocí speciálního řezného nástroje s rozestupem čepelí nejprve 2 mm. Avšak zde nedošlo k žádným změnám na povrchu nátěrového filmu. Proto byl použit speciální řezný nástroj s rozestupem čepelí 1 mm.

Většina vzorků vykazovala dobrou přilnavost k ocelovému podkladu s hodnocením podle stupnice 0 nebo 1. Stupeň 1 byl hodnocen při vyšších koncentracích u nátěrových filmů s obsahem kovového hořčíku, isometrického zinku nebo lamelárního zinku. Výjimkou byly nátěrové filmy Mg / Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 10 a 15 %), kde měla přilnavost stupeň 2.

### **Závěry patrné z fyzikálně-mechanických zkoušek**

- Při úderu bylo největší poškození nátěrového filmu pozorováno při výšce padajícího závaží ze 100 cm. Této výšce odolaly pouze nátěrové filmy pigmentované kovovým hořčíkem.
- Při ohybu došlo u všech nátěrových filmů k popraskání při průměru trnu 2 mm. Výjimkou byly pouze nátěrové filmy pigmentované Zn<sub>iso</sub>, kde došlo k popraskání při průměru trnu 7 mm a nátěrové filmy pigmentované Mg/Zn<sub>iso</sub>, kde došlo k popraskání nátěru při průměru trnu 5 mm.
- Při hloubení došlo k poškození nátěru pouze u NF s obsahem Zn<sub>iso</sub>, Mg/Zn<sub>iso</sub> (všechna OKP) a Mg/Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Zn</sub> = 1 a 3 %).
- Stupeň přilnavosti pomocí mřížkové metody byl u všech vzorků vyhodnocen stupněm 0, 1 nebo 2.

## **4.3 Zrychlené korozní zkoušky**

V kapitole 3.3.1 byly diskutovány výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy. V kapitole 3.3.2 byly diskutovány výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub>.

### **4.3.1 Diskuze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy**

- **dvouvrstvé nátěrové filmy**

Nátěrové filmy byly vystaveny působení solné mlhy po dobu 720 hod. Poté byly vyhodnoceny puchýře v ploše a řezu, a nakonec stupeň podkorodování v ploše a řezu.

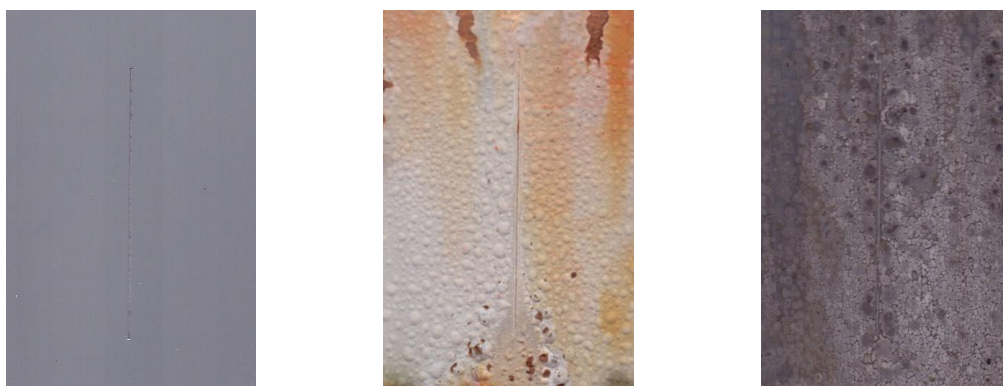
Puchýře v řezu byly sledovány u všech nátěrových filmů. Puchýře na povrchu nátěru nebyly pozorovány pouze u Mg pigmentovaných nátěrů (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 5, 10 a 15 %), MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (při OKP<sub>VP</sub> = 1%). U všech nátěrů

byla po expozici v solné mlze velice špatná přilnavost, hodnocená stupněm 5. Po odstranění nátěrových filmů byla u všech panelů vyhodnocena koroze v řezu a stupeň prokorodování na ocelový podklad. Koroze v řezu byla viditelná na všech panelech v rozmezí 0,1 - 1,5 mm. Prokorodování na ocelový podklad nebylo zjištěno pouze u Mg pigmentovaných nátěrů při  $OKP_{Mg} = 1, 5, 10, 15, 30$  a 50 %.

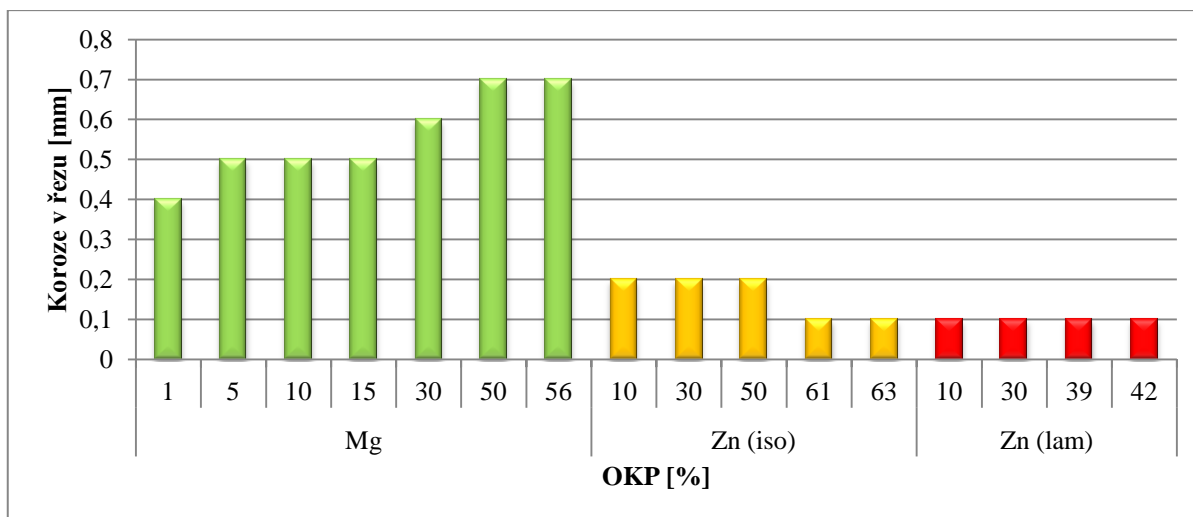
Na obrázcích 29 a 30 jsou zobrazeny snímky srovnávacích nátěrů před expozicí, po expozici v NaCl a po odstranění nátěrového filmu. V grafech 25 - 33 jsou znázorněny výsledky vybraných korozních projevů a v grafu 34 je celková antikoroziční účinnost.



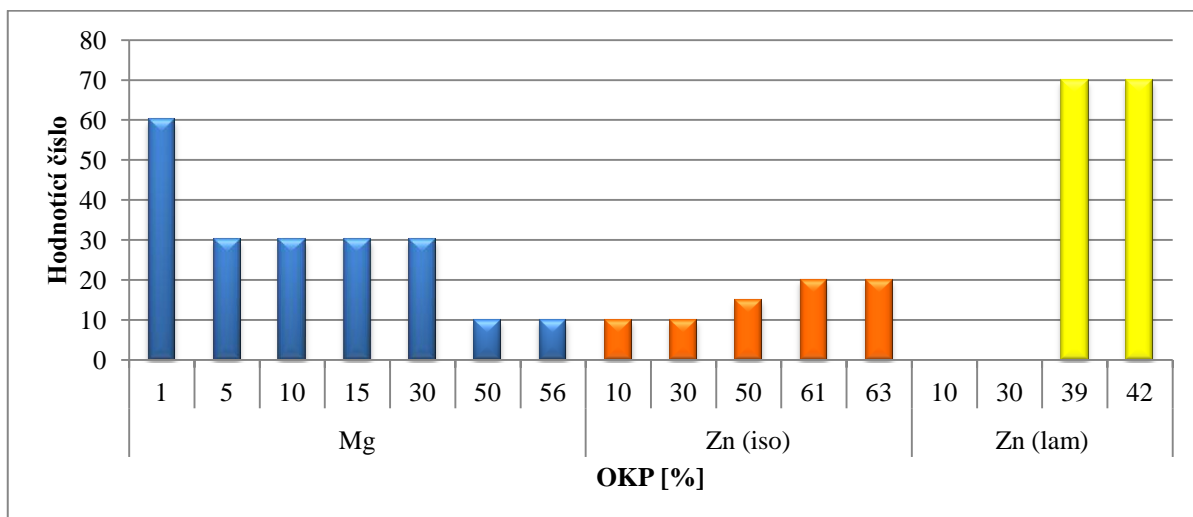
**Obrázek 29** Snímky nátěrového filmu s obsahem  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61$  % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu



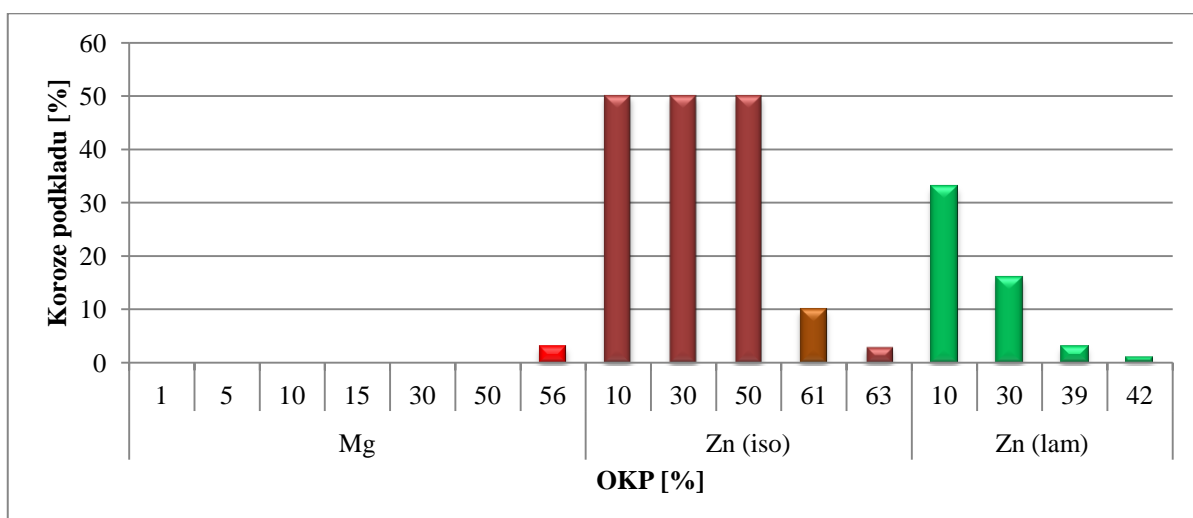
**Obrázek 30** Snímky nátěrového filmu s obsahem  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39$  % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu



**Graf 19** Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn<sub>iso</sub> nebo Zn<sub>lam</sub>



**Graf 20** Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn<sub>iso</sub> nebo Zn<sub>lam</sub>



**Graf 21** Koroze podkladu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg, Zn<sub>iso</sub> nebo Zn<sub>lam</sub>

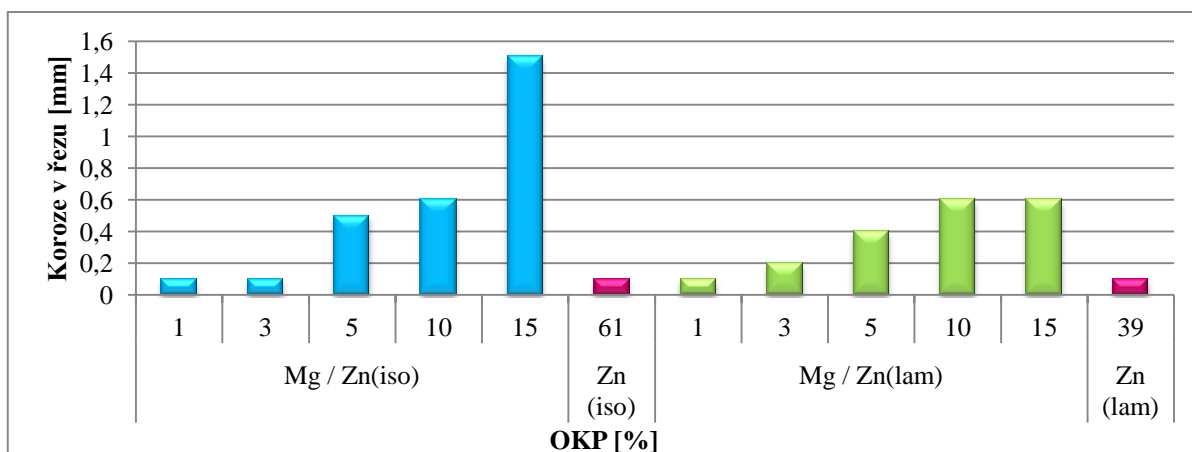


Koroze v řezu (

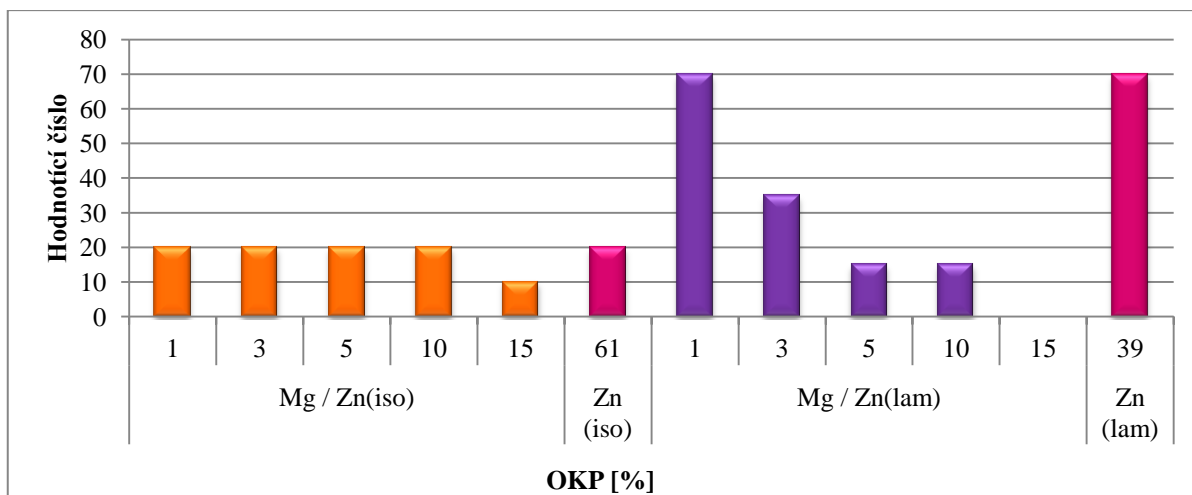
Graf 19) po odstranění nátěrového filmu byla pozorována u všech nátěrových filmů při všech OKP. U hořčičkem pigmentovaných nátěrů byla koroze vyšší než u obou typů zinků a s rostoucím  $OKP_{Mg}$  se zvyšovala (od 0,4 mm do 0,7 mm). Porovnáním nátěrů pigmentovaných isometrickým zinkem a nátěrů pigmentovaných lamelárním zinkem bylo zjištěno, že u  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 10, 30$  a  $50\%$  byla koroze v řezu vyšší (0,2 mm) a při  $OKP_{Zn} = 61$  a  $63\%$  byla stejná jako u  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 10, 30, 39$  a  $42\%$  (0,1 mm).

Puchýře v řezu (Graf 20) byly sledovány u všech nátěrových filmů. U nátěrů pigmentovaných hořčičkem došlo ke zvýšení četnosti puchýřů v řezu s rostoucím  $OKP_{Mg}$ . Při  $OKP_{Mg} = 1\%$  byly pozorovány puchýře podle hodnotícího stupně 2F a při  $OKP_{Mg} = 56\%$  byly přítomny stejné puchýře, ale ve větší četnosti (hodnotící stupeň 2MD). U nátěrových filmů obsahující isometrický zinek rostla velikost puchýřů se snižujícím se  $OKP_{Zn}$ . Hodnotící stupeň při  $OKP_{Zn} = 10\%$  byl 2MD a při  $OKP_{Zn} = 63\%$  byl 6MD. To znamená, že s rostoucím  $OKP_{Zn}$  byly puchýře menší, ale četnost byla stejná. Na nátěrových filmech, které byly pigmentované lamelárním zinkem, se snižovala četnost puchýřů v řezu.

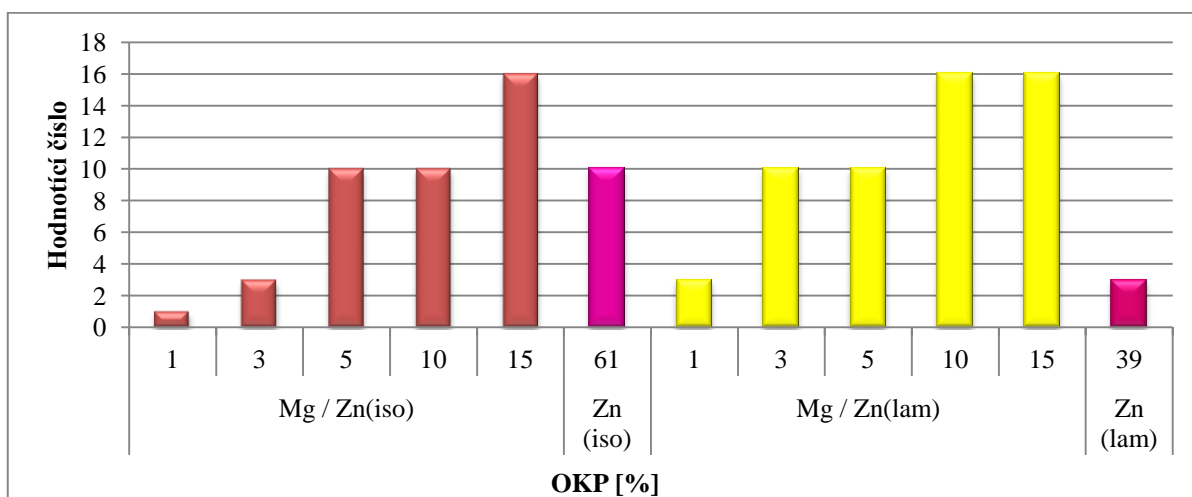
Koroze podkladu (Graf 21) nebyla pozorována pouze u Mg pigmentovaných nátěrů při  $OKP_{Mg} = 1, 5, 10, 15, 30$  a  $50\%$ . Při  $OKP_{Mg} = 56\%$  byl panel prokorodován na ocelový podklad ze 3%. U obou typů zinků klesala procenta prokorodování s rostoucím  $OKP_{Zn}$ . Nátěrový film s obsahem isometrického zinku byl při  $OKP_{Zn} = 10\%$  prokorodován na ocelový panel z 50% a při  $OKP_{Zn} = 63\%$  byla koroze pouze na 3% panelu. Nátěrový film obsahující lamelární zinek při  $OKP_{Zn} = 10\%$  byl prokorodován z 33% a při  $OKP_{Zn} = 42\%$  byla koroze pouze na 1% plochy panelu.



**Graf 22** Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn<sub>iso</sub> a Mg / Zn<sub>lam</sub>



**Graf 23** Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn<sub>iso</sub> a Mg / Zn<sub>lam</sub>



**Graf 24** Koroze podkladu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn<sub>iso</sub> a Mg / Zn<sub>lam</sub>

U nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek v kombinaci s hořčíkem, byla pozorována koroze v řezu při všech OKP<sub>Mg</sub>, kdy s rostoucím OKP<sub>Mg</sub> se tento korozní projev zvyšoval (od 0,1 mm do 1,5 mm). V porovnání se srovnávacím nátěrem (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> 61 %) bylo zjištěno, že při OKP<sub>Mg</sub> = 1 a 3 % byla koroze v řezu stejná a při OKP<sub>Mg</sub> = 5, 10 a 15 % byla koroze v řezu vyšší o 0,4 - 1,4 mm.

U nátěrových filmů, které obsahovaly lamelární zinek v kombinaci s hořčíkem, byla také pozorována koroze v řezu, která se s rostoucím OKP<sub>Mg</sub> zvyšovala (od 0,1 mm do 0,6 mm). V porovnání se srovnávacím nátěrem (Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 %) bylo zjištěno, že pouze při OKP<sub>Mg</sub> = 1 % byla koroze v řezu stejná a při OKP<sub>Mg</sub> = 3, 5, 10 a 15 % byla koroze v řezu vyšší o 0,1 - 0,4 mm (Graf 22).

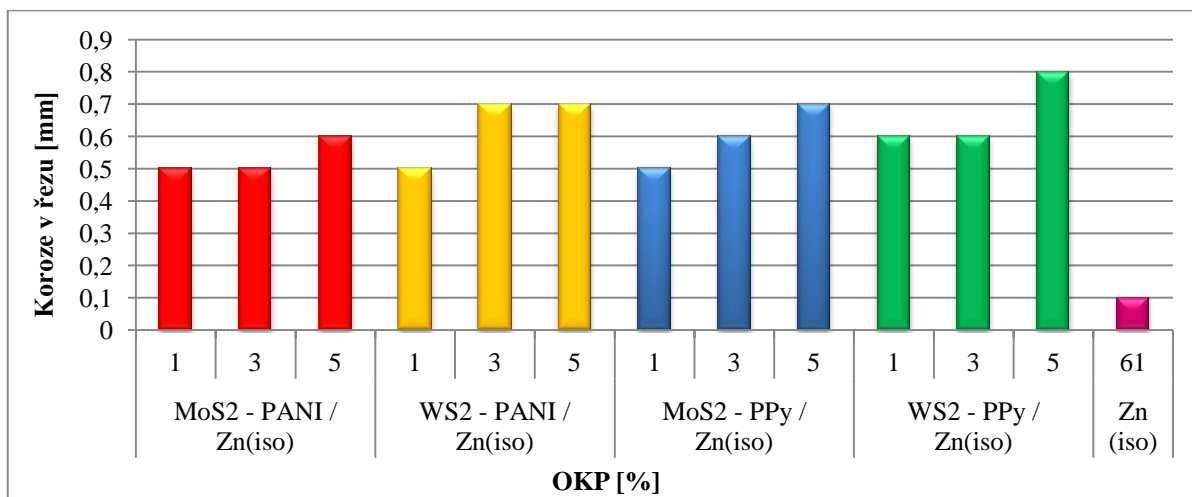
Při hodnocení puchýřů v řezu (Graf 23) byla kombinací Mg / Zn<sub>iso</sub> zjištěna stejná hodnota hodnotícího čísla jako u srovnávacího nátěru (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 %). Výjimkou byl

pouze nátěrový film při  $OKP_{Mg} = 15 \%$ , kde hodnotící číslo bylo nižší než u srovnávacího nátěru. To znamená, že při tomto  $OKP_{Mg}$  se na nátěru vyskytovaly větší puchýře v řezu (hodnotící stupeň 2MD).

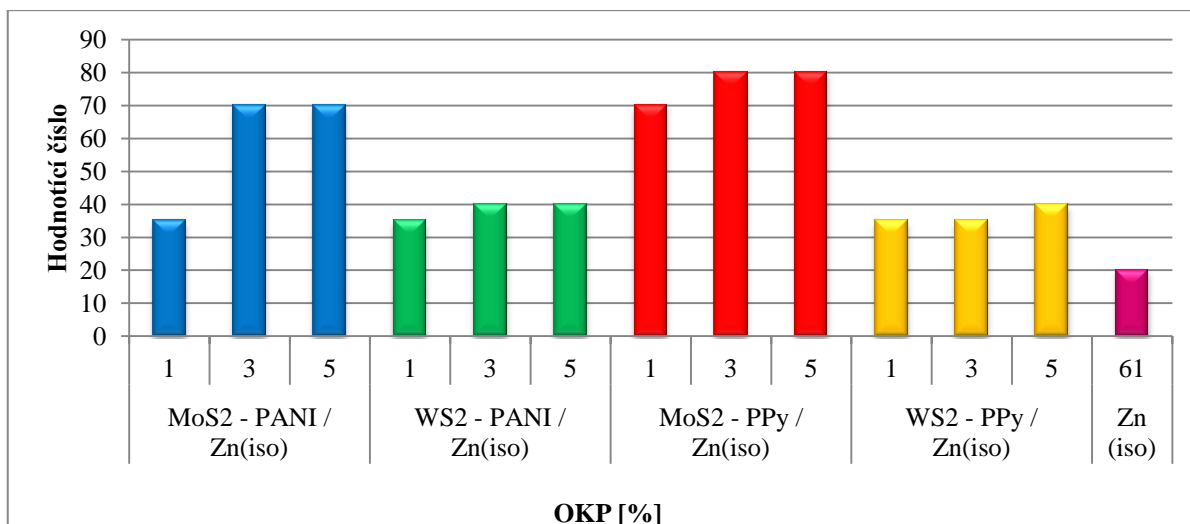
U kombinací  $Mg / Zn_{lam}$  byla při hodnocení puchýřů v řezu zjištěna stejná hodnota hodnotícího čísla jako u srovnávacího nátěru ( $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39 \%$ ) pouze u nátěrového filmu s obsahem  $Mg / Zn_{lam}$  při  $OKP_{Mg} = 1 \%$  (hodnotící stupeň 4F). U ostatních nátěrových filmů byly pozorovány puchýře v řezu o stejné velikosti v porovnání se srovnávacím nátěrem, ale s větší četností s rostoucím  $OKP_{Mg}$  (hodnotící stupeň 4M, 4MD a 4D).

U kombinací  $Mg / Zn_{iso}$  bylo prokorodování na ocelový podklad vyšší s rostoucím  $OKP_{Mg}$ , kdy při  $OKP_{Mg}$  bylo sledováno pouze z 1 % a při  $OKP_{Mg} = 15 \%$  byl panel zkorodován z 16 %.  $OKP_{Mg} = 5$  a 10 % byly porovnatelné se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$ ), kde byla sledována koroze panelu na 10 % plochy.

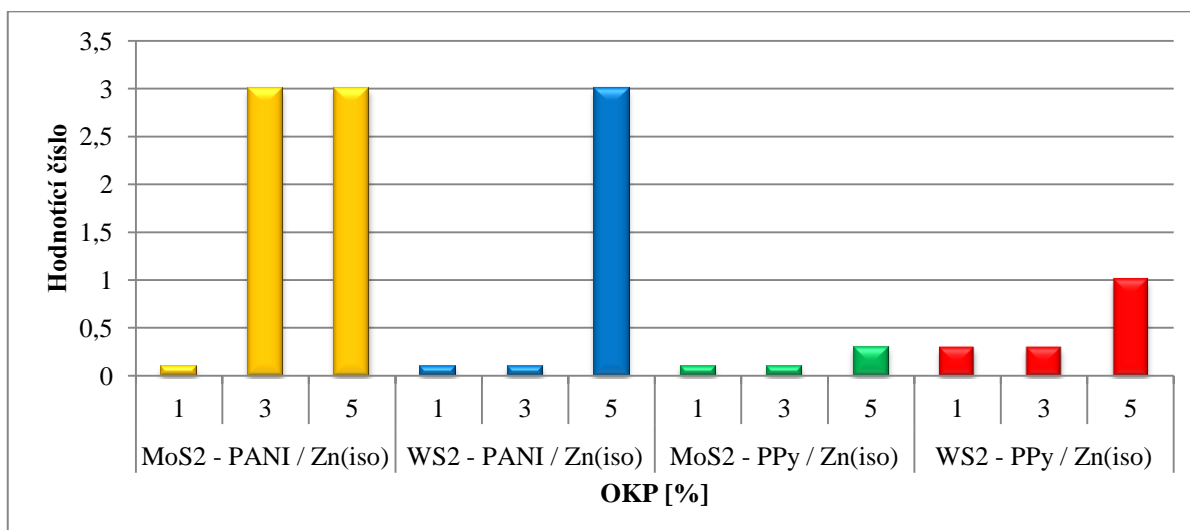
Prokorodování na ocelový podklad u kombinací  $Mg / Zn_{lam}$  se s rostoucím  $OKP_{Mg}$  zvyšovalo.  $OKP_{Mg} = 1 \%$  byla porovnatelná se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39 \%$ ), kde byl panel prokorodován pouze z 3 %. Při  $OKP_{Mg} = 3, 5, 10$  a 15 % byla sledována vyšší koroze podkladu než u srovnávacího nátěru, kde nátěry při  $OKP_{Mg} = 3$  a 5 % byly prokorodovány na ocelový podklad z 10 % a nátěry při  $OKP_{Mg} = 10$  a 15 % byly prokorodovány na ocelový podklad z 16 % (Graf 24).



**Graf 25** Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných  $MoS_2 - PANI/Zn_{iso}$ ,  $WS_2 - PANI/Zn_{iso}$ ,  $MoS_2 - PPy/Zn_{iso}$  a  $WS_2 - PPy/Zn_{iso}$



**Graf 26** Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>



**Graf 27** Koroze podkladu u nátěrových filmů pigmentovaných MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub>

Koroze v řezu u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub> - PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> a WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> byla v rozmezí 0,5 - 0,8 mm a rostla se vzrůstajícím OKP<sub>VP</sub>. Nejvyšší hodnoty 0,8 mm dosáhl nátěrový film WS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>VP</sub> = 5 %. V porovnání se srovnávacím nátěrem (Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 %) byla koroze v řezu o 0,4 - 0,7 mm vyšší (Graf 25).

Při hodnocení puchýřů v řezu (Graf 26) došlo u všech vzorků ke zvýšení četnosti nebo k růstu puchýřů s rostoucím OKP<sub>VP</sub> (rozmezí hodnotícího čísla 6F - 4M). Nejnižší četnost a nejmenší velikost puchýřů byla pozorována u MoS<sub>2</sub> - PPy / Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>VP</sub> = 3 a 5 %, kde bylo určeno hodnotící číslo 6F. Porovnáním se srovnávacím nátěrem (Zn<sub>iso</sub>

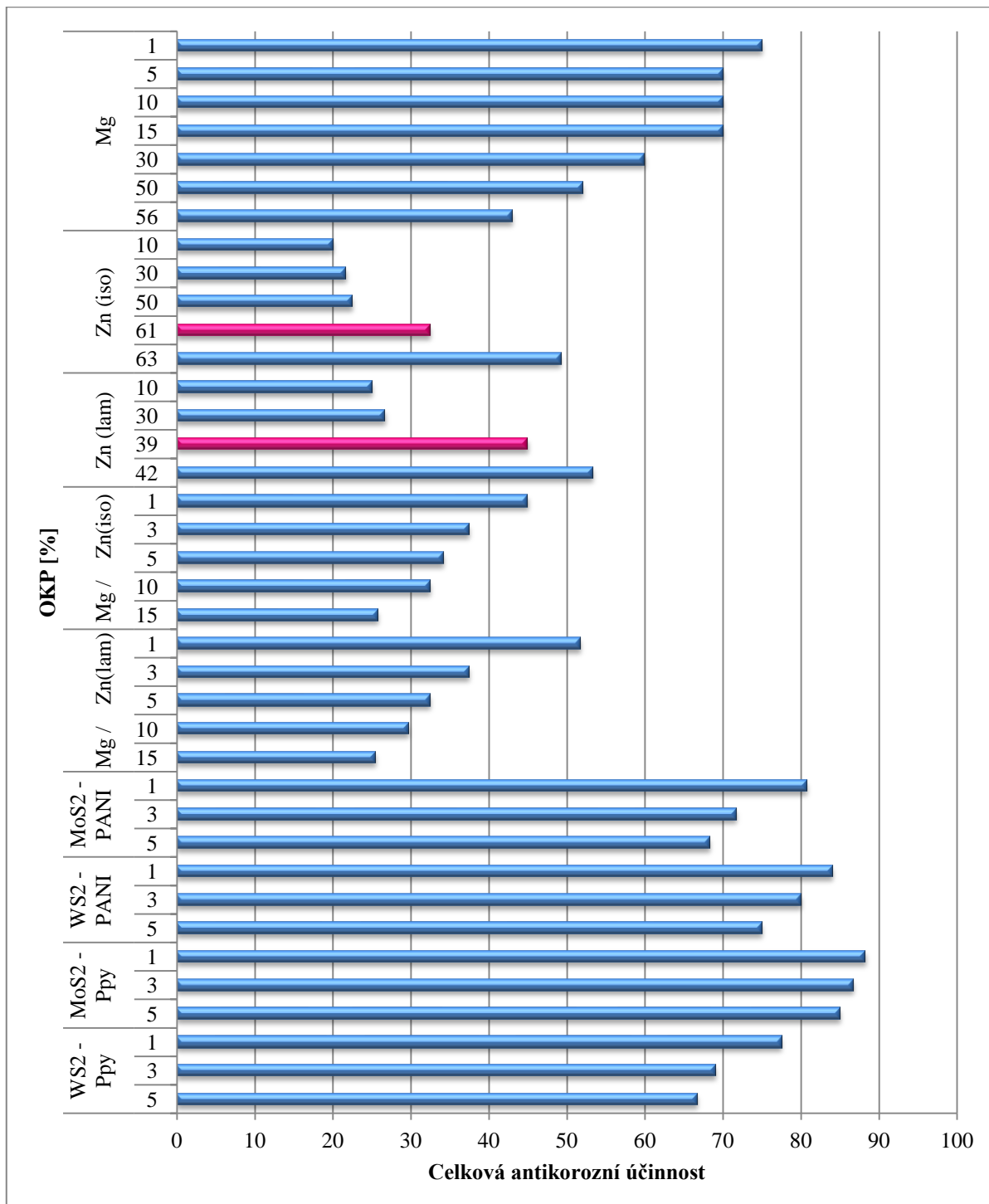
při  $OKP_{Zn} = 61 \%$ , hodnotící stupeň 6MD), byla u těchto kombinací pozorována nižší četnost puchýřů v řezu.

Koroze podkladu u kombinací byla hodnocena do 1 %. Výjimkou byly pouze nátěrové filmy  $MoS_2 - PANI/Zn_{iso}$  ( $OKP_{VP} = 3$  a  $5 \%$ ) a  $WS_2 - PANI/Zn_{iso}$  ( $OKP_{VP} = 5 \%$ ), kde byl ocelový podklad prokorodován z 3 %. Oproti srovnávacímu nátěru ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$ , koroze podkladu 10 %) byla koroze podkladu minimálně o 7 % nižší (Graf 27).

### **Závěry patrné ze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl**

- Nejvyšší antikoroziční účinnosti v atmosféře s chloridem sodným (88,3) dosáhl nátěrový film s obsahem  $MoS_2 - PPy/Zn_{iso}$  při  $OKP_{VP} = 1 \%$ .
- Nejnižší antikoroziční účinnosti (20) dosáhl nátěrový film s obsahem isometrického zinku při  $OKP_{Zn} = 10 \%$ .
- Nátěrové filmy pigmentované hořčíkem (při  $OKP_{Mg} = 1, 5, 10, 15, 30$  a  $50 \%$ ) dosahovaly vyšší antikoroziční účinnosti oproti srovnávacímu nátěru  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$  a  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39 \%$  hlavně díky tomu, že u těchto nátěrů nebyla pozorována koroze podkladu.
- Nátěrové filmy pigmentované isometrickým zinkem (při  $OKP_{Zn} = 10, 30, 50, 61$  a  $63 \%$ ) dosahovaly nižších hodnot celkové antikoroziční účinnosti než nátěrové filmy pigmentované lamelárním zinkem (při  $OKP_{Zn} = 10, 30, 39$  a  $42 \%$ ). U obou typů se zvyšovala celková antikoroziční účinnost s rostoucí  $OKP_{Zn}$ .
- Nátěrové filmy s obsahem  $Mg / Zn_{iso}$  ( $OKP_{Mg} = 1, 3, 10$  a  $15 \%$ ) dosahovaly také nižších hodnot celkové antikoroziční účinnosti než u nátěrových hmot s obsahem  $Mg / Zn_{lam}$  ( $OKP_{Mg} = 1, 3, 10$  a  $15 \%$ ) a s rostoucím  $OKP_{Mg}$  se snižovala.
- U kombinací sulfidů povrchově upravenými PANI nebo PPy s isometrickým zinkem ( $OKP_{VP} = 1, 3$  a  $5 \%$ ) došlo s rostoucím  $OKP_{VP}$  ke snížení celkové antikoroziční účinnosti.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, kovovým hořčíkem, došlo s rostoucím  $OKP_{Mg}$  k postupnému snížení celkové antikoroziční účinnosti. Příčinou bylo zvýšení korozních projevů v ploše panelu a v okolí řezu, dále pak kvůli zvýšenému stupni prokorodování v ploše a v řezu.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly lamelární zinek, kovovým hořčíkem, došlo opět s rostoucím  $OKP_{Mg}$  v důsledku zvýšení korozních projevů v ploše panelu a v řezu k postupnému snížení celkové antikoroziční účinnosti.

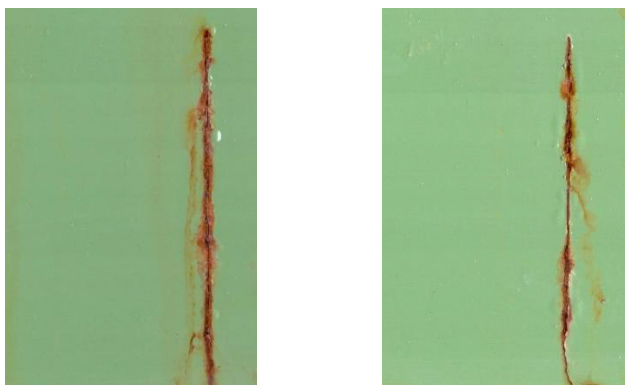
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, sulfidy s povrchovou úpravou vodivým polymerem, došlo také s rostoucím OKP<sub>VP</sub> k postupnému snížení celkové antikoroziční účinnosti. Příčinou byl nárůst prokorodování v ploše a řezu ocelového panelu.



**Graf 28** Celková antikoroziční účinnost nátěrových filmů po expozici v atmosféře s NaCl (standardy označeny růžovou barvou)

- **dvouvrstvé nátěrové filmy s vrchním nátěrem**

Zrychlená korozní zkouška v atmosféře s obsahem neutrální solné mlhy na dvouvrstevných nátěrových filmech s vrchním nátěrem byla vyhodnocena po 960 hodinách expozice. U všech vzorků byly vyhodnoceny puchýře v ploše, puchýře v řezu a koroze v ploše. Ostatní korozní projevy (na ocelovém panelu po sejmutí nátěru) a celková antikoroziční účinnost nebyly zatím vyhodnoceny z důvodu ponechání vzorků na delší dobu expozice.



**Obrázek 31** Snímky nátěrových filmů s obsahem  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$  (vlevo) a  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39 \%$  (vpravo) po 960 hodinách expozice

U žádného ze vzorků nebyla pozorována koroze v ploše. To byl jeden z důvodů, proč byly vzorky ještě ponechány v komoře se solnou mlhou.

