

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Ochranné kovové povlaky a povlaky s obsahem  
kovových pigmentů určené na konstrukční ocel

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Marek Šenfelr

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Miroslav Kohl, Ph.D.

KONZULTANT: prof. Ing. Andreá Kalendová, Dr.

2021

UNIVERZITY OF PARDUBICE

FACULTY OF CHEMICAL TECHNOLOGY

Institute of Chemistry and Technology of Macromolecular Materials

Protective metal coatings and coatings containing  
metallic pigments for structural steel

BACHELOR THESIS

AUTHOR: Marek Šenfeldr

SUPERVISOR: Ing. Miroslav Kohl, Ph.D.

CONSULTANT: prof. Ing. Andrea Kalendová, Dr.

2021

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

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

Jméno a příjmení: **Marek Šenfeldr**  
Osobní číslo: **C16082**  
Studijní program: **B2831 Povrchová ochrana stavebních a konstrukčních materiálů**  
Studijní obor: **Povrchová ochrana stavebních a konstrukčních materiálů**  
Téma práce: **Ochranné kovové povlaky a povlaky s obsahem kovových pigmentů určené na konstrukční ocel**  
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

### Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma. V první fázi uveďte zásady a postupy protikorozní ochrany kovových konstrukčních materiálů vůči atmosférické korozi, uveďte typy korozních prostředí a normy pro tuto oblast.
2. Charakterizujte druhy kovových povlaků se zaměřením na ochranné povlaky s obsahem zinku. Uveďte důvody pro používání tzv. obětovaných povlaků.
3. Proveďte rozbor tzv. anorganických a organických povlaků s obsahem kovových pigmentů.
4. Proveďte testy mechanické a korozní odolnosti na zkušebních vzorcích povlaků s obsahem kovových pigmentů.
5. Závěrem doporučte, do jakého typu prostředí a pro jaké aplikace lze doporučit jednotlivé typy ochranných povlaků.

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

Konzultant bakalářské práce: **prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.**  
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 vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na mojí 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 o směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019. Pravidla pro odevzdání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne: 13.7.2021

Marek Šenfěldr

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Kohlovi, Ph.D. a konzultantovi bakalářské práce prof. Ing. Andreé Kalendové, Dr. za odborné rady a vedení bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a přítelkyni za podporu během mého studia.

## Seznam symbolů a zkratk

CR	Rychlost koroze [mm / rok]
D	Density (hustý výskyt puchýřků)
DFT	Suchá tloušťka nátěrového filmu [ $\mu\text{m}$ ]
$E_{\text{corr}}$	Samovolný korozní potenciál [mV]
F	Few (nízký výskyt puchýřků)
$I_{\text{corr}}$	Proudová hustota [ $\mu\text{A}$ ]
IR	Elektromagnetické infračervené záření
KOKP	Kritická objemová koncentrace pigmentu
m	Hmotnost [g]
M	Medium (středně hustý výskyt puchýřků)
MD	Medium density (středně hustý výskyt puchýřků)
MEK	Methylethylketon $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_3$
NH	Nátěrová hmota
o.č.	Olejové číslo [g/100 g pigmentu]
OKP	Objemová koncentrace pigmentu
$R_p$	Polarizační odpor [ $\Omega$ ]
UV	Elektromagnetické ultrafialové záření
WorléeDur D46	Pojivo na bázi epoxyesterové pryskyřice
Zn	Zinkový prach, anorganický antikorozi pigment
ZP-10	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , zinkfosfátový pigment
$\rho$	Hustota [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]
2VA	Kalcit, plnivo uhličitanu vápenatého $\text{CaCO}_3$

## Souhrn

Cílem práce bylo stanovení vlivu obsahu kovového zinku v nátěrovém filmu, při kterém je dosaženo maximální účinnosti ochrany vůči korozním projevům v simulovaných korozních atmosférách a porovnání zjištěné účinnosti s chemicky působícím antikoročním pigmentem na bázi fosforečnanu zinečnatého. Pro splnění cílů práce byla provedena studie naformulovaných modelových nátěrových hmot na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem antikoročních anorganických pigmentů na bázi zinku a fosforečnanu zinečnatého ve dvou řadách s postupně zvyšujícím se hodnotou OKP = 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 % a 40 %, poslední modelová nátěrová hmota byla s obsahem vápence s hodnotou OKP = 40 %. V průběhu experimentální části práce bylo provedeno testování a vyhodnocení fyzikálně-chemických, fyzikálně-mechanických a korozních vlastností naformulovaných organických povlaků, kdy na základě těchto výsledků byly porovnávány mechanické vlastnosti a korozní odolnost v závislosti na typu použitého antikoročního pigmentu.

Testované nátěrové hmoty byly aplikovány na skleněné a ocelové panely, kde byly následně prováděny laboratorní zkoušky. Pro organické povlaky aplikované na skleněných podkladech byly provedeny zkoušky MEK testu, měření čísla lesku, odolnosti vůči vtisku, měření relativní povrchové tvrdosti a hodnocení přilnavosti mřížkovou metodou. Pro organické povlaky aplikované na ocelových podkladech byly provedeny zkoušky fyzikálně-mechanické a korozní. Fyzikálně-mechanické zkoušky podrobené organickým povlakům na ocelových podkladech byly hodnocení přilnavosti mřížkovou metodou, odolnost vůči hloubení, odolnost vůči ohybu a odolnost vůči deformaci úderem. Dále byla hodnocena korozní odolnost testovaných organických povlaků zrychlenými korozními zkouškami v kombinované zkoušce ve vlhké atmosféře s obsahem oxidu siřičitého a v atmosféře neutrální solné mlhy, dále v atmosféře neutrální solné mlhy a v kondenzační komoře. Na základě hodnocení bylo doporučeno konkrétního typu korozního prostředí pro jednotlivé testované organické povlaky podle výsledků cyklických korozních zkoušek.

V případě organických povlaků s obsahem zinku při hodnotách OKP = 35 % a 40 % došlo k výraznému zvýšení ochranného působení v oblasti řezu a odolnosti filmů vůči puchýřovatění v ploše i v řezu studovaného nátěrového filmu. Tyto výsledky byly potvrzeny i pomocí elektrochemické techniky lineární polarizace. Při porovnání organických povlaků s obsahem zinku a fosforečnanu zinečnatého při hodnotách OKP = 5 %, 10 %, 15 % a 20 % bylo dosaženo obdobných hodnot polarizačních odporů. K významným rozdílům v hodnotách polarizačních odporů organických povlaků s obsahem zinku či fosforečnanu zinečnatého došlo při OKP = 25 %. Nejvyšší rozdíl polarizačních odporů byl zaznamenán u organických povlaků



při hodnotě blízké KOKP, kdy u organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého při OKP = 35 % a 40 % bylo dosaženo o jeden řád nižších hodnot polarizačních odporů v porovnání s organickými povlaky s obsahem zinku při OKP = 40 %. Z výše uvedených výsledků je patrné, že ze studovaných organických povlaků dosáhl nejvyšší korozní odolnosti organický povlak s obsahem zinku při hodnotě OKP = 40 %, kdy u tohoto organického povlaku nebyl zaznamenán výskyt korozních projevů.

### **Klíčová slova**

- zinek
- koroze
- epoxyesterová pryskyřice
- fosforečnan zinečnatý
- antikorozní pigment

## Summary

The aim of the work was to determine the effect of zinc metal content in the coatings film, which achieves the maximum effectiveness of corrosion protection in simulated corrosive atmospheres and compares the effectiveness with a chemically acting anti-corrosion pigment based on zinc phosphate. To meet the objectives of the work was performed a study of formulated model paints based on epoxy ester resin containing anticorrosive inorganic pigments based on zinc and zinc phosphate in two rows with gradually increasing value of PVC = 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % , 30 %, 35 % and 40 %, the last model paint was with a limestone content with a value of PVC = 40 %. During the experimental part of the work, testing and evaluation of physico-chemical, physico-mechanical and corrosion properties of formulated organic coatings were performed, comparing the mechanical properties and corrosion resistance depending on the type of anticorrosion pigment used. The tested coatings were applied to glass and steel panels, where laboratory tests were subsequently performed. For organic coatings applied to glass substrates, MEK test tests, gloss number measurements, impression resistance, relative surface hardness measurements and adhesion evaluation by the grid method were performed. Physico-mechanical and corrosion tests were performed for organic coatings applied to steel substrates. Physico-mechanical tests subjected to organic coatings on steel substrates were evaluation of adhesion by the grid method, resistance to excavation, resistance to bending and resistance to impact deformation. Furthermore, the corrosion resistance of the tested organic coatings was evaluated by accelerated corrosion tests in a combined test in a humid atmosphere containing sulfur dioxide and in a neutral salt spray atmosphere, as well as in a neutral salt spray atmosphere and in a condensation chamber. Based on the evaluation, a specific type of corrosion environment was recommended for the individual organic coatings tested according to the results of cyclic corrosion tests. In the case of organic coatings with zinc content at PVC values = 35 % and 40 %, there was a significant increase in the protective effect in the cut area and the resistance of the films to blistering in the area and in the cut of the studied paint film. These results were also confirmed by the electrochemical technique of linear polarization. When comparing organic coatings with zinc and zinc phosphate content at PVC values = 5 %, 10 %, 15 % and 20 %, similar values of polarization resistances were achieved. Significant differences in the values of polarization resistances of organic coatings with zinc or zinc phosphate content occurred at PVC = 25 %. The highest difference in polarization resistances was recorded for organic coatings at a value close to CPVC, when organic coatings with zinc phosphate content at PVC = 35 % and 40 % achieved one order of magnitude lower polarization resistances compared to organic coatings with zinc content at PVC = 40 %. From

the above results, it is clear that of the studied organic coatings, the highest corrosion resistance was achieved by an organic coating with a zinc content at the value of PVC = 40 %, when no occurrence of corrosion was recorded in this organic coating.

### **Keywords**

- zinc
- corrosion
- epoxy ester resin
- zinc phosphate
- anticorrosion pigment

## Obsah

1. Úvod .....	16
2. Teoretická část .....	17
2.1. Koroze .....	17
2.2. Druhy vnitřního mechanismu koroze .....	18
2.2.1. Chemická koroze .....	18
2.2.2. Elektrochemická koroze .....	18
2.2.3. Galvanická koroze .....	19
2.3. Druhy korozního prostředí .....	20
2.3.1. Atmosférická koroze .....	20
2.3.2. Koroze v půdě .....	22
2.3.3. Koroze v kapalinách .....	23
2.4. Zásady a postupy protikorozní ochrany kovových konstrukčních materiálů vůči korozi .....	23
2.4.1. Opatření ovlivňující korozní prostředí .....	24
2.4.2. Opatření ovlivňující konstrukci .....	25
2.4.3. Opatření ovlivňující kov .....	27
2.5. Ochranné povlaky .....	29
2.5.1. Povrchová předúprava kovů .....	29
2.5.2. Povrchová úprava povlakem .....	31
2.6. Kovové zinkové povlaky .....	32
2.6.1. Galvanické (elektrolytické) zinkování .....	33
2.6.2. Žárové zinkování .....	34
2.6.3. Difúzní zinkování .....	35
2.6.4. Mechanické zinkování .....	36
2.6.5. Zinkování ve vakuu .....	36
2.7. Anorganické nekovové povlaky .....	36
2.7.1. Konverzní povlaky .....	36
2.7.2. Oxidové vrstvy .....	41
2.7.3. Smaltování .....	43
2.8. Organické povlaky .....	45
2.8.1. Rozdělení nátěrových hmot .....	47
2.9. Kovové antikorozní pigmenty .....	48
2.9.1. Fosforečnan zinečnatý – $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ .....	48
2.9.2. Práškový zinek .....	49
3. Experimentální část .....	50
3.1. Cíl práce .....	50

3.2.	Seznam použitých přístrojů a zařízení .....	50
3.3.	Suroviny testované nátěrové hmoty .....	50
3.3.1.	Pigmenty .....	50
3.3.2.	Plniva .....	51
3.3.3.	Pojiva .....	51
3.3.4.	Ostatní suroviny .....	51
3.4.	Fyzikálně-chemické vlastnosti nátěrové hmoty .....	52
3.4.1.	Stanovení obsahu sušiny .....	52
3.4.2.	Stanovení hustoty .....	52
3.4.3.	Stanovení spotřeby oleje .....	52
3.4.4.	Stanovení KOKP .....	53
3.5.	Příprava nátěrové hmoty .....	53
3.5.1.	Formulace nátěrové hmoty .....	53
3.5.2.	Dispergace nátěrových hmot .....	54
3.6.	Příprava podkladových vzorků a aplikace nátěrových hmot .....	55
3.6.1.	Příprava ocelových panelů .....	55
3.6.2.	Příprava skleněných panelů .....	55
3.6.3.	Aplikace nátěrových hmot .....	55
3.7.	Metody hodnocení fyzikálně-mechanických zkoušek .....	56
3.7.1.	MEK test .....	56
3.7.2.	Stanovení lesku nátěru .....	56
3.7.3.	Buchholzova vrypová zkouška .....	57
3.7.4.	Stanovení relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem .....	57
3.7.5.	Stanovení přilnavosti filmu mřížkovou metodou .....	57
3.7.6.	Stanovení odolnosti filmu při ohybu .....	58
3.7.7.	Stanovení odolnosti filmu při deformaci úderem .....	58
3.7.8.	Stanovení odolnosti filmu hloubením .....	59
3.8.	Metody urychlených korozních zkoušek .....	59
3.8.1.	Korozní zkouška ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého .....	59
3.8.2.	Urychlená korozní zkouška v neutrální atmosféře solné mlhy .....	60
3.8.3.	Urychlená korozní zkouška v kondenzační komoře .....	60
3.9.	Hodnocení cyklických korozních zkoušek .....	61
3.9.1.	Hodnocení puchýřků v ploše nátěru a řezu .....	61
3.9.2.	Hodnocení prokorodování .....	62
3.9.3.	Hodnocení koroze v řezu .....	62
3.9.4.	Hodnocení životnosti nátěrového filmu .....	63

3.9.5.	Elektrochemické stanovení lineární polarizace .....	64
4.	Výsledky.....	65
4.1.	Výsledky fyzikálně-chemických vlastností složek testovaných nátěrových hmot ....	65
4.2.	Výsledky fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na skleněných podkladech .....	65
4.2.1.	Vyhodnocení MEK testu .....	65
4.2.2.	Vyhodnocení lesku nátěrových povlaků.....	67
4.2.3.	Vyhodnocení Buchholzovy vrypové zkoušky .....	68
4.2.4.	Vyhodnocení relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem a stanovení stupně přilnavosti mřížkovou metodou.....	68
4.3.	Výsledky fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na ocelových podkladech .....	69
4.3.1.	Výsledky stanovení přilnavosti mřížkovou metodou a odolnosti vůči ohybu, úderu a hloubení .....	69
4.4.	Výsledky cyklických korozních zkoušek.....	70
4.4.1.	Výsledky kombinované cyklické korozní zkoušky ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého a v neutrální atmosféře solné mlhy .....	70
4.4.2.	Výsledky korozní zkoušky v neutrální atmosféře solné mlhy .....	71
4.4.3.	Výsledky korozní zkoušky v kondenzační komoře .....	74
4.4.4.	Výsledky elektrochemického stanovení lineární polarizace.....	75
5.	Komentáře k výsledkům.....	77
5.1.	Komentáře k výsledkům fyzikálně-chemických vlastností složek testovaných nátěrových hmot.....	77
5.2.	Komentáře k výsledkům fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na skleněných podkladech.....	77
5.2.1.	Komentáře k výsledkům MEK testu.....	78
5.2.2.	Komentáře k výsledkům měření čísla lesku .....	78
5.2.3.	Komentáře k výsledkům Buchholzovy vrypové zkoušky .....	79
5.2.4.	Komentáře k výsledkům relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem.....	80
5.2.5.	Komentáře k výsledkům stanovení stupně přilnavosti mřížkovou metodou.....	81
5.3.	Komentáře k výsledkům fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na ocelových podkladech .....	81
5.3.1.	Komentáře k výsledkům stanovení stupně přilnavosti mřížkovou metodou.....	82
5.3.2.	Komentáře k výsledkům zkoušky ohybem.....	82
5.3.3.	Komentáře k výsledkům zkoušky úderem.....	82
5.3.4.	Komentáře k výsledkům zkoušky hloubením.....	83
5.4.	Komentáře k výsledkům korozních zkoušek .....	83
5.4.1.	Komentáře k výsledkům kombinované korozní zkoušky ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého a v neutrální atmosféře solné mlhy .....	83

5.4.2.	Komentáře k výsledkům korozní zkoušky v neutrální atmosféře solné mlhy ....	85
5.4.3.	Komentáře k výsledkům korozní zkoušky v kondenzační komoře .....	86
5.4.4.	Komentáře k výsledkům elektrochemického stanovení lineární polarizace .....	87
5.4.5.	Komentáře ke stanovení životnosti nátěrových filmů .....	88
6.	Přínosy bakalářské práce .....	89
7.	Závěr .....	91
8.	Použitá literatura .....	92
9.	Přílohy .....	99

## 1. Úvod

Globálním problémem je fakt, že většina kovových materiálů není stálá svému vnějšímu prostředí. Při kontaktu takového kovu a prostředí dochází vlivem chemických a elektrochemických dějů k porušení, znehodnocení až k úplnému rozpadu celistvosti kovu. Tento jev, ať je způsoben jakýmkoliv prostředím a dějem je nazýván koroze. Koroznímu porušení materiálů podléhají jak kovy, tak i nekovové materiály např.: plast, dřevo, beton apod. [1]

Koroze má významný vliv i na vlastnosti materiálů. Může totiž dojít k zhoršení až ke ztrátě mechanické pevnosti, ke změně vodivosti, hladkosti i ke změně barvy, lesku apod. Doposud se setkáváme s největším zastoupením korozi kovů, což se jeví jako největší problém, jelikož kovy mají jedno z největších zastoupení v konstrukčních materiálech. Při konstrukci je tedy největší důraz kladen na odolnosti kovu proti korozi. Důvodem, proč jsou kovy náchylné ke korozi je pochopitelný, většina se totiž v přírodě vyskytuje ve formě sloučenin převážně oxidů a následnými hutnickými procesy se získávají samotné kovy. Koroze je tedy pouze přechod kovů do jejich stabilnějších forem. U kovů, které se v přírodě vyskytují v ryzí formě, jako je například zlato, platina, rhodium, iridium, ruthenium apod., tato skutečnost neplatí. [1]

Koroze není jen konstrukční problém, ale i ekonomický. Ztráty způsobené korozi se pak v České republice odhadují na 130 miliard Kč, což odpovídá 3,4 % HDP, přičemž značná část připadá na atmosférickou korozi. Atmosférická koroze kovů je nejběžnějším typem koroze, kdy kapka rosy na kovovém povrchu vzniklá důsledkem kondenzace atmosférické vlhkosti urychluje korozi. Korozní mechanismy pod těmito kapičkami se liší od klasické koroze, vzhledem k tenké a nejednotné geometrické tloušťce kapky vyžaduje atmosférický kyslík kratší difúzní cestu ke kovovému povrchu. Z tohoto důvodu se používají antikorozi nátěrové hmoty a povlaky korozivzdorných kovů, které tvoří bariéru mezi chráněným předmětem a okolím a zabraňují tak tvorbě korozi. V současné době jsou často využívány ochranné povlaky na bázi zinku, ať už ve formě kovového povlaku, který se nanáší ponorem do roztaveného zinku, žárovým zinkováním aj. nebo ve formě pigmentů na bázi zinku v nátěrových hmotách. Výroba takovéto bariéry je oproti škodám způsobené korozi levnější, což má za následek stále zkoumání a inovaci nátěrových hmot a povlaků. Z toho důvodu jsou organické povlaky a jejich aplikace využívány téměř všude a téměř na všechny podklady. Tvoří až 80 % všech povlaků, z důvodu široké rozmanitosti. [1,2,3]



## 2. Teoretická část

### 2.1. Koroze

Koroze je převzaté slovo z latiny *corrodere* – rozhlodat. Koroze je tedy samovolný a postupně probíhající děj, který vede k znehodnocování materiálu, většinou kovu, vlivem chemických nebo elektrochemických reakcí s okolním prostředím. Tím se koroze podle původu dějů rozděluje na chemickou korozi a elektrochemickou korozi. Jedná se o přirozený proces, který přeměňuje rafinovaný kov na chemicky stabilnější formu, většinou oxid, hydroxid nebo sulfid. Při nejběžnějším použití slova to znamená elektrochemická oxidace kovu v reakci s oxidačním činidlem, jako je kyslík nebo sírany. [1,4,5]

Koroze v první řadě napadá povrch kovu, odkud následně postupuje do větších hloubek. Koroze může být koncentrována za vzniku jámy nebo trhlin, nebo se může rozprostírat po celé ploše v rovnoměrně korodující povrch. Nejznámějším příkladem elektrochemické koroze je rezavění železa, a tedy tvorba oxidu železa. Tento typ koroze obvykle produkuje oxid nebo sůl původního kovu a má za následek výrazné oranžové zabarvení. Ke korozi může docházet také v jiných materiálech, než jsou kovy, jako je keramika nebo polymery. Keramické materiály mají vysokou chemickou odolnost, a odolnost vůči opotřebení. Korozní odolnost keramických materiálů je vlastností systému, a tedy nezávisí pouze na materiálu, ale také na podmínkách (teplota, tlak, složení média, objem, rychlost proudění, aj.). [1,6,7]

Z hospodářského hlediska je tento problém velmi význačný. Koroze může zmenšit pevnost konstrukčních součástí, zhoršit funkční vlastnosti povrchu jako jsou například: odrazivost světla, elektrická vodivost, pružnost, vzhled, užitečné vlastnosti materiálu a struktur dokonce i propustnost pro kapaliny a plyny. Mnoho slitin koroduje pouhým vystavením vlhkosti ve vzduchu, ale proces může být ovlivněn vystavením určitým látkám. [4,5]

Je důležité zpomalit nebo v lepším případě zamezit korozi, čímž se zvyšuje životnost materiálu. Z toho plyne ochrana materiálu proti korozi, kterou se zabývá norma ČSN 03 8001. Korozi lze podle původu rozdělit na chemickou korozi a elektrochemickou korozi. V neposlední řadě je třeba zmínit, že ne vždy záleží jen na korozní odolnosti kovu, ale i na korozním prostředí. Příkladem lze uvést, že hliník odolává atmosférické korozi, ale není odolný vůči alkalickým hydroxidům. Korozivzdorné chromované oceli odolávají zásadám, organickým kyselinám a kyselině dusičné, ale korodují v roztocích kyseliny sírové a octové. Důležitá je i teplota a tlak prostředí. Ve studeném prostředí velmi dobře odolává zinek, kdežto při teplotách vyšších než 60 °C koroduje zinek rychleji. Je třeba zmínit i korozní prostředí, kde

činitelé v přírodním prostředí způsobují korozi, je to tedy rozdělení na atmosférickou korozi, půdní korozi a korozi v kapalinách. [1,8,9]

## **2.2. Druhy vnitřního mechanismu koroze**

### **2.2.1. Chemická koroze**

Při chemické korozi dochází k znehodnocení materiálu způsobený chemickou reakcí bez přítomnosti elektricky vodivého prostředí. Toto znehodnocení vzniká při vzájemném působení kovu a korozního prostředí, jako jsou agresivní plyny, kapalina i samotná voda nebo třeba soli. Při chemické korozi se nejčastěji jedná o oxidaci kovů, kdy se povrch kovu pokrývá oxidem. Výsledkem chemické koroze jsou ve většině případů okuje na ocelích a neželezných kovech při jejich tepelném zpracování. Okuje jsou korozní zplodiny tvořené jedním, popřípadě více oxidy daného kovu. K chemické korozi dochází především v plynném prostředí za vyšší teploty. Činiteli koroze jsou v tomto případě vzdušný kyslík, oxid siřičitý, vodík a jiné plyny. Děj probíhá podle reakce č. 1. [1,4,5]



Agresivní plyny jako jsou  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  a celkově plyny, které obsahují síru degradují jak železo, tak i měď, nikl a jeho slitiny, stříbro, ocel i jiné kovy (černání stříbra). K této degradaci materiálu stačí již malý obsah síry v okolním prostředí. Tento děj znepokojuje především konstruktéry, jelikož chemická koroze je hlavním mechanismem poškození konstrukcí například mostů z uhlíkových ocelí. Chemická koroze může probíhat stále stejnou rychlostí až do úplného zničení materiálu, tento jev nastává je-li objem produktů koroze menší, než měl kov, z něhož vznikly. Výsledná vrstva korozních produktů je pak pórovitá a nebrání tak pronikání částic okolního prostředí na povrch kovu. Tento proces nastává například u hořčíku. Na vzduchu vykazují lepší chování například železo, nikl nebo měď. Na povrchu těchto kovů se vytvoří vrstva korozních produktů, která zpomalí další korozi. Čím větší je vrstva oxidu, tím pomaleji probíhá další koroze. Na hliníku a chromu vznikne vrstva oxidu velmi rychle, avšak přilne k povrchu tak pevně, že je téměř nepropustná a zabraňuje tedy další korozi. Tyto kovy mají vysokou odolnost proti chemické korozi ve vzduchu. Z tohoto důvodu se chrom přidává do slitin vysokolegovaných ocelí. [4,9,10]

Velmi odolné kovy proti chemické korozi jsou zlato a platina, jelikož se jedná o stálé kovy. Platina ale není odolná vůči prostředí s obsahem uhličitánů za vysokých teplot. [1,9]

### **2.2.2. Elektrochemická koroze**

Elektrochemická koroze probíhá v elektrolytech neboli ve vodivém prostředí. Pokud korodujícím kovem neprochází vnější elektrický proud nemůže docházet k elektrochemické

korozí. Tato koroze se dělí na dvě dílčí reakce, a to anodovou a katodovou. Tyto reakce jsou na sebe vázány, což znamená že ani jedna z nich nemůže probíhat samovolně, tedy nedochází k anodické reakci, pokud v současné době nedochází ke katodové reakci a naopak. Anodová reakce způsobuje oxidaci kovu, je tedy nositelka koroze. Katodová reakce, někdy zvaná jako depolarizační reakce, způsobuje redukci oxidující složky roztoku. Může to být buď vybíjení iontu vodíku, pokud se jedná o korozi s vodíkovou depolarizací nebo redukci kyslíku, který se nachází rozpuštěný v elektrolytu, zde se jedná o korozi s kyslíkovou depolarizací. [1,4,5]

Rychlost elektrochemické koroze je závislá na rychlosti anodické a katodické reakci. Korozní děj anodové i katodové reakce probíhá buď na stejném místě, nebo na místě jiném. Pokud se jedná o homogenní kov i roztok, bude korozní děj probíhat na stejném místě, pokud se jedná o heterogenní kov či roztok korozní děj bude probíhat na jiném místě. Tedy aby docházelo k elektrochemické korozi, je třeba aby nám vznikl korozní článek. Korozní článek nám může vzniknout například v materiálu. V tomto případě dochází ke styku s jiným kovem nebo při obsahu nečistot v materiálu třeba ve formě příměsí či vměstků. Dalším typem vzniku korozního článku je v korozním prostředí. Hlavní roli zde hraje rozdílná koncentrace elektrolytu. Posledním typem vzniku korozního článku je rozdíl ve fyzikálních podmínkách. Zde se třeba vyskytuje rozdílná teplota na povrchu kovu, kde teplejší místa se chovají jako anody, a naopak studenější jako katody, nebo odlišné ozáření povrchu, více ozářené povrchy se chovají jako anody, méně ozářené jako katody. Korozní odolnost lze do jisté míry zvýšit selektivním laserovým tavením (SLM). Jako příklad lze uvést korozi zinku ve zředěné kyselině sírové, která probíhá podle reakce číslo 2. [4,5,11]



### 2.2.3. Galvanická koroze

S elektrochemickou korozi úzce souvisí i koroze galvanická. Galvanická koroze nastává, když dva různé kovy mají fyzický nebo elektrický kontakt a jsou ponořeny do společného elektrolytu. V galvanickém páru koroduje méně ušlechtilý kov (anoda) rychleji a ušlechtilejší kov (katoda) koroduje pomaleji. Při ponoření kovů do elektrolytu každý kov koroduje jinou rychlostí. Typ kovu lze snadno určit dle ušlechtilosti kovů. Například zinek se často používá jako obětovaná anoda pro ocelové konstrukce. Galvanická koroze má velký význam pro námořní průmysl a také kdekoliv, kde voda obsahuje rozpuštěné soli a jiné agresivní látky, a přichází do styku s ocelovými trubkami nebo kovovými konstrukcemi. Galvanické korozi se často předchází použitím obětovaných anod (povlaků).

[1,5,9]

## 2.3. Druhy korozního prostředí

Druhy korozního prostředí lze rozdělit na korozi ve vzduchu (atmosférickou), korozi v kapalinách a korozi v půdě. Hlavní roli zde hrají činitelé koroze. Korozní činitelé totiž ovlivňují samotný proces koroze, rychlost koroze ale taky i charakter korozního napadení. Hlavní roli hrají tzv. dominantní činitelé, rozhodují totiž o korozi materiálu např.: koroze oceli, která je ovlivněna relativní vlhkostí vzduchu, množstvím oxidu siřičitého a nečistotami vzduchu, což jsou právě dominantní činitelé koroze. Korozní činitelé se rozdělují na vnitřní a vnější. [1,4,5]

Vnitřní činitelé koroze představují chemické složení kovů a slitin, struktura kovů a v poslední řadě povrch kovů. Vnější činitelé koroze představují chemické složení prostředí, teplota prostředí a v poslední řadě rychlost proudění prostředí. [4,5]

### 2.3.1. Atmosférická koroze

Atmosférická koroze představuje významný problém, jelikož většina kovových materiálů je vystavována atmosféře, ať už jako součástky nebo konstrukce, vůči které nejsou odolné a podléhají elektrochemické korozi. Procesy atmosférické koroze jsou nejčastěji iniciovány smáčením kovového povrchu přímou kondenzací atmosférické vlhkosti v důsledku teplotních změn. Dochází tak k tvorbě kapiček případně tenkého filmu, který tvoří elektricky vodivé prostředí pro korozi. I suché předměty podléhají atmosférické korozi, na povrchu tohoto předmětu se vyskytují vodní páry. Obsah těchto vodních par je dán absolutní vlhkostí vzduchu, která je vyjádřena v mg/l, parciálním tlakem nebo relativní vlhkostí. Pokud bychom se nacházeli pod kritickou relativní vlhkostí, ke korozi by nedocházelo. Jako příklad si uvedeme ocel, která má kritickou vlhkost při 25 °C mezi 65-75 %. Technologický postup výroby oceli nemá vliv na korozivzdornosti. Korozivzdornost ocelí zvyšuje obsah mědi, jako příměs, kdy změnu chování lze pozorovat už při 0,2% obsahu mědi. Oceli, které obsahují 1,5-2 % legujících prvků, jako jsou například nikl, chrom a křemík, mají vyšší odolnost vůči atmosférické korozi. Legující prvky v oceli způsobí vznik rzi, která lépe drží na povrchu kovu a chrání tak ocel před další korozi. Bylo pozorováno, že mechanické vlastnosti různých materiálů jsou velmi ovlivněny atmosférickou korozi. To může být způsobeno úbytkem hmotnosti v korodovaném materiálu, což vede ke zhoršení mechanických vlastností. [1,12]

Klima se dnes a denně mění, z důvodu globálního oteplování dochází ke zvýšení teploty, která se značně podílí na korozi, čím je teplota vzduchu vyšší tím je koroze kovu a oceli rychlejší. Z tohoto důvodu se konstrukce vystavené atmosférickému prostředí opatřují antikorozními nátěry, např.: mosty, viadukty, koleje, železniční konstrukce, ocelové prvky aj.

Průměrné roční srážky se v průběhu 20. století zvýšily až o 10 %, což má za následek vyšší vlhkost vzduchu a vzniku vodních par. V Evropě bylo z hlediska atmosférické koroze nejvýznamnější změnou zvýšení znečištění ovzduší SO<sub>2</sub>, CO, HCl, amoniakem a aerosoly. Důležitým prvkem v atmosféře je právě kyslík, který působí jako depolarizátor neboli urychlovač koroze. Právě tyto činitele jsou důvodem koroze kovů a slitin v atmosféře. Výsledkem korozního napadení je u oceli rovnoměrná povrchová vrstva a u lehkých slitin místní povrchová vrstva. Norma ČSN EN ISO 9223 rozděluje agresivitu atmosféry do šesti stupňů. [8,13,14]

Prvním stupněm je atmosféra označovaná jako C1, která patří mezi nejméně agresivní prostředí. Interiérově se vyznačuje jako vytápěné a klimatizované budovy, kde nedochází ke kondenzaci vody a jejich ovzduší není znečištěné např.: kanceláře, školy, obchody, hotely atp. V exteriéru se prostředí C1 nevyskytuje. Dalším stupněm je C2 s mírnou agresivitou. Jsou to interiérově nevytápěné budovy, kde může dojít ke kondenzaci vody, jako jsou sklady a sportovní haly. Exteriérově se jedná o prostředí s nízkým znečištěním, například na venkově. Nejrozšířenějším druhem prostředí je C3. Jedná se o středně agresivní prostředí. Interiérově se toto prostředí nachází v budovách s vysokou vlhkostí a znečištěním vzduchu, jako jsou pivovary, mlékárny, prádelny, výrobci potravin aj. Exteriérově to jsou městské a průmyslové oblasti, mírně znečištěné oxidem siřičitým a pobřežní oblasti s nízkým obsahem solí. Stupeň C4 se vyznačuje vysokou agresivitou, jako jsou výrobci chemikálií, koupaliště a loděnice. Je zde vysoká vlhkost a znečištění dalšími chemikáliemi ovzduší. Jedná se o průmyslové oblasti a pobřežní oblasti s mírným obsahem solí. Stupeň C5 je velmi agresivním prostředím, budovy nebo oblasti s téměř trvalou kondenzací vody a vysokým znečištěním ovzduší. Průmyslové oblasti s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou. Posledním a nejagresivnějším stupněm je CX, budovy nebo oblasti s permanentní kondenzací vody a vysokým znečištěním. Jedná se o pobřeží a pobřežní oblasti s vysokým obsahem solí.

