

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Hana Nadhajská

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek
Oddělení nátěrových hmot a organických povlaků

Zjišťování korozní odolnosti pigmentovaných a nepigmentovaných organických
povlaků na základě elektrochemických metod a pomocí zkoušek v
simulovaných korozních atmosférách

Autor práce: Hana Nadhajská
Vedoucí práce: Ing. Miroslav Kohl, Ph.D.

Bakalářská práce
2021

University of Pardubice
Faculty of Chemical Technology

Institute of Chemistry and Technology of Macromolecular Materials
Department of Paints and Organic Coatings

Determination of corrosion resistance of pigmented and unpigmented organic coatings based on electrochemical methods and by testing in simulated corrosion atmospheres

Author: Hana Nadhajská
Supervisor: Ing. Miroslav Kohl, Ph.D.

Bachelor thesis
2021

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Hana Nadhajsá**
Osobní číslo: **C18329**
Studijní program: **B2802 Chemie a technická chemie**
Studijní obor: **Chemie a technická chemie**
Téma práce: **Zjišťování korozní odolnosti pigmentovaných a nepigmentovaných organických povlaků na základě elektrochemických metod a pomocí zkoušek v simulovaných korozních atmosférách**
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

Zásady pro vypracování

1. Proveďte literární rešerši na téma metody zjišťování korozní odolnosti organických povlaků. Charakterizujte termíny korozní odolnost, elektrochemická ušlechtilost, korozní potenciál, korozní zkouška, korozní inhibitor, antikorozní nátěr a další důležité pojmy.
2. Popište základy a typy elektrochemických zkoušek pro stanovení korozní odolnosti kovových a nekovových (organických povlaků), podstatu jednotlivých metod, jejich výhody, a nevýhody.
3. Popište základy a postupy laboratorních korozních zkoušek a korozních činitelů v simulovaných korozních atmosférách. Charakterizujte postupy a uveďte důležité normy z oboru testování organických povlaků. Popište metodiku v příslušných normách, např. CSN EN 12944.
4. Připravte vzorky nepigmentovaných organických povlaků na zkušebních panelech. Na vzorcích proveďte zkoušky korozní odolnosti pomocí elektrochemických a laboratorních korozních zkoušek. Získané výsledky zpracujte formou tabulek a fotografických záznamů.
5. Na připravených vzorcích pigmentovaných organických povlaků proveďte zkoušky korozní odolnosti pomocí elektrochemických a laboratorních korozních zkoušek. Získané výsledky zpracujte a vyhodnoťte.
6. Na závěr shrňte výhody a nevýhody jednotlivých metod.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Kohl, Ph.D.**
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání bakalářské práce: **18. prosince 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. července 2021**

L.S.

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

doc. Ing. David Veselý, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2020

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., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 1.7.2021

Hana Nadhajska

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Kohlovi, Ph.D. a prof. Ing. Andrée Kalendové, Dr. za odborné vedení, pomoc, cenné rady a ochotu při zpracování této práce. Velký dík patří také mým rodičům za veškerou podporu během celého studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá studiem a porovnáním korozně-inhibičních vlastností pigmentovaných a nepigmentovaných organických povlaků pomocí standardních korozních testů v simulovaných korozních atmosférách a elektrochemické techniky lineární polarizace. Testovány byly pigmentované organické povlaky na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem pigmentů různého chemického složení a mechanismu působení (minium Pb_3O_4 , fosforečnan zinečnatý $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, zinkferit $ZnFe_2O_4$, mastek $Mg-Al(Si_4O_{10})$ a zinkferit $ZnFe_2O_4$ s povrchovou úpravou polyanilinu dopovaným různými typy dopantů. Cíl práce spočíval v porovnání antikorozních vlastností organických povlaků v závislosti na typu testovaného pigmentu i v závislosti na hodnotě objemové koncentrace jednotlivých testovaných pigmentů. Konkrétně byly pro práci formulovány nátěrové hmoty s obsahem jednotlivých typů pigmentů při hodnotách objemových koncentrací 5, 10 a 15 %, kdy připravené nátěrové hmoty byly aplikovány na ocelové panely a připravené organické povlaky byly testovány pomocí cyklických korozních zkoušek a pomocí elektrochemické techniky lineární polarizace. Elektrochemická technika lineární polarizace byla navíc použita i pro testování nepigmentovaných organických povlaků o různé pojivové bázi a s různým mechanismem síťování (fyzikální, fyzikálně-chemický a oxopolymerační mechanismus). Ze získaných výsledků vyplývá, že vhodnou formulací jednokomponentní nátěrovou hmotou na bázi epoxyesterové pryskyřice lze dosáhnout srovnatelné korozní odolnosti v porovnání s dvoukomponentními nátěrovými hmotami na bázi epoxidové pryskyřice bisfenolového typu. Dále je ze získaných výsledků patrné, že účinnost nových ekologických pigmentů ($ZnFe_2O_4$, $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$) s obsahem zinku se přibližují v parametru odolnosti vůči puchýřovutí pigmentu obsahující toxické olovo (např. miniu).

KLÍČOVÁ SLOVA

Organický povlak

Koroze

Korozní odolnost

Antikorozní pigment

Polyanilinová sůl

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with the study and comparison of corrosion-inhibition properties of pigmented and non-pigmented organic coatings using standard corrosion tests in simulated corrosive atmospheres and electrochemical linear polarization technique. Pigmented organic coatings that were tested were based on epoxy ester resin containing pigments of various chemical composition and mechanism of action (minium Pb_3O_4 , zinc phosphate $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, zinc ferrite $ZnFe_2O_4$, talc $Mg-Al(Si_4O_{10})$ and zinc ferrite $ZnFe_2O_4$ surface-treated with $ZnFe_2O_4$ with polyaniline surface treatment doped with different types of dopants. The aim of the work was to compare the anticorrosive properties of organic coatings depending on the type of tested pigment and depending on the value of the volume concentration of individual tested pigments. Specifically, paints containing individual types of pigments were formulated for the work at values of volume concentrations of 5, 10 and 15%, where the prepared paints were applied to steel panels and the prepared organic coatings were tested by cyclic corrosion tests and electrochemical linear polarization technique. In addition, the electrochemical linear polarization technique was used to test unpigmented organic coatings with different binder bases and with different crosslinking mechanisms (physical, physico-chemical and oxopolymerization mechanism). The obtained results show that a comparable corrosion resistance can be achieved compared to two-component coatings based on bisphenol-type epoxy resin by appropriate formulation of a single-component epoxy ester resin coating. Furthermore, the obtained results show that the effectiveness of new ecological pigments ($ZnFe_2O_4$, $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$) with zinc content are approaching in the parameter of the blistering resistance of a pigment containing toxic lead (eg minium).

KEYWORDS

Organic coating

Corrosion

Corrosion resistance

Anticorrosive pigment

Emeraldine salt

OBSAH

ÚVOD.....	15
1. TEORETICKÁ ČÁST	16
1.1 Koroze.....	16
Elektrochemická koroze	16
1.2 Organické povlaky	17
Testování účinnosti povlaků	17
1.3 Pigmenty	18
Antikorozní pigmenty	19
Antikorozní pigmenty spinelového typu	20
Reakce v pevné fázi	21
1.4 Vodivé polymery	22
Elektrická vodivost	23
Dopování vodivých polymerů	24
Polyanilin (PANI).....	24
1.5 Pojiva pro nátěrové hmoty	25
Alkydové pryskyřice.....	26
Polyuretanové pryskyřice	27
Epoxidové pryskyřice	27
Epoxyesterové pryskyřice.....	28
Silikonové pryskyřice	28
1.6 Základní normy pro provádění protikorozní ochrany.....	29
1.7 Laboratorní korozní zkoušky	30
Zrychlená korozní zkouška v atmosféře neutrální solné mlhy	31
Zrychlená korozní zkouška ve 100% relativní vlhkosti vzduchu.....	31
Zrychlená korozní zkouška v kondenzované vlhkosti s obsahem SO ₂	31
Zkoušky s použitím UV záření	32
Cyklické korozní zkoušky	32
1.8 Nepřímé korozní zkoušky	32
1.9 Elektrochemické korozní zkoušky.....	33
Měření elektrochemického šumu (ECN).....	33
Analýza harmonických zkreslení (HDA)	34
Elektrochemická impedanční spektroskopie (EIS).....	35
Lineární polarizace (LPR)	35
Potenciodynamická polarizace (CPDP).....	36

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	37
Cíl práce.....	37
2.1 Charakteristika surovin	37
2.2 Použité přístroje a zařízení.....	41
2.3 Formulace modelových nátěrových hmot.....	41
2.4 Stanovení suché tloušťky nátěrových filmů	42
2.5 Příprava zkušebních vzorků na skleněných panelech.....	42
2.6 Příprava zkušebních vzorků na ocelových panelech	42
2.7 Metody hodnocení vlastností nátěrových filmů pomocí zrychlených korozních zkoušek	43
Zkouška korozní odolnosti v atmosféře neutrální solné mlhy.....	43
Zkouška korozní odolnosti v atmosféře s obsahem SO ₂	43
Zkouška cyklickým stárnutím (NORSOK)	44
2.8 Metody hodnocení vlastností nátěrových filmů pomocí elektrochemických zkoušek	44
Lineární polarizace	44
2.9 Hodnocení vlastností organických povlaků korozními zkouškami	45
2.10 Hodnocení korozních zkoušek po expozici	45
Hodnocení korozního projevu: puchýře v ploše nátěru a v řezu nátěru	45
Hodnocení korozního projevu: koroze ve zkušebním řezu	46
Hodnocení ztráty přilnavosti	46
Stanovení přilnavosti mřížkovou metodou.....	46
Určení stupně korozní agresivity prostředí.....	47
2.11 Hodnocení výsledků korozních zkoušek	48
Hodnocení prokorodování filmu stupně koroze v ploše panelu podle ASTM D 610-85	48
Hodnocení selhání řezu podle ASTM D 1654-92	49
Hodnocení výsledků elektrochemické techniky lineární polarizace	49
3. VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ	51
3.1 Vyhodnocení zrychlených korozních zkoušek	51
Zkouška korozní odolnosti v atmosféře neutrální solné mlhy.....	51
Zkouška korozní odolnosti v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého.....	55
Zkouška Norsok.....	56
3.2 Vyhodnocení elektrochemických zkoušek	57
4. DISKUZE	58
4.1 Diskuze výsledků zrychlených korozních zkoušek	58

Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných dvouvrstevých organických povlaků v atmosféře neutrální solné mlhy.....	58
Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných organických povlaků s nepigmentovaným vrchním nátěrem v atmosféře neutrální solné mlhy	59
Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných organických povlaků s pigmentovaným vrchním nátěrem v atmosféře neutrální solné mlhy	60
Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných dvouvrstevých organických povlaků v SO ₂ atmosféře	61
Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných dvouvrstevých organických povlaků zkouškou Norsok	61
4.2 Diskuze výsledků elektrochemických korozních zkoušek	62
4.3 Určení stupně korozní agresivity prostředí	63
5. PŘÍNOSY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	64
6. ZÁVĚR	66
7. POUŽITÁ LITERATURA	67
8. PŘÍLOHY	70
8.1 Snímky nepigmentovaných nátěrových filmů před expozicí, po 1200 hodinách v komoře se solnou mlhou a ocelový panel po odstranění nátěrového filmu.....	70
8.2 Snímky dvouvrstevých nátěrových filmů před expozicí, po 1200 hodinách v komoře se solnou mlhou a ocelový panel po odstranění nátěrového filmu	73
8.3 Snímky pigmentovaných nátěrových filmů před expozicí, po 2160 hodinách v komoře se solnou mlhou a ocelový panel po odstranění nátěrového filmu.....	76
8.4 Snímky nátěrových filmů před expozicí, po 1680 hodinách v SO ₂ komoře a ocelový panel po odstranění nátěrového filmu.....	79
8.5 Snímky nátěrových filmů před expozicí, po 1200 hodin dlouhé zkoušce cyklickým stárnutím NORSOK a po odstranění nátěrového filmu	83

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

Obrázek 1: Standardní rovnovážné potenciály kovů (V) při 25 °C [2]	17
Obrázek 2: Znázornění spinelové struktury [35]	21
Obrázek 3: Zjednodušené schéma konjugovaného řetězce [18].....	24
Obrázek 4: Formy polyanilinu [20]	25
Obrázek 5: Schématické znázornění zkušebních řezů	45
Obrázek 6: Hodnocení korozních projevů (prokorodování a stupeň koroze v ploše ocelového panelu)	49
Obrázek 7: Lineární oblast polarizační křivky v těsném okolí korozního potenciálu [30]	50

Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnocení mřížkového řezu.....	47
Tabulka 2: Stupně korozní agresivity atmosféry	47
Tabulka 3: Určení stupně korozní agresivity prostředí pro nátěry	48
Tabulka 4: Výsledky korozní zkoušky pro dvouvrstvé organické povlaky v atmosféře se solnou mlhou ukončené po 1200 hodinách, DFT = $130 \pm 10 \mu\text{m}$	52
Tabulka 5: Výsledky korozní zkoušky pro organické povlaky s nepigmentovaným vrchním nátěrem v atmosféře se solnou mlhou ukončené po 1200 hodinách, DFT = $130 \pm 10 \mu\text{m}$	53
Tabulka 6: Výsledky korozní zkoušky organické povlaky s pigmentovaným vrchním nátěrem v atmosféře se solnou mlhou ukončené po 2160 hodinách, DFT = $130 \pm 10 \mu\text{m}$	54
Tabulka 7: Výsledky korozní zkoušky dvouvrstevných organických povlaků v atmosféře s obsahem SO ₂ ukončené po 1200 hodinách, DFT = $130 \pm 10 \mu\text{m}$	55
Tabulka 8: Výsledky korozní zkoušky dvouvrstevných organických povlaků cyklickým korozním testem NORSOK ukončené po 1680 hodinách, DFT = $120 \pm 10 \mu\text{m}$	56
Tabulka 9: Výsledky elektrochemické techniky lineární polarizace pigmentovaných organických povlaků, DFT = $55 \pm 10 \mu\text{m}$	57
Tabulka 10: Výsledky elektrochemické techniky lineární polarizace nepigmentovaných organických povlaků, DFT = $55 \pm 10 \mu\text{m}$	57

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CPDP – potenciodynamická polarizace

C_R – korozní rychlost [mm/rok]

DFT – suchá tloušťka nátěrového filmu [μm]

ECN – měření elektrochemického šumu

EIS – elektrochemická impedanční spektroskopie

E_{cor} – korozní potenciál [mV]

EW – ekvivalentní hmotnost [g]

HDA – analýza harmonických zkreslení

I_{cor} – korozní proudová hustota [μA]

j – proudová hustota [$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$]

KOKP – kritická objemová koncentrace pigmentu [%]

LPR – lineární polarizace

OKP – objemová koncentrace pigmentu [%]

PANI – polyanilin

R_p – polarizační odpor [Ω]

β_a a β_c – sklony tafelových oblastí [mV]

ρ – hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]

ÚVOD

Přetrvávajícím problémem spojeným s využíváním kovových materiálů patří i v dnešní době jejich koroze. Lidstvo řeší problémy se ztrátami kovů v důsledku korozního působení již od starověku. Kovy se v přírodě vyskytují ve svých termodynamicky stabilních rudách, ze kterých jsou různými technikami zpracování vytrženy. Přirozeně se pak snaží dostat do svého původního stavu oxidací, kdy přechází do stavu svých stabilních oxidů. Koroze ovlivňuje vzhled i vlastnosti materiálu nebo může dokonce způsobit celkový rozpadu celistvosti. Ztrátám kovu v důsledku koroze se lidstvo snaží především z ekonomických důvodů předcházet. [1]

Kovové materiály mají nenahraditelné mechanické vlastnosti jako je pevnost, houževnatost, odolnost, tepelná a elektrická vodivost nebo snadná zpracovatelnost a další. Aby měl kov své charakteristické vlastnosti po celou dobu své životnosti a životnost byla co nejdélejší, je nutné zajistit dostatečnou korozní odolnost. Koroze je elektrochemická přeměna kovu, která vede ke zhoršení vzhledu i funkčnosti kovových výrobků. Jedná se o anodické rozpouštění, které většinou nelze úplně zastavit, ale je snaha najít přijatelnou korozní rychlost při které je možné povrch vystavit dlouhodobé expozici prostředí bez nežádoucích změn materiálu.

Existuje několik možných způsobů ochrany materiálů vůči korozním účinkům. Velmi důležitým způsobem je volba konstrukčního materiálu, kde se uplatňuje náhrada klasické uhlíkové oceli ocelmi legovanými, které obsahují příměsi dalších prvků. Vliv na korozní odolnost materiálu má i samotné konstrukční řešení. Dalším způsobem ochrany může být snížení agresivity okolního prostředí úpravou fyzikálních parametrů, například snížením teploty. Agresivitu prostředí lze také snížit přidáním inhibitorů koroze, které ovlivňují dílčí katodické reakce, nebo je možné z prostředí látky způsobující korozi odstraňovat. Elektrochemická ochrana spočívá v potlačení anodického rozpouštění kovu účinkem stejnosměrného proudu, ten však může vyvolat vznik bludných proudů, které korozi naopak podporují, proto se tento typ využívá pouze jako doplňkový k ostatním. Jedním z neúčinnějších a nejrozšířenějších způsobů zpomalení rychlosti koroze se ukázalo použití povlaků. Povlaky mohou být anorganické nekovové (smalty), kovové, konverzní nebo organické, jejichž vlastnostmi se zabývá tato práce. [2]

1. TEORETICKÁ ČÁST

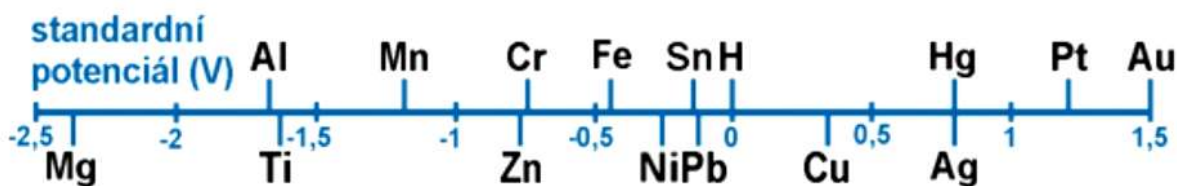
1.1 Koroze

Pojem koroze definuje rozrušení materiálu po interakci s okolním prostředím, kterému podléhají téměř všechny látky. Rozrušení materiálu může být způsobeno chemickými, fyzikálními nebo biologickými jevy, přičemž znehodnocení na základě fyzikálních jevů je nazýváno erozí. Koroze je vyvolána oxidačními a redukčními reakcemi na povrchu materiálu po styku s prostředím, jedná se tedy o korozi chemickou nebo elektrochemickou. Prostředí vyvolávající korozi je různorodé a každé prostředí má na různé materiály různé korozní účinky o různé intenzitě. Typickým korozním prostředím je zemská atmosféra, které je převážná většina materiálů vystavena trvale. Koroze probíhá také v půdě, vodním prostředí nebo ji mohou vyvolat chemické látky, což je častý případ v prostorech chemického průmyslu. V důsledku poškození materiálu korozními účinky často dochází k jeho úbytku, což se projeví změnou mechanických vlastností materiálu, především snížením pevnosti. [6]

Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze je proces probíhající za přítomnosti vodivého elektrolytu, který umožňuje přenos elektrického náboje. Charakteristická je zde tvorba článku složeného ze dvou elektrod, kde probíhají elektrochemické děje. Anoda produkuje elektrony a je tvořena kovem, který se oxiduje, zatímco katoda vzniklé elektrony spotřebovává. Katodická reakce tzv. depolarizační je realizována redukcí prostředí. Redukující se látkou v prostředí je nejčastěji kyslík (kyslíková depolarizace), nebo vodíkový kationt uvolňující se z kyselin (vodíková depolarizace).

Termodynamická stabilita je schopnost kovu podléhat ionizaci (oxidaci), je vyjadřována ušlechtilostí, kterou určuje standardní potenciál kovu. Dle velikosti standardního potenciálu jsou kovy seřazeny do tzv. řady napětí (*obrázek 1*). Za ušlechtilé jsou považovány kovy se standardním potenciálem kladnějším, než je standardní potenciál nulové vodíkové elektrody. S rostoucím standardním potenciálem klesá oxidovatelnost kovu, zvyšuje se jeho korozní odolnost. Kovy vyskytující se v řadě nalevo od vodíku, mají zápornější standardní potenciál než vodíková elektroda, jsou snadněji oxidovatelné, a tedy méně ušlechtilé. [4]



Obrázek 1: Standardní rovnovážné potenciály kovů (V) při 25 °C [2]

1.2 Organické povlaky

Pokrytí kovu organickým povlakem umožňuje využití specifických vlastností kovových materiálů. Film chrání materiál před korodováním a zároveň povrchu dokáže dodat další výhodné vlastnosti. K takovým vlastnostem patří úprava barvy, odolnost povrchu, tvarovatelnost nebo elektroizolační vlastnosti. Základ povlaku tvoří organické pojivo a vhodný pigment, navíc je možné upravit charakter filmu různými přísadami, sušidly, stabilizátory, tvrdidly a aktivátory. Pojivem obvykle bývá polymerní materiál s relativně nízkou molární hmotností, který určuje fyzikální a chemické vlastnosti povlaku. Barvu a protikorozní bariérové vlastnosti povlaku zajišťují pigmenty. [3] Aplikací nátěru je na povrchu kovu vytvořena ochranná bariéra, která je však částečně propustná pro vodu, kyslík a další látky způsobující korozi materiálu. Korozní ochranu nezajišťují pouze bariérové vlastnosti, ale podílí se na ní i inhibiční elektrochemické mechanismy, nebo nejčastěji jejich kombinace. Výsledná ochranná funkce pak závisí na přilnavosti nátěru a správném nanesení na povrch, obsahu a účinnosti použitých pigmentů, propustnosti, nasákavosti, tloušťce nátěru a také obsahu plniv a jiných aditiv. [4] Protikorozní účinnost povlaku je dána kvalitou nátěrové hmoty, ale důležitá je i úprava povrchu před aplikací. Účinek ochranného nátěru lze zvýšit i nanášením více vrstev nátěru. [2]

Testování účinnosti povlaků

Aplikované organické povlaky jsou po celou dobu své životnosti vystavovány podmínkám okolního prostředí, které mají významný vliv na jejich kvalitu. Materiál vystavený okolním podmínkám, například povětrnosti, stárne a ztrácí tím své ochranné vlastnosti. Snahou výrobců i uživatelů je, aby materiály měly všechny své funkční vlastnosti co nejdelší dobu, z toho důvodu je nutné provádět zkoušky odolnosti daných nátěrů. K ověření doby, po kterou ochranný povlak odolává všem degradačním vlivům prostředí (životnosti povlaku), se používají testy daných nátěrů ve zcela konkrétních podmínkách konečného použití nátěrové hmoty. Tyto korozní zkoušky poskytují vysoce realistické

výsledky, ovšem nevýhodou je dlouhá doba jejich trvání, která může být od pěti do patnácti let. Z tohoto důvodu jsou neustále vyvíjeny nové zjednodušené zrychlené korozní zkoušky, sestávající většinou z působení jednoho až dvou degradačních faktorů. [4] Experimentální korozní zkoušky lze provádět v laboratorních nebo provozních podmínkách a druh prováděné zkoušky se volí s ohledem na důvody vedoucí k provádění zkoušky, druh materiálu a prostředí nebo na druhu koroze. Korozními zkouškami se hodnotí korozní odolnost testovaných nátěrových systémů, změna vzhledu, hmotnosti, rozměrů nebo mechanických vlastností. Dále mohou být hodnoceny také změny korozního prostředí nebo je možné provádět analýzu vytvořených korozních produktů. [2]

1.3 Pigmenty

Pigmenty jsou definovány jako práškové látky, které po homogenním rozptýlení do vhodného pojiva vykazují krycí či vybarvovací schopnosti, pokud mají pouze tyto vlastnosti, jedná se o pigmenty klasické, ty je možné dále rozdělit na bílé, barevné a černé. Barva pigmentu je určena jeho optickými vlastnostmi, konkrétně schopnostmi rozptylovat nebo absorbovat světlo. Bílé pigmenty viditelné světlo odráží, černé jej absorbují. Intenzita barev závisí na rozsahu pohlcených nebo odražených vlnových délek spektra. Jednotlivé odstíny se liší přiblížením k barvě absolutní při úplné absorpci nebo odrazu viditelného spektra. Barevné pigmenty absorbují jen určitou část světla a zbytek rozptylují. Jejich barva odpovídá barvě doplňkové ze spektra. V případě, že vykazují i další specifické vlastnosti, nazývají se speciálními, mezi které řadíme pigmenty s vysokou termickou a chemickou odolností nebo pigmenty antikorozi. Pigment se narozdíl od barviva v pojivu nerozpouští, ale tvoří s ním heterogenní systém. Účelem aplikace nátěru je, aby bránil průchodu světla prostředím. Kryvost závisí na optických vlastnostech nátěru, které charakterizuje veličina relativní indexu lomu, což je poměr indexu lomu pigmentu ku indexu lomu pojiva. Krycí schopnosti jsou dány objemovou koncentrací pigmentu (OKP). Kryvost pigmentu s rostoucí koncentrací nejdříve prudce roste, až dosáhne hodnoty kritické objemové koncentrace (KOKP), kdy dochází k zaplnění všech prostorů mezi částicemi pigmentu a plniva v pojivu. Po dosažení hranice KOKP krycí schopnosti klesají a může dojít i ke změně mechanických vlastností, lesku či propustnosti. Za kritickou hodnotou již není možné zvyšovat pigmentaci. [5; 9] V kombinaci s pigmenty se do pojiv přidávají i plniva, jinak známá jako neopaktní pigmenty, která sice nemají krycí nebo vybarvovací účinky, ale zvyšují celkový objem nátěru a také zlepšují jeho fyzikálně-mechanické vlastnosti. Mezi jeden z nejvýznamnějších účinků patří zvýšení odolnosti nátěrových hmot. Plniva mohou být přírodního nebo syntetického

původu a podobají se bílým pigmentům, v praktickém využití není rozdíl mezi levným bílým pigmentem a kvalitnějším plnivem. [1]