Puchýře v řezu o různé velikosti a četnosti byly pozorovány u všech nátěrových filmů. U vzorků pigmentovaných Mg došlo k růstu nebo zvýšení četnosti puchýřů v řezu se zvyšující se  $OKP_{Mg}$  (hodnotící stupeň 6F - 4MD). U nátěrů pigmentovaných isometrickým nebo lamelárním zinkem došlo ke snížení četnosti nebo velikosti puchýřů v řezu s rostoucí  $OKP_{Zn}$  ( $Zn_{iso}$ : hodnotící stupeň z 4M na 6M a  $Zn_{lam}$ : hodnotící stupeň z 6M na 6F). U kombinací hořčíku s isometrickým nebo lamelárním zinkem byl pozorován nárůst tohoto korozního projevu se zvyšující se  $OKP_{Mg}$ . Porovnáním se srovnávacími nátěry  $Zn_{iso}$  ( $OKP_{Zn} = 61 \%$ , hodnotící stupeň 6M) a  $Zn_{lam}$  ( $OKP_{Zn} = 39 \%$ , hodnotící stupeň 6F) došlo u obou kombinací při  $OKP_{Mg} = 1, 3$  a  $5 \%$  ke zmenšení puchýřů (hodnotící stupeň 8F - 8MD) a při  $OKP_{Mg} = 10$  a  $15 \%$  byly puchýře stejně velké jako u srovnávacích nátěrů, ale jejich četnost byla vyšší (6MD). U kombinací sulfidů s isometrickým zinkem byla s rostoucí  $OKP_{VP}$  pozorována větší velikost nebo četnost puchýřů v řezu (hodnotící stupeň 8F - 6M). Porovnáním se srovnávacím nátěrem  $Zn_{iso}$  ( $OKP_{Zn} = 61 \%$ , hodnotící stupeň 6M) došlo



při  $OKP_{VP} = 1$  a  $3 \%$  ke snížení četnosti nebo velikosti puchýřů a při  $OKP_{VP} = 5 \%$  byly puchýře stejně velké a měly stejnou četnost jako srovnávací nátěr.

Puchýře v ploše nebyly pozorovány u nátěrů pigmentovaných hořčíkem (všechny  $OKP_{Mg}$ ) a dále u  $Zn_{iso}$  ( $OKP_{Zn} = 61$  a  $63 \%$ ),  $Zn_{lam}$  ( $OKP_{Zn} = 42 \%$ ),  $Mg/Zn_{iso}$  a  $Mg/Zn_{lam}$  ( $OKP_{Mg} = 1 \%$ ) a také u  $WS_2 - PPy/Zn_{iso}$  (všechny  $OKP_{VP}$ ). U ostatních vzorků dosahovaly maximálně velikosti dle hodnotícího stupně 6M. To byl další z důvodů, proč byly vzorky ještě ponechány v atmosféře NaCl.

Porovnáním těchto vzorků s dvouvrstvými nátěrovými filmy bez vrchního nátěru bylo zjištěno, že vrchní nátěr přispívá k bariérové ochraně a účinnost proti prokorodování a tvorbě puchýřů je vyšší.

### **Závěry patrné ze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem solné mlhy u vzorků s vrchním nátěrem**

- U žádného ze vzorků nebyla pozorována koroze v ploše.
- Největší hodnotící stupeň puchýřů v řezu (4MD) byl pozorován u nátěrových filmů pigmentovaných Mg při  $OKP_{Mg} = 5, 10, 15, 30, 50$  a  $56 \%$ .
- Největší hodnotící stupeň puchýřů v ploše (6M) byl pozorován u  $Zn_{lam}$  ( $OKP_{Zn} = 10 \%$ ),  $Mg/Zn_{lam}$  ( $OKP_{Mg} = 15 \%$ ) a u  $MoS_2 - PPy/Zn_{iso}$  ( $OKP_{VP} = 5 \%$ ).
- Kombinace zinku s hořčíkem nebo se sulfidy byly více odolné proti tvorbě korozních projevů než samostatné nátěry Mg,  $Zn_{iso}$  a  $Zn_{lam}$ .
- Nátěrové filmy s vrchním nátěrem jsou více účinné proti tvorbě puchýřů a korozi v ploše než nátěrové filmy bez vrchního nátěru.

### **4.3.2 Diskuze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem $SO_2$**

Nátěrové filmy byly vystaveny působení atmosféry s obsahem  $SO_2$  po dobu 1680 hodin. Po této době byly sledovány puchýře v ploše a řezu, a poté stupeň podkorodování v ploše a řezu.

Viditelné změny byly sledovány hlavně u vzniku puchýřů v řezu. U Mg pigmentovaných nátěrů s rostoucím  $OKP_{Mg}$  došlo ke zvýšení četnosti puchýřů v řezu. Například při  $OKP_{Mg} = 1 \%$  byly pozorovány vzniklé puchýře v řezu podle hodnotícího stupně 6M a při  $OKP_{Mg} = 56 \%$  byly pozorovány vzniklé puchýře v řezu podle hodnotícího stupně 6D. U isometrického a lamelárního zinku se zvyšujícím se  $OKP_{Zn}$  došlo ke snížení

četnosti puchýřů v řezu. U obou typů Zn byl při  $OKP_{Zn} = 10 \%$  hodnotící stupeň koroze v řezu 8M a při  $OKP_{Zn} = KOKP$  byl hodnotící stupeň koroze v řezu 8F.

V ploše byly pozorovány puchýře pouze u nátěru pigmentovaným hořčíkem při  $OKP_{Mg} = 50$  a  $56 \%$ . Všechny nátěrové filmy při zkoušce přilnavosti mřížkovou metodou měly výborné výsledky a byly vyhodnoceny stupněm 0.

Po odstranění nátěrového filmu z ocelových panelů byl vyhodnocen stupeň podkorodování v ploše a v okolí řezu. Koroze podkladu byla pozorována pouze u Mg pigmentovaných nátěrů. Při  $OKP_{Mg} = 50 \%$  byl panel prokorodován na ocelový podklad z  $10 \%$  a při  $OKP_{Mg} = 56\%$  byl panel prokorodován na ocelový podklad z  $33 \%$ . U ostatních nátěrových filmů k podkorodování nedošlo.

Koroze v řezu po odstranění nátěrového filmu byla pozorována u Mg pigmentovaných nátěrových filmů při všech  $OKP_{Mg}$  a u nátěrů pigmentovaných  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 10 \%$ , kde byla koroze v řezu v rozmezí 2 - 3 mm.

U kombinací sulfidů povrchově upravenými PANI nebo PPy s isometrickým zinkem byly sledovány pouze malé puchýře v řezu o nízké četnosti (hodnotící stupeň 8F nebo 8M). Proto byly tyto vzorky ještě ponechány v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem  $SO_2$  na delší dobu expozice a nebyly zde hodnoceny korozní projevy po sejmutí nátěru a celková antikoroziční účinnost.

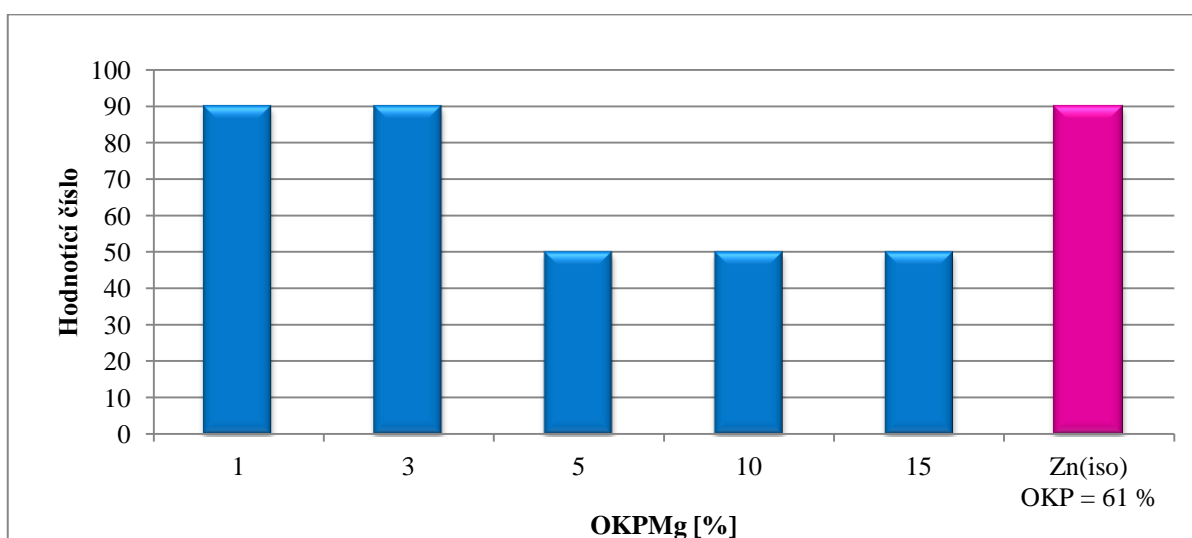
V grafech 29 a 30 jsou výsledky koroze v řezu vybraných nátěrových filmů. Na obrázcích 32 a 33 jsou zobrazeny snímky srovnávacích nátěrů před expozicí, po expozici v  $SO_2$  a po odstranění nátěrového filmu.



**Obrázek 32** Snímky nátěrového filmu s obsahem  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$  před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu

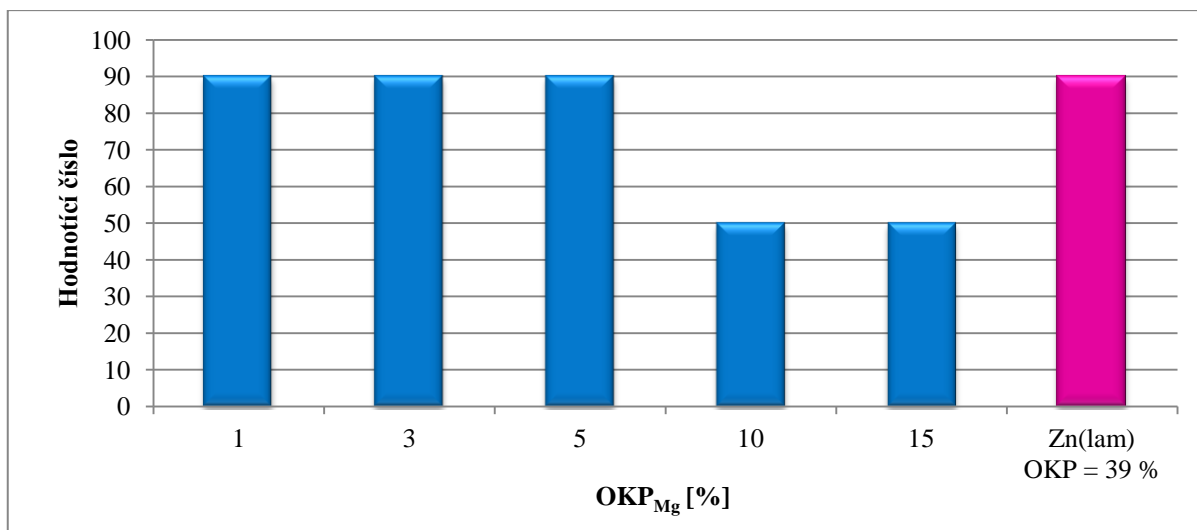


**Obrázek 33** Snímky nátěrového filmu s obsahem  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39\%$  před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu



**Graf 29** Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg /  $Zn_{iso}$

U nátěrových filmů s obsahem Mg /  $Zn_{iso}$  se zvyšovala četnost puchýřů v řezu s rostoucím  $OKP_{Mg}$  (Graf 29). Při  $OKP_{Mg} = 1$  a  $3\%$  byly přítomny malé puchýřky s malou četností, což odpovídalo hodnotícímu stupni 8F. Nátěry při  $OKP_{Mg} = 5, 10$  a  $15\%$  byly hodnoceny stupněm 8M, což znamená, že byly pozorovány malé puchýřky, ovšem s větší četností než v předchozím případě. Porovnáním se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61\%$ ) bylo zjištěno, že u kombinací Mg /  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Mg} = 1$  a  $3\%$  byla velikost a četnost puchýřů v řezu stejná a při  $OKP_{Mg} = 5, 10$  a  $15\%$  byla velikost puchýřů stejná, avšak četnost puchýřů v řezu byla vyšší (z 8F na 8M).



**Graf 30** Puchýře v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg / Zn<sub>lam</sub>

U nátěrových filmů s obsahem Mg / Zn<sub>lam</sub> se také zvyšovala četnost puchýřů v řezu s rostoucím OKP<sub>Mg</sub>. Při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3 a 5 % byly pozorovány malé puchýřky s malou četností, které byly vyhodnoceny hodnotícím stupněm 8M. Nátěry při OKP<sub>Mg</sub> = 10 a 15 % byly hodnoceny stupněm 8M, u kterých byly pozorovány také malé puchýřky, avšak s větší četností. Porovnáním se srovnávacím nátěrem (Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 %) bylo zjištěno, že u kombinací Mg / Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3 a 5 % byla velikost a četnost puchýřů v řezu stejná jako u srovnávacího nátěru a při OKP<sub>Mg</sub> = 10 a 15 % se zvýšila četnost z hodnotícího stupně 8F na 8M a velikost puchýřků zůstala stejná (Graf 30).

### **Závěry patrné ze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem SO<sub>2</sub>**

- Nejvyšší celkové antikoroziční účinnosti (98,3) dosáhly nátěrové filmy Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> 30, 39 a 42 %, Mg / Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Mg</sub> = 1 a 3 % a Mg / Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3 a 5 %.
- Nejnižší antikoroziční účinnosti (46,7) dosáhl nátěrový film pigmentovaný Mg při OKP<sub>Mg</sub> = 56 %.
- Nátěrové filmy s obsahem Mg (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 5, 10, 15, 30, 50 a 56 %) oproti srovnávacímu nátěru Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 % a Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 39 % dosahovaly nižších hodnot antikoroziční účinnosti, hlavně kvůli vzniku větších puchýřů a koroze v řezu.
- Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> (při OKP<sub>Zn</sub> = 10, 30, 50, 61 a 63 %) dosahovaly nižších hodnot celkové antikoroziční účinnosti než nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>lam</sub> (při OKP<sub>Zn</sub> = 10, 30, 39 a 42 %).

- Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn<sub>iso</sub> a Mg / Zn<sub>lam</sub> (při OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3, 10 a 15 %) dosahovaly stejných hodnot celkové antikoroziční účinnosti (98,3 %). Porovnáním nátěrových filmů obsahující Mg / Zn<sub>iso</sub> a Mg / Zn<sub>lam</sub> při OKP<sub>Mg</sub> = 5 % byla u nátěru obsahující lamelární zinek celková antikoroziční účinnost vyšší o 6,6 %.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, kovovým hořčíkem, došlo s rostoucí OKP<sub>Mg</sub> ke snížení celkové antikoroziční účinnosti v důsledku zvýšení korozních projevů v okolí řezu zejména při OKP<sub>Mg</sub> = 5, 10 a 15 %.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly lamelární zinek, kovovým hořčíkem, došlo s rostoucím OKP<sub>Mg</sub> v důsledku zvýšení korozních projevů v okolí řezu ke snížení celkové antikoroziční účinnosti při OKP<sub>Mg</sub> = 10 a 15 %.

#### 4.3.3 Diskuze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem síranu amonného a chloridu sodného

Nátěrové filmy byly vystaveny působení síranu amonného a chloridu sodnému po dobu 2160 h. Poté byly vyhodnoceny puchýře v ploše a řezu. Po stažení nátěrového filmu byl dále vyhodnocen stupeň prokorodování v ploše a řezu.

Puchýře na povrchu nátěrového filmu nebyly pozorovány pouze u nátěrů pigmentovaných Mg při OKP<sub>Mg</sub> = 1 %, Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 10, 30 a 50 %, Zn<sub>lam</sub> při všech OKP<sub>Zn</sub> a u kombinace Mg / Zn<sub>lam</sub> při všech OKP<sub>Mg</sub>. Puchýře v řezu byly sledovány u všech nátěrových filmů. Prokorodování v ploše nátěrového filmu nebylo pozorováno (při všech OKP) u nátěrů pigmentovaných lamelárním zinkem a u kombinace Mg / Zn<sub>lam</sub>. Po odstranění nátěrových filmů byla u všech panelů pozorována koroze v řezu a prokorodování na ocelový podklad.

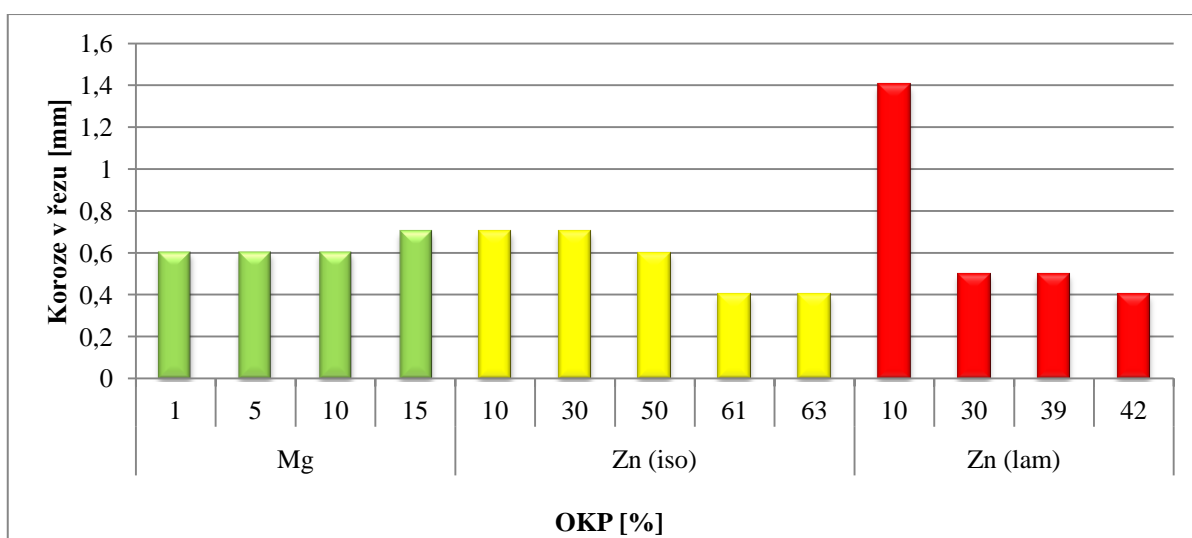


**Obrázek 34** Snímky nátěrového filmu s obsahem Zn<sub>iso</sub> při OKP<sub>Zn</sub> = 61 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu



**Obrázek 35** Snímky nátěrového filmu s obsahem  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39\%$  před expozicí, po expozici a po odstranění nátěrového filmu

Z důvodu rozdílných hodnot u koroze ocelového podkladu a nulových hodnot hodnotícího čísla u tvorby puchýřů v ploše budou uvedeny pouze grafy znázorňující korozi v řezu (Graf 31 - 33). Výsledky jsou zaznamenány v kapitole 3.3.3.



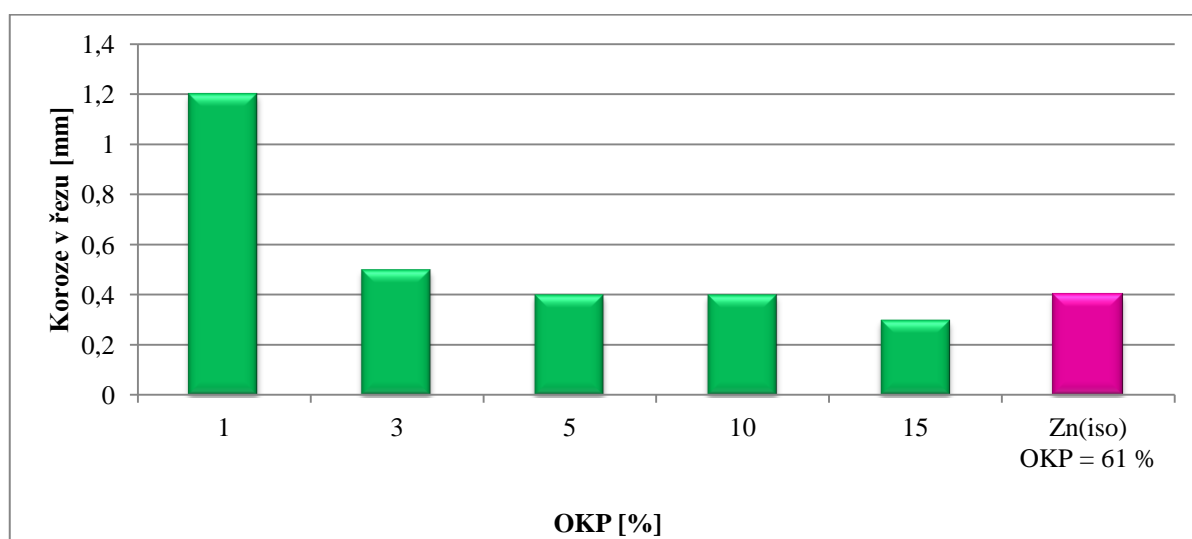
**Graf 31** Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg,  $Zn_{iso}$  nebo  $Zn_{lam}$

Koroze v řezu (Graf 31) po odstranění nátěrového filmu byla pozorována u všech nátěrových filmů při všech OKP. U hořčíkem pigmentovaných nátěrů koroze v řezu se zvyšovala s OKP a při  $OKP_{Mg} = 1, 5, 10$  a  $15\%$  byla porovnatelná s nátěry pigmentovanými isometrickým nebo lamelárním zinkem (od  $0,6$  mm do  $0,7$  mm). Při  $OKP_{Mg} = 30, 50$  a  $56\%$  byla koroze v řezu nejvyšší ze všech vzorků. Nátěrové filmy byly při těchto OKP zcela zkorodované a nebylo zcela poznat korozi v řezu. Pro lepší přehlednost nebudou tyto hodnoty uvedené v grafu. U nátěrových filmů s obsahem isometrického nebo lamelárního zinku

koroze v řezu klesala s rostoucím  $OKP_{Zn}$ . Hodnoty byly v rozmezí 0,4 - 0,7 mm. Výjimkou byl lamelární zinek při  $OKP_{Zn} = 10 \%$ , kde dosahovala koroze v řezu 1,4 mm.

Puchýře v řezu byly také sledovány u všech nátěrových filmů. U nátěrů pigmentovaných hořčíkem došlo ke zvýšení četnosti puchýřů v řezu s rostoucím  $OKP_{Mg}$ . Při  $OKP_{Mg} = 1 \%$  byly pozorovány puchýře podle hodnotícího stupně 4M a při  $OKP_{Mg} = 30, 50$  a  $56 \%$  byly nátěrové filmy zcela zkorodované puchýře byly vyhodnoceny podle hodnotícího stupně 2D. U nátěrových filmů obsahující isometrický zinek došlo ke snížení četnosti puchýřů v ploše s rostoucím  $OKP_{Zn}$ . Hodnotící stupeň při  $OKP_{Zn} = 10 \%$  byl 6D a při  $OKP_{Zn} = 63 \%$  byl 4M. Na nátěrových filmech, které byly pigmentované lamelárním zinkem, byly hodnoceny puchýře číslem 4 a s rostoucím  $OKP_{Zn}$  se snižovala jejich četnost.

Koroze podkladu byla také pozorována u všech vzorků. Při  $OKP_{Mg} = 56 \%$  byl panel prokorodován na ocelový podklad z  $3 \%$ . U obou typů zinků rostla procenta podkorodování s rostoucím  $OKP_{Zn}$ . Nátěrový film s obsahem isometrického zinku byl při  $OKP_{Zn} = 10 \%$  prokorodován na ocelový panel pouze z  $0,03 \%$  a při  $OKP_{Zn} = 63 \%$  byla koroze na  $33 \%$  panelu. Nátěrový film obsahující lamelární zinek při  $OKP_{Zn} = 10 \%$  byl prokorodován z  $0,03 \%$  a při  $OKP_{Zn} = 42 \%$  byla koroze pouze na  $3 \%$  plochy panelu.



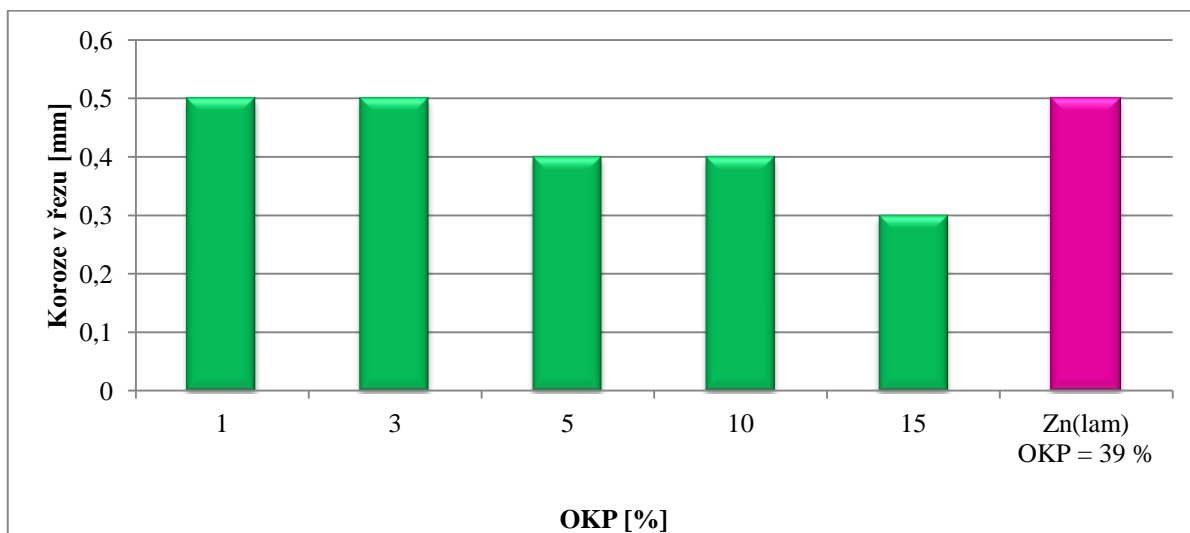
**Graf 32** Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg /  $Zn_{iso}$

U nátěrových filmů s obsahem Mg doplněné isometrickým zinkem došlo ke snížení koroze v řezu s rostoucím  $OKP_{Mg}$  z  $1,2$  mm na  $0,3$  mm. V porovnání se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$ ) byly hodnoty (při  $OKP_{Mg} = 3, 5, 10$  a  $15 \%$ ) koroze v řezu podobné a při  $OKP_{Mg} = 1 \%$  byla koroze v řezu vyšší o  $0,8$  mm (Graf 32).

Při hodnocení puchýřů v řezu v porovnání se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$ , hodnotící stupeň 2M) dosahovaly tyto kombinace hodnotícího stupně

8D - 6D v závislosti na OKP. To znamená, že puchýře byly menší, ale měly vyšší četnost než srovnávací vzorek.

Koroze ocelového podkladu klesala s rostoucím  $OKP_{Mg}$ , kdy při  $OKP_{Mg}$  byla sledována pouze z 16 % a při  $OKP_{Mg} = 15$  % byl panel zkorodován pouze z 3 %. Při všech  $OKP_{Mg}$  byly hodnoty koroze podkladu nižší než u srovnávacího nátěru ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61$  %) až o 30 %.



**Graf 33** Koroze v řezu u nátěrových filmů pigmentovaných Mg /  $Zn_{lam}$

U nátěrových filmů obsahující hořčík doplněné lamelárním zinkem byla také pozorována koroze v řezu u všech vzorků, která se s rostoucím  $OKP_{Mg}$  snižovala (z 0,5 mm na 0,3 mm). V porovnání se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39$  %) byly hodnoty při  $OKP_{Mg} = 1$  a 3 % stejné a při  $OKP_{Mg} = 5, 10$  a 15 % byla koroze v řezu nižší o 0,1 - 0,2 mm (Graf 33).

Při hodnocení puchýřů v řezu v porovnání se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61$  %, hodnotící stupeň 4MD) byly puchýře menší, ale měly opět větší četnost (hodnotící stupně 6D - 4D).

Prokorodování na ocelový podklad se rostoucím  $OKP_{Mg}$  snižovalo. Při  $OKP_{Mg} = 1$  % byl ocelový panel zkorodován z 3 %. Při  $OKP_{Mg} = 3$  a 5 % bylo viditelné prokorodování na 1 % ocelového panelu a při  $OKP_{Mg} = 10$  a 15 % byl ocelový panel zkorodován pouze na 0,3 %. Porovnáním se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39$  %) byla u těchto kombinací sledována vyšší koroze podkladu o maximálně 3 %.



### **Závěry patrné ze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře síranu amonného a chloridu sodného**

- Nejvyšší antikoroziční účinnosti (79,17) dosáhly nátěrové filmy s obsahem lamelárního zinku při  $OKP_{Zn} = 39$  a 42 %.
- Nejnižší antikoroziční účinnosti (1,67) dosáhly nátěrové filmy s obsahem hořčíku při  $OKP_{Mg} = 50$  a 56 %.
- Nátěrové filmy pigmentované hořčíkem (při  $OKP_{Mg} = 1, 5, 10$  a 15 %) dosahovaly vyšší antikoroziční účinnosti oproti srovnávacímu nátěru  $Zn_{iso}$  (při  $OKP_{Zn} = 61$  %) a oproti  $Zn_{lam}$  (při  $OKP_{Zn} = 39$  %) dosahovaly nižších hodnot celkové antikoroziční účinnosti.
- Nátěrový film pigmentovaný isometrickým zinkem (při  $OKP_{Zn} = 61$  %) dosahoval nižší hodnoty celkové antikoroziční účinnosti než nátěrový film pigmentovaný lamelárním zinkem (při  $OKP_{Zn} = 39$  %). U obou typů se snižovala celková antikoroziční účinnost s rostoucím  $OKP_{Zn}$ .
- Nátěrové filmy s obsahem Mg /  $Zn_{iso}$  při všech  $OKP_{Zn}$  dosahovaly také nižších hodnot celkové antikoroziční účinnosti než nátěrové filmy s obsahem Mg /  $Zn_{lam}$ .
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly isometrický zinek, kovovým hořčíkem, došlo s rostoucím  $OKP_{Mg}$  k postupnému zvýšení celkové antikoroziční účinnosti v důsledku snížení korozních projevů především v ploše ocelového panelu a v řezu po sejmutí nátěru.
- Pigmentací nátěrových filmů, které obsahovaly lamelární zinek, kovovým hořčíkem, došlo opět s rostoucím  $OKP_{Mg}$  v důsledku snížení korozních projevů v ploše ocelového panelu a v řezu po sejmutí nátěru k postupnému zvýšení celkové antikoroziční účinnosti.

#### **4.3.4 Diskuze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy v kombinaci se střídáním teplot**

Zrychlená korozní zkouška v atmosféře neutrální solné mlhy v kombinaci se střídáním teplot byla provedena jak na dvouvrstvých organických povlacích, tak na organických povlacích s vrchním nátěrem. Nátěrové filmy byly ponechány vždy na 24 hodin v jednom prostředí (solná komora - sušárna - solná komora- mrazák). Takto byla zkouška prováděna podobu 960 hodin. Po této době expozice byly na nátěrových filmech vyhodnoceny puchýře v ploše, puchýře v řezu a koroze v ploše. Další korozní projevy a celková antikoroziční

účinnost nebyly u těchto vzorků zatím hodnoceny, protože byly ponechány k dalšímu testování. Důvodem dalšího testování byly malé rozdíly mezi jednotlivými vzorky.

- **dvouvrstvé organické povlaky**

Koroze v ploše byla pozorována pouze u nátěrových filmů pigmentovaných hořčíkem při  $OKP_{Mg} = 50$  a  $56 \%$  ( $3$  a  $33 \%$ ), u kombinace hořčíku s isometrickým zinkem při všech  $OKP_{Mg}$  ( $3\%$ ) a u kombinace hořčíku s lamelárním zinkem při  $OKP_{Mg} = 3$  a  $5 \%$  ( $3\%$ ). U ostatních vzorků nebyla žádná koroze v ploše pozorována. Pouze u nátěrových filmů, které obsahovaly zinek, byla pozorována v ploše nátěru tzv. bílá rez.

Puchýře v ploše nebyly pozorovány u nátěrů pigmentovaných Mg ( $OKP_{Mg} = 1, 5, 10$  a  $15 \%$ ),  $Zn_{iso}$  ( $OKP_{Zn} = 61$  a  $63 \%$ ),  $Zn_{lam}$  ( $OKP_{Zn} = 39$  a  $42 \%$ ) a u všech kombinací sulfidů povrchově upravenými PANI nebo PPy s isometrickým zinkem. U ostatních nátěrových filmů byly pozorovány puchýře podle hodnotícího čísla 8F - 4MD. U kombinací hořčíku s isometrickým zinkem byly pozorovány větší puchýře i jejich četnost (hodnotící číslo 6F - 6MD s rostoucím  $OKP_{Zn}$ ) než u kombinací hořčíku s lamelárním zinkem (hodnotící číslo 8F při všech  $OKP_{Zn}$ ).

Puchýře v řezu byly pozorovány u všech vzorků. U hořčíkem pigmentovaných nátěrů byly puchýře v řezu největší ze všech vzorků (hodnotící stupeň 4M - 4MD s rostoucím  $OKP_{Mg}$ ). U isometrického a lamelárního zinku byly puchýře s rostoucím  $OKP_{Zn}$  stejně velké, ale snižovala se jejich četnost (z 8M na 8F dle hodnotícího čísla). U kombinací Mg/ $Zn_{iso}$  a Mg/ $Zn_{lam}$  byly pozorovány při všech OKP stejné puchýře (hodnotící číslo 8F) a nebyl tak mezi nimi pozorován rozdíl. U kombinací sulfidů s isometrickým zinkem klesala se zvyšující se  $OKP_{VP}$  četnost puchýřů v řezu, avšak velikost se neměnila (hodnotící stupeň z 6 MD na 6M).

### **Závěry ze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot u dvouvrstvých organických povlaků**

- Největší koroze v ploše ( $33\%$ ) byla pozorována u vzorku pigmentovaného hořčíkem při  $OKP_{Mg} = 56 \%$ .
- Největší puchýře v ploše byly u nátěrových filmů pigmentovaných Mg při  $OKP_{Mg} = 56 \%$  (hodnotící stupeň 4MD).
- Největší puchýře v řezu (hodnotící stupeň 4MD) byly pozorovány u nátěrů pigmentovaných hořčíkem při  $OKP_{Mg} = 30, 50$  a  $56 \%$ .

- **dvouvrstvé organické povlaky s vrchním nátěrem**

U organických povlaků, na které byl aplikován ještě vrchní nátěr, nebyly pozorovány žádné puchýře v ploše ani koroze v ploše nátěru. U všech vzorků byla sledována pouze koroze v řezu.

U nátěrových filmů pigmentovaných Mg bylo pozorováno s rostoucím  $OKP_{Mg}$  zvětšení puchýřů z hodnotícího čísla 6F na 4MD. Velikost puchýřů v řezu byla u isometrického a lamelárního zinku podobná. Rozdílná byla četnost, kde u isometrického zinku se vyskytovalo v řezu více puchýřů. U kombinací hořčíku s isometrickým a lamelárním zinkem nebyly vidět rozdíly a při všech  $OKP_{Mg}$  byly puchýře v řezu vyhodnoceny stupněm 6M. U kombinací sulfidů s isometrickým zinkem došlo s rostoucím  $OKP_{VP}$  ke zvýšení četnosti puchýřů (hodnotící stupeň v rozmezí 6F - 6MD).

#### **Závěry ze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře s obsahem NaCl v kombinaci se střídáním teplot u dvouvrstvé organické povlaky s vrchním nátěrem**

- Koroze v ploše nebyla pozorována u žádného vzorku.
- U žádného vzorku nebyly pozorovány ani puchýře v ploše.
- Puchýře v řezu byly největší (hodnotící stupeň 4MD) u Mg při  $OKP_{Mg} = 50$  a  $56 \%$  a u  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 10$  a  $30 \%$ .
- Vrchní nátěr sloužil jako bariérová ochrana a antikorozi účinnost u těchto vzorků byla vyšší než u vzorků bez vrchního nátěru.

#### **4.3.5 Výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy na hliníkových panelech**

Zkouška byla provedena z důvodu ověření teorie principu obětované elektrody, kde korozi podléhá kov s nižší ušlechtilostí.

Nátěrové filmy na hliníkových panelech byly opatřeny řezem ve tvaru kříže a vystaveny atmosféře neutrální solné mlhy po dobu 960 hod. Poté byly u všech vzorků vyhodnoceny korozní projevy: puchýře v ploše, puchýře v řezu a koroze v ploše nátěru. Po odstranění nátěrového filmu byla vyhodnocena koroze podkladu.

Z výsledků v kapitole 3.3.5 je patrné, že nejlepší výsledky dosahovaly nátěrové filmy pigmentované kovovým hořčíkem, kde nebyly pozorovány žádné korozní projevy. Jediná změna, která u těchto nátěrů nastala, bylo zacelení řezů.

U nátěrových filmů pigmentovaných isometrickým zinkem byly pozorovány korozní projevy při  $OKP_{Zn} = 50, 61$  a  $63 \%$  a u nátěrových filmů pigmentovaných lamelárním zinkem při  $OKP_{Zn} = 30, 39$  a  $42 \%$ . S rostoucím OKP zinku došlo k nárůstu velikosti nebo četnosti puchýřů v ploše ( $Zn_{iso}$  8MD - 6M;  $Zn_{lam}$  8M - 4D) i řezu ( $Zn_{iso}$  8F - 6F;  $Zn_{lam}$  4MD). Vyšší hodnoty byly pozorovány s rostoucím  $OKP_{Zn}$  i u koroze na hliníkovém podkladu ( $Zn_{iso}$  od 16 do 50 %;  $Zn_{lam}$  od 50 do 100 %). Vyšší korozní projevy u povlaků s obsahem lamelárního zinku mohly být způsobeny tvarem částic, kde lamelární částice oproti isometrickým mají větší adhezi k podkladu. Tím pádem došlo k většímu kontaktu částic zinku s hliníkovým podkladem.

U kombinací hořčíku s isometrickým zinkem byly sledovány korozní projevy pouze v řezu při  $OKP_{Zn} = 1$  a  $3 \%$  (hodnotící číslo 8F) a na hliníkovém podkladu při  $OKP_{Zn} = 1, 3, 5$  a  $10 \%$  (z 33 na 16 % s rostoucím  $OKP_{Zn}$ ).

U kombinací hořčíku s lamelárním zinkem byly korozní projevy sledovány u všech nátěrů, kde s rostoucím  $OKP_{Mg}$  byly tyto projevy nižší. U puchýřů v ploše a řezu došlo s rostoucím  $OKP_{Mg}$  ke snížení četnosti i velikosti puchýřů (puchýře v ploše: 4D - 8MD; puchýře v řezu: 4MD - 8M).