[1,5,9,14]

Je zřejmé, že ve všech výše zmíněných stupních atmosféry bude probíhat koroze, jde jen o to, s jakou rychlostí a s jakou silou a agresivitou. Je tedy nutné zamezit nebo alespoň snížit dopad koroze. Materiál lze ochránit vrstvou, bariérou, která zamezí styku předmětu s okolním prostředím a sama je vůči prostředí odolná a korozivzdorná. Dnes se významně používá tvorba kovových povlaků nebo nátěrových hmot s organickými nebo anorganickými pigmenty, které jsou vůči atmosféře stálé a chrání daný předmět před korozi. Jednotlivé stupně agresivního prostředí jsou uvedeny v tabulce číslo 1. [1,9]

**Tabulka 1** Stupně korozního prostředí podle normy EN ISO 9223 [8,9,14]

Korozní agresivita		Typická prostředí-příklady	
		Vnitřní	Venkovní
C1	Velmi nízká	Vytápěné prostory s nízkou relativní vlhkostí a nevýznamným znečištěním-školy, kanceláře apod.	Suché nebo chladné klimatické pásmo, atmosférická prostředí s velmi malým znečištěním a dobou ovlhčení-pouště, Arktida/Antarktida
C2	Nízká	Nevytápěné prostory s měnící se teplotou a relativní vlhkostí, s malým znečištěním-sklady, sportovní haly apod.	Mírné klimatické pásmo, atmosférické prostředí s malým znečištěním-venkovské oblasti Suché nebo chladné klimatické pásmo atmosférické prostředí s krátkou dobou ovlhčení
C3	Střední	Prostory se střední četností kondenzace a středním znečištěním-potravinářské závody, prádelny, mlékárny apod.	Mírné klimatické pásmo, atmosférické prostředí se středním znečištěním-městské oblasti Subtropy a tropy, atmosférické prostředí s malým znečištěním
C4	Vysoká	Prostory s velkou četností kondenzace a velkým znečištěním-průmyslové závody, plavecké bazény apod.	Mírné klimatické pásmo, atmosférické prostředí s velkým znečištěním SO <sub>2</sub> nebo vlivem chloridů-znečištěné městské oblasti, pobřežní oblasti (bez postřiku vodou) Subtropy a tropy, atmosférické prostředí se středním znečištěním
C5	Velmi vysoká	Prostory s velmi velkou četností kondenzace a/nebo velkým znečištěním-doly, nevětrané přístřešky v subtropích a tropech	Mírné a subtropické klimatické pásmo, atmosférické prostředí s velmi vysokým znečištěním SO <sub>2</sub> a/nebo vlivem chloridů-průmyslové oblasti, pobřežní oblasti
CX	Extrémní	Prostory s téměř neustálou kondenzací nebo extrémní vlhkostí a/nebo velkým znečištěním-nevětrané přístřešky ve vlhkých tropech s pronikáním venkovního znečištění vč. chloridů	Subtropické a tropické klimatické pásmo, atmosférické prostředí s velmi vysokým znečištěním SO <sub>2</sub> a/nebo silným vlivem chloridů-extrémní průmyslové oblasti, pobřežní oblasti, působení solné mlhy

### 2.3.2. Koroze v půdě

Koroze probíhá i v půdách, jedná se zde o elektrochemickou korozi, jejíž průběh je složitější, než na vzduchu nebo ve vodě. Jedná se zde o korozi ve vodním prostředí různého složení. V půdě se vyskytují kapiláry a póry, kde se drží vlhkost v různém množství. Také záleží na druhu půdy, například jílovitá půda je mnohem více korozně agresivní než půdy písčité. Další faktor ovlivňující korozi v půdě je chemické složení půdy. Hlavními činiteli jsou zde pH a rozpustné soli. Ovlivňují totiž nejen korozi, ale i mikrobiální aktivitu. Bakterie při metabolismu redukuji v půdě sírany na nerozpustné siřníky, což má za následek urychlení anodické reakce materiálu. Děj probíhá podle reakce číslo 3.



V půdách se vyskytují i bakterie oxidačně siřné, které oxidují síru až na kyselinu sírovou. Koncentrace vzniklé kyseliny sírové může dosahovat až 10% koncentrace. Dalšími činiteli koroze v půdách jsou jakost půdy, různé provzdušnění a hloubku v jaké je materiál v závislosti na hladině spodních vod. [1,4,5]

V poslední řadě je třeba zmínit elektrickou vodivost, která je rozhodující pro rychlost koroze a pro vznik elektrických proudů a článků mezi anodickými a katodickými místy. Půda se totiž skládá z plynné, kapalně a tuhé fáze. Korozním prostředím v půdě je právě zmíněná kapalná fáze, která dává půdě elektrickou vodivost. Z plynné fáze se také uplatňuje kyslík, který slouží jako depolarizátor koroze. Nejběžnější korozi v půdách lze pozorovat na podzemním potrubí, kde vzniká koroze na rozhraní půda a ocelové potrubí. [1,15]

### 2.3.3. Koroze v kapalinách

Největší výskyt koroze v kapalinách představuje koroze ve vodě. Důvod je jednoduchý, do styku s vodou přichází široká škála předmětů. Vodní stroje, kompresory, potrubí, chladičové systémy motorů aj. nachází svá uplatnění právě ve vodě. Koroze ve vodách je velmi důležitý aspekt na zkoumání, jelikož mechanismus je teoreticky dobře znám, avšak je velmi těžko odhadnutelné, jak bude v praxi probíhat. Nelegované a nízkolegované oceli korodují ve vodě. Důraz se klade na jakost povrchu, jelikož zokoužený povrch v kontaktu s vodou může tvořit hluboké důlky. Hlavní činitelé korozní agresivity vod a parametry ovlivňující kinetiku a mechanismus reakce jsou: tvrdost vody, pH, teplota, proudění, tlak, tepelná předúprava a legování oceli a množství rozpuštěných plynů. Nejvyšší důraz na rozpuštěné plyny je kladen na kyslík, působí jako depolarizátor a urychluje korozi. Z tohoto důvodu se vody často upravují změkčováním, chemicky upravují a odplyňují. Některé konkrétní příklady jsou uvedeny v tabulce číslo 2, která se zaměřuje na úbytek různých kovových materiálů ve vodním prostředí na území České republiky. Z tabulky je zřejmé, že korozní odolnost ve vodě vykazuje hliník lepší než ocel i zinek. [1,5,16]

Tabulka 2 Denní úbytek kovových materiálů na území České republiky [8]

Místo	Denní úbytek g.m <sup>-2</sup>		
	ocel	zinek	hliník
Lipno	1,9	0,4	0,005
Slapy	1,7	0,5	0,027
Český Krumlov	2,0	0,5	0,004
Děčín	1,3	1,1	0,061

## 2.4. Zásady a postupy protikorozní ochrany kovových konstrukčních materiálů vůči korozi

Materiály jsou často vystavovány agresivnímu prostředí, vysokým teplotám či vzájemné interakci, což má v nepříznivých případech za následek jejich porušování. Mluvíme zde o korozi, které podléhají jak kovové, tak nekovové organické a anorganické materiály. Právě koroze a opotřebení materiálu způsobuje veliké ztráty v celosvětovém měřítku.

Odhady ztrát se pohybují mezi 3-8 % hrubého národního produktu. V České republice tedy ztráty dosahují až na 20 miliard korun českých ročně. Z tohoto důvodu je zvýšená pozornost k ochraně materiálů vůči korozi. Touto ochranou se zabývá norma ČSN 03 8001 – ochrana materiálu proti korozi. Poznatky o mechanismu korozních dějů nám dovolují korozi zabránit nebo jí aspoň zpomalit. Jelikož jsou konstrukční materiály vystavovány různým podmínkám, je téměř nemožné použít jednotný systém ochrany. Je třeba volit nejúčelnější způsob ochrany podle charakteru materiálu, charakteru prostředí a konstrukce. Postupy a opatření protikorozní ochrany lze rozdělit do tří skupin. První skupina se zabývá opatřením ovlivňující korozní prostředí, další skupina se zabývá opatřením ovlivňující konstrukci a poslední skupina se zabývá opatřením ovlivňující kov. [4,5]

#### **2.4.1. Opatření ovlivňující korozní prostředí**

Opatření spočívá především ve snižování agresivity prostředí. Korozní prostředí lze upravovat dvojitým způsobem. První způsob spočívá v odnětí stimulantů, což jsou látky způsobující korozi. Druhý způsob spočívá v přidání inhibitorů, což jsou látky snižující rychlost koroze.

Odnímání stimulantů je méně časté než přidávání inhibitorů. Vysvětlení je jednoduché, je totiž mechanicky složitější i finančně náročnější látky odlučovat z prostředí než přidávat látky do prostředí. Klasickým příkladem odnímáním stimulantů je úprava vody. Voda se upravuje především snižováním rozpuštěného kyslíku ve vodě. Kyslík ovlivňuje agresivitu vody, kde působí jako depolarizátor. Kyslík se z vody odstraňuje mimo jiné přefiltrováním přes železné piliny. Odstranění probíhá reakcí kyslíku se železem. [4,5]

Rychlost atmosférické koroze lze snížit odstraňováním vlhkosti vzduchu. K tomu nám slouží hygroskopické látky, které absorbují vodu, hlavním příkladem lze uvést silikagel. Silikagel je pórovitá forma oxidu křemičitého, která má perfektní hygroskopické vlastnosti. Dalším způsobem je úprava atmosféry klimatizací, v prostorech sloužící ke skladování nebo použitím ochranné atmosféry při ohřevu kovů. [4,5]

Přidávání inhibitorů spočívá ve zpomalení koroze. Inhibitory mají schopnost adsorbovat se na katodickém nebo anodickém povrchu materiálu a vytvořit tak ochrannou vrstvu. Chemické složení inhibitorů nám rozděluje inhibitory na anorganické a organické, a podle účinku na katodové, anodové a adsorpční.

Anorganické inhibitory jsou, jak už z názvu vyplývá, anorganického složení. Nejčastějšími anorganickými inhibitory jsou chromany, dichromany, křemičitany, dusitany a fosforečnany, většinou se jedná o anodické inhibitory. Anodické inhibitory se používají jako látky, které zpomalují anodickou, tedy korozní reakci. Uplatnění nachází především



v neutrálních roztocích, kde vytvářejí nerozpustné produkty, které následně chrání povrch materiálu před jeho další korozi. Úprava napájecích vod vodních chladiců se takto upravuje. Anorganické inhibitory mají vysokou účinnost i při nepatrné koncentraci.

Anodické inhibitory musí být v roztoku v dostatečném množství, při poklesu koncentrace pod určitou hodnotu vykazují spíše opačný efekt. Dochází tak k podpoře koroze a nerovnoměrného napadení povrchu. Anorganické inhibitory mají vysokou účinnost i při nepatrné koncentraci.

Dalším typem jsou organické inhibitory, které zpomalují korozní reakce jak anodickou, tak katodickou. Organické inhibitory spadají pod adsorpční inhibitory, adsorbují se na povrch materiálu a odstraňují korozní činitele, převážně kyslík. Tento proces se nazývá destimulace. Jednodušší organické inhibitory nachází uplatnění v kyselých prostředích při moření kovů, nebo jako dočasná ochrana kovových materiálů proti korozi. Tyto inhibitory mají krátkodobé účinky, avšak dlouhodobou ochranu proti korozi. Složitější organické inhibitory mají dlouhodobý účinky a využívají se jako posaditiva, tzv. přídavek do dispergované nátěrové hmoty, kterou pak není nutné dispergovat. [4,5]

Katodické inhibitory slouží jako zpomalovače katodických reakcí (depolarizační). V neoxidačních kyselinách se používá antimon a arzen, který zpomalí vylučování vodíku, a tedy katodickou reakci. V neutrálních roztocích se tvoří vápenaté a zinečnaté ionty, zpomalí se tak kyslíková depolarizace. Stejným způsobem se chovají i polyfosforečnany.

Organické kyseliny se používají v ropném a plynárenském průmyslu, ve výrobním procesu jako rozpouštědla vodního kamene. Vzhledem k tomu, že jsou tyto organické kyseliny korozivní, do těchto prostředí se zavádějí inhibitory koroze, aby se minimalizovalo poškození kovového povrchu. TLC (Top of the Line Corrosion) je fenomén celosvětového významu v odvětví těžby ropy a zemního plynu a je zdrojem zrychlené koroze v plynovodech. Zde se používají inhibitory na bázi dusíku. [17,18]

Účinnost a působení inhibitorů je dáno korozním systémem, tedy kovem a prostředím a je ovlivněno koncentrací a teplotou prostředí. Často se používá směs inhibitorů v přítomnosti více kovů, nebo k dosažení silnějšího účinku inhibitorů. Hodnocení účinků inhibitorů se provádí podle hmotnostních a rozměrových změn po expozici kovu v korozním prostředí. Tímto hodnocením se zabývá norma ČSN 03 8102. Účinnosti inhibitorů pro měření oceli se zabývá norma ČSN 03 8191. [1,5]

#### **2.4.2. Opatření ovlivňující konstrukci**

Vhodný konstrukční postup a zásady může značně ovlivnit korozivzdornost předmětu. Jako první zásadu lze zmínit volbu vhodného konstrukčního materiálu. Při jakékoliv konstrukci

je nutné zvolit materiál podle prostředí, kde bude předmět vystavován. Korozivzdornost u čistých kovů je dána vnitřní stavbou atomů. Korozivzdornost slitin je dána především chemickým složením. Čistý kov se v agresivním prostředí může chovat různými způsoby. Kov je zcela odolný proti korozi z důvodu termodynamické stability, mezi tyto kovy patří zlato, stříbro, platina, paladium, rtuť a měď. Kov je poměrně odolný proti korozi, jelikož se pasivuje. Pasivaci kovů lze definovat jako samovolné nebo řízené vytvoření oxidační vrstvy na povrchu kovu, který ho chrání před vnějším prostředím. Tato oxidová vrstva může zpomalit až zcela zabránit korozi kovů. Za určitých podmínek lze každý kov převést do pasivační vrstvy. Takový kov je odolný, z důvodu vytvoření málo rozpustných produktů koroze, které chrání materiál před další korozi. Kov je odolný, protože je homogenní, neobsahuje žádné další příměsi kovů.

Vícefázové slitiny se skládají z většího množství chemicky i fyzikálně různorodých složek, které se chovají odlišně. Tyto slitiny nejsou odolné vůči koroznímu prostředí. Existují i výjimky, které jsou vůči tomuto prostředí odolné, například křemíková litina zvaná silumin.

Jednofázové slitiny jsou vhodným řešením z hlediska odolnosti proti korozi. Pokud se u jednofázových slitin složených ze dvou složek přidává do původního kovu, který není chemicky odolný v daném prostředí, větší množství kovu, který je korozně odolný v daném prostředí, jeví se celkový účinek slitiny skokem, nikoliv spojitě. [4,5]

Legované oceli a litiny jsou odolné i velmi agresivním prostředím. Hlavními legovacími antikorozními přísadami jsou chrom, nikl a křemík, u žáruvzdorných ocelí jsou to chrom, hliník a křemík. Křemík, nikl a chrom usnadňují slitinám jejich přechod do pasivního stavu. [4,5]

Dalším zásadním postupem konstrukce je úprava tvarů a vhodná kombinace materiálů. Chybné konstrukční provedení výrobků může způsobovat urychlení koroze. Mezi hlavní chyby konstrukce patří například: místní přehřívání, vytváření spár, ostré úhly, záhyby, výskyt dutin, nevhodné provedení svárů, nevhodná kombinace spojů a materiálů aj. Správné provedení konstrukce může zamezit koroznímu napadení a může přispět ke kvalitnějšímu ochrannému povlaku. Konstrukce by se měla vyvarovat vzniku pórů nebo štěrbin, kde je možnost výskytu a usazení vody, popřípadě dalších agresivních kapalin. U zařízení, které jsou určeny pro práci s vodou, je třeba se vyvarovat ostrým úhlům a tvarům, které by vedly k turbulencím. Mohlo by zde dojít vlivem tření kapaliny k bodovému ohřevu materiálu a následnému urychlení či vyvolání koroze. Povrch výrobků, které jsou vystaveny atmosférické korozi a budou následně chráněny povlaky, musí mít takový tvar, aby umožnil co nejlepší nanášení a údržbu povlaků. Přednost se zde dává spíše rovným plochám bez ostrých hran a dutin. [4,5]

Vhodná kombinace materiálu je též klíčová pro korozivzdornost materiálu. Při kombinaci různých materiálů se nejčastěji používá spojení kov a dřevo. Dřevo v systému slouží k pohlcení vlhkosti. Při kombinaci dvou kovů rozhodují potenciály a chování v daném prostředí. [4,5]

Konstrukci protikorozní ochrany lze zjednodušeně rozdělit do 4 pravidel. Zamezit přímého kontaktu dvou kovů s odlišným elektrodovým potenciálem, a tak zabránit vzniku makročlánku. Zamezit hromadění vody a vlhkosti, které vede k tvorbě korozních článků. Zabránit vzniku turbulentního proudění. Je-li svařenec rozměrově tepelně nezpracovatelný, je nutno zvolit materiál, který nevyžaduje tepelné zpracování. [1,4,5]

### **2.4.3. Opatření ovlivňující kov**

Opatření ovlivňující kov lze rozdělit na elektrochemickou ochranu a ochranu povlaky. Elektrochemická ochrana je označení pro děj, při kterém dochází ke snižování koroze vhodnou polarizací kovu. Tato ochrana se používá převážně u zařízení, které plní svou funkci ve vodě nebo v zemi. K elektrochemické ochraně je třeba přítomnost katody a anody v elektrolytu. Elektrolyt neboli elektricky vodivé prostředí udává potenciálové rozmezí, ve kterém může probíhat koroze kovů. Změnu průběhu koroze lze dosáhnout v případě polarizace kovu, která způsobí změnu potenciálu. Tuto změnu potenciálu lze popsat dvěma případy. První případ nastává, je-li kov s nižší hodnotou potenciálu převeden do oblasti imunity, zde je koroze zastavena z důvodu nevhodných termodynamických podmínek. V druhém případě, je-li kov se zvyšujícím se kladným potenciálem vystaven koroznímu prostředí nastává rostoucí intenzita koroze, dokud nedosáhne hodnot, která náleží oblasti pasivity. Tato oblast pasivity se vyznačuje odolností proti korozi. Převedením některých kovů do této oblasti pasivity je dokonalá ochrana kovu proti korozi. Základním principem ochrany je průchod elektrického proudu chráněným kovem. Elektrický proud má za následek změnu elektrodového potenciálu kovu a korozního prostředí v blízkosti kovu. Pokud systémem protéká stejnosměrný proud může snižovat korozi až dokonce zastavit korozi. Pasivita kovů jakožto ochrana kovů může být vhodná, avšak i nevhodná. Pasivita kovů je vhodná při korozi oxidačního charakteru, jako je například v přítomnosti kyslíku, oxidu uhličitého, oxidu siřičitého atp. U chemických pochodů jako je například tavení v galvanických lázních je pasivita kovů nevhodná. Elektrochemická ochrana se rozděluje na katodovou ochranu a anodovou ochranu. [4,5]

#### **2.4.3.1. Anodová ochrana**

Princip anodové ochrany spočívá v převedení chráněného materiálu do pasivní oblasti pomocí anodické polarizace. Systém anodové ochrany se skládá ze stejnosměrného proudu, který protéká v celém obvodu anody, která je tvořena chráněným předmětem, katody a snímače

potenciálu. Anodické ochrany se využívá u kovů, které jsou schopné pasivace a u nichž pasivní oblast je výhodnější a má-li lepší vlastnosti než aktivní oblast. Pasivace vzniká dvěma způsoby. První způsob, jak lze pasivace dosáhnout je spojení chráněného předmětu (anody) s materiálem, jehož potenciál se vyskytuje v pasivační oblasti. Druhým, více používaným způsobem pasivace je využití stejnosměrného elektrického proudu, který má za následek posun elektrodového potenciálu materiálu do pasivační oblasti. Anodická ochrana nachází uplatnění především při plnění funkce materiálu ve vodném prostředí. [1,4,5]

#### **2.4.3.2. Katodová ochrana**

Princip katodové ochrany spočívá v převedení chráněného materiálu do oblasti imunity pomocí katodové polarizace. Katodická ochrana nachází častější využití než anodická ochrana, především pro zvýšení korozivzdornosti materiálu v půdě nebo ve vodě. Katodické ochrany lze dosáhnout dvojitým způsobem, tzv. obětovanou anodou nebo vnějším zdrojem elektrického proudu. [1,5]

Katodová ochrana s obětovanou anodou funguje na principu protikorozní ochrany materiálu oxidací anody. Obětovaná anoda se někdy nazývá jako protektor. Principem této ochrany je vytvoření galvanického článku a vnitřního elektrického zdroje, který je dán elektrolytem a korozním prostředím. V galvanickém článku se nachází anoda, která je tvořena kovem s nižším elektrodovým potenciálem a je tedy méně ušlechtilá, jedná se většinou o zinek, hliník a hořčík, popřípadě slitiny těchto kovů. Katodou je pak kov, který má vyšší elektrodový potenciál a je tedy více ušlechtilá například ocel. V galvanickém článku tak dochází k oxidaci a spotřebování anody a následné vytvoření vrstvy na katodě, z toho důvodu je třeba obětovanou anodu do systému doplňovat. Katoda je tak chráněna vůči korozním činidlům. Někdy tato ochrana bývá nazývána jako ochrana obětovanými povlaky. Výhodou této ochrany je nepřítomnost vnějšího elektrického proudu, avšak anoda a chráněný předmět musí být v blízkosti.

Zinkové anody se používají pro ochranu ocelových konstrukcí. Hliníkové anody se používají pro ochranu trupu lodí a konstrukcí v agresivnějším prostředí např. pobřeží a přístavy. Železné anody s vysokým obsahem křemíku se používají pro ochranu potrubí v půdě. Hořčíkové anody se používají pro ochranu rozvodů plynu, nafty a vody. [4,5]

Katodová ochrana vnějším zdrojem elektrického proudu je velmi podobná katodové ochraně obětovanou anodou, rozdíl je však v původu elektrického napětí. V tomto případě je původ elektrického napětí vnitřní stejnosměrný proud. Princip této ochrany spočívá v převedení ochranného předmětu na katodu pomocí připojení k zápornému pólu elektrického napětí. Pomocná anoda je pak připojena ke kladnému pólu elektrického napětí v korozním

prostředí, kde podléhá korozi. Výhoda této ochrany spočívá ve stejnosměrného proudu, který nám umožňuje umístění anody od chráněného předmětu až několik kilometrů daleko. Pomocné anody jsou většinou tvořeny z grafitu nebo oceli. [1,4,5]

## **2.5. Ochranné povlaky**

Poslední možností ochrany materiálu vůči korozi jsou antikorozní ochranné povlaky. Tato ochrana je v dnešní době nejvíce používaná, zkoumaná, inovovaná a jsou do ní i investovány největší finance. Důvod je jednoduchý, jedná se o nejlepší možnost ochrany proti korozi, a navíc můžeme použít materiál s požadovanými vlastnostmi bez ohledu na korozivzdornosti. Aby byla docílena nejlepší možná vlastnost povlaku ať už odolnost vůči korozi, adheze, přilnavost atp. je třeba kov před aplikací ochranného povlaku vhodně předupravit. [1,2]

### **2.5.1. Povrchová předúprava kovů**

Mezi základní povrchové předúpravy kovů patří opracování a zpracování kovu.

Opracování kovů jsou úkony, které mechanicky odstraňují zbylé částí na povrchu kovu, ve většině případech se jedná o okuje a korozní zplodiny. Tímto způsobem zlepšíme přilnavost povlaku na kov, jelikož pokud se na kov vyskytují nečistoty, jako jsou například: mastnoty, okuje, korozní zplodiny, staré nátěry atp. zhoršuje se tím přilnavost nátěru ke kov. Mezi základní povrchové opracování kovů patří následující metody.

Oklepávání, čímž dochází k odstranění rzi a zbytku starých nátěrů pomocí oklepávacího kladívka nebo pneumatického oklepávače.

Kartáčování, které se většinou provádí po oklepání materiálu, se používá pro odstranění rzi a dalších nečistot. Kartáčováním nelze očistit okuje. Většinou se postupuje ve dvou fázích. V první fázi se kartáče silnějšími dráty a následně v druhé fázi se provádí dočištění jemnými dráty.

Frézování, což je jedna z neúčinnějších metod předúpravy kovu. Frézování se provádí lamelovou frézou, kterou se čistí materiál bez poškození, při dostatečném kartáčování se zajišťuje velmi dobré odrezení povrchu. Odstraňuje se tímto způsobem pouze povrchová koroze, stejně jako u ostatních případů. Lamelová fréza je otáčivá hlavice složená z lamel, což jsou silné drátky nebo tělíška různých tvarů.

Broušení, kterou se z povrchu kovu odstraňují drobné třísky. Brusiva dělíme na volné a vzájemně pojené (brusné papíry a plátna). Broušením lze odstraňovat nečistoty z povrchu kovu, jako jsou například nečistoty a korozní zplodiny, ale také slouží k upravování a zarovnání povrchu kovu, čímž získáváme optimální drsnost povrchu. Broušení kovů se provádí za sucha

i za mokra. Broušení a leštění spolu úzce souvisí a soustředí se na ně nové mechanizované metody. Podle drsnosti povrchu se brousící a leštící materiály rozdělují na brousící materiály, u nichž se dosahuje drsností u povrchů  $<1,6 \mu\text{m}$ . Předlešťovací materiály, u kterých se dosahuje u povrchů drsnosti mezi  $1,6$  až  $0,2 \mu\text{m}$ . Leštící materiály, u nichž se dosahuje u povrchů drsnosti mezi  $0,2$  až  $0,05 \mu\text{m}$ . Čistící prostředky, u kterých se dosahuje u povrchů zrcadlového lesku, občas se tato metoda nazývá jako lapování

Leštění je metoda, při které je odstraňování třísek minimální. Při leštění dochází ke styku předmětu s kotoučem, kde vlivem tření dochází k zahřívání povrchu kovu a následného lokálního tavení. Vlivem zvýšené teploty dochází na malé stykové ploše k elastické i plastické deformaci.

Omílání je metoda, která se využívá a je možná jen u členitých a drobných předmětů. Princip této metody spočívá v nárazech omílacích tělísek na povrch předmětu. Výsledek této metody je například zaoblení stran a vyhlazování povrchu.

Tryskání je metoda, která spočívá ve vrhání vhodného tryskacího materiálu dostatečnou rychlostí na povrch předmětu. Po dopadu tryskacího materiálu dochází k uvolnění nečistot a korozních zplodin z povrchu předmětu, ale také k plastickým deformacím předmětu. Otryskání způsobí i zdrsňení předmětu, které však musí být následně upraveno, jelikož příliš velké zdrsňení povrchu nám zhorší přilnavost i ochrannou funkci nátěru. Tyto vrcholky nerovnosti povrchu jsou totiž buď kryty velmi slabou vrstvou nátěru, nebo úplně vyčnívají z nátěru a stávají se tak zárodky koroze.

Další možností předúpravy povrchu před aplikací povlaku je zpracování. Zpracování spočívá v upravení povrchu pomocí chemikálií nebo teplem. Mezi základní povrchové zpracování patří následující metody.

Moření je metoda, při které se kov ponoří do mořidla, kterým je nejčastěji kyselina chlorovodíková. Jako mořidla se používají i kyselina sírová, fosforečná, dusičná, fluorovodíková atp. Moření se provádí i v alkalickém prostředí kde je lázeň tvořena nejčastěji směsí hydroxidu sodného a kyanidu sodného. Tato metoda se někdy nazývá též jako odokujování, jak už z názvu vyplývá metoda je založena na odstranění okují a korozních zplodin. Hlavním principem této metody je přeměna nerozpustných zplodin na rozpustné zplodiny ve vodě. Mořením lze odstranit okuje, které vznikají při výrobě ocelí a kovů při vysokých teplotách tak i korozní produkty vznikající atmosférickou korozí. Okuje jsou korozní zplodiny složeny z různých oxidů kovů, které se v kyselinách rozpouštějí. Například u železa jsou okuje tvořeny z oxidu železnatého, oxidu železitého a oxidu železnatoželezitého.

Kalení je metoda, která se využívá u ocelí. Hlavní princip spočívá v ohřátí oceli na tzv. kalící teploty a prudkého ochlazení. Výsledná ocel získává na tvrdosti, ale stává se křehká.

Odrezování funguje na stejném principu jako moření. Rozdíl je v tom, že při odrezování se zbavujeme rzi a u moření okují. Rez je produktem atmosférické koroze oceli a v kyselinách je jejich rozpustnost mnohem jednodušší než u okují. Z toho důvodu lze použít i koncentrované kyseliny a doba odstranění rzi je kratší. Kyseliny používané k odrezování jsou totožné s kyselinami používané při moření, jsou to kyselina sírová, chlorovodíková a fosforečná. Alkalické odrezování se nevyužívá, jejich účinnost není dostatečná.

Opalování plamenem je metoda, která se osvědčila hlavně při kombinaci s odrezováním. Je totiž dokázáno, že při změně teploty dochází vlivem odlišné tepelné roztažnosti okují a oceli k popraskání okují a tím se z kovu následně lehce odstraňují. Mimo to dochází i k odpaření vody z korozních zplodin a tím se urychluje popraskání okují.

Odmašťování je metoda, která spočívá ve vyčištění povrchu od jakýkoliv nečistot, mastnot aj. Je známo, že jakákoliv nečistota, která nemusí být korozního původu zhorší vlastnosti nátěru. Může to být obyčejná mastnota nebo nečistoty z výrobních linek, prach, saze a jiné. K odmašťování se používá mnoho látek, přičemž běžně dostupné látky jsou benzínový čistič, aceton, toluen a jakékoliv rozpouštědlo či ředidlo. Jsou totiž nečistoty jako je olej a mastnota, která se mechanickou cestou nedá vyčistit. Pokud se bude mastnota čistit mechanicky, může dojít ke kontaminaci například kartáče a následného přenesení na jiný materiál. S odmašťováním souvisí i povrchové napětí. Povrchové napětí souvisí i s adhezí nátěru, čím vyšší povrchové napětí máme tím lépe nátěr přilne k povrchu. Olej a mastnota způsobuje snížení povrchového napětí a tím i zhoršení adheze nátěru. [1]

### **2.5.2. Povrchová úprava povlakem**

Pokud je materiál vhodně předupraven přichází řada na povrchovou úpravu povlakem. Ochranné povlaky se podle chemického složení dělí na anorganické kovové povlaky, organické povlaky a anorganické nekovové povlaky.