Antikoroziční pigmenty

Antikoroziční pigmenty řadíme mezi pigmenty speciální, které se výrazně podílí na ochraně kovů proti korozním vlivům prostředí. Rozdělení je možné na základě chemické povahy nebo mechanického působení. Dle chemického složení lze antikoroziční pigmenty rozdělit na anorganické a organické. Dříve mělo daleko větší význam použití anorganických, a to z hlediska jejich výroby a použití. Jejich složení je jednoduché, většinou se jedná o oxidy, sulfidy, sírany. Anorganické pigmenty na bázi olova a šestimocného chromu byly velmi účinné, ale velmi toxické, proto jsou dnes nahrazovány méně účinnými, ale bezpečnějšími pigmenty. S ohledem na životní prostředí od anorganických pigmentů začalo ustupovat a zároveň vzrůstá význam pigmentů organických. [1; 10]

Dalším kritériem rozdělení pigmentů je rozdíl v průběhu inhibice koroze. Mechanismus účinku může být fyzikálním, fyzikálně-chemickým (elektrochemickým) nebo chemickým působením. Podstatou fyzikální ochrany je tvorba ochranné bariéry na povrchu kovu. Bariéra znemožňuje průnik kyslíku, vody a chemikáliím k povrchu kovu. Bariérově působící pigmenty jsou nereaktivní látky odolné vůči koroznímu prostředí. Vyplňují volné prostory v pojivu mezi částicemi plniv a podílí se také na odrazu záření, čímž chrání organické pojivo. Do této skupiny patří například slída nebo hliníkové šupinky. Pigmenty působící na elektrochemickém principu kovový podklad pasivují. Elektrochemický mechanismus se týká především použití práškového zinku ve vysoké koncentraci, která zajistí vodivost mezi částicemi a umožní průběh katodické reakce. Voda nebo kyslík procházející ochranným povlakem reaguje s částicemi zinku za vzniku oxidu a následně hydroxidu zinečnatého. Reakční produkty ucpávají póry filmu a brání dalšímu průniku korozního prostředí ke kovu. Vzniklý ochranný film je velmi účinný, při porušení bariéry zinek znovu katodicky reaguje a tvoří se bariéra nová. Dalšími elektrochemicky působícími pigmenty jsou například molybdáty a fosforečnany, které se řadí mezi neoxidující, jelikož k tvorbě pasivační vrstvy nepotřebují kyslík. Naopak oxidující pigmenty, kam se řadí chromáty, kyslík potřebují. Pasivující vrstva obou skupin vzniká na anodě reakcí pigmentu s pojivem. Chemická ochrana je založena na oxidačně-redukčních reakcích probíhajících na fázových rozhraních pigment/pojivo, pigment/kovový povlak a dalšími, kde vznikají nové produkty inhibující korozi. Takové pigmenty udržují konstantní hodnotu pH v povlaku tvorbou kovových mýdel nebo neutralizačními reakcemi s kyselými korozními produkty. Zástupcem skupiny je bazický

suřík, který se kvůli obsahu olova dnes již nepoužívá. V praxi se z důvodu vyšší účinnosti ve většině případů jedná o kombinaci více typů mechanismů. [1]

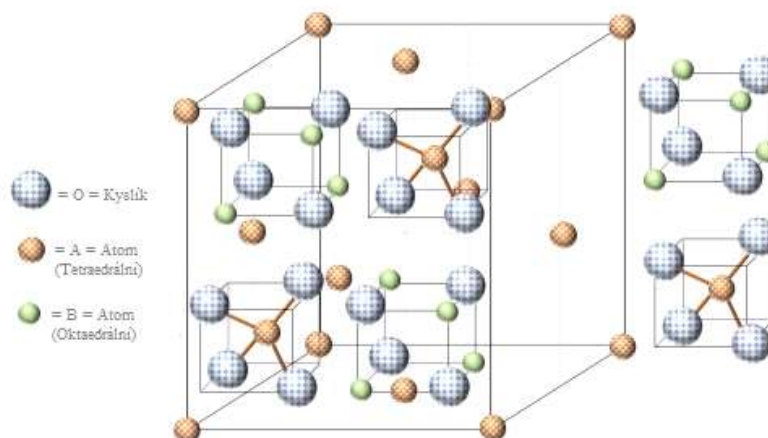
Antikorozi pigmenty spinelového typu

Pojmem spinelové pigmenty se označují oxidické sloučeniny obecného vzorce AB_2O_4 , kde A znázorňuje dvojmocný iont kovu Mg, Ca, Zn, Co, Fe, Cu, Mn a B třímocný iont kovu Al, Fe, Cr, Co, Ti. [12] Krystalová struktura je odvozena od přírodního minerálu spinelu se vzorcem $MgAl_2O_4$. Ionty hořčíku a hliníku je možné zaměnit za ionty jiných prvků a tím ovlivnit barvu pigmentu. Spinelová struktura je vysoce stabilní, proto se i pigmenty spinelového typu vyznačují vysokou teplotní stabilitou, z toho vyplývá i jejich použití v tepelně namáhaných nátěrech. [10] Mezi typické vlastnosti spinelů patří vysoký bod tání, vysoká kryvost a barevná stálost. Pigmenty na této bázi mají vysokou stabilitu a krycí schopnost, proto jsou využívány jako pigmenty v keramických glazurách. [1] Mechanismus účinku spočívá nejen ve vytvoření ochranné bariéry, která zamezí prostupu korozního prostředí, ale působí i neutralizačně. Reagují s agresivními látkami pronikajícími přes nátěr a převádí je do forem, které korozi nezpůsobují. [13]

Vyrovnaní nábojů oxidů obecného vzorce AB_2O_4 je možné docílit třemi různými způsoby: $A^{2+}B_2^{3+}O_4$, $A^{4+}B_2^{2+}O_4$ a $A^{6+}B_2^{1+}O_4$. Nejčastějším typem vyskytujícího se aniontu je O^{2-} . Pro kombinace atomů tvořící spinelovou strukturu jsou určujícími faktory celkový formální náboj kationtu, relativní velikost kationtu a poměry velikostí kationtů. Podmínkou stability spinelové krystalové mřížky je, aby iontové poloměry a jejich poměry nepřesahovaly energeticky a prostorově dané hraniční hodnoty.

Spinelová struktura je v podstatě kombinací alternujících krychlí NaCl a ZnS a určuje ji seskupení kyslíkových aniontů s velkým objemem v plošně centrovaném krychlovém uspořádání. Dle koordinačního čísla rozlišujeme dva typy volných dutin pro umístění kationtů, a to oktaedrické s koordinačním číslem 6 a tetraedrické s koordinačním číslem 4. V elementární buňce spinelu se nachází 32 aniontů kyslíku, 8 kationtů v tetraedrických dutinách a 16 v dutinách oktaedrických. V normální spinelové struktuře je jedna osmina tetraedrických dutin vyplněna kationty A^{2+} a polovina dutin oktaedrických kationty B^{3+} . Existuje také inverzní spinelová struktura, kde jsou oktaedrické polohy zaplněny všemi kationty A^{2+} a polovinou kationtů B^{3+} . Tetraedrické polohy pak obsazuje druhá polovina kationtů B^{3+} , z čehož lze odvodit obecný vzorec inverzních spinelů $A(AB)O_4$. Smíšené oxidy se vzorcem $(A_\delta B_{1-\delta})[A_{1-\delta} B_{1+\delta}]$ jsou přechodem mezi spinely normálními a inverzními

a koeficient δ označuje míru uspořádání normálního. Vytvoření určitého typu spinelové struktury ovlivňuje mnoho faktorů, jako stabilizační energie ligandového pole nebo Madelungovy konstanty pro normální i inverzní struktury. Významnými zástupci ze skupiny spinelů jsou ferospinely, což jsou ferity se spinelovou strukturou, které jsou nejčastěji tvořeny kombinací dvojmocných a trojmocných kationtů. V protikorozní ochraně má velký význam zinkferit ZnFe_2O_4 vznikající reakcí ZnO a Fe_2O_3 .



Obrázek 2: Znárodnění spinelové struktury [35]

Spinelové pigmenty jsou krystalické látky, jejichž vlastnosti charakterizují vlastnosti krystalových mřížek hostitelských krystalů. Charakteristickou vlastností těchto pigmentů je jejich neomezená mísitelnost. Téměř bez omezení se mezi sebou mísí za vzniku tuhých roztoků, přičemž je možné kombinovat spinely stejného i různého typu. Význam mají také substituční tuhé roztoky jednoduchých spinelů, které se připravují ze spinelů či feritů jednoduchých. Takové izomorfne substituované sloučeniny mohou mít pevně stechiometricky definovaný poměr substituentů, ale zároveň to mohou být také sloučeniny, kde se cizí ionty vyskytují jenom jako náhodné nečistoty. Izomorfní substituce je proces, kdy část kationtů je nahrazena kationty jiného druhu, aniž by byla změněna základní struktura sloučeniny. Aby substituce proběhla správně je důležité, aby vyměňující se částice měly blízké iontové poloměry, stejné mocenství a v některých případech hraje svou roli také charakter vazby. [1]

Reakce v pevné fázi

Vznik spinelové struktury je děj probíhající za vysokých teplot v pevné fázi. Samotná reakce bývá doprovázena důležitými pochody jako je difúze a také tvorba a růst krystalků nové fáze. Reakcemi v pevné fázi se běžně nazývají dva typy reakcí. První, kdy reagují dvě látky a vzniká jeden reakční produkt a druhý, kdy jedna fáze dává vznik dalším. Na základě

jedné teorie se vznik spinelů popisuje tak, že vrstvou produktu difundují pohyblivější ionty a ve stejném směru i elektrony a molekulární kyslík je transportován plynnou fází. Pro výpal se uplatňuje použití oxidační atmosféry, protože je zde předpoklad, že jednotlivé prostory mezi zrny jsou vyplněny vzduchem. Z důvodu rozdílné rychlosti difuze obou reaktantů při reakci dochází k migraci částic pouze jedné z reagujících látek, kinetika je pak ovlivněna rychlostí difuze rychlejšího iontu vrstvou produktu. Kinetika je též ovlivněna defekty ve struktuře, platí že s rostoucím množstvím defektů rychlost reakce roste. Proces vzniku spinelů probíhá za vývoje tepelné energie, hodnoty entalpie se pohybují v rozmezí -2 až -8 kcal/mol. [1]

1.4 Vodivé polymery

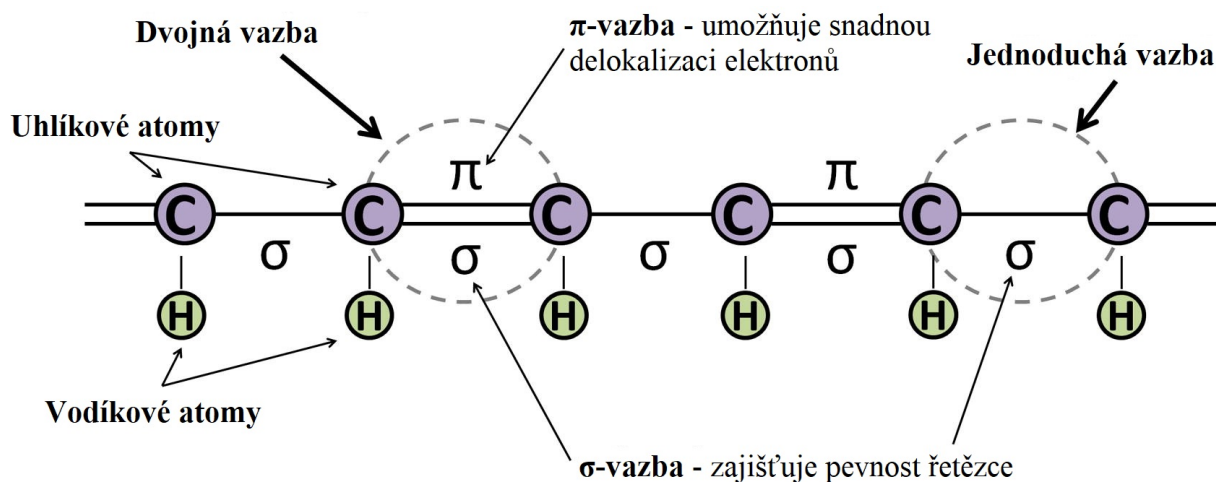
Polymery jsou díky svým izolačním vlastnostem často využívány v elektronice, kde se uplatňuje hlavně jejich odolnost. Výhodou je také jejich mechanická pevnost, pružnost, stabilita, snadné zpracování a relativně nízké pořizovací náklady. Polymerní materiály mají nízkou hustotou, proto se uplatňují hlavně v oborech, kde je nutná nízká hmotnost materiálů, například v letecké technice nebo při výrobě obalových materiálů. Vodivé polymery narozdíl od těch běžných navíc vykazují specifickou vlastnost elektrickou vodivost. Dosažení vodivosti polymerů je možné pyrolýzou, dopováním nebo začleněním přechodného kovu do polymerního řetězce. Vodivosti polymeru lze dosáhnout také tvorbou kompozitu, ten vzniká po přidavku vodivého plniva jako jsou saze nebo práškový grafit. Existují ovšem také materiály vykazující vlastní elektrickou vodivost, která vyplývá z jejich molekulární struktury. Předpokladem vlastní elektrické vodivosti v molekule je konjugovaný systém dvojných vazeb a přítomnost nosičů náboje, zajišťujících transport elektronů po řetězci. Nejdůležitějšími zástupci vodivých polymerů jsou polyanilin a polypyrrol. [14; 15]

V současné době se vývoj nátěrových hmot orientuje s podporou legislativy na jejich ekologické hledisko. Hlavním důvodem je nahrazení v současnosti používaných toxických pigmentů. Vhodnou náhradou toxických pigmentů jsou právě vodivé polymery. Vodivé polymery nejsou toxické, vyznačují se výbornou adhezí ke kovovému povrchu a na rozdíl od nabízených netoxických anorganických pigmentů nejsou tolik nákladné. Navíc stejně jako sloučeniny s obsahem těžkých kovů svými oxidačními a katalytickými vlastnostmi vyvolávají vznik pasivační vrstvičky na ocelovém podkladu. [21]

Elektrická vodivost

Elektrická vodivost je fyzikální veličina, která charakterizuje schopnost materiálu vést elektrický proud. Vodivost jako takovou nejsme schopni samostatně změřit, určuje se pomocí elektrického odporu. Elektrický odpor je zásadní vlastností všech materiálů, při stejné teplotě se u různých materiálů může lišit až o 20 řádů. Je to číslo stanovené, které lze získat různými experimentálními technikami a popisuje schopnost materiálu odolávat průchodu elektrického proudu v jednotkách $\Omega \cdot m^{-1}$. Pokud elektrický proud protéká snadno, materiál má nízký elektrický odpor. Pokud má elektrický proud problém s protékáním, pak materiál vykazuje vysoký odpor. Elektrická vodivost je převrácenou hodnotou elektrického odporu, tedy inverzní odpor. Z toho vyplývá, že materiál s nízkým elektrickým odporem má vysokou elektrickou vodivost a obráceně. [16] Vodivost označuje míru schopnosti materiálu vést elektrický proud. Pokud je vodivost nižší než 10^{-8} S/cm látka má elektroizolační vlastnosti, u látek s vodivostí vyšší než 10^3 S/cm, materiály s vodivostí mezi těmito hodnotami jsou považovány za polovodivé. [17]

Příčinou elektrické vodivosti polymerů je jejich struktura. Základním předpokladem je zde konjugovaný systém vazeb, který tvoří série jednoduchých a dvojných vazeb. Systém vzniká překrytím p-orbitalů za vzniku π molekulových orbitalů, vzájemné překrytí orbitalů umožňuje elektronům volné přeskoky po řetězci a tím i transport elektrického náboje. [17] Jednoduchá vazba je tvořena jednou σ -vazbou zajišťující stabilitu řetězce, dvojná obsahuje ještě navíc ještě další π -vazbu, díky které se snadno uvolňují elektrony. Vodivé polymery sami o sobě vykazují spíše polovodivé vlastnosti, zvýšit jejich elektrickou vodivost je možné procesem dopování. Ani dopováním vodivost polymerů nedosahuje takových hodnot jako vodivost kovů, přesto je to výhodný proces, protože výsledné materiály kombinují polymerní vlastnosti (měkkost, tvárnost, lehkost) s vlastnostmi kovovými (vodivost), proto jsou nezastupitelné a mají svá specifická využití. [18; 19]



Obrázek 3: Zjednodušené schéma konjugovaného řetězce [18]

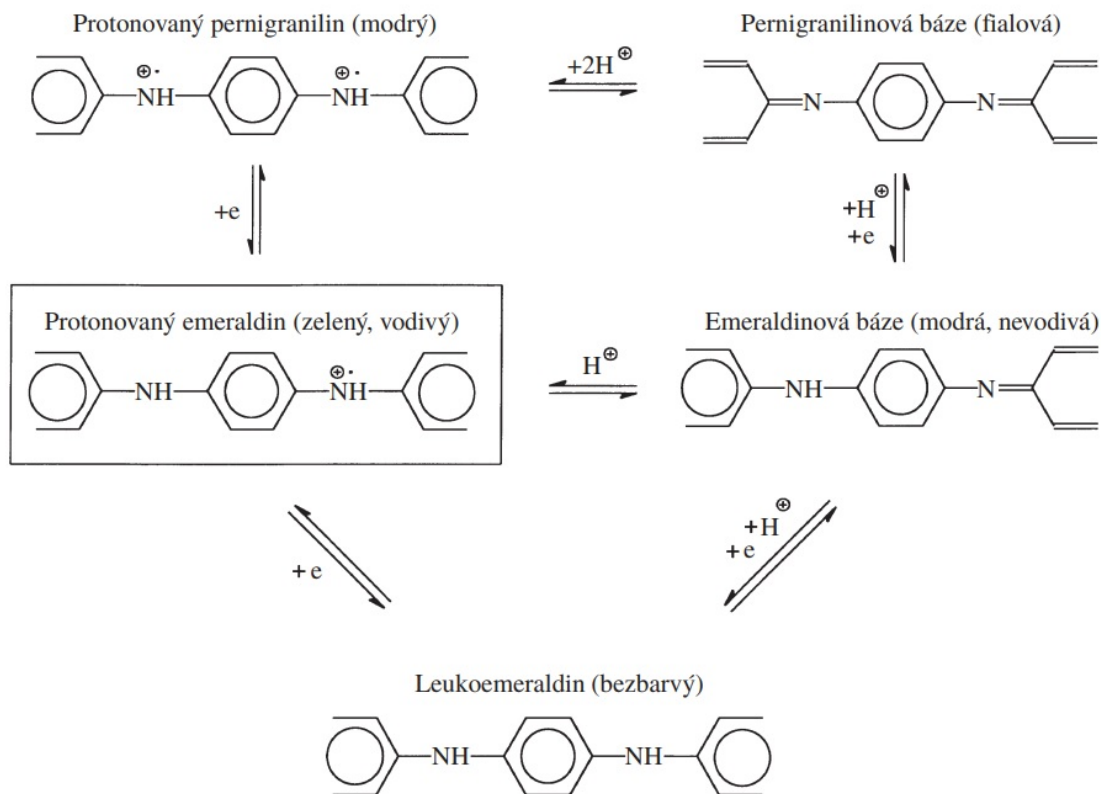
Dopování vodivých polymerů

Dopování polymerů probíhá rozdílným způsobem než dopování anorganických polovodičů. U anorganických látek je způsobena přidáním elektronu do vodivostního pásu nebo zabudováním děr do pásu valenčního. U polymerních materiálů se donory nebo akceptory náboje zavádějí přímo do polymerního řetězce, čímž se zkracuje vzdálenost mezi valenčním a vodivostním pásem, tudíž vodivost materiálu roste. Dopováním dochází v podstatě ke vzniku polymerních organických solí. Podstatou je oxidační (p-doping) nebo redukční (n-doping) reverzibilní reakce na π -vazbě. Reakce poskytuje protianiont nebo protikationt (dopant), který těsně asociuje s řetězcem polymeru za vzniku nenabitého vodivého polymeru. Elektrony v jedné opakující se jednotce jsou přitahovány jádry jednotek sousedních a elektrony tedy mohou přeskokovat podél řetězců i mezi nimi. Uspořádaný pohyb nosičů náboje po konjugovaném systému zajišťuje elektrickou vodivost polymeru. V závislosti na typu systému a rozsahu dopingu se dá vodivost materiálu zvýšit až k hodnotě 10^{12} S/cm, cca o 12 řádů. Doping lze provádět elektrochemicky, chemicky nebo fotodopováním a je prováděn již při syntéze. [17; 19]

Polyanilin (PANI)

Polyanilin byl podle všeho prvním syntetizovaným polymerem. První zmínky pochází již z roku 1840, kdy byl diskutován jako zelený oxidační produkt o pár let dříve připraveného anilinu. Polyanilin je tvořen opakujícími se jednotkami anilinu a může se vyskytovat ve formě protonovaného pernigranilinu, protonovaného emeraldinu, leukoemeraldinu, pernigranilinové báze nebo emeraldinové báze, přičemž jednotlivé formy mohou oxidačními či redukčními reakcemi mezi sebou přecházet. Formy se mezi sebou liší barvou a stupněm protonace, který souvisí s rozdílnou vodivostí jednotlivých forem. Změny vodivosti je zde možné docílit

dopováním vodíkovými ionty, kdy reakcí emeraldinové báze s kyselinou dochází ke změně rozložení elektronů, ale jejich celkový počet zůstává zachován. Donorem elektronu může být jak kyselina anorganická, tak i organická. [20]



Obrázek 4: Formy polyanilinu [20]

Povlaky s elektroaktivním polyanilinem se od běžných liší tím, že kov nechrání pouze fyzikálním bariérovým způsobem. Kov je chráněn také formou anodické ochrany, kdy při kontaktu kovu s PANI dochází k pasivaci kovu tvorbou oxidů. Vytvořená pasivační vrstva pak přetrvává i po odstranění povlaku. U polyanilinu v oxidačním stavu emeraldinu pozorujeme silné oxidační schopnosti, které jsou schopny vyvolat pasivaci u nerezové oceli. Měkká ocel může být účinkem PANI repasivována i v případě, že je povlak poškozený a vyskytují se v něm škrábance. [22]

1.5 Pojiva pro nátěrové hmoty

Pojivo je základní částí nátěrové hmoty, která umožňuje vznik filmu a jeho charakter určuje jeho celkové vlastnosti. Základní lak je tvořen pojivem a ředidlem nebo rozpouštědlem v roztoku. Základní lak je transparentní, proto se do něj přidávají vhodné pigmenty. [11] Pojiva zajišťují dispergaci pigmentu v nátěru a umožňují nastavit pigmentaci na požadovanou

hodnotu OKP. K jejich hlavním výhodám patří zlepšení aplikačních vlastností, zvýšení odolnosti povlaků proti mechanickým vlivům a snížení propustnosti pro okolní prostředí. Pojivy je možné také upravit specifické vlastnosti jako je pružnost nebo pevnost a lze pomocí nich také dosáhnout určité požadované tloušťky nátěrového filmu. Pojiva mohou být přírodního i syntetického charakteru. [1] Přírodní pryskyřice používané v minulosti se skládaly z výměšků hmyzu a rostlin nebo různých rostlinných olejů. V současné době se význam přírodních pryskyřic omezuje na chemicky upravené, mezi které patří kalafuna, deriváty celulózy a také rostlinné oleje, které jsou hlavní složkou syntetických alkydových pojiv. Dnešní nátěrové hmoty se skládají především z pryskyřic syntetických, ze kterých největší význam mají epoxidové, epoxyesterové, silikonové nebo například polyuretanové. [11]

Vývoj vodou ředitelných nátěrových hmot nabývá v dnešní době čím dál většího významu, hlavně z důvodu jejich šetrnosti k životnímu prostředí. Snížení použití rozpouštědel je nespornou výhodou nejen z pohledu na ekologii, ale i když jejich vývoj již dosáhl velmi vysoké úrovně, antikorozi vlastnosti těchto nátěrů stále nedosahují takové účinnosti jako je tomu u systémů rozpouštědlových. Přednostmi vodou ředitelných nátěrových hmot jsou mimo šetrnosti k životnímu prostředí také lepší podmínky jejich výroby a celkové bezpečnosti na pracovišti. Nátěrové hmoty odstraněním rozpouštědel ztratily svou negativní vlastnost hořlavost a díky tomu došlo k odstranění rizika požárů na pracovištích. Došlo také ke snížení nezdravých exhalací z organických rozpouštědel a tím se zlepšila hygiena a zdravotní podmínky ve výrobnách, z tohoto důvodu se zmenšily náklady na ventilační a protipožární systémy objektů a vlastně i náklady na samotná ředidla. Složení nátěrových hmot ředěných vodou se v zásadě neliší od systémů rozpouštědlových. Pro jejich přípravu mohou být použita alkydová, polyvinylacetátová, akrylátová, epoxidová nebo polyuretanová pojiva, včetně jejich kombinací. Vzhledové vlastnosti výsledných nátěrů mohou být různorodé, lze vytvořit nátěry matné, lesklé i pololesklé a v podstatě ve všech běžných odstínech. [25]