Kombinace sulfidů povrchově upravenými PANI nebo PPy dosahovala dobrých výsledků pouze u koroze v ploše nátěru, kde nebylo sledováno žádné prokorodování. Puchýře v ploše a v řezu byly sledovány u všech vzorků a jejich velikost a četnost rostla s vyšší koncentrací isometrického zinku v systému. Koroze hliníkového podkladu byla opět sledována u všech vzorků. Nejhorší výsledky byly pozorovány u kombinace  $MoS_2$  - PANI/ $Zn_{iso}$  ( $OKP_{VP} = 1, 3$  a  $5 \%$ ) a u kombinace  $WS_2$  - PANI/ $Zn_{iso}$  ( $OKP_{VP} = 1 \%$ ), kde bylo prokorodování podkladu 100 %. U ostatních vzorků bylo prokorodování podkladu nižší v rozmezí od 3 do 50 %.



**Obrázek 36** Nátěrové filmy s obsahem Mg,  $Zn_{iso}$  a  $Zn_{lam}$  (zleva) při  $OKP = KOKP$  po expozici v atmosféře s obsahem chloridu sodného

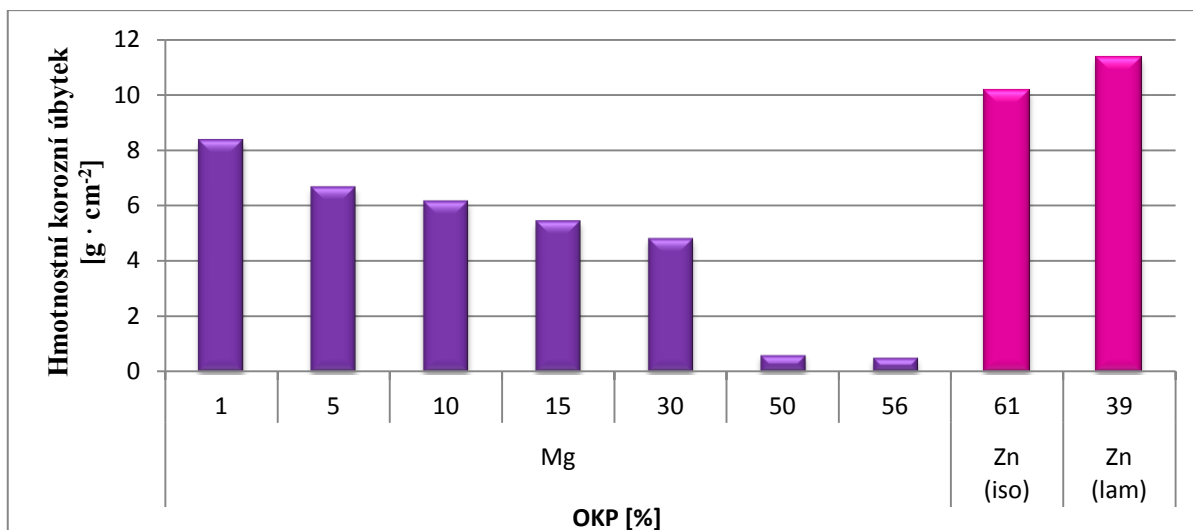
## **Závěry patrné ze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy na hliníkových panelech**

- U nátěrových filmů pigmentovaných kovovým hořčíkem nebyly sledovány žádné korozní projevy.
- U nátěrových filmů, které obsahovaly lamelární zinek, byly projevy koroze vyšší než u vzorků pigmentovanými isometrickým zinkem.
- U všech kombinací došlo k nárůstu korozních projevů s rostoucí koncentrací zinku (isometrický i lamelární).
- V případě zinku, který byl více ušlechtilý než hliník, byla prokázána nízká antikoroziční účinnost.
- V případě hořčíku, který byl méně ušlechtilý než hliník, bylo potvrzeno, že hořčík ve formě nátěrového filmu na hliník dosahuje vysoké antikoroziční účinnosti.

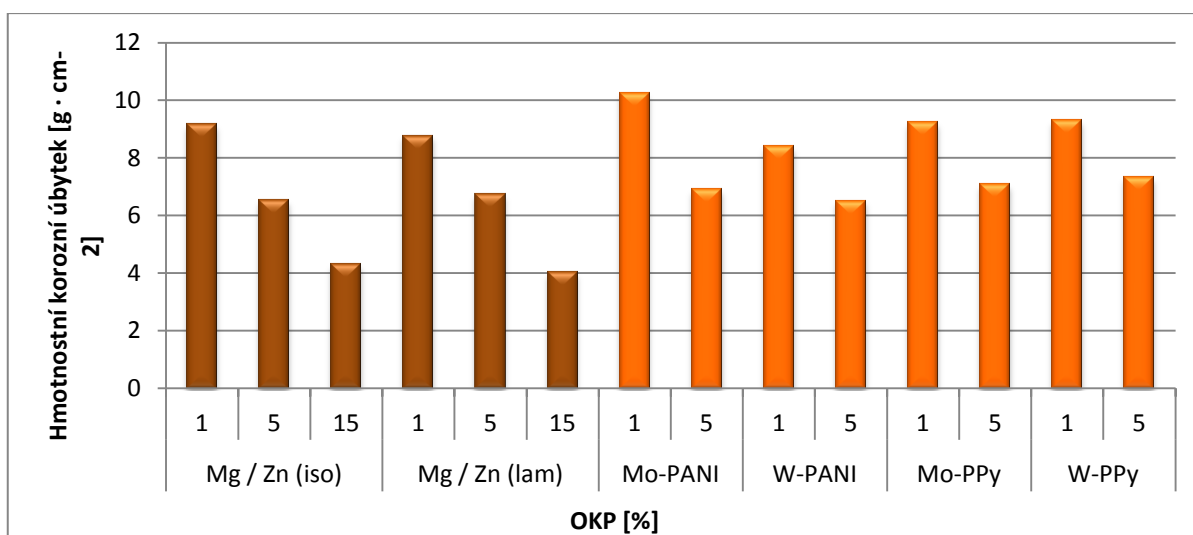
### **4.3.6 Diskuze hmotnostních korozních úbytků ve vodných výluzích volných nátěrových filmů**

Suspenze volných nátěrových filmů v redestilované vodě byly zfiltrovány a do těchto filtrátů byl vložen ocelový plíšek, který byl předem změřený a zvážen. Po 7 dnech byly plíšky z filtrátu vyjmuty. Následně byly ponořeny do mořícího roztoku a odmaštěny chloroformem. Poté byly plíšky zváženy na analytických vahách s přesností na 0,001 g. Vážení probíhalo z důvodu určení změny hmotnosti pro výpočet hmotnostního korozního úbytku, který byl vztažen ke standardu. Jako standard byl ocelový panel v redestilované vodě. Po vyjmutí plíšků bylo ještě změřeno pH a vodivost těchto filtrátů. Určením korozních úbytků lze zjistit odolnost materiálu proti degradaci způsobenou korozi.

U všech vzorků došlo k poklesu hmotnosti v rozmezí 0,001 - 0,0223 g. Změna hmotnosti ocelových plíšků byla způsobena korozi povrchu tohoto materiálu.



**Graf 34** Hmotnostní korozní úbytky vodných výluhů volných nátěrových filmů Mg, Zn<sub>iso</sub> a Zn<sub>lam</sub>



**Graf 35** Hmotnostní korozní úbytky vodných výluhů volných nátěrových filmů Mg/Zn<sub>iso</sub>, Mg/Zn<sub>lam</sub>, MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub>-PPy/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub>-PPy/Zn<sub>iso</sub>

U vodných výluhů volných nátěrových filmů pigmentovaných kovovým hořčíkem došlo s rostoucím OKP<sub>Mg</sub> k výraznému snížení korozního úbytku. Při OKP<sub>Mg</sub> = 1 % byl hmotnostní korozní úbytek 8,34 g · cm<sup>-2</sup> a při OKP<sub>Mg</sub> = 56 % byl hmotnostní korozní úbytek pouze 0,51 g · cm<sup>-2</sup>. To mohlo být způsobeno vysokým pH těchto výluhů, protože procesy koroze probíhají lépe v kyselém prostředí a tyto vzorky se pohybovaly hodnotami pH ve středně alkalickém prostředí.

Nejvyšší korozní úbytky byly pozorovány u nátěrových filmů pigmentovaných isometrickým zinkem (OKP<sub>Zn</sub> = 61 %) a lamelárním zinkem (OKP<sub>Zn</sub> = 61 %), kde hodnoty

hmotnostního korozního úbytku dosahovaly u  $Zn_{iso}$   $10,17 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  a u  $Zn_{lam}$   $11,37 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  (Graf 34).

U kombinací hořčíku s isometrickým nebo lamelárním zinkem došlo s rostoucím  $OKP_{Mg}$  k poklesu hmotnostního korozního úbytku. Hodnoty u obou typů kombinací byly velmi podobné a pohybovaly se v rozmezí  $9,17 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  -  $4,02 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  v závislosti na rostoucím OKP. Porovnáním se standardy ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$  a  $Zn_{lam}$  Při  $OKP_{Zn} = 39 \%$ ) byly hodnoty hmotnostního korozního úbytku nižší. To bylo způsobeno tím, že hořčík měl celkově nižší hodnoty této veličiny a způsobil tak pokles hmotnostního korozního úbytku u těchto kombinací.

U kombinací sulfidů, které byly povrchově upraveny vodivým polymerem, s isometrickým zinkem došlo také s rostoucím  $OKP_{VP}$  k poklesu hmotnostního korozního úbytku. Hodnoty hmotnostních korozních úbytků se pohybovaly při  $OKP_{VP} = 1 \%$  mezi  $8,40 - 10,24 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  a při  $OKP_{VP} = 5 \%$  mezi  $6,50 - 7,33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  (Graf 35).

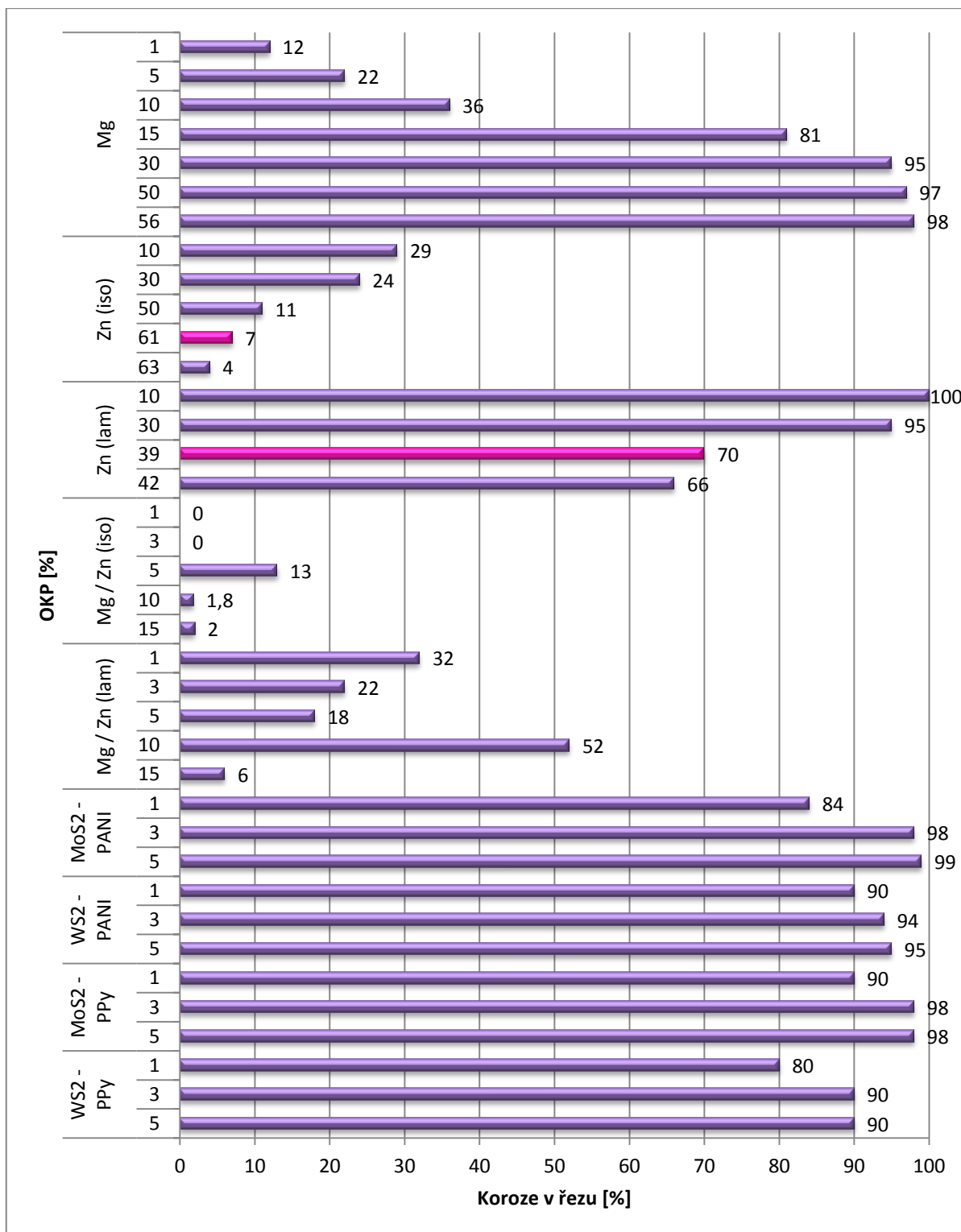
#### **Závěry patrné ze stanovení hmotnostních korozních úbytků**

- Nejvyšší hodnota hmotnostního korozního úbytku ( $11,37 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) byla naměřena u  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39 \%$ .
- Nejnižší hodnota hmotnostního korozního úbytku ( $0,51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) byla naměřena u Mg při  $OKP_{Mg} = 56 \%$ .
- U všech kombinací byl pozorován pokles hodnot hmotnostního korozního úbytku s rostoucí OKP.
- Pigmentací nátěrových filmů s obsahem  $Zn_{iso}$  nebo  $Zn_{lam}$  kovovým hořčíkem došlo ke snížení hodnot hmotnostního korozního úbytku oproti srovnávacím nátěrům.

#### **4.3.7 Diskuze zrychlené ponorové zkoušky dle Machu a Schiffmana**

Zrychlená ponorová zkouška dle Machu a Schiffmana proběhla ve třech cyklech. Po prvním a druhém cyklu byly hodnoceny puchýře v ploše nátěru a procentuální koroze v řezu. Po třetím cyklu došlo u většiny nátěrových filmů ke ztrátě přilnavosti k ocelovému podkladu, a proto je v tabulkách po třetím cyklu hodnocena pouze procentuální ztráta přilnavosti.

Puchýře v ploše nátěru byly pozorovány pouze v některých případech. V následujícím grafu 44 je proto uvedena pouze procentuální koroze v řezu u jednotlivých nátěrových filmů v závislosti na jejich složení.



**Graf 36** Koroze v řezu u nátěrových filmů po 2. cyklu zrychlené ponorové zkoušky dle Machu a Schiffmana



## Závěry patrné ze zrychlené ponorové zkoušky dle Machu a Schiffmana

- U nátěrových filmů pigmentovaných kovovým hořčík došlo s rostoucím  $OKP_{Mg}$  ke zvýšení projevu koroze v řezu. Při  $OKP_{Mg} = 1\%$  byla pozorována koroze v řezu pouze z 12 % a při  $OKP_{Mg} = 15\%$  byl řez zkorodován z 98 %.
- U nátěrových filmů pigmentovaných isometrickým a lamelárním zinkem procentuální koroze v řezu s rostoucím  $OKP_{Zn}$  klesala. Nátěrové filmy s obsahem lamelárního zinku byly více zkorodované v řezu (koroze v řezu s klesajícím  $OKP_{Zn}$  v rozmezí 66 - 100 %) než nátěrové filmy s obsahem isometrického zinku (koroze v řezu s klesajícím  $OKP_{Zn}$  v rozmezí 4 - 29 %).
- Nátěrové filmy s obsahem Mg /  $Zn_{iso}$  (při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 10$  a 15 %) byly v porovnání se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61\%$ ) méně zkorodované v řezu o přibližně 5 - 7 %.
- Nátěrové filmy s obsahem Mg /  $Zn_{lam}$  (při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$  a 15 %) byly v porovnání se srovnávacím nátěrem ( $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39\%$ ) méně zkorodované v řezu dokonce až o cca 60 %.
- Nátěrové filmy s obsahem  $MoS_2 - PANI/Zn_{iso}$ ,  $WS_2 - PANI/Zn_{iso}$ ,  $MoS_2 - PPy/Zn_{iso}$  a  $WS_2 - PPy/Zn_{iso}$  byly nejméně odolné vůči korozi v řezu. Ta byla u všech vzorků nad 80 %.
- Po prvním cyklu byly pozorovány puchýře v ploše pouze u nátěrových filmů pigmentovaných  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 63\%$  (hodnotící stupeň 6MD) a u  $MoS_2 - PANI/Zn_{iso}$  při  $OKP_{VP} = 5\%$  (hodnotící stupeň 6M).
- Po druhém cyklu byly pozorovány puchýře v ploše u nátěrových filmů pigmentovaných  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 50, 61$  a 63 % (hodnotící stupeň 8F - 6MD), u nátěrových filmů pigmentovaných  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39$  a 42 % (hodnotící stupeň 8MD a 6MD), u nátěrových filmů pigmentovaných Mg /  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$  a 15 % (hodnotící stupeň 8MD), u nátěrových filmů pigmentovaných Mg /  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Mg} = 1, 3, 5, 10$  a 15 % (hodnotící stupeň 6MD) a u nátěrového filmu pigmentovaného  $MoS_2 - PANI/Zn_{iso}$  při  $OKP_{VP} = 5\%$  (hodnotící stupeň 6MD).
- Po prvním a druhém cyklu nebyly pozorovány puchýře v řezu u žádného nátěrového filmu.
- Po třetím cyklu došlo ke ztrátě přilnavosti k ocelovému podkladu, kdy nátěrové filmy úplně ztratily svoji funkci.

#### 4.3.8 Diskuze korozních projevů nátěrových filmů v závislosti na pH kapaliny pomocí stacionární kapkové metody

Na každý ocelový panel s nátěrovým filmem bylo nalepeno 6 skleněných válečků. Do těchto válečků byly nality roztoky pufrů o různém pH (pH = 2, 4, 6, 8, 10 a 12). Zkouška probíhala po dobu 28 dní. Roztoky pufrů byly vždy po týdnu vyměněny a mezi vylitím a nalitím byly 2 dny na vysychání. Na konci měření byly vyhodnoceny puchýře v ploše a stupeň prokorodování. Poté byl u každého vzorku odstraněn nátěrový film a bylo hodnoceno prokorodování na ocelový podklad. U všech vzorků byl při pH = 2 pozorován vývoj vodíku.



**Obrázek 37** Korozní projevy při různých pH pufrů (zleva pH = 2, 4, 6, 8, 10 a 12) u srovnávacího nátěru  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$



**Obrázek 38** Korozní projevy při různých pH pufrů (zleva pH = 2, 4, 6, 8, 10 a 12) u srovnávacího nátěru  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39 \%$

U hořčíkem pigmentovaných nátěrů byly pozorovány puchýře v ploše u všech  $OKP_{Mg}$  při všech pH pufrů. Největší puchýře byly při pH = 2 (hodnotící stupeň 2D) a s rostoucí hodnotou pH došlo ke snížení četnosti nebo ke zmenšení puchýřů až na hodnotící stupeň 8F. Stejně tak tomu bylo i u koroze v ploše, kde s rostoucí hodnotou pH došlo ke snížení výskytu koroze v ploše (ze 100 až na 0,1%).

U nátěrových filmů pigmentovaných isometrickým zinkem byly puchýře v ploše také pozorovány při všech  $OKP_{Zn}$ . Při pH = 2 byl hodnotící stupeň 2D a u ostatních pH byla velikost puchýřů hodnocena stupněm 8F - 8M. Koroze v ploše nátěru byla pouze u pH = 12, a to v rozmezí 1 - 3 %.

U nátěrových filmů pigmentovaných lamelárním zinkem nedošlo k tvorbě puchýřů při pH = 8 a 10 a při pH = 6 u  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 10$  a 30 %. Při pH = 2 byly hodnoceny puchýře stupněm 2D.

U kombinací hořčíku s isometrickým nebo lamelárním zinkem byly puchýře při  $\text{pH} = 2$  hodnoceny stupněm 2D. U ostatních  $\text{pH}$  byl hodnotící stupeň v rozmezí 8F - 6M.

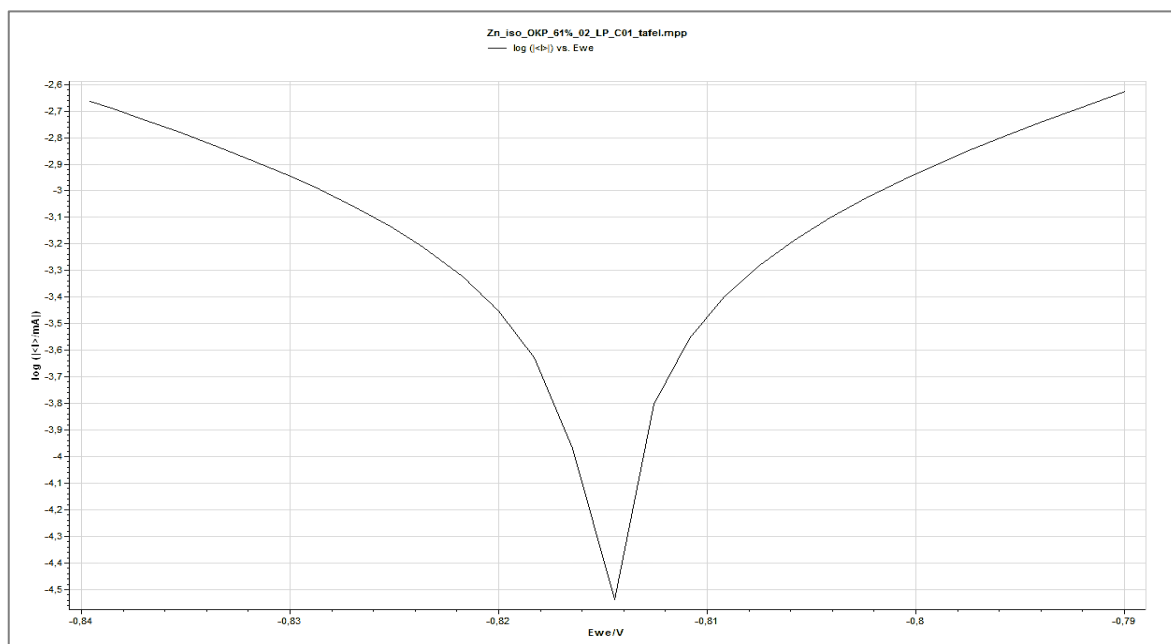
U kombinací sulfidů s povrchovou úpravou PANI nebo PPy s isometrickým zinkem byly pozorovány puchýře v ploše o malé velikosti a četnosti (hodnotící stupeň 8F nebo 8M). Koroze v ploše byla pozorována pouze u  $\text{pH} = 12$  při  $\text{OKP}_{\text{VP}} = 5\%$  u všech těchto kombinací.

### Závěry z vyhodnocení korozních projevů v závislosti na $\text{pH}$ kapaliny

- Největší korozní projevy byly pozorovány při  $\text{pH} = 2$ , kde stupeň puchýřovatění byl u všech vzorků 2D a koroze v ploše nátěru a ocelového panelu byla 100 %.
- Největší koroze v ploše nátěru byla pozorována u hořčíkem pigmentovaných nátěrů.
- U kombinací nedošlo ke zlepšení odolnosti vůči různým  $\text{pH}$  prostředím v porovnání se srovnávacími nátěry.

### 4.3.9 Diskuze měření lineární polarizace

Pomocí měření metodou lineární polarizace lze zjistit odolnost nátěrových filmů proti korozi. Stanoveny byly hodnoty polarizačního odporu, samovolného korozního potenciálu a rychlosti koroze. Na obrázku 39 je znázorněn záznam měření srovnávacího vzorku s obsahem  $\text{Zn}_{\text{iso}}$  při  $\text{OKP}_{\text{Zn}} = 61\%$ .



Obrázek 39 Záznam z měření metodou lineární polarizace

U nátěrového filmu pigmentovaného hořčíkem došlo ke zvýšení rychlosti koroze s rostoucím  $OKP_{Mg}$  z hodnoty  $1,8 \cdot 10^{-6}$  mm/rok na hodnotu  $5,02 \cdot 10^{-4}$  mm/rok. U srovnávacího nátěru  $Zn_{iso}$  při  $OKP_{Zn} = 61 \%$  byla naměřena hodnota rychlosti koroze  $9,6 \cdot 10^{-3}$  a u srovnávacího nátěru  $Zn_{lam}$  při  $OKP_{Zn} = 39 \%$  byla  $2,6 \cdot 10^{-3}$ .

U kombinací hořčíku s isometrickým nebo lamelárním zinkem byla rychlost koroze vyšší s rostoucím  $OKP_{Mg}$  ( $Mg/Zn_{iso}$ : z  $0,22 \cdot 10^{-3}$  na  $0,64 \cdot 10^{-3}$  mm/rok a  $Mg/Zn_{lam}$ : z  $1,31 \cdot 10^{-3}$  na  $3,38 \cdot 10^{-3}$  mm/rok).

U kombinací sulfidů s povrchovou úpravou PANI nebo PPy došlo s rostoucím  $OKP_{VP}$  ke zvýšení rychlosti koroze. U  $MoS_2 - PANI/Zn_{iso}$  z  $0,27 \cdot 10^{-3}$  na  $0,5 \cdot 10^{-3}$  mm/rok, u  $WS_2 - PANI$  z  $0,013 \cdot 10^{-3}$  na  $0,059 \cdot 10^{-3}$  mm/rok, u  $MoS_2 - PPy/Zn_{iso}$  z  $0,118 \cdot 10^{-3}$  na  $0,015$  mm/rok a u  $WS_2 - PPy/Zn_{iso}$  z  $0,384 \cdot 10^{-3}$  na  $0,531 \cdot 10^{-3}$  mm/rok.

Naměřené výsledky rychlosti koroze korespondují s výsledky ze zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy po 720 hod.

#### **Závěry patrné z měření lineární polarizace**

- Nejnižší rychlost koroze byla pozorována u nátěrových filmů pigmentovaných hořčíkem ( $OKP_{Mg} = 1 \%$ ), a to  $1,8 \cdot 10^{-6}$  mm/rok.
- Nejvyšší rychlost koroze ( $1,53 \cdot 10^{-2}$ ) byla u kombinace  $MoS_2 - PPy/Zn_{iso}$  při  $OKP_{VP} = 5 \%$ .
- Výsledky měření metodou lineární polarizace korespondují s výsledky zrychlené korozní zkoušky v atmosféře neutrální solné mlhy.

#### **4.3.10 Určení stupně korozní agresivity**

Pro určení vhodného korozního prostředí je potřeba znát dobu expozice, do které ještě nebyly sledovány korozní projevy (puchýře v ploše, řezu a podkorodování na kovový podklad). Z řad nátěrových filmů pigmentovaných  $Mg$ ,  $Zn_{iso}$ ,  $Zn_{lam}$ ,  $Mg/Zn_{iso}$ ,  $Mg/Zn_{lam}$ ,  $MoS_2 - PANI/Zn_{iso}$ ,  $WS_2 - PANI/Zn_{iso}$ ,  $MoS_2 - PPy/Zn_{iso}$  nebo  $WS_2 - PPy/Zn_{iso}$  byly po vyhodnocení zrychlených korozních zkoušek vybrány nejvíce odolné nátěrové filmy. Tyto vybrané nátěry byly dle ISO 12944-2 (uvedené v ČSN ISO 12944-6) doporučeny do korozního prostředí.

- **komora s neutrální solnou mlhou**

Nejvyšší účinnost u nátěrových filmů pigmentovaných kovovým hořčíkem byly pozorovány při  $OKP_{Mg} = 1 \%$ . V případě nátěrů pigmentovaných isometrickým zinkem to bylo při  $OKP_{Zn} = 63 \%$  a u lamelárního zinku při  $OKP_{Zn} = 42 \%$ . U kombinací hořčíku se zinkem (isometrický nebo lamelární) a sulfidů s povrchovou úpravou vodivým polymerem s isometrickým zinkem byly pozorovány nejlepší výsledky vždy při  $OKP = 1 \%$ .

Do prostředí o stupni korozní agresivity C3 se střední životností byly po 240 hodinách expozice doporučeny tyto nátěrové filmy.

- **komora s obsahem oxidu siřičitého**

U nátěrových filmů pigmentovaných hořčíkem byly nejlepší výsledky z komory s obsahem  $SO_2$  pozorovány při  $OKP_{Mg} = 1$  a  $5 \%$ . U isometrického zinku byla nejvyšší antikoroziční účinnost při  $OKP_{Zn} = 61$  a  $63 \%$  a v případě lamelárního zinku při  $OKP_{Zn} = 30, 39$  a  $42 \%$ . U kombinací  $Mg/Zn_{iso}$  byly nejlepší výsledky při  $OKP_{Mg} = 1$  a  $3 \%$  a u kombinací  $Mg/Zn_{lam}$  byly nejlepší při  $OKP_{Mg} = 1, 3$  a  $5 \%$ .

Všechny nátěry byly doporučeny do prostředí se stupněm agresivity C4 se střední životností, protože korozní projevy byly pozorovány až po 480 hodinách expozice.

- **komora s obsahem síranu amonného**

Nátěrové filmy pigmentované hořčíkem dosáhly nejvyšší účinnosti při  $OKP_{Mg} = 1 \%$ . Nejvyšší antikoroziční účinnosti v případě isometrického zinku byla při  $OKP_{Zn} = 10$  a  $30 \%$  a v případě lamelárního zinku při  $OKP_{Zn} = 30$  a  $39 \%$ . U kombinací  $Mg/Zn_{iso}$  a  $Mg/Zn_{lam}$  byly nejvyšší hodnoty účinnosti v obou případech při  $OKP_{Mg} = 10$  a  $15 \%$ .

První korozní projevy byly u všech nátěrů pozorovány po 240 hodinách expozice. Prostředí bylo určeno jako C3 se střední životností.

## 5. PŘÍNOSY DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomová práce se zabývá studiem vlivu náhrady části zinku v nátěrových hmotách vhodným kovovým pigmentem nebo vodivým polymerem. Isometrický nebo lamelární zinek byl z části nahrazen kovovým hořčíkem, disulfidem molybdenu (povrchově upravený polyanilinem nebo polypyrrolem) nebo disulfidem wolframu (povrchově upravený polyanilinem nebo polypyrrolem). V první fázi byly připraveny nátěrové filmy pigmentované hořčíkem, isometrickým zinkem a lamelárním zinkem. Dále byly připraveny kombinace hořčíku s oběma typy zinku a kombinace povrchově upravených sulfidů s isometrickým zinkem. Nátěrové hmoty byly na bázi epoxyesterové pryskyřice rozpouštědlového typu. U všech vzorků byly testovány fyzikálně-mechanické a antikorozi vlastnosti, u kterých bylo zkoumáno ovlivnění při nahrazení zinku v nátěrových hmotách.

Z výsledků fyzikálně - mechanické zkoušek nátěrových filmů je zřejmé, že nejnižší odolnost byla u nátěrů pigmentovaných isometrickým zinkem. Nižší odolnost byla i u kombinací s tímto typem zinku. Naopak nejvyšší odolnost byla sledována u nátěrů pigmentovaných kovovým hořčíkem, kde například při hloubení a úderu nedošlo k žádnému mechanickému poškození.

Při zrychlené korozní zkoušce v atmosféře neutrální solné mlhy byly po 720 hodinách expozice pozorovány korozní projevy ploše i v řezu. Nejodolnější v tomto prostředí byla kombinace  $\text{MoS}_2$  - PPy/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$  při  $\text{OKP}_{\text{VP}} = 1 \%$ , kde antikorozi účinnost byla 88,3 %. To bylo o cca 55 % více než u srovnávacího nátěru  $\text{Zn}_{\text{iso}}$  při  $\text{OKP}_{\text{Zn}} = 61 \%$ . U všech kombinací došlo ke zvýšení korozních projevů s rostoucí OKP.

Při zrychlené korozní zkoušce v atmosféře oxidu siřičitého byla po 1680 hodinách expozice sledována u všech vzorků hlavně koroze v řezu. Všechny kombinace hořčíku se zinkem dosáhly antikorozi účinnosti nad 90 %.

Zrychlená korozní zkouška na hliníkových panelech prokázala použitelnost hořčíku na hliníku. Při použití zinkových nátěrů na hliníku bude dosaženo špatného výsledku. Tyto skutečnosti vyplývají z toho, že zinek je podle elektrochemické řady napětí kovů ušlechtlejší než hliník a nefunguje zde princip obětované elektrody. U nátěrových filmů pigmentovaných hořčíkem nebyly pozorovány žádné puchýře ploše a řezu. Naopak u zinkem pigmentovaných nátěrů se četnost a velikost puchýřů s rostoucí objemovou koncentrací zinku zvyšovala. To se projevilo i u kombinací, kde s rostoucí koncentrací zinku byly pozorovány větší korozní projevy v ploše i řezu.

Při zrychlené ponorové zkoušce dle Machu a Schiffmana byla po prvním a druhém cyklu pozorována koroze v řezu u všech vzorků a tvorba puchýřů v ploše pouze u některých vzorků. U všech vzorků došlo ke ztrátě přilnavosti až po třetím cyklu po přidání kyseliny octové do roztoku.

Podle ISO 12944-2 byly určeny nejodolnější nátěrové filmy, které byly doporučeny pro aplikaci prostředí o různých stupních korozní agresivity. Nejvyšší odolnost v prostředí s neutrální solnou mlhou byla sledována u kombinace  $\text{MoS}_2$  - PPy/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$  při  $\text{OKP}_{\text{VP}} = 1 \%$ . Jedná se tedy o optimální objemovou koncentraci tohoto pigmentu. V prostředí s obsahem oxidu siřičitého lze označit jako nejodolnější nátěry  $\text{Zn}_{\text{lam}}$  ( $\text{OKP}_{\text{Zn}} = 30, 39$  a  $42 \%$ ),  $\text{Mg}/\text{Zn}_{\text{iso}}$  ( $\text{OKP}_{\text{Mg}} = 1$  a  $3 \%$ ) a  $\text{Mg}/\text{Zn}_{\text{lam}}$  ( $\text{OKP}_{\text{Mg}} = 1, 3$  a  $5\%$ ). Nátěrové filmy pigmentované  $\text{Zn}_{\text{lam}}$  při  $\text{OKP}_{\text{Zn}} = 30$  a  $39 \%$  vykazovaly nejvyšší odolnost v prostředí se síranem amonným a chloridem sodným. V případě zkoušky s neutrální solnou mlhou a síranem amonným bylo doporučeno prostředí C3. V případě zkoušky s oxidem siřičitým bylo doporučeno prostředí C4. V těchto prostředích (C3 i C4) byla životnost nátěrových filmů střední.

Přínosem diplomové práce bylo zvýšení životnosti nátěrových filmů v případech kombinací  $\text{MoS}_2$  - PPy/ $\text{Zn}_{\text{iso}}$  ( $\text{OKP}_{\text{VP}} = 1 \%$ ),  $\text{Mg}/\text{Zn}_{\text{iso}}$  ( $\text{OKP}_{\text{Mg}} = 1$  a  $3 \%$ ) a  $\text{Mg}/\text{Zn}_{\text{lam}}$  ( $\text{OKP}_{\text{Mg}} = 1, 3$  a  $5\%$ ). U těchto systémů byl snížen obsahu zinku v nátěrových hmotách v důsledku využití hořčíku nebo sulfidu s povrchovou úpravou polypyrrolem.

Na základě tohoto přínosu je další možný postup studovat organické povlaky pigmentované  $\text{MoS}_2$  - PPy v kombinaci s isometrickým zinkem v širším rozmezí hodnot objemové koncentrace pigmentu, především v okolí objemové koncentrace tohoto pigmentu  $1 \%$ . Zajímavé by bylo i studium kombinace tohoto povrchově upraveného pigmentu s lamelárním zinkem.

## 6. ZÁVĚR

V diplomové práci byl studován vliv testovaných pigmentů při snížení obsahu zinku v organických povlacích. Zinek (isometrický nebo lamelární) byl z části nahrazen kovovým hořčíkem a sulfidy povrchově upravenými polyanilinem nebo polypyrrolem. Jako pojivo byla zvolena epoxysterová pryskyřice rozpouštědlového typu.

Pro zkoušky fyzikálně - mechanické a antikorozi odolnosti byly připraveny nátěrové hmoty s obsahem Mg, Zn<sub>iso</sub> nebo Zn<sub>lam</sub> při zvolených objemových koncentracích pigmentu. Dále byly připraveny nátěrové hmoty při kombinacích Mg/Zn<sub>iso</sub>, Mg/Zn<sub>lam</sub>, MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub>, WS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub>, MoS<sub>2</sub>-PPy/Zn<sub>iso</sub> nebo WS<sub>2</sub>-PPy/Zn<sub>iso</sub>. Jako srovnávací nátěr pro tyto kombinace byla zvolena nátěrová hmota s obsahem isometrického zinku při jeho objemové koncentraci 61 % a nátěrová hmota s obsahem lamelárního zinku při jeho objemové koncentraci 39 %.

Celková antikorozi účinnost nátěrových filmů byla testována pomocí zrychlených korozních zkoušek v atmosférách se solnou mlhou, oxidem siřičitým a síranem amonným s chloridem sodným. Dále také pomocí cyklické korozní zkoušky v atmosférách se solnou mlhou v kombinaci se střídáním teplot a zrychlené ponorové zkoušky dle Machu a Schiffmana.

V prostředí atmosféry solné mlhy byla nejvíce odolná kombinace MoS<sub>2</sub> - PPy/Zn<sub>iso</sub> (OKP<sub>VP</sub> = 1 %). Nejvyšší odolnost v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého byla vyhodnocena u nátěrového filmu s obsahem Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Zn</sub> = 30, 39 a 42 %). V prostředí síranu amonného a chloridu sodného měl nejvyšší odolnost nátěrový film Mg/Zn<sub>lam</sub> (OKP<sub>Mg</sub> = 1, 3 a 5%). Tyto nátěry byly doporučeny do korozního prostředí o stupni agresivity C3 nebo C4 se střední životností.