Často se používá i kombinace více povlaků pro lepší požadované vlastnosti, ať už odolnost vůči korozi, otěruvzdornost, pevnost povlaku, odolnost vůči chemikáliím aj. Jako příklad lze uvést troj povlak tvořený z mědi, niklu a chromu. Chromový povlak je tvrdý, odolný vůči korozi a otěruvzdorný. Chromový povlak je ale nekompaktní a tvoří póry, z toho důvodu je třeba předmět nejdříve pokovovat tzv. mezivrstvou, na které chrom dobře drží, tou je předešlá vrstva mědi a niklu. Kovový povlak mědi se převážně používá jako mezivrstva pro vrstvy další. Kombinace organických a anorganických povlaků se uplatňuje jako katodická ochrana. Katodická ochrana je dražší než anodická ochrana, a naopak anorganické a organické povlaky

levnější než kovové povlaky. V dnešní době se také velmi často používají kompozitní povlaky. Například grafen v antikoročních kompozitních povlacích má široké uplatnění díky svým vynikajícím fyzikálním, elektrickým, mechanickým a chemickým vlastnostem výsledného povlaku. [1,2,19]

## 2.6. Kovové zinkové povlaky

Zinek se v periodické tabulce značí jako Zn a jeho latinský název je Zincum. Jedná se o měkký a lehce tavitelný kov, což souvisí s jeho teplotou tání, která je 420 °C. Zinek je modrobílý lesklý kov, avšak na vzduchu lesk ztrácí. Vyskytuje se v hexagonální krystalické mřížce. Zinek je za normální teploty křehký, při teplotě od 100-150 °C se stává tažným a lze ho válcovat na plechy, popřípadě vytahovat na dráty, nad 200 °C je zinek tak křehký že ho lze rozetřít až na prach. Zinek je tepelně i elektricky vodivý, jeho vodivost lze výrazně zlepšit při teplotách pod 0,875K, což odpovídá -272 °C, kdy se stává supravodivým. Hustota zinku je 7,14 g/cm<sup>3</sup> a bod varu 906 °C. Zinek je v silných minerálních kyselinách rozpustný, na vzduchu je stálý pokryje se vrstvičkou oxidu, která ho brání proti vzdušnému kyslíku i vodě. Rozpustnost zinku je i v hydroxidech a amoniaku, tím lze říct, že je amfoterní, rozpouští se jak v kyselinách, tak i v zásadách. Zinek čistoty v řádech 99,99 % je nerozpustný v kyselinách a zásadách nebo se rozpouští jen velmi pomalu. Z tohoto důvodu se často používá zinkování nebo také pozinkování, což je vytvoření kovové vrstvy zinku na ocelích, železe aj. Zinkové vrstvy nachází svá uplatnění hlavně v atmosférické korozi, díky své odolnosti proti kyslíku a vodě. Pokud je zinkový povlak zhotoven z velmi čistého zinku lze jej použít i do agresivnějšího prostředí, jelikož odolává i kyselinám a zásadám. Při styku železa se zinkem ve vlhkém prostředí se vytváří elektrický člunek a koroze tak probíhá pouze na zinkové vrstvě, tato ochrana působí až do úplného rozpuštění zinkové vrstvy. Zinkování se uplatňuje v automobilovém průmyslu. Své uplatnění nachází i při povrchové úpravě sloupů, okapů, zábradlí atp. Zinek je neomezeně mísitelný a tvoří s mnoha kovy slitiny někdy i sloučeniny. [5,20]

Organické nátěry s vysokým obsahem zinku jsou jedním s nejpoužívanějších povlaků pro ochranu kovu proti korozi. Dalším typem jsou zinkové kovové povlaky. Často se i kombinuje s organickými nátěry, kde plní antikoroční účinky a používá se jako mezivrstva. Očekává se, že superhydrofobní povrchy budou účinnou technologií pro ochranu kovů v mořských oblastech. Studie ukazuje, že konstrukce kompozitního povlaku složeného ze zinkového povlaku a superhydrofobního povlaku má vynikající ochranu proti korozi. Mechanismus koroze zinku závisí na koncentraci ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) iontů. Při nižší koncentraci je koroze



pod katodickou kontrolou ( $0,1\text{M}/\text{dm}^3$ ) a při vyšší koncentraci je pod anodickou kontrolou ( $0,5\text{M}/\text{dm}^3$ ). [21,22,23]

Zinek se vyskytuje v zemské kůře a ve formě rud. Hlavní rudou pro výrobu zinku je sfalerit (sulfid zinečnatý) nebo wurtzit, který má stejné složení ale jinou krystalovou modifikaci. Dalšími rudami zinku jsou smithsonit (uhličitan zinečnatý), kalamín křemičitý (hydrát křemičitanu zinečnatého), willemmit (křemičitan zinečnatý), zinkit (oxid zinečnatý) a vzácně se může vyskytovat i elementárně.

Zinek se nejčastěji vyrábí pražením sfaleritu (sulfidu zinečnatého) za přístupu kyslíku, podle rovnice číslo 4.



Oxid zinečnatý se dále redukuje koksem nebo se elektrolyticky zpracovává. Vzniklý oxid siřičitý se používá pro výrobu kyseliny sírové. Elektrolytické zpracování spočívá v rozpuštění oxidu zinečnatého v kyselině sírové a následně se vzniklý roztok síranu zinečnatého elektrolyzuje. Vzniklý zinek s čistotou 99,95 % se vylučuje na hliníkové katodě.

Redukce koksem se využívá ve vysoké peci, kde zinkové páry opouští pec a jsou následně rychle ochlazovány. Zinek čistoty 99,99 % se pak destiluje. Redukce koksem probíhá podle reakce číslo 5. [4,5,20]



### 2.6.1. Galvanické (elektrolytické) zinkování

Principem galvanického pozinkování je vytvoření galvanické lázně, která je tvořena anodou, katodou a zdrojem stejnosměrného elektrického proudu. Anoda je tvořena čistým zinkem ve formě desek nebo tyčí. Katoda je tvořena předmětem, který chceme pozinkovat, převážně z oceli. Galvanizace pracuje na základě rozdílných elektrochemických potenciálů kovů obsažených v lázni, kdy kov méně ušlechtilý v tomto případě zinek se rozpouští (oxiduje) do elektrolytu a vytvoří se tak zinečnaté soli, které se následně redukují na oceli a vytvoří zinkový povlak. Zinková anoda je donorem zinečnatých solí v roztoku a je tím pádem rozpouštěna a spotřebována. [1,24]

Zinkové povlaky se většinou vylučují z kyanidových lázní, pro speciální účely z kyselých lázní. Kyanidové lázně se skládají z kyanidu zinečnatého, kyanidu sodného, hydroxidu sodného a sulfidu sodného, jedná se o alkalickou lázeň. Kyanidové lázně mají dobrou hloubkovou účinnost, snadnější regeneraci a kvalita vyloučených povlaků je lepší než z kyselých lázní. Kyselé lázně jsou složeny z heptahydrátu síranu zinečnatého, chloridu amonného, kyseliny trihydrogen borité a oktadekahydrátu síranu hlinitého. Kyselé lázně mají malou hloubkovou účinnost a špatnou krycí schopnost. Kyselých lázní se využívá pro zinkování

plechů, předmětů s jednoduchými tvary a drátů. Často se využívá hybridních zinkových povlaků s nanočásticemi hydrátu oxidu hlinitého pro zvýšení odolnosti povlaků. Použití povlaků Zn-Mn nebo Zn-Co má za následek zvýšenou ochranu výsledného povlaku vůči korozi na železném podkladu než čisté zinkové povlaky. [1,24,25,26]

Vytvořený zinkový povrch je hladký a podle leskutvorných přísad v lázních matný, pololesklý až lesklý. Zinkové povlaky se podle korozního prostředí vylučují v tloušťkách 7-30  $\mu\text{m}$ . Povlaky tloušťky 30  $\mu\text{m}$  se využívají při přímém styku s povětrností, 15 $\mu\text{m}$  povlaků se využívá, pokud nejsou vystaveny přímé povětrnosti, 7 $\mu\text{m}$  povlaků se využívá pro interiéry. Pozinkované předměty jsou antikorozi a odolávají atmosférickému prostředí a často se chromátují z důvodu následného skladování a transportu. Pro zvýšení životnosti těchto předmětů ve venkovním prostředí se často zinkový povrch opatřuje organickým nátěrem. [1]

### **2.6.2. Žárové zinkování**

Žárové zinkování, je metoda vytváření zinkového ochranného povlaku pomocí roztaveného zinku. Tato metoda je doposud nepřekonaná ochrana oceli proti korozi. Podle způsobu vytvoření zinkového povlaku se metoda dělí na žárové stříkání zinkem a žárové zinkování ponorem. Zinkováním se zabývá mezinárodní zinkovací norma EN ISO 1461. [1,27]

#### **2.6.2.1. Žárové stříkání zinkem**

Tato metoda spočívá v nanášení roztaveného zinku pomocí pistole, většinou plynové nebo elektrické.

Zinek se dodává do pistole ve formě drátů nebo prášku. K tavení zinku dochází hořením elektrického oblouku mezi dvěma vodivými dráty v elektrické pistoli. Roztavené zinkové dráty v pistoli jsou stlačený vzduchem a následně nastříkány na povrch, kde vytváří zinkový povlak. Tato metoda se nazývá elektrometalizace a je oproti plamenovým nástřikem až o 90% levnější.

Nástřík plamenem se provádí v plynové pistoli, kde zdroj tepla vyvíjí propanbutan, kyslík nebo aceton. Plyny v pistoli vytváří vysoký tlak, díky němuž je roztavený zinek rozprašován na povrch, na kterém se vytváří zinkový povlak.

Obě výše zmíněné metody se využívají pro vytvoření zinkového povlaku, který chrání předmět, nejčastěji ocel proti vlhkosti a kyslíku, nachází uplatnění na předmětech vystavených v atmosférickém prostředí. Vytvořený povlak lze zhotovit v tloušťkách 30-300  $\mu\text{m}$  a je odolný i vysoce agresivnímu prostředí. Jedná se o katodickou ochranu z důvodu rozdílných elektrochemických potenciálů oceli a zinku. [1,27,28]

### 2.6.2.2. Žárové zinkování ponorem

Žárové zinkování ponorem je nejpoužívanější způsob ochrany oceli proti korozi. Už v roce 1741 zjistil francouzský chemik Melouin, že ocel lze chránit zinkem. Tato metoda však nebyla moc použitelná až do roku 1837, kdy francouzský chemik Sorel do metody přidal fakt, že je třeba ocel předupravit mořením v kyselině a ponorem do tavidla. Jako tavidlo se používá chlorid amonný a slouží k odstranění oxidových vrstev jak oceli, tak i vytvořené zinkové vrstvy. Po této předúpravě se ocel ponoří do roztaveného zinku při teplotě okolo 450 °C a na oceli se tak vytvoří povlak tvořený ze slitinových fází zinku a oceli a na vnější straně antikorozní vrstva čistého zinku. Vzniklá vrstva dosahuje tloušťky až 3000 μm, kterou lze ještě zvýšit, pokud použijeme ocel s vyšším obsahem křemíku, avšak ten způsobuje křehkost povlaku.

Mezi hlavní přednosti a výhody žárového zinkování ponorem je dlouhá životnost s úbytkem 13 μm/rok v korozním prostředí, skvělá hloubková účinnost (povlak je rovnoměrný i na místech těžko dostupných), mechanická odolnost, odolnost atmosférickému prostředí, možnost kombinace s dalšími nátěry, nízké náklady, možnost sváření aj.

Mezi nevýhody patří barevnost zinkové vrstvy, kterou lze změnit jen aplikací dalšího nátěru, svařování se provádí odlišným způsobem než nepozinkované oceli a limit rozměrů předmětu tak, aby se vešel do zinkovací lázně. [1,27,28]

### 2.6.3. Difúzní zinkování

Difúzní zinkování se někdy nazývá také jako sherardizace. Princip vytvoření této kovové vrstvy začíná u očištění a odmoření ocelových součástí a následného vložení do bubnu společně se zinkovým prachem a pískem. Buben se začne otáčet a zahřívá na teplotu 300-500 °C těsně pod teplotou tání zinku, kdy dojde k reakci se železem a zinkem. Na ocelovém povrchu se následně tvoří povlak slitiny železa a zinku. Vzniklý povlak má tmavošedou barvu a dosahuje tloušťky okolo 15-40 μm. Tato metoda se vyznačuje dobrou přilnavostí a hloubkovou účinností.

Povlaky niklové s difúzním zinkem se využívají pro zvýšenou tepelnou a korozní odolnost. Tato metoda spočívá ve vytvoření hladkého niklového povlaku, na kterém se následně vytvoří zinkový povlak. Poté dochází k zahřátí výsledného Ni-Zn povlaku a vlivem vysoké teploty dojde k difúzi zinku do niklového povlaku. Vlastnosti povlaku jsou totožné s galvanickým povlakem, jsou odolné proti korozi a jsou často chromátovány z důvodu transportu nebo je vytvořena další vrstva většinou organického původu z důvodu zvýšení odolnosti vůči korozi. [1,29]

#### **2.6.4. Mechanické zinkování**

Proces mechanického zinkování je podobný s difúzním zinkováním, odmaštěná ocel se vkládá do rotačního ocelového bubnu s plastovou výstelkou společně se skleněnými kuličkami do kyselého čistícího prostředku k odmoření. Dalším krokem je pomědění oceli. Když je ocel odmaštěna, odmořena a poměděna dochází k omílání ve vodní lázni s přídavkem zinkového prachu, skleněných kuliček a vhodné chemické látky. Skleněné kuličky naráží na povrch oceli, kde způsobují spojení zinku s ocelí ve formě zinkového povlaku. Vytvořený povlak dosahuje tloušťky okolo 15  $\mu\text{m}$  a je vytvořený během pár minut. Povlak se vyznačuje dobrou hloubkovou účinností, matností a korozivzdorností. Omezení tohoto procesu je stejné jako u difúzního zinkování dané rozměrem upravovaných předmětů a bubnů. Často se zinkové povlaky tepelně zpracovávají, pro zlepšení výsledných vlastností. Při zahřívání na 340 °C dochází ke změně mikrostruktury mechanicky zinkového povlaku a vytváří se mezifázová vrstva. Zinkové povlaky tepelně zpracované mají vyšší odolnost vůči korozi než zinkové povlaky bez tepelného zpracování. [1,30]

#### **2.6.5. Zinkování ve vakuu**

Zinkování ve vakuu je příkladem speciálního zinkování, jehož použití se moc nevyužívá. Podstatou procesu je odpařování zinku ve vysokém vakuu a kondenzací par na chladný povrch předmětu. Technologický postup zinkování ve vakuu je dokonalé předupravení povrchu materiálu a následná tvorba vakua v komoře. V první fázi dochází k eliminaci nečistot a plynů z komory pomocí výboje vysokého napětí a následně dochází k odpaření zinku. Finální fází je kondenzace zinku na studený povrch předmětu ve vzduchové komoře. Pro odpařování se používá zinek nejvyšší čistoty, okolo 99,99 % jako jsou dráty, pásy nebo práškový zinek. Vytvořený povlak má tloušťku okolo 1-3  $\mu\text{m}$ . Výhodou je vytváření povlaku i na nekovový materiál. [1,31]

### **2.7. Anorganické nekovové povlaky**

Vytváření anorganických nekovových povlaků slouží k ochraně předmětu bariérově nebo pasivací. Podle způsobu vzniku povlaku je následně dělíme na keramické povlaky a konverzní povlaky, které lze definovat jako povlaky vytvořené chemickou, popřípadě elektrochemickou reakcí kovu s prostředím. [1,32]

#### **2.7.1. Konverzní povlaky**

Při tvorbě konverzních povlaků je nutností mít předem očištěný předmět od mastnot, korozních zplodin, nečistot aj. Často se však stává, že už při sušení vyčištěného povrchu kovu dochází k tvorbě oxidů na mědi a mosazi a na oceli ke korozním pochodům. Pokud by

se takovýto znečištěný povrch upravoval nátěrem mohlo by dojít ke vzniku korozního článku a k rozšiřování koroze pod nátěrem. Je tedy pravidlem tam, kde je zvýšená pozornost na odolnost proti korozi a přilnavosti nátěru, vytvořit po vyčištění předmětu konverzní povlak (chemická vrstva pod nátěry). Konverzní povlak se většinou vytváří chemicky, kdy se kov ponořuje do příslušných roztoků, popřípadě solí nebo se jimi potírá nebo postříkuje. Vytvořené konverzní povlaky dosahují monomolekulární až 10 μm tloušťky a mohou mít dvojí funkci. [1,4,5]

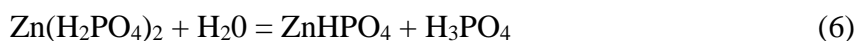
Zvyšují odolnost proti korozi. Konverzní povlaky chrání předmět před vnějšími vlivy a vzniku koroze ještě před nátěrem, což se využívá třeba při skladování výrobků. Pokud dojde k lokálnímu poškození nátěru, výrazně to sníží rychlost koroze a bude omezena pouze na poškozeném místě.

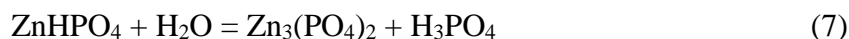
Zvyšují přilnavost nátěru. Pokud bychom natírali neupravený povrch, byl by výsledný nátěr ukotven na předmětu mechanicky. Je pravidlem že hrubší povrch poskytuje lepší ukotvení nátěru, ale také to vede k vytvoření nerovnoměrné vrstvy a větší spotřebě nátěru. Na neželezných kovech a hladkém povrchu je přilnavost nátěrů zvláště špatná. Pokud se bude nanášet nátěr na konverzní povlaky, zlepší se přilnavost nátěru, jelikož tyto ochranné vrstvy jsou pórovité a umožní tak lepší zakotvení nátěru na konverzním povlaku než na neupraveném povrchu. [1,4,5]

Všechny tyto aspekty jsou důležité. Pokud chceme zvolit nejvhodnější postup je nutno přihlížet na celou řadu činitelů, jako jsou druh upravovaného kovu, prostředí, kde bude předmět vystaven, mechanické namáhání, předpokládané životnosti výrobku, ekonomické hledisko ale i ekologické hledisko, na které se v poslední době klade velký důraz. [1,32]

#### **2.7.1.1. Fosfátování**

Fosfátování je vytvoření vrstvy nerozpustných fosforečnanů železa, zinku nebo manganu většinou na povrchu oceli a zinku. Vzniklá vrstva je pevně spojená s kovem, je pórovitá, což se využívá jako mezivrstva pro další nátěr. Následný nátěr má možnost zakotvit v pórech fosfátové vrstvy a dobře k ní přilnout. Pokud dojde k lokálnímu poškození nátěru na fosfátové vrstvě je koroze omezena a nešíří se pod nátěrem. Základní fosfátovací látkou je primární fosforečnan zinečnatý, který ve vodě postupně přechází na fosforečnan sekundární a následně na terciální. Primární fosforečnan je dobře rozpustný ve vodě, sekundární fosforečnan je už hůře rozpustný ve vodě a terciální fosforečnan je nerozpustný ve vodě. Reakce fosforečnanů probíhá podle rovnice číslo 6 a 7. [1]





Fosfátování probíhá za horka v lázních, které jsou vytápěny a jsou z ní odsávány výpary. Fosfátové vrstvy na oceli mohou mít různé tloušťky. Tlusté povlaky se používají pro odolnost kovu vůči korozi a chrání tak ocel i bez dalších úprav. Tenké vrstvy se využívají jako pasivační vrstvy a podklad pro další nátěr. Fosfátové vrstvy lze také vytvořit na zinku a za zvláštních podmínek i na hliníku a cínu. Využívá se i tzv. aktivace povrchu kyselinou. Pro slitiny s obsahem hořčíku se používá aktivace kyselinou fosforečnou a následné vytvoření konverzního fosfátového povlaku, kdy výsledný povlak má vynikající odolnost vůči korozi. [1,33,34]

Fosfátování je nejpoužívanějším postupem předúpravy povrchů železných a neželezných kovů. Z důvodu hospodárnosti, rychlosti provozu a schopnosti zajistit vynikající odolnost vůči korozi, opotřebení a přilnavosti hraje významnou roli v automobilovém a spotřebním průmyslu. [35]

#### **2.7.1.2. Chromátování**

Chromátování se používá téměř u všech kovů a jedná se o jednoduchou a levnou úpravu. K vytvoření chromátových pasivačních vrstev se používá roztok šestimocného chromu většinou kyseliny chromové, která se na povrchu kovu redukuje na třímocný chrom a povrch kovu tak oxiduje. Následně se tvoří nerozpustná pasivační vrstva. Čerstvá a vlhká chromátová vrstva je adsorpční a měkká až při sušení postupně vrstva tvrdne a stává se nepropustná pro vodu a vodní roztoky a nesmáčivá. Vrstva tvrdne ihned po usušení a z tohoto důvodu se hodnocení chromátových vrstev provádí až po delší době než hned po usušení. Ihned po chromátování je třeba předmět opláchnout a smýt zbytky kyseliny fosforečné, která ulpěla na povrchu.

Chromátové vrstvy obsahují i šestimocný chrom, který nebyl opláchnut nebo nezreagoval, což má i své výhody. Pokud dojde k poškození povrchu ve vlhkém prostředí šestimocný chrom je částečně a pomalu rozpustný a dochází tak k pokrývání poškozených míst a vytvoření pasivačního povlaku. Avšak při teplotě nad 60 °C ztrácí šestimocný chrom vázanou vodu a praská, tím dochází ke snížení obsahu rozpustného šestimocného chromu a schopnosti zacelit poškozená místa, a tedy i k odolnosti povlaku, ale zvyšuje se mechanická odolnost.

Chromátování se často využívá jako pasivační vrstva pro oceli, měď, mosaz, zinek, hliník, cín a hořčík. Chromátování ocelí se využívá jako pasivační mezivrstva pro další nátěr, častěji se ale používá chromátování fosfátových vrstev pro dosažení lepší odolnosti proti korozi. Hořčík a jeho slitiny se pasivují také chromátováním, a to z důvodu korozivzdornosti. Čistý hořčík je málo odolný proti vnějším vlivům. Pasivace hliníku se provádí spojením oxidace

s chromátováním jako mezivrstva pro další nátěr, čistý hliník má slabou adhezi. Cín se pasivuje z důvodu zlepšení přilnavosti a zvýšení antikoroznosti nátěrů. Nejběžnější je pasivace zinku chromátováním nebo fosfátováním, která slouží jako mezivrstva pro další nátěr. Velmi běžná je i pasivace chromátováním mosazi, což způsobuje odolnost proti korozi, bez dalších nátěrů. Při chromátování neželezných kovů se předupravené předměty ponoří do lázně příslušných solí za studena. Ve výjimečných případech se lázeň přehřívá a chromátování ocelí se provádí za horka. Pasivační vrstvu chromátováním lze vytvořit i postříkem a potíráním. Vytvořená chromátová vrstva může být různého zbarvení a záleží na složení lázně, pH a teplotě roztoku. Je tu i určitá souvislost mezi barevností a tloušťkou nátěru, například norma pro modrý chromát udává  $<0,01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , žlutý chromát  $4-5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  a černý chromát  $10-50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

Modré chromátování je nejpoužívanější typ, který se uplatňuje na předupraveným zinkovým povlaku. Důvod používání spočívá v antikoroznosti, která je až 10x vyšší než u nechromátovaného povlaku.

Žluté chromátování se používá opět kvůli antikoroznosti, která je až 3x vyšší než u modrého chromátování. Můžeme dosáhnout pestřejší škály barevnosti výsledného nátěru od světležluté až po hnědou. Pokud čerstvě chromátové vrstvy ponoříme do koncentrovaného hydroxidu sodného dojde k postupnému odbarvení a vytvoření žlutých až modrých povlaků. Vzniklá barva podle koncentrace hydroxidu sodného:  $1 \text{ g}/\text{dm}^3 \text{ NaOH}$  zlatožlutá,  $5 \text{ g}/\text{dm}^3 \text{ NaOH}$  světležlutá,  $12,5 \text{ g}/\text{dm}^3 \text{ NaOH}$  nažloutlá až bezbarvá a  $25 \text{ g}/\text{dm}^3 \text{ NaOH}$  modrozelená až modrá. U takto odbarvených vrstev dochází ke snížení odolnosti proti korozi, která je však stejně větší než u modrého chromátování.

Černým chromátováním se vylučuje černý matný povlak z důvodu přítomnosti solí stříbra v lázni a je využíváno pro dekorativní účely.

Olivové chromátování je nejvíce odolné vůči korozi. Hlavní výhodou je, že lázeň nepotřebuje žádné drahé kovy nevýhodou je další následné vybarvení. [1,34]

### **2.7.1.3. Cementování**

Cementování nebo také cementace je nasycení povrchu oceli uhlíkem až do 0,25 %. Uhlík se do oceli dodává se formě cementačního prášku, který se tepelně zpracovává při teplotě  $930 \text{ }^\circ\text{C}$ . Rozpustné uhlíkaté látky nebo uhlíkaté plyny jako je propan, butan nebo acetylen, které musí být v inertní atmosféře, aby nedošlo k výbuchu. Cementovaná ocel se následně tepelně zpracovávají a kalí za nízkých teplot, za účelem zvýšení tvrdosti a odolnosti vůči opotřebení, zatímco uvnitř je houževnatá. Tato metoda se využívá převážně u oceli uhlíkové, nízko a středně legované a slitin s obsahem chromu, manganu a niklu. Tloušťka cementované vrstvy

dosahuje 0,05 až 0,8 mm a jedná se o homogenní vrstvu, což znamená, že tvrdost vrstvy zůstává po celé hloubce vrstvy stejná. [31,32,36]

#### **2.7.1.4. Nitridování**

Nitridování je proces, při kterém dochází k chemickému nasycení povrchu oceli a litin atomárním dusíkem. Využití se uplatňuje pro konstrukční součástky, kde zvyšuje odolnost vůči korozi, namáhání a opotřebení a také zvyšuje životnost materiálu. Cílem je vytvořit povrchovou vrstvu, která má vysokou tvrdost a odolnost vůči otěru i za vysokých teplot, často se tato vrstva ještě tepelně zpracovává. Nitridová vrstva dosahuje tloušťky od 0,01 do 0,3mm.

Nitridování spočívá v ponoření materiálu do lázně s obsahem dusíku, například čpavku, kde vlivem zvýšené teploty se rozkládá na atomární dusík a vodík. Tento proces lze uplatnit jen u ocelí, které mají vysokou popouštěcí teplotu, protože se v lázních dosahuje teplot až 600°C. Dalším požadavkem je přítomnost legujících prvků v oceli, jako jsou hliník, chrom, nikl, titan, vanad a molybden. Tyto prvky jsou schopné s atomárním dusíkem vytvořit velmi tvrdé nitridy na povrchu oceli. Nitridová vrstva není homogenní, což znamená, že tvrdost vrstvy s hloubkou klesá. Automobilový, letecký a strojírenský průmysl využívá této povrchové úpravy na součástky. Jako hlavní výhodu lze zmínit, že nitridová vrstva je tvrdší než tvrdost dosažená kalením. Hlavní nevýhodou je finanční náročnost této úpravy. [32,36,37]

#### **2.7.1.5. Nitrocementování**

Nitrocementování je proces, při kterém se vytváří povlak uhlíku a dusíku na povrchu oceli. Povlak se tvoří sycením povrchu oceli ponorem do kyanidových lázní termochemickým procesem při teplotě 750 až 850 °C. Výslednou vrstvu lze ovlivnit teplotou, čím vyšší teplota, tím bude povrch více nasycen uhlíkem a čím nižší teplota, tím bude povrch více nasycen dusíkem. Ocel se po vytvoření povlaku ihned kalí. Nitrocementování se provádí v plynném médiu, v solné lázni nebo v plazmatu. Nitrocementování je rychlejší proces než cementování nebo nitridování, ale výsledná vrstva má nižší tvrdost. [32,36,37]

#### **2.7.1.6. Boridování**

Boridování je chemicky-tepelné zpracování povrchu, které lze využít na téměř všech železných kovech. Princip boridování spočívá v difúzi boru do struktury železných kovů a následné reakce s železem za tvorby velmi tvrdého povlaku o tloušťce 20-250 µm. Celý proces se provádí v komorové peci při teplotě 850-1000 °C. Výsledný povlak je velmi odolný vůči otěru a vysoké teplotě a využívá se ve strojírenství. [38]



### **2.7.1.7. Difúzní sírování**

Jedná se o proces, kdy se povrch oceli sytí sírou a dusíkem pomocí difúzního jevu za vytvoření vrstvy. Difúzní sírování se dělí na sulfinizaci a sulfonitridaci, kdy výsledná vrstva je antifrikční, odolná vůči tření a otěru.

Sulfinizace se provádí ponorem předmětu do lázně, které obsahuje 95 % kyanidu sodného a 5 % bezvodého siřičitanu sodného. Celý proces probíhá 0,5-3 hodiny při 570 °C. Při sulfinizaci je nutné kontrolovat koncentraci síry a kyanidu sodného. Pokud v lázni klesne koncentrace síry pod 0,4 %, bude docházet pouze k nitridování a pokud koncentrace síry stoupne nad 2 %, bude docházet k rozpuštění technického železa místo tvorby vrstvy. Pokud v lázni klesne koncentrace kyanidu pod 25 %, tak dojde k tvorbě siřičitanových okují na předmětu. Z tohoto důvodu je třeba dodávat do lázně siřičitan ale i kyanid. Výsledná povrchová vrstva dosahuje tloušťky až 50 µm. Sulfinizace se provádí v kelímkových nebo vanových pecích, které jsou vytápěny elektricky nebo plynem.

Sulfonitridace se provádí v pecích při teplotě 600 °C po dobu 1-5 hodin, do kterých je vháněn čpavek a sirovodík. Je třeba kontrolovat, zda je koncentrace čpavku nad 50 %, aby se mohlo uvolňovat dostatečné množství dusíku pro difúzi do materiálu. Koncentrace sirovodíku nesmí být vysoká, mohlo by dojít k tvorbě sirovodíkové koroze. [1]

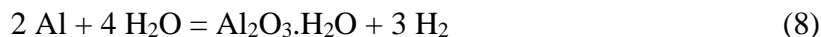
### **2.7.2. Oxidové vrstvy**

Působením vzdušného kyslíku na kov zvláště za vysoké teploty se vytvářejí na povrchu kovu oxidy a oxidové vrstvy, které jsou pevně chemicky spojeny se základním kovem. Jako příklad lze uvést tepelné zpracování oceli, kde na povrchu vznikají okuje nebo působením vzdušného kyslíku za běžné teploty se na hliníku tvoří oxid hlinitý aj. Vzniklý oxid může zajistit i ochranou funkci kovu proti korozi, záleží na druhu a složení oxidu. Problém nastává, pokud dojde k lokálnímu poškození například okují na oceli čímž vzniká korozní článek, který vyvolá rychlou korozi. Dalším problémem je, pokud se nátěr aplikuje přímo na oxidovou vrstvu. Dojde sice v rámci možností k dobré přilnavosti, avšak poškodí-li se nátěr nebo podklad, tak dojde opět k rychlé korozi, která se může šířit i pod nátěrem. Pokud se dodrží správný technologický postup, lze oxidové vrstvy využít pod nátěry. V dnešní době se využívá oxidových vrstev zejména u hliníku a ve výjimečných případech u oceli. [1,32]

#### **2.7.2.1. Oxidace hliníku a oceli**

Oxidovou vrstvu na hliníku lze vytvořit za běžné teploty působením vzdušného kyslíku. Vzniklá vrstva je ale příliš tenká a svými vlastnostmi se v praxi jako mezivrstva nepoužívá. Vlastnostmi praktičtější vrstvu lze vytvořit vroucí destilovanou vodou. Pokud ponoříme hliník na delší dobu do vroucí destilované vody, tak dojde k reakci na povrchu

hliníku, kde se vytváří tzv. „böhmit“ neboli hydrátovaný oxid hlinitý. Reakci hliníku ve vroucí destilované vodě lze popsat rovnicí číslo 8.



Vzniklá vrstva vyniká svými amorfními vlastnostmi, celistvostí a korozivzdorností na kovovém povrchu, které běžný oxid hlinitý vytvořený v destilované vodě postrádá. Jedná se z hlediska jednoduchosti o výhodný proces, avšak nevýhodou je fakt, že s přibývajícím tloušťkou vrstvy se postupně oxidace povrchu zpomaluje, až ukončuje. Z tohoto důvodu nelze vytvořit vrstvu tlustší než 1 μm. Pro vytvoření tlustší vrstvy nebo pórovité vrstvy je třeba do roztoku přidat sloučeniny, které rozpouští vrstvu oxidu, čímž dojde k snadnějšímu přístupu roztoku k povrchu kovu. Pórovité vrstvy se používají jako mezivrstvy pro lepší zakotvení následující vrstvy. Rozpouštědla, která se pro tento způsob využívají jsou alkalického nebo bazického původu. Je třeba během celého procesu kontrolovat pH, mohlo by totiž dojít k příliš rychlému rozpouštění oxidové vrstvy. Jako typické rozpouštědlo hliníku používané v alkalických lázních lze uvést uhličitan sodný. Pro bazické lázně se běžně jako rozpouštědla používají kyseliny fosforečné, fluorovodíkové a fluorokřemičité. Do roztoků se dále přidává kyselina chromová nebo její soli, kde slouží jako oxidační činidlo a vytváří oxidový film a chromátovou vrstvu, která kotví v pórech oxidového filmu a zlepšuje jeho vlastnosti. Při rozpouštění hliníku dochází k vývoji vodíku, z tohoto důvodu se přidává šestimocný chrom do lázně, který usnadňuje rozpouštění hliníku a redukuje se na třímocný chrom. [1]

Vrstvy lze tvořit jak v kyselé, tak alkalické lázni. Při vylučování oxidové vrstvy v alkalické lázni se pracuje při vyšší teplotě a výsledná vrstva vyniká svým vzhledem (chromová šedo lesklá barva) a zakotvením na podkladu. Při kyselém vylučování oxidové vrstvy v lázních se pracuje většinou za běžné pokojové teploty a provádí se ponořením, postříkem, popřípadě potíráním. Tyto technologické postupy se hodí pro předměty větších rozměrů, které se nevejdou do lázni. Tento typ oxidové vrstvy se využívá jako mezivrstva pro lepší přilnavost následné antikoroziční vrstvy. Avšak i samotné vykazují jistou korozní odolnost, přičemž vrstvy vytvořené v kyselých lázních mají vyšší korozní odolnost než vrstvy vytvořené v alkalických lázních.

Působením elektrického proudu lze také docílit tvorby oxidové vrstvy. Při tomto postupu se ve vodivé lázni předmět zapojí jako anoda. Vodivé prostředí se dosáhne naplněním lázně elektrolytem, elektricky vodivou kapalinou například kyselinou sírovou, popř. chromovou a zapojí se na stejnosměrný proud. V lázni vzniká atomární kyslík, který je silnější oxidační činidlo než vzdušný kyslík. Anoda podléhá oxidaci a na povrchu předmětu se vytváří oxidová vrstva, jejíž tloušťka dosahuje 3-20 μm, což je více než u vrstvy vyloučené chemickým

působením. Výsledná vrstva je pórovitá, což zlepšuje přilnavost následné vrstvy a je odolná vůči korozi, samotná se občas používá jako ochrana hliníku proti korozi.