Alkydové pryskyřice

Jako alkydové pryskyřice byly dříve označovány polyestery využívané do nátěrových hmot, později se začal brát v úvahu i obsah mastných kyselin v různých formách. Název vznikl spojením slov Alcohol + Acid, což vyplývá z výchozích surovin pro výrobu alkydových pryskyřic, alkoholů a kyselin. Jsou to polyestery, jejichž základ tvoří minimálně tři komponenty, ze kterých jedna musí obsahovat tři funkční skupiny a druhá dvě funkční skupiny. Třífunkční komponentou bývá alkohol například glycerol, nebo lze zvolit vhodnou

kyselinu s dostatečným počtem funkčních skupin. Složení třetí komponenty u alkydových pryskyřic není zásadní, může být zastoupena mastnou kyselinou. Pro dosažení požadovaných vlastností polyesteru je nejdůležitější uspořádání a vhodný poměr všech tří složek. Mezi požadované vlastnosti se řadí sesíťování, tvrdost nebo plasticita a mnoho dalších. [7]

Polyuretanové pryskyřice

Polymerizovaný uretan, který je základem syntetizovaných pryskyřic, vzniká chemickou reakcí isokyanátu s hydroxylovou skupinou. Tato polymerace spočívá v reakci sloučeniny se dvěma nebo více izokyanátových skupin v molekule s polyolem nebo polyfunkčním alkoholem. Syntéza polyuretanových pryskyřic je poměrně jednoduchá, ale jakékoli změny v poměru výchozích látek dokážou způsobit podstatné morfologické změny v řetězcích výsledného polymeru, čehož se využívá k úpravám mechanických vlastností materiálu. [33]

Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice jsou syntetická pojiva vyznačující se přítomností reaktivní cyklické oxiranové skupiny. Nátěrům propůjčují nezaměnitelnou kombinaci vlastností, mezi které patří adheze k povlaku, houževnatost, tuhost, chemický a tepelný odpor a dobré elektrické vlastnosti. Vysoká přilnavost je následkem vzniku vodíkových můstků mezi polárními hydroxylovými skupinami, naopak velmi stabilní vazby uhlík-uhlík dodávají epoxidu chemickou odolnost. Díky aromatické cyklické struktuře mohou odolávat vysokým teplotám a jsou velmi tvrdé. Pružnost epoxidového filmu je způsobena velkou vzdáleností reaktivních epoxidových skupin při konečném vytvrzování nátěru. Základní složkou kvalitních epoxidových pryskyřic je bisfenol A, který nátěrům dodává houževnatost, tuhost a tepelnou odolnost. Bisfenol A se používá nejčastěji v kombinaci s epichlorhydrinem, se kterým tvoří diglycidylethery. Kromě epoxidové skupiny obsahují pryskyřice i další funkční skupiny, nejvíce primární a sekundární hydroxylové skupiny, zároveň každá molekula obsahuje organicky vázaný chlor. Pro získání filmotvorných vlastností je nutné epoxidovou pryskyřici zesíťovat, protože sama o sobě není vysokomolekulární sloučeninou, toho lze docílit reakcí s tvrdidlem, další reaktivní pryskyřicí nebo popřípadě mastnou kyselinou z rostlinného oleje. Vytvrzovací reakce značí proces, kdy nízkomolekulární oligomery epoxidů s iontovým charakterem reagují s tvrdidlem za vzniku zesíťované trojrozměrné struktury, která vytváří nerozpustnou netavitelnou hmotu. Jako tvrdidla je možné využít různé látky, běžně se užívají polyaminy, anhydridy karboxylových kyselin, polythioly a další. Rozpustnost epoxidů se řídí stejným pravidlem jako všechny ostatní

chemické látky: „Podobné se rozpouští v podobném“, jsou tedy rozpustné v kyslíkatých rozpouštědlech jako jsou ketony nebo estery, také se rozpouští v chlorovaných rozpouštědlech, nebo v některých rozpouštědlových směsích. Jejich snášenlivost s jinými složkami nátěrových hmot značně závisí na molekulové hmotnosti. Obecně se lépe snášejí s těžšími molekulami než lehčími, což znamená, že dobře snášenlivé jsou s většinou aromatických polymeru, naproti tomu poměrně nesnášenlivé jsou s alifatickými polymery. [7; 8]

Epoxyesterové pryskyřice

Pryskyřice na bázi epoxyesterů vykazují prvotřídní vlastnosti, proto jsou základem mnoha typů nátěrových hmot, mimo jiné v automobilovém průmyslu. Vyznačují se vysokou přilnavostí k podkladu, vláčností a chemickou odolností. Jejich příprava spočívá v reakci epoxidových pryskyřic s mastnými kyselinami rostlinných olejů, které mohou být vysychavé, polovysychavé i nevysychavé. Oleje jsou rozděleny do skupin na základě jejich rychlosti zasychání, vysychavé jsou v tenké vrstvě na nesavém podkladu vytvrzeny během 2 až 4 dní, polovysychavé potřebují k úplnému zaschnutí mnohem delší čas, jejich film je zároveň měkčí a elastičtější, nevysychavé si zachovávají svou tekutou formu. Podle očekávaných vlastností nátěrové hmoty se přistupuje k výběru druhu použitého oleje i epoxidové pryskyřice. Výběr pryskyřice záleží na molekulové hmotnosti a to od 1000 do 4000. Při esterifikaci reagují hydroxylové i epoxydové skupiny, kvůli snížení čísla kyselosti a dosažení dobré adheze filmu k podkladu se reakce vede tak, aby 50 % hydroxylových skupin zůstalo volných. [7]

Silikonové pryskyřice

Příprava pojiv na bázi křemíku je založena na stejných principech jako běžná příprava silikonů. Základem je reakce křemíku s chlorovanými uhlovodíky za vzniku chlorsilanů, které reakcí s vodou poskytují nestabilní silanoly při současném odštěpení chlorovodíku. Vzniklé silanoly se vzápětí dehydratují a kondenzují do polymerních řetězců na polysiloxany. Vlastnosti vzniklých silikonů mohou být různého charakteru dle použité základní suroviny. V závislosti na použitém druhu výchozího chlorderivátu dochází ke vzniku silikonových jednotek, které mohou být monofunkční, difunkční nebo trifunkční. Silikonové pryskyřice se připravují kombinací všech tří v různých poměrech. Množství trichloralkanu dodaného do původní reakční směsi má vliv na konečný charakter nátěrového filmu, konkrétně ovlivňuje jeho přilnavost k povrchu a tvrdost nátěru. Vlastnosti jsou ovlivněny také strukturou vzniklého polymeru, žádané zesíťované struktury a vhodných vlastností filmu se dosáhne výpalem. Při výpalu shoří organická část a v pojivu zůstane pouze část anorganická,

což způsobuje jejich odolnost vůči vysokým teplotám. Díky teplotní odolnosti se užívají jako pojivové filmy pro teplotně namáhaných zařízení a také v elektroizolačních lacích. Silikonové pryskyřice lze modifikovat přidávkem různých látek například alkydy nebo epoxidy. Přidávkem jsou získány lepší nátěrové vlastnosti, ale na druhou stranu klesá odolnost vůči vysokým teplotám. [7]

1.6 Základní normy pro provádění protikorozní ochrany

Aktualizovaná norma ISO 12944 patří mezi základní normy pro provádění protikorozní ochrany ocelových konstrukcí nátěrovými systémy. V roce 2017 v reakci na vývoj a požadavky průmyslu prošla novelizací, která pozměnila její strukturu. Norma se skládá celkem z devíti částí, které vstupovaly v platnost postupně od podzimu 2017 do jara 2018. Soubor norem ISO 12944 zahrnuje pouze protikorozní ochrannou funkci nátěrových systémů, žádné jiné jako například ochranu proti, mikroorganismům, chemikáliím, mechanickým vlivům či ohni nezahrnuje. Oblast použití je charakterizována typem konstrukce, typem povrchu a jeho přípravou, typem prostředí, typem ochranného nátěrového systému, způsobem provedení a životností nátěrového systému. Soubor norem ISO 12944 se sice nevztahuje na všechny typy konstrukcí, povrchu a jeho přípravy, ale po dohodě je možné ho použít i pro ostatní případy.

První část normy (ISO 12944-1) definuje souhrnný předmět celého souboru norem ISO 12944, včetně definice základních termínů. Dále jsou v ní uvedeny obecné úvahy a požadavky, které se týkají ochrany ocelových konstrukcí nátěrovými systémy a také obsahuje obecná ustanovení ohledně ochrany zdraví, bezpečnosti a ochrany životního prostředí, informace o jednotlivých částech souboru norem ISO 12944 a návod k použití tohoto souboru pro daný projekt.

Ve druhé části normy (ISO 12944-2) je uveden popis korozního namáhání vyvolaného působením atmosféry, různých typů vod a půdy. Jsou v ní definovány kategorie korozní agresivity atmosféry a uvádí také očekávané korozní namáhání ocelových konstrukcí ponořených ve vodě nebo uložených v půdě, které je základním parametrem pro výběr vhodného ochranného nátěrového systému.

Třetí část normy (ISO 12944-3) obsahuje informace o základních kritériích navrhování ocelových konstrukcí, tak aby byla zajištěna jejich korozní odolnost. V normě se vyskytují také příklady vhodných a nevhodných návrhů řešení, včetně nákresů.

Popis různých typů chráněných povrchů a metodách jejich chemické, tepelné a mechanické přípravy je uveden ve čtvrté části normy. Norma ISO 12944-4 se používá společně s normou ISO 12944-5, která popisuje různé základní typy nátěrů vzhledem k jejich chemickému složení a způsobu vzniku, a normou ISO 12944-7, kde je uveden popis nanášení nátěrových hmot včetně manipulace s nátěrovými hmotami a skladování před jejich nanášením.

Část číslo šest (ISO 12944-6) zahrnuje specifikaci laboratorních metod používaných při hodnocení ochranných nátěrových systémů. Její zaměření je hlavně na nátěrové systémy, kde ještě není dostatek informací z praxe, navíc uvádí atmosférické podmínky pro ponor do sladké, brakické i mořské vody.

V osmé části (ISO 12944-8) jsou uvedena doporučení pro navrhování specifikací prací protikorozi ochrany, přičemž popisuje vše, na co je nutné brát ohled, jestliže má být ocelová konstrukce chráněna proti korozi působení. Jednotlivé přílohy se zabývají konkrétními podmínkami prováděné práce za účelem její usnadnění.

Poslední devátá část normy (ISO 12944-9), která byla k souboru přidána až při aktualizaci v roce 2017, popisuje požadavky, metody zkoušení a kritéria hodnocení ochranných systémů používaných v podmínkách extrémního korozi namáhání jako jsou přímořské podmínky. [34]

1.7 Laboratorní korozi zkoušky

Korozi zkoušky prováděné v laboratorním měřítku jsou založeny na simulaci vnějších podmínek, kterým je materiál vystaven v přírodních či provozních podmínkách. Rozdílem od venkovních podmínek je však konstantní působení zesílených korozi činitelů. Expozice zkušebních vzorků probíhá urychleným mechanismem tak, aby korozi změny na kovovém podkladu i ochranném povlaku byly patrné již za krátký čas, zároveň ale zesílení působícího faktoru nemůže být příliš velké, protože to by se spíše testovala chemická odolnost povlaků. Charakteristické je, že k urychlení korozi reakcí dochází v počátečním stádiu a po vytvoření korozi zplodin už k dalšímu urychlení nedochází.

Zařízení využívaná k simulaci podmínek používají zdroje, které produkují konstantní a předem definované dávky faktorů ovlivňujících výsledky korozi odolnosti materiálů. Dávkovaným faktorem může být sluneční a UV záření, teplota, voda a vlhkost nebo kyslík. Mezi tyto faktory patří ale i korozi působící plyny jako například oxid siřičitý, mlha chloridu sodného, kyselá dešť nebo různé roztoky elektrolytů. Vzorky po expozici

koroznímu prostředí se vyhodnocují pomocí postupů uvedených v normách popisující postupy hodnocení vzorků po korozních zkouškách (ASTM, ČSN EN ISO). [4]

Zrychlená korozní zkouška v atmosféře neutrální solné mlhy

Nejstarší a stále nejpoužívanější metodou urychlených laboratorních korozních zkoušek je zkouška v solné mlze. Při této zkoušce jsou vzorky vystaveny nejčastěji mlze neutrálního chloridu sodného o koncentraci 5 hmotnostních % při teplotě 35 °C. Korozní agresivita prostředí je extrémně vysoká, jen v porovnání s mořskou vodou obsahující 3,5 % rozpuštěných solí, ze kterých 3 % tvoří NaCl, navíc je zde dobrý přístup kyslíku, velká vlhkost a zvýšená teplota, díky tomu dochází k významnému urychlení korozních reakcí. Zkouška v solné mlze je rychlá, jednoduchá, levná a poskytuje velké množství referenčních dat, často je ale kritizována kvůli používaným nerealistickým podmínkám a také nízké reprodukovatelnosti dat. Nerealistické podmínky mohou způsobovat korozní mechanismy, které neodpovídají reálné expozici materiálu, z toho důvodu pak dochází k chybným vyhodnocením korozní odolnosti různých materiálů. [32]

Zrychlená korozní zkouška ve 100% relativní vlhkosti vzduchu

Zkouška s kondenzací vodní páry je klasickým testem prováděným v kondenzační komoře, který poskytuje rychlé výsledky a je velmi rozšířená i v dnešní době. Dle normy ASTM se tato zkouška zařazuje se mezi testy chemické odolnosti vůči vodě. Její provedení je možné dvěma způsoby, a to metodou „povšechné kondenzace“ nebo s „řízenou kondenzací“ vody. Mezi odborníky je zkouška s kondenzací vodní páry uznávána více než zkouška v solné mlze, protože poskytuje reálnější podmínky, a tedy lépe vypovídá o kvalitě nátěrové hmoty, vlastnostech pigmentů, celkové správnosti formulace nátěrové hmoty, i o správné přípravě povrchu. [4]

Zrychlená korozní zkouška v kondenzované vlhkosti s obsahem SO₂

Zrychlená laboratorní korozní zkouška v atmosféře SO₂ s kondenzací vodní páry napodobuje znečištěné průmyslové prostředí a zrychluje jeho účinky na materiály. Zkouška se provádí v kondenzační komoře a může být vedena kontinuálním mechanismem nebo střídavým, kdy se vzorky nachází 8 hodin v kondenzační komoře a 16 hodin v laboratoři. Způsoby urychlení koroze vzorků je prodloužení doby působení nadkritické vlhkosti, dále zvýšená teplota při současném působení 100% vlhkosti a také působení SO₂ jako korozního činitele. V kondenzační komoře se nachází atmosféra obsahující oxid siřičitý se 100 % relativní vlhkostí vzduchu a z toho důvodu na vzorcích probíhá kondenzace. [4]

Zkoušky s použitím UV záření

Při této zkoušce dochází k expozici vzorků UV záření, zvýšené teploty a je zde také možnost použití vodní sprchy jako volitelného prvku. Podle druhu zkoušeného povlaku se přistupuje k výběru vhodného zdroje záření s vyhovující intenzitou, nejčastějšími typy jsou uhlíkový nebo xenonový oblouk, nejlepšími jsou zdroje s automatickým monitorováním úrovně záření, regulací teploty a vlhkosti. Umístění vzorků do stojanu musí být provedeno tak, aby dopadající záření bylo rovnoměrné, přičemž odchylka od průměru nesmí být větší než 5 %. Stojan se vzorky se otáčí různými rychlostmi v závislosti na zvoleném zdroji světla a způsobu chlazení. Při otáčení mohou být vzorky vystavovány střídavě světlu a tmě nebo periodě vodní sprchy a osušování, zařízením zároveň protéká vzduch, který slouží k řízení teploty vzorků a odstraňování spalovacích produktů uhlíku. Po expozici je u vzorků vyhodnocována nejčastěji ztráta lesku, křídování nebo změny barvy nátěrových filmů. [4]

Cyklické korozní zkoušky

Důvodem investice do vývoje cyklických korozních zkoušek byly již zmíněné nedostatky korozních zkoušek v solné mlze. Cyklické korozní zkoušky byly vyvinuty především pro automobilový průmysl, protože simulují realističtější korozní mechanismy pro širokou škálu materiálů. Realističtějšího obrazu je docíleno využitím střídajících se fází solné mlhy, sušení a ovlhčení. Některé postupy používají také fáze vymrazování, rychlé změny teploty a expozice UV záření. Výsledky cyklických korozních zkoušek lépe odpovídají dlouhodobým zkušenostem s materiály a lze za jejich pomocí s větší přesností zhodnotit chování materiálů v reálných podmínkách, proto jsou pro výběr optimálního materiálu s požadovanou životností vhodnější než jednodušší zkouška v solné mlze. [32]

1.8 Nepřímé korozní zkoušky

Nepřímé korozní zkoušky povlaků jsou nezbytným doplňkem všech korozních zkoušek, protože na jejich základě lze studovat mechanismy působení ochranných povlaků. Jedná se o zkoušky, při kterých se měří veličiny související s procesem degradace povlaků. Tyto zkoušky lze provádět metodami měření fyzikálně chemických vlastností organických povlaků a jejich změn následkem korozních dějů, stanovenou veličinou zde může být například změna přilnavosti, tvrdosti, barvy nebo lesku ochranného filmu. Dále se jedná o měření difúze korozních médií do nátěrových filmů a stanovení difúzních koeficientů. Poslední metodou je stanovení korozně-inhibiční účinnosti aktivních složek povlaku, kam patří gravimetrické stanovení korozních úbytků definovaných vzorků v prostředí

vodných výluhů antikoročních pigmentů a inhibitorů koroze nebo například elektrochemické metody. [4]

1.9 Elektrochemické korozní zkoušky

V souvislosti s tendencí zrychlovat korozní zkoušky se přistoupilo k vývoji zkoušek elektrochemického charakteru. Elektrochemické metody se vyznačují nejen kratší dobou odezvy, ale mají i lepší výsledky co se týče kvality signálu, oproti metodám sledování úbytku hmotnosti a podobným, takže je možné zaznamenat i korozi o velmi nízké rychlosti. Všechny tyto metody jsou založeny na principu měření elektrického proudu nebo napětí. Většina korozních dějů probíhajících ve vodné fázi probíhá elektrochemickým mechanismem, kde elektrický proud nebo napětí vzniká na rozhraní materiálu a prostředí v důsledku probíhajících korozních dějů. Vzniklý proud nebo napětí jsou indikátory intenzity procesů koroze. Měření se dá provádět aplikováním elektrického signálu externím způsobem, kdy je na elektrodu vnášen potenciál nebo proud, v takovém případě se jedná o polarizaci elektrody nebo vzorku. Druhý případ měření může být bez použití externího signálu, kdy se měří vlastní korozní proud. Výsledná zkouška trvá většinou jen pár minut a naměřené hodnoty přímo odpovídají hodnotám intenzity korozního procesu. Charakteristickým rysem těchto metod je, že mohou probíhat pouze ve vodivém prostředí. [24, 28]

Mírou oxidační schopnosti korozního prostředí je veličina potenciál (E). Tyto oxidační schopnosti je možné zvyšovat tak, že se do elektrolytu přidá látka, která ochotně snižuje svůj oxidační stav, čímž se zvyšuje hodnota potenciálu. V laboratorních podmínkách se však aplikuje použití rychlejší a snadněji proveditelné metody, kdy se potenciál kovu plynule mění pomocí přístroje potenciostatu. [26]

Nejčastěji používanou elektrochemickou metodou je metoda lineárního polarizačního odporu (LPR). Jelikož jsou tyto techniky perspektivní, v čase se vyvíjí nové metody, například mezi jedny z nejnovějších metod patří analýza harmonických zkreslení (HDA) nebo měření elektrochemického šumu (ECN). Lineární polarizace a analýza harmonických zkreslení byly původně vyvinuty pro rychlou laboratorní analýzu koroze materiálu, nicméně v dnešní době se výrazně rozšiřuje oblast jejich působnosti při stanovování korozního chování materiálů. [24]

Měření elektrochemického šumu (ECN)

Metoda měření elektrochemického šumu byla speciálně vyvinuta pro měření typu a intenzity korozních jevů a tím doplňuje nedostatky jiných metod. Pomocí ECN lze

identifikovat korozi důlkovou, bodovou nebo štěrbinovou, ale i korozní praskání nebo únavu. U jiných metod se vychází z předpokladu, že koroze je ustálený proces, což u lokální koroze není splněno. Použití ECN se tedy uplatňuje hlavně tam, kde korozní procesy přestávají být ustálené, mají nestabilní charakter, a tudíž je zde velké riziko bodové koroze. Dalším podstatným rozdílem od ostatních metod je, že zde nejsou třeba žádné elektrody k elektrickému buzení. Elektrochemický šum jsou fluktuace potenciálu a korozního proudu, které jsou produkovány korodujícím kovem. Jsou měřeny a dále zpracovávány malé přirozené změny v proudu a napětí, které jsou pro jednotlivé typy koroze specifické s vlastními charakteristickými hodnotami amplitud. V případě koroze celkové je možné stanovit její intenzitu podobně jako u metody lineární polarizace. Nejdůležitější schopností metody ECN je schopnost zachycení bodové koroze již v počátečním stadiu. Metoda je schopna detekovat již malé změny ve fluktuaci, které místní koroze způsobuje, je tedy možné zachytit bodovou korozi dřív, než dojde k vážnějším škodám materiálu. [24]

Nevýhodou této metody je, že pro získání informací o korozním působení je třeba ji doplnit dalšími metodami, protože sama o sobě nedokáže určit hloubku ani distribuci lokální koroze. Nejčastěji je metoda měření elektrochemického šumu kombinována s elektrochemickou impedanční spektroskopií, protože nedostatky obou metod se navzájem doplňují. Hlavní předností ENA je možnost nepřetržitého sledování korozního procesu, protože díky rychlé frekvenci vzorkování je možné nepřetržitě zachycovat 2 i více dat za vteřinu. Další výhodou metody je práce bez aplikace vnější polarizace, monitoruje tedy pouze proces volné koroze, tudíž nedochází ke změnám specifických vlastností systému jako je povrchová struktura, drsnost, nebo funkce inhibitorů. Navíc je záznam elektrochemického šumu pohodlný, jelikož vyžaduje pro měření pouze jednoduché přístroje. [31]

Analýza harmonických zkreslení (HDA)

Metoda analýzy harmonických zkreslení pracuje na podobném principu jako většina jiných elektrochemických metod, chápe tedy korozi jako ustálený stav a pracuje s její aproximací. Na rozdíl od metod jako je například lineární polarizace ale používá mnohem složitější matematický aparát. Pomocí HDA se dají určit hodnoty korozního proudu, charakteristické korozní koeficienty, a dokonce i Sternovu-Gearyho konstanta B, která poté může být použita k určení celkových korozních úbytků materiálu. V případě, že je proud vyvolán vložením budícího napětí s tvarem sinusoidy, pak je možné hustotu korozního proudu určit pouze z první, druhé nebo třetí harmonické složky proudové odezvy, přičemž není nutné znát žádné další parametry včetně Sternovy-Gearyho konstanty. [24]

Elektrochemická impedanční spektroskopie (EIS)

Elektrochemická impedanční spektroskopie (EIS) je elektrochemická metoda, která se používá k hodnocení korozních vlastností kovů potažených organickými povlaky vystavených vodnému prostředí. Výhodou EIS je, že nedochází k destrukci vzorku, je rychlá, spolehlivá a pohodlná. Principem metody je vkládání napětí s určitou malou hodnotou amplitudy (obvykle 5-10 mV) na pracovní elektrodu a měřenou veličinou je střídavá složka proudové odezvy, to znamená, že je měřen odpor systému. Jelikož vkládané napětí je střídavé, odpor je závislý na frekvenci a je označován jako impedance. Z důvodu závislosti odporu na frekvenci je také nutné proměřit vzorek při různých frekvencích, což způsobuje, že celý proces je v porovnání s jinými elektrochemickými metodami pomalejší. [23]

Měření probíhá za konstantního potenciálu, který je buď zvolen, nebo se měření provádí při hodnotě potenciálu nezátíženého obvodu (OCP), přičemž hodnota OCP je vlastní potenciál elektrody bez průchodu proudu. Frekvence střídavého napětí je časově proměnná, obvykle se měří od nižších hodnot k vyšším, a to z důvodu omezené stability některých systému, protože měření vyšších frekvencí probíhá podstatně rychleji. Hodnoty používaných frekvencí se pohybují nejčastěji v rozsahu 1 MHz až 0,1 mHz. Měření je realizováno na potenciostatu v tříelektrodovém uspořádání. [29] Systém je složen z pracovní elektrody, kterou tvoří proměřovaný vzorek kovu s naneseným povlakem, druhá elektroda je referenční s konstantním potenciálem (Ag/AgCl). V případech polarizačních měření je přítomna i pomocná elektroda tvořena inertním materiálem, například platinou. Úkolem této elektrody vyvážit proud protékající k pracovní elektrodě. Měřicím přístrojem je potenciostat a charakterizace materiálu se provádí analýzou vynesných impedančních spekter. [23]

Lineární polarizace (LPR)

Lineární polarizace je důležitou metodou pro pozorování korozních účinků, především sledování korozní rychlosti. Tato technika byla speciálně navržena pro stanovení polarizačního odporu materiálu (R_p) a proudové hustoty (j). Měřenou veličinou je korozní proud vznikající důsledkem korozního procesu. Velikost korozního proudu je úměrná míře ztráty kovu. Měření probíhá tak, že se na měřicí elektrody přivede napětí o nízké frekvenci a připojené napětí vyvolá proud, který je zaznamenán. Nutnou podmínkou je, aby vložené napětí bylo menší než tzv. samovolný korozní potenciál. V tomto případě je proudová odezva na vložené napětí přibližně lineární a měření lze tehdy považovat za směrodatné. Z naměřené hodnoty korozního proudu se následně určuje rychlost koroze a pomocí proudové hustoty určit také absolutní údaje o míře zkorodovanosti materiálu (úbytek hmotnosti za čas). [24]

Grafickým vyjádřením vztahů mezi potenciálem (E) a proudovou hustotou (j), která vyjadřuje rychlost reakce je polarizační křivka. Polarizační křivka vyjadřuje propojení dílčích elektrodoých reakcí. Anodická oxidace kovu a katodická redukce prostředí probíhají určitou rychlostí, kde musí být splněna podmínka elektroneutrality, což znamená, že součty proudových hustot katodické i anodické reakce musí být rovny nule. Vyrovnání rychlosti obou dílčích reakcí je dosaženo pomocí potenciálu, který se samovolně posune na hodnotu ustavení smíšeného tzv. korozního potenciálu (E_{kor}). Výsledná polarizační křivka systému je součtem křivky pro anodickou oxidaci a křivky katodickou redukci. Stanovení polarizačního odporu vychází z předpokladu, že výsledná polarizační křivka má v nejbližším okolí korozního potenciálu lineární charakter a pod určitým úhlem protíná osu nulové proudové hustoty. Polarizační odpor je pak dán převrácenou hodnotou směrnice přímky lineární extrapolace. [30]

Potenciodynamická polarizace (CPDP)

Technika cyklické potenciodynamické polarizace je metodou, která je využívána převážně u materiálů bez povrchových úprav za přítomnosti elektrolytu s dobrou elektrickou vodivostí. K takovým materiálům patří konkrétně kovy a jejich slitiny, na jejichž povrchu dochází k vzniku pasivační vrstvy. Metoda CPDP hodnotí náchylnost materiálu k podléhání účinkům lokálních typů koroze nebo může sloužit k určení rychlosti degradace materiálu v krátkém časovém intervalu. Výstupem zkoušky jsou tzv. potenciodynamické polarizační křivky vykreslující závislost proudové hustoty na potenciálu. [27]

Potenciodynamické polarizační křivky mají exponenciální závislosti v oboru kladných a záporných čísel. Obor kladných proudových hustot odpovídá katodické reakci, zobrazuje tedy korozní reakci. Zde platí, že zvyšováním oxidační schopnosti prostředí exponenciálně roste rychlost rozpouštění kovu. Katodické redukční reakci naopak odpovídá exponenciální křivka v oboru záporných čísel. Katodická i anodická reakce mají shodnou číselnou hodnotu, která se liší pouze ve znaménku, ovšem ani jednu z těchto nelze měřit přímo. Přímým měřením je možné zaznamenat pouze součet všech probíhajících elektrochemických reakcí na povrchu kovu, což je celková proudová hustota. [26]

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo studium korozně-inhibičních vlastností organických povlaků (pigmentovaných i nepigmentovaných) pomocí řady standardních korozních testů v simulovaných korozních atmosférách a pomocí elektrochemické techniky lineární polarizace. Byla testována řada nepigmentovaných povlaků o různé pojivové bázi a s různým mechanismem síťování (fyzikální, fyzikálně-chemický a oxopolymerační mechanismus). Dále byla testována řada pigmentovaných organických povlaků na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem pigmentů různého chemického složení a mechanismu působení (minium Pb_3O_4 , fosforečnan zinečnatý $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, zinkferit $ZnFe_2O_4$, mastek $Mg-Al(Si_4O_{10})$ a zinkferit $ZnFe_2O_4$ s povrchovou úpravou polyanilinu dopovaným různými typy dopantů. Získané výsledky budou vyhodnoceny a diskutovány v závislosti na typu korozního testu a korozního prostředí, typu pojiva nátěrové hmoty, typu antikorozního pigmentu, popřípadě typů dopantu polyanilinové soli a jeho objemové koncentrace v nátěrové hmotě.