## 7. LITERATURA

- [1] PRABHU, S. Anti-Corrosion Coatings for Different Service Exposures, 2017. Dostupné z: <https://www.corrosionpedia.com/2/1402/prevention/coatings/anti-corrosion-coatings-for-different-service-exposures>
- [2] RAŠKOVIĆ, L., DJORDJEVIĆ, D., CAKIĆ, S. Untoxic anti-corrosion pigments for ground coat in organic coatings., 1997, *I*(2), 1–8.
- [3] PROKEŠ, P., KALEDOVÁ, A. Anticorrosion efficiency of coatings containing metallic pigments. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2007, *68*(5–6), 1083–1086.
- [4] ARMELIN, E., MARTÍ, M., LIESA, F., IRIBARREN, J. I., ALEMÁN, C. Partial replacement of metallic zinc dust in heavy duty protective coatings by conducting polymer. *Progress in Organic Coatings*, 2010, *69*(1), 26–30.
- [5] NAZEER, A. A., MADKOUR, M.. Potential use of smart coatings for corrosion protection of metals and alloys: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 2018, *253*, 11–22.
- [6] OTANI, K., SAKAIRI, M. Effects of metal cations on corrosion of mild steel in model fresh water: A review. *Corrosion Science*, 2016, *111*, 302–312.
- [7] BARTONÍČEK, R. *Navrhování protikorozní ochrany*. Praha: SNTL, 1980. Koroze a ochrana materiálů.
- [8] ČERNÝ, M. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [9] BARTONÍČEK, R. *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. Praha: Academia, 1966.
- [10] ŠIMŮNKOVÁ, E. *Pigmenty, barviva a metody jejich identifikace*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1993. ISBN 80-7080-194-8.
- [11] BENDA, P., KALEDOVÁ, A.. Anticorrosion Properties of Pigments based on Ferrite Coated Zinc Particles: A review. *Physics Procedia*. 2013, *44*, 185–194.
- [12] Antikorozní ochrana. *Biopol paints* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.biopol.cz/antikorozni-ochrana/item/84-antikorozn%C3%AD-ochrana>
- [13] JARUŠEK, J. *Technologie nátěrových hmot*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1987.
- [14] ŠOLC, Z., TROJAN, M. *Speciální anorganické pigmenty*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1987.

- [15] BENEŠOVÁ, Jaroslava. Konzervování a restaurování kovů: ochrana předmětů kulturního dědictví z kovů a jejich slitin. *Brno: Technické muzeum v Brně - Metodické centrum konzervace*, 2011. ISBN 978-80-86413-70-9.
- [16] BUXBAUM, G. *Industrial inorganic pigments*. 2nd completely rev. ed. New York: Wiley-VCH, 1998. ISBN 3-527-28878-3.
- [17] DARIVA, C. G., GALIO, A. F. Principles, Mechanisms and Applications. *Developments in Corrosion Protection* [online]. InTech, 2014, 2014-02-20 [cit. 2018-05-08]. DOI: 10.5772/57255. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/developments-in-corrosion-protection/corrosion-inhibitors-principles-mechanisms-and-applications>
- [18] GROYSMAN, A. *Corrosion for everybody*. New York: Springer, c2010. ISBN 978-90-481-3476-2.
- [19] ČERVENÝ, L., NĚMCOVÁ, J. Inhibitory koroze kovů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964. Řada chemické literatury.
- [20] TOUŽÍN, J. *Stručný přehled chemie prvků*. Brno: Tribun EU, 2008. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-7399-527-0.
- [21] KOHL, M., KALEDOVÁ, A. Effect of zinc particle shape on the anticorrosion properties of organic coatings. IX. konference Pigmenty a plniva: conference proceedings, 2016.
- [22] KALEDOVÁ, A., VESELÝ, D., KOHL, M., STEJSKAL, J. Anticorrosion efficiency of zinc-filled epoxy coatings containing conducting polymers and pigments. *Progress in Organic Coatings*, 2015, 78, 1–20.
- [23] SHREEPATHI, S., BAJAJ, P., MALLIK, B. P. Electrochemical impedance spectroscopy investigations of epoxy zinc rich coatings: Role of Zn content on corrosion protection mechanism. *Electrochimica Acta*, 2010, 55(18), 5129–5134.
- [24] ZUBIELEWICZ, M., GNOT, W. Mechanisms of non-toxic anticorrosive pigments in organic waterborne coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2004, 49(4), 358–371.
- [25] VOHLÍDAL, J. *Chémia I: všeobecná a anorganická chémia pre 1.ročník SPŠ chemických*. 2.vyd. Bratislava: Alfa, 1991. Edícia chemickej literatúry (Alfa). ISBN 80-05-00760-4.
- [26] ROŽAN J., VANIČEK O. *Pigmenty; práškové barvy*. [Vyd. 1.]. Praha: Státní nak. technické literatury, 1959.
- [27] WILEY, P. What Is Zinc Powder?, Sciencing, 2017. Dostupné z: <http://sciencing.com/zinc-powder-6678697.html>.

- [28] MARCHEBOIS, H., TOUZAIN, S., JOIRET, S., BERNARD, J., SAVALL, C. Zinc-rich powder coatings corrosion in sea water: Influence of conductive pigments. *Progress in Organic Coatings*, 2002, 45(4), 415–421.
- [29] DAROWICKI, K., ORLIKOWSKI, J., CEBULSKI, S., KRAKOWIAK, S. Conducting coatings as anodes in cathodic protection. *Progress in Organic Coatings*, 2003, 46(3 SPEC), 191–196.
- [30] PLAGEMANN, P., WEISE, J., ZOCCOLL, A. Zinc-magnesium-pigment rich coatings for corrosion protection of aluminum alloys. *Progress in Organic Coatings*, 2013, 76(4), 616–625.
- [31] SVOBODA, J. Vývoj nátěrových hmot s vysokou korozní odolností pro všeobecné použití. Studentská tvůrčí činnost, ČVUT, 2016.
- [32] ABREU, C. M., IZQUIERDO, M., KEDDAM, M., NÓVOA, X. R., TAKENOUTI, H. Electrochemical behaviour of zinc-rich epoxy paints in 3% NaCl solution. *Electrochimica Acta*, 1996, 41(15), 2405–2415.
- [33] SCHAEFER, K., MISZCZYK, A. Improvement of electrochemical action of zinc-rich paints by addition of nanoparticulate zinc. *Corrosion Science*, 2013, 66, 380–391.
- [34] KALEDOVÁ, A., VESELÝ D., KOHL M., STEJSKAL, J. Anticorrosion efficiency of zinc-filled epoxy coatings containing conducting polymers and pigments. *Progress in Organic Coatings*, 2015, 78, 1-20.
- [35] YADAV, A. P., NISHIKATA, A., TSURU, T. Degradation mechanism of galvanized steel in wet-dry cyclic environment containing chloride ions. *Corrosion Science*, 2004, 46(2), 361–376.
- [36] SØRENSEN, P. A., S. KIIL, K. DAM-JOHANSEN a C. E. WEINELL. Anticorrosive coatings: a review. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2009, 6(2), 135-176.
- [37] QI, C., YE, L., MA, X., YANG, D., & HONG, J. Life cycle assessment of the hydrometallurgical zinc production chain in China. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 156, 451–458.
- [38] MEYLAN, G., RECK, B. K. The anthropogenic cycle of zinc: Status quo and perspectives. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, 123, 1–10.
- [39] ANTREKOWITSCH J., STEINLECHNER S., UNGER A., RÖSLER G., PICHLER Ch., RUMPOLD R.. Zinc and Residue Recycling. *Handbook of Recycling*, 2014, 113-124. ISBN 9780123964595.
- [40] Zinc in the Environment. *ZINC. International zinc association* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.zinc.org/environment/>

- [41] The Element Magnesium, It's Elemental. *Jefferson Lab* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://education.jlab.org/itselemental/ele012.html>
- [42] PAVELKA, V. *Anorganická chemie pro pedagogické fakulty*. 2. vyd. Praha: SPN, 1979. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství).
- [43] PAPPAS, S. *Facts About Magnesium* [online]. 2014 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/28862-magnesium.html>
- [44] KAŠPÁREK, F. *Anorganická chemie*. 2. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2001. ISBN 80-244-0311-0.
- [45] BÜCHNER, W. *Průmyslová anorganická chemie: důležité suroviny a meziprodukty*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00638-4.
- [46] Magnesium: Periodic Table of Elements: LANL. *Los Alamos national laboratory* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://periodic.lanl.gov/12.shtml>
- [47] Magnesium in diet. *U.S. National Library of Medicine* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://medlineplus.gov/ency/article/002423.htm>
- [48] ANDREI, M., DI GABRIELE, F., BONORA, P. L., SCANTLEBURY, D. Corrosion behaviour of magnesium sacrificial anodes in tap water. *Materials and Corrosion*, 2003, 54(1), 5–11.
- [49] BATTOCCHI, D., SIMÕES, A. M., TALLMAN, D. E., BIERWAGEN, G. P. Electrochemical behaviour of a Mg-rich primer in the protection of Al alloys. *Corrosion Science*, 2006, 48(5), 1292–1306.
- [50] LU, X., ZUO, Y., ZHAO, X., TANG, Y., FENG, X. The study of a Mg-rich epoxy primer for protection of AZ91D magnesium alloy. *Corrosion Science*, 2011, 53(1), 153–160.
- [51] ARMELIN, E., OCAMPO, C., LIESA, F., IRIBARREN, J. I., RAMIS, X., ALEMÁN, C. Study of epoxy and alkyd coatings modified with emeraldine base form of polyaniline. *Progress in Organic Coatings*, 2007, 58(4), 316–322.
- [52] PROKEŠ, J., STEJSKAL, J., OMASTOVÁ, M. Polyanilin a polypyrrol - dva představitelé vodivých polymerů. *Chemické listy*, 2001, 95(8), 484-492.
- [53] ABDOLAH, A., HAMZAH, E., IBRAHIM, Z., HASHIM, S. Corrosion protection of steels: a brief review on conductive polymers. *Malaysian Polymer Journal*, 2012, 7(1), 16-21.
- [54] GUIMARD, N. K., GOMEZ, N., SCHMIDT, C. E. Conducting polymers in biomedical engineering. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 2007, 32(8–9), 876–921.

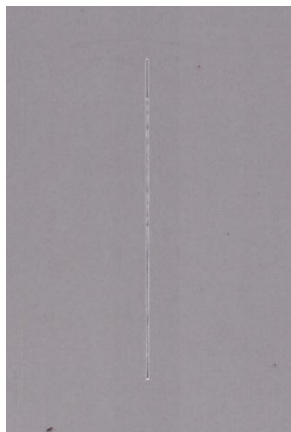
- [55] DESHPANDE, P. P., JADHAV, N. G., GELLING, V. J., SAZOU, D. Conducting polymers for corrosion protection: A review. *Journal of Coatings Technology Research*, 2014, 11(4), 473–494.
- [56] STEJSKAL, J., TRCHOVÁ, M., BOBER, P., HUMPOLÍČEK, P., KAŠPÁRKOVÁ, V., SAPURINA, I., SHISHOV, M. A., VARGA, M. Conducting Polymers: Polyaniline. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 2015, 1-44.
- [57] GVOZDENOVIĆ, M., JUGOVIĆ, B., JAMBREC, D., STEVANOVIĆ, J., GRGUR, B. Application of polyaniline in corrosion protection of metals. *Zaštita Materijala*, 2012, 53(4), 353–360.
- [58] ROUT, T. K., JHA, G., SINGH, A. K., BANDYOPADHYAY, N., MOHANTY, O. N. Development of conducting polyaniline coating: A novel approach to superior corrosion resistance. *Surface and Coatings Technology*, 2003, 167(1), 16–24.
- [59] KALEDOVÁ, A., SAPURINA, I., STEJSKAL, J., VESELÝ, D. Anticorrosion properties of polyaniline-coated pigments in organic coatings. *Corrosion Science*, 2008, 50(12), 3549–3560.
- [60] FANG, J., XU, K., ZHU, L., ZHOU, Z., TANG, H. A study on mechanism of corrosion protection of polyaniline coating and its failure. *Corrosion Science*, 2007, 49(11), 4232–4242.
- [61] BALINT, R., CASSIDY, N. J., CARTMELL, S. H. Conductive polymers: Towards a smart biomaterial for tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, 2014, 10(6), 2341–2353.
- [62] HÁJKOVÁ, T., KALEDOVÁ, A. The anticorrosion properties of pigments based on molybdates and tungstates surface-modified with conducting polymers. *Koroze a Ochrana Materialu*, 2017, 61(1), 7–18.
- [63] NIYITANGA, T., JEONG, H. K. Graphite oxide and molybdenum disulfide composite for hydrogen evolution reaction. *Chemical Physics Letters*, 2017, 685, 451–456.
- [64] BENAVENTE, E., SANTA ANA, M. A., MENDIZÁBAL, F., GONZÁLEZ, G. Intercalation chemistry of molybdenum disulfide. *Coordination Chemistry Reviews*, 2002, 224(1–2), 87–109.
- [65] WU, C. L., HUANG, P. C., BRAHMA, S., HUANG, J. L., WANG, S. C. MoS<sub>2</sub>-MoO<sub>2</sub> composite electrocatalysts by hot-injection method for hydrogen evolution reaction. *Ceramics International*, 2017, 43(1), 621–627.
- [66] FENG, C., MA, J., LI, H., ZENG, R., GUO, Z., LIU, H. Synthesis of molybdenum disulfide (MoS<sub>2</sub>) for lithium ion battery applications. *Materials Research Bulletin*, 2009, 44(9), 1811–1815.

- [67] JINLONG, L., WENLI, G., TONGXIANG, L., KEN, S., HIDEO, M. Improving hydrogen evolution reaction for MoS<sub>2</sub> hollow spheres. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2017, 799(1), 304–307.
- [68] NASRUDDIN, M. N., SIGIRO, M. Growth and optical studies of tungsten disulphide single crystals doped with gold. *Optik*, 2016, 127(4), 1599–1602.
- [69] WANG, S., LI, G., DU, G., JIANG, X., FENG, C., GUO, Z., KIM, S. J. Hydrothermal synthesis of molybdenum disulfide for lithium ion battery applications. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2010, 18(6), 910–913.
- [70] FANG, X., YU, X., LIAO, S., SHI, Y., HU, Y. S., WANG, Z., CHEN, L. Lithium storage performance in ordered mesoporous MoS<sub>2</sub> electrode material. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2012, 151, 418–423.
- [71] SUN, S., LI, Z., CHANG, X. Synthesis and structural characterization of tungsten disulfide nanomaterials. *Materials Letters*, 2011, 65(19–20), 3164–3166.
- [72] LI-NA, Z., CHENG-BIAO, W., HAI-DOU, W., BIN-SHI, X., DA-MING, Z., JIA-JUN, L., GUO-LU, L. Microstructure and tribological properties of WS<sub>2</sub>/MoS<sub>2</sub> multilayer films. *Applied Surface Science*, 2012, 258(6), 1944–1948.
- [73] GUSTAVSSON, F., SVAHN, F., BEXELL, U., JACOBSON, S. Nanoparticle based and sputtered WS<sub>2</sub> low-friction coatings - Differences and similarities with respect to friction mechanisms and tribofilm formation. *Surface and Coatings Technology*, 2013, 232, 616–626.
- [74] VEČEŘA, Z. *Chemie pro všechny*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00500-0.
- [75] TROJAN, M. *Technologie anorganických pigmentů*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1991. ISBN 80-85113-39-2.
- [76] JARUŠEK, J., KALENDA, P., ŠŇUPÁREK, J. *Chemie filmotvorných látek*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1998. ISBN 80-7194-169-7.
- [77] SINGH, A. P., GUNASEKARAN, G., SURYANARAYANA, C., BALOJI NAIK, R. Fatty acid based waterborne air drying epoxy ester resin for coating applications. *Progress in Organic Coatings*, 2015, 87, 95–105.
- [78] SHIKHA, D., KAMANI, P. K., SHUKLA, M. C. Studies on synthesis of water-borne epoxy ester based on RBO fatty acids. *Progress in Organic Coatings*, 2003, 47(2), 87–94.
- [79] MALSHE, V. C., WAGHOO, G. Weathering characteristics of epoxy-ester paints. *Progress in Organic Coatings*, 2006, 56(2–3), 131–134.

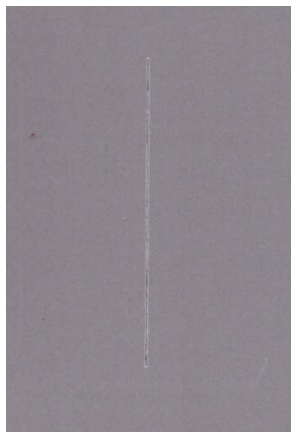
- [80] KALEDOVÁ, A. Pimenty a plniva pro nátěrové hmoty. *Technologie nátěrových hmot I*. Pardubice, 2003.
- [81] WANG, J., XU, H., BATTOCCHI, D., BIERWAGEN, G. The determination of critical pigment volume concentration (CPVC) in organic coatings with fluorescence microscopy. *Progress in Organic Coatings*, 2014, 77(PB), 2147–2154.
- [82] STEJSKAL, J., MRLÍK, M., PLACHÝ, T., TRCHOVÁ, M., KOVÁŘOVÁ, J., Li, Y. Molybdenum and tungsten disulfides surface-modified with a conducting polymer, polyaniline, for application in electrorheology. *Reactive and Functional Polymers*, 2017, 120(August), 30–37.
- [83] Bos, T. Prediction of coating durability - Early detection using electrochemical methods. 2008. ISBN 978-90-9022815-0.

## PŘÍLOHY

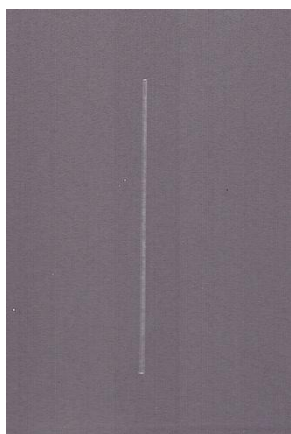
**Snímky dvouvrstevných nátěrových filmů po expozici v atmosféře s obsahem solné mlhy po 720 h**



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

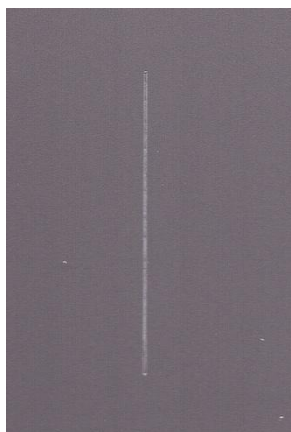


Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

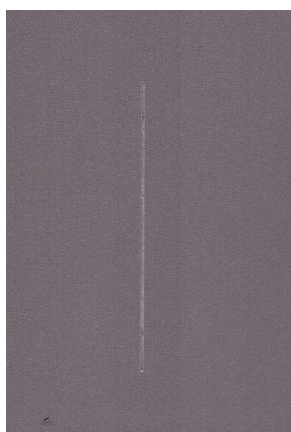


Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

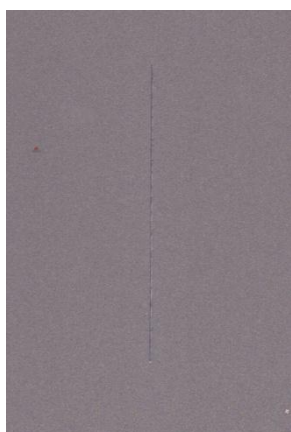




Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



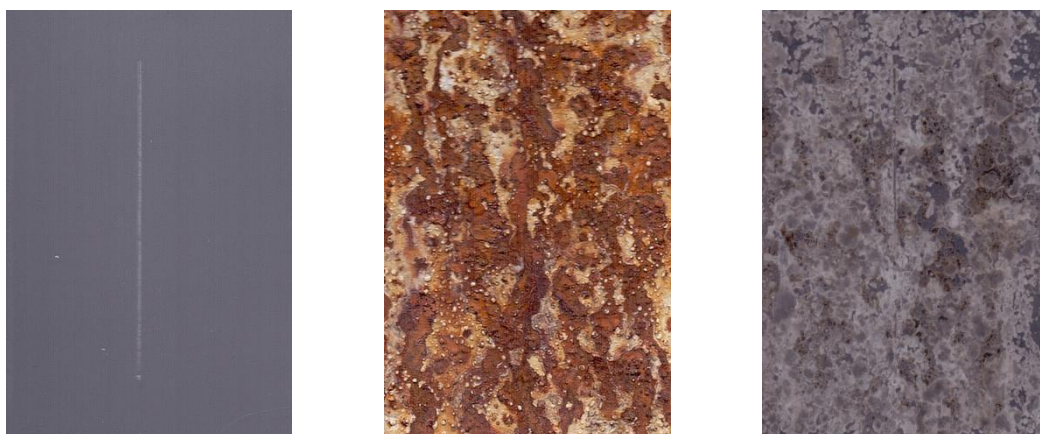
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 50 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



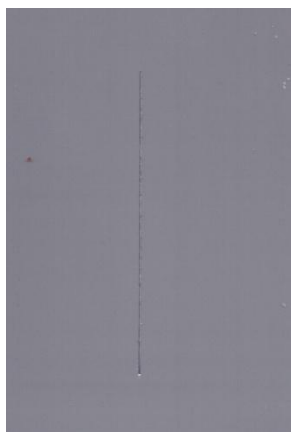
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 56 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



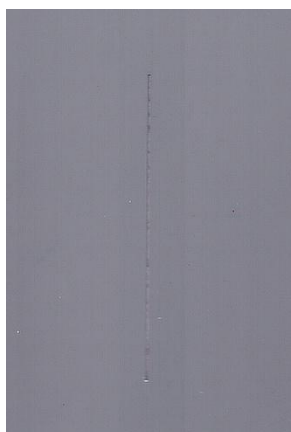
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



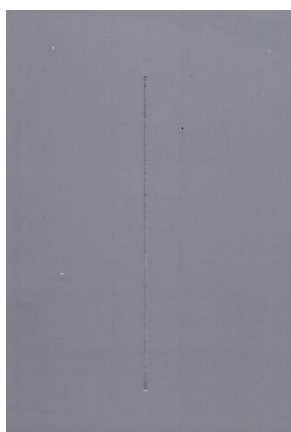
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



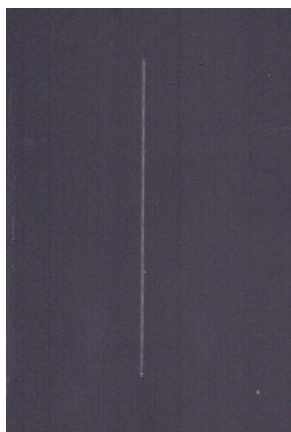
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 50 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



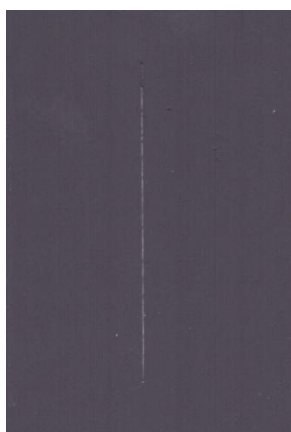
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 61 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



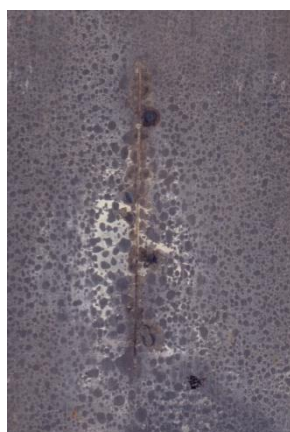
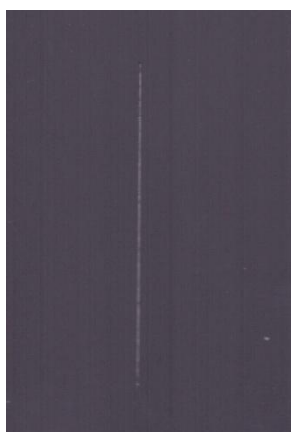
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 63 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



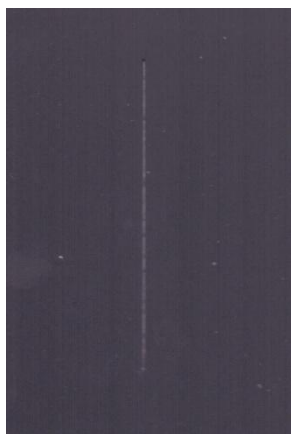
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



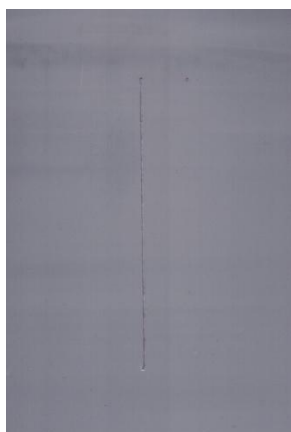
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



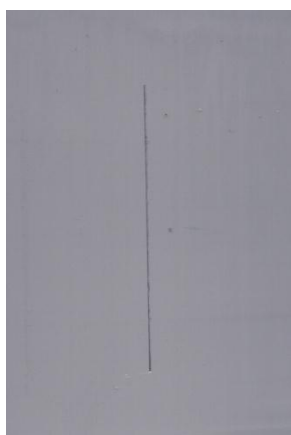
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 39 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



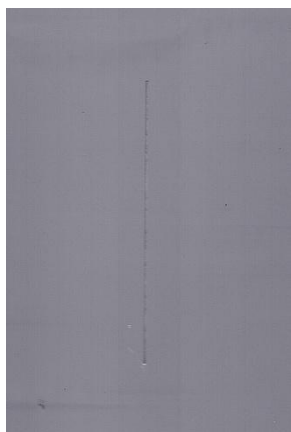
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 42 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



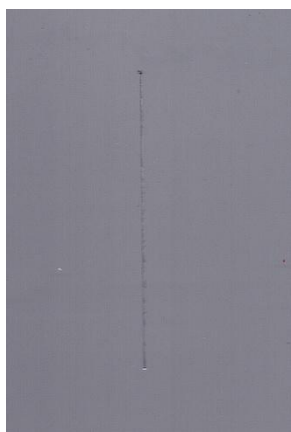
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



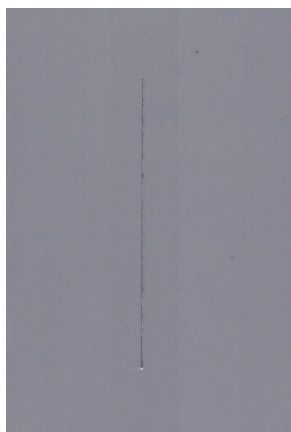
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



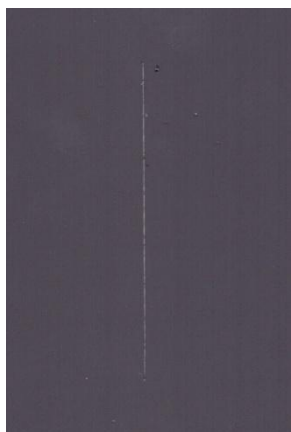
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



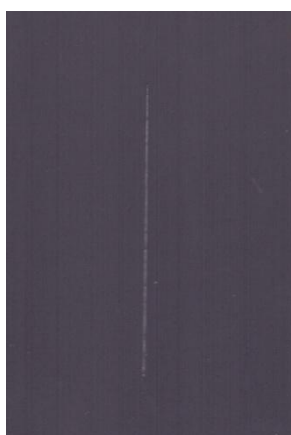
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



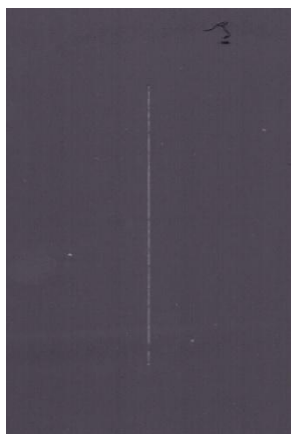
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



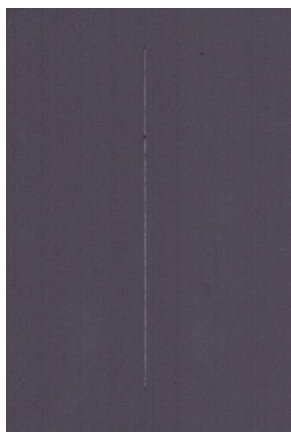
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



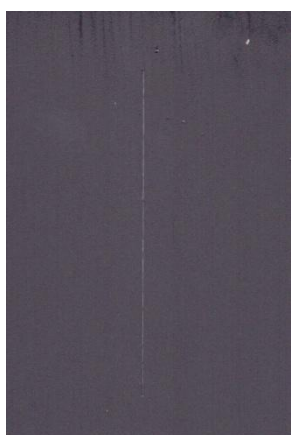
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



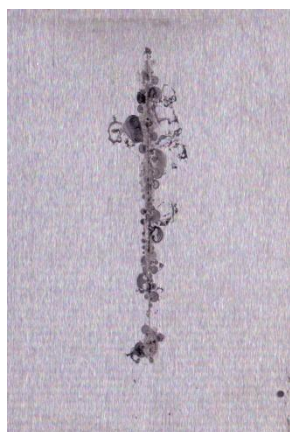
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

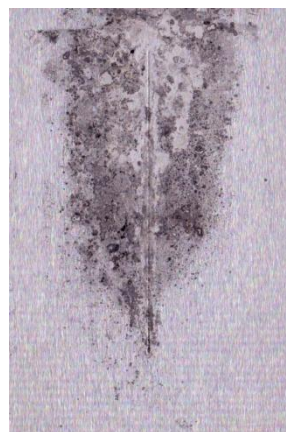


Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru





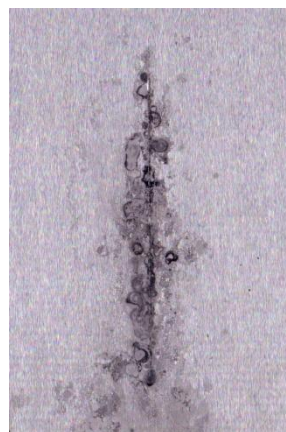
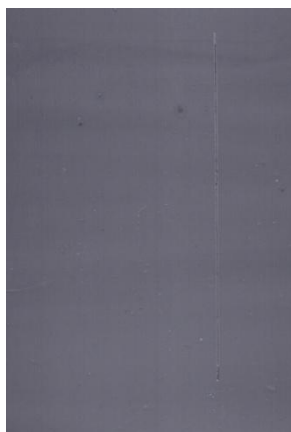
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



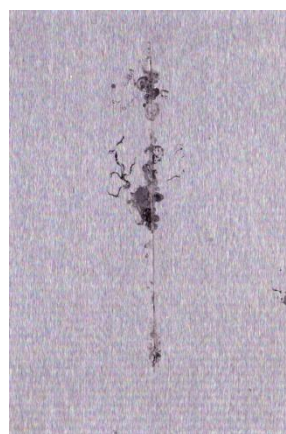
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



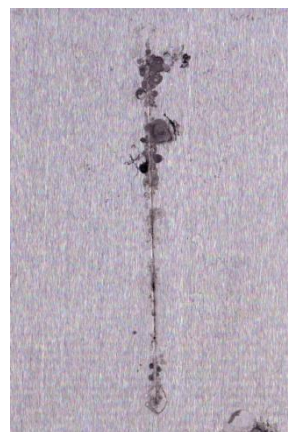
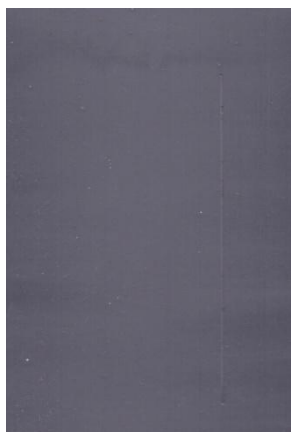
Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PANI/ $Zn_{iso}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



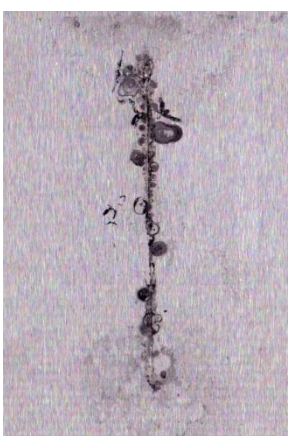
Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PANI/ $Zn_{iso}$  OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



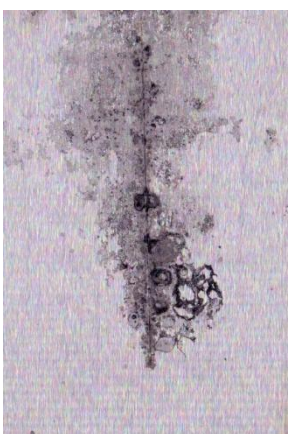
Nátěrové filmy s obsahem  $MoS_2$ -PPy/ $Zn_{iso}$  OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PPy/ $Zn_{iso}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PPy/ $Zn_{iso}$  OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

**Snímky nátěrových filmů po expozici v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem oxidu siřičitého po 1680 h**



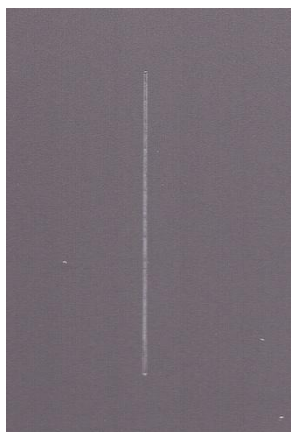
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění



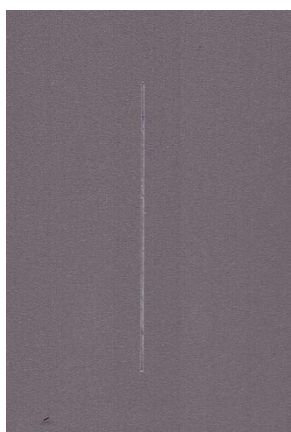
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



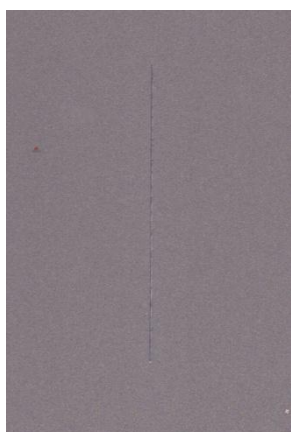
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 50 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



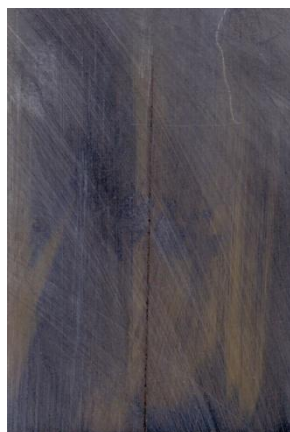
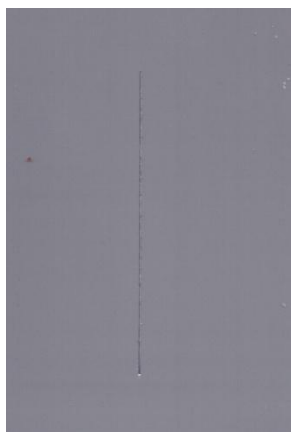
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 56 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



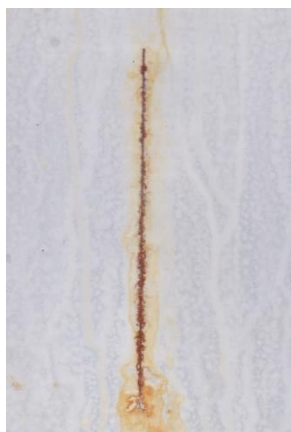
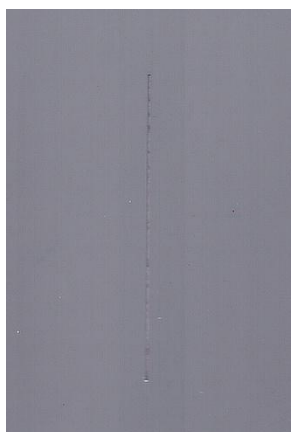
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



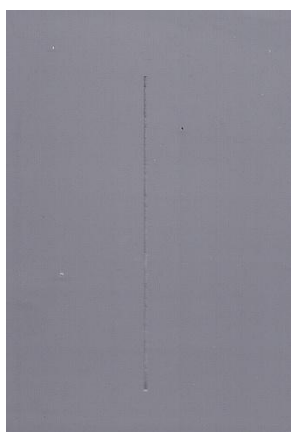
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 50 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

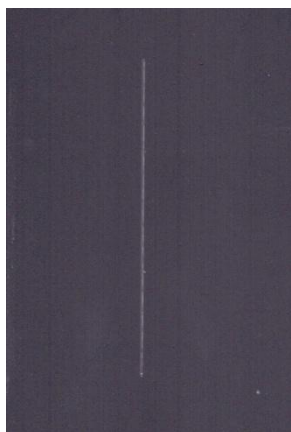


Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 61 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

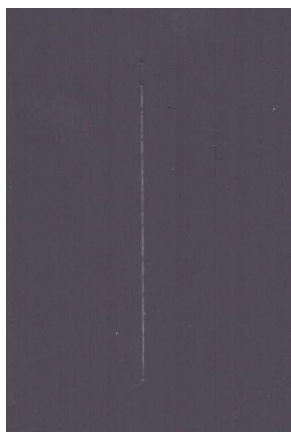


Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 63 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

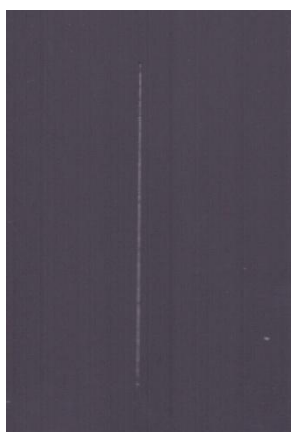




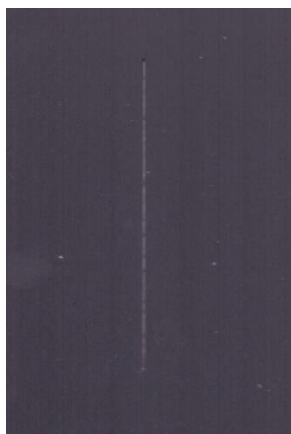
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



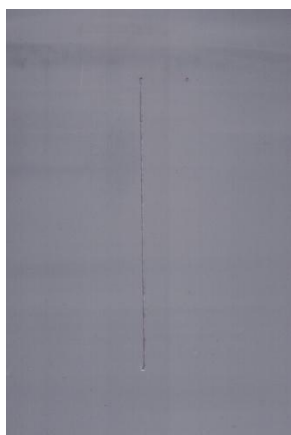
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



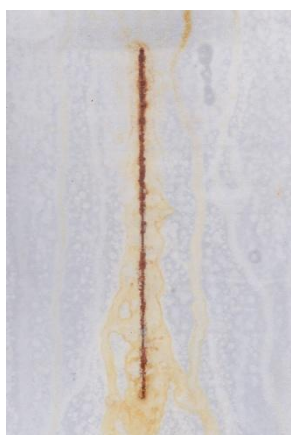
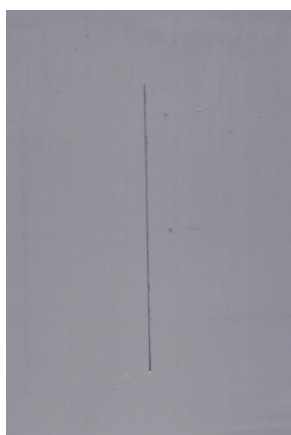
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 39 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