Nejběžnějším typem povrchové úpravy hliníku je eloxování. Eloxování je elektrochemické oxidování hliníku. Tato metoda se využívá pro výrobky z hliníku, popřípadě z duralu. Vzniklá vrstva nepodléhá oxidaci a tím chrání hliník a využívá se nejčastěji v exteriéru. Výhodou je, že se tato vrstva oxidu hliníku po nějaké době vytváří samovolně, a i velmi tenká vrstva vykazuje ochranu proti korozi a povětrnostním vlivům. Eloxová vrstva se vytváří v kyselině sírové, popřípadě chromové a dosahuje tloušťky 0,35-160  $\mu\text{m}$ . Někdy se také používá tzv. dvojeloxového černého povlaku. Metoda spočívá ve vytvoření eloxové vrstvy, která je následně opět eloxována. Výsledný povlak je následně černě zbarven pomocí elektrolytického barvení. Výsledný povlak má vyšší absorbanční schopnosti a tím snižuje rychlost koroze a zvyšuje stabilitu a ochranu povlaku. [1,39]

Vytváření oxidové vrstvy na oceli je poněkud odlišný z hlediska technologického i chemického postupu než u hliníku. Pro dosažení vrstvy na oceli je třeba kontrolovat podmínky a ohřát předmět, přičemž oxidová vrstva se vytváří jako druhotný jev, za předpokladu že je předmět očištěn a zbaven okují. Lze také vytvořit mezivrstvu, a to oxidací oceli pomocí páry. Tato metoda je výhodná pro předměty menších rozměrů. Technologický postup spočívá v odmaštění předmětů a následného zahřátí na 350 °C za přítomnosti páry při tlaku 500 KPa. Celý proces trvá zhruba 20-25 minut a následně se předměty chladí studeným vzduchem. Při povrchové úpravě litin oxidovou vrstvou se postupuje stejně jako u oceli, ale proces trvá déle a je třeba držet teplotu na 650 °C.

Základní typy oxidování povrchu oceli se nazývají černění a hnědění, někdy také „brunýrování“. Vylučování oxidové vrstvy se provádí ponorem oceli do koncentrovaných roztoků hydroxidu sodného za přítomnosti dusičnanu a dusitanu sodného. Vzniklá vrstva se používá jako konečná povrchová úprava a slouží pro dekorativní účely a jistou mírou i jako ochrana proti korozi. Vrstva je charakteristická svou barvou, podle níž je metoda pojmenovaná (černá, hnědá). [1]

### **2.7.3. Smaltování**

Smaltování je povrchová ochrana anorganického povlaku na kovových materiálech. Smalt je křemičitá látka, která svými vlastnostmi připomíná sklo nebo porcelán. Smalt po zahřátí na velmi vysokou teplotu vytváří na povrchu kovu hladký a lesklý povlak. Vzhledem k vynikajícím chemickým i fyzikálním vlastnostem je smaltování doposud nepřekonanou ochranou kovu. Smaltování se využívá pro domácí spotřebiče a v chemickém i potravinářském průmyslu. Smaltová vrstva odolává vůči agresivnímu prostředí jako je vysoká teplota,

přítomnost chemikálií, korozi a slouží i k dekorativním účelům. Smalt se používal v 15. až 19. století v Evropě jako modrý pigment vyrobený z draselného skla s malým obsahem oxidu kobaltnatého. [1,40,41]

Smalty lze dělit na základní a krycí. Základní smalty se využívají jako přilnavá vrstva pro kov a krycí smalt a vynikají svou ochranou vůči střídání teplot. Krycí smalty jsou nejpoužívanější a plní ochranou funkci kovu, dokonce se jedná zatím o nepřekonanou chemickou ochranu v agresivním prostředí. Smaltování se nejvíce využívá pro ocel, hliník, litiny, ale také pro dekorativní účely u talířů, hrníčků atp.

Výroba smaltu je podobná jako u skla, a tedy tavením surovin a vytvoření kmene. Smaltový kmen se obvykle skládá z oxidů kobaltu a niklu, které slouží pro přilnavost povlaků ke kovu. Dalšími surovinami jsou barvítka, která dávají výslednému smaltu požadovanou barvu. Pro dosažení neprůhlednosti nebo zákalu sklovité vrstvy se využívají kaliva. Ve smaltovém kmeni se vyskytují i pomocné suroviny, které regulují smaltovou suspenzi a nazývají se mlýnské přísady. Poslední suroviny v kmeni jsou nejdůležitější a jsou to iontové sloučeniny, které rozhodují o fyzikálních a chemických vlastnostech. Suroviny pro smaltový kmen jsou popsány v tabulce číslo 3. [1,40]

**Tabulka 3 Suroviny pro smaltový kmen [1]**

Surovina	Vzorec	Ovlivnění vlastností
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Základní smalt – smáčení kovu, tavitelnost
Uhličitan draselný	$\text{K}_2\text{CO}_3$	Součást základních i krycích smaltů
Oxid kobaltitý	$\text{Co}_2\text{O}_3$	Nejdůležitější přídržný oxid, barvicí, snižuje povrchové napětí
Oxid kobaltnatý	$\text{CoO}$	
Oxid křemičitý, živec, kaolín	$\text{SiO}_2$	Hlavní složka smaltů základních i krycích, zlepšuje chemickou odolnost a mechanické vlastnosti
Oxid nikelnatý	$\text{NiO}$	Přídržný a barvicí oxid, základní smalty
Oxid olovnatý	$\text{PbO}$	Tavidlo, nízkotavitelné krycí smalty na ocel a litinu, smalty na Al
Uhličitan sodný	$\text{NaCO}_3$	Tavidlo, vedle $\text{SiO}_2$ hlavní složka většiny základních i krycích smaltů
Dusičnan sodný	$\text{NaNO}_3$	
Kazivec	$\text{CaF}_2$	Tavidlo, zlepšení viskozity a povrchového napětí, zhoršení chemické odolnosti, základní i krycí smalty
Kryolit	$\text{Na}_3\text{AlF}_6$	
Fluorokřemičitan sodný	$\text{Na}_2\text{SiF}_6$	
Uhličitan litný	$\text{Li}_2\text{CO}_3$	Tavidlo, krycí smalty
Oxid molybdenový	$\text{MoO}_3$	Přídržný, základní smalty
Oxid titaničitý	$\text{TiO}_2$	Kalivo, bílé smalty na ocel i litinu
Uhličitan vápenatý	$\text{CaCO}_3$	Zlepšuje chemickou odolnost
Oxid zirkonitý	$\text{ZrO}_2$	Chemicky odolné smalty, žárupevné povlaky

Příprava smaltu je analogická s přípravou sklářského kmene. V první řadě je třeba přesné navážení a následná homogenizace všech surovin. V další řadě se již vzniklý smaltový kmen taví při teplotě 1150-1400 °C. Po důkladném roztavení se tavenina vylévá do vody, kde vzniká tzv. fritu, kterou lze definovat jako sklovinu různé tloušťky a zrnitosti obvykle

v kruhovém tvaru. Následně je třeba fritu vysušit a rozemlít v kulových mlýnech buď v suchém nebo mokřím prostředí s přidávkem dalších surovin, aditiv a vody. [1,40]

Pokud se smalt připravuje suchým mletím je nanášen práškováním na rozžhavený předmět, většinou na šedou litinu. Technologie suchého smaltování začíná v nanesení základního smaltu na kov, kde slouží jako mezivrstva pro litinu a krycí smaltovou vrstvu. Základní smaltová vrstva se na šedé litině vytváří stříkáním nebo poléváním smaltu za nižší teploty. Následně po usušení základní vrstvy při teplotě 60-80 °C je třeba litinu uložit do pece. V posledním kroku se na rozžhavenou litinu sype prášek krycího smaltu, kde vytváří výslednou vrstvu. [1,40,42]

Smalt připravovaný mokřím mletím se na předmětu vylučuje obdobným způsobem jako u suchého mletí. V první fázi je třeba opatřit předmět základním smaltem. Následně je předmět se základním smaltem vložen do pece. Rozdíl nastává u poslední fáze, krycí smalt se na předmětu vytváří pomocí polévání nebo stříkání na vychlazený vypálený předmět. [1,40]

## **2.8. Organické povlaky**

Organické povlaky se v dnešní době nejvíce využívají pro svou jednoduchou aplikaci, relativně nízkou cenu a vysokou účinnost vůči korozi, chemikáliím, teplotě, UV záření atp. Jejich aplikace se využívá téměř všude a téměř na všechny podklady, tvoří až 80 % všech povlaků, z důvodu široké rozmanitosti. Organické povlaky jsou nejrozšířenější metodou ochrany kovů proti korozi v dopravě a infrastruktuře. V dnešní době roste poptávka po organických povlacích pro kovové podklady, jako je ocel, železo, hořčík a hliník jako náhrada za dosavadní drahé, a ne tak účinné povlaky. Z tohoto důvodu jsou finance i čas investovány do této problematiky. [2,43,44]

Základní složení organického povlaku se nazývá nátěrová hmota. Nátěrová hmota se skládá z pojiv, pigmentů, plniv a aditiv.

Pod pojmem pojivo si lze představit filmotvornou látku, popřípadě směs filmotvorných látek, změkčovadel a rozpouštědel, které pojí dispergované částice v jednu fázi. Filmotvorná látka je organická látka, převážně netěkavá, která na předmětu vytváří souvislý film. Základní filmotvorné látky jsou vysychavé oleje, deriváty celulózy a kaučuku, přírodní pryskyřice, asfalty a syntetické pryskyřice. V dnešní době se začíná používat antikorozi organické povlaky obsahující různé druhy nanoplniv na bázi uhlíku, pro zmírnění koroze kovových podkladů v přítomnosti chloridů. Rozpouštědla jsou těkavé složky nátěrových hmot a využívají se pro rozpouštění filmotvorné látky (aceton, xylen, terpentýn, toluen). Změkčovadla

jsou netěkavé látky, které se využívají pro pružnost a vláčnost nátěru (dibutylftalát, chlorovaný difenyl, nevysychavé alkydy aj.). [45,46]

Pigmenty jsou práškovité látky, které dávají výslednému nátěru barvu, kryvost a další speciální požadované vlastnosti, jako například odolnost vůči korozi. Výroba a využití pigmentu je v dnešní době velmi vysoká a uplatnění nachází téměř v každém oboru. Anorganické pigmenty jsou většinou oxidy, sulfidy nebo soli kovů, takže i jejich samotná výroba je jednoduchá, avšak je třeba dodržet kvalitu produktu. Aplikační technologie spočívá v dispergaci pigmentů do nátěrových hmot v jednotnou fázi. Pigmenty se podle barevnosti dělí na bílé a barevné. Bílé pigmenty plní funkci krycí, předmět se tak stává neprůhledný. Barevné pigmenty plní funkci taktéž krycí, ale i barevnou z důvodu vysokého indexu lomu. Rozdělení pigmentů podle ochrany kovů proti korozi lze dělit na inhibiční, neutrální a stimulující pigmenty. Inhibiční pigmenty jsou takové, které výrazně zpomalují korozi, převážně na bázi zinku, v praxi jsou nejvíce používány. Neutrální pigmenty nijak neovlivňují korozi, nezpomalují ani nezrychlují, slouží jako krycí a barvicí složka, jako například titanová běloba, oxid železitý, chroman olovnatý atd. Poslední skupinou jsou stimulující pigmenty, které korozi zrychlují, příkladem lze uvést oxidy železa, grafit a saze. [2,47]

Plniva jsou práškové minerální látky, které se do nátěrové hmoty dodávají za účelem zlepšení užitných, technologických a fyzikálních vlastností. Velkou výhodou je nízká cena plniv a lze zmínit i výrazné zvětšení objemu a snížení ceny nátěrové hmoty. Plniva se stejně jako pigmenty dispergují do nátěrových hmot, ale z důvodu nižšího indexu lomu neplní funkci vybarvovací a krycí. Výroba i spotřeba plniv je značně vyšší než pigmentů. Při volbě vhodných plniv je třeba hledět na jejich užitné a fyzikální vlastnosti. Mezi nejdůležitější vlastnosti patří smrštivost filmu po zaschnutí, nízký obsah nečistot, teplotní stálost, stálost barev, vhodná hustota, cena, dostupnost, chemická inertnost, netoxičnost, dobrá dispergovatelnost, smáčivost aj. Je třeba zmínit, že vlastnosti celé nátěrové hmoty jsou dané jednotlivými složkami, pokud na výrobu nátěrové hmoty použijeme velmi drahý a kvalitní pigment, ale nekvalitní plnivo výsledné vlastnosti se budou odvíjet od konkrétních složek. Jako typická plniva používané ve velkém měřítku lze uvést baryt, vápence, mastek, křída, kaolín aj. [2,47]

Poslední složka nátěrových hmot se nazývá aditiva. Aditiva lze charakterizovat jako pomocné přísady za účelem zlepšení vlastností, i přes jejich obsah v nátěrových hmotách okolo 1 hm. % je jejich význam velmi výrazný. Aditiva lze rozdělit na formulační a funkční. Formulační aditiva zajišťují správné skladování, formulaci a aplikaci nátěrových hmot, jako typické příklady lze uvést dispergátory, sušidla, emulgátory, zvláčňovačla, smáčedla, odpeňovače, reologické modifikátory, koalescenty aj. Funkční aditiva se používají pro zlepšení

vlastností nátěrových hmot, jako příklad lze uvést stabilizátory, UV absorbéry, antikorozní aditiva, antioxidanty, aj. [2,45,47]

### **2.8.1. Rozdělení nátěrových hmot**

Z důvodu velkého množství nátěrových hmot se segmentují do jednotlivých tříd podle různých kritérií a vlastností.

Prvním hlavním rozdělením je podle pojivové složky. Nátěrové hmoty se pak nazývají asfaltové, polyesterové, akrylátové, epoxidové, celulózové, práškové, chlorkaučukové, silikonové, lihové, olejové, syntetické, polyuretanové, vodové, emulzní aj.

Dalším významným dělením je podle počet složek v nátěrových hmotách potřebných pro vytvrzení nátěru tedy jednosložkové a vícesložkové. Jednosložkové nátěrové hmoty se vytvrzují působením vzduchu, tepla či jiného zdroje, ale nepotřebují další složku. Vícesložkové nátěrové hmoty se vytvrzují pomocí přidaného tvrdidla. [2,45,47]

Nátěrové hmoty po zaschnutí vytvářejí film na podkladu, proces zasychání a vytváření filmu je dalším termínem čím se nátěrové hmoty odlišují jedna od druhé. Nátěrové hmoty mohou vytvářet film na podkladu pouhým odpařením rozpouštědel, popřípadě ztuhnutím taveniny, u nichž nedochází k žádné chemické reakci. Takové nátěrové hmoty lze nazývat fyzikálně zasychající a patří sem akrylátové, esterové a celulózové nátěrové hmoty. Pokud u nátěrových hmot dochází při zasychání k reakci, jsou nazývány chemicky zasychající. Při zasychání dochází k polyreakci, kdy se přeměňují nízkomolekulární látky na vysokomolekulární látky, příkladem jsou polyesterové a bezrozpuštědlové nátěrové hmoty u nichž dochází k polyadici nebo polykondenzaci. Posledním typem zasychání je kombinace obou případů viz. výše, a tedy fyzikálně i chemicky zasychající. Tyto nátěrové hmoty zasychají odpařením rozpouštědla za přítomnosti chemické reakce, jako jsou například epoxidové, silikonové a polyuretanové nátěrové hmoty. [2,45,47]

Poslední dělení je podle podmínek a prostředí, ve kterých lze nátěrovou hmotu nechat vyschnout a vytvrdit. První skupina nátěrových hmot je taková, která schnou na vzduchu. Působením vzdušného kyslíku při běžné teplotě dochází k zasychání nátěrových hmot. Další skupinou jsou nátěrové hmoty vhodné k přisoušení, které zasychají při běžných i zvýšených teplotách. U některých musí být dosaženo vysokých teplot, aby byly vysušeny a nazývají se vypalovací nátěrové hmoty. Poslední skupinou z hlediska teploty při sušení jsou tavné nátěrové hmoty, které je třeba prvně roztavit, aby mohly vytvořit film a následným ochlazením zasychají. Speciální skupinou jsou nátěrové hmoty vytvrzované zářením, které vytvářejí film působením záření UV, IR aj. Právě tato skupina povlaků má v posledních deseti letech rychlý

vývoj z důvodu ekologicky šetrných nátěrových povlaků. Jedná se o povlaky s nulovou emisí těžkých organických rozpouštědel. [2,45,47,48]

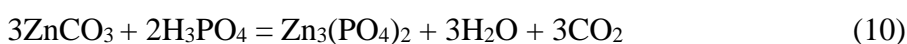
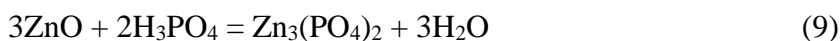
## 2.9. Kovové antikorozi pigmenty

Z hlediska ochrany materiálu proti korozi nátěrovou hmotou je třeba volit pigment takový, který korozivzdornost zvýší. Z tohoto důvodu se do nátěrových hmot přidávají kovové (anorganické) antikorozi pigmenty. Tyto pigmenty se řadí mezi inhibiční pigmenty a poskytují katodickou ochranu kovového podkladu vůči korozním procesům. [2,49]

Velmi účinné antikorozi pigmenty jsou na bázi olova a šestimocného chromu, avšak vzhledem k stále větší důraznosti na životní prostředí se jejich používání velmi omezilo z důvodu jejich toxicity. V dnešní době se stále více inovují pigmenty na bázi zinku, který je nezávadný životnímu prostředí a má schopnost chránit kov proti korozi a je téměř nejlepší z ostatních netoxických kovových antikorozi pigmentů. Často se využívá i kombinace pigmentů na bázi zinku a molybdenu ve formě molybdenanu zinečnatého. Organické pigmenty na bázi zinku, heptanoát zinečnatý a dekanoát zinečnatý se používají jako pigmenty pro inhibiční korozní ochranu u ocelí vůči prostředí obsahující NaCl. [49,50,51,52]

### 2.9.1. Fosforečnan zinečnatý – $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$

Pigmenty na bázi fosforečnanů jsou relativně nové, a proto jsou stále zkoumány a testovány, zda by mohly nahradit doposud používané toxické pigmenty na bázi olova a chromu. Mezi nejdůležitější pigment na bázi fosforečnanů je fosforečnan zinečnatý. Fosforečnan zinečnatý se vyskytuje v hydrátované formě jako dihydrát, trihydrát a tetrahydrát, přičemž pro antikorozi účely je významný pouze dihydrát fosforečnanu zinečnatého. Fosforečnan zinečnatý se vyrábí reakcí kyseliny fosforečné s vodní suspenzí oxidu zinečnatého podle reakce č. 9 nebo reakcí kyseliny fosforečné s uhličitánem zinečnatým podle reakce č. 10. [49,53,54]



Takto připravený fosforečnan zinečnatý je velmi kvalitní a pro výrobu pigmentu se pracuje většinou tímto způsobem. Konečným krokem je sušení produktu při 130-150 °C za vzniku dihydrátu fosforečnanu zinečnatého. Dihydrát fosforečnanu zinečnatého je monokrystalická bílá sloučenina nerozpustná ve vodě. Po formulaci ve formě pigmentu se výsledná nátěrová hmota stává netoxická, odolná vůči korozi, dobře přilnavá, inertní, dobře rozlévající a rychle zasychající. Vzhledem k nerozpustnosti fosforečnanu zinečnatého je jeho odolnost vůči NaCl a velmi kyselému prostředí nízká, proto se často neutralizuje přísadkou

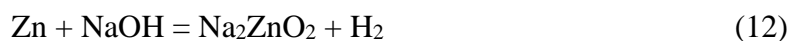


zinkové běloby nebo vápence. Často se zvyšuje odolnost vůči korozi na ocelových podkladech kombinací dvou antikorozních fosfátových pigmentů, fosforečnanu zinečnatého a modifikovaného fosforečnanu zinečnatého (fosforečnanu zinečnato-molybdeničitého). Přídavkem lithia lze také dosáhnout lepších vlastností výsledného povlaku. Fosforečnan lithno-zinečnatý (LZP) ve formě pigmentu vykazuje lepší korozní odolnost na povrchu oceli a lepší adhezní pevnost a stabilitu, než samotný fosforečnan zinečnatý (ZP). [49,55,56]

### 2.9.2. Práškový zinek

Práškový zinek je antikorozi pigment modrošedé barvy, který se používá v rozemleté jemnozrnné formě. Práškový zinek se vyrábí vypařováním zinku při teplotě okolo 900 °C a jeho následnou kondenzací nebo rozprašováním roztaveného zinku za vysokého tlaku pomocí inertního plynu. Dalším používaným pigmentem na bázi zinku je oxid zinečnatý. Jedná se o bílý pigment, který se mimo jiné používá do gumy a kaučuku, kde je momentálně nenahraditelný. Zinek má nižší standardní elektrodový potenciál vzhledem k Beketovově řadě kovů než jiné železné kovy. Z toho důvodu koroze nebo oxidace probíhá přednostně na zinku, čímž je železný podklad chráněn. Zinek nechrání před korozi pouze železné kovy, ale všechny kovy, které mají vyšší elektrodový potenciál. [53,54,57]

Práškový zinek se používá do nátěrových hmot, které jsou aplikovány na předměty vykonávající svou činnost převážně pod vodou. Zinek je totiž velmi odolný vůči vodě dokonce i agresivnějšímu prostředí jako je mořská voda, nicméně své uplatnění nachází téměř kdekoliv. Jelikož zinek chrání předmět elektrochemicky je třeba dodržovat vodivý kontakt mezi zinkem a chráněným předmětem, kterého lze dosáhnout vysokou koncentrací zinku v nátěrových hmotách okolo 75-95 %. Zinek je navíc amfoterní, což znamená, že dokáže reagovat jak s kyselinami, tak s bázemi a tím chrání podklad i před chemicky agresivním prostředím. Reakce zinku s kyselinami je popsána rovnicí č. 11 a s bázemi rovnicí č. 12. [20,53,54]



### **3. Experimentální část**

#### **3.1. Cíl práce**

Cílem práce bylo stanovení vlivu obsahu kovového zinku v nátěrovém filmu, při kterém je dosaženo maximální antikorozi účinnosti v simulovaných cyklických korozních atmosférách a porovnání stanovené antikorozi účinnosti studovaných organických povlaků s antikorozi účinností organických povlaků pigmentovaných antikorozním pigmentem na bázi fosforečnanu zinečnatého. Pro splnění tohoto cíle byly formulovány modelové nátěrové hmoty, které byly připraveny procesem dispergace a následně byly aplikovány pomocí aplikátoru se štěrbinou na ocelové a skleněné zkušební panely, kdy organické povlaky byly následně testovány pomocí cyklických korozních zkoušek a dále pomocí elektrochemické techniky lineární polarizace. Mechanické vlastnosti testovaných organických povlaků byly studovány pomocí normovaných mechanických zkoušek.

#### **3.2. Seznam použitých přístrojů a zařízení**

Laboratorní váhy – Kern & Sohn GmbH, Německo; Analytické váhy – OHAUS, Švýcarsko; Automatický heliový pyknometr – Autopyknometr 1340, Micromeritics, USA; Předdispergační zařízení – Power – B, Eurostar; Dispergační zařízení – Dispermat; Nanášecí krabicová pravítka se štěrbinou 200-250  $\mu\text{m}$ , DISPERMAT, Donventa AG, Švýcarsko; Magnetický tloušťkoměr – MINITEST 1100, ElektroPhysik, Německo; Leskoměr – micro-TRI-gloss, Německo; Kyvadlo typu Persoz – Automatic 500, Belgie; Příklad na stanovení odolnosti úderem – Elcometr K1542 Impact tester; Erichsenův přístroj na stanovení odolnosti hloubením – Erichsen, Německo; Řezací nůž – Cross cut, Elcometr; Bucholzův přístroj – BYK-Gardner GmbH, Německo; Optický mikroskop – Nikon Eclipse LV100, Japonsko; Solná komora – Liebisch, Německo.

#### **3.3. Suroviny testované nátěrové hmoty**

##### **3.3.1. Pigmenty**

###### **Zinkový prach**

Výrobce: Dr.Hans Heubach GmbH, Německo

Složení: Sférický Zn prach

Funkce: Antikorozi pigment

###### **Fosforečnan zinečnatý**

Výrobce: Dr. Hans Heubach GmbH, Německo

Složení:  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Funkce: Antikorozi pigment

### 3.3.2. Plniva

#### Vápenec

Výrobce: Omya CZ s.r.o., Vápenná, ČR

Složení:  $\text{CaCO}_3$

Funkce: inertní plnivo

Vápenec je bílým pro svou cenu a dostupnost velmi často používaným plnivem. V přírodě se vyskytuje buď v čisté formě jako vápenec nebo kříd, nebo ve formě směsí jako dolomit a magnezit. Vápenec v kalcitové struktuře má tvrdost podle Mohse 3, jedná se tedy o měkký materiál s hustotou  $2,71 \text{ g/cm}^3$ , v aragonitové struktuře je hustota o něco větší asi  $2,93 \text{ g/cm}^3$  a tvrdost podle Mohse je také vyšší, okolo 3,5. Vápenec se v České republice ve velkém měřítku těží ve vápencových dolech. [47]

### 3.3.3. Pojiva

#### Epoxyesterová pryskyřice

Epoxyesterové pojivo (WorléeDur D46) je na bázi konjugovaných mastných kyselin s obsahem 60% epoxidové pryskyřice a 40% obsahu oleje. Toto epoxyesterové pojivo je charakteristické maximální kyselostí 4 a viskozitou 200-250, jedná se o produkt Německé společnosti Worlée. Využívá se pro vysoce kvalitní antikoroziční nátěry s obsahem zinku, základní nátěry a vrchní nátěry schnoucí a vypalovací s vynikající odolností vůči vodě.

### 3.3.4. Ostatní suroviny

#### Xylen

Hustota:  $0,86 \text{ g/cm}^3$

Využití: rozpouštědlo

#### Methylethylketon

Hustota:  $0,805 \text{ g/cm}^3$

Využití: rozpouštědlo

#### Chloroform

Hustota:  $1,49 \text{ g/cm}^3$

Využití: rozpouštědlo, odmašťovadlo

#### Nuodex® Combi

Výrobce: Huntsman Pigments & Additives, USA

Složení: Stabilizované sušidlo obsahující Co, Ca a Zr, obsah kovů 8,8 %

Využití: Sušidlo pro epoxyesterovou pryskyřici WorléeDur D 46

Dávkování: 0,3 hmotnostních %

### **3.4. Fyzikálně-chemické vlastnosti nátěrové hmoty**

#### **3.4.1. Stanovení obsahu sušiny**

Stanovení obsahu sušiny se provádí pro posouzení kvality pojiva a stanovení obsahu těkavých složek obsažených v pojivu, které se při sušení odpaří. Na předem zvážené a očištěné víčko vystlané alobalem se vložilo pojivo epoxyesterové pryskyřice v rozmezí od 2 do 3 gramů a zvažila se její skutečná hodnota na analytických vahách s přesností  $\pm 0,0001\text{g}$ . Následně se víčko vložilo do sušárny předehřáté na teplotu  $110\text{ }^\circ\text{C}$ , kde došlo k odpaření těkavých složek a snížení hmotnosti. Po vytažení ze sušárny se víčko umístilo do exikátoru a následně se opět zvažilo, aby se stanovila hodnota obsahu sušiny úbytkem hmotnosti. Hodnota obsahu sušiny se vypočítala podle rovnice 13. [58]

$$S = (c - a)/(b - a) \cdot 100 [\%] \quad (13)$$

Kde S, je obsah sušiny [%] a, je hmotnost víčka [g] b, je hmotnost vzorku a víčka před sušením [g] a c, je hmotnost vzorku a víčka po sušení [g]

#### **3.4.2. Stanovení hustoty**

Stanovení hustoty pigmentů je ukazatelem na kvalitu a použitelnost pigmentů. V nátěrových hmotách je totiž stabilita suspenze daná rozdílem hustoty pigmentu a pojiva. Hustota anorganických pigmentů se pohybuje mezi  $1,8\text{--}10,2\text{ g/cm}^3$ . Podle hustoty lze poznat i druh a čistotu pigmentu. [58] Stanovení hustoty pigmentů a plniv bylo prováděno automatickým plynovým pyknometrem Autopyknometr 1340. Do hliníkového kelímku byly naváženy v analytických vahách zkoumané pigmenty a plniva. Víčko bylo následně vloženo do pyknometru a do programu se zaznamenala skutečná hmotnost s přesností na  $0,0001\text{ g}$ . Pyknometr v prvním kroku vypočítal objem zkoumaného pigmentu či plniva a následně provedl deset měření hustoty. Výsledná hustota byla programem zprůměrovaná s odchylkou měření  $\pm 0,02\text{ g/cm}^3$ .

#### **3.4.3. Stanovení spotřeby oleje**

Stanovení spotřeby oleje bylo prováděno pomocí misky a tloučku. Jedná se o metodu, při níž se zjišťuje kolik g lněného oleje je třeba přidat do 100 g pigmentu či plniva, aby nám vznikla pasta definovaných vlastností. Z olejového čísla lze následně vypočítat KOKP a zjistit tak maximální možnou pigmentaci. V první fázi byly zváženy pigmenty a plniva s přesností  $\pm 0,01\text{ g}$ . Navážka surovin byla volena tak, aby byla spotřeba lněného oleje okolo 1 ml. Vápence bylo naváženo okolo 5 g a zinkového pigmentu okolo 18 g kvůli své vysoké hustotě. Následně byly pigmenty a plnivo vloženy kvantitativně do třecí misky, kam se následně přikapával byretou lněný olej vždy po jedné kapce. Pigmenty či plniva byly kvalitativně rozetřeny

s kapkou lněného oleje a tento postup byl opakován do momentu, kdy nám vznikla pasta požadovaných vlastností, tedy do momentu, kdy se veškerá pasta uchytila na tloučku. Spotřeba oleje a množství pigmentu byly zaznamenány a podle rovnice 14 byla stanovena spotřeba oleje na 100 g pigmentu. [58]

$$\text{olejové číslo} = \frac{100 \cdot \rho_o \cdot V_o}{m_p} \quad (14)$$

Kde  $\rho_o$ , je hustota lněného oleje [0,93 g/cm<sup>3</sup>]  $V_o$ , je spotřeba lněného oleje [ml],  $m_p$ , je navážka pigmentu [g]

#### 3.4.4. Stanovení KOKP

Hodnota KOKP neboli kritická objemová koncentrace pigmentu je bezrozměrná hodnota, která nám udává mez, nad kterou nelze zvyšovat pigmentaci. Pokud bude OKP neboli objemová koncentrace pigmentu růst, bude i kryvost pigmentu růst do svého maxima právě při hodnotě KOKP, následným zvyšováním OKP se kryvost snižuje. Pokud by tedy hodnota OKP překročila hodnotu KOKP drasticky by se změnili vlastnosti jako je kryvost, lesk, tvrdost aj. Při hodnotě OKP = KOKP je veškerý pigment a plnivo v nátěrové hmotě smočen pojivem. KOKP pro pigmenty a plniva se počítá podle rovnice 15. [59]

$$KOKP = \frac{\frac{10000}{\rho_p}}{\frac{100}{\rho_p} + \frac{o.č.}{\rho_o}} \quad (15)$$

Kde KOKP, je kritické objemová koncentrace pigmentu,  $\rho_p$ , je hustota pigmentu [g.cm<sup>-3</sup>] o.č., je olejové číslo,  $\rho_o$ , je hustota lněného oleje [0,93 g.cm<sup>-3</sup>]

### 3.5. Příprava nátěrové hmoty

#### 3.5.1. Formulace nátěrové hmoty

Formulace nátěrových hmot nám udává přesné hmotnostní případně objemové složení formulované nátěrové hmoty. Složení připravovaných nátěrových hmot bylo formulováno počítačovým programem FORMUL. Do programu byly uloženy všechny zkoumané suroviny doplněny fyzikálními údaji. Formulovány byly nátěrové hmoty na bázi epoxyesterové pryskyřice. V první fázi byla formulována řada nátěrových hmot s postupně zvyšujícím se OKP zinkového prachu ve formě pigmentu. Zinkový prach byl zastoupen v nátěrové hmotě při hodnotách OKP = 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 % a 40 %, kdy jednotlivé nátěrové hmoty byly následně doplněny vápencem na hodnotu OKP/KOKP = konst. = 0,4. V druhé fázi byla formulace řady nátěrových hmot s pigmentem fosforečnanem zinečnatým. Opět se jednalo o postupně zvyšující se množství tohoto pigmentu, přičemž jednotlivé hodnoty byly opět stanoveny na OKP = 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 % a 40 %. Jednotlivé nátěrové

hmoty byly závěrem doplněny vápencem na hodnotou OKP/KOKP = konst. = 0,4. Posledním krokem byla naformulována nátěrová hmota s obsahem vápence o hodnotě OKP/KOKP = konst. = 0,4. Formulace nátěrových hmot byla stanovena a spočítána programem FORMUL a zaznamenána a je vyjádřena pomocí následujících tabulek (Tabulka 4, Tabulka 5, Tabulka 6).