2.1 Charakteristika surovin

Epoxyesterová pryskyřice WorléeDur D46

Funkce:	pojivo pro přípravu nátěrových hmot
Složení:	epoxyesterová pryskyřice (60 g epoxid, 40 % mastné kyseliny tungového oleje), roztok v xylenu
Hustota:	$1,07 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Sušina:	60 %
Rozpouštědlo:	xylén
Číslo kyselosti:	≤ 4
Výrobce / dodavatel:	Worlée-Chemie GmbH, Německo

Alkydová pryskyřice CHS-ALKYD S 622 W 65

Funkce:	pojivo pro přípravu nátěrových hmot
Složení:	alkydová pryskyřice dlouhé olejové délky na bázi sójového oleje (olejová délka cca 62 %), roztok v xylenu
Rozpouštědlo:	lakový benzín
Sušina:	65 %

Nuodex® Combi

Funkce:	sikativ (sušidlo) pro epoxysterovou pryskyřici WorléeDur D46
Složení:	stabilizované sušidlo obsahující Co, Ca a Zr, obsah kovů 8,8 %
Dávkování:	0,3 hmotnostních %
Výrobce:	Huntsman Pigments & Additives, USA

Epoxidová pryskyřice CHS Epoxy 200 V 55

Funkce:	pojivo pro přípravu nátěrových hmot vodouředitelného typu
Složení	roztok vodou ředitelné epoxidové pryskyřice z bisfenolu A a epichlorhydrinu
Rozpouštědlo:	destilovaná voda
Poměr tužení:	CHS Epoxy 200 V55 : Telalit 180 (100:27)

Telalit 180

Funkce	aduktivní tvrdidlo pro epoxidové nátěrové hmoty
Složení	adukt na bázi epoxidové pryskyřice a polyaminu
Výrobce:	Spolchemie a.s., Ústí nad Labem, ČR
Hustota:	1,08 g·sm ⁻³
Sušina:	50%

Epoxidová pryskyřice CHS Epoxy 210 X 75

Funkce:	epoxidové pojivo pro dvousložkové nátěrové hmoty rozpouštědlového typu
Složení:	75 % roztok středně molekulární epoxidové pryskyřice
Rozpouštědlo:	xylen : n-butanol (4:1)
Poměr tužení:	CHS Epoxy 210 X 75 : Telalit 160 (100:40)
Hustota:	1,06 g·cm ⁻³
Obsah sušiny:	74 %
Epoxidový ekvivalent:	445-450 g·mol ⁻¹
Výrobce:	Spolchemie a.s., Ústí nad Labem, ČR

Telalit 160

Funkce:	aduktivní alifatické tvrdidlo pro epoxidové pryskyřice
Složení:	adukt na bázi epoxidové pryskyřice a alifatického aminu
Hustota:	0,95 g·cm ³
Obsah sušiny:	44 %
Aminové číslo:	110-135
Výrobce:	Spolchemie a.s., Ústí nad Labem, ČR

Methylsilikonová pryskyřice Lukosil M130

Funkce:	pojivo pro přípravu nátěrových hmot
Složení	methylsilikonová pryskyřice, roztok v xylenu
Rozpouštědlo:	xylen
Hustota:	1,00 g·cm ⁻³
Sušina:	60 %
Výrobce:	Lučební závody Kolín

ZnFe₂O₄

Funkce	pigment pro nátěrové hmoty
Složení	ferit zinečnatý (oxid zinečnato-železitý)
Hustota:	5,18 g·cm ⁻³
Olejové číslo:	21,99 g/100 g pigmentu
KOKP:	44,9

ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄

Funkce	pigment pro nátěrové hmoty
Složení	ferit zinečnatý povrchově upravený polyanilinem (dopant: kyselina fosforečná)
Hustota:	3,18 g·cm ⁻³
Olejové číslo:	60,62 g/100 g pigmentu
KOKP:	32,5

ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄

Funkce	pigment pro nátěrové hmoty
Složení	ferit zinečnatý povrchově upraveny polyanilinem (dopant: kyselina sírová)
Hustota:	3,07 g·cm ⁻³
Olejové číslo:	60,05 g/100 g pigmentu
KOKP:	33,6

ZnFe₂O₄/PANI-HCl

Funkce	pigment pro nátěrové hmoty
Složení	ferit zinečnatý povrchově upraveny polyanilinem (dopant: kyselina chlorovodíková)
Hustota:	3,11 g·cm ⁻³
Olejové číslo:	63,56 g/100 g pigmentu
KOKP:	32,0

ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S

Funkce	pigment pro nátěrové hmoty
Složení	ferit zinečnatý povrchově upraveny polyanilinem (dopant: kyselina para-toluensulfonová)
Hustota:	2,78 g·cm ⁻³
Olejové číslo:	56,72 g/100 g pigmentu
KOKP:	37,1

ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂

Funkce	pigment pro nátěrové hmoty
Složení	ferit zinečnatý povrchově upraveny polyanilinem (dopant: kyselina benzoová)
Hustota:	3,35 g·cm ⁻³
Olejové číslo:	66,09 g/100 g pigmentu
KOKP:	29,6

Mg-Al(Si₄O₁₀)

Funkce	plnivo pro nátěrové hmoty (označován jako pigment s bariérovými vlastnostmi)
Složení	Křemičitan hořečnato hlinitý
Hustota:	2,73 g·cm ⁻³
Olejové číslo:	29,97 g/100 g pigmentu
KOKP:	53,2

Zn₃(PO₄)₂·2H₂O

Funkce	pigment pro nátěrové hmoty
Složení:	fosforečnan zinečnatý
Hustota:	3,22 g·cm ⁻³
Olejové číslo:	29,39 g/100 g pigmentu
KOKP:	49,5

Pb₃O₄

Funkce	pigment pro nátěrové hmoty
Složení	oxid olovnato-olovičitý (minium)
Hustota:	8,79 g·cm ⁻³
Olejové číslo:	8,91 g/100 g pigmentu
KOKP:	54,2

2.2 Použité přístroje a zařízení

Krabicová nanášecí pravítka se štěrbinami 100-300 μm; Řezací nůž (Cross cut, Elcometer); Tloušťkoměr Byko-test 4500 Fe/NFe, firma Elektro – Fysik, Německo; Korozní komora SO₂ (V400, Liebisch, Německo); Komora solná SKB 400 A-TR-Touch, Německo; Kondenzační box – QUV/Sl, Anglie; Komora testovací klimatická CTC 256, Německo; Potenciostat VSP – 300, Francie.

2.3 Formulace modelových nátěrových hmot

Formulace modelových nátěrových hmot byly provedeny v počítačovém programu Formul. Konkrétně byly formulovány modelové nátěrové hmoty s obsahem jednotlivých studovaných pigmentů při hodnotách OKP = 5, 10 a 15 %, kdy jednotlivé modelové nátěrové hmoty byly doplněny plnivem Mg-Al(Si₄O₁₀), na hodnotu OKP/KOKP = konst. = 0,5. Dále byla připravena modelová nátěrová hmota s obsahem samotného plniva Mg-Al(Si₄O₁₀), při OKP/KOKP = konst. = 0,5. Příprava modelových nátěrových hmot byla provedena

pomocí zařízení typu disolver Dispermat s diskovým míchadlem s přidavkem skleněných kuliček o průměru 4 mm. Následně byly připravené modelové nátěrové hmoty dispergovány při obvodové rychlosti míchadla $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ po dobu 45 minut. Po ukončení dispergace byla připravená modelová nátěrová hmota zfiltrována přes polyamidovou tkaninu (Uhelon 45S) s velikostí ok $162 \mu\text{m}$.

2.4 Stanovení suché tloušťky nátěrových filmů

Tloušťka nátěrového filmu v tzv. zaschlém stavu má významný vliv na životnost nátěrů a jejich ochrannou schopnost. Tloušťka nátěru ovlivňuje výsledky mechanických zkoušek a také chemickou a antikorozní odolnost. Tloušťka suchého filmu by se měla pohybovat kolem $100 \mu\text{m}$, přičemž pro nátěry vystavené vnějšímu ovzduší by tloušťka měla dosahovat hodnot vyšších než $100 \mu\text{m}$. Nátěr by zároveň neměl být příliš tlustý, aby nedocházelo k vnitřnímu prnutí s následným narušením povlaku.

Tloušťka jednotlivých nátěrů nanesených na ocelových podkladech byla měřena magnetickým tloušťkoměrem Byko-test 4500 Fe/NFe dle normy ČSN EN ISO 2808. Tloušťka nátěrových filmů byla měřena nedestruktivní metodou v mikrometrech s přesností $\pm 2 \mu\text{m}$. Tloušťkoměr pracuje na principu měření změny magnetického indukčního toku. Tloušťkoměr byl kalibrován na výrobcem dodaném ocelovém panelu a jednotlivé tloušťky byly měřeny na deseti místech vzorku. Výsledná tloušťka filmu byla vypočítána jako průměrná hodnota jednotlivých měření.

2.5 Příprava zkušebních vzorků na skleněných panelech

Všechny testované nátěrové hmoty byly aplikovány při konstantních laboratorních podmínkách. Zkušební nátěry byly nanесeny na tři skleněné panely o rozměrech $200 \times 100 \times 5 \text{ mm}$. Důvodem byla zkouška kvality nátěru, jeho tloušťka a správnost nanášení. Povlak byl nanесen pomocí nanášecího pravítka s velikostí štěrbin $150 \mu\text{m}$. Pravítko zaručuje jednotnou tloušťku nátěru po celém panelu. Před nanášením byly panely řádně odmaštěny chloroformem.

2.6 Příprava zkušebních vzorků na ocelových panelech

Nátěrové filmy byly nanесeny na dva ocelové panely s hladkým povrchem, které byly před aplikací rovněž očištěny chloroformem. Byly použity ocelové panely typu QD 24 s obsahem maximálně $0,60 \%$ manganu, $0,15 \%$ uhlíku, $0,030 \%$ fosforu a $0,035 \%$ síry. Jejich hrubost dosahuje méně než $0,5 \mu\text{m}$ a rozměry $50,8 \times 101,6 \times 0,51 \text{ mm}$. Aplikace nátěrů

na ocelové panely proběhla rovněž za použití nanášecího pravítka se šterbinou o velikosti 150 μm , rovněž za konstantních laboratorních podmínek.

2.7 Metody hodnocení vlastností nátěrových filmů pomocí zrychlených korozních zkoušek

Při zrychlených korozních zkouškách jsou zkušební nátěry v laboratorních podmínkách vystaveny zesíleným vlivům korozního prostředí. Mezi jednotlivé korozní činitele patří vysoká vlhkost vzduchu, teplota, vysoká koncentrace korozních látek jako je SO_2 , chloridové ionty nebo UV záření. K největšímu urychlení koroze dochází hlavně zpočátku reakce a po vytvoření korozních zplodin se korozní reakce mírně zpomaluje.

S rostoucí teplotou se korozní reakce zrychlují, protože se vzrůstem teploty dochází ke snížení rozpustnosti plynů a také stoupá pohyblivost iontů. Zvýšení obsahu SO_2 představuje napodobení kontaminovaného prostředí v průmyslových oblastech. Na povrchu nátěru se SO_2 částečně rozpouští ve vodním filmu za vzniku kyseliny siřičité H_2SO_3 a zbylé nezreagované částice SO_2 pronikají do nátěrového filmu. Korozní zkoušky na základě vystavení materiálu chloridům se napodobuje prostředí v přímořských oblastech. Tyto zkoušky se realizují za použití 5% roztoku NaCl , případně i za použití UV záření, jehož zdrojem je xenonový zdroj s fluorescenčními výbojkami, který emituje záření s vlnovými délkami nejvíce se přibližujícími slunečnímu záření.

Zkouška korozní odolnosti v atmosféře neutrální solné mlhy

Použití této zkoušky je zaměřeno pro zjištění odolnosti materiálu vůči korozním vlivům působení roztoku NaCl a vody. Zkouška probíhá za téměř 100% relativní vlhkosti a zvýšené teploty 38 $^{\circ}\text{C}$, za přítomnosti 5 % vodného roztoku NaCl . Zkouška probíhá ve dvanáctihodinových cyklech, kdy jsou vzorky vystaveny střídavě prostředí 5 % solné mlhy po dobu deseti hodin, poté je vzorek 1 hodinu sušen při teplotě 28 $^{\circ}\text{C}$ a následně 1 hodinu vystaven kondenzaci vlhkosti při teplotě 40 $^{\circ}\text{C}$. Zkouška byla pro dvouvrstvé a nepigmentované nátěry ukončena po 1200 hodinách, pro pigmentované po 2160 hodinách. Po ukončení byla provedena vyhodnocení. Zkouška byla provedena dle postupu odvozeného z normy ČSN EN ISO 9227.

Zkouška korozní odolnosti v atmosféře s obsahem SO_2

Tato urychlená cyklická korozní zkouška se používá ke zjištění odolnosti nátěrových filmů působení oxidu siřičitého a 100 % relativní vlhkosti. Kondenzovaná vlhkost spolu s obsahem oxidu siřičitého slouží k simulaci atmosféry v průmyslově znečištěných lokalitách.

Zkouška se provádí v kondenzační komoře, kde jsou panely umístěny na nosičích tak, aby se navzájem nedotýkaly. Zkouška probíhá při 24 h cyklech, kdy jeden cyklus je rozdělen na dvě části. První část trvá 8 h při teplotě 38 ± 2 °C za působení 100 % relativní vlhkosti společně s kondenzací oxidu siřičitého. Druhou částí je sušení, které probíhá při teplotě 23 ± 1 °C v atmosféře s vlhkostí nižší než 75 %. Zkouška byla ukončena po 1200 hodinách. Provedení zkoušky proběhlo dle normy ČSN EN ISO 3231.

Zkouška cyklickým stárnutím (NORSOK)

Tato zkouška je zkouškou odolnosti konstrukce vystavené přímořským a jiným podmínkám. Nechráněná ocel v atmosféře, ve vodě i v půdě je vystavena koroznímu prostředí, které může vést k nevratnému poškození materiálu. Z tohoto důvodu je nutné ocelové konstrukce chránit tak, aby korozi byly schopné odolávat po celou dobu své životnosti. Jeden cyklus zkoušky NORSOK trvá 168 hodin, z nichž 72 hodin jsou vzorky vystaveny UV záření a kondenzaci vlhkosti v souladu s ISO 16474-3 za podmínek: 1 cyklus se skládá z 4 hodin vystavení UVA – 340 lampám při 60 ± 3 °C a 4 hodiny vystavení kondenzaci při 50 ± 3 °C. Další 72 hodin probíhá expozice vzorků neutrálnímu solnému postřiku dle postupu odvozeného z normy ISO 9227 a následně jsou vzorky vymrazovány v klimatizační komoře při teplotě -20 ± 2 °C. Před začátkem vymrazovacího cyklu se musí panely opláchnout demineralizovanou vodou, ale nesmějí se sušit a na začátku vymrazování musí být požadované teploty dosaženo do 30 minut. Vzorky byly těmito podmínkám vystaveny 1680 hodin. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 12944-9 z roku 2018.

2.8 Metody hodnocení vlastností nátěrových filmů pomocí elektrochemických zkoušek

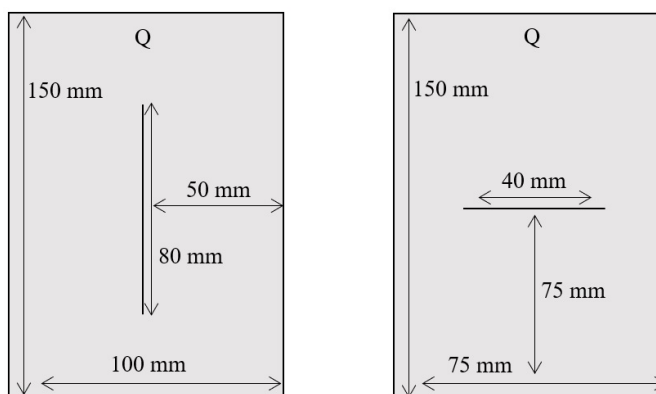
Lineární polarizace

Lineární polarizace je elektrochemická technika, která byla vyvinuta pro studium koroze kovů. Pomocí lineární polarizace lze určovat rychlost koroze, polarizační odpor a proudové hustoty. Měření probíhá v elektrochemických celách, které jsou složeny z referenční elektrody, protielektrody a pracovní elektrody. Referenční elektrodu tvoří nasycená kalomelová elektroda, jako protielektróda byla použita platinová elektroda a pracovní elektrodu představuje testovaný vzorek. Cílem metody lineární polarizace je naměření polarizačních křivek. U naměřených polarizačních křivek se následně vyhodnocuje jejich lineární úsek v okolí hodnoty korozního potenciálu. Definovaná plocha testovaného

vzorku je vystavena elektrolytu jednomolárního roztoku chloridu sodného. Vzorky jsou 1M roztoku NaCl vystaveny po dobu 12 hodin, při čemž probíhá ustalování samovolného korozního potenciálu. Po uplynutí expoziční doby jsou měřeny polarizační křivky. Měřicím přístrojem této elektrochemické metody je potenciostat VSP 300.

2.9 Hodnocení vlastností organických povlaků korozními zkouškami

Testované nátěrové hmoty byly aplikovány na ocelové panely o rozměrech 150x100x0,9 mm a 150x75x0,9 mm, na kterých byly prováděny korozní zkoušky. Připravené vzorky organických povlaků byly následně opatřeny zkušebním řezem, který byl vytvořen řezným nástrojem o šířce čepele 0,5 mm. Vzorky pro cyklickou korozní zkoušku NORSOK byly opatřeny vodorovným řezem o délce 4 cm v ½ panelu. Pro cyklickou korozní zkoušku v atmosféře solné mlhy a SO₂ komoře byly vzorky opatřeny svislým řezem o délce 8 cm v ½ panelu. Umístění a rozměry připravených řezů jsou znázorněny na níže uvedeném obrázku 5.



Obrázek 5: Schématické znázornění zkušebních řezů

2.10 Hodnocení korozních zkoušek po expozici

Po expozici vzorků korozním faktorům při uvedených zrychlených korozních zkouškách se přistupuje k hodnocení změn povrchu nátěrového povlaku, poté se nátěrový povlak odstraní a hodnotí se také povrch kovového panelu. Pomocí hodnocení vzniklých změn povrchu se zjišťuje korozně-inhibiční účinnost nátěrových hmot. Toto hodnocení je subjektivní a probíhá dle norem ASTM.

Hodnocení korozního projevu: puchýře v ploše nátěru a v řezu nátěru

Tento způsob vyhodnocení zkoušky podává informace o odolnosti nátěrového filmu vůči defektům, které vznikají při difúzi látek z okolního prostředí nátěrovým povlakem k podkladovému materiálu. Vytvořené puchýře jsou jedny z prvních ukazatelů,

kteře informují o porušení ochranné funkce nátěrových filmů. Tvorba puchýřů souvisí s přilnavostí ochranného nátěru ke kovovému podkladu a také rozpustností pigmentů a plniv ve vodě difundující přes ochranný povlak.

Po vyjmutí vzorků z korozního prostředí byly změny povrchu subjektivně vyhodnoceny dle normy ASTM D 714-87. Povrchy ochranných nátěrů byly porovnány s fotografiemi standardů z normy ASTM D 1654-92. Fotografie se standardy rozdělují puchýře do čtyř skupin na základě jejich velikosti. Velikosti puchýřků jsou označeny číslicemi dle jejich velikosti od nejmenších po největší. Číselné hodnoty jsou 2, 4, 6, 8, přičemž hodnota 2 značí puchýřky největší puchýřky a hodnota 8 puchýřky nejmenší. Číselná hodnota je dále doplněna písmenem, které vypovídá o četnosti výskytu puchýřů. Vzorky s nejvyšší hustotou výskytu puchýřů jsou značeny písmenem D (Dense), dále MD (Medium Dense), M (Medium) a vzorky s nejmenší hustotou jsou označeny jako F (Few).

Hodnocení korozního projevu: koroze ve zkušebním řezu

Hodnocení výskytu koroze ve zkušebním řezu patří mezi další významné výsledky urychlených korozních zkoušek. Řezem je myšleno umělé mechanické narušení nátěrového povlaku připravené před zahájením zkoušky. Hodnotí se koroze a její vzdálenost v mm od tohoto řezu za účelem získání informací o schopnosti aktivních složek připraveného nátěrového filmu chránit před jeho narušením. Vyhodnocení probíhá dle normy ASTM D 1654-92 a hodnotí se rozsah koroze podél řezu a stupeň podkorodování v okolí řezu pod povlakem.

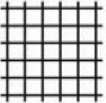
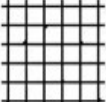
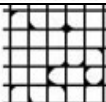
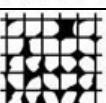
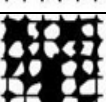
Hodnocení ztráty přilnavosti

Dalším podkladem pro vyhodnocení zrychlených korozních zkoušek byla ztráta přilnavosti nátěrového filmu po expozici koroznímu prostředí v jednotlivých komorách. Ztráta přilnavosti se hodnotí v procentech, které jsou vztaženy k celkové ploše nátěru.

Stanovení přilnavosti mřížkovou metodou

Tato metoda slouží k posouzení odolnosti nátěru proti oddělení od podkladu. Měření probíhá tak, že jsou vytvořeny dva na sebe kolmé řezy nátěrem až na podklad, čímž byla vytvořena mřížka. Pro zkoušku byly použity vzorky na ocelových podkladech a k jejich proříznutí byl použitý řezací nůž s rozestupem čepelí 2 mm. Zkouška probíhala dle normy ČSN EN ISO 2409. Vyhodnocení výsledků proběhlo vizuálně, podle *tabulky 1*.

Tabulka 1: Hodnocení mřížkového řezu

Stupeň	Grafický záznam	Slovní popis vzhledu mřížky
0		Řezy zcela hladké, žádný čtverec není poškozen.
1		Nepatrné poškození v místech křížení. Poškozená plocha nepřesahuje 5 % celkové plochy.
2		Nepatrné poškození filmu podél i v křížení řezů. Povrch mřížky je poškozen v intervalu 5-15 % z celkové plochy.
3		Poškození nátěru v rozích řezu, částečně podél řezných hran, nebo celý čtverec na různých místech mřížky. Poškození od 15-35 % z celkové plochy mřížky.
4		Na nátěru jsou viditelné výrazné defekty v rozích řezů, některé čtverce jsou zcela poškozeny. Celková plocha poškozena z 35-65 %.
5		Změny, které jsou větší než u stupně 4.