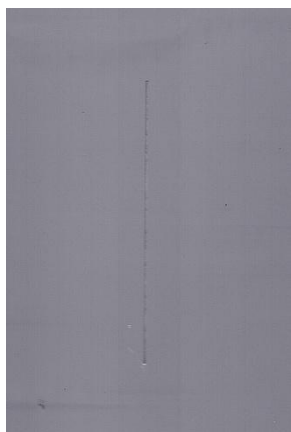
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 42 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



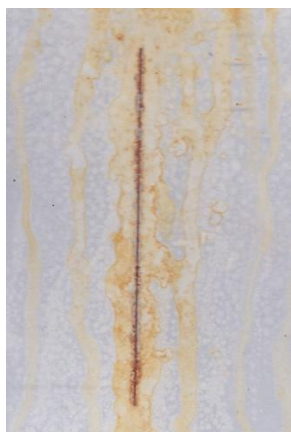
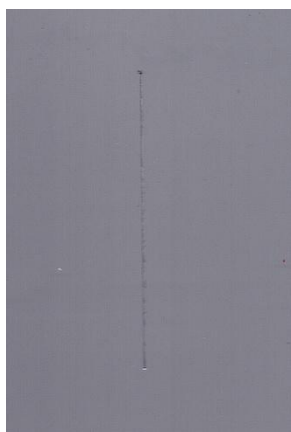
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



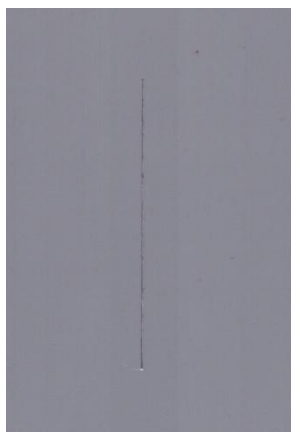
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



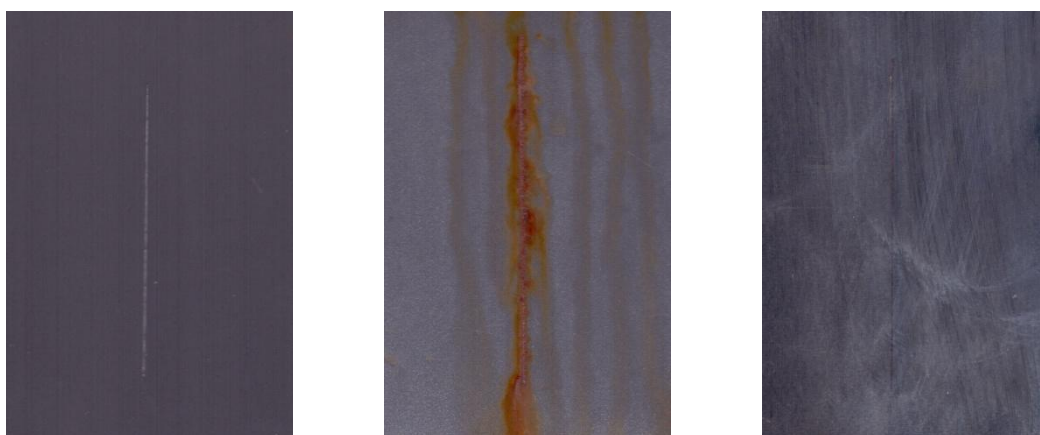
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



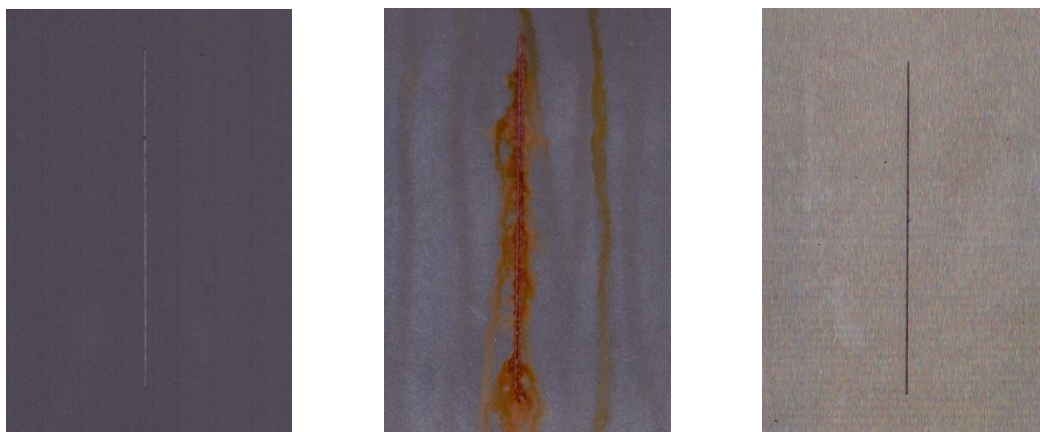
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



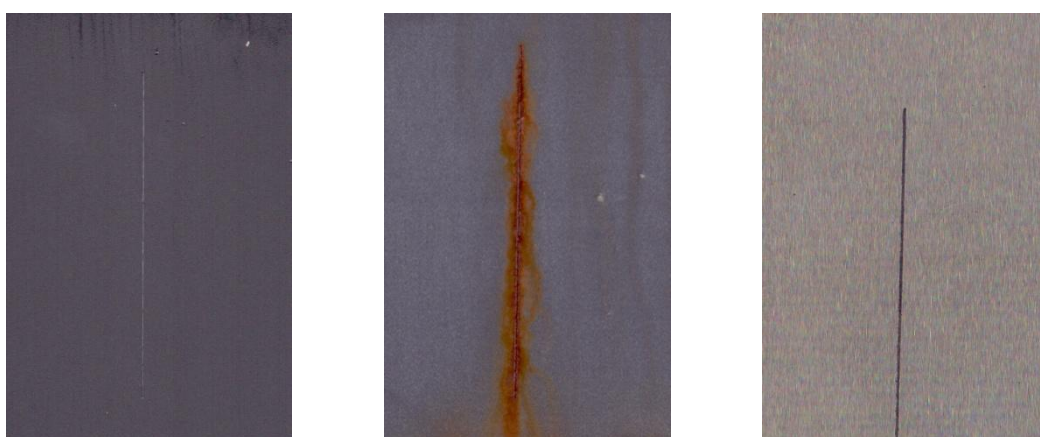
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



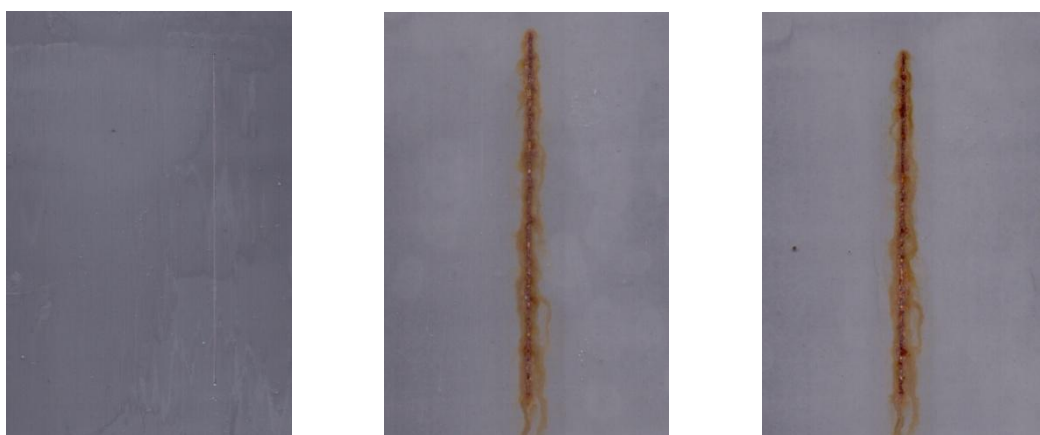
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



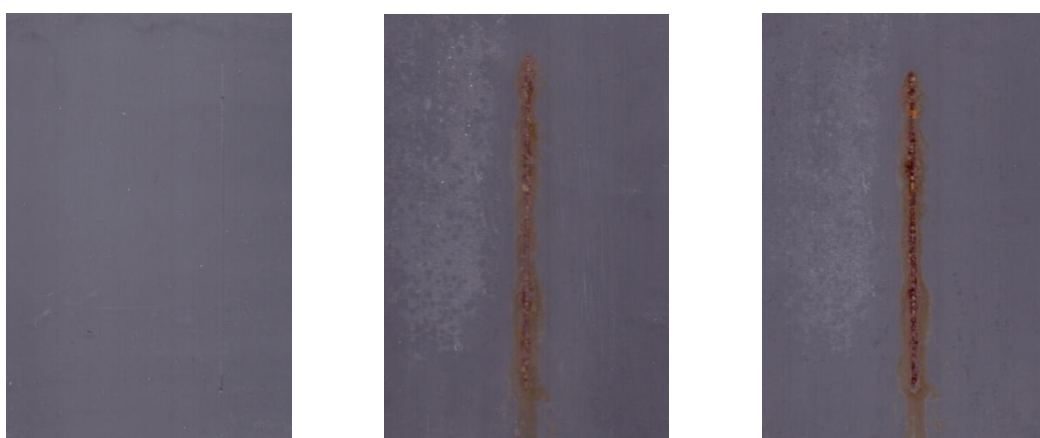
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice

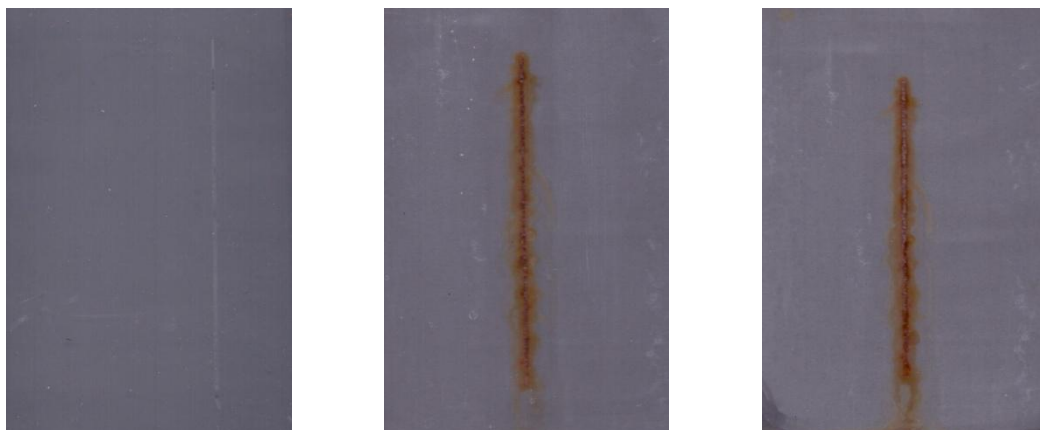


Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice



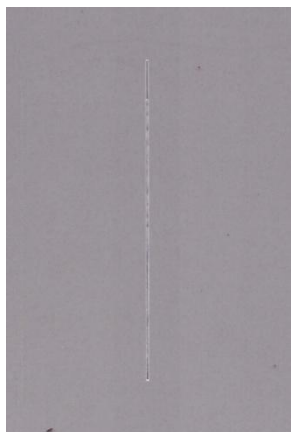


Nátěrové filmy s obsahem WS2-PPy/Zniso OKP = 3 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice

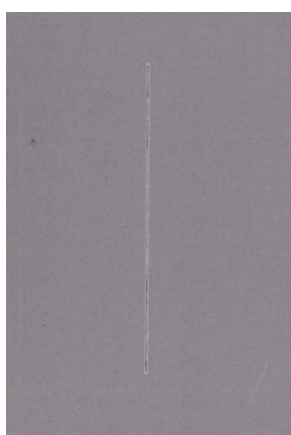


Nátěrové filmy s obsahem WS2-PPy/Zniso OKP = 5 % před expozicí, po 960 a 1680 hodinách expozice

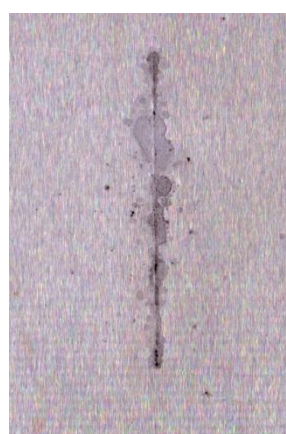
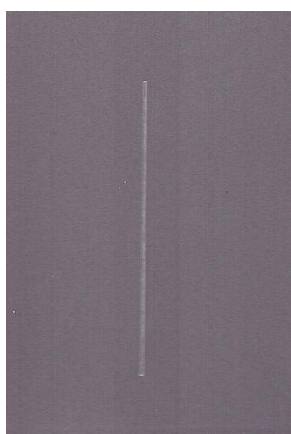
**Snímky nátěrových filmů po expozici v atmosféře s obsahem  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a NaCl po 2160 h**



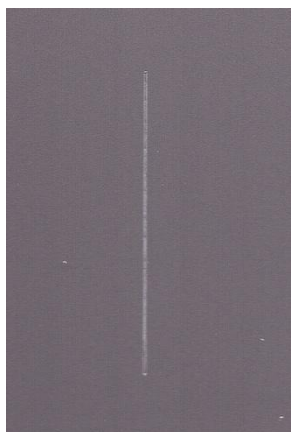
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



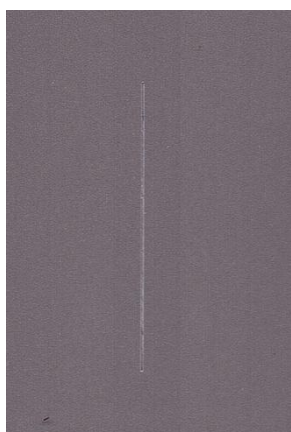
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



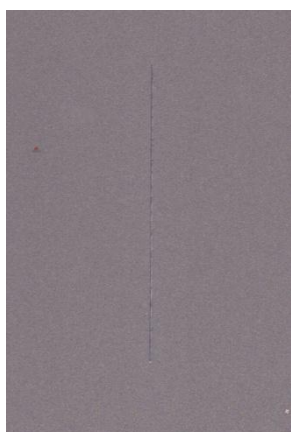
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



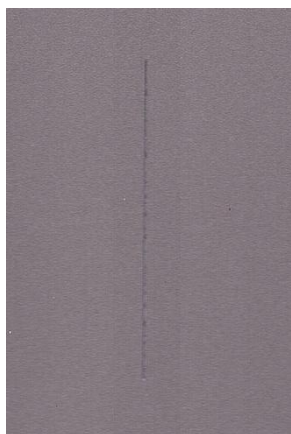
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



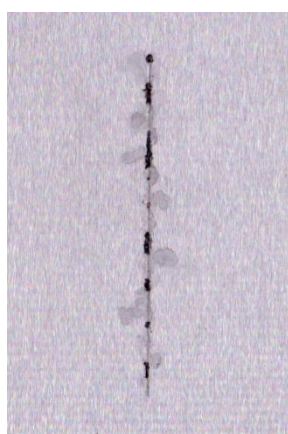
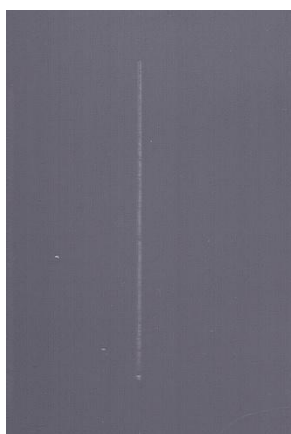
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



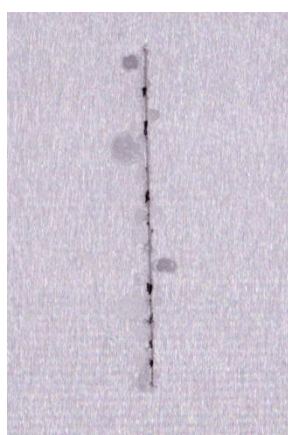
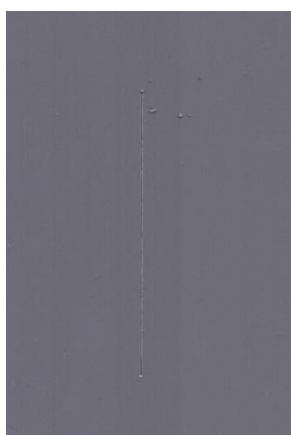
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 50 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



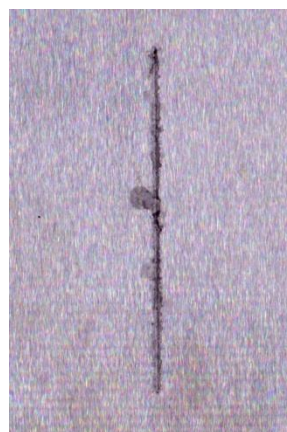
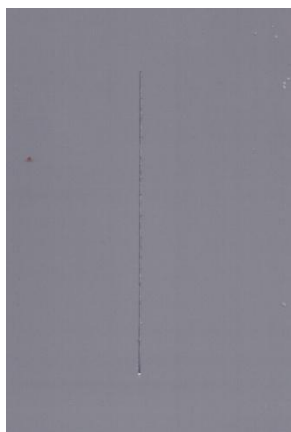
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 56 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



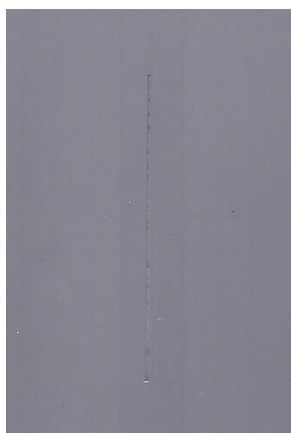
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



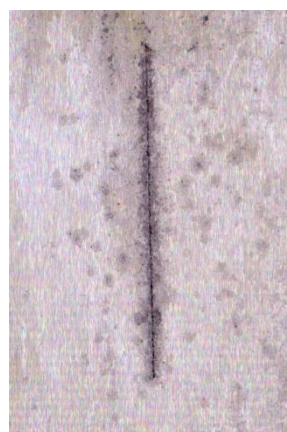
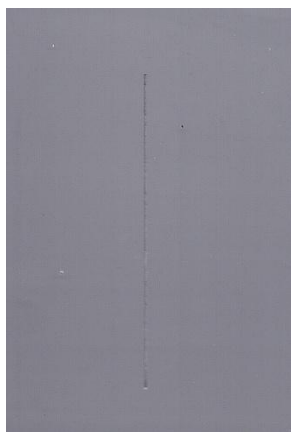
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



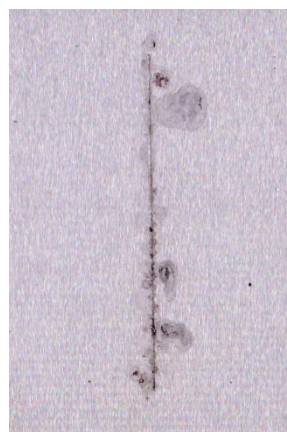
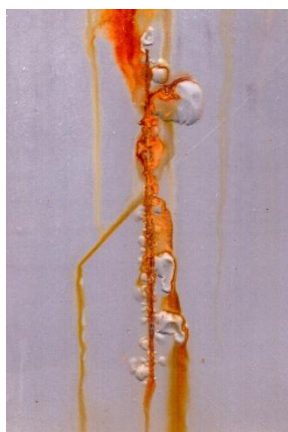
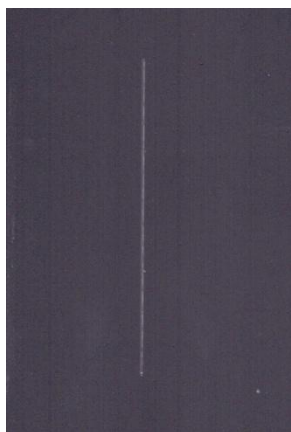
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 50 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



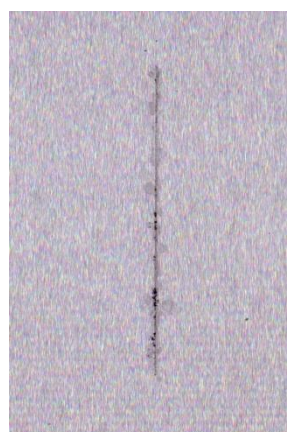
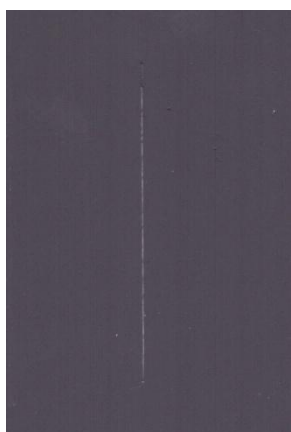
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 61 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



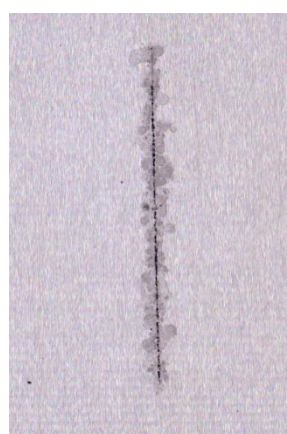
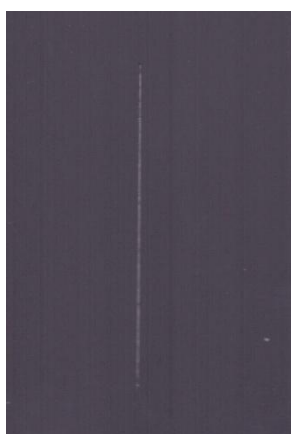
Nátěrové filmy s obsahem Zn (iso) OKP = 63 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



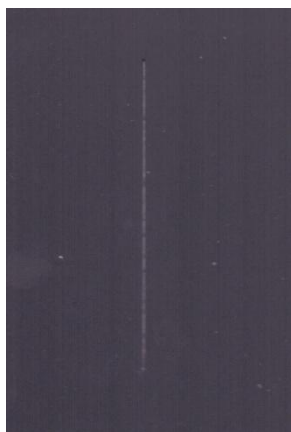
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



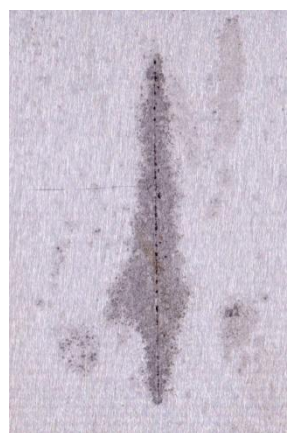
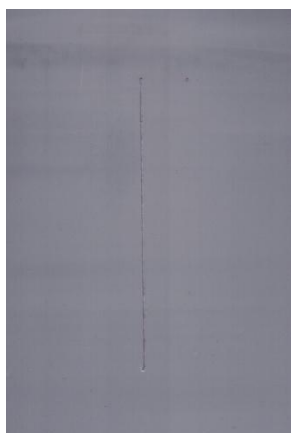
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



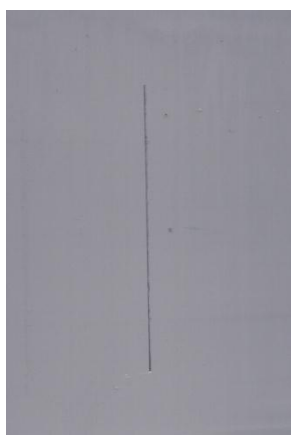
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 39 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



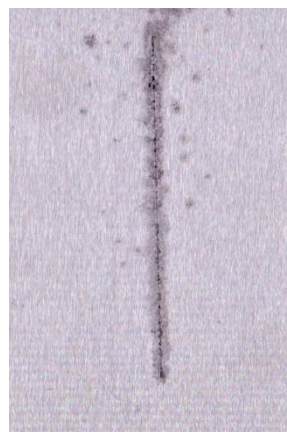
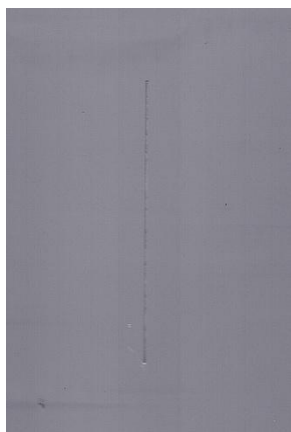
Nátěrové filmy s obsahem Zn (lam) OKP = 42 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



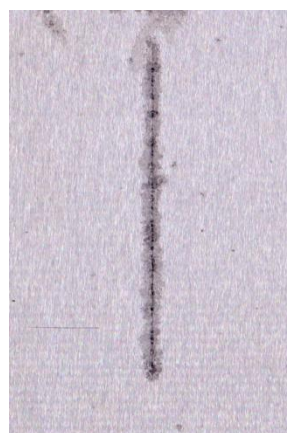
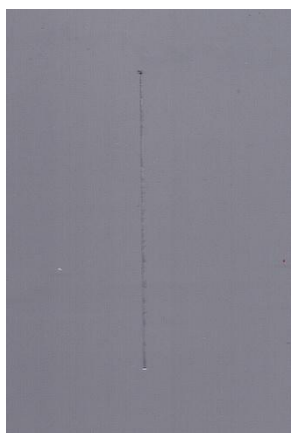
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



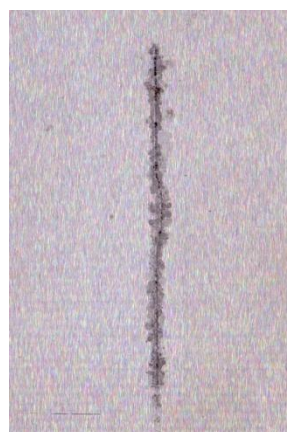
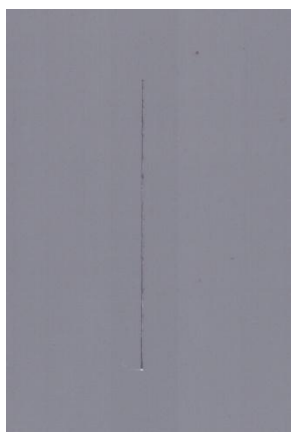
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

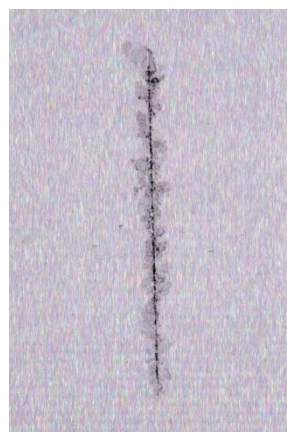
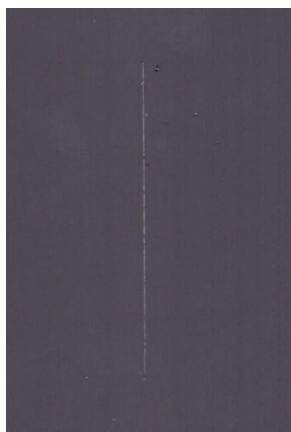


Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

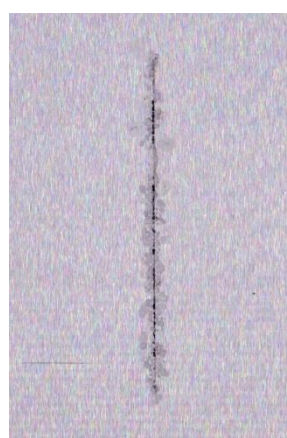
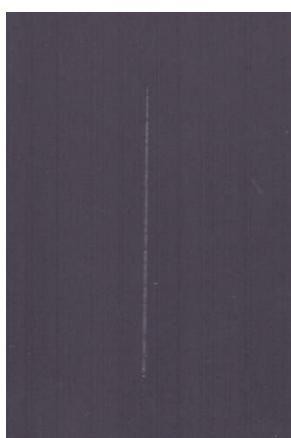


Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (iso) OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

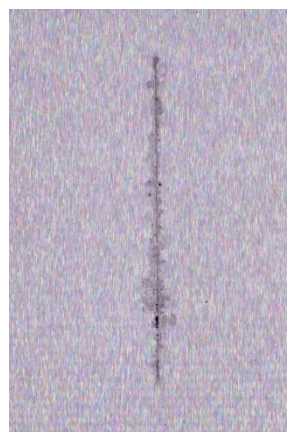
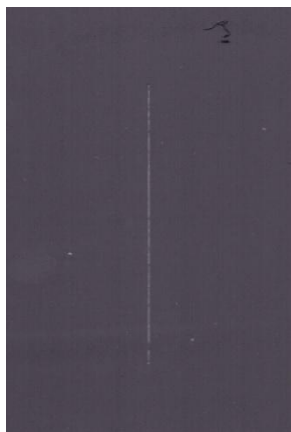




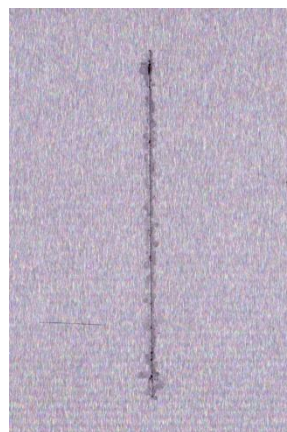
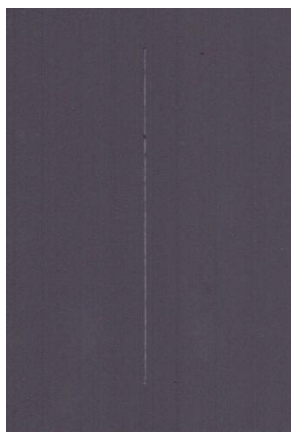
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



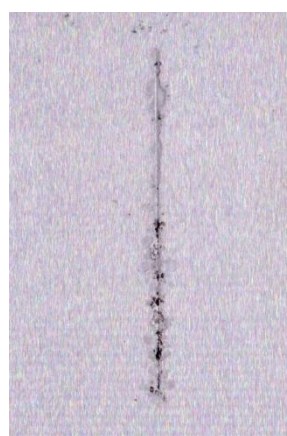
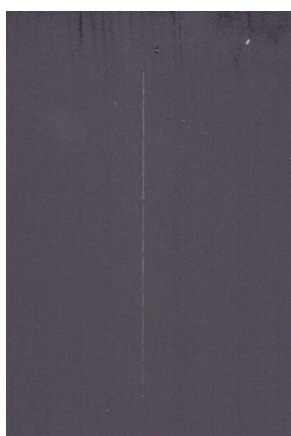
Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

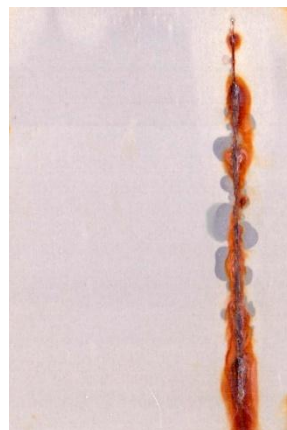
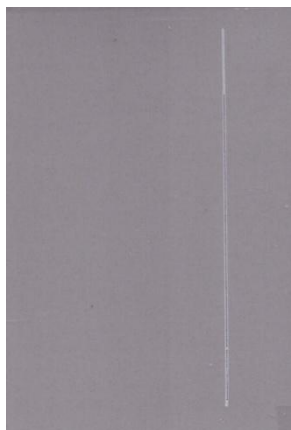


Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg / Zn (lam) OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

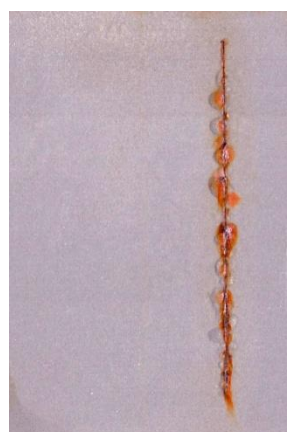
**Snímky nátěrových filmů po expozici v atmosféře se solnou mlhou v kombinaci se střídáním teplot po 960 h**



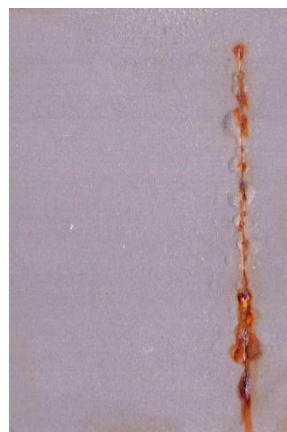
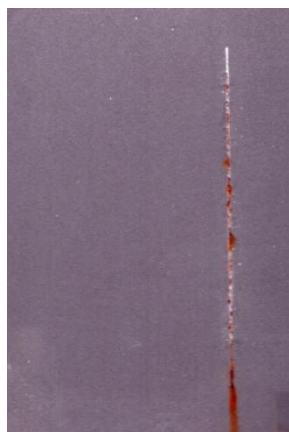
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 1 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



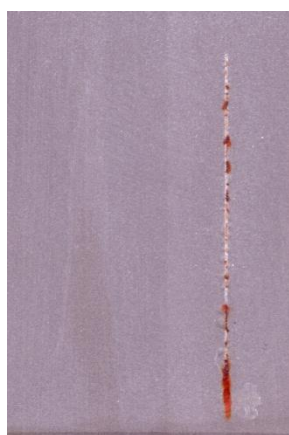
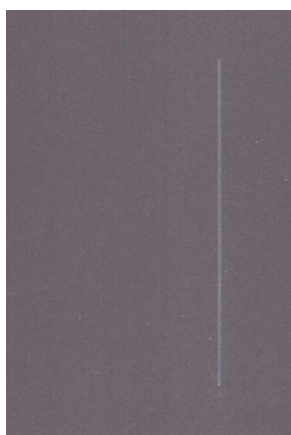
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 5 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



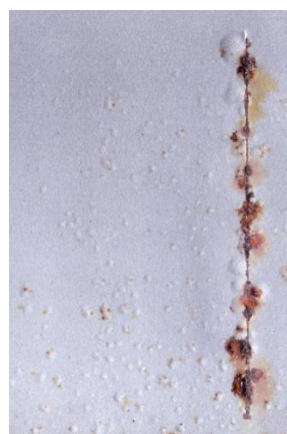
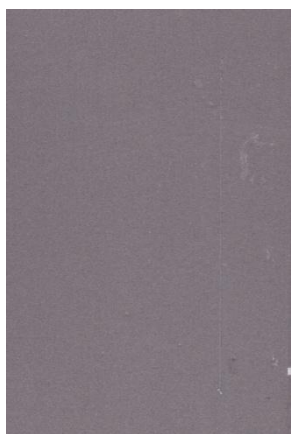
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 10 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



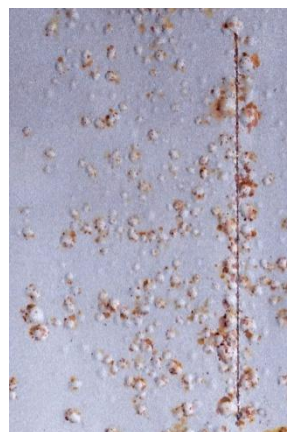
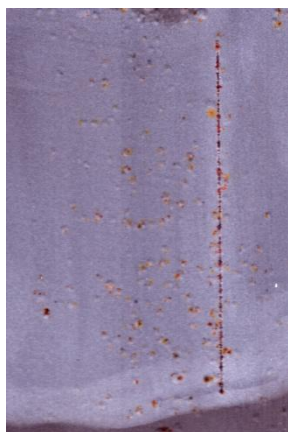
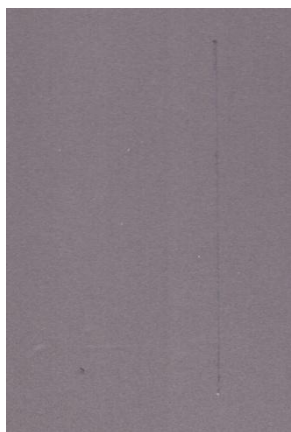
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 15 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 30 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



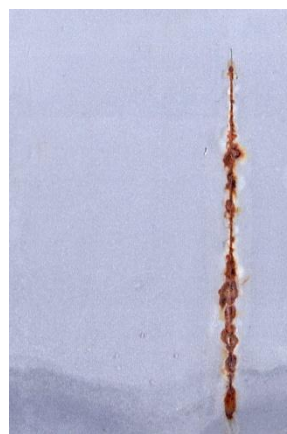
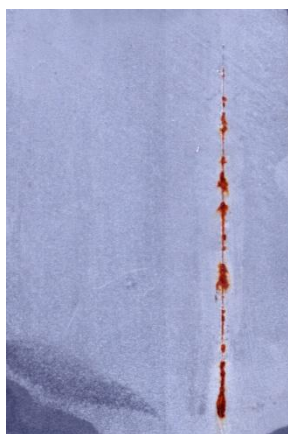
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 50 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



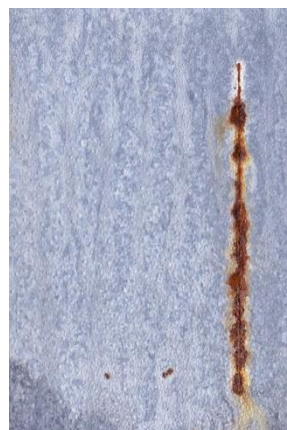
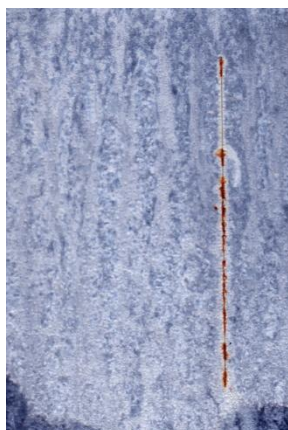
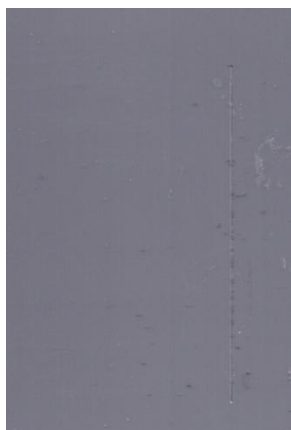
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 56 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



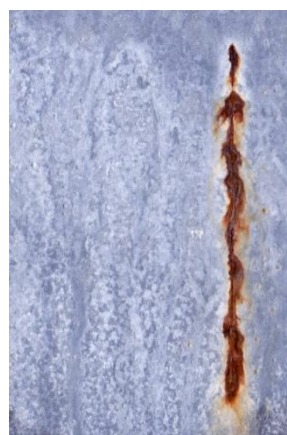
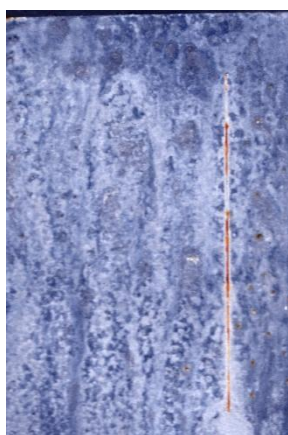
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 10 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