**Tabulka 4 Formulace nátěrových hmot s postupně zvyšující se hodnotou OKP Zn, které byly doplněny vápencem na OKP/KOKP = konst. = 0,4**

OKP <sub>Zn</sub> [%]	Epoxyesterová pryskyřice [hm. %]	Zn [hm. %]	CaCO <sub>3</sub> [hm. %]
5	45,46	9,93	44,61
10	42,57	19,64	37,79
15	39,74	29,13	31,13
20	36,98	38,39	24,63
25	34,28	47,45	18,27
30	31,64	56,32	12,04
35	29,06	64,98	5,96
40	26,54	73,46	-

**Tabulka 5 Formulace nátěrových hmot s postupně zvyšující se hodnotou OKP Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O, které byly doplněny vápencem na OKP/KOKP = konst. = 0,4**

OKP <sub>Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O</sub> [%]	Epoxyesterová pryskyřice [hm. %]	Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O [hm. %]	CaCO <sub>3</sub> [hm. %]
5	47,56	5,77	46,66
10	46,64	11,94	41,42
15	45,66	18,57	35,77
20	44,60	25,70	29,70
25	43,46	33,39	23,16
30	42,22	41,71	16,07
35	40,88	50,74	8,38
40	39,42	60,58	-

**Tabulka 6 Formulace nátěrové hmoty s obsahem vápence o hodnotě OKP/KOKP = konst. = 0,4**

Surovina	OKP [%]	Epoxyesterová pryskyřice [hm. %]	Surovina [hm. %]
CaCO <sub>3</sub>	40	48,41	51,59

### 3.5.2. Dispergace nátěrových hmot

Dispergace nátěrových hmot je homogenizace jednotlivých surovin v jednu kompaktní fázi. Pokud máme dané jednotlivé složení surovin nátěrové hmoty je třeba tyto komponenty do sebe rozptýlit a rozmělnit pevné shluky pigmentů a plniv v prostředí rozpouštědla a pojiva. Nátěrové hmoty se dispergují v dispergačním zařízení, které lze definovat jako výkonné vysokofrekvenční míchačí zařízení.

Do porcelánové misky bylo kvantitativně převedeno předem naformulované množství pigmentu a plniva a pomocí tloučku byla směs homogenizována. Do kelímku byla navážena epoxyesterové pryskyřice předem dané hmotnosti, a kelímek byl následně vložen

do předdispergačního zařízení, kde docházelo k předdispergaci připravované modelové nátěrové hmoty. Během předdispergace byla homogenizovaná směs pigmentu a plniva postupně převáděna pomocí lžičky do kelímku s epoxyesterovou pryskyřicí. Po kvantitativním převedení veškeré zhomogenizované směsi bylo nastaveno 2000 otáček za minutu a nátěrová hmota byla 30 minut předdispergována. Po dokončení předdispergace bylo do kelímku s nátěrovou hmotou nasypano 40 g skleněných kuliček o poloměru 4 mm a kelímek byl vložen do dispergačního zařízení Dissolver Dispermat, kde byla připravovaná nátěrová hmota dispergována po dobu 30 minut a při 2000 otáčkách za minutu. Během předdispergace a dispergace byl kelímek s nátěrovou hmotou ve vodní lázni z důvodu zahřívání vlivem tření jednotlivých částic. Po dispergaci byla nátěrová hmota zfiltrována přes tkaninu do skleničky a zbavena tak skleněných kuliček.

### **3.6. Příprava podkladových vzorků a aplikace nátěrových hmot**

#### **3.6.1 Příprava ocelových panelů**

Pro laboratorní zrychlené korozní zkoušky byly použity ocelové panely označovány jako S-46 o rozměrech 100x150mm a tloušťce 0,79mm. Pro laboratorní mechanické zkoušky byly použity ocelové panely o rozměrech 200x60mm a tloušťce 0,9mm. Pro laboratorní stanovení elektrochemické lineární polarizace byly použity ocelové panely o rozměrech 100x51mm a tloušťce 0,51mm označovány jako QD 24.

#### **3.6.2. Příprava skleněných panelů**

Pro laboratorní zkušební metody stanovení tvrdosti, přilnavosti, lesku a odolnosti nátěrového povlaku vůči methylenethylketonu byly použity skleněné panely. Před použitím byly skleněné panely vhodně očištěny. Na počátku byl povrch skleněných panelů očištěn horkou vodou se saponátem. Následně byl povrch očištěn chloroformem a závěrem byl povrch osušen buničitou vatou.

#### **3.6.3. Aplikace nátěrových hmot**

Nanášení nátěrových hmot na panely je souhrnně označováno jako aplikace nátěrových hmot. Nanášení se nejčastěji v laboratorních podmínkách provádí za použití nanášecích pravítek. Takto zhotovené nátěry mívají hladký povrch požadované tloušťky, které se reguluje šterbinou v pravítku. Pravítka se podle způsobu aplikace dělí na automatická, ruční a poloautomatická.

Pro aplikaci nátěrové hmoty na předem očištěné ocelové panely bylo použito laboratorní krabicové nanášecí pravítko se šterbinou 200  $\mu\text{m}$ . Do pravítka byla pomocí kapátka nakapána nátěrová hmota a pohybem konstantní rychlostí po celé délce panelu byla nanášena

nátěrová hmota na podklad. Po zaschnutí nátěru byla na Q panely používané pro korozní zkoušky aplikována druhá vrstva. Po zaschnutí druhé vrstvy nátěrové hmoty byly ocelové panely oblepeny lepicí páskou pro zamezení prokorodování, přičemž vždy na jednom panelu pro každý typ korozní zkoušky byl proveden svislý řez až na panel o délce 8 cm.

Pro aplikaci nátěrové hmoty na předem očištěné skleněné panely bylo použito krabicové nanášecí pravítko se štěrbinou 200 µm. Technologie nanášení byla obdobná s technologií nanášení na ocelové panely.

### **3.7. Metody hodnocení fyzikálně-mechanických zkoušek**

#### **3.7.1. MEK test**

Metoda MEK testu hodnotí odolnost filmu nátěrové hmoty aplikované na skleněném podkladu vůči rozpouštědлу MEK (methylethylketonu). Technologie využívá lehkou tlakovou sílu při laboratorních podmínkách. Vatová tyčinka je smočena v methylethylketonu a následně je otírána o organický nátěr metodou tzv. dvoutahů. Dvoutah lze popsat jako kyvadlový systém, kdy jedna perioda dvoutahu trvá jednu sekundu. Vatová tyčinka byla otírána o organický povlak po dobu 50 sekund. Pokud po dobu 50 sekund nedošlo k obnažení podkladu vyhodnotil se podle normy ASTM D 4752-10 stupeň odolnosti nátěrového filmu, pokud došlo k obnažení podkladu testování bylo v ten moment ukončeno a vyhodnoceno stupněm 0. V případě neobnažení nátěrového filmu po dobu 50 sekund se pokračovalo stejným způsobem po dobu 300 sekund. V moment, kdy došlo k obnažení podkladu byl test ukončen a výsledný čas zaznamenán s výsledným stupněm 0, pokud i po dobu 300 sekund nedošlo k obnažení povlaku byl opět povlak podle normy ASTM D 4752-10 vyhodnocen viz Tabulka 7. Měření bylo provedeno sedmkrát po dobu 60 dní.

**Tabulka 7 Metoda hodnocení MEK testu podle normy ASTM D 4752-10 [59]**

<b>Stupeň</b>	<b>Slovní hodnocení MEK testu</b>
0	Úplné obnažení podkladu
1	Značné a hluboké narušení nátěrového filmu, ale již ne podkladu
2	Viditelné a zřetelné poškození (poškrábání) nátěrového filmu
3	Lehké poškození (poškrábání) nátěrového filmu
4	Vyleštění nátěru a uvolnění malého množství pigmentu (povrch není poškozen)
5	Na povrchu není patrné ani vyleštění, neuvolňuje se žádný pigment

#### **3.7.2. Stanovení lesku nátěru**

Lesk filmu nátěrové hmoty je optická vlastnost, která udává množství odrazených světelných paprsků. Lesk se měří u nátěrových povlaků pomocí leskoměru a je vyjádřen pomocí veličiny čísla lesku.[59]



Lesk filmu nátěrové hmoty byl měřen pomocí leskoměru tri-gloss. Leskoměr byl přiložen na skleněný podklad a měřil lesk filmu nátěrové hmoty pod úhly 20°, 60° a 85°. Měření bylo provedeno vždy na třech místech a výsledné číslo lesku bylo zprůměrováno pro každý úhel zvlášť. Vyhodnocení lesku nátěru bylo provedeno podle normy ČSN ISO 2813. Měření bylo provedeno sedmkrát po dobu 60 dní.

### **3.7.3. Buchholzova vrypová zkouška**

Podstatou Buchholzovy vrypové zkoušky je stanovení tvrdosti filmu a odolnosti organických povlaků na skleněném podkladu vůči vtisku. Technologie spočívá ve vytvoření vtisku ve filmu nátěrové hmoty pomocí přístroje s ostrím. Příklad byl položen na film organického povlaku, kde byl ponechán 30 sekund. Na filmu nátěrové hmoty byl vytvořen vtisk čepele působením vlastní váhy přístroje. Po 30 sekundách byl přístroj odebrán z filmu nátěrové hmoty a pomocí mikroskopu se stupnicí byla změřena délka vtisku čepele. Měření bylo provedeno třikrát na každém podkladu a sedmkrát po dobu 60 dní. Zkouška byla laboratorně provedena podle normy ČSN ISO 2815.

### **3.7.4. Stanovení relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem**

Stanovení tvrdosti nátěrového filmu bylo prováděno pomocí útlumu kyvadlového přístroje. Výsledná tvrdost nátěrového filmu byla převedena na procenta vztažená k tvrdosti skleněnému standardu (100 %). Stanovení tvrdosti bylo prováděno laboratorně technologií Perzöse podle normy ČSN EN ISO 1522. Principem této techniky bylo stanovení počtu kmitů kyvadla do jeho útlumu, působením dosedání dvou kuliček na film nátěrové hmoty. Útlum kyvadla byl v moment, kdy se z počátečního vychýlení do 12° dostalo kyvadlo na amplitudu 4°. Na začátku každého měření byla stanovena tvrdost skleněného standardu, která podle normy musí být vyšší než 420 kmitů. Po stanovení tvrdosti standardu bylo měřeno 17 povlaků, přičemž měření probíhalo u každého vzorku vždy třikrát na jiném místě. Po stanovení útlumu kyvadla na vzorcích bylo měření ukončeno opět stanovením skleněného standardu s minimálním počtem kmitů 420. Počty kmitů do útlumu kyvadla byly zaznamenány a stanovovány sedmkrát po dobu 60 dní.





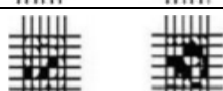

### **3.7.5. Stanovení přilnavosti filmu mřížkovou metodou**

Principem zkoušky přilnavosti filmu mřížkovou metodou je zhotovení řezu na filmu nátěrové hmoty ve tvaru mřížky a následné vizuální hodnocení nátěrového filmu podle stupnice normy ČSN ISO 2409. Lze touto metodou určit odolnost nátěrového filmu vůči oddělení filmu při proříznutí až k podkladu. [59]

Zkouška přilnavosti filmu mřížkovou metodou byla provedena laboratorně podle normy ČSN ISO 2409. Mřížková metoda (cross cut test) byla testována na zkušebních vzorcích

skleněného i ocelového podkladu. Na každém zkušebním vzorku byl proveden mřížkový řez, za pomoci speciálního nože obsahující šest čepelí, přičemž řez dosahoval až na podklad materiálu. Mřížkového řezu bylo dosaženo pomocí jednoho vodorovného řezu a následného druhého řezu kolmého na řez první. Vyhodnocení mřížkového řezu na zkušebních vzorcích bylo vizuální pomocí normy ČSN ISO 2409 a podle tabulky 8 rozděleno do šesti stupňů podle přilnavosti.

**Tabulka 8 Rozdělení stupňů přilnavosti podle normy ČSN ISO 2409 [59]**

	stupeň 0 – řezy jsou hladké, žádný čtverec není poškozen
	stupeň 1 – nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží, poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %
	stupeň 2 – nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení, povrch mřížky smí být poškozen o více než 5 % a méně než 15 %
	stupeň 3 – nátěr je poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně, nebo celý, na různých místech mřížky, poškození je větší než 35 %
	stupeň 4 – na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny, plocha mřížky
	stupeň 5 – změny, které jsou větší než u stupně 4

### 3.7.6. Stanovení odolnosti filmu při ohybu

Ohybová zkouška (bend test) slouží ke stanovení odolnosti nátěrového filmu při ohybu neboli schopnosti odolávat deformacím, netvořit trhlinky a neodlupovat se. Ohybová zkouška se využívá u ocelových podkladů, který se při ohybu nenaruší a lze tak zjistit i nepřímo vláčnost a přilnavost filmu. Odolnost při ohybu se využívá u nátěrů, které jsou vystavovány mechanickému namáhání. Hodnocení odolnosti filmu při ohybu se provádí podle normy ČSN ISO EN 1519.[59]

Stanovení odolnosti filmu při ohybu bylo prováděno laboratorně podle normy ČSN ISO EN 1519. Zkouškový vzorek s nátěrovým filmem na ocelovém panelu byl ohýbán za použití válcových trnů a následně bylo vyhodnoceno, zda nátěr vyhověl nebo nevyhověl. Pro laboratorní podmínky byly použity válcové trny s průměrem 4, 6 a 12 mm.

### 3.7.7. Stanovení odolnosti filmu při deformaci úderem

Zkouška stanovení odolnosti nátěru při úderu (falling weight test) hodnotí mechanické vlastnosti přilnavosti při deformaci úderem nátěrových filmů na ocelových podkladech. Principem zkoušky je vyhodnotit podle normy ČSN ISO EN 6272 odolnost nátěrového filmu

z hlediska praskání a odlupování od podkladu při deformaci, která je způsobena volným pádem závaží z výšky na podklad za standardních podmínek. [59]

Stanovení odolnosti filmu při deformaci úderem bylo prováděno za laboratorních podmínek podle normy ČSN ISO EN 6272 na nátěrové filmy zkušebních vzorků na ocelových panelech. Závaží bylo puštěno volným pádem z výšek 50, 75, 95 a 100 cm na film zkušebního vzorku, a následně byla vyhodnocena odolnost nátěru vůči deformaci úderem, zda vyhověl nebo nevyhověl.

### **3.7.8. Stanovení odolnosti filmu hloubením**

Zkouška hloubením (cupping test) vyhodnocuje odolnost nátěrového filmu vůči odloupení nebo prasknutí na ocelovém podkladu za působení deformace hloubením. Principem zkoušky je vtlačování ocelové koule o průměru 20 mm do kovového podkladu s nátěrem, kde dochází k deformaci a protahování materiálu a filmu a hodnotí se podle norem ČSN 67 3081 a ČSN ISO EN 1520. Deformace a protahování filmu není po celé ploše rovnoměrné, ale nejvyšší na okrajích a nejmenší ve středu. [59]

Stanovení odolnosti filmu hloubením bylo laboratorně vyhodnoceno podle norem ČSN 67 3081 a ČSN ISO EN 1520. Do zkušebních ocelových vzorků s nátěrovým filmem byla vtlačována koule o průměru 20 mm. Testování bylo zastaveno v momentě 10 mm vtlačení koule nebo při porušení nátěrového filmu a výsledná hloubka vtlačení byla zapsána. Následně byly zkušební vzorky vyhodnoceny podle norem, zda vyhověly nebo nevyhověly.

## **3.8. Metody urychlených korozních zkoušek**

Urychlené korozní zkoušky, též cyklické korozní zkoušky, jsou stále více inovovány a používány. Principem těchto zkoušek je vystavení zkušebních vzorků s nátěrem do korozního prostředí. Korozní prostředí lze regulovat, a tak vzorek vystavit reálnému prostředí, ve kterém plní svou funkci, případně ve více agresivním prostředí. Lze regulovat koncentraci korozně aktivních látek jako jsou například voda, teplota, UV, soli, SO<sub>2</sub> aj. Hlavní výhodou těchto zkoušek je vyhodnocení nátěrových povlaků v korozních stupních (C1-CX) podle výsledku korozního chování. Mechanismus koroze zůstává stejný jako v reálném prostředí a výsledky jsou mnohonásobně rychlejší. [8]

### **3.8.1. Korozní zkouška ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého**

Cyklický korozní zkouška ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého je podobná a urychluje účinky při působení nátěru v průmyslově znečištěné atmosféře. Při zkoušce dochází k exponování zkušebních vzorků do komory, ve které je atmosféra složená

ze 100% relativní vlhkosti s obsahem oxidu siřičitého (při dávkování 1 l SO<sub>2</sub> do 300 l zkušební komory). Urychlená korozní zkouška podléhá normě ČSN ISO 3231. [8]

Urychlená korozní zkouška ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého byla prováděna laboratorně podle normy ČSN ISO 3231. Zkouška byla prováděna cyklicky po 24 hodinách ve dvou fázích. V první fázi zkoušky byly po dobu osmi hodin exponovány zkušební Q-panely do komory se 100 % vlhkostí a přítomností oxidu siřičitého při teplotě 35 °C, přičemž docházelo ke kondenzaci vody s oxidem siřičitým na vzorcích. V druhé fázi zkoušky byly Q-panely po dobu šestnácti hodin sušeny při teplotě 23 °C s vlhkostí pod 75 %. Nátěrové povlaky byly následně cyklicky hodnoceny.

### **3.8.2. Urychlená korozní zkouška v neutrální atmosféře solné mlhy**

Urychlená korozní zkouška v neutrální atmosféře solné mlhy vytváří umělou atmosféru mlhy NaCl, jedná se tedy o prostředí se zvýšeným obsahem chloridů. Komora simuluje přímořské oblasti, kde se sůl do atmosféry dostává z moře případně simuluje zimní prostředí, kdy dochází k zasolení silnic. Principem zkoušky je exponování kovových vzorků do komory, ve které dochází k urychlení korozního děje vlivem zvýšené koncentrace NaCl, vlhkosti a teploty. Prostedí v komoře je tak velmi agresivní vůči nátěrům ale i k podkladu. Zkouška je prováděna podle normy ISO 9227. [8]

Urychlená korozní zkouška v neutrální atmosféře solné mlhy byla prováděna laboratorně podle normy ISO 9227. Zkušební vzorky nátěrových povlaků na Q-panelech byly vystaveny zvýšené koncentraci NaCl, teploty a vlhkosti. Cyklus zkoušky probíhal po dobu dvanácti hodin a byl rozdělen do tří fází. V první fázi byly zkušební vzorky exponovány do mlhy 5% roztoku NaCl při teplotě 35 °C po dobu deseti hodin. V druhé fázi byly zkušební vzorky sušeny při teplotě 23 °C po dobu jednu hodinu. V poslední fázi byly zkušební vzorky vystaveny kondenzaci vlhkosti při teplotě 40 °C po dobu jedné hodiny. Stěžejním prvkem této zkoušky byl chlor, jehož molekula je velmi malá a dokázala se tak dostat až na samotný podklad zkušební vzorku a způsobila prokorodování nátěrového filmu. Nátěrové povlaky byly následně cyklicky hodnoceny.

### **3.8.3. Urychlená korozní zkouška v kondenzační komoře**

Urychlená korozní zkouška v kondenzační komoře se využívá pro zjištění odolnosti nátěrových povlaků vůči vodě. Kovové vzorky s nátěrovým povlakem jsou exponovány v komoře se 100% relativní vlhkostí a zvýšené teploty. Vlivem vysoké vlhkosti dochází ke kondenzaci vody na vzorcích. Zkouška je prováděna podle normy ČSN EN ISO 6270-2. [8]

Urychlená korozní zkouška v kondenzační komoře byla prováděna laboratorně podle normy ČSN EN ISO 6270-2. Zkušební vzorky nátěrových povlaků na Q-panelech byly

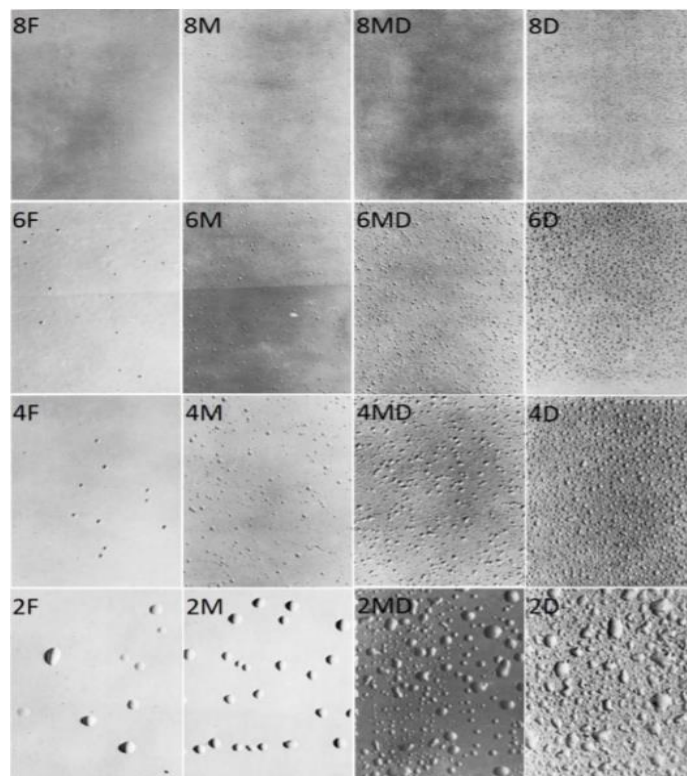
exponovány v komoře se 100% relativní vlhkostí za teploty  $38 \pm 2$  °C a hodnoceny cyklicky. Z důvodu vysoké vlhkosti na zkušební vzorky nepřetržitě působila kondenzace destilované vody.

### 3.9. Hodnocení cyklických korozních zkoušek

Vyhodnocení urychlených korozních zkoušek bylo provedeno porovnáním sedmnácti zkoumaných vzorků nátěrových povlaků se standardy ASTM. Laboratorně byly vyhodnoceny puchýřky v ploše nátěru a řezu, míry prokorodování, koroze v řezu, delaminace nátěru z řezu, ztráta přilnavosti a podkorodování.

#### 3.9.1. Hodnocení puchýřků v ploše nátěru a řezu

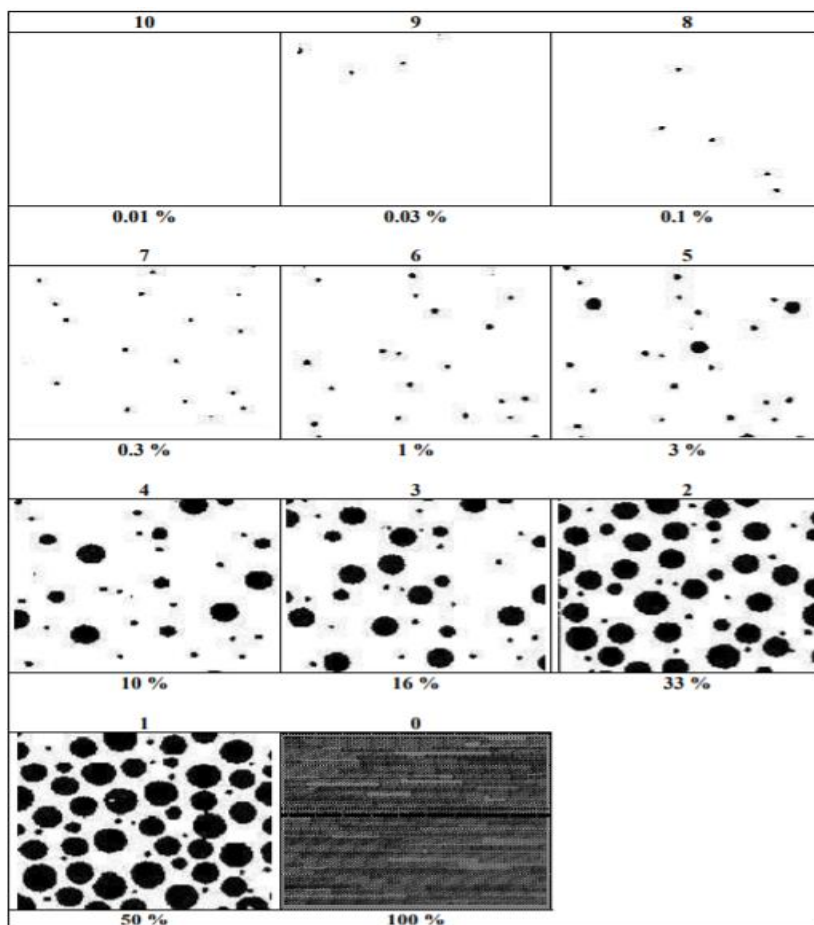
Po cyklických korozních zkouškách byly zkušební vzorky hodnoceny podle ASTM D 714-87 z hlediska výskytu puchýřků. Hodnocení probíhalo na základě porovnání vzorků se standardy normy. Metoda hodnotí počet a velikost puchýřků na nátěrovém povlaku. Princip hodnocení spočívá v označení nátěrového povlaku číslem a písmenem, přičemž číslo udává velikost puchýřků a písmeno vyjadřuje četnost puchýřků. Standardy normy ASTM D 714-87 sloužící k porovnání zkoumaných vzorků a jsou uvedeny na obrázku 1. [8]



Obrázek 1 Standardy normy ASTM D 714-87 [8]

### 3.9.2. Hodnocení prokorodování

Po cyklických korozních zkouškách byly zkušební vzorky hodnoceny podle ASTM D 610-85 z hlediska prokorodování. Prokorodování lze definovat, jako selhání ochranné funkce nátěrového filmu a rozšíření korozních produktů na povrchu nátěrového filmu. Prokorodování bylo hodnoceno podle standardů normy a byl vyjádřen stupeň prokorodování nátěrového filmu podle procentuálního zastoupení korozních produktů v ploše nátěru. Standardy normy jsou uvedeny na následujícím obrázku 2. [8]



Obrázek 2 Standardy pro vyhodnocení stupně prokorodování podle ASTM D 610-85 [8]

### 3.9.3. Hodnocení koroze v řezu

Po cyklických korozních zkouškách se hodnotí podle normy ASTM D 1654-92 koroze v řezu. Hlavním principem této zkoušky je zjištění odolnosti nátěrového filmu vůči korozi v okolí lokálního poškození nátěru (řezu). Hodnocení koroze v řezu bylo zkoumáno laboratorně a šířka koroze v řezu byla měřena v mm. Koroze se hodnotí po cyklických zkouškách přímo na povlaku. Hodnocení koroze v řezu je uvedeno v Tabulce 9.

**Tabulka 9** Hodnocení koroze žezu podle normy ASTM D 1654-92 [8]

Hodnocení [-]	Vzdálenost [mm]	Vzdálenost [palce]
10	0	0
9	0-0.5	0-1/64
8	0.5-1.0	1/64-1/32
7	1.0-2.0	1/32-1/16
6	2.0-3.0	1/16-1/8
5	3.0-5.0	1/8-3/16
4	5.0-7.0	3/16-1/4
3	7.0-10.0	1/4-3/8
2	10.0-13.0	3/8-1/2
1	13.0-16.0	1/2-5/8
0	více 16.0	5/8 a více

### 3.9.4. Hodnocení životnosti nátěrového filmu

Hodnocení životnosti nátěrového filmu pro různé stupně korozní agresivity bylo laboratorně stanoveno podle normy ČSN EN ISO 12944-6. Zkouška vycházela z neutrální atmosféry solné mlhy, kde byla podle délky expozice a odolnosti nátěrového filmu vůči prostředí stanovena životnost nátěrového filmu. Výsledná předpokládaná životnost nátěrového filmu byla stanovena podle následující tabulky (Tabulka 10) a jednotlivé stupně korozní agresivity atmosféry jsou popsány v další tabulce (Tabulka 11). [8]

**Tabulka 10.** Stanovení životnosti nátěrové hmoty v neutrální atmosféře solné mlhy podle normy ČSN EN ISO 12944-6 [8]

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

**Tabulka 11. Rozdělení a příklady jednotlivých stupňů korozní agresivity podle normy ČSN EN ISO 12944-2 [8]**

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 <sub>2</sub> ; 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

### 3.9.5. Elektrochemické stanovení lineární polarizace

Elektrochemické stanovení lineární polarizace bylo prováděno laboratorně. Použitím techniky lineární polarizace bylo možno stanovit polarizační odpor zkoumaných nátěrových filmů. Ze získaných dat bylo možno stanovit přesné antikorozní vlastnosti zkoumaných nátěrových filmů. Zkouška probíhala v uzavřené soustavě roztoku 1M NaCl. Systém byl tvořen nátěrovým filmem aplikovaným na ocelovém panelu QD-24, který byl zapojen jako pracovní elektroda. Dále se v systému nacházela referenční kalomelová elektroda a pomocná platinová elektroda. Následně byl stanoven pro všechny zkoumané nátěrové filmy samovolný korozní potenciál  $E_{\text{corr}}$ , proudová hustota  $I_{\text{corr}}$ , tafelové směrnice  $\beta_a$  a  $\beta_c$ , polarizační odpor  $R_p$  a rychlost koroze.



## 4. Výsledky

Tato kapitola je věnovaná výsledkům výše zmíněných zkušebních metod pro vzorky testovaných organických povlaků. Podkapitoly výsledků jsou řazeny ve stejném pořadí jako zkušební metody v experimentální části práce. V podkapitole 4.1. jsou zpracovány výsledky fyzikálně-chemických vlastností jednotlivých složek studovaných nátěrových hmot. V podkapitole 4.2. jsou zpracovány výsledky fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných povlaků na skleněných podkladech. V podkapitole 4.3. jsou zpracovány výsledky fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných povlaků na ocelových podkladech. V podkapitole 4.4. jsou zpracovány výsledky získané z cyklických korozních zkoušek pro testované nátěrové povlaky.

### 4.1. Výsledky fyzikálně-chemických vlastností složek testovaných nátěrových hmot

Pro jednotlivé pigmenty a plniva zkoumaných nátěrových hmot byla laboratorně stanovena spotřeba oleje a hustota. Následně pomocí získaných dat byla vypočtena hodnota kritické objemové koncentrace pigmentu (KOKP) a olejové číslo. Získané a vypočtené hodnoty jsou zpracovány v následující tabulce (Tabulka 12). Pro pojivo epoxyesterové pryskyřice zkoumaných nátěrových hmot byla laboratorně stanovena hodnota sušiny a hustoty. Získané hodnoty jsou uvedeny v další tabulce (Tabulka 13).

Tabulka 12 Fyzikálně-chemické vlastnosti pigmentů a plniv testovaných nátěrových hmot

Plnivo / Pigment	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]	Olejové číslo [g/100 g pigmentu]	KOKP [%]
Zn	6,99	6,70	66,49
CaCO <sub>3</sub>	3,79	24,88	58,15
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	3,88	24,28	49,68

Tabulka 13 Hodnota sušiny a hustoty pro pojivo epoxyesterové pryskyřice

Pojivo	Obsah sušiny [%]	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]
Epoxyesterová pryskyřice	60	1,01

### 4.2. Výsledky fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na skleněných podkladech

#### 4.2.1. Vyhodnocení MEK testu

Výsledky odolnosti testovaných nátěrových povlaků na skleněném podkladu vůči rozpouštědлу methylethylketon (MEK) jsou pro první tři měření (1., 5. a 8. den) uvedeny v následující tabulce (Tabulka 14). Výsledky zbylých čtyř měření (15., 22., 29. a 60. den) jsou uvedeny v další tabulce (Tabulka 15).

**Tabulka 14 Výsledky MEK testu zkoumaných nátěrových povlaků na skleněném podkladu během 1., 5. a 8. dne měření, DFT = 60 ± 10 μm**

Pigment	OKP [%]	Den 1.		Den 5.		Den 8.	
		Stupeň v čase 50 s	Dosažení stupně 0 [s]	Stupeň v čase 50 s	Dosažení stupně 0 [s]	Stupeň v čase 50 s	Dosažení stupně 0 [s]
Zn	5	3	52	4	80	4	120
	10	4	67	4	92	4	133
	15	4	75	4	107	4	120
	20	0	45	0	50	4	109
	25	3	54	4	73	4	106
	30	0	48	4	76	4	105
	35	3	57	4	80	0	98
	40	2	54	4	53	4	81
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	4	55	4	71	4	83
	10	4	68	4	102	4	147
	15	0	45	4	55	4	78
	20	0	40	4	55	4	63
	25	4	59	4	82	4	89
	30	3	66	4	104	4	108
	35	4	56	4	81	4	88
	40	4	67	4	99	4	130
CaCO <sub>3</sub>	40	3	54	4	68	4	117

**Tabulka 15 Výsledky MEK testu zkoumaných nátěrových povlaků na skleněném podkladu během 15., 22., 29. a 60. dne měření, DFT = 60 ± 10 μm**

Pigment	OKP [%]	Den 15.		Den 22.		Den 29.		Den 60.	
		Stupeň v čase 50 s	Dosažení stupně 0 [s]	Stupeň v čase 50 s	Dosažení stupně 0 [s]	Stupeň v čase 50 s	Dosažení stupně 0 [s]	Stupeň v čase 50 s	Dosažení stupně 0 [s]
Zn	5	4	135	4	181	4	210	4	296
	10	4	143	4	158	4	187	4	280
	15	4	210	4	218	4	221	4	237
	20	4	115	4	152	4	192	4	225
	25	4	112	4	125	4	128	4	223
	30	4	150	4	158	4	170	4	205
	35	4	147	4	153	4	161	4	198
	40	4	136	4	169	4	193	4	213
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	4	143	4	197	4	210	4	-
	10	4	189	4	247	4	-	4	-
	15	4	87	4	124	4	142	4	193
	20	4	113	4	139	4	163	4	206
	25	4	148	4	164	4	240	4	279
	30	4	142	4	173	4	188	4	-
	35	4	113	4	178	4	246	4	295
	40	4	162	4	232	4	-	4	-
CaCO <sub>3</sub>	40	4	155	4	167	4	193	4	227

#### 4.2.2. Vyhodnocení lesku nátěrových povlaků

Testovaným nátěrovým povlakům na skleněném podkladu bylo měřeno číslo lesku pod úhly 20°, 60° a 85°. Výsledky jsou pro první tři měření (1., 5. a 8. den) zpracovány v následující tabulce (Tabulka 16) a zbývající čtyři měření (15., 22., 29. a 60. den) jsou zpracovány v další tabulce (Tabulka 17).