Určení stupně korozní agresivity prostředí

V přírodních podmínkách je vznik koroze podmíněn přítomností kyslíku a vody, v průmyslovém a městském prostředí se přidávají i další korozí faktory jako jsou oxidy síry nebo dusíku a další chemické látky. Určení kvality prostředí, kterému bude nátěr vystaven, je důležité pro výběr vhodného nátěrového systému. Korozní agresivitu atmosféry klasifikuje norma ČSN EN ISO 12944-2 do šesti stupňů, jednotlivé stupně jsou uvedeny v *tabulce 2*. V *tabulce 3* jsou uvedeny stupně korozní agresivity prostředí pro nátěry.

Tabulka 2: Stupně korozní agresivity atmosféry

Stupně korozní agresivity	Příklady typického venkovního prostředí	Příklady typického vnitřního prostředí
C1 velmi nízká		Vytápěné budovy s čistou atmosférou, např. kanceláře, školy, obchody, hotely
C2 nízká	Atmosféra s nízkou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí	Nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci, např. sklady, sportovní haly
C3 střední	Městské průmyslové atmosféry s mírným znečištěním SO ₂ ; přímořské prostředí s nízkou salinitou	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, např. výroby potravin, pivovary, mlékárny
C4 vysoká	Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s nízkou salinitou	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží
C5 – I velmi vysoká (průmyslová)	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší
C5 – M velmi vysoká (přimořská)	Přimořské prostředí s vysokou salinitou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší

Tabulka 3: Určení stupně korozní agresivity prostředí pro nátěry

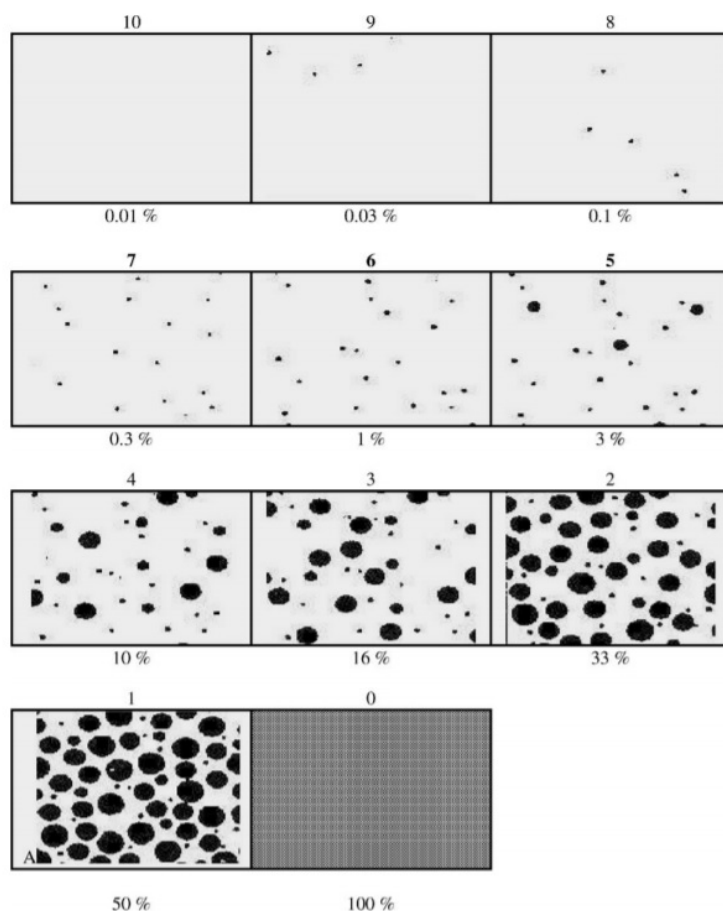
Stupně korozní agresivity	Životnost	ISO 6270 kondenzace vody [h]	ISO 7253 neutrální solná mlha [h]
C2 nízká	nízká	48	-
	střední	48	-
	vysoká	120	-
C3 střední	nízká	48	120
	střední	120	240
	vysoká	240	480
C4 vysoká	nízká	120	240
	střední	240	480
	vysoká	480	720
C5 – I velmi vysoká (průmyslová)	nízká	240	480
	střední	480	720
	vysoká	720	1440

2.11 Hodnocení výsledků korozních zkoušek

Po ukončení všech zrychlených korozních zkoušek v simulovaných atmosférách bylo provedeno vyhodnocení. Hodnoceno bylo prokorodování povlaků a poté byly z panelů nátěrové filmy odstraněny. Ocelové panely byly důkladně očištěny a následně byla hodnocena koroze v ploše a koroze v řezu ocelového panelu. Vyhodnocení proběhlo podle norem ASTM D 714-87, ASTM D 1654-92, ASTM D 610-85.

Hodnocení prokorodování filmu stupně koroze v ploše panelu podle ASTM D 610-85

Vyhodnocuje se stupeň prokorodování a stupeň koroze v ploše ocelového panelu. Jednotlivé vzorky jsou porovnávány se standardy uvedenými na obrázku. Výsledkem je prokorodování nátěrového povlaku, koroze v ploše panelu je vyjádřena v procentech.



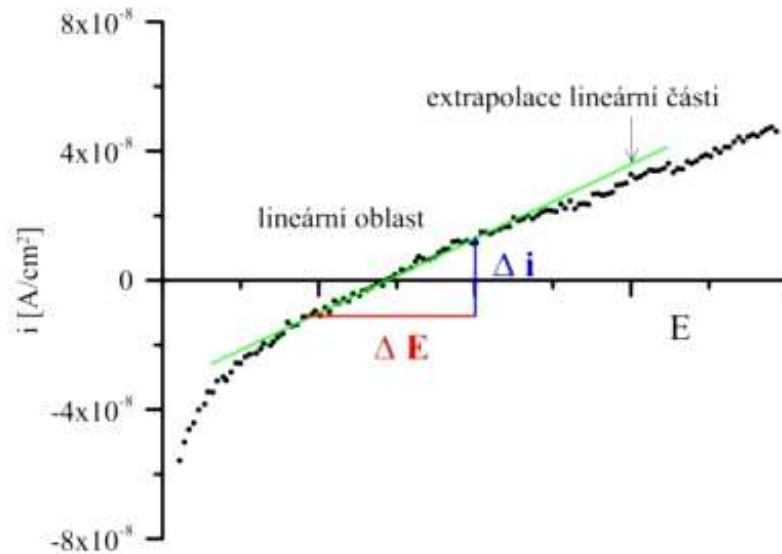
Obrázek 6: Hodnocení korozních projevů (prokorodování a stupeň koroze v ploše ocelového panelu)

Hodnocení selhání řezu podle ASTM D 1654-92

Hodnocení řezu slouží ke zjištění elektrochemického působení pigmentu v povlaku. V případě, že okolí řezu je neporušené, znamená to, že použitý pigment je aktivní v katodické nebo anodické ochraně. Vyhodnocováno bylo podkorodování pod povlakem a rozsah koroze podél řezu. Měřena byla vzdálenost od uměle vytvořeného řezu, kam pronikla koroze.

Hodnocení výsledků elektrochemické techniky lineární polarizace

Výsledky elektrochemického měření poskytují polarizační křivku, což je grafické znázornění vztahu mezi potenciálem a elektrody a rychlostí reakce vyjadřující proudovou hustotu. Technikou lineární polarizace je měřen polarizační odpor (R_p) a proudová hustota (I_{cor}). Principem metody je skutečnost, že se na polarizační křivce v lineárních souřadnicích nachází lineární úsek v okolí korozního potenciálu.



Obrázek 7: Lineární oblast polarizační křivky v těsném okolí korozního potenciálu [30]

Korozní proudová hustota se vypočítá podle Rovnice 1 a 2:

$$I_{\text{cor}} = \frac{B_k}{R_p} \quad (1)$$

$$B_k = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2,3 \cdot (\beta_a + \beta_c)} \quad (2)$$

kde: I_{cor} – korozní proudová hustota, B_k – Stern-Gearyho koeficient, β_a a β_c – sklony Tafelových oblastí.

Výše uvedené hodnoty jsou stanoveny elektrochemickou technikou a pomocí nich je dále počítána korozní rychlost (C_R [mm/rok]) podle vztahu 3:

$$C_R = \frac{I_{\text{cor}} \cdot K \cdot EW}{\rho \cdot A} \quad (3)$$

kde: I_{cor} – korozní proudová hustota, K – konstanta [3272 mm/A cm za rok], ρ – hustota, EW – ekvivalentní hmotnost, A – plocha vzorku.

3. VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ

3.1 Vyhodnocení zrychlených korozních zkoušek

V této kapitole jsou v *tabulkách 4-9* uvedeny výsledky zrychlených korozních zkoušek, po expozici testovaných organických povlaků v atmosféře se solnou mlhou, v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého a po kombinované cyklické korozní zkoušce Norsok.

Zkouška korozní odolnosti v atmosféře neutrální solné mlhy

Výsledky zkoušky korozní odolnosti testovaných organických povlaků v atmosféře neutrální solné mlhy jsou shrnuty v následujících tabulkách, kdy v *tabulce 5* jsou uvedeny výsledky dvouvrstevných organických povlaků po 1200hodinové expozici, v *tabulce 6* jsou uvedeny výsledky organických povlaků s nepigmentovaným vrchním povlakem po 1200hodinové expozici a v *tabulce 7* jsou uvedeny výsledky testovaných organických povlaků s pigmentovaným vrchním nátěrem (top-coat) po 2160hodinové expozici.

Tabulka 4: Výsledky korozní zkoušky pro dvouvrstvé organické povlaky v atmosféře se solnou mlhou ukončené po 1200 hodinách, DFT = 130 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Prokorodování NF [%]	Přilnavost [st.]	Koroze	
		v řezu [st.]	v ploše [st.]			v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	5	4M	6F	0	4	1,5	10
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	10	8F	8F	0	2	0	0
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	15	8F	8F	0	0	0	0
Pb ₃ O ₄	5	8M	0	0	0	0	0
Pb ₃ O ₄	10	8M	4F	0	0	0	0
Pb ₃ O ₄	15	8MD	0	0	0	0	0
ZnFe ₂ O ₄	5	6M	0	0	0	3	1
ZnFe ₂ O ₄	10	8MD	8MD	0	0	5	3
ZnFe ₂ O ₄	15	8MD	8MD	0	0	3	1
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	5	8MD	0	0	5	3	0,1
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	10	0	4F	0	5	0,5	3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	15	*	*	0	5	1	10
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	5	*	*	0	5	5	3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	10	*	*	0	5	>10	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	15	*	*	33	5	>10	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	5	6M	6F	0	0	2	3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	10	*	*	0	5	3	33
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	15	*	*	33	5	>10	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	5	*	*	33	5	>10	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	10	6MD	0	0	5	>10	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	15	*	*	33	5	>10	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	5	*	*	50	5	5	16
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	10	*	*	0	5	5	30
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	15	*	*	0	5	10	100
-	-	6F	6F	0	3	0,5	0,03
Mg-Al(Si ₄ O ₁₀)	-	6MD	6M	0	5	2,5	0,1

*ztráta přilnavosti

Tabulka 5: Výsledky korozní zkoušky pro organické povlaky s nepigmentovaným vrchním nátěrem v atmosféře se solnou mlhou ukončené po 1200 hodinách, DFT = 130 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Prokorodování NF [%]	Přilnavost [st.]	Koroze	
		v řezu [st.]	v ploše [st.]			v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	5	6M	8F	0	0	2	0,1
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	10	6MD	0	0	0	2	0,1
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	15	4F	0	0	0	2	0,1
Pb ₃ O ₄	5	6MD	0	0	0	1	0,03
Pb ₃ O ₄	10	8M	8F	0	0	0,5	0,03
Pb ₃ O ₄	15	4M	0	0	0	1	0,03
ZnFe ₂ O ₄	5	4M	8F	0	0	2	3
ZnFe ₂ O ₄	10	4M	8F	0	0	0,5	0,1
ZnFe ₂ O ₄	15	6F	8M	0	0	1	0,03
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	5	4M	8F	0	0	3	3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	10	6M	8F	0	0	3	10
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	15	4M	8F	0	5	5	16
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	5	4MD	6M	16	5	5	16
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	10	*	*	0	0	5	33
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	15	*	*	50	5	>10	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	5	6F	8F	0	0	4	3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	10	6F	6F	0	0	1	10
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	15	8F	8F	0	0	0,5	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	5	8M	8M	0	0	0,5	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	10	*	*	100	5	3	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	15	*	*	0	5	>10	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	5	6M	8F	0	0	1	0,3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	10	*	*	16	5	5	33
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	15	*	*	3	5	>10	50
-	-	6M	8F	1	3	2	3
Mg-Al(Si ₄ O ₁₀)	-	6M	0	0	3	0,5	0,03

*ztráta přilnavosti

Tabulka 6: Výsledky korozní zkoušky organické povlaky s pigmentovaným vrchním nátěrem v atmosféře se solnou mlhou ukončené po 2160 hodinách, DFT = 130 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Prokorodování NF [%]	Přilnavost [st.]	Koroze	
		v řezu [st.]	v ploše [st.]			v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	5	4M	0	0	1	3	0,03
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	10	6MD	0	0	3	5	0,3
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	15	6MD	0	0	4	5	1
Pb ₃ O ₄	5	4F	0	0	0	3	1
Pb ₃ O ₄	10	6M	0	0	0	2	0,1
Pb ₃ O ₄	15	6M	0	0	0	2	0,03
ZnFe ₂ O ₄	5	4M	8F	0	5	3	0,03
ZnFe ₂ O ₄	10	4F	0	0	0	3	1
ZnFe ₂ O ₄	15	4M	6F	0	5	4	0,3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	5	4F	6MD	0	5	3	10
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	10	4MD	6F	3	5	10	16
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	15	*	*	33	5	>10	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	5	6F	8MD	100	5	7	3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	10	4MD	8M	0	5	7	33
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	15	*	*	0	5	10	33
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	5	4F	8MD	0	5	3	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	10	4MD	4MD	10	5	5	33
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	15	4F	8MD	0	5	5	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	5	6F	8M	0	5	>10	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	10	6F	8M	0	5	>10	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	15	*	*	50	5	>10	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	5	*	*	33	5	6	3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	10	*	*	50	5	5	16
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	15	*	*	100	5	>10	100
-	-	0	6F	0	2	2	0,1
Mg-Al(Si ₄ O ₁₀)	-	6MD	8F	0	0	2	0,1

*ztráta přilnavosti

Zkouška korozní odolnosti v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého

Zkouška korozní odolnosti v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého byla prováděna s jedním typem vzorků a její ukončení proběhlo po 1200hodinové expozici.

Tabulka 7: Výsledky korozní zkoušky dvouvrstvých organických povlaků v atmosféře s obsahem SO₂ ukončené po 1200 hodinách, DFT = 130 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Prokorodování NF [%]	Přilnavost [st.]	Koroze	
		v řezu [st.]	v ploše [st.]			v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	5	0	0	16	0	0,1	3
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	10	0	0	33	0	0,1	10
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	15	0	0	50	0	0,1	16
Pb ₃ O ₄	5	8MD	8M	0	0	2	33
Pb ₃ O ₄	10	8F	8F	0	0	1	0,01
Pb ₃ O ₄	15	8F	0	0	0	1	0,03
ZnFe ₂ O ₄	5	8MD	8MD	0	0	1	100
ZnFe ₂ O ₄	10	8M	0	0	0	1	50
ZnFe ₂ O ₄	15	6MD	8M	0	0	3	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	5	0	8M	0	0	2	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	10	0	8F	0	0	1,5	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	15	0	0	0	0	2	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	5	8F	8M	0	0	3	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	10	0	8F	0	0	0,1	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	15	0	8F	0	0	0	33
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	5	0	8F	0	0	1	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	10	6F	8F	0	0	1	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	15	8F	8F	0	0	0	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	5	8M	8F	0	0	2	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	10	8F	8F	0	0	0	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	15	*	*	0	4	2	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	5	6MD	8F	0	0	3	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	10	0	8F	0	0	3	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	15	8MD	8F	0	0	3	100
-	-	0	8MD	0	0-1	2	100
Mg-Al(Si ₄ O ₁₀)	-	*	*	0	0	3	100

*ztráta přilnavosti

Zkouška Norsok

Zkouška korozní odolnosti cyklickým korozním testem Norsok byla prováděna s jedním typem vzorků a její ukončení proběhlo po 1680 hodinách.

Tabulka 8: Výsledky korozní zkoušky dvouvrstevných organických povlaků cyklickým korozním testem NORSOK ukončené po 1680 hodinách, DFT = 120 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Prokorodování NF [%]	Přilnavost [st.]	Koroze	
		v řezu [st.]	v ploše [st.]			v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	5	0	0	0	0	0	0,1
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	10	0	0	0	0	0	0
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	15	0	0	0	0	0	0
Pb ₃ O ₄	5	0	0	0	0	0	0
Pb ₃ O ₄	10	0	0	0	0	0	0
Pb ₃ O ₄	15	0	0	0	0	0	0
ZnFe ₂ O ₄	5	0	0	0	0	0	0
ZnFe ₂ O ₄	10	0	0	0	0	0	0
ZnFe ₂ O ₄	15	6F	0	0	0	0	0
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	5	0	0	0	0	0	3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	10	0	0	0	0	0	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	15	*	*	0	0	0	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	5	0	0	0	0	0	16
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	10	*	*	0	0	0	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	15	*	*	0	0	0	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	5	0	0	0	0	0	33
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	10	*	*	0	0	0	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	15	*	*	0	5	0	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	5	0	0	0	0	0	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	10	*	*	0	0	0	100
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	15	*	*	0	0	0	50
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	5	0	0	0	0	0	3
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	10	*	*	0	0	0	33
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	15	*	*	0	5	0	33
-	-	4D	0	0	2	0	16
Mg-Al(Si ₄ O ₁₀)	-	6D	0	0	5	0	33

*ztráta přilnavosti

3.2 Vyhodnocení elektrochemických zkoušek

V této kapitole jsou uvedeny v *tabulkách 9, 10* výsledky elektrochemických zkoušek pro testované pigmentované a nepigmentované organické povlaky.

Tabulka 9: Výsledky elektrochemické techniky lineární polarizace pigmentovaných organických povlaků, DFT = 55 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	E _{kor} [mV]	I _{kor} [μA]	β _a [mV]	β _c [mV]	R _P [Ω]	C _R [mm/rok]
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	5	-600	0,371	27,3	29,4	1,66x10 ⁴	5,48x10 ⁻³
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	10	-602	0,362	27,1	28,9	1,68x10 ⁴	5,35x10 ⁻³
Zn ₃ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	15	-608	0,354	27,7	29,1	1,74x10 ⁴	5,23x10 ⁻³
Pb ₃ O ₄	5	-618	0,089	26,2	28,1	6,58x10 ⁴	1,32 x10 ⁻³
Pb ₃ O ₄	10	-620	0,094	26,7	27,8	6,28x10 ⁴	1,39 x10 ⁻³
Pb ₃ O ₄	15	-622	0,079	26,4	27,6	5,98x10 ⁴	1,44 x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄	5	-598	0,368	27,8	28,6	1,66x10 ⁴	5,43x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄	10	-597	0,362	27,3	28,7	1,68x10 ⁴	5,35x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄	15	-593	0,457	27,7	29,1	1,34x10 ⁴	6,75x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	5	-624	0,362	26,4	26,9	1,59x10 ⁴	5,34x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	10	-631	0,382	26,7	27,2	1,52x10 ⁴	5,64x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₈ O ₃ S	15	-630	0,421	27,7	28,9	1,41x10 ⁴	6,22x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	5	-612	0,601	28,1	29,5	1,04x10 ⁴	8,88x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	10	-610	0,611	28,4	29,8	1,03x10 ⁴	9,03x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₃ PO ₄	15	-607	0,622	28,7	29,7	1,02x10 ⁴	9,19x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	5	-611	0,372	27,8	28,9	1,65x10 ⁴	5,50x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	10	-617	0,389	27,8	28,0	1,56x10 ⁴	5,74x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-HCl	15	-619	0,487	28,4	29,1	1,28x10 ⁴	7,19x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	5	-621	0,607	27,1	28,3	9,90x10 ⁴	8,97x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	10	-620	0,611	27,6	28,5	9,96x10 ⁴	9,02x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-H ₂ SO ₄	15	-616	0,626	27,8	28,6	9,78x10 ⁴	9,25x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	5	-608	0,542	26,2	27,4	1,07x10 ⁴	8,01x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	10	-607	0,556	26,1	27,2	1,04x10 ⁴	8,21x10 ⁻³
ZnFe ₂ O ₄ /PANI-C ₇ H ₆ O ₂	15	-605	0,569	26,0	27,1	1,01x10 ⁴	8,40x10 ⁻³
-	-	-611	0,587	26,4	27,2	1,02x10 ⁴	8,67x10 ⁻³
Mg-Al(Si ₄ O ₁₀)	-	-102	0,948	29,7	30,2	6,50x10 ³	1,40x10 ⁻²

Tabulka 10: Výsledky elektrochemické techniky lineární polarizace nepigmentovaných organických povlaků, DFT = 55 ± 10 μm

Pojivo/rozpuštědlo	E _{kor} [mV]	I _{kor} [μA]	β _a [mV]	β _c [mV]	R _P [Ω]	C _R [mm/rok]
epoxyesterová pryskyřice / xylén	-102	0,948	29,7	30,2	6,50x10 ³	1,40x10 ⁻²
epoxidová pryskyřice / xylén	-122	0,951	28,4	29,5	6,60x10 ³	1,41x10 ⁻²
alkydová pryskyřice / xylén	-114	0,984	29,1	29,7	6,49x10 ³	1,45x10 ⁻²
methylosilikonová pryskyřice / xylén	-165	0,998	30,2	31,1	6,47x10 ³	1,47x10 ⁻²
epoxidová pryskyřice / voda	-178	3,151	24,5	25,1	1,71x10 ³	4,65x10 ⁻²

4. DISKUZE

4.1 Diskuze výsledků zrychlených korozních zkoušek

Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných dvouvrstevných organických povlaků v atmosféře neutrální solné mlhy

Organické povlaky s obsahem pigmentu Pb_3O_4 při hodnotách OKP = 5 a 15 % dosáhly vysoké odolnosti vůči puchýřovatení v řezu, kdy u těchto povlaků nebylo puchýřovatení v ploše zaznamenáno, zatímco puchýřovatení v řezu těchto povlaků dosáhlo pouze stupně 8M-8MD. Přílnavost těchto nátěrových filmů po 1200hodinové expozici dosáhla maximálního možného stupně přílnavosti 0. Korozní odolnost v řezu ani korozní odolnost v ploše panelu po odstranění testovaných organických povlaků nebyla zaznamenána. Nepatrně nižší odolnost vůči puchýřovatení byla zaznamenána u organických povlaků pigmentovaných $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ při hodnotách OKP = 10 a 15 %, kdy puchýře v řezu i v ploše dosáhly stupně 8F. Obdobné korozní odolnosti dosáhl organický povlak s obsahem syntetizovaného $ZnFe_2O_4$ při OKP = 5 %, kdy u tohoto organického povlaku nebyl zaznamenán výskyt puchýřů v ploše a puchýře v řezu dosáhly stupně 6M. Přílnavost tohoto organického povlaku po 1200 hodinové expozici dosáhla také nejvyššího možného stupně 0. U organických povlaků s obsahem tohoto pigmentu při vyšších hodnotách OKP byla zaznamenána nižší odolnost vůči puchýřovatení, kdy puchýře v ploše i v řezu dosáhly stupně 8MD, nicméně stále byla zajištěna maximální přílnavost těchto organických povlaků. Obdobné korozní odolnosti dosáhl i organický povlak s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-C_7H_8O_3S$ při hodnotě OKP = 5 %, kdy u tohoto organického povlaku nebyly puchýře v ploše zaznamenány a puchýře v řezu dosáhly stupně 8MD a také organický povlak s tímto typem pigmentu při OKP = 10 %, kdy u tohoto organického povlaku nebyl zaznamenán výskyt puchýřů v řezu a výskyt puchýře v ploše dosáhl pouze stupně 4F. Obdobné korozní odolnosti dosáhl i organický povlak s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-HCl$ při OKP = 5 %, kdy u tohoto povlaku puchýře v ploše dosáhly stupně 6F a puchýře v řezu dosáhly stupně 6M. Přílnavost tohoto organického povlaku dosáhla také maximálního možného stupně. Nižší korozní odolnosti dosáhl organický povlak s obsahem bariérového pigmentu na bázi směsi křemičitanů ($Mg-Al(Si_4O_{10})$), kdy u tohoto organického povlaku dosáhl výskyt puchýřů v řezu stupně 6MD a v ploše stupně 6M. V případě použití pigmentu povrchově upraveného $PANI-H_3PO_4$, $PANI-H_2SO_4$ či $PANI-C_7H_6O_2$ byla zaznamenána nižší korozní odolnost testovaných organických povlaků v důsledku nižší odolnosti těchto povlaků vůči puchýřovatení.

- Organický povlak s obsahem $ZnFe_2O_4$ při OKP = 5 % prokázal vyšší odolnost vůči puchýřovatení v ploše povlaku v porovnání s organickými povlaky s obsahem pigmentu $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$.
- Organický povlak s obsahem $ZnFe_2O_4$, který byl povrchově upraven pomocí PANI-HCl, při hodnotě OKP = 5 % dosáhl výrazně vyšší korozní odolnost v porovnání s organickými povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4$, který byl povrchově upraven ostatními typy polyanilinových solí.

Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných organických povlaků s nepigmentovaným vrchním nátěrem v atmosféře neutrální solné mlhy

Organické povlaky s obsahem pigmentu Pb_3O_4 při hodnotách OKP = 5 a 15 % dosáhly vysoké odolnosti vůči puchýřovatení v ploše, kdy puchýře v ploše po 1200hodinové expozici nebyly zaznamenány. Puchýře v řezu těchto povlaků dosáhly stupně 4M-6MD a přilnavost těchto nátěrových filmů dosáhla nejvyššího stupně přilnavosti 0. Po odstranění testovaných organických povlaků byly zaznamenány minimální hodnoty koroze v ploše panelu 0,03 % a koroze v řezu dosáhla maximálně hodnoty 1 mm. Srovnatelné odolnosti vůči puchýřovatení v ploše dosáhly také organické s obsahem pigmentu $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ při OKP = 10 a 15 %, kdy puchýře v ploše rovněž nebyly zaznamenány, a přilnavost po 1200hodinové expozici dosáhla rovněž nejvyššího možného stupně 0. Nepatrně nižší odolnosti vůči puchýřovatení dosáhly organické povlaky s obsahem syntetizovaného $ZnFe_2O_4$ při všech hodnotách OKP, kdy u těchto testovaných organických povlaků byl zaznamenán výskyt puchýřů v ploše o stupních 8F-8M, rovněž u těchto povlaků bylo dosaženo maximálního možného stupně přilnavosti. Po odstranění testovaných organických povlaků byly zaznamenány hodnoty koroze v ploše panelu v rozmezí 0,03-3 % a koroze v řezu 0,5-2 mm. Obdobné korozní odolnosti dosáhly i organické povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-C_7H_8O_3S$ při hodnotách OKP = 5 a 10 %, kdy u těchto povlaků byly zaznamenány puchýře v ploše o velikosti 8F, puchýře v řezu dosahovaly hodnot 4M-6M a přilnavost dosáhla rovněž nejvyššího možného stupně 0. Obdobné odolnosti byly zaznamenány také u organických povlaků s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-HCl$ při všech hodnotách OKP, kdy puchýře v ploše i v řezu dosáhly stupně 6F-8F. U všech hodnot OKP byla rovněž naměřena nejvyšší hodnota přilnavosti 0. V případě použití ostatních pigmentů bylo již dosaženo nižší korozní odolnosti v důsledku výskytu vyššího puchýřovatení povlaků, přičemž u některých z testovaných organických povlaků se projevila celková ztráta přilnavosti nátěrového filmu.

- Organické povlaky s obsahem $ZnFe_2O_4$ dosáhly srovnatelné korozní odolnosti v porovnání s organickými povlaky s obsahem komerčního antikorozičního pigmentu $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$.
- Organické povlaky s obsahem $ZnFe_2O_4$, který byl povrchově upraven pomocí PANI-HCl, PANI-C₇H₈O₃S či PANI-C₇H₆O₂, při hodnotě OKP = 5 % dosáhly výrazně vyšší korozní odolnost v porovnání s organickými povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4$, který byl povrchově upraven ostatními typy polyanilinových solí.

Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných organických povlaků s pigmentovaným vrchním nátěrem v atmosféře neutrální solné mlhy

Organické povlaky s obsahem pigmentu Pb_3O_4 při všech hodnotách OKP dosáhly vysoké odolnosti vůči puchýřovatení v ploše, kdy na testovaných povlacích nebyly zaznamenány žádné puchýře v ploše, zároveň u nich po 2160hodinové expozici byl naměřen nejvyšší možný stupeň přilnavosti 0. Po odstranění organického povlaku byla na ocelových panelech zaznamenána koroze v ploše v rozmezí 0,03-1 % a koroze v řezu 2-3 mm. Obdobné odolnosti dosáhly organické povlaky pigmentované $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, kdy rovněž nebyly zaznamenány žádné puchýře v ploše. Tyto povlaky po 2160hodinové expozici vykazovaly ovšem nižší hodnoty přilnavosti, kdy při OKP = 5 % dosáhl stupeň přilnavosti hodnoty 1, zatím co při OKP = 15 % dosáhl stupeň přilnavosti hodnoty 4. Po odstranění organického povlaku byla zjištěna koroze v ploše ocelového panelu rovněž 0,03-1 % a koroze v řezu 3-5 mm. Organický povlak s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4$ při hodnotě OKP = 10 % dosáhl obdobné odolnosti vůči puchýřovatení jako povlaky pigmentované Pb_3O_4 , kdy puchýře v ploše nebyly zaznamenány a po odstranění povlaku dosáhla koroze v ploše hodnoty 1 % a koroze v řezu dosáhla hodnoty 3 mm. Dobré odolnosti vůči puchýřovatení dosáhl také organický povlak s obsahem bariérového pigmentu na bázi směsi křemičitanů (Mg-Al(Si₄O₁₀), kde puchýře v ploše dosáhly hodnoty 8F, přilnavost dosáhla stupně 0, tedy nejvyšší možné hodnoty a po odstranění nátěru koroze v ploše dosahovala 1 % a koroze v řezu 2 mm. Ostatní organické povlaky nevykazovaly vysokou korozní odolnost, byly u nich zaznamenány vysoké stupně puchýřovatení, některé vykazovaly až celkovou ztrátu přilnavosti.

- Organický povlak s obsahem $ZnFe_2O_4$ při OKP = 10 % dosáhl vyšší korozní odolnosti v porovnání s organickými povlaky s obsahem pigmentu

$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, a nepatrně nižší odolnosti v porovnání s organickým povlakem s obsahem Pb_3O_4 při OKP = 5 %.

Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných dvouvrstevných organických povlaků v SO_2 atmosféře

Organické povlaky s obsahem $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ při všech hodnotách OKP vykazovaly vysokou odolnost vůči puchýřovatení v řezu i v ploše, kdy puchýře v řezu ani v ploše nebyly zaznamenány, zároveň tyto povlaky dosáhly vysokého stupně přilnavosti, který dosáhl hodnoty 0. Po odstranění povlaků po 1200hodinové expozici koroze v ploše ocelových panelů dosahovala 3-16 % a koroze v řezu 0,1 mm. Podobné účinnosti bylo dosaženo u organických povlaků s obsahem pigmentu Pb_3O_4 při hodnotách OKP = 10 a 15 %, kdy puchýře v řezu i v ploše dosahovaly stupňů 0-8F, stupeň přilnavosti po 1200hodinové expozici byl 0 a po odstranění povlaků koroze v ploše ocelových panelů dosahovala 0,01-0,03 % a koroze v řezu 1 mm. Organické povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-C_7H_8O_3S$ při všech hodnotách OKP dosáhly vysoké odolnosti vůči puchýřovatení v řezu a puchýře v ploše dosáhly stupně 0-8M. Přilnavost těchto povlaků byla rovněž vysoká, dosáhla hodnoty 0. Vysoké odolnosti dosáhly také povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-H_3PO_4$ při OKP = 10 a 15 %, kdy puchýře v řezu zaznamenány nebyly a puchýře v ploše dosahovaly stupně 8F, zároveň u těchto povlaků byl naměřen stupeň přilnavosti 0. Stejně hodnoty byly zaznamenány i u povlaků s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-HCl$ při OKP = 5 % a povlaků s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-C_7H_6O_2$ při OKP = 10 %. Dobrou odolnost vůči puchýřovatení vykazovaly také povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-HCl$ při OKP = 15 % a povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-H_2SO_4$ při OKP = 10 %, kde puchýře v ploše i v řezu dosáhly stupně 8F a stupeň přilnavosti byl 0.

- Nejvyšší korozní odolnost vůči tomuto typu korozní atmosféry zaznamenaly organické povlaky s obsahem Pb_3O_4 při hodnotách OKP = 10 a 15 %, kdy u ostatních organických povlaků byly zaznamenány vysoké hodnoty koroze v ploše panelu po odstranění organických povlaků.

Diskuze výsledků korozní odolnosti testovaných dvouvrstevných organických povlaků zkouškou Norsok

Organické povlaky obsahující Pb_3O_4 při všech hodnotách OKP dosáhly vysoké odolnosti vůči puchýřovatení i korozi, kdy po 1680hodinové expozici nebyly patrné žádné puchýře ani koroze v řezu ani v ploše, zároveň tyto povlaky dosáhly nejvyššího možného

stupně přilnavosti 0 a po odstranění testovaného povlaku na ocelovém panelu nebyla zaznamenána žádná koroze v ploše ani v řezu. Stejných hodnot dosáhly povlaky obsahující $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ při OKP = 10 a 15 % a také povlaky pigmentované $ZnFe_2O_4$ při OKP = 5 a 10 %. Nepatrně nižší odolnosti dosáhly povlaky s obsahem $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ při OKP = 5 %, kdy se po 1680hodinové expozici na povlaku neobjevily žádné puchýře ani koroze, přilnavost byla rovněž stupně 0 a po odstranění nátěru koroze v ploše dosahovala 0,1 % a koroze v řezu 0 mm. U organického povlaku s obsahem $ZnFe_2O_4$ při OKP = 15 % se vyskytovaly puchýře v řezu (6F) a puchýře v ploše nebyly zaznamenány, přilnavost dosáhla nejvyššího možného stupně a po odstranění povlaku na ocelových panelech nebyla zaznamenána žádná koroze v ploše ani v řezu. Dobré odolnosti vůči puchýřovatení i korozi dosáhly rovněž organické povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-C_7H_8O_3S$ při OKP = 5 % a povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-C_7H_6O_2$ při OKP = 5 %. U těchto organických povlaků po 1680hodinové expozici nebyly zaznamenány žádné puchýře ani koroze na povlacích a jejich přilnavost dosáhla stupně 0, po odstranění nátěrů byla na ocelových panelech patrná koroze v ploše dosahující 3 % a koroze v řezu nebyla zaznamenána žádná. U ostatních organických povlaků byla zaznamenána buď ztráta přilnavosti, nebo vysoká hodnota koroze v ploše na ocelovém panelu po odstranění organických povlaků.

- Organické povlaky s obsahem pigmentu Pb_3O_4 a $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ při všech testovaných hodnotách OKP i organické povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4$ při hodnotách OKP = 5 a 10 % prokázaly v tomto typu korozní zkoušky maximální antikorozi účinnost.
- Velmi vysoké korozní odolnost dosáhly organické povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4$, který byl povrchově upraven $PANI-C_7H_8O_3S$ a $PANI-C_6H_6O_2$ při hodnotách OKP = 5 %.

4.2 Diskuze výsledků elektrochemických korozních zkoušek

Organické povlaky s obsahem pigmentu Pb_3O_4 při všech hodnotách OKP dosáhly vysoké korozní odolnosti rovněž technikou lineární polarizace, kdy u těchto nátěrů byly naměřeny vysoké hodnoty polarizačního odporu (R_p) zároveň byly vypočítány nízké hodnoty korozní rychlosti (C_R). Korozní rychlost vyjadřuje, kolik materiálu v milimetrech odkoroduje za rok. Korozní rychlost u organických povlaků s obsahem Pb_3O_4 byla vypočítána $1,32 \cdot 10^{-3}$ - $1,44 \cdot 10^{-3}$ mm/rok a polarizační odpor dosáhl hodnot $5,98 \cdot 10^4$ - $6,58 \cdot 10^4$ Ω . Nízké korozní rychlosti bylo dosaženo také při použití pigmentu $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ při všech hodnotách OKP,

kdy korozní rychlost dosáhla hodnot $5,23 \cdot 10^{-3}$ - $5,48 \cdot 10^{-3}$ mm/rok. U těchto povlaků byla také naměřena poměrně vysoká hodnota polarizačního odporu v rozmezí $1,66 \cdot 10^4$ - $1,74 \cdot 10^4$ Ω . Vysoké odolnosti dosáhly také organické povlaky s obsahem $ZnFe_2O_4$ při OKP = 5 a 10 %, kdy korozní rychlosti dosahovaly hodnot $5,43 \cdot 10^{-3}$ mm/rok a $5,35 \cdot 10^{-3}$ mm/rok. Odolné byly rovněž organické povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-C_7H_8O_3S$ při OKP = 5 a 10 %, jejichž korozní rychlost dosahovala hodnot $5,34 \cdot 10^{-3}$ mm/rok a $5,64 \cdot 10^{-3}$ mm/rok. Obdobná odolnost byla zaznamenána také u vzorků s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-HCl$ při OKP = 5 a 10 %, kdy hodnoty jejich korozní rychlosti byly $5,50 \cdot 10^{-3}$ mm/rok a $5,74 \cdot 10^{-3}$ mm/rok.

4.3 Určení stupně korozní agresivity prostředí

Stupeň korozní agresivity prostředí byl určen podle normy ISO 12944-2. Byl určen stupeň agresivity pro nejodolnější povlaky, u kterých se neobjevily žádné korozní projevy (puchýře v řezu, v ploše a koroze v ploše). Bylo stanoveno prostředí a životnost povlaků v daném prostředí.

U nejodolnějších organických povlaků pigmentovaných Pb_3O_4 při všech testovaných hodnotách OKP, u organických povlaků s obsahem $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ při OKP = 10 a 15 % a také u organických povlaků s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4$ při hodnotách OKP = 5 a 10 % se neobjevily žádné korozní projevy při cyklické zkoušce v neutrální solné mlze po dobu 504 hodin. Stejných výsledků dosáhly i organické povlaky s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-C_7H_8O_3S$ při všech testovaných hodnotách OKP i organický povlak s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4/PANI-HCl$ při OKP = 5 %. Při zrychlené zkoušce v atmosféře oxidu siřičitého nebyly korozní projevy zaznamenány u těchto organických povlaků po 720hodinové expozici. Podle dané normy byly výše uvedené organické povlaky doporučeny do prostředí o stupni agresivity C4, kdy životnost těchto organických povlaků je klasifikována jako střední, či do prostředí o stupni agresivity C3, kdy životnost těchto organických povlaků je klasifikována jako vysoká.

5. PŘÍNOSY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Výsledky cyklické korozní zkoušky v atmosféře solné mlhy byly ověřeny pomocí elektrochemické techniky lineární polarizace v 1M roztoku chloridu sodného, kdy naměřené výsledky navzájem korespondují. Organické povlaky na bázi rozpouštědlových epoxidů a epoxyesterů dosáhly podobných hodnot polarizačních odporů, zatímco organický povlak na bázi alkydové pryskyřice dosáhl nižší hodnoty polarizačního odporu v důsledku rozdílné struktury makromolekulárního filmu. Z výše uvedeného vyplývá, že vhodnou formulací jednokomponentní nátěrové hmoty na bázi epoxyesterové pryskyřice lze dosáhnout srovnatelné korozní odolnosti v porovnání s dvoukomponentní nátěrovou hmotou na bázi epoxidové pryskyřice bisfenolového typu. Organický povlak na bázi vodouředitelné epoxidové pryskyřice dosáhl nejnižší hodnoty polarizačního odporu v porovnání s rozpouštědlovými organickými povlaky na bázi epoxidové pryskyřice pravděpodobně v důsledky vyšší sorpce vody.

Testované organické povlaky s obsahem syntetizovaného pigmentu $ZnFe_2O_4$ dosáhly nepatrně nižší odolnosti vůči puchýřovatení v porovnání s organickými povlaky s obsahem komerčního pigmentu $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ či pigmentu Pb_3O_4 po expozici povlaků v atmosféře s obsahem solné mlhy, což se negativně projevilo na ochraně zkušebního řezu. Testované organické povlaky s obsahem syntetizovaného pigmentu $ZnFe_2O_4$ při hodnotách OKP = 5 a 10 % dosáhly v kombinované cyklické korozní zkoušce Norsok srovnatelné korozní odolnosti v porovnání s organickými povlaky s obsahem komerčního pigmentu $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ či pigmentu Pb_3O_4 . Z výše uvedeného vyplývá, že účinnost nových ekologických pigmentů ($ZnFe_2O_4$, $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$) s obsahem zinku se přibližují v parametru odolnosti vůči puchýřovatení pigmentu obsahující toxické olovo (např. miniu). Organický povlak s obsahem pigmentu $ZnFe_2O_4$ dosáhl srovnatelné korozní účinnosti v porovnání s organickým povlakem, který obsahoval $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ a nepatrně nižší korozní účinnosti v porovnání s organickými povlaky s obsahem Pb_3O_4 . Z výsledku je tedy patrné, že lze formulovat nátěrové hmoty s obsahem zinkferitu, které dosahují srovnatelné účinnosti v porovnání s nátěrovými hmotami s obsahem fosforečnanu zinečnatého. Řešení této problematiky by mohlo spočívat v povrchové úpravě zinkferitu různými sloučeninami, např. vodivými polymery.

Z povrchově upravených pigmentů dosáhly nejvyšších hodnot korozních odolností organické povlaky s obsahem $ZnFe_2O_4$, který byl povrchově upraven pomocí PANI- $C_7H_8O_3S$ a PANI-HCl v porovnání s ostatními typy studovaných polyanilinových solí. Ocelový panel

byl v tomto případě chráněn navíc formou anodické ochrany, kdy při kontaktu ocelového panelu s polyanilinovou solí došlo k pasivaci kovu tvorbou oxidů a vzniku ochranné pasivační vrstvy. [22] Další zvýšení účinnosti lze dosáhnout změnou podmínek při syntéze polyanilinové soli či modifikací chemické struktury daného feritu například volbou hořečnatého či jiného kationtu při syntéze směsného feritu.

6. ZÁVĚR

V této práci byly zkoumány antikorozi vlastnosti organických povlaků na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem Pb_3O_4 , $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ a syntetizovaného $ZnFe_2O_4$, který byl navíc použit i po povrchové úpravě pěti typy polyanilinových solí. Cíl práce spočíval v porovnání antikorozi účinnosti organických povlaků pigmentovaných Pb_3O_4 a komerčního pigmentu $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ s antikorozi účinností syntetizovaného pigmentu spinelového typu $ZnFe_2O_4$, či tohoto syntetizovaného pigmentu povrchově upraveného polyanilinovými solemi. Jednotlivé pigmenty byly použity pro přípravu modelových nátěrových hmot a následně byly aplikovány na ocelové panely, které byly použity ke stanovení korozní odolnosti povlaků, jejich testováním v cyklických korozních zkouškách a elektrochemickou technikou lineární polarizace. Z výše uvedených výsledků je patrné, že organické povlaky s obsahem $ZnFe_2O_4$ dosahují velmi obdobné korozní odolnosti v porovnání s organickými povlaky s obsahem komerčního pigmentu $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$. Obdobné korozní odolnosti dosáhly i organické povlaky s obsahem $ZnFe_2O_4$, který byl povrchově upravený polyanilinovou solí připravenou v prostředí zředěné kyseliny chlorovodíkové a p-toluensulfonové. Výsledky cyklických korozních zkoušek korespondují také s výsledky elektrochemické techniky lineární polarizace. Na základě výsledků antikorozi účinnosti testovaných organických povlaků lze tedy konstatovat, že syntetizovaný pigment $ZnFe_2O_4$, i pigment $ZnFe_2O_4$ s povrchovou úpravou PANI-HCl a PANI-C₇H₈O₃S mohou velmi účinně chránit povrch oceli proti korozi. Použité pojivo, kterým v této práci byla epoxidová pryskyřice rozpouštědlového typu, poskytlo při daných hodnotách suchých tloušťek organických povlaků výbornou adhezi a nízkou difúzní propustnost organických povlaků a prokázalo dobrou aplikovatelnost do nátěrových hmot s obsahem připravených pigmentů.

7. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot I.: pigmenty a plniva pro nátěrové hmoty*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-719-4576-5.
- [2] NOVÁK, Pavel. *Koroze kovů* [online]. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected>. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- [3] GRUNDMEIER, G., W. SCHMIDT a M. STRATMANN. *Corrosion protection by organic coatings: electrochemical mechanism and novel methods of investigation*. *Electrochimica Acta* [online]. 2000, 45(15-16), 2515-2533 [cit. 2021-02-07]. ISSN 00134686. Dostupné z: doi:10.1016/S0013-4686(00)00348-0.
- [4] KALEDOVÁ, Andrea. *Metody testování vlastností organických povlaků*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2001. ISBN 80-719-4398-3.
- [5] ŠULCOVÁ, Petra. *Vlastnosti anorganických pigmentů a metody jejich hodnocení*. Vyd. 2. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. ISBN 978-80-7395-057-6.
- [6] BARTONÍČEK, Robert. *Koroze a protikorozi ochrana kovů*. Praha: Academia, 1966. ISBN Koroze a protikorozi ochrana kovů.
- [7] JARUŠEK, Jaroslav, Petr KALENDA a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Chemie filmotvorných látek*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1998. ISBN 80-719-4169-7.
- [8] PHAM, Ha Q. a Maurice J. MARKS. *ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry: Polymers and Plastics* [online]. Wiley, 2005 [cit. 2020-12-27]. ISBN 9783527306732. Dostupné z: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/14356007.a09_547.pub2
- [9] ROŽAN, Josef. *Pigmenty - práškové barvy*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959.
- [10] TROJAN, Miroslav, Petr KALENDA a Zdeněk ŠOLC. *Technologie anorganických pigmentů: Určeno pro posl. VŠCHT v Pardubicích*. Pardubice, 1992. ISBN 80-85113-39-2.
- [11] KUBÁTOVÁ, Hana. *Nátěry kovů*. Praha: Grada, 2000. ISBN 80-247-9035-1.
- [12] KALEDOVÁ, A., J. ŠŇUPÁREK a P. KALENDA. Nontoxic Spinel-Type Pigments in Anticorrosive Coatings. *Organic Coatings for Corrosion Control*. Washington, DC: American Chemical Society, 1998, 1998-03-30, (30), 366-379. ACS Symposium Series. ISBN 0-8412-3549-X. Dostupné z: doi:10.1021/bk-1998-0689.ch030
- [13] KALEDOVÁ, A. Progress in Organic Coatings Alkalisng and neutralising effects of anticorrosive pigments containing Zn, Mg, Ca, and Sr cations. *Progress in Organic Coatings*. 2000, (38), 199-206. Dostupné z: doi:10.1016/S0300-9440(00)00103-X
- [14] SETHI, R.S. a M.T. GOOSEY. *Conductive polymers*. Chilton: Springer, Dordrecht, 1995. ISBN 978-94-010-4252-9.