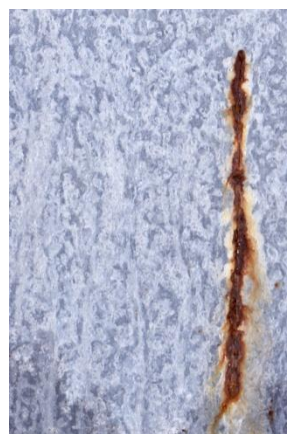
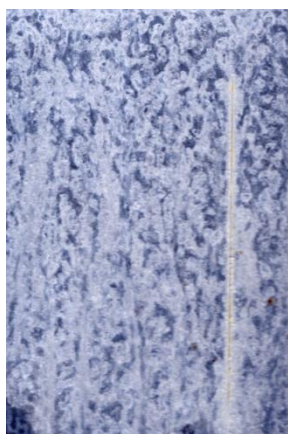
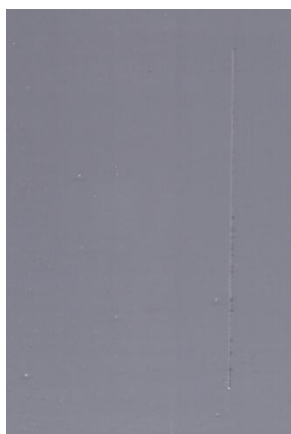
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 30 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



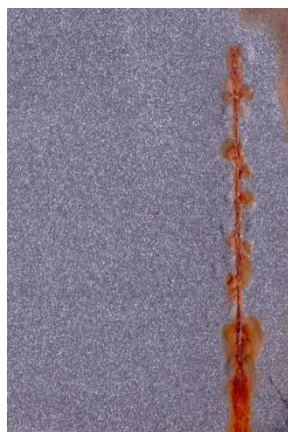
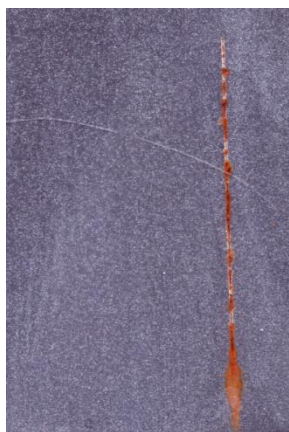
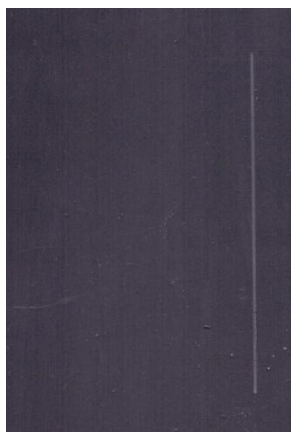
Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{iso}$  OKP = 50 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



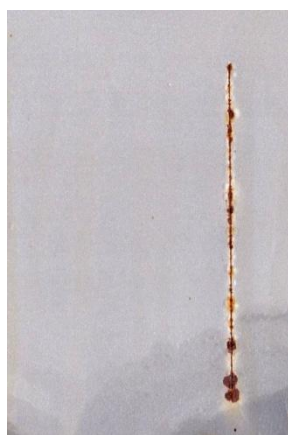
Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{iso}$  OKP = 61 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



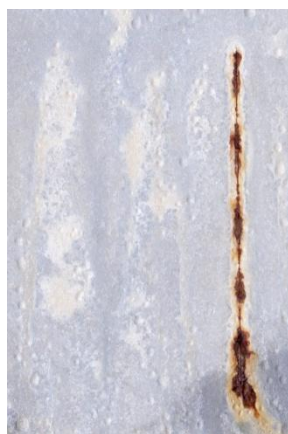
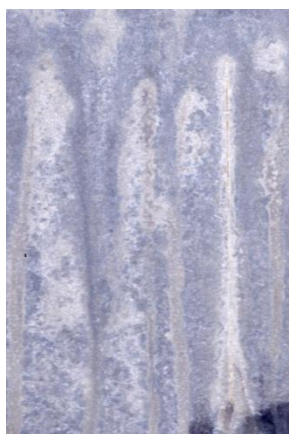
Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{iso}$  OKP = 63 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 10 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 30 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



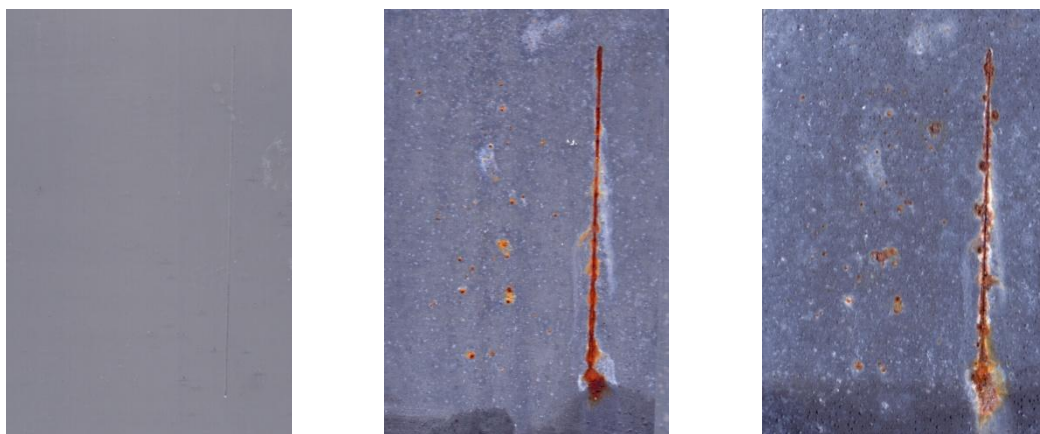
Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 39 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 42 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice

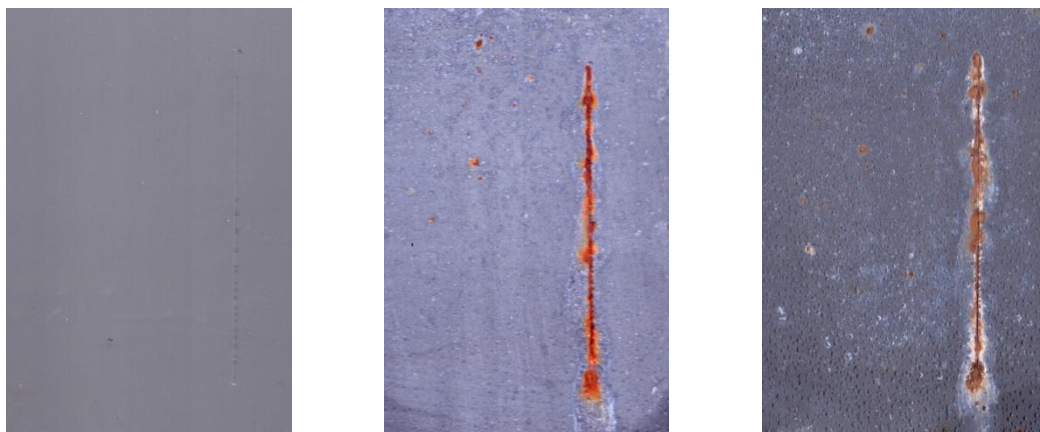


Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 3 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice





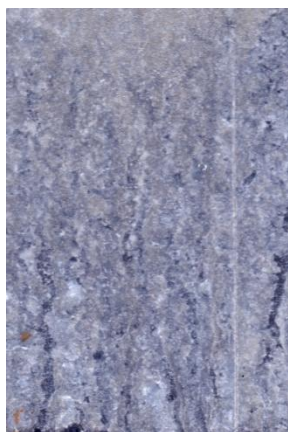
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 5 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



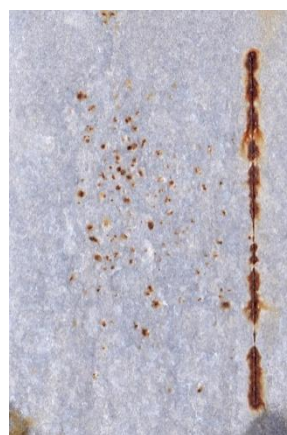
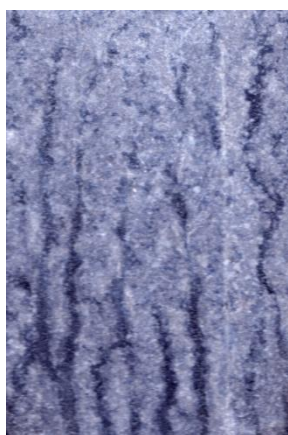
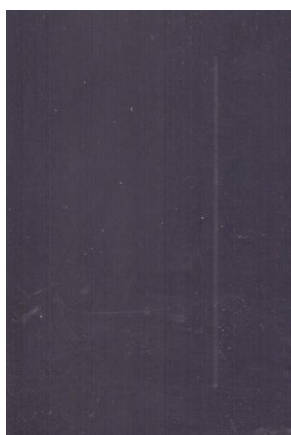
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 10 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



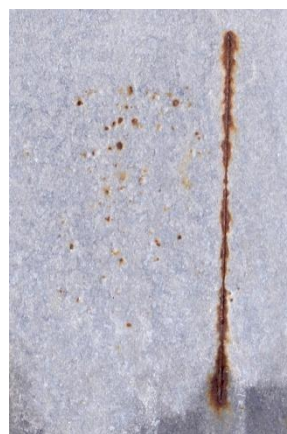
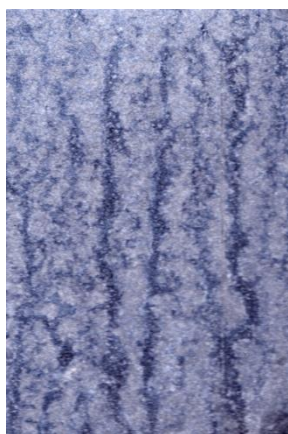
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 15 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 1 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 3 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 5 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



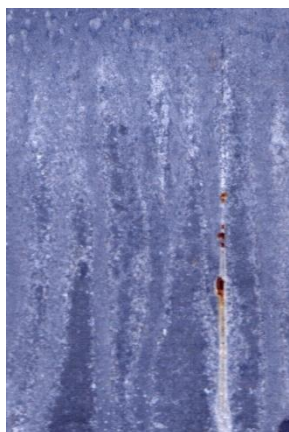
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>lam</sub> OKP = 10 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>lam</sub> OKP = 15 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



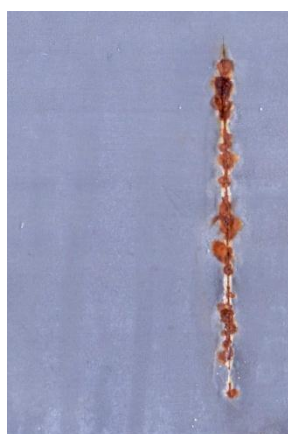
Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



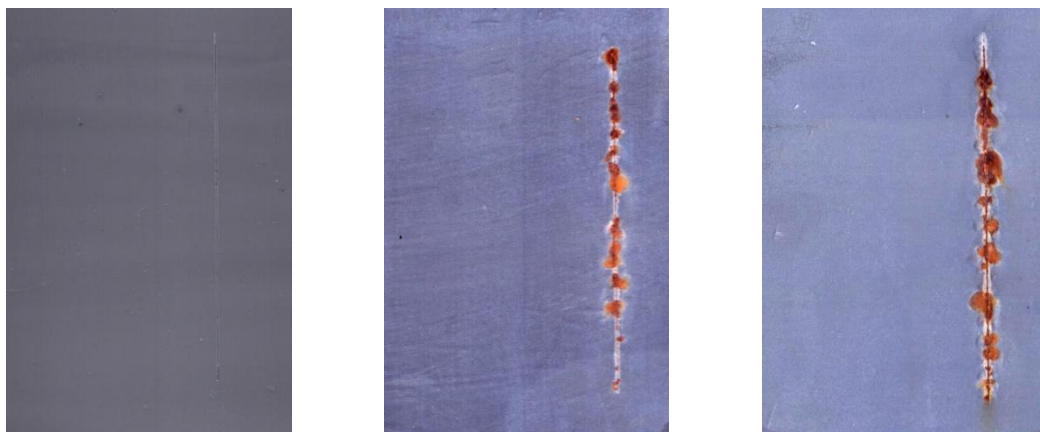
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



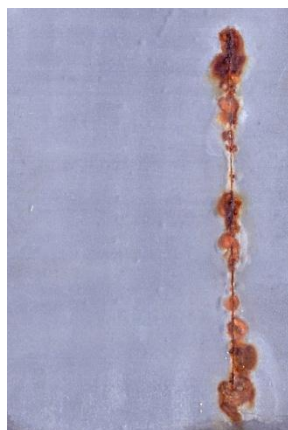
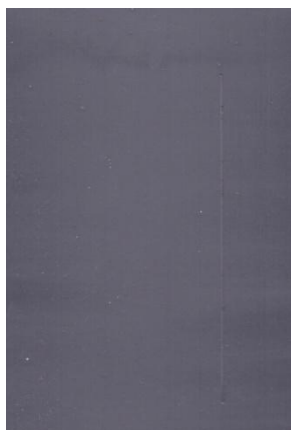
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



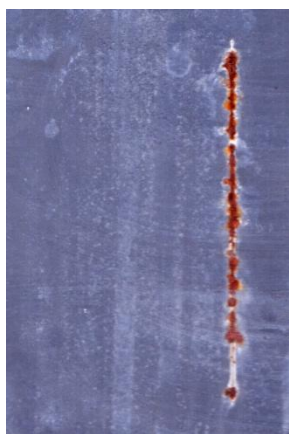
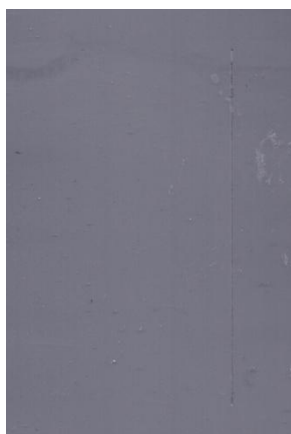
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



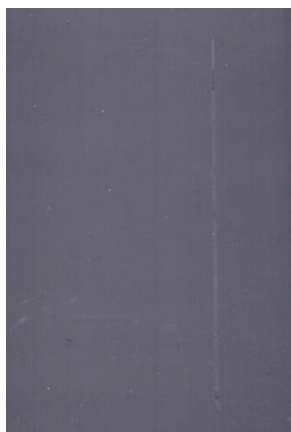
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



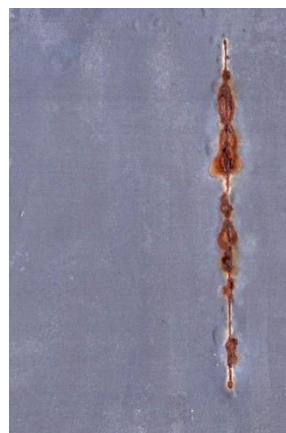
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice

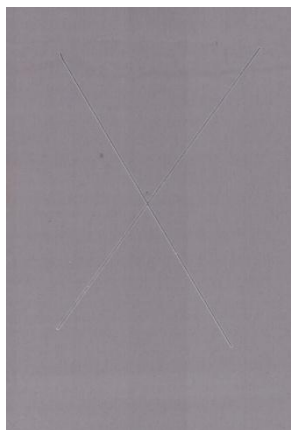


Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PPy/ $Zn_{iso}$  OKP = 3 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice

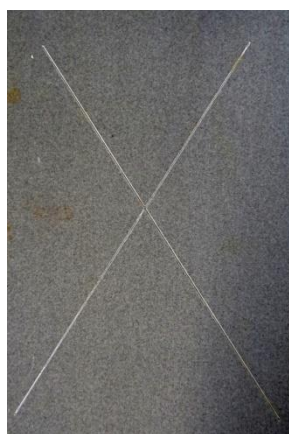


Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PPy/ $Zn_{iso}$  OKP = 5 % před expozicí, po 240 hod a 720 hod expozice

**Snímky nátěrových filmů na hliníkových panelech po expozici v atmosféře se solnou mlhou po 480 h**



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

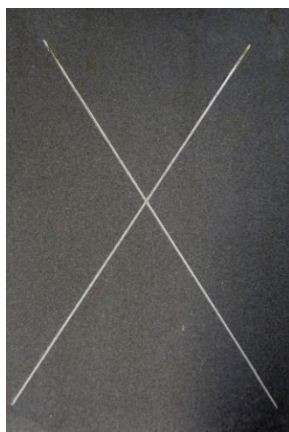


Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru





Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 50 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 56 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{iso}$  OKP = 50 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{iso}$  OKP = 61 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{iso}$  OKP = 63 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 30 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 39 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 42 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{iso}$  OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{iso}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>180</sub> OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>180</sub> OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>180</sub> OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



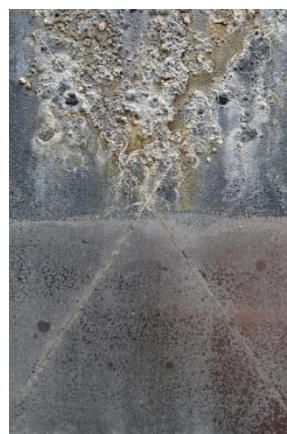
Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{Mg/Zn}_{\text{lam}}$  OKP = 10 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{Mg/Zn}_{\text{lam}}$  OKP = 15 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru





Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PANI/ $Zn_{iso}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PANI/ $Zn_{iso}$  OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $MoS_2$ -PPy/ $Zn_{iso}$  OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



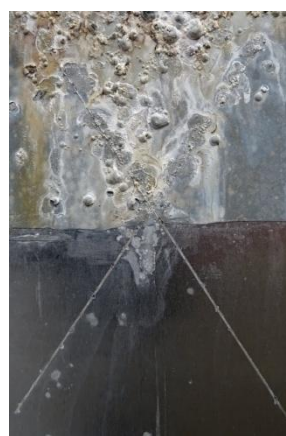
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

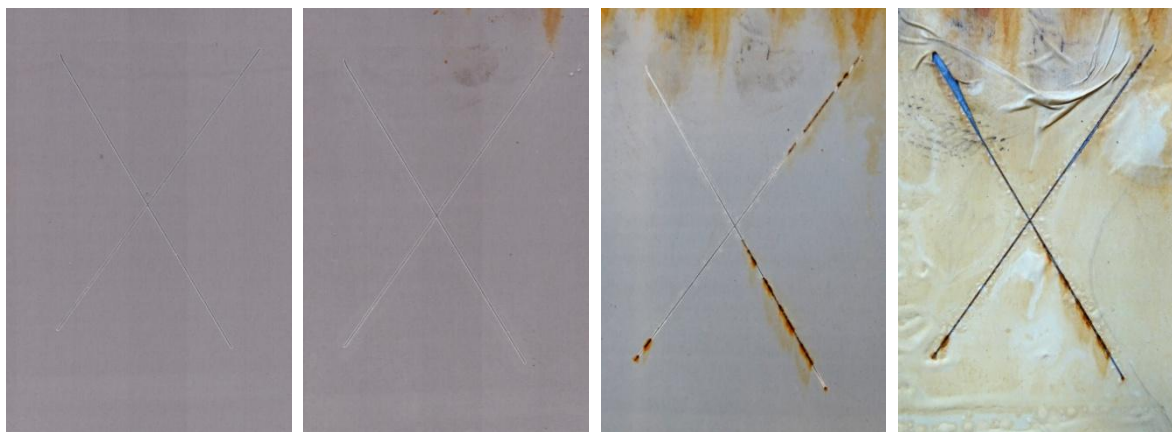


Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

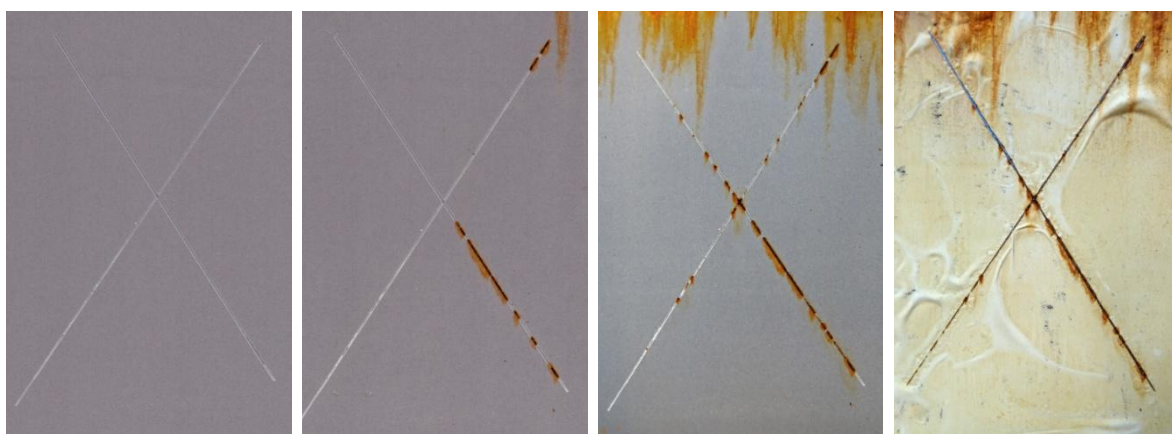


Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí, po expozici a po odstranění nátěru

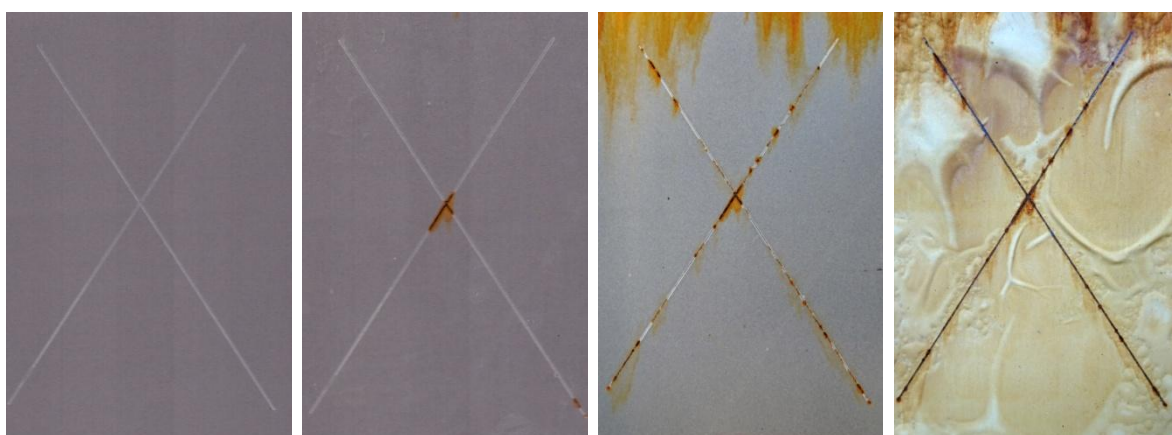
### Snímky z ponorové zkoušky dle Machu a Schiffmana po 1., 2. a 3. cyklu



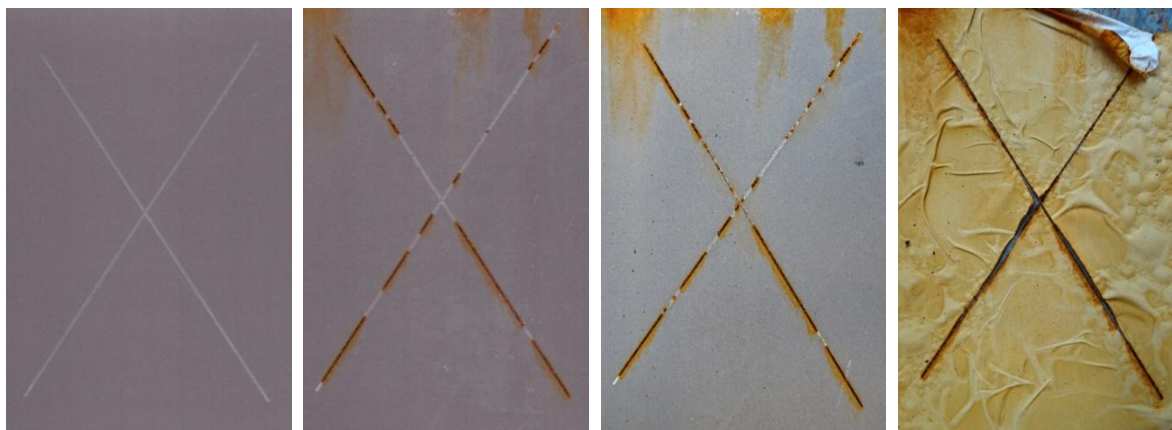
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 1 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 5 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



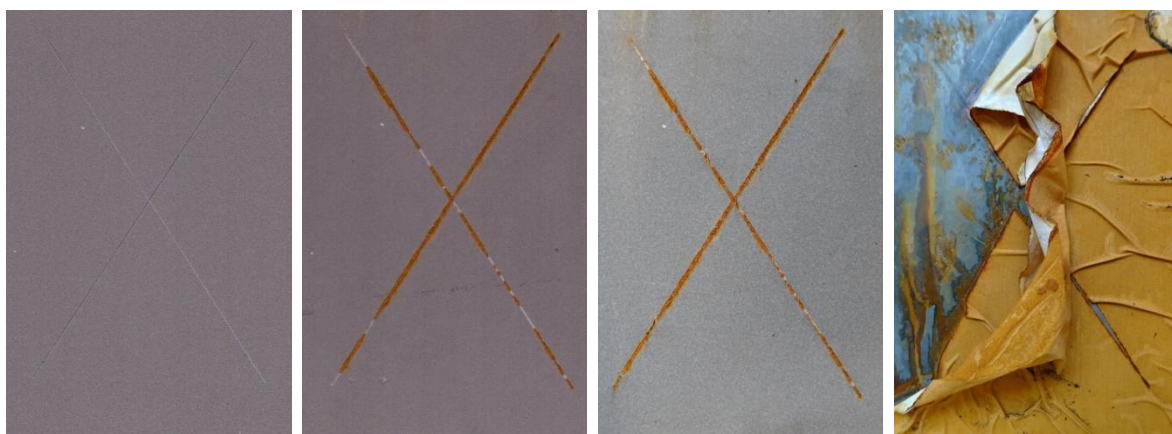
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 10 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 15 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



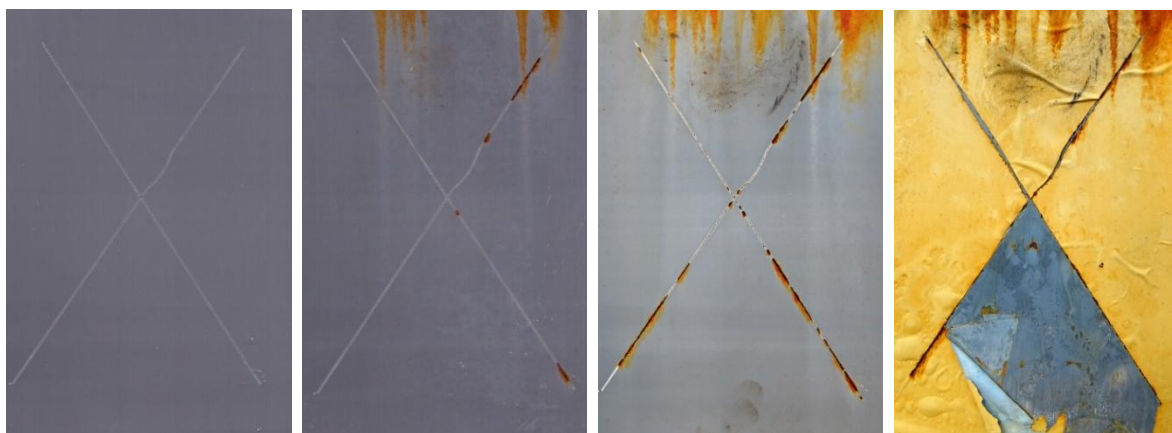
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 30 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 50 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



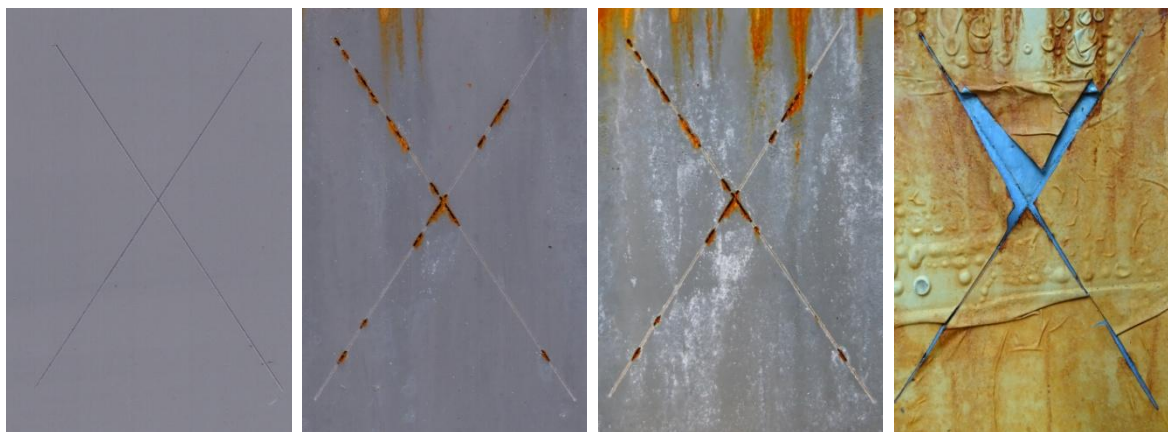
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 56 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



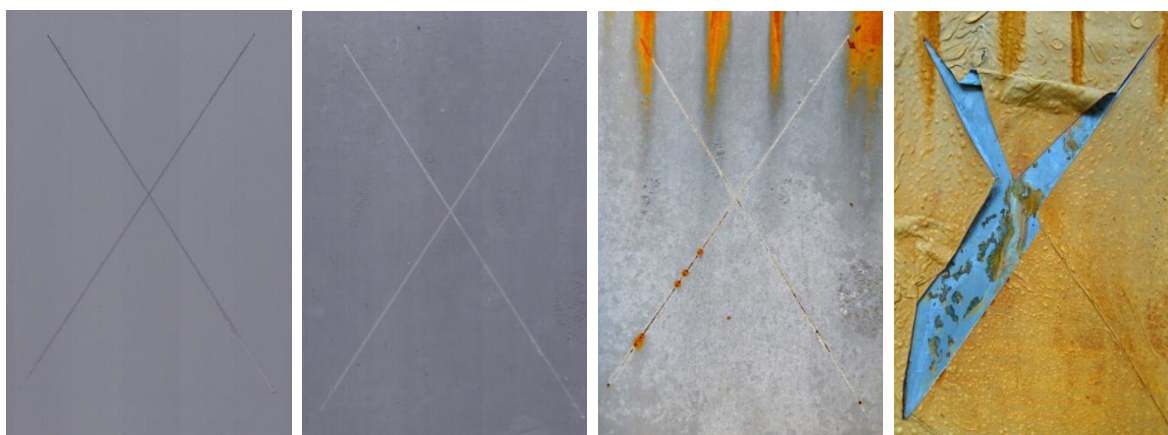
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 10 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



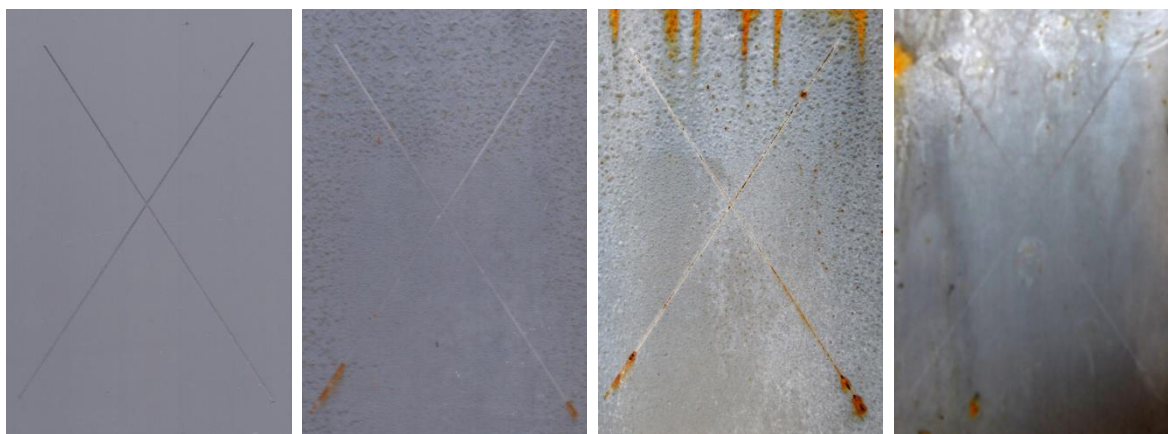
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 30 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 50 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu

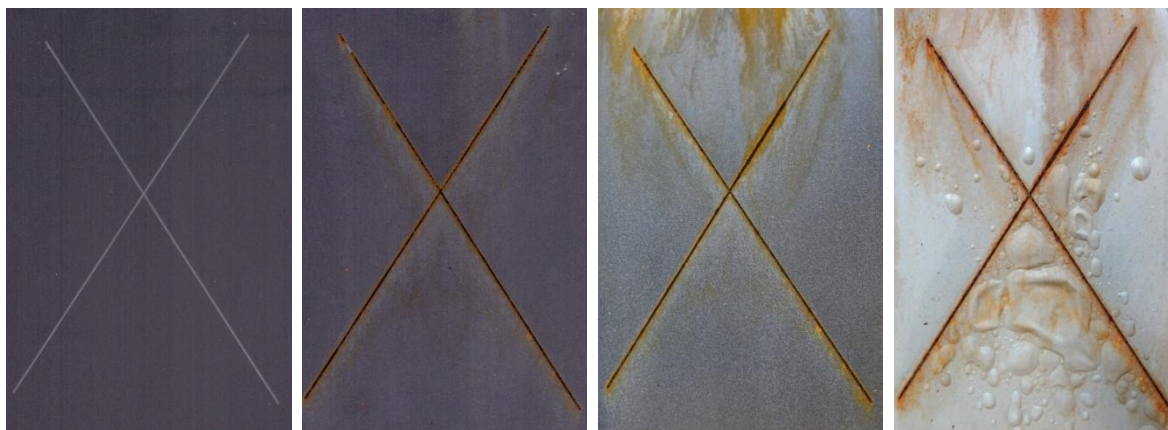


Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 61 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu

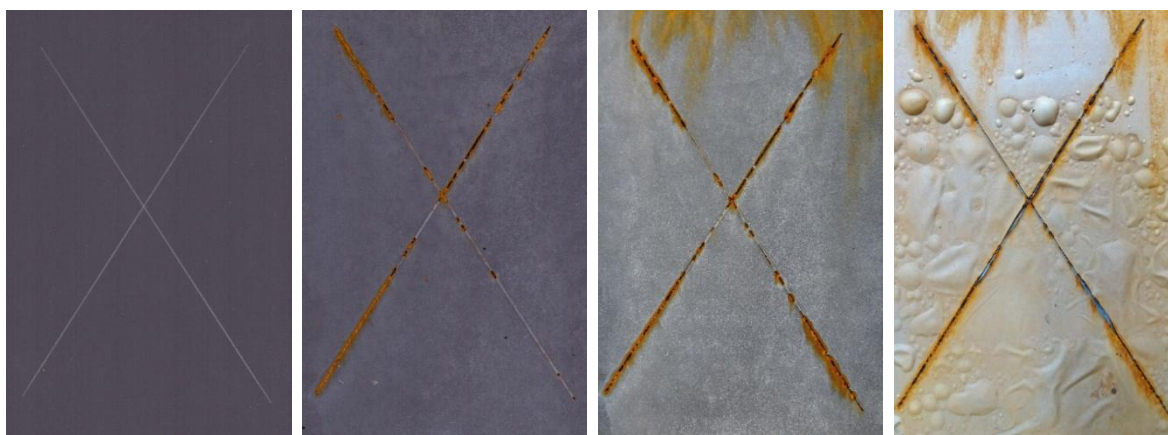


Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 63 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu

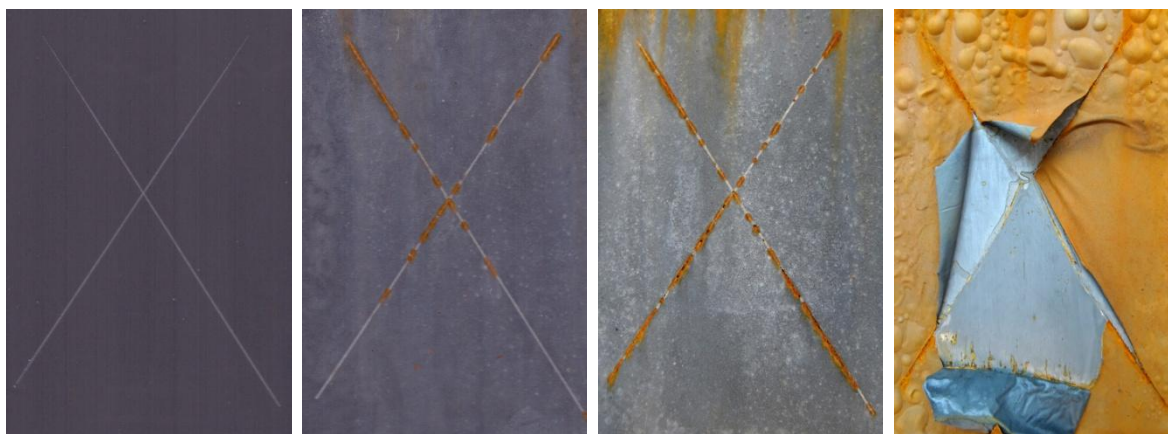




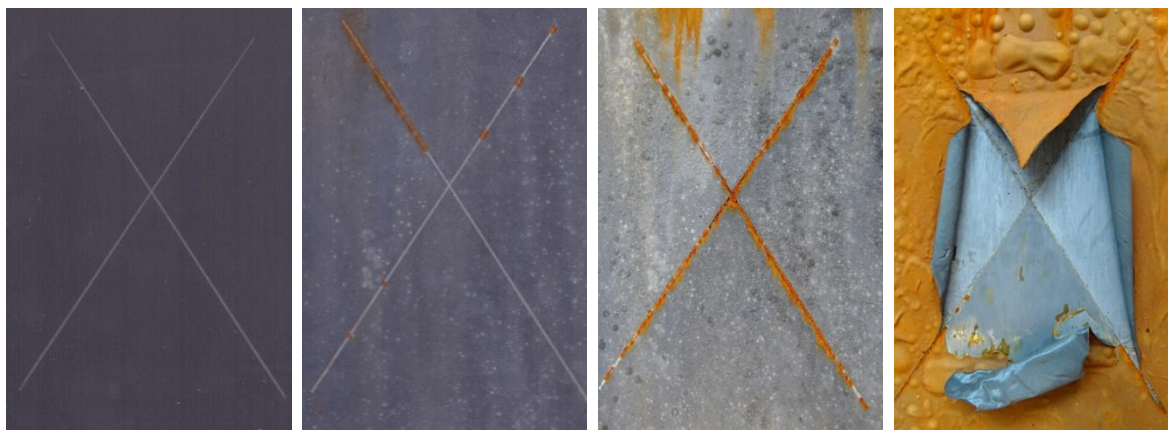
Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 10 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 30 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