**Tabulka 16** Naměřené hodnoty čísel lesku pro jednotlivé zkoumané nátěrové povlaky na skleněných podkladech během 1., 5. a 8. dne měření, DFT = 60 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Den 1.			Den 5.			Den 8.		
		20°	60°	85°	20°	60°	85°	20°	60°	85°
Zn	5	6,5	42,8	84,8	5,7	40,4	83,8	5,7	40,2	83,9
	10	7,5	46,3	86,7	6,5	43,4	84,7	6,4	43,4	85,2
	15	7,3	45,4	86,4	6,7	43,2	84,7	6,6	43,5	85,2
	20	7,2	45,8	85,7	6,0	41,8	84,4	5,9	41,5	83,5
	25	9,1	50,4	87,7	7,4	46,3	86,4	7,1	45,7	86,0
	30	5,0	36,4	80,2	4,6	33,9	78,4	4,5	33,7	78,2
	35	6,5	42,7	84,1	6,6	40,4	83,8	5,2	40,7	84,2
	40	7,6	46,8	86,2	6,5	43,6	85,2	6,3	42,7	84,4
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	3,5	30,1	78,2	3,1	28,0	77,1	3,0	27,4	75,9
	10	3,0	27,3	76,1	2,8	25,5	74,4	2,6	24,3	73,6
	15	3,1	28	76,7	2,8	26,0	74,7	2,8	25,3	74,3
	20	1,6	16,6	67,0	1,6	15,9	65,7	1,6	16,0	65,8
	25	1,3	12,5	60,8	1,2	11,9	59,8	1,2	12,7	61,1
	30	0,9	9,6	57,4	0,8	8,0	53,7	0,8	8,0	53,7
	35	0,6	4,3	48,1	0,7	4,1	46,8	0,7	4,1	46,5
	40	0,6	4,1	49,8	0,5	3,8	48,3	0,5	3,8	48,3
CaCO <sub>3</sub>	40	1,7	17,3	67,9	1,5	15,9	66,3	1,5	15,8	65,8

**Tabulka 17** Naměřené hodnoty čísel lesku pro jednotlivé zkoumané nátěrové povlaky na skleněných podkladech během 15., 22., 29. a 60. dne měření, DFT = 60 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Den 15.			Den 22.			Den 29.			Den 60.		
		20°	60°	85°	20°	60°	85°	20°	60°	85°	20°	60°	85°
Zn	5	5,2	38,3	82,1	4,8	36,9	79,9	4,7	36,3	80,3	4,2	33,7	79,8
	10	5,9	41,3	83,6	5,6	40,6	83,2	5,5	40,1	82,9	5,4	39,6	82,4
	15	6,0	41,4	83,3	5,7	40,4	84,2	5,5	40,1	83,4	5,4	39,4	81,8
	20	5,2	39,1	82,3	4,7	37,0	81,0	4,6	36,3	82,0	4,1	32,8	73,9
	25	6,2	42,7	83,7	5,7	41,0	83,1	5,6	40,3	83,6	4,8	37,9	82,7
	30	4,1	31,8	76,3	3,9	31,0	75,5	3,8	30,4	74,8	3,4	29,1	75,8
	35	5,2	39,2	82,9	5,7	36,8	79,4	4,5	36,5	80,8	4,4	36,2	80,1
	40	5,4	39,8	83,0	5,0	38,1	82,3	4,8	37,3	81,7	4,6	36,0	80,2
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	2,9	27,0	75,7	2,8	25,8	75,1	2,7	25,6	73,7	2,5	23,9	73,4
	10	2,4	23,1	71,6	2,3	21,5	70,1	2,3	21,2	70,5	2,2	21,0	70,2
	15	2,6	24,3	73,0	2,5	23,8	72,3	2,4	23,2	72,2	2,3	22,7	72,2
	20	1,6	15,4	64,7	1,5	15,3	64,0	1,5	14,3	63,0	1,5	14,3	62,8
	25	1,2	12,4	60,7	1,2	12,4	60,3	1,1	11,4	58,6	1,0	11,1	57,8
	30	0,7	7,2	51,6	0,7	7,3	51,1	0,7	6,9	50,3	0,7	6,9	50,1
	35	0,6	4,0	45,7	0,7	4,0	45,5	0,6	3,9	46,1	0,6	3,8	45,8
	40	0,5	3,7	47,6	0,5	3,5	45,2	0,5	3,5	45,3	0,5	3,5	45,1
CaCO <sub>3</sub>	40	1,4	15,0	64,7	1,3	14,3	63,2	1,3	14,2	63,5	1,3	14,0	62,8

#### 4.2.3. Vyhodnocení Buchholzovy vrypové zkoušky

Výsledky měření odolnosti testovaných nátěrových povlaků vůči vrypu Buchholzovou metodou, a tedy hodnoty délky vtisku jsou zpracovány v následující tabulce (Tabulka 18).

**Tabulka 18** Výsledné hodnoty délky vtisku Buchholzovou metodou pro testované nátěrové povlaky na skleněném podkladu během 1., 5., 8., 15., 22., 29. a 60. dne měření, DFT = 60 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Délka vtisku [mm]						
		Den 1.	Den 5.	Den 8.	Den 15.	Den 22.	Den 29.	Den 60.
Zn	5	2,48	1,93	1,43	1,33	1,22	1,17	1,05
	10	2,42	1,84	1,65	1,52	1,34	1,23	1,12
	15	2,45	1,55	1,44	1,35	1,29	1,19	1,14
	20	2,31	1,84	1,42	1,37	1,25	1,18	1,09
	25	2,21	1,63	1,55	1,39	1,21	1,15	1,04
	30	1,84	1,42	1,32	1,29	1,21	1,18	1,08
	35	1,83	1,81	1,51	1,49	1,42	1,32	1,09
	40	1,81	1,78	1,65	1,52	1,36	1,31	1,02
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	2,16	1,65	1,41	1,31	1,19	1,04	0,96
	10	2,03	1,76	1,29	1,24	1,16	1,06	0,94
	15	1,87	1,63	1,33	1,27	1,16	1,12	1,01
	20	1,85	1,62	1,24	1,19	1,12	1,04	0,97
	25	1,97	1,48	1,32	1,21	1,13	1,03	0,96
	30	1,98	1,64	1,25	1,15	1,09	0,94	0,92
	35	1,93	1,42	1,16	1,11	0,96	0,85	0,83
	40	1,83	1,66	1,43	1,36	1,17	0,85	0,83
CaCO <sub>3</sub>	40	2,07	1,42	1,30	1,23	1,16	1,09	0,96

#### 4.2.4. Vyhodnocení relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem a stanovení stupně přilnavosti mřížkovou metodou

Výsledky stanovení relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu na skleněných vzorcích kyvadlovým přístrojem podle Perzöse a stanovení stupně přilnavosti mřížkovou metodou za laboratorních podmínek jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 19). Výsledná hodnota relativní povrchové tvrdosti testovaného nátěrového filmu byla vztažena procentuálně ke standardu.

**Tabulka 19** Výsledky relativní povrchové tvrdosti na skleněných podkladech s testovaným nátěrovým filmem, DFT = 60 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Přilnavost 5 x 1 mm / 5 x 2 mm [st]	Relativní povrchová tvrdost [%]						
			Den 1.	Den 5.	Den 8.	Den 15.	Den 22.	Den 29.	Den 60.
Zn	5	0/0	7,7	15,7	17,5	25,6	29,4	30,9	36,4
	10	1/1	6,9	11,8	14,2	21,8	26,7	29,1	33,6
	15	1/1	8,2	16,9	19,0	25,6	29,7	31,5	35,9
	20	1/0	8,5	16,2	19,4	27,6	31,1	32,8	37,6
	25	2/1	9,3	19,3	22,7	30,2	32,6	33,4	39,9
	30	1/1	9,3	20,6	22,4	29,0	32,3	32,9	35,7
	35	1/1	7,8	15,3	19,0	25,9	30,1	31,5	35,3
	40	1/1	8,5	16,0	20,0	27,1	30,8	31,4	35,2
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	2/1	8,3	14,0	17,7	24,4	28,5	30,8	34,3
	10	1/1	9,2	17,0	19,7	26,6	30,4	31,9	37,2
	15	2/1	10,2	20,2	23,3	29,8	32,8	33,4	38,5
	20	2/1	10,2	20,9	23,9	29,7	32,4	34,3	38,1
	25	1/1	8,6	15,4	18,2	25,0	28,3	29,5	34,1
	30	1/0	9,3	17,1	20,9	27,6	31,7	33,3	37,9
	35	0/0	10,3	21,5	23,5	29,8	33,0	34,9	40,2
	40	2/0	8,8	16,2	18,8	25,2	31,5	31,9	38,1
CaCO <sub>3</sub>	40	1/0	9,5	18,8	22,3	29,4	32,6	34,0	37,9

### 4.3. Výsledky fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na ocelových podkladech

#### 4.3.1. Výsledky stanovení přilnavosti mřížkovou metodou a odolnosti vůči ohybu, úderu a hloubení

Výsledky mechanické odolnosti vůči ohybu, úderu a hloubení a stanovení přilnavosti mřížkovou metodou pro testované organické povlaky s obsahem antikoročních anorganických pigmentů na ocelových podkladech jsou uvedeny v Tabulce 20.

**Tabulka 20** Mechanická odolnost organických povlaků s obsahem antikoročních anorganických pigmentů, DFT = 40 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Přilnavost 5 x 1 mm [st.]	Ohyb [mm]	Úder [cm]	Hloubení [mm]
Zn	5	0	<4	> 100	> 10
	10	0	<4	> 100	> 10
	15	0	<4	> 100	> 10
	20	0	<4	> 100	> 10
	25	0	<4	> 100	> 10
	30	0	<4	> 100	> 10
	35	0	<4	> 100	> 10
	40	0	<4	> 100	> 10
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	0	<4	> 100	> 10
	10	0	<4	> 100	> 10
	15	0	<4	> 100	> 10
	20	0	<4	> 100	> 10
	25	0	<4	> 100	> 10
	30	0	<4	> 100	> 10
	35	0	<4	> 100	> 10
	40	0	<4	> 100	> 10
CaCO <sub>3</sub>	40	1	6	95	9,8

#### 4.4. Výsledky cyklických korozních zkoušek

Výsledky cyklických korozních zkoušek jsou rozděleny do čtyřech podkapitol. V podkapitole 4.4.1. jsou uvedeny výsledky korozních zkoušek v kombinované komoře ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého a v neutrální atmosféře solné mlhy. V podkapitole 4.4.2. jsou uvedeny výsledky korozních zkoušek v neutrální atmosféře solné mlhy. V podkapitole 4.4.3. jsou uvedeny výsledky korozních zkoušek v kondenzační komoře. V podkapitole 4.4.4. jsou uvedeny výsledky elektrochemického stanovení lineární polarizace.

##### 4.4.1. Výsledky kombinované cyklické korozní zkoušky ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého a v neutrální atmosféře solné mlhy

Výsledky korozních zkoušek ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého a neutrální atmosféry solné mlhy pro testované nátěrové povlaky jsou uvedeny v následujících tabulkách. V Tabulce 21 jsou uvedeny výsledky testovaných nátěrových povlaků po expozici ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého po dobu 360 hodin a v neutrální atmosféře solné mlhy po dobu 120 hodin. V Tabulce 22 jsou uvedeny výsledky testovaných nátěrových povlaků po expozici ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého po dobu 360 hodin a v neutrální atmosféře solné mlhy po dobu 360 hodin. Všechny hodnocené vzorky měly uprostřed Q-panelu řez o délce 8 cm a šířce 0,5mm.

**Tabulka 21** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého = 360 h a po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 120 h, DFT = 110 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Koroze	Prokorodování
		v řezu [st]	v ploše [st]	v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn	5	6D	-	0,5-1	0,01
	10	8MD	-	0,5-1	0,01
	15	8M	-	0,5-1	-
	20	8MD	-	0,5-1	-
	25	8M	-	0-0,5	-
	30	8F	-	0-0,5	-
	35	8F	-	0-0,5	-
	40	-	-	0-0,5	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	6MD	-	0-0,5	0,01
	10	8M	-	0-0,5	0,01
	15	6F	-	0-0,5	-
	20	6M	-	0-0,5	-
	25	6M	-	0-0,5	-
	30	8M	-	0-0,5	-
	35	8F	-	0-0,5	-
	40	6F	-	0-0,5	-
CaCO <sub>3</sub>	40	4D	-	0-0,5	0,01

**Tabulka 22** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého = 360 h a po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 360 h, DFT = 110 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Koroze	Prokorodování
		v řezu [st]	v ploše [st]	v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn	5	6MD	-	0,5-1	0,01
	10	6MD	-	1-2	0,01
	15	8M	-	0,5-1	0,01
	20	8MD	-	0,5-1	0,01
	25	8M	-	0,5-1	-
	30	6F	-	0,5-1	-
	35	6F	-	0-0,5	-
	40	8F	-	0-0,5	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	6MD	-	0,5-1	0,01
	10	6M	-	0,5-1	0,01
	15	6M	-	0,5-1	0,01
	20	4MD	-	0,5-1	0,01
	25	4MD	-	0,5-1	-
	30	6M	-	0-0,5	-
	35	6F	-	0-0,5	-
	40	6F	-	0-0,5	-
CaCO <sub>3</sub>	40	4D	-	0,5-1	0,01

#### 4.4.2. Výsledky korozní zkoušky v neutrální atmosféře solné mlhy

Výsledky korozních zkoušek v neutrální atmosféře solné mlhy pro testované nátěrové povlaky jsou uvedeny v Tabulce 23-28. V Tabulce 23, 25 a 27 jsou uvedeny výsledky testovaných nátěrových povlaků bez řezu, které byly exponovány v neutrální atmosféře solné mlhy po dobu 480 hodin, 720 hodin a 840 hodin. V Tabulce 24, 26 a 28 jsou uvedeny výsledky testovaných nátěrových povlaků s řezem uprostřed o délce 8 cm a šířce 0,5 mm, které byly exponovány v neutrální atmosféře solné mlhy po dobu 480 hodin, 720 hodin a 840 hodin.

**Tabulka 23** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky bez řezu po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 480 h, DFT = 110 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Puchýře	Prokorodování
		v ploše [st]	v ploše [%]
Zn	5	-	-
	10	-	-
	15	-	0,01
	20	-	-
	25	8M	-
	30	-	-
	35	6F	-
	40	-	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	-	0,1
	10	-	0,01
	15	-	-
	20	-	-
	25	-	0,01
	30	-	-
	35	-	-
	40	-	-
CaCO <sub>3</sub>	40	-	0,01

**Tabulka 24** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 480 h, DFT = 110 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Koroze v řezu [mm]	Prokorodování v ploše [%]
		v řezu [st]	v ploše [st]		
Zn	5	-	-	1-2	-
	10	-	-	1-2	-
	15	-	8F	0,5-1	-
	20	-	8F	0,5-1	-
	25	4F	-	0,5-1	-
	30	6F	-	1-2	-
	35	-	-	2-3	-
	40	-	-	2-3	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	4M	-	0-0,5	-
	10	6F	-	-	-
	15	4F	-	0-0,5	-
	20	6F	-	0-0,5	-
	25	6F	-	0-0,5	-
	30	-	-	-	-
	35	8F	-	-	-
	40	4F	-	-	-
CaCO <sub>3</sub>	40	-	-	0-0,5	-

**Tabulka 25** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky bez řezu po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 720 h, DFT = 110 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Prokorodování	
		v ploše [st]		v ploše [%]	
Zn	5	-	-	0,01	-
	10	-	-	0,01	-
	15	-	-	0,01	-
	20	-	-	0,01	-
	25	2M	-	0,01	-
	30	-	-	0,01	-
	35	6F	-	-	-
	40	-	-	-	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	-	-	0,3	-
	10	-	-	0,01	-
	15	-	-	0,01	-
	20	-	-	0,01	-
	25	-	-	0,01	-
	30	-	-	0,01	-
	35	-	-	0,01	-
	40	-	-	-	-
CaCO <sub>3</sub>	40	-	-	0,01	-



**Tabulka 26** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 720 h, DFT = 110 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Koroze v řezu [mm]	Prokorodování v ploše [%]
		v řezu [st]	v ploše [st]		
Zn	5	6MD	-	1-2	-
	10	-	-	1-2	-
	15	-	8F	1-2	-
	20	6F	8F	0,5-1	-
	25	2F	-	1-2	-
	30	6F	-	1-2	-
	35	-	-	1-2	-
	40	-	-	0,5-1	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	4M	-	0-0,5	0,01
	10	4F	-	0-0,5	-
	15	4M	-	0,5-1	0,01
	20	4M	-	0,5-1	-
	25	4M	-	0-0,5	0,01
	30	4F	-	0-0,5	-
	35	8F	-	0-0,5	-
	40	-	-	0-0,5	-
CaCO <sub>3</sub>	40	6M	-	1-2	0,01

**Tabulka 27** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky bez řezu po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 840 h, DFT = 110 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Prokorodování v ploše [%]
		v ploše [st]		
Zn	5	-		0,01
	10	-		0,01
	15	-		0,01
	20	-		0,01
	25	8M		0,01
	30	-		0,01
	35	6F		0,01
	40	-		-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	8F		0,3
	10	8F		0,01
	15	-		0,01
	20	-		0,01
	25	-		0,01
	30	-		0,01
	35	-		0,01
	40	-		-
CaCO <sub>3</sub>	40	8F		0,01

**Tabulka 28** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 840 h, DFT = 110 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Koroze	Prokorodování
		v řezu [st]	v ploše [st]	v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn	5	6MD	-	1-2	-
	10	8F	-	1-2	-
	15	8F	8F	2-3	-
	20	6F	8F	1-2	-
	25	2M	-	1-2	-
	30	4F	-	2-3	-
	35	8F	-	2-3	-
	40	8F	-	2-3	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	4M	-	1-2	0,01
	10	4M	-	1-2	-
	15	2M	-	1-2	0,01
	20	4MD	-	1-2	-
	25	4M	-	0,5-1	0,01
	30	4F	-	0,5-1	-
	35	8F	-	0-0,5	-
	40	4F	-	0-0,5	-
CaCO <sub>3</sub>	40	6M	-	1-2	0,01

#### 4.4.3. Výsledky korozní zkoušky v kondenzační komoře

Výsledky korozních zkoušek v kondenzační komoře pro testované nátěrové povlaky na bázi antikoročních pigmentů jsou uvedeny v Tabulce 29, 30 a 31. Výsledky v tabulkách jsou po 480, 720 a 840 hodinách expozice v kondenzační komoře. Všechny hodnocené vzorky měly uprostřed Q-panelu řez o délce 8 cm a šířce 0,5 mm.

**Tabulka 29** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v kondenzační komoře = 480 h, DFT = 110 ± 10 µm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Koroze	Prokorodování
		v řezu [st]	v ploše [st]	v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn	5	-	-	-	-
	10	-	-	-	-
	15	-	-	0-0,5	-
	20	-	-	-	-
	25	-	-	-	-
	30	-	-	-	-
	35	-	-	-	-
	40	-	-	-	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	-	-	0-0,5	-
	10	-	-	0-0,5	-
	15	-	-	0-0,5	-
	20	-	-	0-0,5	-
	25	-	-	0-0,5	-
	30	-	-	-	-
	35	-	-	-	-
	40	-	-	-	-
CaCO <sub>3</sub>	40	-	-	0-0,5	-

**Tabulka 30** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v kondenzační komoře = 720 h, DFT = 110 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Koroze	Prokorodování
		v řezu [st]	v ploše [st]	v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn	5	-	-	-	-
	10	-	-	-	-
	15	-	-	0-0,5	-
	20	-	-	-	-
	25	-	-	-	-
	30	-	-	-	-
	35	-	-	-	-
	40	-	-	-	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	-	-	0-0,5	-
	10	-	-	0-0,5	-
	15	-	-	0-0,5	-
	20	-	-	0-0,5	-
	25	-	-	0-0,5	-
	30	-	-	0-0,5	-
	35	-	-	-	-
	40	-	-	-	-
CaCO <sub>3</sub>	40	-	-	0-0,5	-

**Tabulka 31** Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v kondenzační komoře = 840 h, DFT = 110 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	Puchýře		Koroze	Prokorodování
		v řezu [st]	v ploše [st]	v řezu [mm]	v ploše [%]
Zn	5	-	-	0-0,5	-
	10	-	-	0-0,5	-
	15	-	-	0-0,5	-
	20	-	-	-	-
	25	-	-	-	-
	30	-	-	-	-
	35	-	-	-	-
	40	-	-	-	-
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	-	-	0-0,5	-
	10	-	-	0-0,5	-
	15	-	-	0-0,5	-
	20	-	-	0-0,5	-
	25	-	-	0-0,5	-
	30	-	-	0-0,5	-
	35	-	-	-	-
	40	-	-	-	-
CaCO <sub>3</sub>	40	-	-	0-0,5	-

#### 4.4.4. Výsledky elektrochemického stanovení lineární polarizace

Výsledky získané při laboratorním elektrochemickém stanovením lineární polarizace testovaných nátěrových povlaků jsou zpracovány v následující tabulce (Tabulka 32).

**Tabulka 32** Výsledky elektrochemického stanovení lineární polarizace testovaných nátěrových povlaků,  
DFT = 40 ± 10 μm

Pigment	OKP [%]	E <sub>corr</sub> [mV]	I <sub>corr</sub> [μA]	β <sub>a</sub> [mV]	β <sub>c</sub> [mV]	R <sub>p</sub> [Ω]	CR [mm / rok]
Zn	5	-704	0,98x10 <sup>-2</sup>	28,7	29,7	6,42x10 <sup>5</sup>	0,15x10 <sup>-3</sup>
	10	-710	0,78x10 <sup>-2</sup>	28,2	29,4	8,06x10 <sup>5</sup>	0,11x10 <sup>-3</sup>
	15	-709	0,76x10 <sup>-2</sup>	27,7	29,1	8,13x10 <sup>5</sup>	0,11x10 <sup>-3</sup>
	20	-707	0,81x10 <sup>-2</sup>	28,4	29,5	8,72x10 <sup>5</sup>	0,12x10 <sup>-3</sup>
	25	-711	0,98x10 <sup>-3</sup>	28,8	29,8	6,45x10 <sup>6</sup>	0,15x10 <sup>-4</sup>
	30	-715	0,75x10 <sup>-3</sup>	27,9	29,5	8,26x10 <sup>6</sup>	0,11x10 <sup>-4</sup>
	35	-717	0,55x10 <sup>-3</sup>	28,2	29,2	1,13x10 <sup>7</sup>	0,82x10 <sup>-5</sup>
	40	-719	0,45 x10 <sup>-3</sup>	28,5	29,7	1,38 x10 <sup>7</sup>	0,67x10 <sup>-5</sup>
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	5	-698	0,41x10 <sup>-1</sup>	27,8	28,1	1,47x10 <sup>5</sup>	0,61x10 <sup>-3</sup>
	10	-701	0,42x10 <sup>-1</sup>	28,2	28,6	1,46x10 <sup>5</sup>	0,62x10 <sup>-3</sup>
	15	-708	0,38x10 <sup>-2</sup>	28,6	29,5	1,65x10 <sup>5</sup>	0,56x10 <sup>-3</sup>
	20	-711	0,34x10 <sup>-2</sup>	28,7	28,4	1,82x10 <sup>5</sup>	0,51x10 <sup>-3</sup>
	25	-712	0,32x10 <sup>-2</sup>	28,6	29,9	1,94x10 <sup>5</sup>	0,48x10 <sup>-3</sup>
	30	-714	0,31x10 <sup>-2</sup>	28,7	29,8	2,03x10 <sup>5</sup>	0,31x10 <sup>-3</sup>
	35	-709	0,28x10 <sup>-2</sup>	28,2	28,3	2,13x10 <sup>6</sup>	0,43x10 <sup>-4</sup>
	40	-714	0,24x10 <sup>-2</sup>	28,5	28,1	2,48x10 <sup>6</sup>	0,37x10 <sup>-4</sup>
CaCO <sub>3</sub>	40	-418	0,98x10 <sup>-1</sup>	28,4	28,4	6,27x10 <sup>4</sup>	0,15x10 <sup>-2</sup>

## **5. Komentáře k výsledkům**

Jednotlivé podkapitoly komentářů k výsledkům jsou řazeny ve stejném pořadí jako jednotlivé podkapitoly výsledků. V podkapitole 5.1. jsou uvedeny komentáře k výsledkům fyzikálně-chemických vlastností složek testovaných nátěrových hmot, přičemž příslušné výsledky jsou uvedeny v podkapitole 4.1. V podkapitole 5.2. jsou uvedeny komentáře k výsledkům fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na skleněných podkladech, přičemž příslušné výsledky jsou uvedeny v podkapitole 4.2. V podkapitole 5.3. jsou uvedeny komentáře k výsledkům fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na ocelových podkladech, přičemž příslušné výsledky jsou uvedeny v podkapitole 4.3. V podkapitole 5.4. jsou uvedeny komentáře k výsledkům cyklických korozních zkoušek, přičemž příslušné výsledky jsou uvedeny v podkapitole 4.4.

### **5.1. Komentáře k výsledkům fyzikálně-chemických vlastností složek testovaných nátěrových hmot**

Pro studované pigmenty byla laboratorně stanovena hustota, spotřeba oleje a následně vypočítána hodnota kritické objemové koncentrace pigmentu (KOKP). Pro pojivo epoxyesterové pryskyřice byla laboratorně stanovena hodnota sušiny a hustota. Při laboratorním stanovení hustoty automatickým plynovým pyknometrem dosahoval největší hodnoty zinkový prach s  $6,99 \text{ g.cm}^{-3}$ . Nejnižší hodnotu hustoty dosáhl vápenec s  $3,79 \text{ g.cm}^{-3}$ , přičemž hustota fosforečnanu zinečnatého dosáhla hodnoty  $3,88 \text{ g.cm}^{-3}$ . Vysoké hodnoty olejového čísla dosáhl vápenec a fosforečnan zinečnatý, přičemž olejové číslo vápence dosáhlo hodnoty  $24,88 \text{ g oleje/100 g pigmentu}$  a olejové číslo fosforečnanu zinečnatého dosáhlo hodnoty  $24,28 \text{ g oleje/100 g pigmentu}$ . Nízkou hodnotu olejového čísla vykazoval zinkový prach s  $6,70 \text{ g oleje/100 g pigmentu}$ . Nejvyšší hodnoty KOKP dosahoval zinkový prach s  $66,49 \%$ , následoval vápenec s hodnotou  $58,15 \%$  a nejnižší hodnoty KOKP dosahoval fosforečnan zinečnatý s hodnotou  $49,68 \%$ . Pojivo epoxyesterové pryskyřice dosahovalo  $60 \%$  obsahu sušiny a hustoty  $1,01 \text{ g/cm}^3$ .

### **5.2. Komentáře k výsledkům fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na skleněných podkladech**

Na skleněné podklady byl aplikován organický povlak s  $\text{DFT} = 60 \pm 10 \text{ }\mu\text{m}$  na bázi epoxyesterové pryskyřice s antikorozními kovovými pigmenty na bázi zinku a fosforečnanu zinečnatého. Organický povlak byl následně hodnocen podle metod MEK testu, měření lesku, Buchholzovy vrypové zkoušky a relativní povrchové tvrdosti. Hodnocení probíhalo vždy 1., 5.,

8., 15., 22., 29. a 60. den. Dále byla měřena přilnavost organického povlaku mřížkovou metodou za použití řezacích nožů s rozměry čepele 5 x 1 mm a 5 x 2 mm.

### **5.2.1. Komentáře k výsledkům MEK testu**

Naměřené hodnoty MEK testu pro naformulované organické povlaky s obsahem antikoročních anorganických pigmentů ukazovaly střední odolnost vůči rozpouštědлу methylethylketonu. Odolnost testovaných povlaků výrazně rostla s časem, z důvodu oxopolymerační reakce vytvrzování bez ohledu na zvyšující se hodnotu OKP studovaných pigmentů, vůči rozpouštědлу methylethylketonu.

Během prvního dne měření času potřebného na obnažení podkladu byla nejvyšší hodnota 75 sekund zaznamenána u povlaku s obsahem zinku o hodnotě OKP = 15 %, přičemž povlaky s obsahem zinku o hodnotě OKP = 20 % a 30 % a povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 20 % a 15 % neudolaly ani 50 sekund. Povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 15 % dosahoval nejnižší odolnosti vůči rozpouštědлу methylethylketonu a během 15. dne měření byla naměřená hodnota pro obnažení k podkladu 87 sekund, přičemž ostatní povlaky se pohybovaly v intervalu od 112-210 sekund. Nejvyšší odolnost vůči rozpouštědлу methylethylketonu dosahovaly povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 10 % a 40 %, u kterých už při 29. dni měření nedošlo během 300 sekund k obnažení k podkladu. Během 60. dne měření nedošlo u dalších povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého s hodnotou OKP = 5 % a 30 % k obnažení podkladu po dobu 300 sekund. Nejvyšší odolnosti vůči rozpouštědлу methylethylketonu během 60. dne měření z povlaků s obsahem zinku dosahovaly povlaky s hodnotou OKP = 5 % a 10 %, a tedy hodnot 296 a 280 sekund.

#### **Shrnutí**

- Odolnost výrazně rostla s časem z důvodu vytvrzení testovaných organických povlaků zasychajících oxopolymerační reakcí.
- Nejvyšší odolnosti dosahovaly povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 10 % a 40 %.
- Nejvyšší odolnosti z organických povlaků s obsahem zinku dosahovaly povlaky s hodnotou OKP = 5 % a 10 %.

### **5.2.2. Komentáře k výsledkům měření čísla lesku**

Během měření čísla lesku pro testované organické povlaky na bázi antikoročních anorganických pigmentů lze pozorovat mírný pokles lesku s časem. Pokles lesku u povlaků na bázi zinkového pigmentu lze pozorovat pouze s časem, přičemž pokles lesku u povlaků na bázi fosforečnanu zinečnatého lze pozorovat s časem, ale i se zvyšující se hodnotou OKP.

Tento pokles čísla lesku byl výrazný již při prvním dni měření, kdy naměřené hodnoty pro povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 5 % byly 3,5; 30,1; 78,2 (pro 20°, 60° a 85°), přičemž naměřené hodnoty pro povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 40 % byly 0,6; 4,1; 49,8 (pro 20°, 60° a 85°). Rozdíl čísla lesku lze pozorovat i mezi jednotlivými povlaky na bázi zinku nebo fosforečnanu zinečnatého, kdy nejvyšší hodnoty lesku pro první den měření dosahoval povlak s obsahem zinku o hodnotě OKP = 25 % 9,1; 50,4; 87,7 (pro 20°, 60° a 85°). Nejnižší hodnoty lesku pro první den měření dosahoval povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 40 % 0,6; 4,1; 49,8. Tyto dva povlaky měly po celou dobu měření, tedy po dobu 60 dní stále nejvyšší a nejnižší hodnoty čísla lesku. Povlaky na bázi zinkového pigmentu lze definovat jako lesklé, přičemž povlaky na bázi fosforečnanu zinečnatého jako matné. Během 60. dne měření dosahoval povlak s obsahem zinku o hodnotě OKP = 25 % hodnot lesku 7,1; 45,7; 86,0 (20°, 60° a 85°) a povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 40 % hodnot lesku 0,5; 3,8; 48,3 (20°, 60° a 85°).

#### **Shrnutí**

- U povlaků s obsahem zinku dochází k poklesu čísla lesku s časem.
- U povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dochází k poklesu čísla lesku s časem i se zvyšující se hodnotou OKP.
- Povlaky s obsahem zinku jsou lesklé a povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého jsou matné.
- Nejvyšší hodnotu čísla lesku dosáhl povlak s obsahem zinku o hodnotě OKP = 25 % a nejnižší hodnotu čísla lesku dosáhl povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 40 %.

#### **5.2.3. Komentáře k výsledkům Buchholzovy vrypové zkoušky**

Zkouška hodnotila odolnost organického povlaku vůči vtisku. Nárůst odolnosti organických povlaků vůči vtisku a tím i kratší délku vrypu lze pozorovat nárůstem času z důvodu oxopolymerační reakce při vytvrzování organických povlaků na bázi epoxyesterové pryskyřice. Nárůst odolnosti vůči vtisku lze pozorovat také u zvyšující se hodnoty OKP, jak pro povlaky s obsahem zinku, tak pro povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého. Během prvního dne byla pro povlaky s obsahem zinku naměřena nejvyšší hodnota délky vtisku 2,48 mm pro povlak s hodnotou OKP = 5 % a nejnižší hodnota délky vtisku 1,81 mm pro povlak s hodnotou OKP = 40 %. Pro povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého byla pro první den naměřena nejvyšší hodnota délky vtisku 2,16 mm pro povlak o hodnotě OKP = 5 % a nejnižší hodnota délky vtisku 1,83 mm pro povlak o hodnotě OKP = 40 %. Během 60. dne měření byla

naměřena nejvyšší hodnota 1,14 mm pro povlak s obsahem zinku o hodnotě OKP = 15 % a 1,01 mm pro povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 15 %. Nejnížší hodnota 1,02 mm byla naměřena pro povlak s obsahem zinku o hodnotě OKP = 40 % a 0,83 mm pro povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 15 %.

### **Shrnutí**

- Odolnost testovaných organických povlaků výrazně rostla s časem z důvodu vytvrzení nátěrových filmů zasychajících oxopolymerační reakcí.
- Nejvyšší hodnoty dosahovaly povlaky s obsahem zinku o hodnotě OKP = 15 % a povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 15 %.
- Nejnížší hodnoty dosahovaly povlaky s obsahem zinku o hodnotě OKP = 40 % a povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 40 %.