- [15] NEŠPŮREK, Stanislav, Jan PROKEŠ a Jaroslav STEJSKAL. Vodivé polymery: Inteligentní materiály pro nové století. *Vesmír* 80. 2001, (1), 35.
- [16] HEANEY, Michael B. Electrical Conductivity and Resistivity. WEBSTER, John G. Electrical measurement, signal processing, and displays. 1. Boca Raton: CRC Press, c2004, 7-1 to 7-14. *Principles and applications in engineering*. ISBN 0849317339.
- [17] GUIMARD, Nathalie K., Natalia GOMEZ a Christine E. SCHMIDT. Conducting polymers in biomedical engineering. *Progress in Polymer Science* [online]. 2007, 32(8-9), 876-921 [cit. 2021-02-08]. ISSN 00796700. Dostupné z: doi:10.1016/j.progpolymsci.2007.05.012
- [18] PRADIP, Kar. *Doping in Conjugated Polymers*. Wiley, 2013. ISBN 9781118573808.
- [19] BALINT, Richard, Nigel J. CASSIDY a Sarah H. CARTMELL. Conductive polymers: Towards a smart biomaterial for tissue engineering. *Acta Biomaterialia* [online]. 2014, 10(6), 2341-2353 [cit. 2021-02-09]. ISSN 17427061. Dostupné z: doi:10.1016/j.actbio.2014.02.015
- [20] PROKEŠ, J., J. STEJSKAL a M. OMASTOVÁ. Polyanilin a polypyrrol - dva představitelé vodivých polymerů. *Chemické listy*. 2001, 95(8), 484-492.
- [21] HÁJKOVÁ, T. a A. KALEDOVÁ. *Nové pigmenty s obsahem vodivých polymerů* [online]. Pardubice, 2015 [cit. 2021-02-10]. Univerzita Pardubice.
- [22] LI, P, T.C TAN a J.Y LEE. Corrosion protection of mild steel by electroactive polyaniline coatings. *Synthetic Metals* [online]. 1997, 88(3), 237-242 [cit. 2021-02-11]. ISSN 03796779. Dostupné z: doi:10.1016/S0379-6779(97)03860-5
- [23] LIU, Xuwen, Jinping XIONG, Yongwu LV a Yu ZUO. Study on corrosion electrochemical behavior of several different coating systems by EIS. *Progress in Organic Coatings* [online]. 2009, 64(4), 497-503 [cit. 2021-02-18]. ISSN 03009440. Dostupné z: doi:10.1016/j.porgcoat.2008.08.012
- [24] BURYAN, Petr. Měření korozních dějů. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. 2006, 2(8) [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/mereni-koroznich-deju-2006_08_31311_923/
- [25] ŠULC, M. Nátěry z nátěrových hmot ředitelných vodou. *Koroze a ochrana materiálů*. 1999, 43(3), 55-58.
- [26] *Potenciodynamické křivky* [online]. In: [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Potenciodynamick%C3%A9%20k%C5%99ivky.pdf?redirected>
- [27] ESMAILZADEH, S., M. ALIOFKHAZRAEI a H. SARLAK. Interpretation of Cyclic Potentiodynamic Polarization Test Results for Study of Corrosion Behavior of Metals: A Review. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* [online]. 2018, 54(5), 976-989 [cit. 2021-02-25]. ISSN 2070-2051. Dostupné z: doi:10.1134/S207020511805026X

- [28] PAPAVINASAM, Sankara. Electrochemical polarization techniques for corrosion monitoring. *Techniques for Corrosion Monitoring* [online]. Elsevier, 2021, 2021, , 45-77 [cit. 2021-02-25]. ISBN 9780081030035. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-103003-5.00003-5
- [29] M., TATARKOVIČ, BRONCOVÁ G. a KRONĎÁK M. Elektroimpedanční spektroskopie a její využití v chemické analýze. *Chemické listy* [online]. 2012, 106(11), 1067-1074 [cit. 2021-2-26]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/818/818>
- [30] *Stanovení korozní rychlosti elektrochemickými polarizačními metodami* [online]. In: . VŠCHT Praha, 2014 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Stanoven%C3%AD%20korozn%C3%AD%20rychlosti%20elektrochemick%C3%BDmi%20metodami.pdf?redirected>
- [31] TAN, Y.J., S. BAILEY a B. KINSELLA. The monitoring of the formation and destruction of corrosion inhibitor films using electrochemical noise analysis (ENA). *Corrosion Science* [online]. 1996, 38(10), 1681-1695 [cit. 2021-02-28]. ISSN 0010938X. Dostupné z: doi:10.1016/S0010-938X(96)00061-3
- [32] PROŠEK, T. Accelerated cyclic corrosion tests. *Koroze a ochrana materiálů* [online]. 2016, 60(2), 46-49 [cit. 2021-03-05]. ISSN 1804-1213. Dostupné z: doi:10.1515/kom-2016-0008
- [33] TROVATI, Graziella, Edgar Ap SANCHES, Salvador Claro NETO, Yvonne P. MASCARENHAS a Gilberto O. CHIERICE. Characterization of polyurethane resins by FTIR, TGA, and XRD. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2010, 115(1), 263-268 [cit. 2021-03-13]. ISSN 00218995. Dostupné z: doi:10.1002/app.31096
- [34] ČSN EN ISO 12944. 2018.
- [35] VEDRTNAM, Ajitanshu, Kishor KALAUNI, Sunil DUBEY a Aman KUMAR. A comprehensive study on structure, properties, synthesis and characterization of ferrites. *AIMS Materials Science* [online]. 2020, 7(6), 800-835 [cit. 2021-6-12]. ISSN 2372-0484. Dostupné z: doi:10.3934/matricsci.2020.6.800

8. PŘÍLOHY

8.1 Snímky nepigmentovaných nátěrových filmů před expozicí, po 1200 hodinách v komoře se solnou mlhou a ocelový panel po odstranění nátěrového filmu



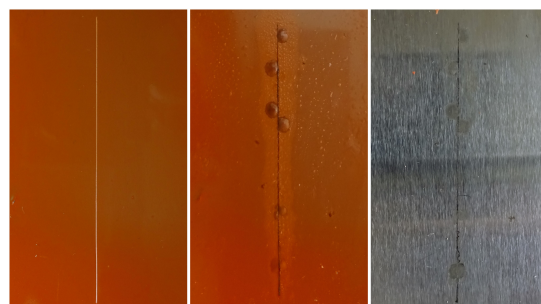
$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ při OKP = 5 %



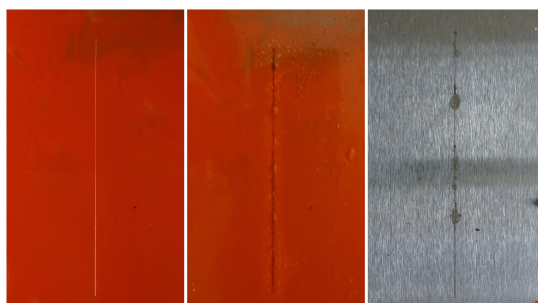
$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ při OKP = 10 %



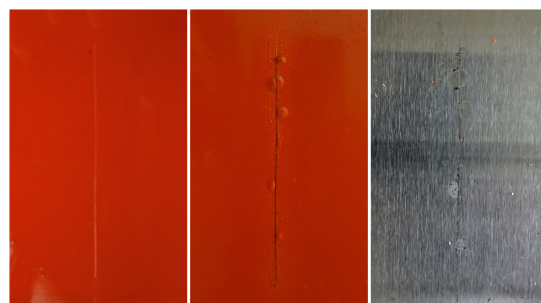
$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ při OKP = 15 %



Pb_3O_4 při OKP = 5 %



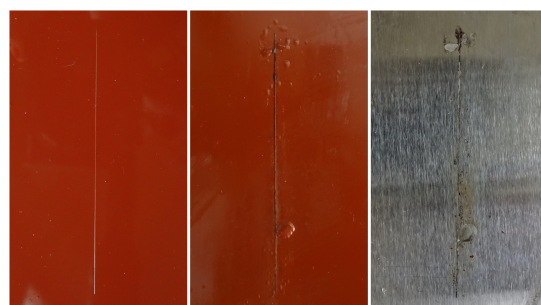
Pb_3O_4 při OKP = 10 %



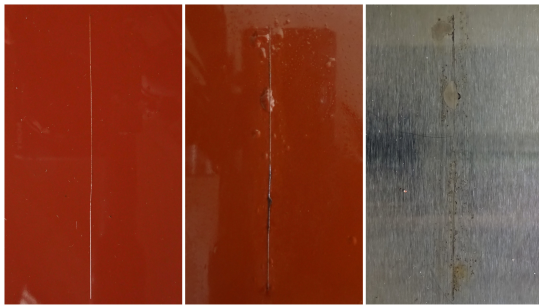
Pb_3O_4 při OKP = 15 %



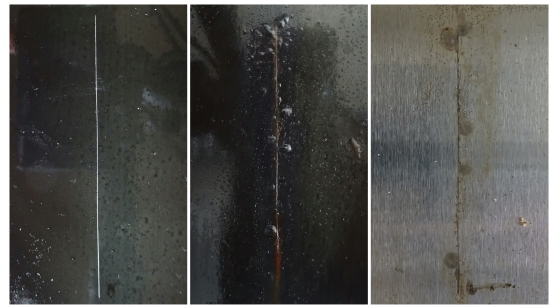
ZnFe_2O_4 při OKP = 5 %



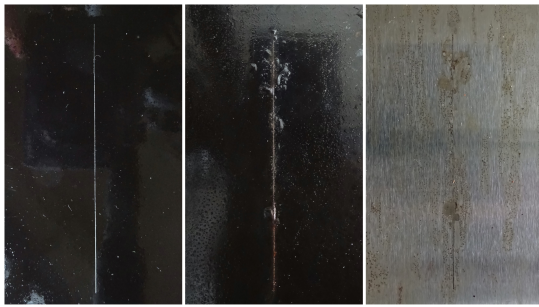
ZnFe_2O_4 při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄ při OKP = 15 %



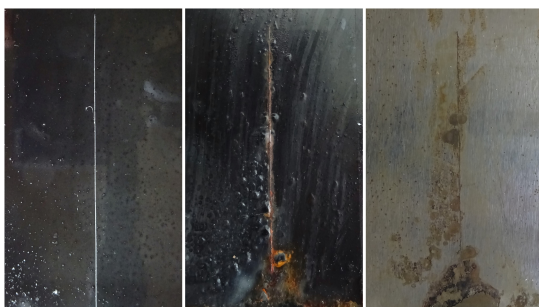
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 15 %



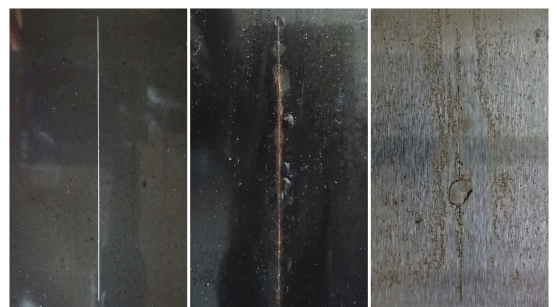
ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 10 %



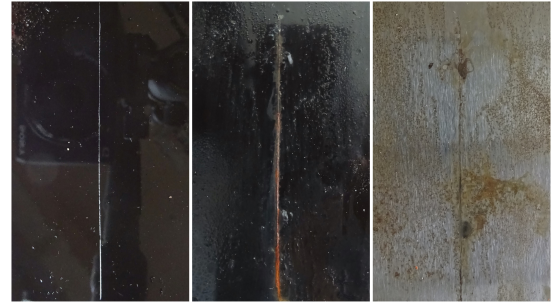
ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 15 %



ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 15 %



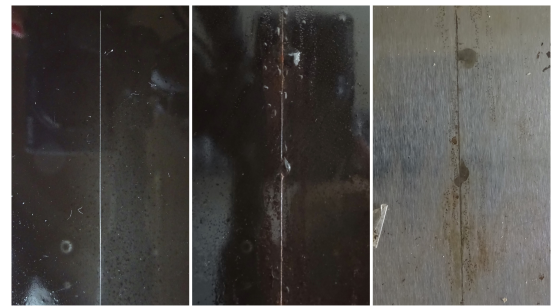
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 15 %



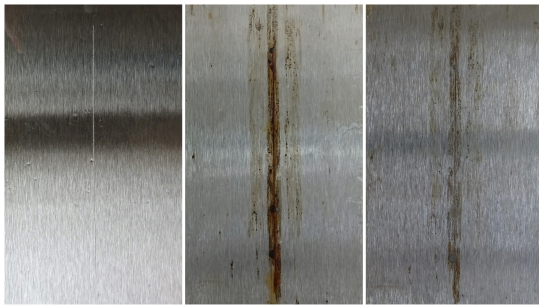
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 5 %



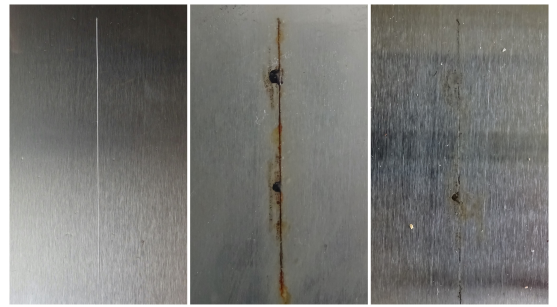
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 15 %



Nepigmentovaný organický povlak



Mg-Al(Si₄O₁₀)

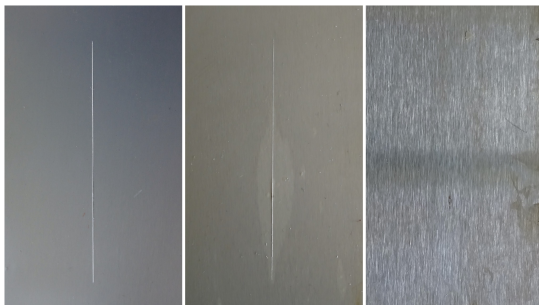
8.2 Snímky dvouvrstevných nátěrových filmů před expozicí, po 1200 hodinách v komoře se solnou mlhou a ocelový panel po odstranění nátěrového filmu



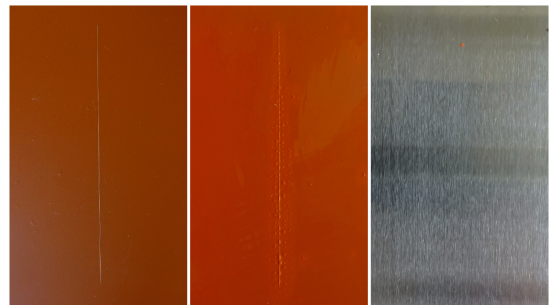
Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 5 %



Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 10 %



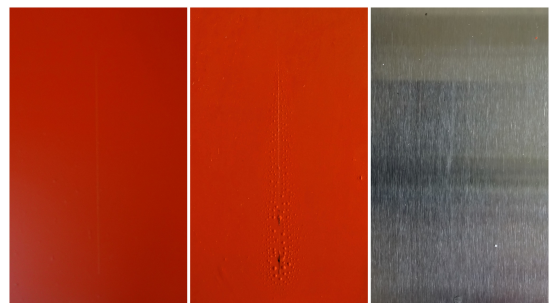
Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 15 %



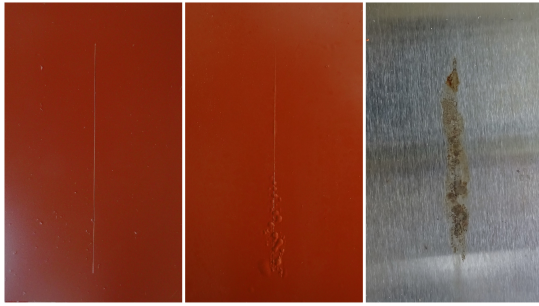
Pb₃O₄ při OKP = 5 %



Pb₃O₄ při OKP = 10 %



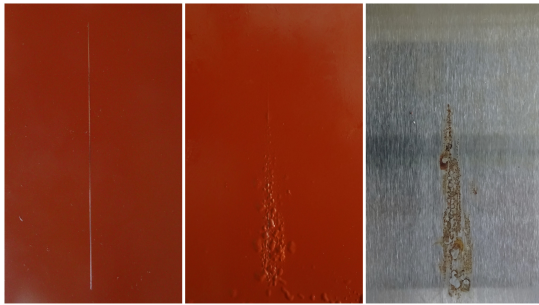
Pb₃O₄ při OKP = 15 %



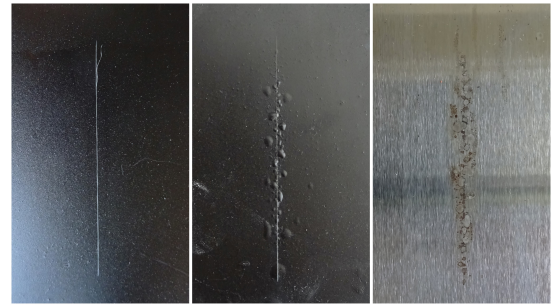
ZnFe₂O₄ při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄ při OKP = 10 %



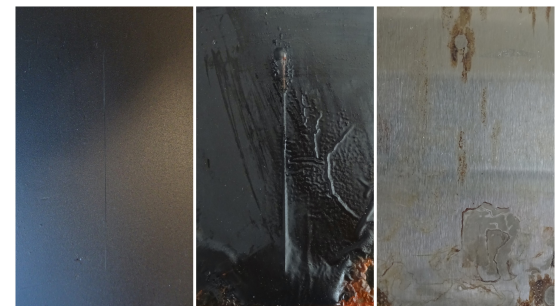
ZnFe₂O₄ při OKP = 15 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 10 %



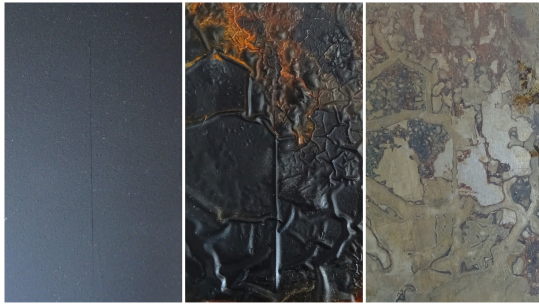
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 15 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 10 %



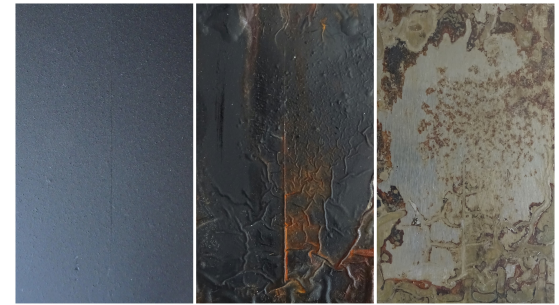
ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 15 %



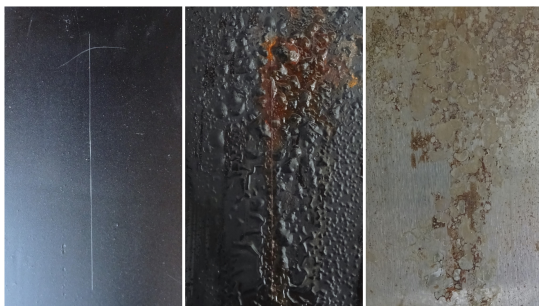
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 10 %



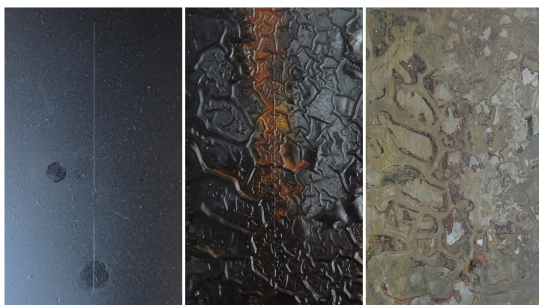
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 15 %



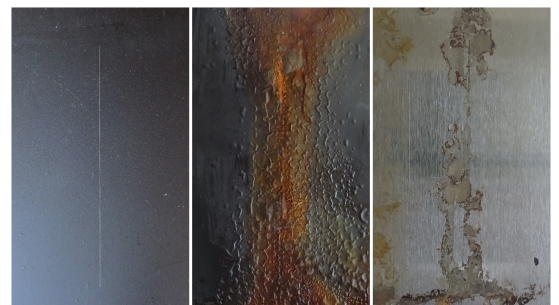
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 5 %



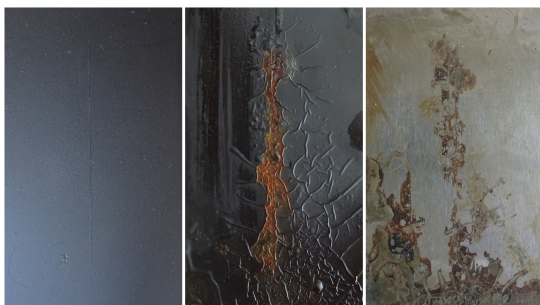
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 10 %



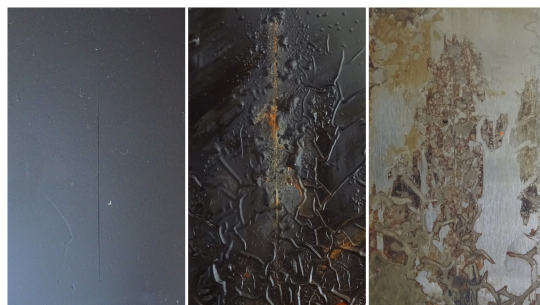
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 15 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 15 %



Nepigmentovaný organický povlak



Mg-Al(Si₄O₁₀)

8.3 Snímky pigmentovaných nátěrových filmů před expozicí, po 2160 hodinách v komoře se solnou mlhou a ocelový panel po odstranění nátěrového filmu



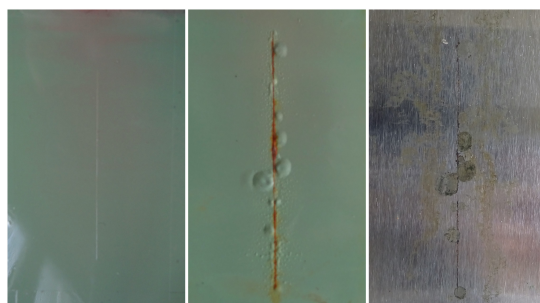
Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 5 %



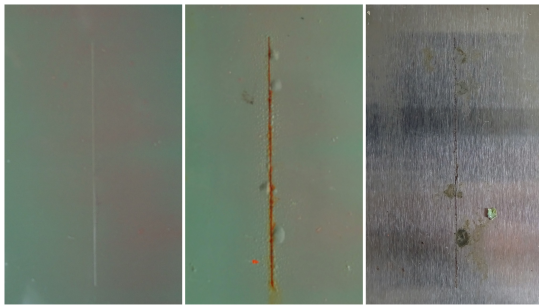
Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 10 %



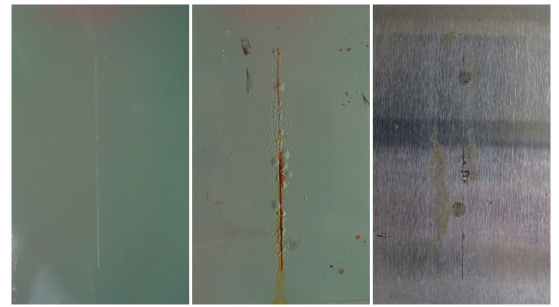
Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 15 %



Pb₃O₄ při OKP = 5 %



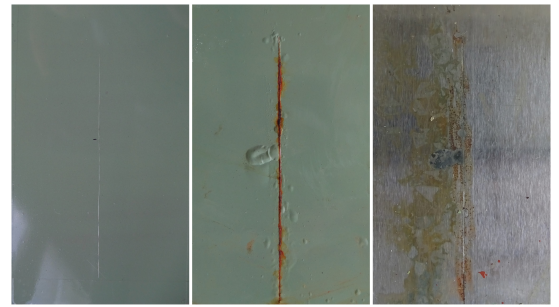
Pb_3O_4 při OKP = 10 %



Pb_3O_4 při OKP = 15 %



ZnFe_2O_4 při OKP = 5 %



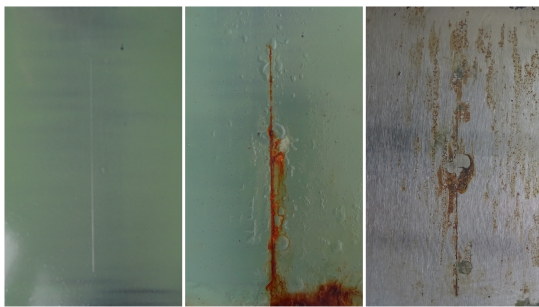
ZnFe_2O_4 při OKP = 10 %



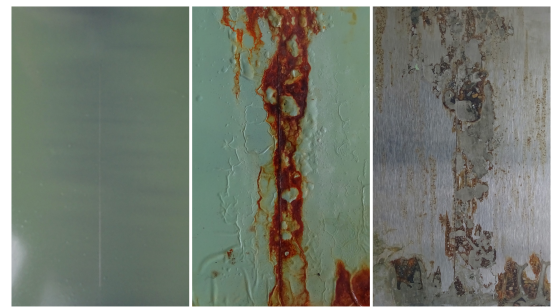
ZnFe_2O_4 při OKP = 15 %



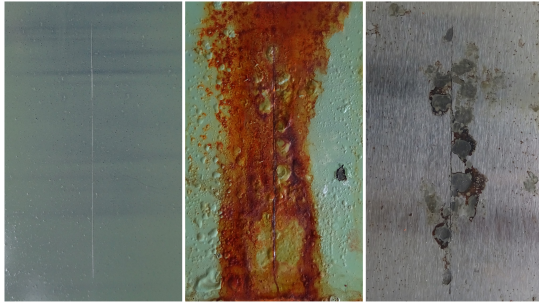
$\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{PANI-C}_7\text{H}_8\text{O}_3\text{S}$ při OKP = 5 %



$\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{PANI-C}_7\text{H}_8\text{O}_3\text{S}$ při OKP = 10 %



$\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{PANI-C}_7\text{H}_8\text{O}_3\text{S}$ při OKP = 15 %



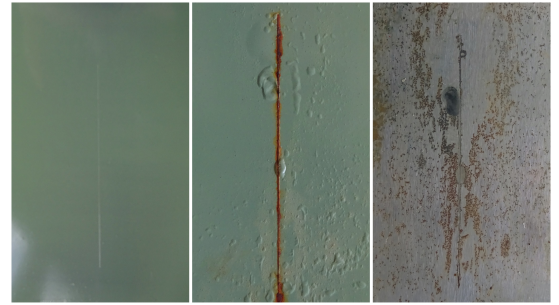
ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 5 %



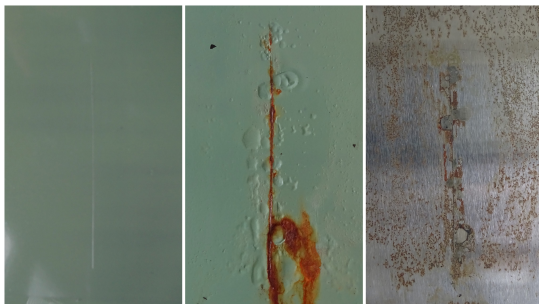
ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 15 %



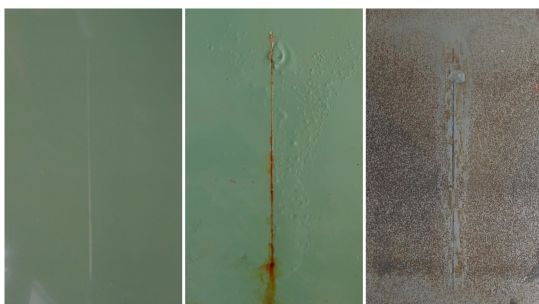
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 5 %



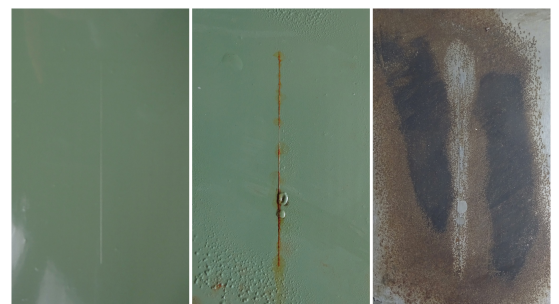
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 10 %



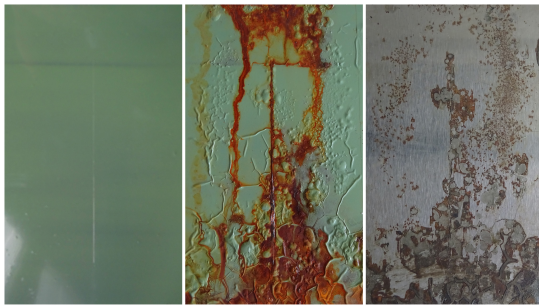
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 15 %



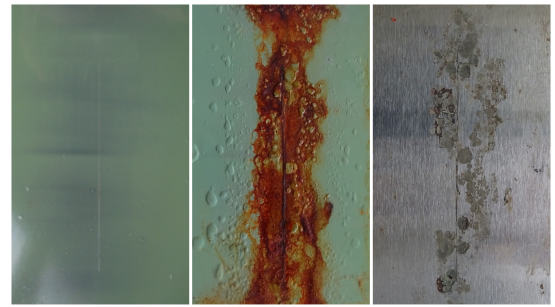
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 5 %