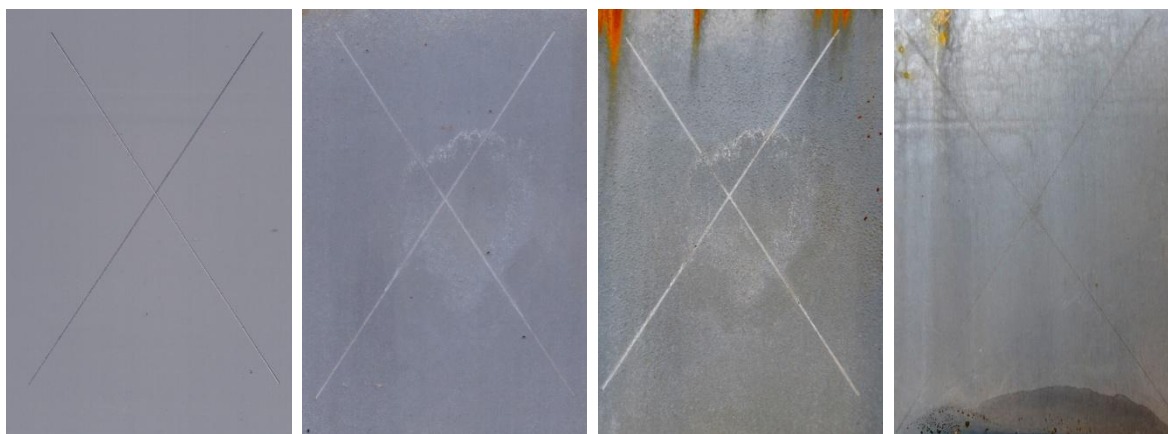
Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 39 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 42 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 3 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 5 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



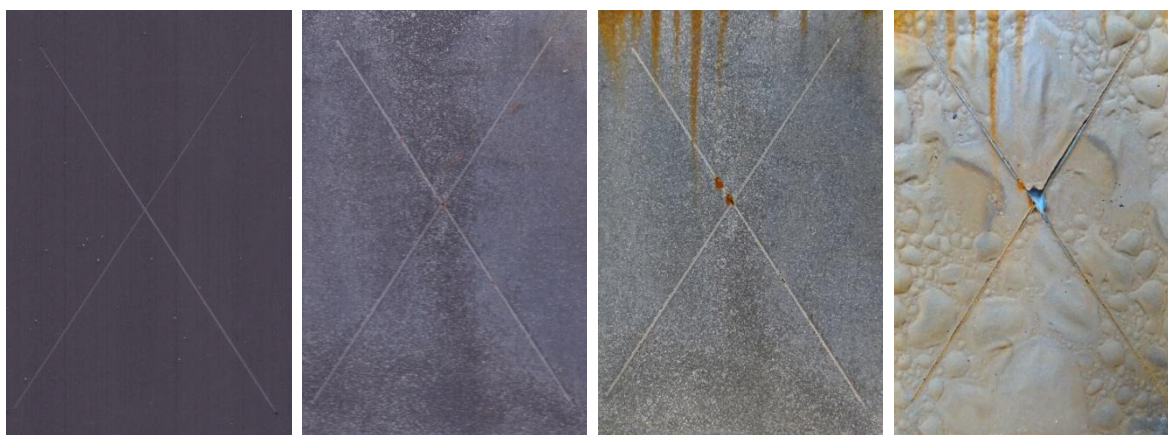
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 10 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 15 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



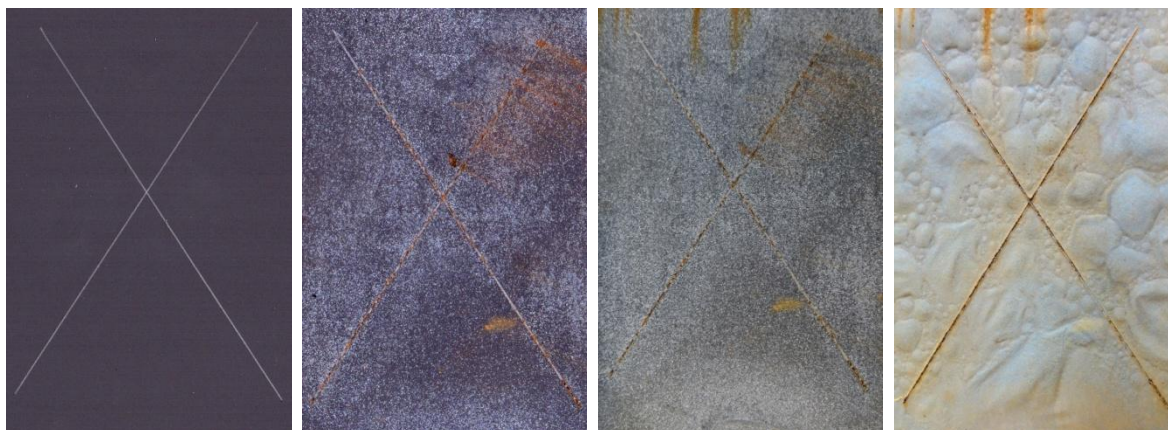
Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 1 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



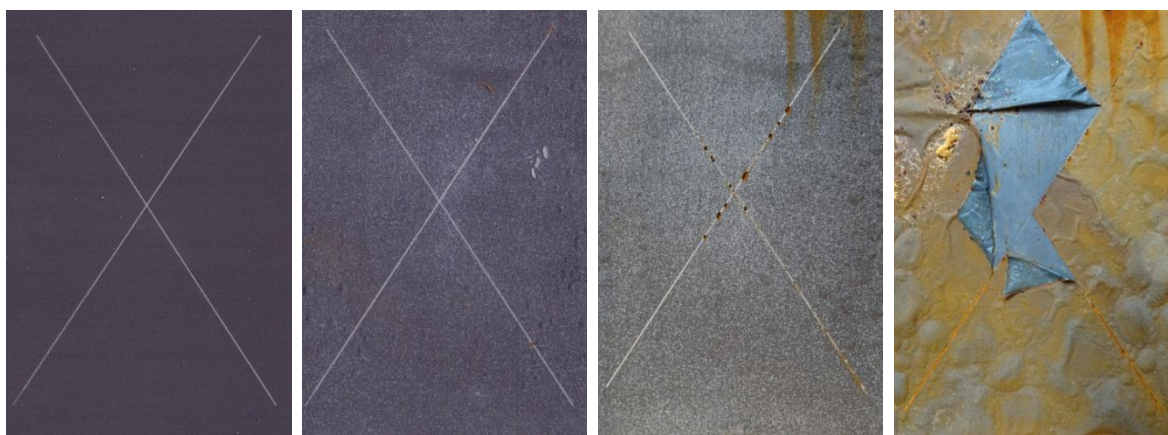
Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 3 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 5 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 10 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{lam}$  OKP = 15 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $MoS_2$ -PANI/ $Zn_{iso}$  OKP = 1 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



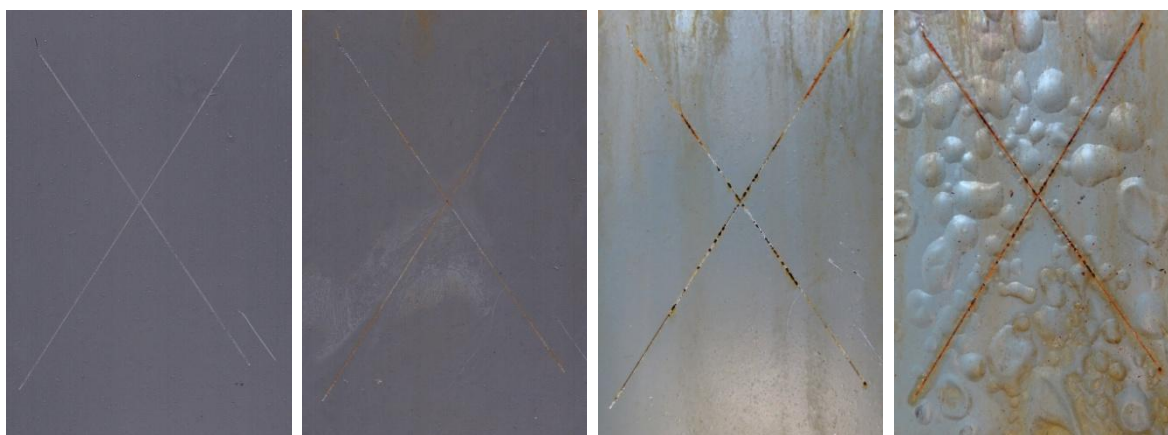
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



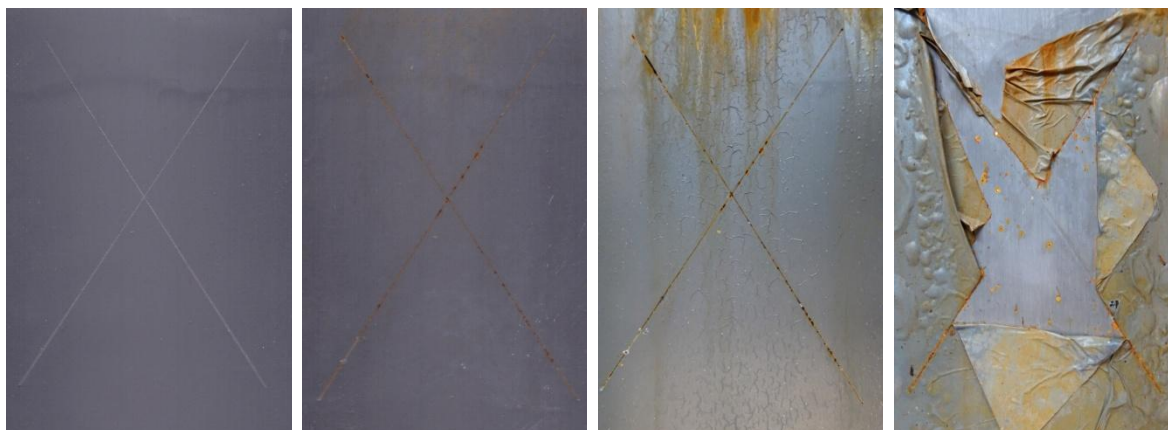
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



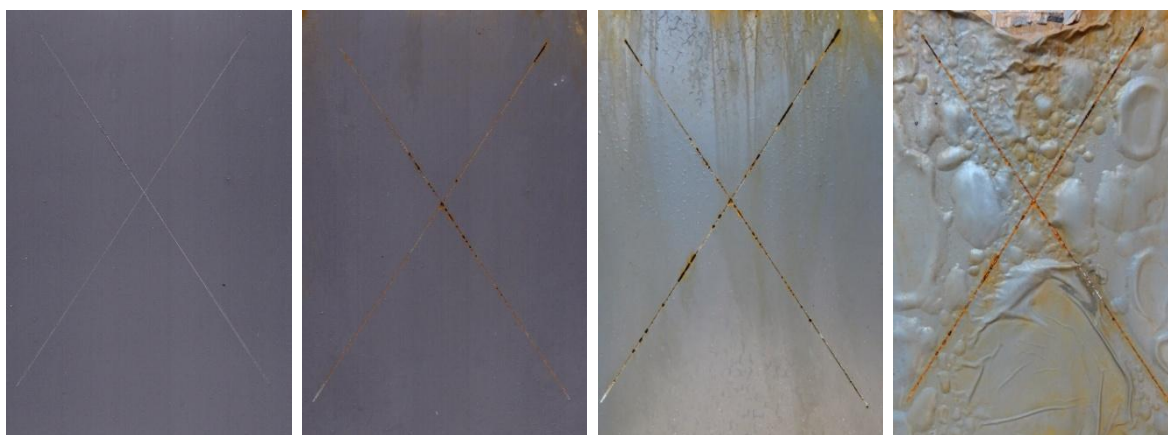
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PANI/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu

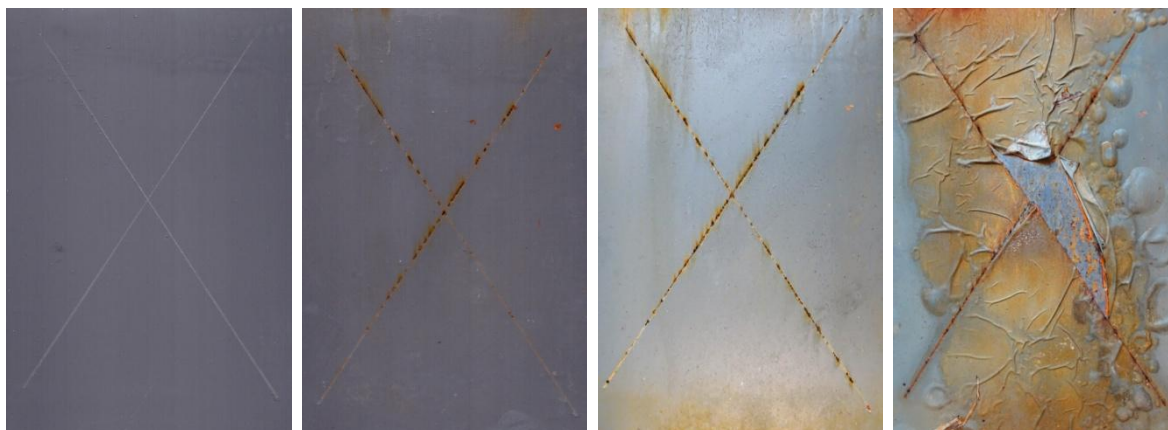


Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu





Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PPy/ $Zn_{iso}$  OKP = 3 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu



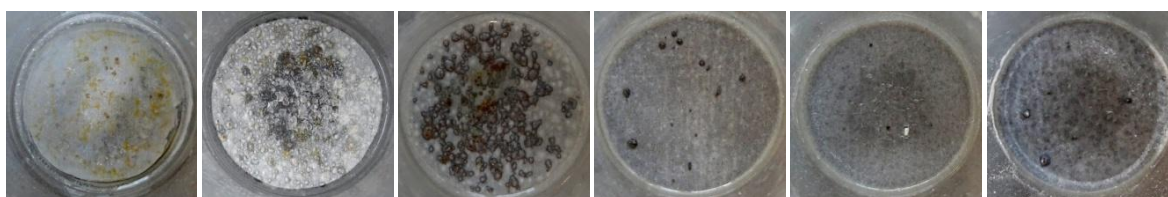
Nátěrové filmy s obsahem  $WS_2$ -PPy/ $Zn_{iso}$  OKP = 5 % před expozicí po 1., 2. a 3. cyklu

**Snímky korozních projevů nátěrových filmů v závislosti na pH kapaliny pomocí stacionární kapkové metody (pH = 2, 4, 6, 8, 10 a 12 - zleva)**

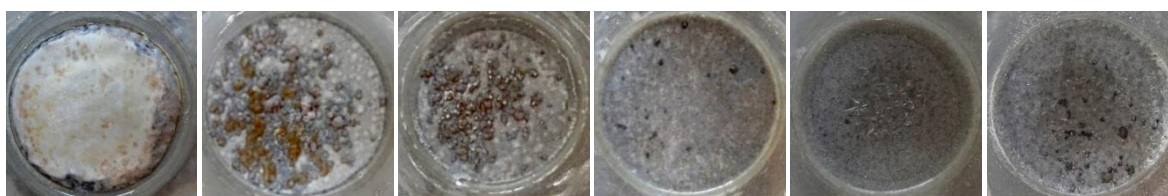
**a) po 28 dnech expozice**



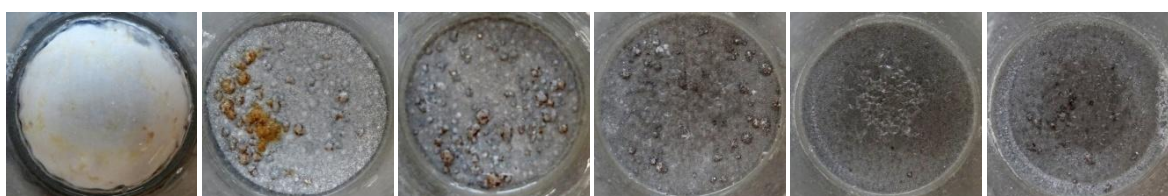
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 1 %



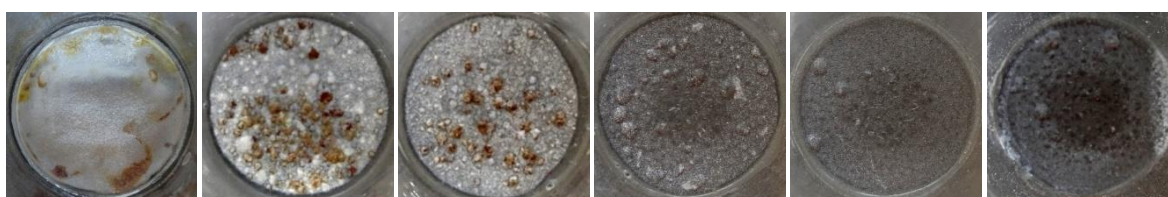
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 5 %



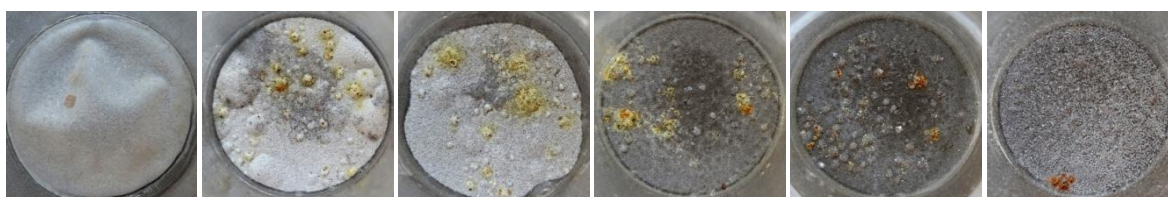
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 10 %



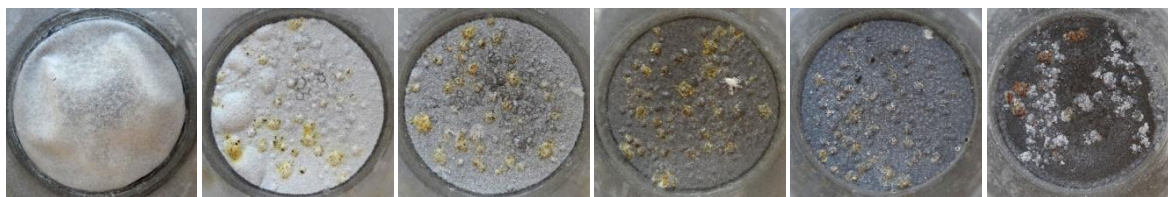
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 15 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 30 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 50 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 56 %



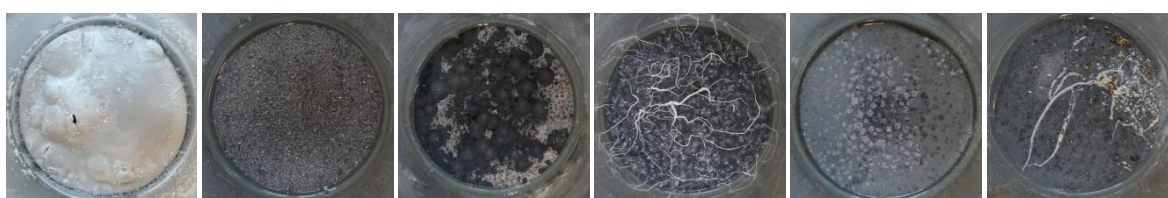
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 10 %



Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 30 %



Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 50 %



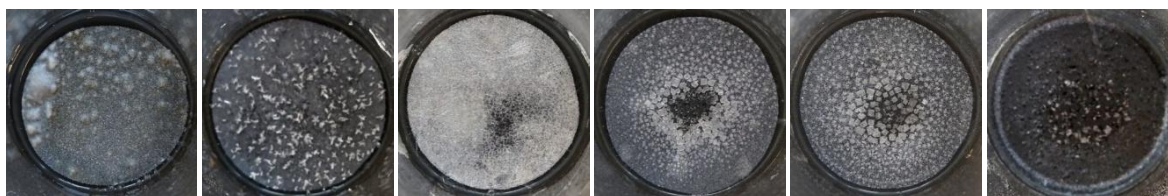
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 61 %



Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 63 %



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 10 %



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 30 %



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 39 %



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 42 %



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{iso}$  OKP = 1 %



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{iso}$  OKP = 3 %



Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{iso}$  OKP = 5 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 10 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 15 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>lam</sub> OKP = 1 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>lam</sub> OKP = 3 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>lam</sub> OKP = 5 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>lam</sub> OKP = 10 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>lam</sub> OKP = 15 %



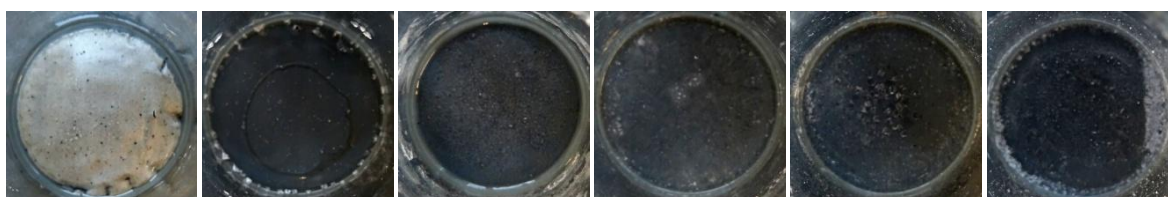
Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 %



Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 3 %



Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 5 %



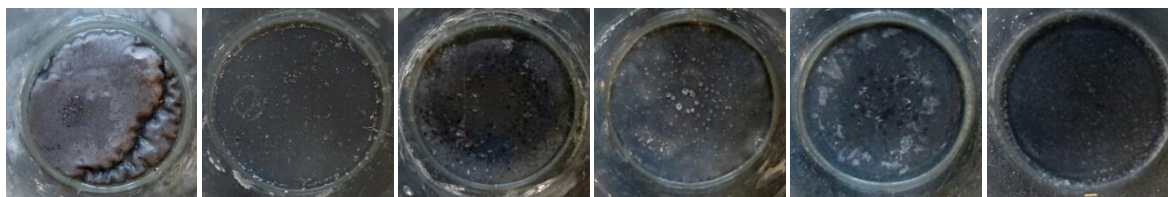
Nátěrové filmy s obsahem WS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 %



Nátěrové filmy s obsahem WS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 3 %



Nátěrové filmy s obsahem WS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 5 %



Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PPy/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 %



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 %



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 %



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 %

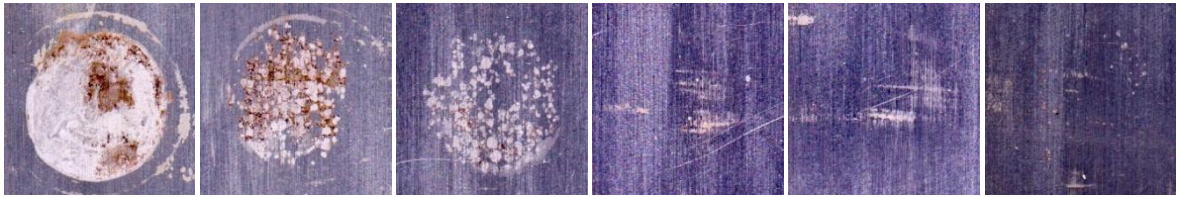


Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 %

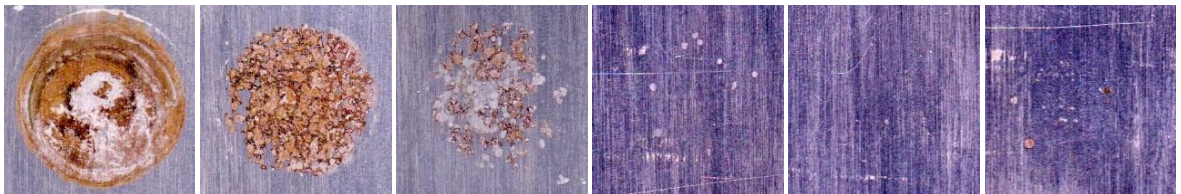


Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 %

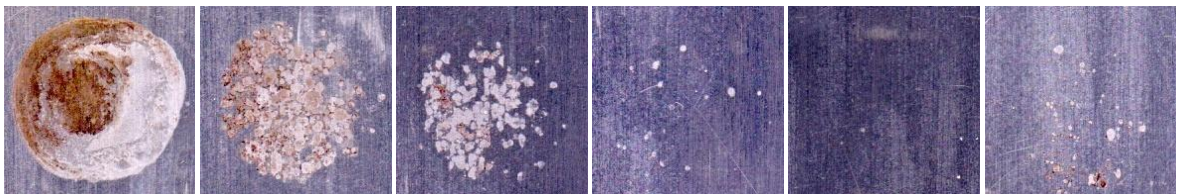
## b) po stažení nátěrového filmu



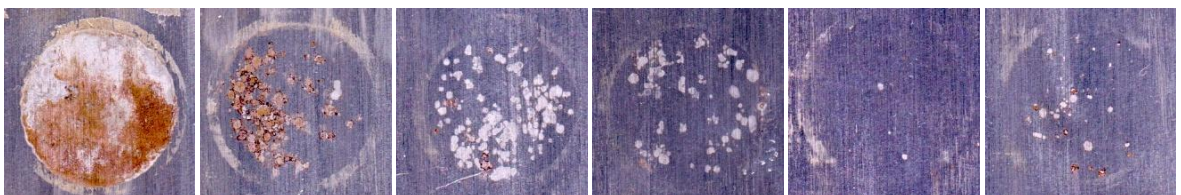
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 1 %



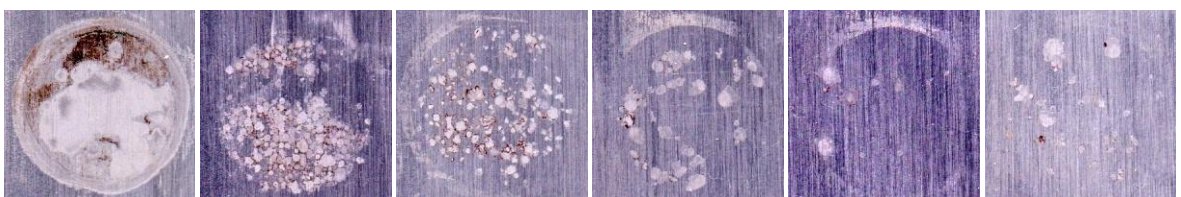
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 5 %



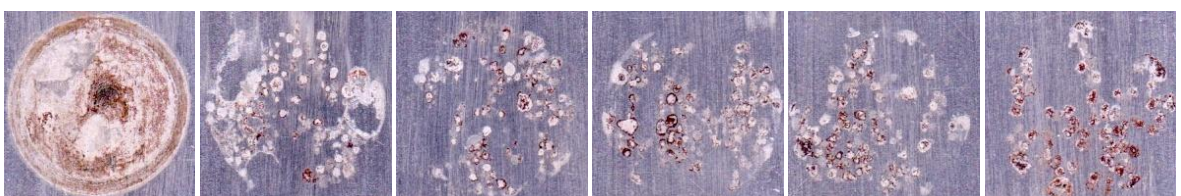
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 10 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 15 %

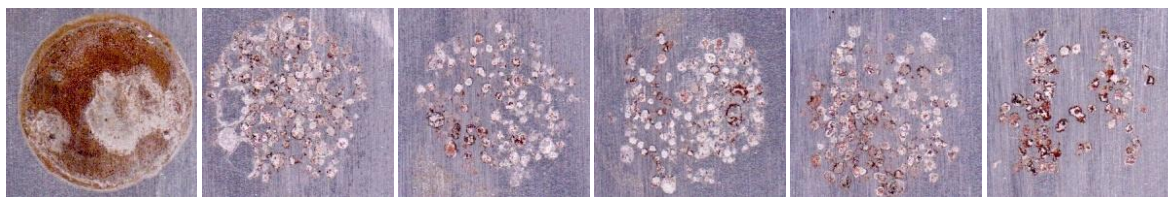


Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 30 %

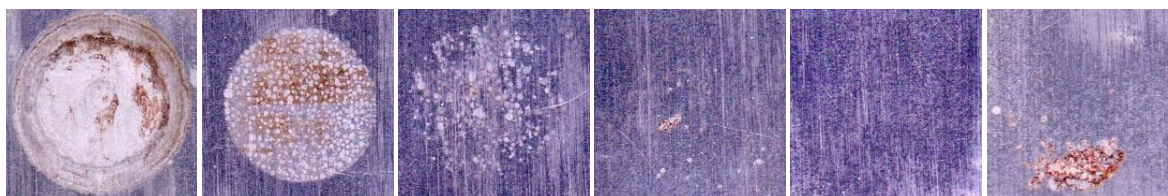


Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 50 %

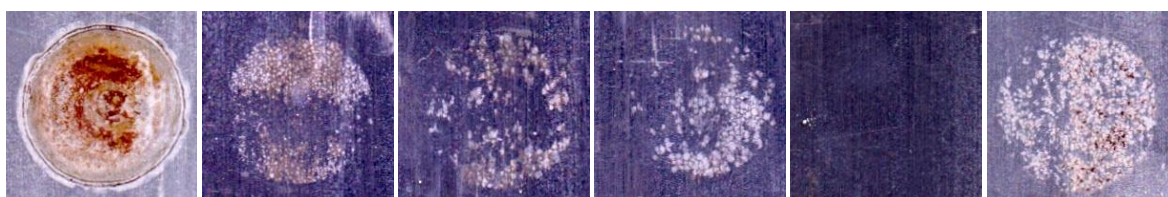




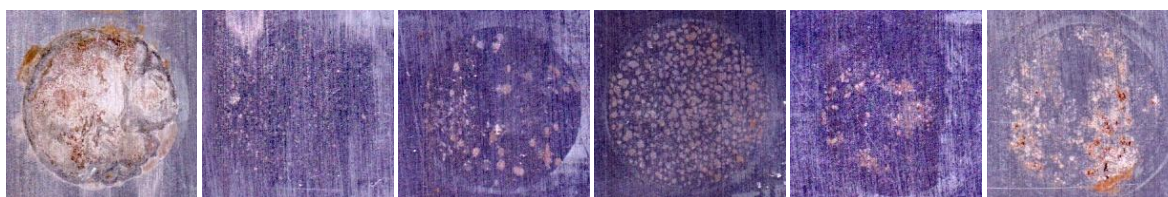
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 56 %



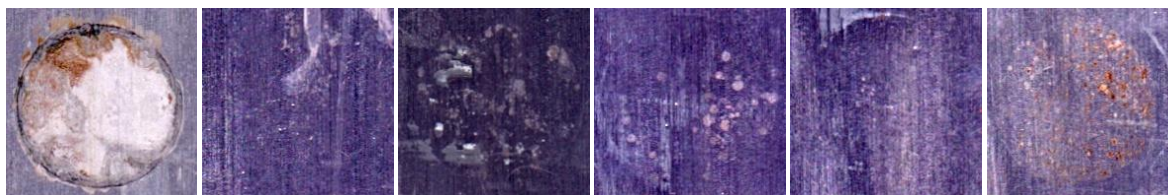
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 10 %



Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 30 %



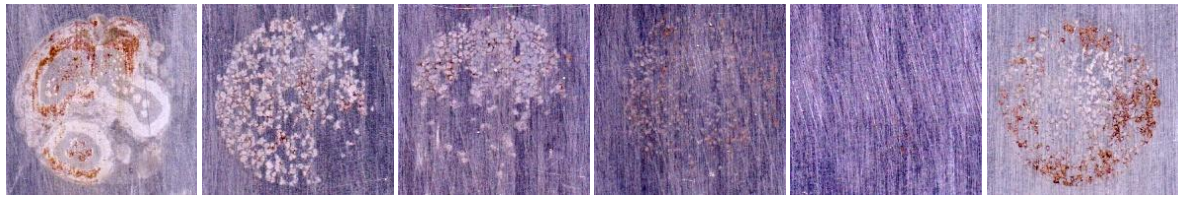
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 50 %



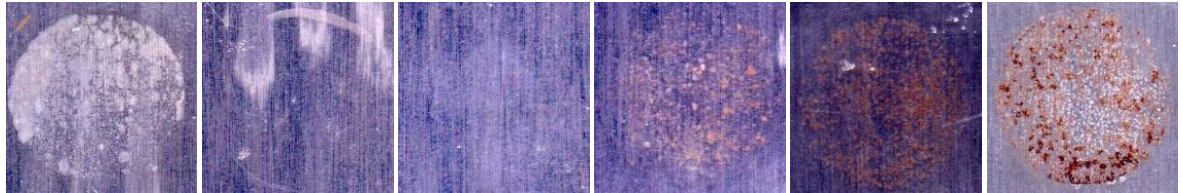
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 61 %



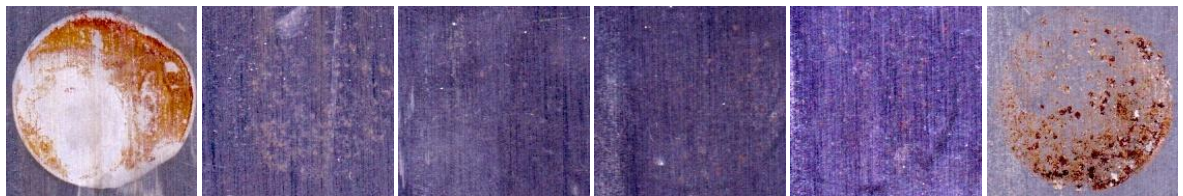
Nátěrové filmy s obsahem Zn<sub>iso</sub> OKP = 63 %



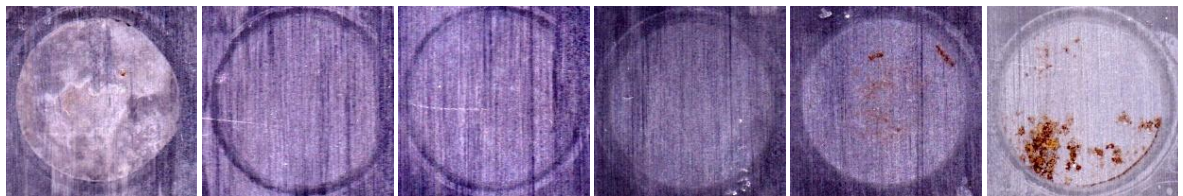
Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 10 %



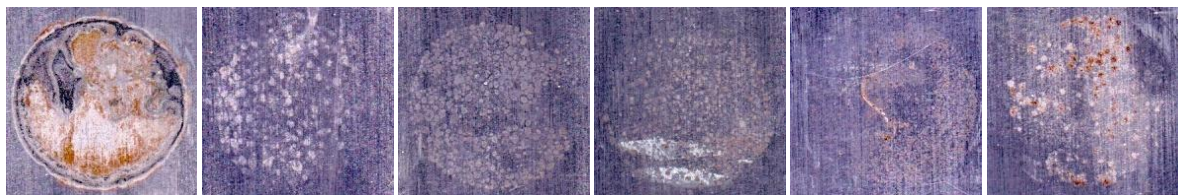
Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 30 %



Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 39 %



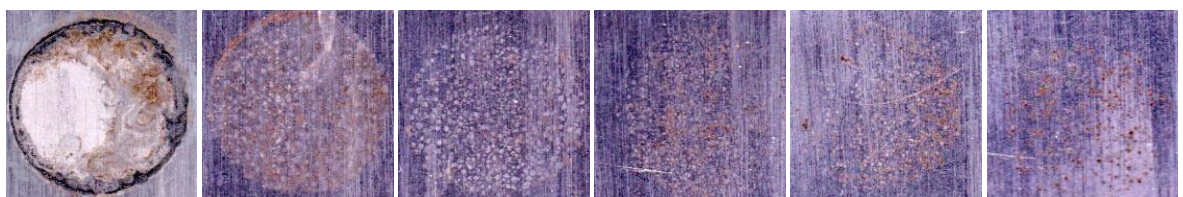
Nátěrové filmy s obsahem  $Zn_{lam}$  OKP = 42 %



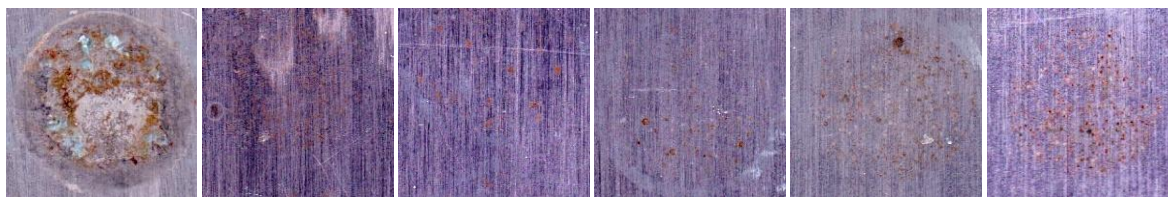
Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{iso}$  OKP = 1 %



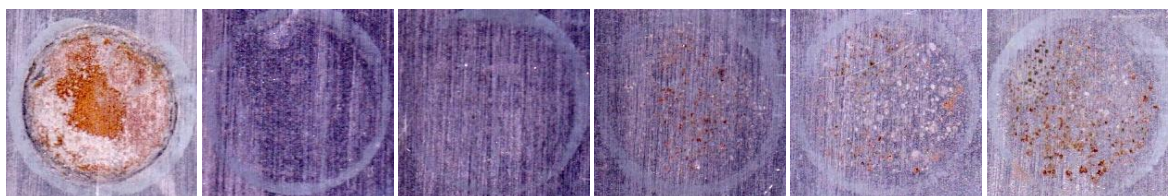
Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{iso}$  OKP = 3 %



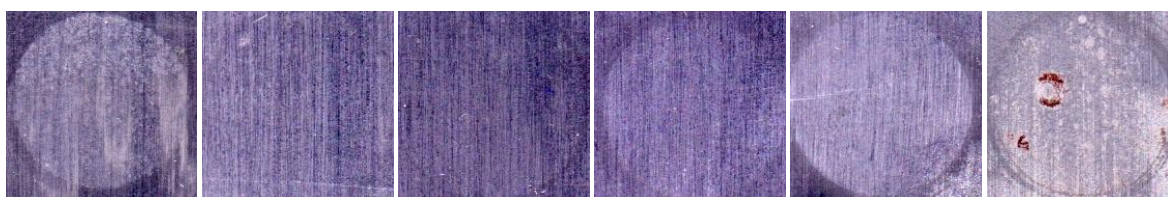
Nátěrové filmy s obsahem  $Mg/Zn_{iso}$  OKP = 5 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 10 %