### **5.2.4. Komentáře k výsledkům relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem**

Během měření relativní povrchové tvrdosti vyjádřené v procentech vztažené ke skleněnému standardu lze sledovat nárůst s časem a mírný nárůst se zvyšující se hodnotou OKP. Všechny povlaky ukazyvaly stejný průběh nárůstu povrchové relativní tvrdosti s časem, a tedy během prvních čtyř měření výrazný nárůst a během posledních tří měření mírný nárůst. Nárůst relativní povrchové tvrdosti s časem lze vysvětlit oxopolymerační vytvrzovací reakcí u nátěrových povlaků na bázi epoxyesterových pryskyřic. Během prvního dne měření organických povlaků s obsahem zinkového pigmentu dosahoval nejnížší relativní povrchové tvrdosti s hodnotou 6,9 % povlak o hodnotě OKP = 10 %, nejvyšší relativní povrchové tvrdosti s hodnotou 9,3 % dosahoval povlak o hodnotě OKP = 25 %. Během prvního dne měření organických povlaků s obsahem pigmentu na bázi fosforečnanu zinečnatého dosahoval nejnížší relativní povrchové tvrdosti s hodnotou 8,3 % povlak o hodnotě OKP = 5 %, nejvyšší relativní povrchové tvrdosti s hodnotou 10,3 % dosahoval povlak o hodnotě OKP = 35 %. Během 60. dne měření organických povlaků s obsahem zinku dosahoval nejvyšších hodnot relativní povrchové tvrdosti 39,9 % povlak s hodnotou OKP = 25 % a nejnížších hodnot relativní povrchové tvrdosti 33,6 % povlak s hodnotou OKP = 10 %. Během 60. dne měření organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosahoval nejvyšších hodnot relativní povrchové tvrdosti 40,2 % povlak s hodnotou OKP = 35 % a nejnížších hodnot relativní povrchové tvrdosti 34,3 % povlak s hodnotou OKP = 5 %.



### **Shrnutí**

- Nejvyšší nárůst relativní povrchové tvrdosti byl zaznamenán během prvních čtyř měření.
- Relativní povrchová tvrdost rostla v závislosti na čase z důvodu vytvrzení testovaných vzorků zasychajících oxopolymerační reakcí.
- Relativní povrchová tvrdost mírně rostla se zvyšující se hodnotou OKP.
- Nejvyšší hodnoty relativní povrchové tvrdosti dosáhl organický povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého při hodnotě OKP = 35 %.

#### **5.2.5. Komentáře k výsledkům stanovení stupně přilnavosti mřížkovou metodou**

Organické povlaky s obsahem antikoročních anorganických pigmentů a vápence na skleněných panelech dosahovaly vynikajících stupňů přilnavosti pro oba typy řezacích nožů s rozměry 5 x 1 mm i 5 x 2 mm. Organické povlaky dosahovaly lepších stupňů přilnavosti při použití řezacího nože s většími rozměry, tedy 5 x 2 mm. Organické povlaky s obsahem zinku o hodnotě OKP = 5 % a povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 35 % dosahovaly v obou měření stupně přilnavosti 0. Organické povlaky s obsahem zinku o hodnotě OKP = 25 % a povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 5 %, 15 %, 20 % a 40 % dosahovaly nejvyšších hodnot stupně přilnavosti 2, což i přesto lze považovat za vynikající výsledky, jelikož ztráta přilnavosti se pohybovala v intervalu od 5 % do 15 %. Ostatní organické povlaky dosahovaly nejvyšší stupně přilnavosti 1, kde je ztráta přilnavosti do 5 %.

### **Shrnutí**

- Organické povlaky s obsahem antikoročních pigmentů dosahovaly vynikajících výsledků stupně přilnavosti.
- Organický povlak s obsahem zinku o hodnotě OKP = 5 % a organický povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 35 % dosahovaly v obou měření stupně přilnavosti 0.

#### **5.3. Komentáře k výsledkům fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných nátěrových povlaků na ocelových podkladech**

Organické povlaky s obsahem antikoročních pigmentů aplikovaných na ocelové panely dosahovaly suché tloušťky nátěrového filmu  $DFT = 40 \pm 10 \mu\text{m}$ . Ocelové panely byly podrobeny fyzikálně-mechanickým zkouškám, tedy mřížkové zkoušce přilnavosti, zkoušce ohybem, zkoušce hloubením a zkoušce úderem.

### **5.3.1. Komentáře k výsledkům stanovení stupně přilnavosti mřížkovou metodou**

Organické povlaky s obsahem antikoročních kovových pigmentů dosahovaly maximálního možného stupně přilnavosti mřížkovou metodou. Při použití řezacího nože s rozměry 5 x 1 mm dosahovaly všechny organické povlaky stupně 0. Organický povlak s obsahem vápence dosáhl také vynikajících výsledků, kdy při použití řezacího nože s rozměry 5 x 1 mm stupně přilnavosti 1, což je ztráta přilnavosti povlaku do 5 % plochy.

#### **Shrnutí**

- Všechny organické povlaky s obsahem antikoročních pigmentů dosáhly stupně přilnavosti 0 při použití řezacího nože s rozměry 5 x 1 mm.
- Organický povlak s obsahem vápence dosáhl stupně přilnavosti 1 při použití řezacího nože s rozměry 5 x 1 mm.

### **5.3.2. Komentáře k výsledkům zkoušky ohybem**

Organické povlaky s obsahem antikoročních pigmentů dosahovaly vynikajících výsledků zkoušky ohybem. Všechny organické povlaky odolaly ohybu přes trn o průměru 4 mm s výjimkou organického povlaku s obsahem vápence, kdy tento organický povlak odolal ohybu přes trn o průměru 6 mm, zatímco při ohybu přes trn o průměru 4 mm, u něho byl zaznamenán výskyt prasklin a ztráta přilnavosti.

#### **Shrnutí**

- Všechny organické povlaky s obsahem antikoročních anorganických pigmentů odolaly ohybu přes trn o průměru 4 mm.
- Organický povlak s obsahem vápence odolal ohybu přes trn o průměru 6 mm, zatímco při ohybu přes trn o průměru 4 mm byla zaznamenána přítomnost prasklin a ztráty přilnavosti.

### **5.3.3. Komentáře k výsledkům zkoušky úderem**

Organické povlaky s obsahem antikoročních anorganických pigmentů dosahovaly vynikajících výsledků zkoušky úderem. Všechny organické povlaky odolaly úderu kilového závaží z výšky 100 cm, zatímco u organického povlaku s obsahem vápence po úderu tohoto závaží z výšky 1 metru došlo ke vzniku prasklin. Tento organický povlak odolal pádu kilového závaží z výšky 95 cm.

#### **Shrnutí**

- Všechny organické povlaky s obsahem antikoročních anorganických pigmentů odolaly úderu kilového závaží z výšky 100 cm.

- Organický povlak s obsahem vápence odolal úderu kilového závaží z výšky 95 cm, zatím co po úderu z výšky 1 metru byla u tohoto organického povlaku zaznamenána přítomnost prasklin.

#### **5.3.4. Komentáře k výsledkům zkoušky hloubením**

Organické povlaky s obsahem antikoročních anorganických pigmentů dosahovaly vynikajících výsledků zkoušky hloubením. Všechny organické povlaky dosáhly odolnosti vůči hloubení >10 mm. Organický povlak s obsahem vápence dosáhl odolnosti vůči hloubení 9,8 mm, kdy při vyšší hodnotě hloubení byl u tohoto organického povlaku zaznamenán vznik prasklin a ztráta přilnavosti.

##### **Shrnutí**

- Všechny organické povlaky s obsahem antikoročních anorganických pigmentů dosáhly odolnosti vůči hloubení >10 mm.
- Organický povlak s obsahem vápence dosáhl odolnosti vůči hloubení 9,8 mm.

#### **5.4. Komentáře k výsledkům korozních zkoušek**

Studované modelové nátěrové hmoty s obsahem antikoročních pigmentů aplikovány ve dvou vrstvách na ocelové Q-panely a připravené organické povlaky byly následně podrobeny cyklickým korozním zkouškám. Pro korozní zkoušky v kondenzační komoře a v kombinované komoře vlhké atmosféry za přítomnosti oxidu siřičitého a neutrální atmosféry solné mlhy byl hodnocen jeden ocelový panel od každého organického povlaku s rostoucí hodnotou OKP antikoročního pigmentu. Každý ocelový panel byl opatřen řezem uprostřed panelu o délce 8 cm a šířce 0,5 mm. V atmosféře neutrální solné mlhy byly testovány dva ocelové panely od každého organického povlaku s rostoucí hodnotou OKP antikoročního pigmentu, přičemž jeden panel byl bez řezu a jeden s řezem uprostřed panelu o délky 8 cm a šířce 0,5 mm. Ocelové podklady s testovaným organickým povlakem byly cyklicky hodnoceny, kdy byl hodnocen výskyt puchýřků v řezu a v ploše, prokorodování v ploše a koroze v řezu. Organické povlaky dosahovaly hodnot  $DFT = 110 \pm 10 \mu\text{m}$ . Fotografické záznamy testovaných organických povlaku před, během a po finální expozici korozních zkoušek jsou uvedeny ve fotografických záznamech.

##### **5.4.1. Komentáře k výsledkům kombinované korozní zkoušky ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého a v neutrální atmosféře solné mlhy**

U organických povlaků na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem antikoročních pigmentů byly vyhodnoceny změny po expozici v komoře s neutrální atmosférou solné mlhy po dobu 360 h a v komoře s obsahem oxidu siřičitého po dobu 360 hodin. Vyhodnocení

probíhalo po 480 h, přičemž 360 h bylo v komoře s neutrální atmosférou solné mlhy a 120 hodin v komoře s atmosférou s obsahem oxidu siřičitého a 720 hodin přičemž 360 hodin v komoře s neutrální atmosférou solné mlhy a 360 hodin v komoře s obsahem oxidu siřičitého.

Po 480hodinové expozici ocelových vzorků s řezem docházelo k tvorbě puchýřků a korozi v řezu a k mírnému prokorodování v ploše organického povlaku. U organických povlaků s obsahem zinku o hodnotě OKP = 5 %, 10 %, 15 % a 20 % bylo dosaženo nejvyšších hodnot šířky koroze v řezu 0,5-1 mm. U organických povlaků s hodnotou OKP = 5 % a 10 % došlo k 0,01 % prokorodování v ploše. Nejvyššího stupně puchýřků 6D v řezu dosahoval povlak s hodnotou OKP = 5 %. U povlaku s hodnotou OKP = 40 % k tvorbě puchýřků nedocházelo. U organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého došlo k 0,01 % prokorodování v ploše u povlaků s hodnotou OKP = 5 % a 10 %. U všech povlaků dosáhla koroze v řezu hodnoty 0-0,5 mm. Nejvyššího stupně 6MD puchýřků v řezu dosáhl povlak o hodnotě OKP = 5 %. Nejnižšího stupně 6F puchýřků v řezu dosáhl povlak o hodnotě OKP = 40 %.

Po 720hodinové expozici studovaných vzorků s řezem docházelo k prokorodování povlaku v ploše, které dosahovalo hodnoty 0,01 %, větší koroze v řezu a většímu výskytu puchýřků byl zaznamenán u povlaků s nízkým obsahem antikoroziního pigmentu. U organických povlaků s obsahem zinku dosahoval povlak s hodnotou OKP = 10 % nejvyšší hodnoty koroze v řezu a tedy 1-2 mm a nejvyššího stupně puchýřků v řezu 6MD dosahovaly povlaky s hodnotou OKP = 5 % a 10 %. Vysoce pigmentované organické povlaky s hodnotou OKP = 35 % a 40 % dosahovaly koroze v řezu 0-0,5 mm a stupně puchýřků v řezu 6F a 8F. U organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosahovaly nejvyššího stupně puchýřků v řezu 4MD povlaky s hodnotou OKP = 20 % a 25 %, nejvyšší korozní odolnosti dosahovaly povlaky s hodnotou OKP = 35 % a 40 %, kdy koroze v řezu dosahovala hodnoty pouze 0-0,5 mm a stupně puchýřků v řezu hodnoty 6F.

### **Shrnutí**

- U organických povlaků s obsahem zinku se s rostoucí hodnotou OKP zvyšovala odolnost vůči puchýřovatení a snižovala se hodnota koroze v řezu, kdy povlak s hodnotou OKP = 40 % dosahoval stupně puchýřků v řezu 8F a koroze v řezu dosáhla šířky 0-0,5 mm po 720 h expozici.
- U organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého se s rostoucí hodnotou OKP zvyšovala odolnost vůči puchýřovatení a snižovala se hodnota koroze v řezu, kdy povlak s hodnotou OKP = 40 % dosahoval stupně puchýřků v řezu 6F a koroze v řezu dosáhla šířky 0-0,5 mm po 720 h expozici.

#### **5.4.2. Komentáře k výsledkům korozní zkoušky v neutrální atmosféře solné mlhy**

U organických povlaků na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem antikoročních pigmentů byly vyhodnoceny změny po 480 h 720 h a 840 h expozici v neutrální atmosféře solné mlhy. Byly hodnoceny dva vzorky pro každý organický povlak, přičemž jeden vzorek byl bez řezu a jeden vzorek byl opatřen řezem.

##### ***Organické povlaky bez zkušebního řezu***

Po 480hodinové expozici vzorků bez řezu docházelo k mírné tvorbě puchýřků a prokorodování v ploše. U organických povlaků s obsahem zinku docházelo u povlaku s hodnotou OKP = 25 % ke stupni puchýřků v ploše 8M a u povlaku s hodnotou OKP = 35 % ke stupni puchýřků v ploše 6F. U povlaku s hodnotou OKP = 15 % došlo k prokorodování 0,01 % plochy. U organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého došlo jen k mírné korozi v ploše. U organických povlaků s hodnotou OKP = 10 % a 25 % došlo k prokorodování 0,01 % plochy. U organického povlaku o hodnotě OKP = 5 % došlo k prokorodování 0,1 % plochy. U organického povlaku s obsahem vápence o hodnotě OKP = 40 % došlo k prokorodování 0,01 % plochy.

Po 720hodinové expozici vzorků docházelo k vyššímu výskytu prokorodování v ploše. Organické povlaky s obsahem zinku o hodnotě OKP = 5 %, 10 %, 15 %, 25 % a 30 % dosahovaly hodnot prokorodování v ploše 0,01 %. U organického povlaku s hodnotou OKP = 40 % nedošlo k žádnému koroznímu projevu. Organické povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosahovaly hodnot prokorodování v ploše 0,01 %, přičemž povlak s hodnotou OKP = 5 % dosahoval 0,3 % prokorodování plochy a u povlaku s hodnotou OKP = 40 % nedocházelo k žádným korozním projevům.

Po 840hodinové expozici vzorků došlo u organických povlaků s obsahem zinku k prokorodování 0,01 % v ploše. U organického povlaku s hodnotou OKP = 40 % nedošlo k žádnému koroznímu projevu. Z organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosáhl nejvyšší korozní odolnosti povlak o při OKP = 40 %, kde nedošlo k žádnému koroznímu projevu.

##### ***Organické povlaky se zkušebním řezem***

Po 480hodinové expozici vzorků s řezem docházelo ke korozi v řezu, k tvorbě puchýřků v řezu a k mírné tvorbě puchýřků v ploše. U organického povlaku s hodnotou OKP = 25 % došlo ke stupni puchýřků v řezu 4F a u povlaku s hodnotou OKP = 30 % došlo ke stupni 6F. U organických povlaků s hodnotou OKP = 15 % a 20 % došlo ke stupni puchýřků v ploše 8F. U organických povlaků o hodnotě OKP = 35 % a 40 % nedošlo k tvorbě puchýřků. U všech organických povlaků s obsahem zinku docházelo k tvorbě koroze v řezu. U všech organických

povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého došlo k tvorbě puchýřků v řezu, krom povlaku s hodnotou OKP = 30 %. U organických povlaků došlo také ke korozi v řezu, kde šířka řezu byla 0-0,5 mm. U organického povlaku s obsahem vápence došlo ke korozi v řezu, kde šířka byla 0-0,5 mm.

Po 720hodinové expozici vzorků s řezem docházelo k prokorodování v ploše a k většímu výskytu puchýřků koroze v řezu. U organického povlaku s obsahem zinku s hodnotou OKP = 5 % došlo k největšímu stupni puchýřků v řezu 6MD a u povlaků o hodnotě OKP = 15 % a 20 % došlo ke stupni puchýřků v řezu 8F. Organické povlaky s hodnotou OKP = 35 % a 40 % nedocházelo k tvorbě puchýřků. U organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého došlo k prokorodování 0,01 % plochy u povlaků s hodnotou OKP = 5 %, 15 % a 25 %. U povlaků s hodnotou OKP = 35 % a 40 % došlo k nejnižšímu stupni puchýřků v řezu 8F a 4F. Organické povlaky s hodnotou OKP = 15 a 20 % dosahovaly nejvyšší šířky koroze v řezu, a tedy 0,5-1 mm. U povlaku s obsahem vápence došlo ke stupni puchýřků v řezu 6M.

Po 840hodinové expozici ocelových vzorků bez řezu došlo k nejnižšímu stupni puchýřků v řezu 8F u povlaků s obsahem zinku o hodnotě OKP = 35 % a 40 %. Z organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosáhly nejlepších výsledků povlaky o hodnotě OKP = 35 % a 40 %, kdy došlo ke korozi v řezu o šířce 0-0,5 mm a stupni puchýřků v řezu 8F a 4F.

### **Shrnutí**

- U organických povlaků s obsahem zinku se s rostoucí hodnotou OKP zvyšovala odolnost vůči puchýřkovatění, kdy povlak s hodnotou OKP = 40 % dosahoval stupně puchýřků v řezu 8F po 840 h expozici.
- U organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého se s rostoucí hodnotou OKP zvyšovala odolnost vůči puchýřkovatění a snižovala se koroze v řezu, kdy povlak s hodnotou OKP = 35 % dosahoval stupně puchýřků v řezu 8F a koroze v řezu dosáhla šířky 0-0,5 mm po 840 h expozici.

#### **5.4.3. Komentáře k výsledkům korozní zkoušky v kondenzační komoře**

U organických povlaků na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem antikoročních pigmentů a vápence byly vyhodnoceny změny po 480 h 720 h a 840 h expozici v kondenzační komoře. Byl hodnocen vzorek od každého typu organického povlaku, na němž byl vprostřed zhotoven řez o délce 8 cm a šířce 0,5 mm.

Po 480hodinové expozici vzorků organických povlaků s řezem docházelo pouze k tvorbě koroze v řezu. Koroze v řezu dosahovala maximálních hodnot 0-0,5 mm. Koroze v řezu se vyskytovala u povlaku s obsahem zinku o hodnotě OKP = 15 %, u povlaků s obsahem

fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 5 %, 10 %, 15 %, 20 % a 25 % a u povlaku s obsahem vápence o hodnotě OKP = 40 %.

Po 720hodinové expozici vzorků s řezem došlo ke korozi v řezu u dalšího organického povlaku s obsahem fosforečnanu zinečnatého, jednalo se o povlak s hodnotou OKP = 30 %.

Po 840hodinové expozici ocelových vzorků s řezem došlo ke korozi v řezu u dalších organických povlaků s obsahem zinku, jednalo se o povlak s hodnotou OKP = 5 % a 10 %. Ani po 720hodinové expozici nebyl zaznamenán výskyt puchýřů v ploše či v řezu, ani nebyla zaznamenána u žádného z testovaných organických povlaků ztráta přilnavosti.

#### **Shrnutí**

- U organických povlaků s obsahem zinku se s rostoucí hodnotou OKP zvyšovala korozní odolnost, kdy u povlaků s hodnotou OKP = 20 %, 25 %, 30 %, 35 % a 40 % nebyly zaznamenány korozní projevy po 840 h expozici.
- U organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého se s rostoucí hodnotou OKP zvyšovala korozní odolnost, kdy u povlaků s hodnotou OKP = 35 % a 40 % nebyly zaznamenány korozní projevy po 840 h expozici.

#### **5.4.4. Komentáře k výsledkům elektrochemického stanovení lineární polarizace**

U organických povlaků na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem zinku dosáhl nejvyšší hodnoty polarizačního odporu  $1,38 \times 10^7$  organický povlak o hodnotě OKP = 40 %. Tento organický povlak zároveň dosáhl nejnižší hodnoty rychlosti koroze  $0,67 \times 10^{-5}$ . Nejnižší hodnoty polarizačního odporu  $6,42 \times 10^5$  dosáhl organický povlak o hodnotě OKP = 5 %, kdy tento organický povlak dosáhl nejvyšší hodnoty rychlosti koroze  $0,15 \times 10^{-3}$ . U organických povlaků na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosáhl nejvyšší hodnoty polarizačního odporu  $2,48 \times 10^6$  organický povlak o hodnotě OKP = 40 %. Tento organický povlak zároveň dosáhl nejnižších hodnot rychlosti koroze  $0,37 \times 10^{-4}$ . Nejnižší hodnoty polarizačního odporu  $1,47 \times 10^5$  dosáhl organický povlak o hodnotě OKP = 5 %, kdy tento organický povlak dosáhl nejvyšší hodnoty rychlosti koroze  $0,61 \times 10^{-3}$ . Zvyšující se hodnota polarizačního odporu a zároveň snižující se hodnota rychlosti koroze byla závislá na hodnotě OKP. Se zvyšující se hodnotou OKP rostla hodnota polarizačního odporu a zároveň klesala hodnota rychlosti koroze. Organický povlak s obsahem vápence dosáhl hodnoty polarizačního odporu  $6,27 \times 10^4$  a hodnoty rychlosti koroze  $0,15 \times 10^{-2}$ .

#### **Shrnutí**

- Nejvyšší hodnotu polarizačního odporu z povlaků s obsahem zinku dosáhl povlak o hodnotě OKP = 40 % a zároveň tento organický povlak dosáhl nejnižší hodnoty rychlosti koroze.

- Nejvyšší hodnotu polarizačního odporu z povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosáhl povlak o hodnotě OKP = 40 % a zároveň tento organický povlak dosáhl nejnižší hodnotu rychlosti koroze.
- Zvyšující se hodnota polarizačního odporu a zároveň snižující se hodnota rychlosti koroze byla závislá na zvyšující se hodnotě OKP u organických povlaků s obsahem antikoročních pigmentů.

#### **5.4.5. Komentáře ke stanovení životnosti nátěrových filmů**

Stanovení životnosti organických povlaků na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem antikoročních anorganických pigmentů zinku a fosforečnanu zinečnatého a s obsahem vápence byly hodnoceny laboratorně podle normy ČSN ISO 12944-6. Životnost byla stanovena po expozici testovaných vzorků v neutrální atmosféře solné mlhy, kdy byl stupeň korozní agresivity stanoven pro povlaky s nejvyšší korozní odolností, tedy pro povlaky, u nichž nebyl pozorován žádný korozní projev (nebyl zaznamenán výskyt puchýřů v řezu ani v ploše studovaného organického povlaku, koroze v řezu byla nižší než 1 mm a přilnavost byla ohodnocena stupněm 0 či 1).

Organické povlaky na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem zinku lze doporučit do korozního prostředí C4 (předpokládaná životnost vysoká) a C5 – I (předpokládaná životnost střední), kdy povlaky s hodnotou OKP = 40 % dosáhly nejvyšší korozní odolnosti v neutrální atmosféře solné mlhy v porovnání s ostatními povlaky s obsahem zinku. U tohoto povlaku nebyl zaznamenán výskyt puchýřů a koroze v řezu dosáhla hodnoty nižší než 1 mm po 720 h expozici v neutrální atmosféře solné mlhy.

Organické povlaky na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem fosforečnanu zinečnatého lze doporučit do korozního prostředí C4 (předpokládaná životnost vysoká) a C5–I (předpokládaná životnost střední), kdy povlak s hodnotou OKP = 40 % dosáhl nejvyšší korozní odolnosti v neutrální atmosféře solné mlhy v porovnání s ostatními povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého. U tohoto povlaku nebyl zaznamenán výskyt puchýřů a koroze v řezu dosáhla hodnoty nižší než 1 mm po 720 h expozici v neutrální atmosféře solné mlhy.



## 6. Přínosy bakalářské práce

### Fyzikálně-mechanické vlastnosti, chemická a mechanická odolnost testovaných organických povlaků s obsahem antikoročních pigmentů

Organické povlaky na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem antikoročních pigmentů zinku a fosforečnanu zinečnatého vykázaly vynikající výsledky mechanické odolnosti a dobré fyzikálně-mechanické vlastnosti. Organický povlak na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem vápence vykázal nepatrně nižší mechanickou odolnost, než povlaky s obsahem antikoročních pigmentů a srovnatelné výsledky fyzikálně-mechanických vlastností.

Při MEK testu dosahoval nejvyšší odolnosti vůči rozpouštědлу methylethylketonu z organických povlaků s obsahem zinku povlak o hodnotě OKP = 5 %. Při 60 dni měření dosáhl odolnosti 296 sekund. Z organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosáhly nejvyšší odolnosti vůči rozpouštědлу methylethylketonu povlaky s hodnotou OKP = 10 % a 40 %. Tyto povlaky odolaly rozpouštědлу při 29. dni měření po dobu 300 sekund. Při měření čísla lesku byly povlaky s obsahem zinku lesklé a povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého matné, kdy lesk se v závislosti na čase měnil minimálně. Nejvyššího čísla lesku z organických povlaků s obsahem zinku dosahoval povlak s hodnotou OKP = 25 %, u kterého bylo naměřeno číslo lesku během 60. dne měření 7,1; 45,7; 86,0 (20°,60°,85°). Nejnižšího čísla lesku z organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosahoval povlak s hodnotou OKP = 40 %, u kterého bylo naměřeno číslo lesku během 60. dne měření 0,5; 3,8; 48,3 (20°,65°,80°). Při měření délky vtisku Buchholzovou metodou z organických povlaků s obsahem zinku dosahoval nejnižších hodnot při měření 60. dne povlak s hodnotou OKP = 40 %, a to 1,02 mm. Z povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosahoval nejnižších hodnot při měření 60. dne povlak s hodnotou OKP = 40 %, a to 0,83 mm. Při měření relativní povrchové tvrdosti dosahoval z organických povlaků s obsahem zinku nejvyšších hodnot při měření 60. dne povlak s hodnotou OKP = 25 %, a tedy 39,9 %. Z organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosahoval nejvyšších hodnot při měření 60. dne povlak s hodnotou OKP = 35 %, a to 40,2 %. Při stanovování přilnavosti organických povlaků aplikovaných na skleněných panelech mřížkovou metodou dosáhly nejvyšší odolnosti povlaky s hodnotou OKP = 5 % pro povlaky s obsahem zinku a s hodnotou OKP = 35 % pro povlaky s obsahem fosforečnanu zinečnatého. Oba tyto povlaky dosáhly stupně přilnavosti 0 při použití nože o rozměrech 5 x 2 mm a 5 x 1 mm. Během měření mechanické odolnost organických povlaků s obsahem antikoročních pigmentů dosahovaly vynikajících výsledků a odolaly všem

laboratorním zkouškám. Organický povlak s obsahem vápence dosahoval nepatrně nižší mechanické odolnosti.

### **Korozní odolnost testovaných organických povlaků s obsahem antikoročních pigmentů**

Testované organické povlaky na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem antikoročních pigmentů dosáhly vynikající výsledky korozní odolnosti. Nejvyšší korozní odolnosti dosáhl povlak s obsahem zinku při hodnotě OKP = 40 % a povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého při hodnotě OKP = 40 %, kdy u těchto organických povlaků nebyl zaznamenán výskyt puchýřů v řezu ani v ploše a koroze zkušebního řezu dosáhla hodnoty nižší než 1 mm po 720hodinové expozici v komoře neutrální atmosféry solné mlhy. Pvlaky nevykazovaly žádné korozní projevy ani v kondenzační komoře po 840hodinové expozici. Po expozici 360 h v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého a 360 h v neutrální atmosféře solné mlhy dosahoval organický povlak s obsahem zinku o hodnotě OKP = 40 % koroze v řezu dosáhla šířky 0-0,5 mm a stupně 8F puchýřků v řezu. Organický povlak s obsahem fosforečnanu zinečnatého o hodnotě OKP = 40 % dosahoval koroze v řezu o šířce 0-0,5 mm a stupně 6F puchýřků v řezu.

## 7. Závěr

V této bakalářské práci byl studován vliv antikoročních pigmentů na bázi zinku a fosforečnanu zinečnatého a plniva vápence na vlastnosti pojiva epoxyesterové pryskyřice. Byly naformulovány dvě řady s postupně se zvyšující hodnotou OKP antikoročního pigmentu o hodnotách 5-40 %. Třetí řada byla tvořena povlakem s obsahem vápence o hodnotě  $OKP/KOKP = konst. = 0,4$ .

Z výsledků lze pozorovat, že organické povlaky s obsahem antikoročních pigmentů dosáhly vynikajících výsledků fyzikálně-mechanických vlastností a mechanické odolnosti. Organický povlak s obsahem vápence dosáhl nepatrně nižší mechanické odolnosti. Relativní povrchová tvrdost testovaných organických povlaků, odolnost vůči methylethylketonu i odolnost vůči buchholzově vrypové zkoušce se s časem postupně zvyšovala v důsledku vytvrzení testovaných organických povlaků zasychajících oxopolymeračním mechanismem. Z organických povlaků s obsahem zinku dosahoval nejlepších výsledků povlak s hodnotou  $OKP = 25 \%$ . Z organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosahoval nejlepších výsledků povlak s hodnotou  $OKP = 40 \%$ .

Z výsledků korozních zkoušek lze pozorovat, že z organických povlaků s obsahem zinku dosahoval nejvyšší korozní odolnosti povlak s hodnotou  $OKP = 40 \%$ . U tohoto povlaku nebyly po 720hodinové expozici v neutrální atmosféře solné mlhy pozorovány korozní projevy a koroze v řezu dosáhla hodnoty nižší než 1 mm, kdy na základě těchto výsledků lze povlak doporučit do korozního prostředí C4 (s předpokládanou životností vysokou) a do korozního prostředí C5-I (s předpokládanou životností střední). Z organických povlaků s obsahem fosforečnanu zinečnatého dosahoval nejvyšší korozní odolnosti povlak s hodnotou  $OKP = 40 \%$ . U tohoto povlaku nebyly po 720hodinové expozici v neutrální atmosféře solné mlhy pozorovány korozní projevy a koroze v řezu dosáhla hodnoty 0-0,5 mm, kdy na základě těchto výsledků lze povlak doporučit do korozního prostředí C4 (s předpokládanou životností vysokou) a do korozního prostředí C5-I (s předpokládanou životností střední).

## 8. Použitá literatura

- [1] A. Kalendová, *Technologie nátěrových hmot II.: povrchové úpravy a způsoby předúpravy materiálů*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, ISBN 80-7194-555-2.
- [2] M. Svoboda, *Protikorozi ochrana kovů organickými povlaky*, Praha: SNTL, 1985, pp. 9-26, 97-149.
- [3] B. G. Koushik, N. Van den Steen, M. H. Mamme, Y. Van Ingelgem, H. Terryn, „Review on modelling of corrosion under droplet electrolyte for predicting atmospheric corrosion rate,“ *Journal of Materials Science & Technology*, č. 62, January 2021, pp. 254-267.
- [4] A. Beneš, F. Drastík, J. Němec, *Nauka o kovech*, Praha: SNTL, 1967, pp. 85-95.
- [5] A. Beneš, *Kovové materiály vlastnosti a použití*, Praha: SNTL, 1968, pp. 123-140, 682-683.
- [6] D. E. Clark, B. K. Zoitos, *Corrosion of Glass, Ceramics and Ceramic Superconductors*, William Andrew Publishing/Noyes, 1992, ISBN 978-0815512837.
- [7] M. Herrmann, „Corrosion of Ceramics in Aqueous Environments,“ *Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses*, č. 1, 2021, pp. 921-931.
- [8] A. Kalendová, *Metody testování vlastností organických povlaků Díl 1., Korozně-inhibiční účinnost organických povlaků*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2001.
- [9] P. Novák, *Druhy koroze kovů, koroze a ochrana materiálu*, Praha: VŠCHT, 2005, č. 4, pp. 75-82.
- [10] X. Han, D. Y. Yang, D. M. Frangopol, „Optimum maintenance of deteriorated steel bridges using corrosion resistant steel based on system reliability and life-cycle cost,“ *Engineering Structures*, č. 243, September 2021.

- [11] J. Ju, J. Li, M. Jiang, M. Li, L. Yang, K. Wang, Ch. Yang, M. Kang, J. Wang, „Microstructure and electrochemical corrosion behavior of selective laser melted Ti-6Al-4V alloy in simulated artificial saliva,“ *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, č. 31, January 2021, pp. 167-177.
- [12] V. Kumar, N. Sharma, S. K. Tiwari, S. Kango, „Atmospheric corrosion of materials and their effects on mechanical properties: A brief review,“ *Materialstoday: Proceedings*, č. 44, 2021, pp. 4677-4681.
- [13] G. Larozenko, A. Kasprzhitskii, T. Nazdracheva, „Anti-corrosion coatings for protection of steel railway structures exposed to atmospheric environments: A review,“ *Construction and Building Materials*, č. 288, June 2021.
- [14] K. Kreislova, D. Knotkova, „The Results of 45 Years of Atmospheric Corrosion Study in the Czech Republic,“ *Materials*, č. 10, April 2017.
- [15] Ch. Kim, L. Chen, H. Wang, H. Castaneda, „Global and local parameters for characterizing and modeling external corrosion in underground coated steel pipelines: A review of critical factors,“ *Journal of Pipeline Science and Engineering*, č. 1., March 2021, pp. 17-35.
- [16] A. Banos, R. Burrows, T. B. Scoot, „A review of the mechanisms, reaction products and parameters affecting uranium corrosion in water,“ *Coordination Chemistry Reviews*, č. 439, July 2021.
- [17] A. H. Al-Moubaraki, I. B. Obot, „Top of the line corrosion: causes, mechanisms, and mitigation using corrosion inhibitors,“ *Arabian Journal of Chemistry*, č. 14, May 2021.
- [18] M. A. Quraishi, D. S. Chauhan, F. A. Ansari, „Development of environmentally benign corrosion inhibitors for organic acid environments for oil-gas industry,“ *Journal of Molecular Liquids*, č. 329, May 2021.