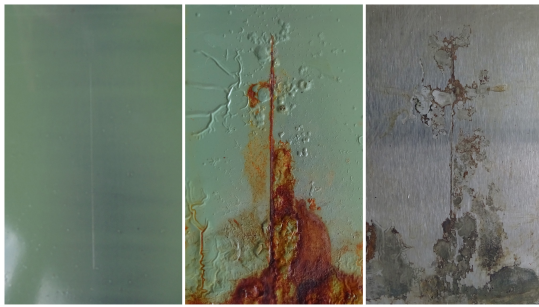
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 10 %



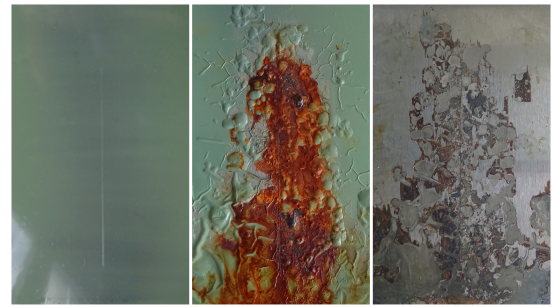
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 15 %



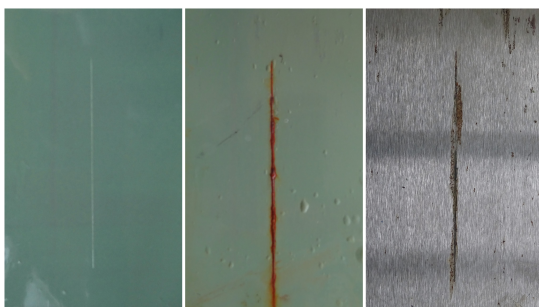
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 5 %



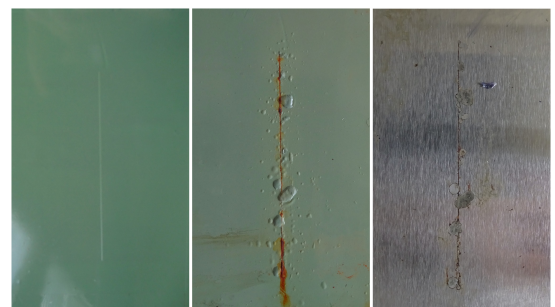
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 15 %



Nepigmentovaný organický povlak



Mg-Al(Si₄O₁₀)

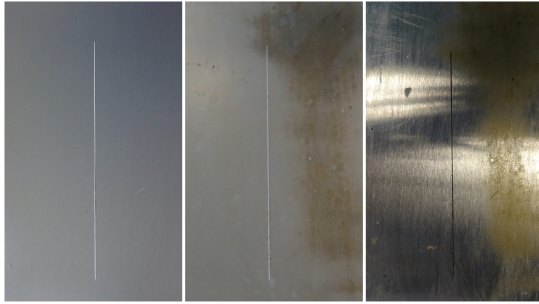
8.4 Snímky nátěrových filmů před expozicí, po 1680 hodinách v SO₂ komoře a ocelový panel po odstranění nátěrového filmu



Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 5 %



Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 10 %



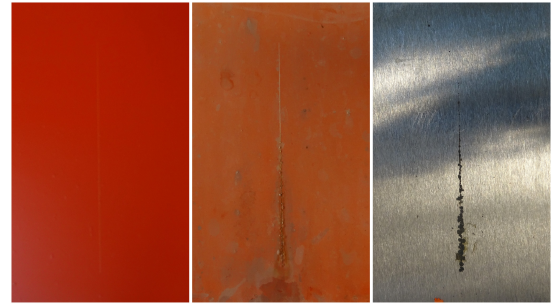
$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ při OKP = 15 %



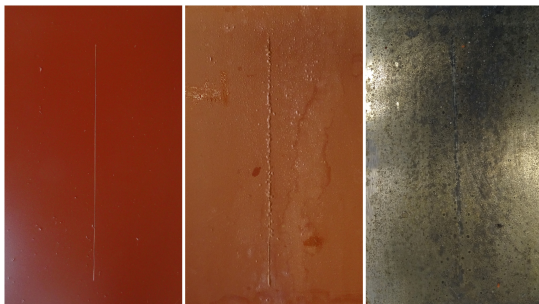
Pb_3O_4 při OKP = 5 %



Pb_3O_4 při OKP = 10 %



Pb_3O_4 při OKP = 15 %



ZnFe_2O_4 při OKP = 5 %



ZnFe_2O_4 při OKP = 10 %



ZnFe_2O_4 při OKP = 15 %



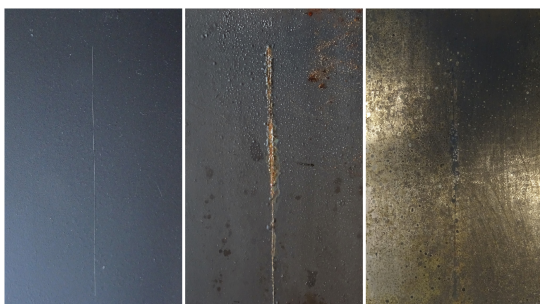
$\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{PANI-C}_7\text{H}_8\text{O}_3\text{S}$ při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 15 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 15 %



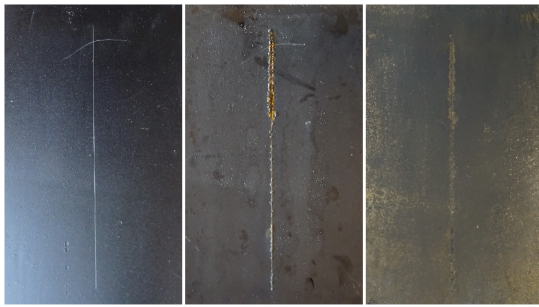
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 5 %



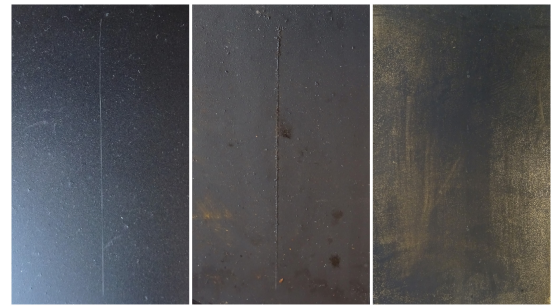
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 10 %



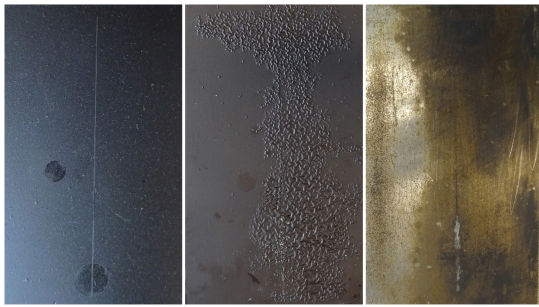
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 15 %



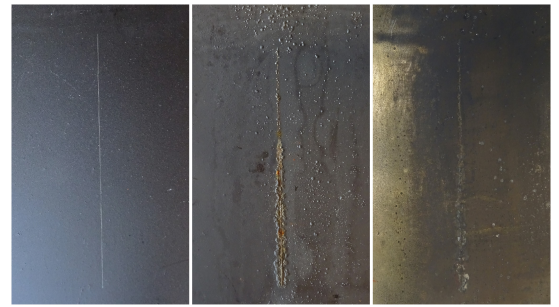
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 5 %



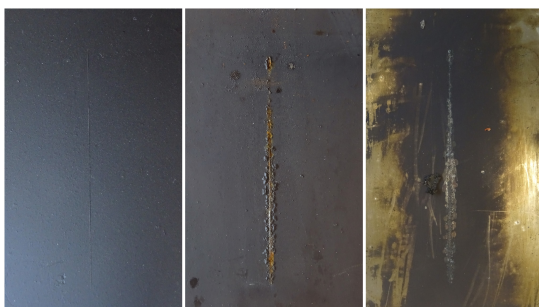
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 15 %



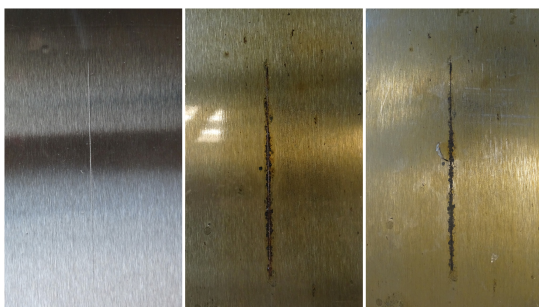
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 5 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 15 %

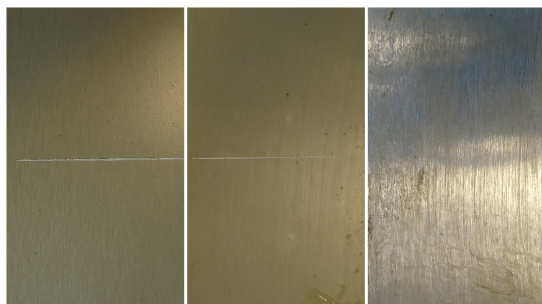


Nepigmentovaný organický povlak

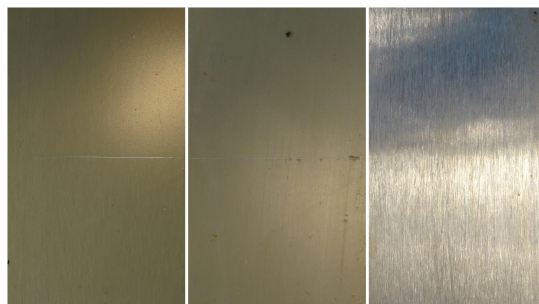


Mg-Al(Si₄O₁₀)

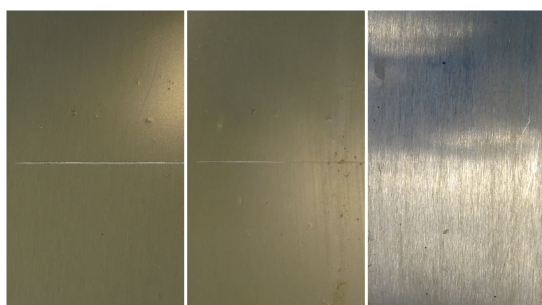
8.5 Snímky nátěrových filmů před expozicí, po 1200 hodin dlouhé zkoušce cyklickým stárnutím NORSOK a po odstranění nátěrového filmu



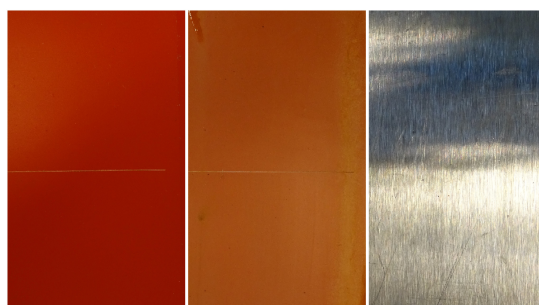
Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 5 %



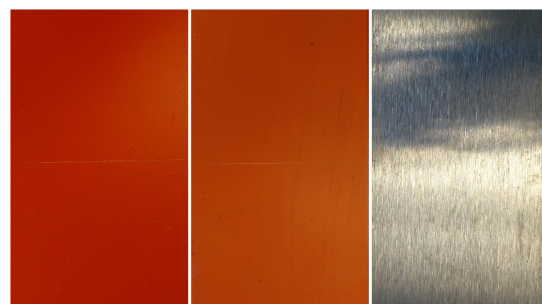
Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 10 %



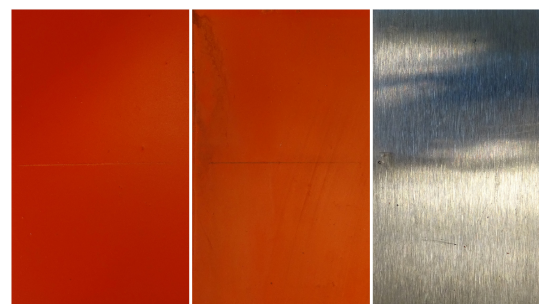
Zn₃(PO₄)₂·2H₂O při OKP = 15 %



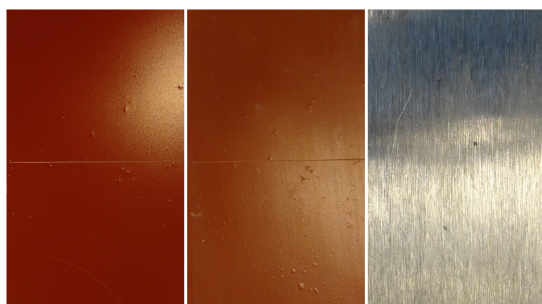
Pb₃O₄ při OKP = 5 %



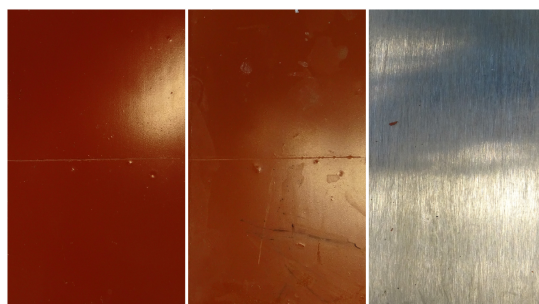
Pb₃O₄ při OKP = 10 %



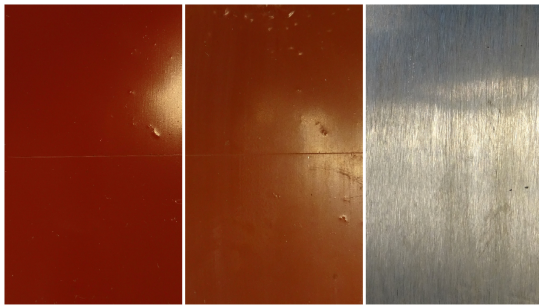
Pb₃O₄ při OKP = 15 %



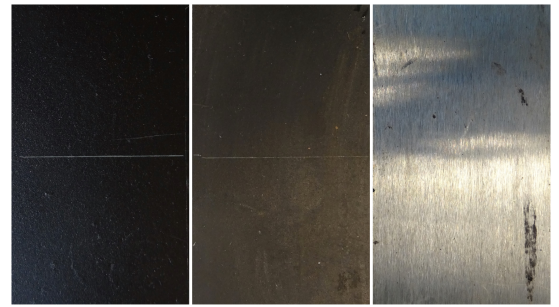
ZnFe₂O₄ při OKP = 5 %



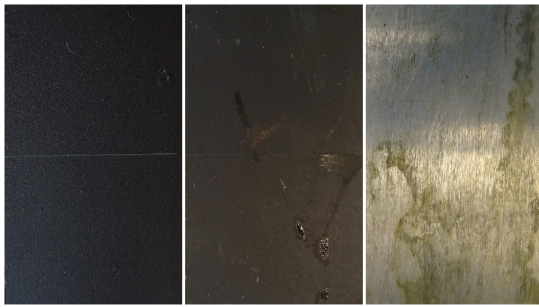
ZnFe₂O₄ při OKP = 10 %



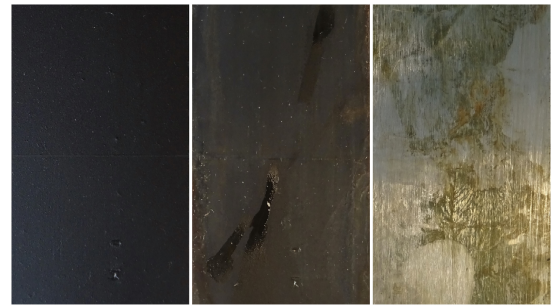
ZnFe₂O₄ při OKP = 15 %



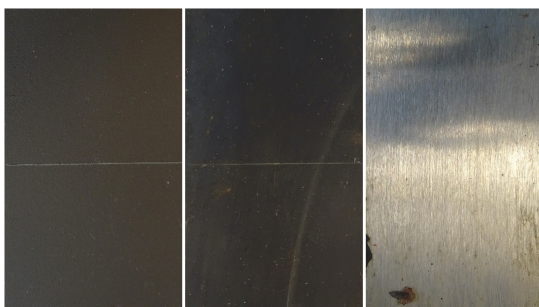
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 5 %



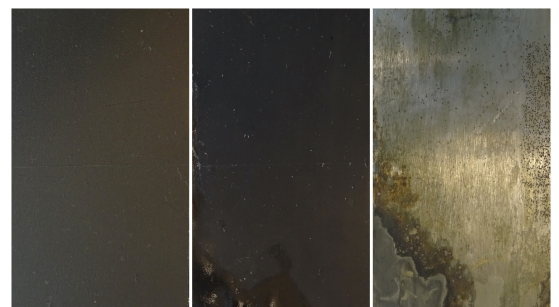
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 10 %



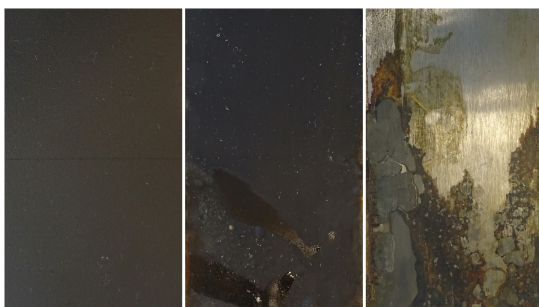
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₈O₃S při OKP = 15 %



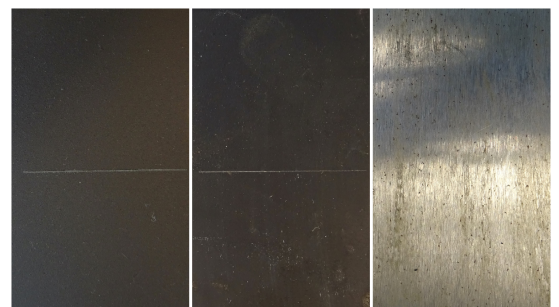
ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 5 %



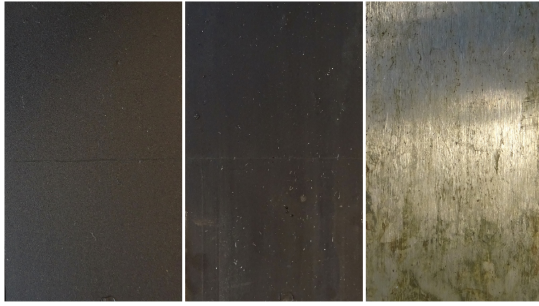
ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 10 %



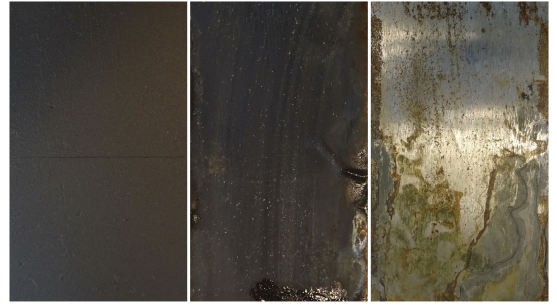
ZnFe₂O₄/PANI-H₃PO₄ při OKP = 15 %



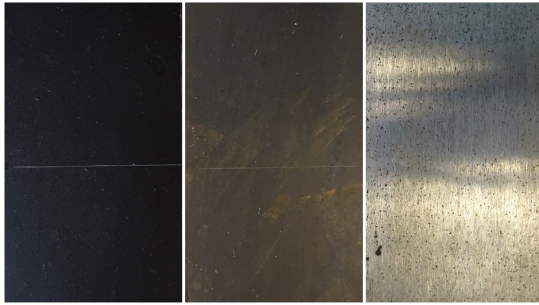
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 5 %



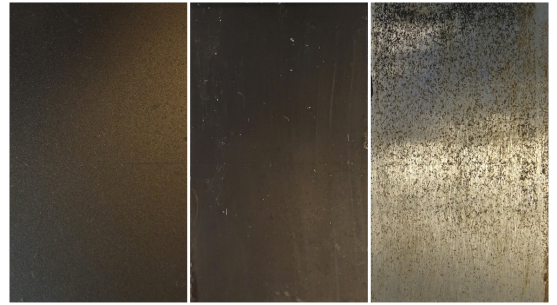
ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-HCl při OKP = 15 %



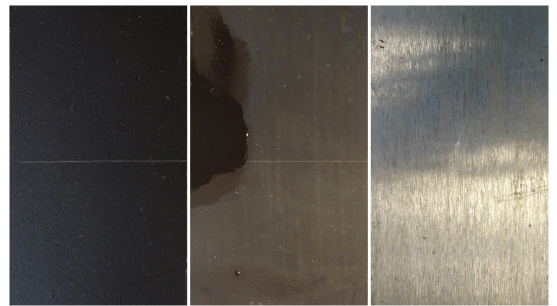
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 5 %



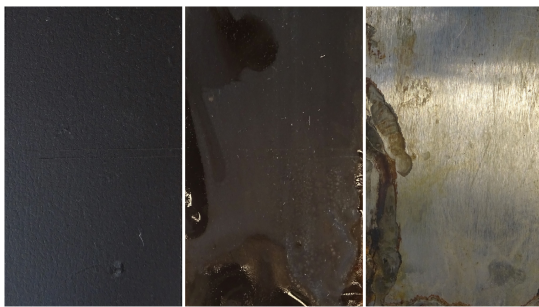
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 10 %



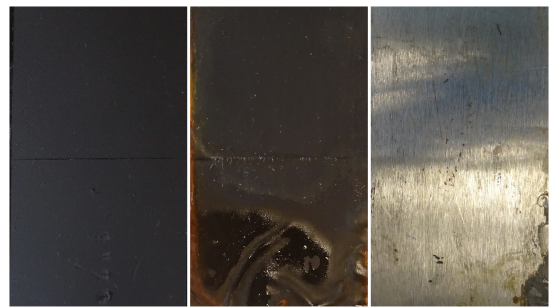
ZnFe₂O₄/PANI-H₂SO₄ při OKP = 15 %



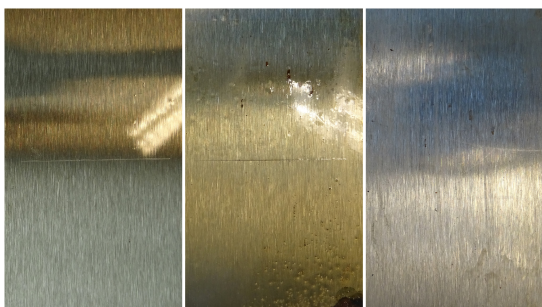
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 5 %



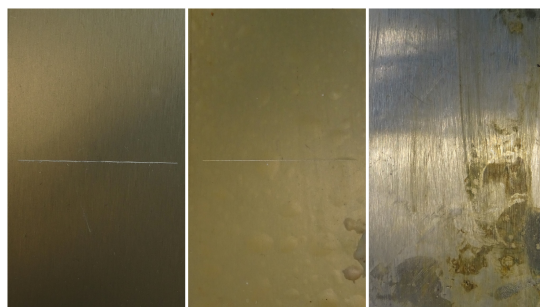
ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 10 %



ZnFe₂O₄/PANI-C₇H₆O₂ při OKP = 15 %



Nepigmentovaný organický povlak



Mg-Al(Si₄O₁₀)

Údaje pro knihovnickou databázi

Název práce	Zjišťování korozní odolnosti pigmentovaných a nepigmentovaných organických povlaků na základě elektrochemických metod a pomocí zkoušek v simulovaných korozních atmosférách
Autor práce	Hana Nadhajska
Obor	Chemie a technická chemie
Rok obhajoby	2021
Vedoucí práce	Ing. Miroslav Kohl, Ph.D.
Anotace	<p>Tato bakalářská práce se zabývá studiem a porovnáním korozně-inhibičních vlastností pigmentovaných a nepigmentovaných organických povlaků pomocí standartních korozních testů v simulovaných korozních atmosférách a elektrochemické techniky lineární polarizace. Testovány byly pigmentované organické povlaky na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem pigmentů různého chemického složení a mechanismu působení (minium Pb_3O_4, fosforečnan zinečnatý $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, zinkferit $ZnFe_2O_4$, mastek $Mg-Al(Si_4O_{10})$ a zinkferit $ZnFe_2O_4$ s povrchovou úpravou polyanilinu dopovaným různými typy dopantů. Cíl práce spočíval v porovnání antikorozních vlastností organických povlaků v závislosti na typu testovaného pigmentu i v závislosti na hodnotě objemové koncentrace jednotlivých testovaných pigmentů. Konkrétně byly pro práci formulovány nátěrové hmoty s obsahem jednotlivých typů pigmentů při hodnotách objemových koncentrací 5, 10 a 15 %, kdy připravené nátěrové hmoty byly aplikovány na ocelové panely a připravené organické povlaky byly testovány pomocí cyklických korozních zkoušek a pomocí elektrochemické techniky lineární polarizace. Elektrochemická technika lineární polarizace byla navíc použita i pro testování nepigmentovaných organických povlaků o různé pojivové bázi a s různým mechanismem síťování (fyzikální, fyzikálně-chemický a oxopolymerační mechanismus). Ze získaných výsledků vyplývá, že vhodnou formulací jednokomponentní nátěrové hmoty na bázi epoxyesterové pryskyřice lze dosáhnout srovnatelné korozní odolnosti v porovnání s dvoukomponentní nátěrovou hmotou na bázi epoxidové pryskyřice bisfenolového typu. Dále je ze získaných výsledků patrné, že účinnost nových ekologických pigmentů ($ZnFe_2O_4$, $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$) s obsahem zinku se přibližují v parametru odolnosti vůči puchýřovatení pigmentu obsahující toxické olovo (např. miniu)</p>
Klíčová slova	Organický povlak; Korozní odolnost; Antikorozní pigment; Polyanilinová sůl