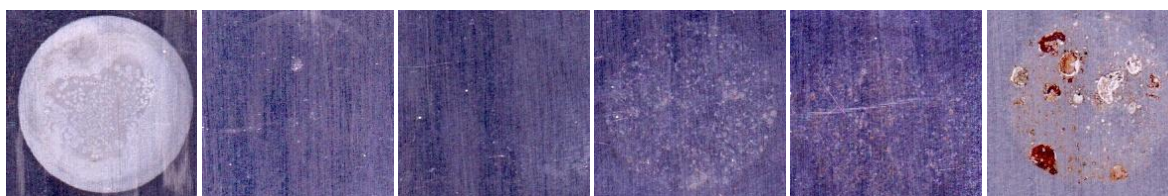
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iso</sub> OKP = 15 %



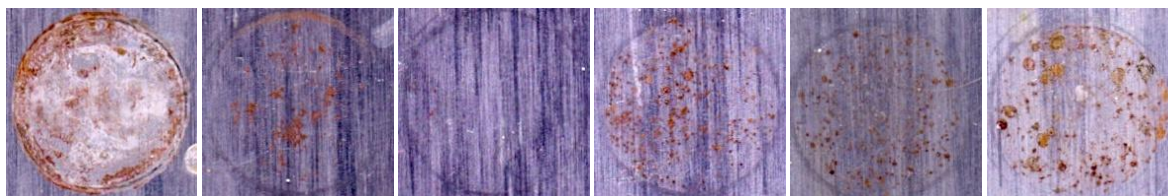
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iam</sub> OKP = 1 %



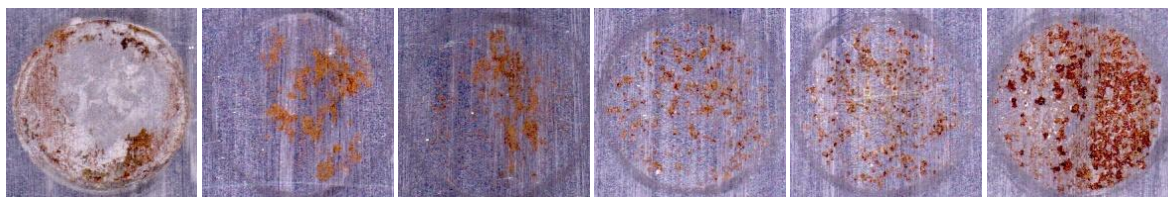
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iam</sub> OKP = 3 %



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iam</sub> OKP = 5 %



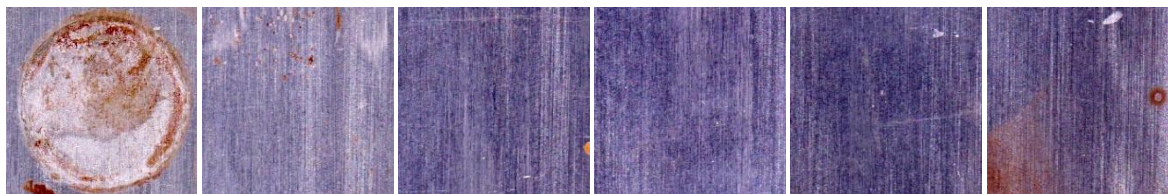
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iam</sub> OKP = 10 %



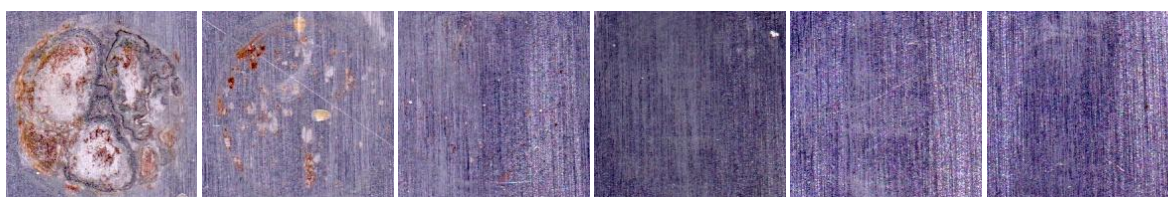
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn<sub>iam</sub> OKP = 15 %



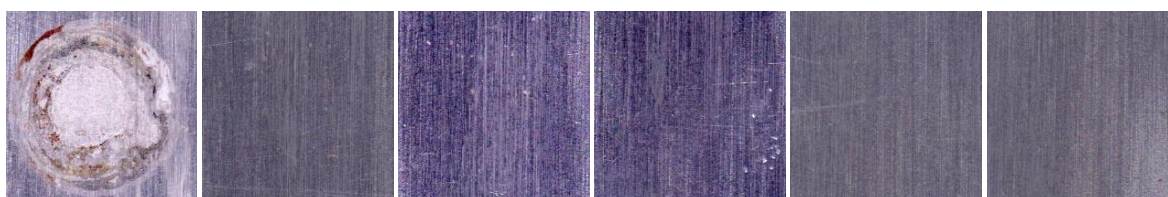
Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 %



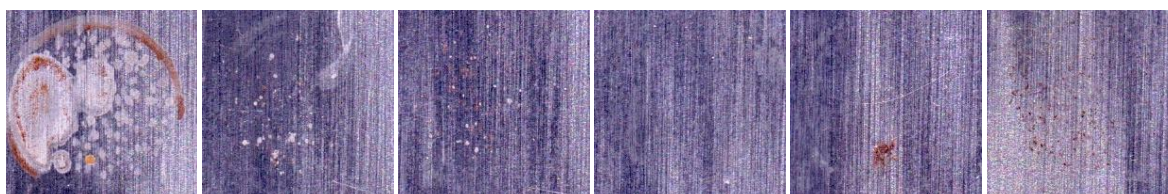
Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 3 %



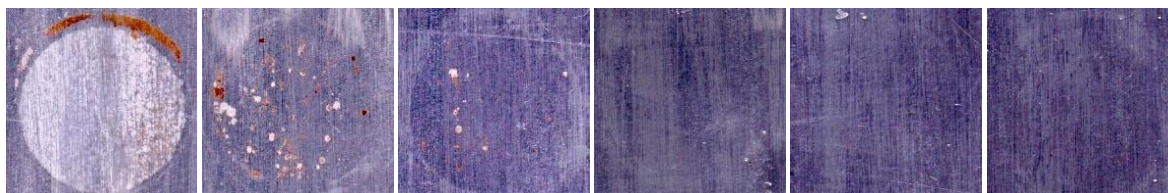
Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 5 %



Nátěrové filmy s obsahem WS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 %



Nátěrové filmy s obsahem WS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 3 %



Nátěrové filmy s obsahem WS<sub>2</sub>-PANI/Zn<sub>iso</sub> OKP = 5 %



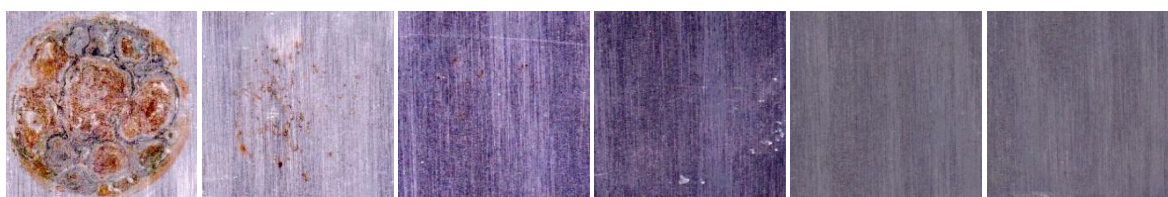
Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PPy/Zn<sub>iso</sub> OKP = 1 %



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 %



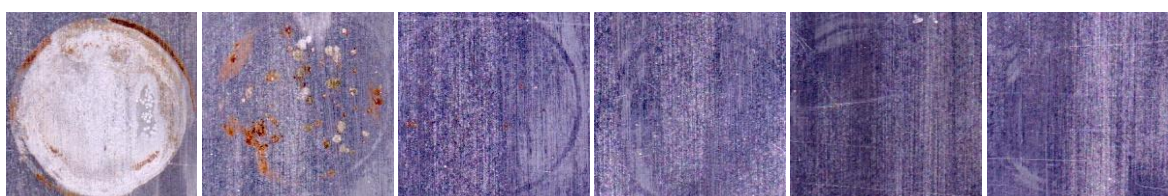
Nátěrové filmy s obsahem  $\text{MoS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 %



Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 1 %

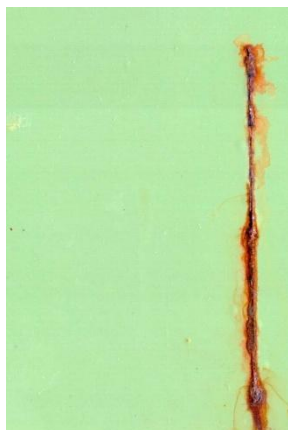


Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 3 %

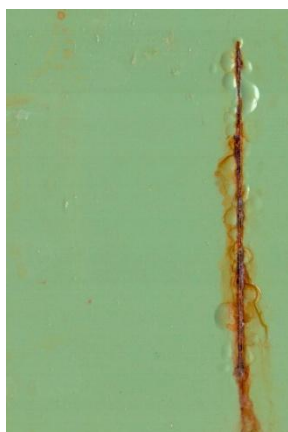


Nátěrové filmy s obsahem  $\text{WS}_2\text{-PPy/Zn}_{\text{iso}}$  OKP = 5 %

**Snímky dvouvrstevných organických povlaků s vrchním nátěrem po expozici v atmosféře se solnou mlhou a v kombinaci se střídáním teplot po 960 h**



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 1 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



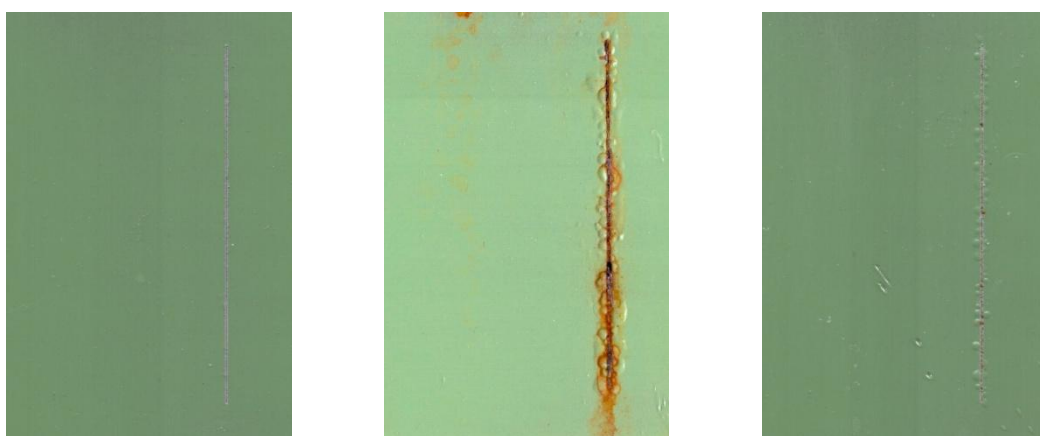
Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 5 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 10 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 15 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 30 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 50 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg OKP = 56 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Zniso OKP = 10 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Zniso OKP = 30 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot





Nátěrové filmy s obsahem Zniso OKP = 50 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



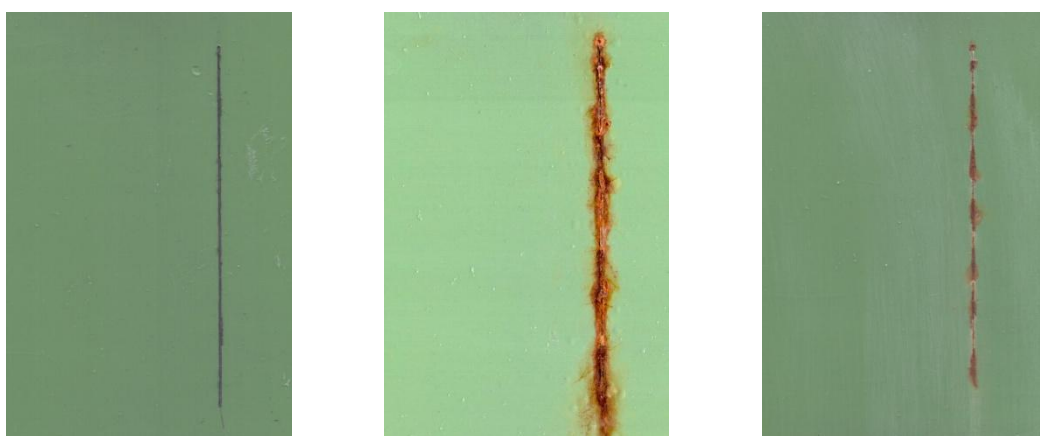
Nátěrové filmy s obsahem Zniso OKP = 61 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Zniso OKP = 63 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Zn lam OKP = 10 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Zn lam OKP = 30 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Zn lam OKP = 39 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Zn lam OKP = 42 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn iso OKP = 1 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



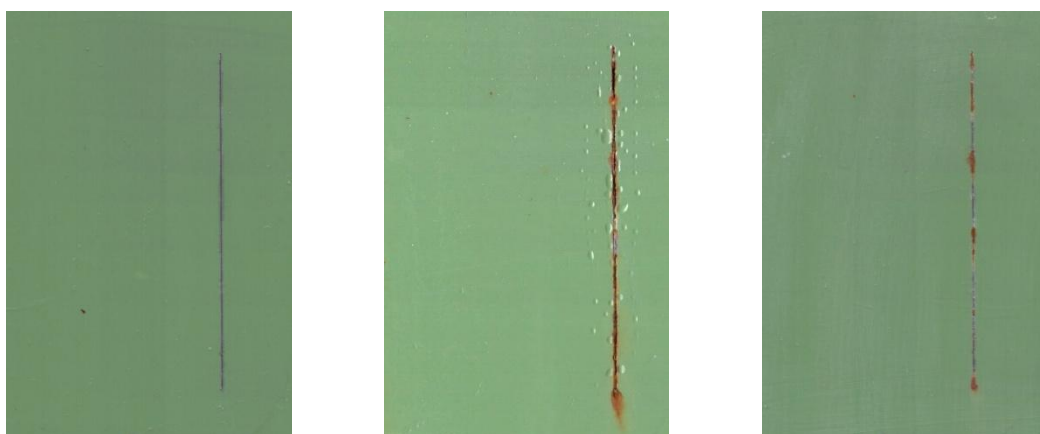
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn iso OKP = 3 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zniso OKP = 5 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



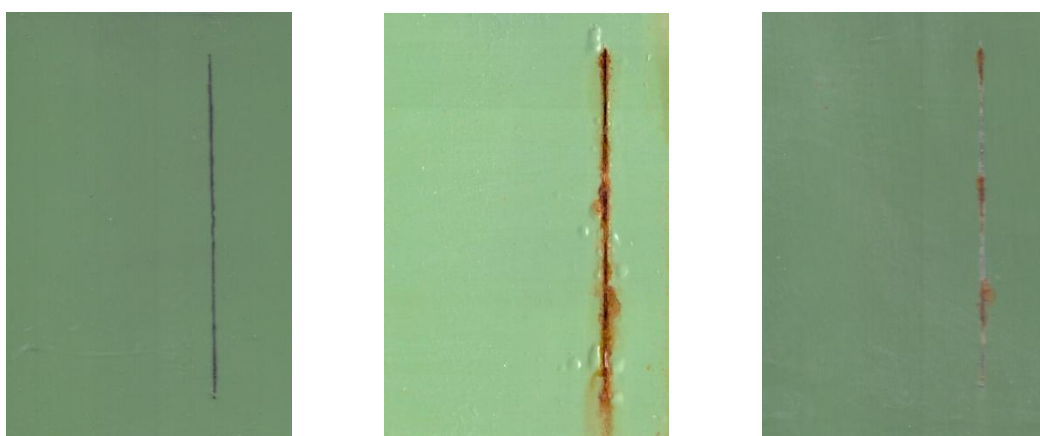
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zniso OKP = 10 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zniso OKP = 15 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



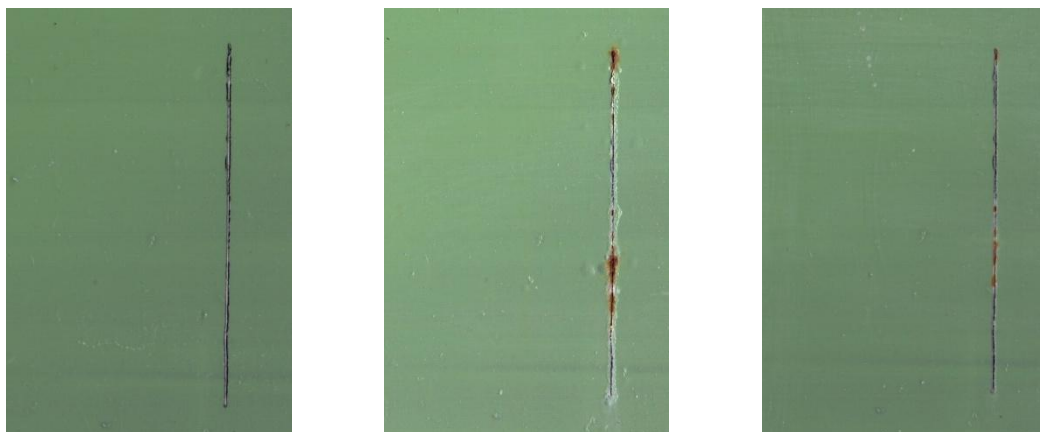
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn lam OKP = 1 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se olnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn lam OKP = 3 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Zn lam OKP = 5 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



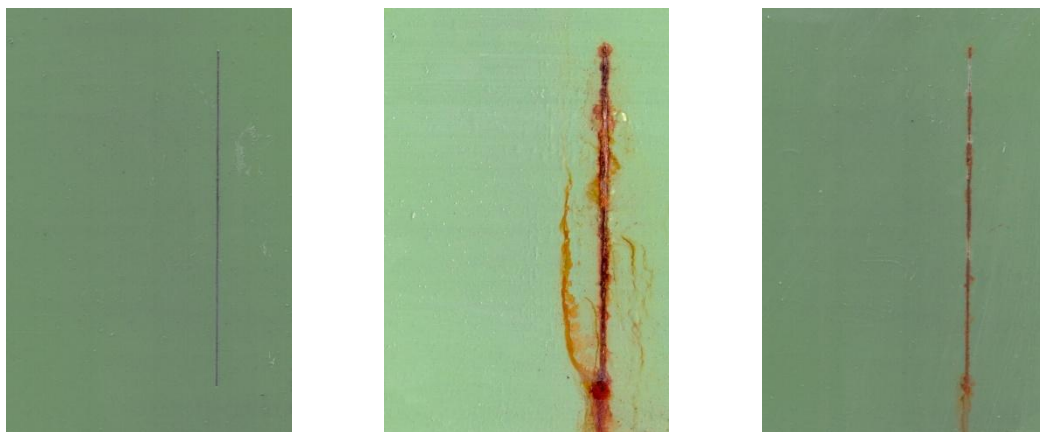
Nátěrové filmy s obsahem Mg/Znlam OKP = 10 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem Mg/Znlam OKP = 15 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem MoS2-PANI/Zniso OKP = 1 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zniso OKP = 3 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PANI/Zniso OKP = 5 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



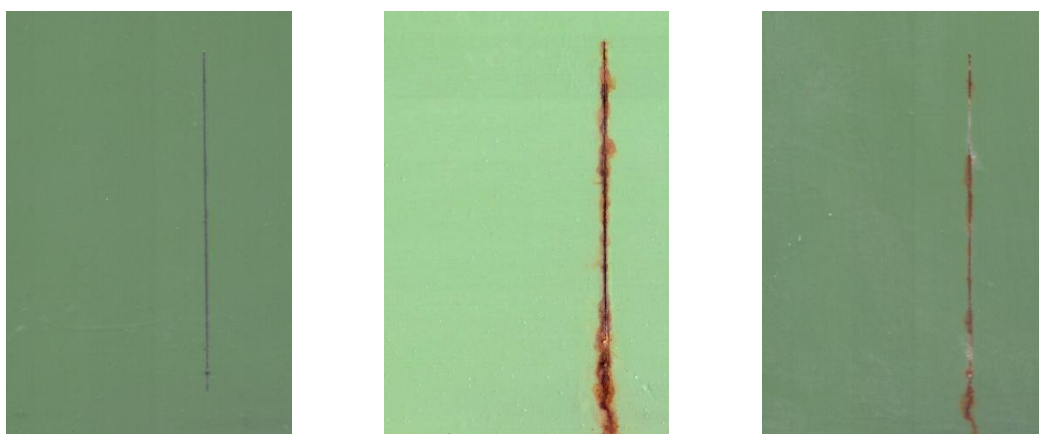
Nátěrové filmy s obsahem WS<sub>2</sub>-PANI/Zniso OKP = 1 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem WS2-PANI/Zniso OKP = 3 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot

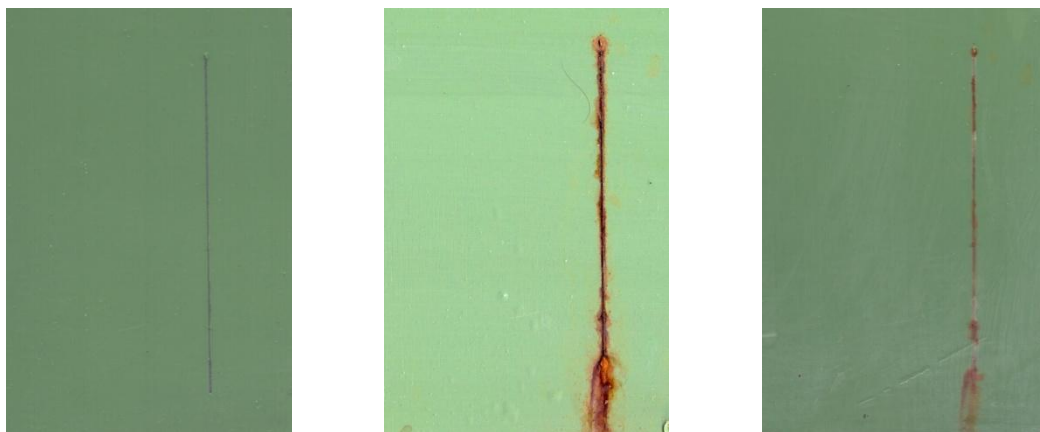


Nátěrové filmy s obsahem WS2-PANI/Zniso OKP = 5 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem MoS2-PPy/Zniso OKP = 1 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot





Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PPy/Zniso OKP = 3 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub>-PPy/Zniso OKP = 5 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



Nátěrové filmy s obsahem WS<sub>2</sub>-PPy/Zniso OKP = 1 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



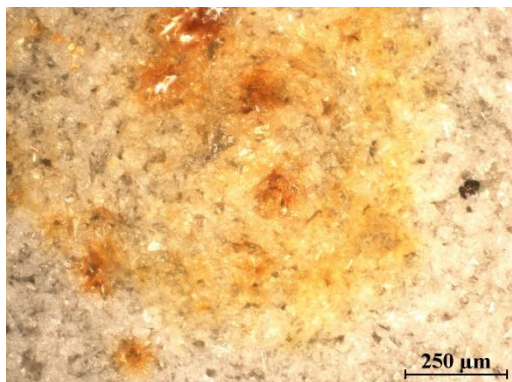
Nátěrové filmy s obsahem WS2-PPy/Zniso OKP = 3 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot



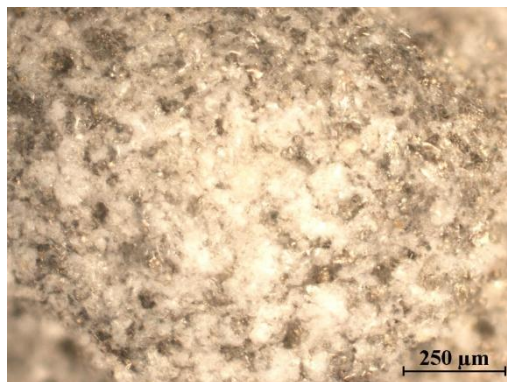
Nátěrové filmy s obsahem WS2-PPy/Zniso OKP = 5 % před expozicí, po 960 hod expozice v atmosféře se solnou mlhou a se střídáním teplot

## **Snímky z optického mikroskopu po expozici v atmosféře kondenzované vlhkosti s obsahem oxidu siřičitého**

- Hořčík - snímky puchýřků při různém OKP

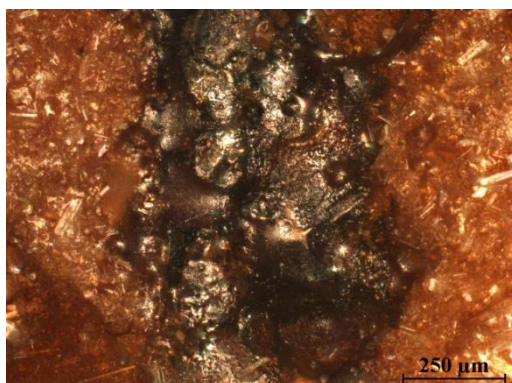


Mg OKP = 50 %

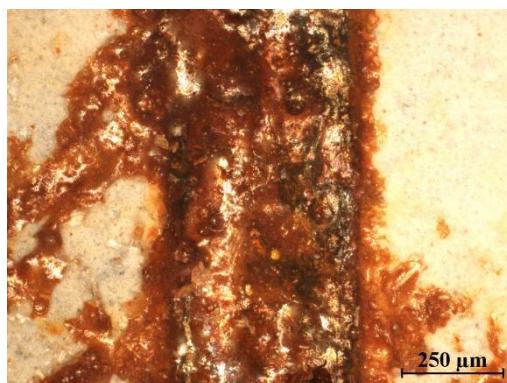


Mg OKP = 56 %

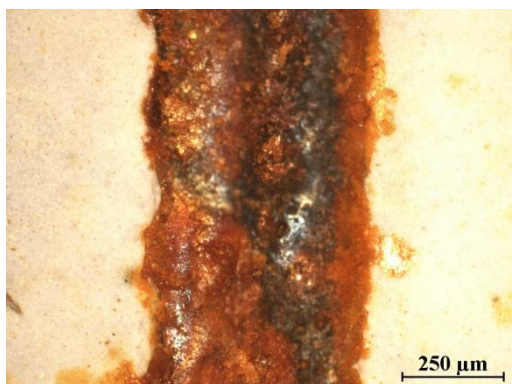
- Zinek - isometrický - snímky řezu při různém OKP



Zn (iso) OKP = 10 %

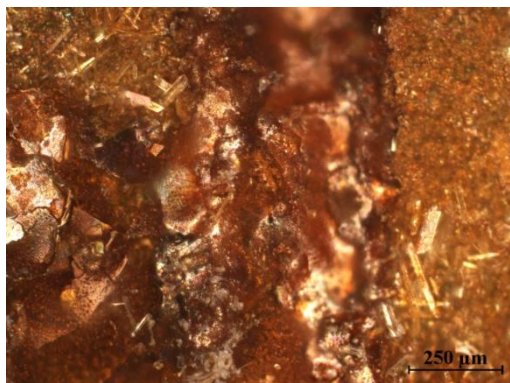


Zn (iso) OKP = 50 %

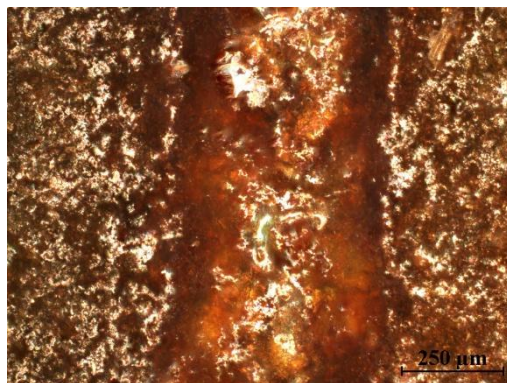


Zn (iso) OKP = 63 %

- Zinek - lamelární - snímky řezu při různém OKP

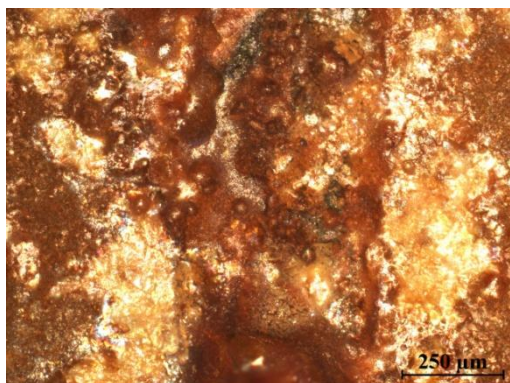


Zn (lam) OKP = 10 %

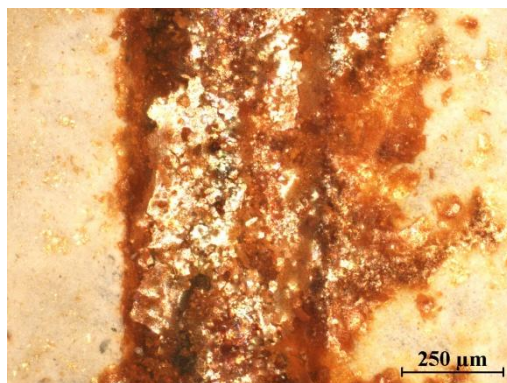


Zn (lam) OKP = 42 %

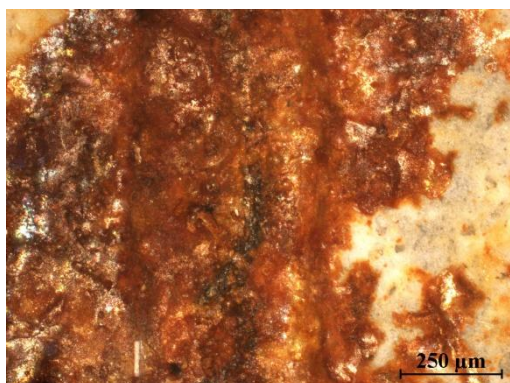
- Kombinace Mg / Zn (iso) - snímky řezu při různém OKP



Mg / Zn (iso) OKP = 1 %

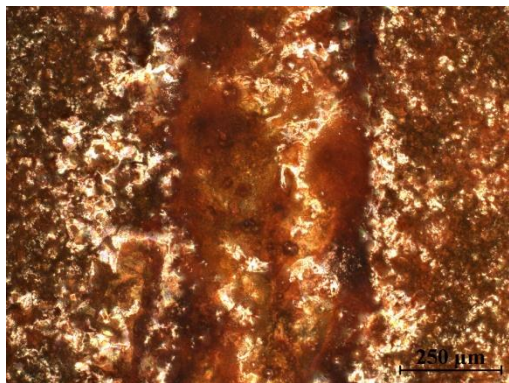


Mg / Zn (iso) OKP = 5 %

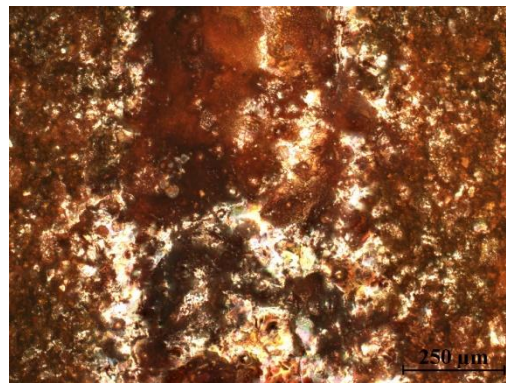


Mg / Zn (iso) OKP = 15 %

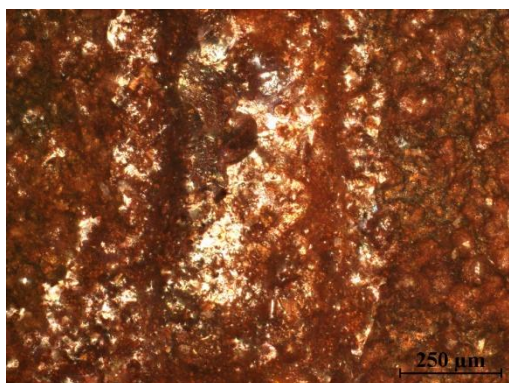
- Kombinace Mg / Zn (lam) - snímky řezu při různém OKP



Mg / Zn (lam) OKP = 1 %



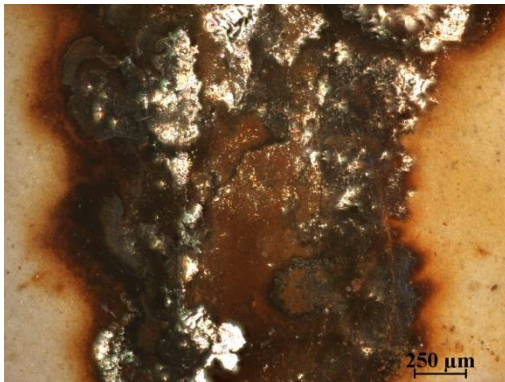
Mg / Zn (lam) OKP = 5 %



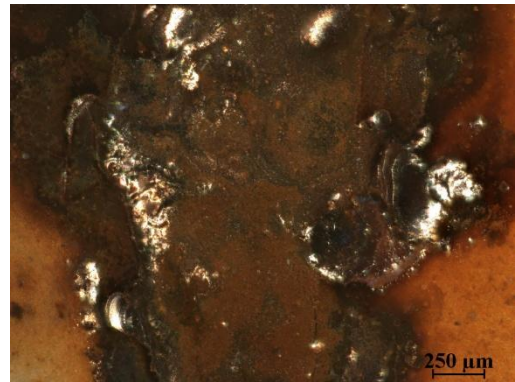
Mg / Zn (lam) OKP = 15 %

## Snímky z optického mikroskopu po expozici atmosféře síranu amonného a chloridu sodného

- Hořčík - snímky řezu při různém OKP

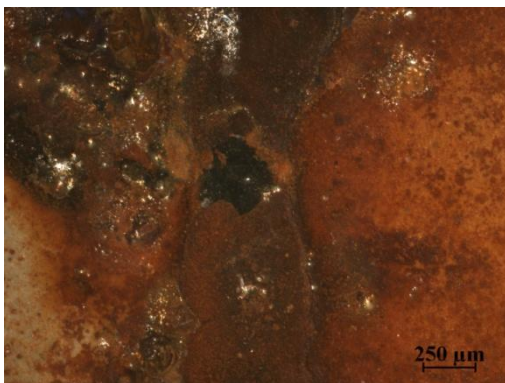


Mg OKP = 1 %



Mg OKP = 5 %

- Zinek - isometrický - snímky řezu při různém OKP



Zn (iso) OKP = 10 %



Zn (iso) OKP = 50 %

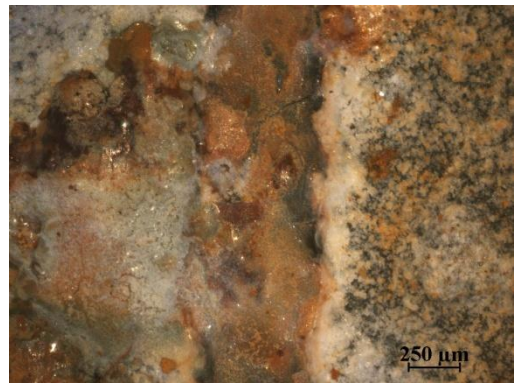


Zn (iso) OKP = 63 %

- Zinek - lamelární - snímky řezu při různém OKP

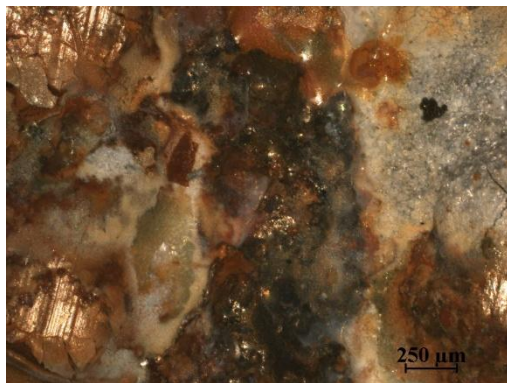


Zn (lam) OKP = 10 %

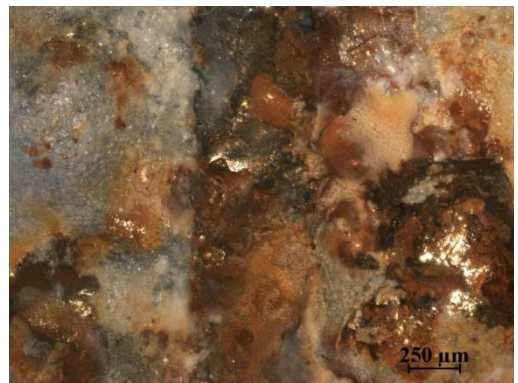


Zn (lam) OKP = 42 %

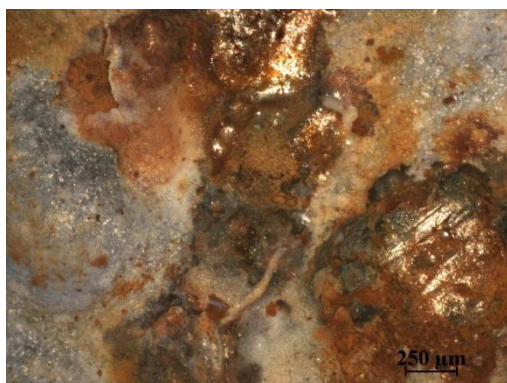
- Kombinace Mg / Zn (iso) - snímky řezu při různém OKP



Mg / Zn (iso) OKP = 1 %

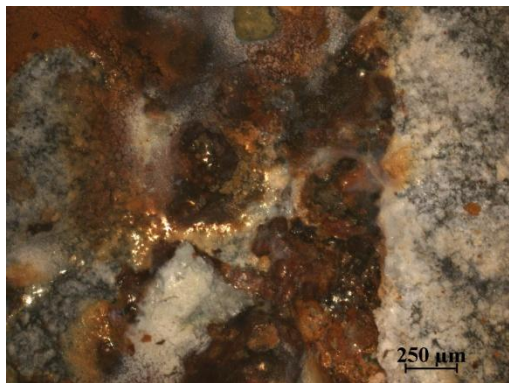


Mg / Zn (iso) OKP = 5 %

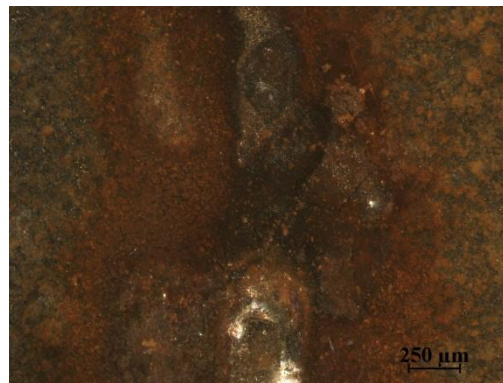


Mg / Zn (iso) OKP = 15 %

- Kombinace Mg / Zn (lam) - snímky řezu při různém OKP



Mg / Zn (lam) OKP = 1 %



Mg / Zn (lam) OKP = 5 %



Mg / Zn (lam) OKP = 15 %