- [19] J. Mu, F. Gao, G. Cui, S. Wang, S. Tang, Z. Li, „A comprehensive review of anticorrosive graphene-composite coatings,“ *Progress in Organic Coatings*, č. 157, August 2021.
- [20] C. E. Housecroft, A. G. Sharpe, *Anorganická chemie*, Praha: VŠCHT, 2015, pp. 1152, ISBN 978-80-7080-872-6.
- [21] X. Lv, Y. Qin, H. Liang, B. Zhao, X. Cui, „A facile method for constructing a superhydrophobic zinc coating on a steel surface with anti-corrosion and drag-reduction properties,“ *Applied Surface Science*, č. 562, October 2021.
- [22] A. Hussain, N. Seetharamaiah, M. Pichumani, Ch. S. Chakra, „Research progress in organic zinc rich primer coatings for cathodic protection of metals – A comprehensive review,“ *Progress in Organic Coatings*,“ č. 153, April 2021.
- [23] L. Sziráki, Á. Cziráki, I. Geröcs, Z. Vértesy, L. Kiss, „A kinetic model of the spontaneous passivation and corrosion of zinc in near neutral Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions,“ *Electrochimica Acta*, č. 43, 1998, pp. 175-186.
- [24] V. Ruml, M. Soukup, *Galvanické pokovování*, Praha: SNTL, 1981, pp. 324.
- [25] A. Gergely, Z. Pászti, J. Mihály, E. Drotár, T. Török, „Galvanic function of zinc-rich coatings facilitated by percolating structure of the carbon nanotubes. Part II: Protection properties and mechanism of the hybrid coatings,“ *Progress in Organic Coatings*, č. 77, February 2014, pp. 412-424.
- [26] N. Boshkov, K. Petrov, D. Kovacheva, S. Vitkova, S. Nemska, „Influence of the alloying component on the protective ability of some zinc galvanic coatings,“ *Electrochimica Acta*, č. 51, October 2005, pp. 77-84.
- [27] M. Mohyla, *Technologie povrchových úprav kovů*, Ostrava: VŠB, 1995, pp. 151, ISBN 80-707-8267-6.

- [28] V. Vyšohlíd, V. Kreibich, „zinkové povlaky v lakovnách,“ *Průmyslové spektrum*, č. 10, 2004, pp. 38.
- [29] H. M. Hodgens, T. R. Hanlon, P. Bhatia, „Zinc-diffused alloy coating for corrosion/heat protection,“ *Metal Finishing*, č. 102, December 2004, pp. 58.
- [30] P. P. Chung, M. Esfahani, J. Wang, P. Cook, Y. Durandet, „Effects of heat treatment on microstructure evolution and corrosion performance of mechanically plated zinc coatings,“ *Surface and Coatings Technology*, č. 377, November 2019.
- [31] K. Takáč, *Technológia povrchových úprav*, Košice: VŠT, 1984, pp. 228, ISBN 85-607-84.
- [32] V. Kraus, *Povrchy a jejich úpravy*, Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, pp. 218, ISBN 80-7082-668-1.
- [33] T. Li, Z. Leng, S. Wang, X. Wang, R. Ghomashchi, Y. Yang, J. Zhou, „Comparison of the effects of pre-activators on morphology and corrosion resistance of phosphate conversion coating on magnesium alloy,“ *Journal of Magnesium and Alloys*, May 2021.
- [34] K. Takáč, I. Krátky, *Strojárske materiály a povrchové úpravy*, Bratislava: Alfa, 1983, pp. 310, ISBN 63-721-83.
- [35] T. S. N. Sankara Narayanan, „Surface pretreatment by phosphate conversion coatings,“ *Rev. Adv. Mater. Sci.*, č. 9, 2005, pp. 130-177.
- [36] J. Ševčíková, M. Hagarová, *povrchové inžinierstvo*, Košice: TUKE, 2007, pp. 109, ISBN 978-80-8073-901-0.
- [37] V. Pulc, V. Hrnčiar, E. Gondár, *Náuka o materiáli*, Bratislava: STU, 2008, ISBN 80-227-2847-8.

- [38] J. Gerstengerger, Vytváření povrchů boridováním, In: Strojírenství, č. 6, 2010, pp. 36-37.
- [39] M. F. Shaffei, H. S. Hussein, A. M. A. Abouelata, R. M. Osman, M. S. Mohammed, „Effect of sealing on characteristics of nano-porous aluminum oxide as black selective coatings,“ *Cleaner Engineering and Technology*, č. 4, October 2021.
- [40] V. Bouše, A. Moravčík, A. Krajina, Smalty a jejich použití v protikorozní ochraně, Praha: SNTL, 1986, pp. 216.
- [41] Y. Xia, N. Xi, J. Huang, N. Wang, Y. Lei, Q. Fu, W. Wang, „Smalt: An under-recognized pigment commonly used in historical period China,“ *Journal of Archaeological Science*, č. 101, January 2019, pp. 89-98.
- [42] F. Trojáněk, Příručka pro povrchové úpravy 4. díl, - Tepelné povrchové úpravy a smalty, Praha: SNTL, 1964.
- [43] S. B. Lyon, R. Bingham, D. J. Mills, „Advance in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know,“ *Progress in Organic Coatings*, č. 102, January 2017, pp. 2-7.
- [44] A. A. Olajire, „Recent advances on organic coating systém technologies for corrosion protection of offshore metallic structures,“ *Journal of Molecular Liquids*, č. 269, November 2018, pp. 572-606.
- [45] A. Kalendová, Technologie nátěrových hmot I.: pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004, ISBN 80-7194-691-5.
- [46] A. Hosseinpour, M. R. Abadchi, M. Mirzaee, F. A. Tabar, B. Ramezanzadeh, „Recent advances and future perspectives for carbon nanostructures reinforced organic coating for anti-corrosion application,“ *Surfaces and Interfaces*, č. 23, April 2021.



- [47] A. Kalendová, *Technologie nátěrových hmot I.: pigmenty a plniva pro nátěrové hmoty*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, ISBN 80-7194-576-5.
- [48] F. Liu, A. Liu, W. Tao, Y. Yang, „Preparation of UV curable organic/inorganic hybrid coatings- a review,“ *Progress in Organic Coatings*, č. 145, August 2020.
- [49] M. Trojan, P. Kalenda, Z. Šolc, *Technologie anorganických pigmentů*, Pardubice: VŠCHT, 1992, pp. 144-145, ISBN 80-85113-39-2.
- [50] A. A. Aghzzaf, B. Rhouta, E. Rocca, A. Khalil, „Zinc carboxylates used as anticorrosive pigments: corrosion inhibition of steel by water extract in NaCl medium,“ *materialstoday: Proceedings*, č. 13, 2019, pp. 1161-1168.
- [51] X. Sheng, L. Zhou, X. Guo, X. Bai, X. Liu, J. Liu, Ch. Luo, „Composition design and anticorrosion performance optimization of zinc molybdate pigments,“ *Materialstoday Communications*, č. 28, September 2021.
- [52] H. Kubátová, M. Svoboda, J. Benešová, J. Jaroušek, *Nátěry kovů*, Praha: Grada Publishing, 2000, pp. 101.
- [53] J. Rožan, O. Vaníček, *Pigmenty – práškové barvy*, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959, pp. 372.
- [54] E. Šimůnková, T. Bayerová, *Pigmenty*, Praha: Společnost pro technologie opravy památek – STOP, 1999, pp. 127.
- [55] M. J. Gimeno, M. Puig, S. Chamorro, J. Molina, R. March, E. Oró, P. Pérez, J. J. Gracenea, J. J. Suay, „Improvement of the anticorrosive properties of an alkyd coating with zinc phosphate pigments assessed by NSS and ACET,“ *Progress in Organic Coatings*, č. 95, June 2016, pp. 46-53.
- [56] E. Alibakhshi, E. Ghasemi, M. Mahdavian, „Corrosion inhibition by lithium zinc phosphate pigment,“ *Corrosion Science*, č. 77, December 2013, pp. 222-229.

[57] A. Moezzi, A. M. McDonagh, M. B. Cortie, „Zinc oxide particles: Synthesis, properties and applications,“ *Chemical Engineering Journal*, č. 185-186, March 2012, pp. 1-22.

[58] P. Šulcová, Vlastnosti anorganických pigmentů a metody jejich hodnocení, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008, ISBN 978-80-7395-057-6.

[59] Hodnocení vlastností nátěrových hmot, Univerzita Pardubice, 2001-2002.

## 9. Přílohy

### Seznam tabulek

Tabulka 1 Stupně korozního prostředí podle normy EN ISO 9223 [8,9,14].....	22
Tabulka 2 Denní úbytek kovových materiálů na území České republiky [8] .....	23
Tabulka 3 Suroviny pro smaltový kmen [1] .....	44
Tabulka 4 Formulace nátěrových hmot s postupně zvyšující se hodnotou OKP Zn, které byly doplněny vápencem na OKP/KOKP = konst. = 0,4.....	54
Tabulka 5 Formulace nátěrových hmot s postupně zvyšující se hodnotou OKP $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ , které byly doplněny vápencem na OKP/KOKP = konst. = 0,4.....	54
Tabulka 6 Formulace nátěrové hmoty s obsahem vápence o hodnotě OKP/KOKP = konst. = 0,4 .....	54
Tabulka 7 Metoda hodnocení MEK testu podle normy ASTM D 4752-10 [59] .....	56
Tabulka 8 Rozdělení stupňů přilnavosti podle normy ČSN ISO 2409 [59].....	58
Tabulka 9 Hodnocení koroze řezu podle normy ASTM D 1654-92 [8] .....	63
Tabulka 10. Stanovení životnosti nátěrové hmoty v neutrální atmosféře solné mlhy podle normy ČSN EN ISO 12944-6 [8] .....	63
Tabulka 11. Rozdělení a příklady jednotlivých stupňů korozní agresivity podle normy ČSN EN ISO 12944-2 [8] .....	64
Tabulka 12 Fyzikálně-chemické vlastnosti pigmentů a plniv testovaných nátěrových hmot .....	65
Tabulka 13 Hodnota sušiny a hustoty pro pojivo epoxysterové pryskyřice .....	65
Tabulka 14 Výsledky MEK testu zkoumaných nátěrových povlaků na skleněném podkladu během 1., 5. a 8. dne měření, DFT = $60 \pm 10 \mu m$ .....	66
Tabulka 15 Výsledky MEK testu zkoumaných nátěrových povlaků na skleněném podkladu během 15., 22., 29. a 60. dne měření, DFT = $60 \pm 10 \mu m$ .....	66
Tabulka 16 Naměřené hodnoty čísel lesku pro jednotlivé zkoumané nátěrové povlaky na skleněných podkladech během 1., 5. a 8. dne měření, DFT = $60 \pm 10 \mu m$ .....	67
Tabulka 17 Naměřené hodnoty čísel lesku pro jednotlivé zkoumané nátěrové povlaky na skleněných podkladech během 15., 22., 29. a 60. dne měření, DFT = $60 \pm 10 \mu m$ .....	67
Tabulka 18 Výsledné hodnoty délky vtisku Buchholzovou metodou pro testované nátěrové povlaky na skleněném podkladu během 1., 5., 8., 15., 22., 29. a 60. dne měření, DFT = $60 \pm 10 \mu m$ .....	68
Tabulka 19 Výsledky relativní povrchové tvrdosti na skleněných podkladech s testovaným nátěrovým filmem, DFT = $60 \pm 10 \mu m$ .....	69
Tabulka 20 Mechanická odolnost organických povlaků s obsahem antikorozních anorganických pigmentů, DFT = $40 \pm 10 \mu m$ .....	69
Tabulka 21 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého = 360 h a po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 120 h, DFT = $110 \pm 10 \mu m$ .....	70
Tabulka 22 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici ve vlhké atmosféře za přítomnosti oxidu siřičitého = 360 h a po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 360 h, DFT = $110 \pm 10 \mu m$ .....	71
Tabulka 23 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky bez řezu po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 480 h, DFT = $110 \pm 10 \mu m$ .....	71
Tabulka 24 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 480 h, DFT = $110 \pm 10 \mu m$ .....	72
Tabulka 25 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky bez řezu po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 720 h, DFT = $110 \pm 10 \mu m$ .....	72
Tabulka 26 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 720 h, DFT = $110 \pm 10 \mu m$ .....	73

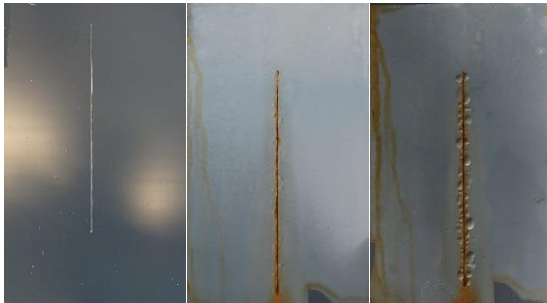
Tabulka 27 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky bez řezu po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 840 h, DFT = $110 \pm 10 \mu\text{m}$ .....	73
Tabulka 28 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v neutrální atmosféře solné mlhy = 840 h, DFT = $110 \pm 10 \mu\text{m}$ .....	74
Tabulka 29 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v kondenzační komoře = 480 h, DFT = $110 \pm 10 \mu\text{m}$ .....	74
Tabulka 30 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v kondenzační komoře = 720 h, DFT = $110 \pm 10 \mu\text{m}$ .....	75
Tabulka 31 Vyhodnocení korozní zkoušky pro testované nátěrové povlaky s řezem po expozici v kondenzační komoře = 840 h, DFT = $110 \pm 10 \mu\text{m}$ .....	75
Tabulka 32 Výsledky elektrochemického stanovení lineární polarizace testovaných nátěrových povlaků, DFT = $40 \pm 10 \mu\text{m}$ .....	76

### **Seznam obrázků**

Obrázek 1 Standardy normy ASTM D 714-87 [8].....	61
Obrázek 2 Standardy pro vyhodnocení stupně prokorodování podle ASTM D 610-85 [8].....	62

## Fotografické záznamy

Ocelové panely s řezem opatřené organickým nátěrem v kombinované komoře, před expozicí, po 480 h expozici (360 h v atmosféře s obsahem SO<sub>2</sub> a 120 h v neutrální atmosféře solné mlhy) a po finální 720 h expozici (360 h v atmosféře s obsahem SO<sub>2</sub> a 360 h v neutrální atmosféře solné mlhy)



Zn OKP = 5 %



Zn OKP = 10 %



Zn OKP = 15 %



Zn OKP = 20 %



Zn OKP = 25 %



Zn OKP = 30 %



Zn OKP = 35 %



Zn OKP = 40 %



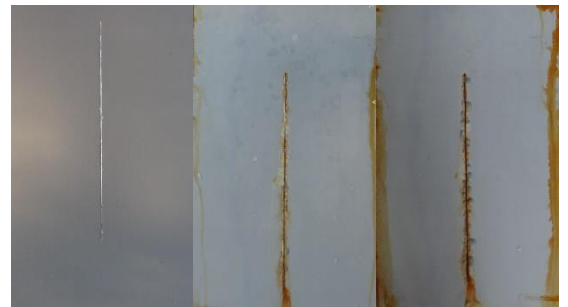
**$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  OKP = 5 %**



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



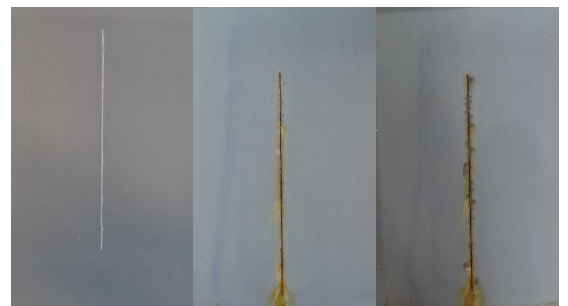
**$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  OKP = 15 %**



**$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  OKP = 20 %**



**$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  OKP = 25 %**



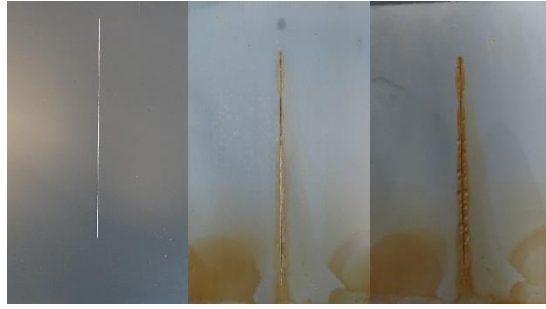
**$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  OKP = 30 %**



**$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  OKP = 35 %**



**$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  OKP = 40 %**



**CaCO<sub>3</sub> OKP = 40 %**

**Ocelové panely bez řezu opatřené organickým nátěrem v komoře neutrální atmosféry solné mlhy, před expozicí, po 480 h expozici a po finální 840 h expozici**



**Zn OKP = 5 %**



**Zn OKP = 10 %**



**Zn OKP = 15 %**



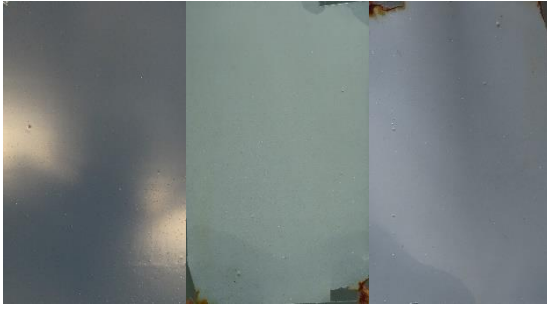
**Zn OKP = 20 %**



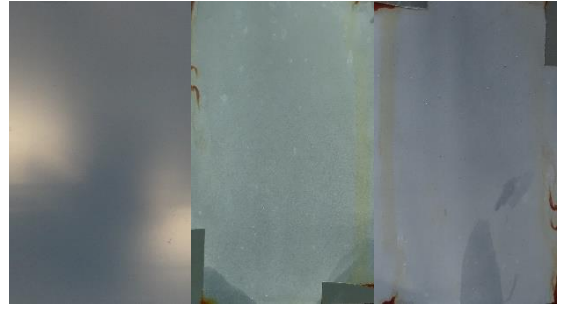
**Zn OKP = 25 %**



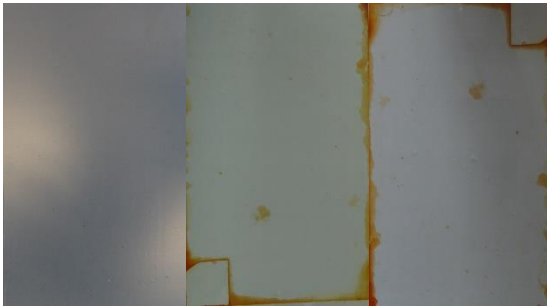
**Zn OKP = 30 %**



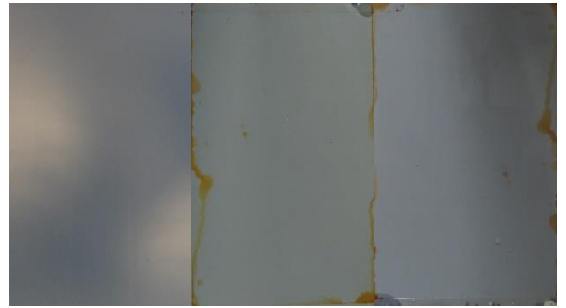
**Zn OKP = 35 %**



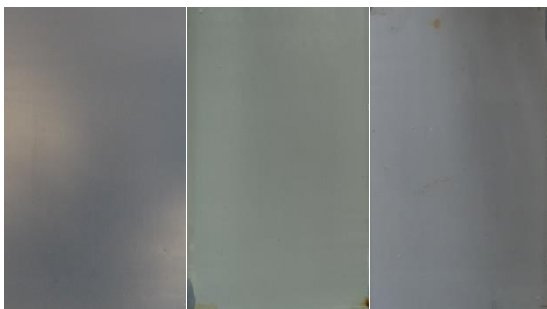
**Zn OKP = 40 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 5 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 10 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 15 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 20 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 25 %**

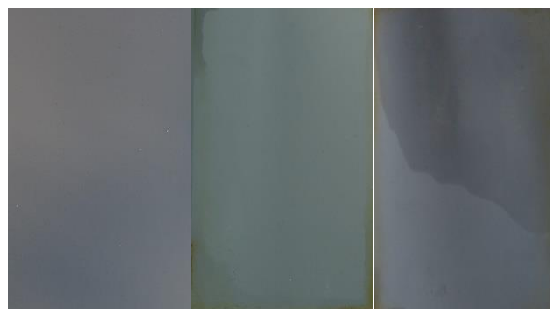


**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 30 %**

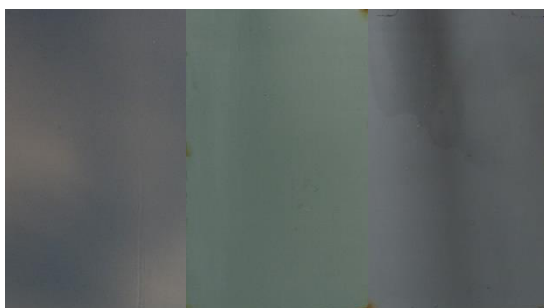




$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  OKP = 35 %

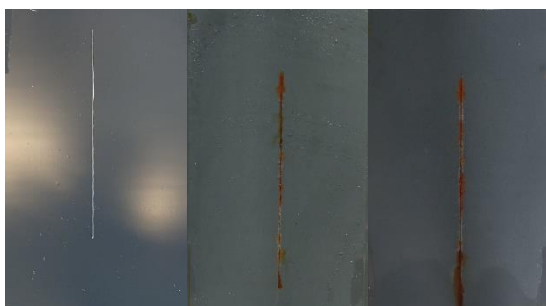


$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  OKP = 40 %



$CaCO_3$  OKP = 40 %

Ocelové panely s řezem opatřené organickým nátěrem v komoře neutrální atmosféry solné mlhy, před expozicí, po 480 h expozici a po finální 840 h expozici



Zn OKP = 5 %



Zn OKP = 10 %



Zn OKP = 15 %



Zn OKP = 20 %



**Zn OKP = 25 %**



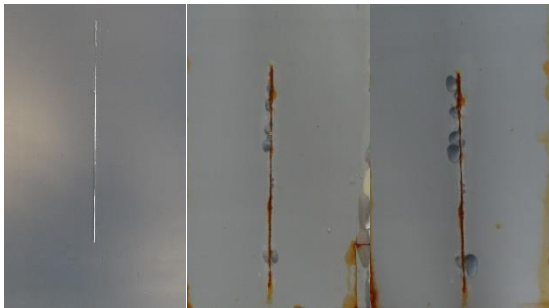
**Zn OKP = 30 %**



**Zn OKP = 35 %**



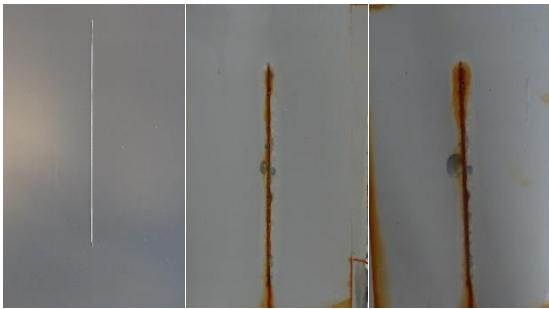
**Zn OKP = 40 %**



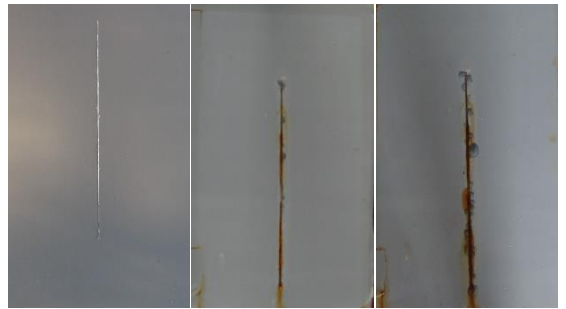
**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 5 %**



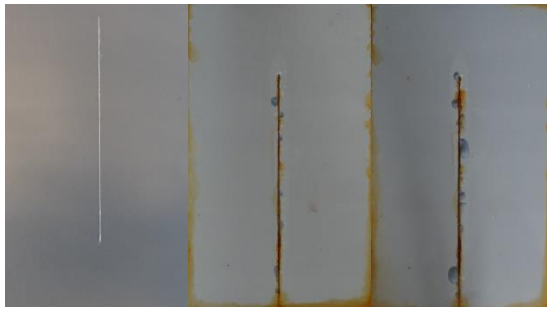
**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 10 %**



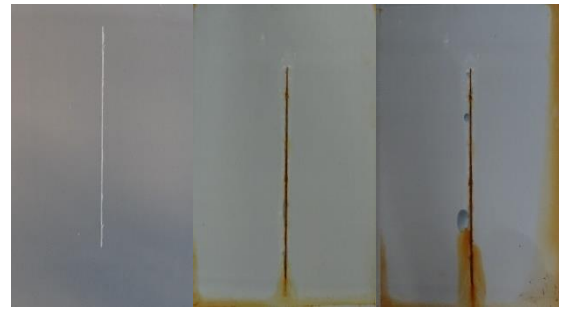
**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 15 %**



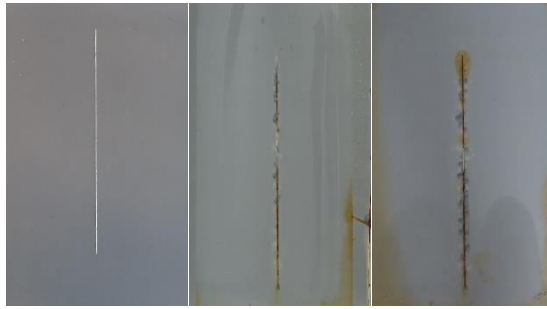
**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 20 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 25 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 30 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 35 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 40 %**

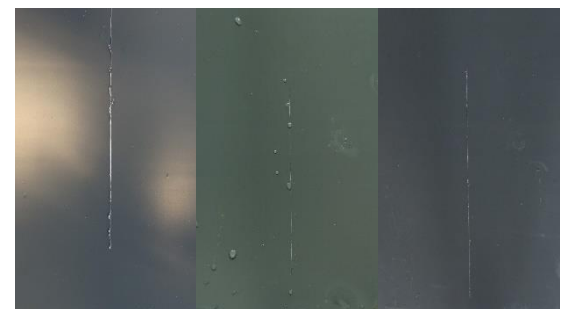


**CaCO<sub>3</sub> OKP = 40 %**

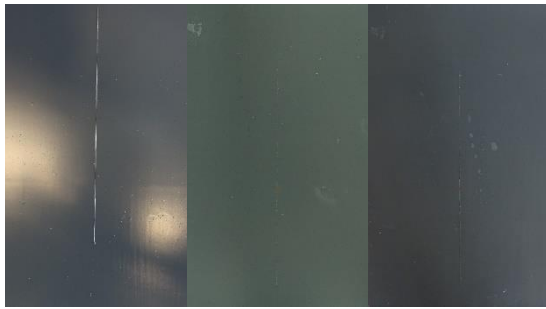
**Ocelové panely s řezem opatřené organickým nátěrem v kondenzační komoře, před expozicí, po 480 h expozici a po finální 840 h expozici**



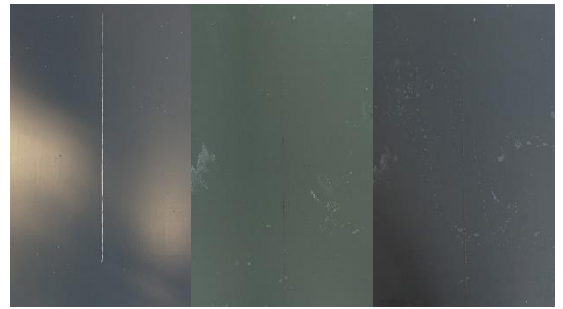
**Zn OKP = 5 %**



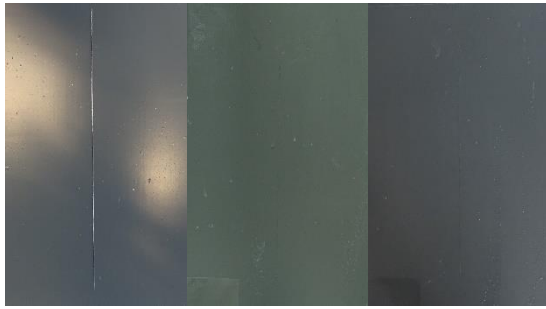
**Zn OKP = 10 %**



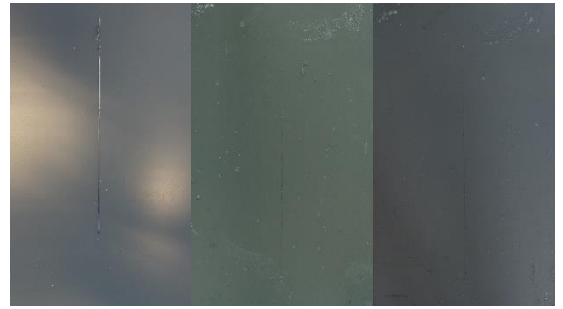
**Zn OKP = 15 %**



**Zn OKP = 20 %**



**Zn OKP = 25 %**



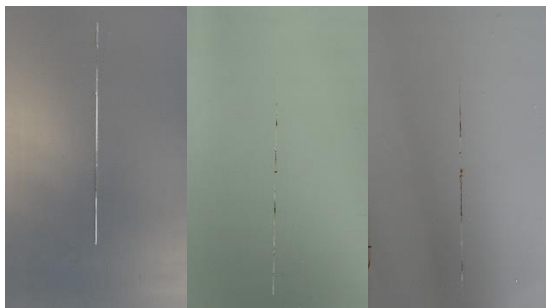
**Zn OKP = 30 %**



**Zn OKP = 35 %**



**Zn OKP = 40 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 5 %**



**Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O OKP = 10 %**



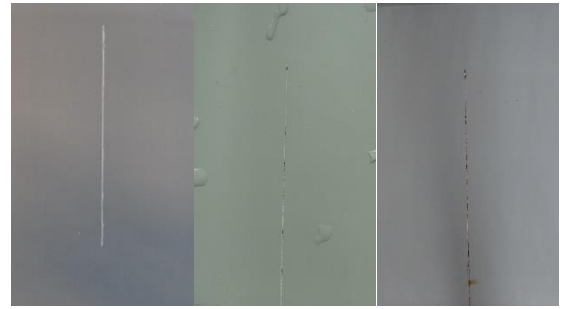
**$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  OKP = 15 %**



**$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  OKP = 20 %**



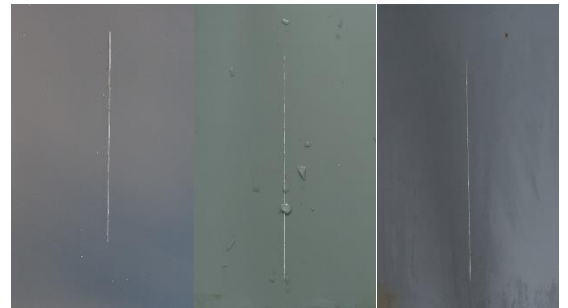
**$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  OKP = 25 %**



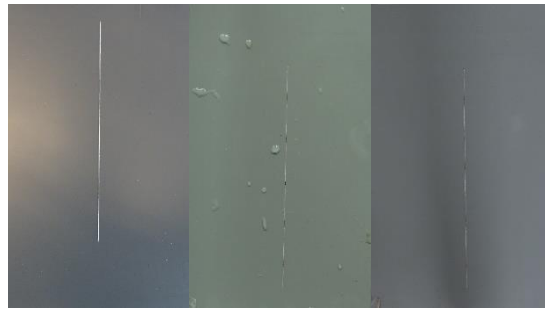
**$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  OKP = 30 %**



**$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  OKP = 35 %**



**$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  OKP = 40 %**



**$CaCO_3$  OKP = 40 %**

## Údaje pro knihovnickou databázi

<b>Název práce:</b>	Ochranné kovové povlaky a povlaky s obsahem kovových pigmentů určené na konstrukční ocel
<b>Autor práce:</b>	Marek Šenfeldr
<b>Obor:</b>	Povrchová ochrana stavebních a konstrukčních materiálů
<b>Rok obhajoby:</b>	2021
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Miroslav Kohl, Ph.D.
<b>Anotace:</b>	<p>Cílem práce bylo stanovení vlivu obsahu kovového zinku v nátěrovém filmu, při kterém je dosaženo maximální účinnosti ochrany vůči korozním projevům v simulovaných korozních atmosférách a porovnání zjištěné účinnosti s chemicky působícím antikorozním pigmentem na bázi fosforečnanu zinečnatého. Pro splnění cílů práce byla provedena studie naformulovaných modelových nátěrových hmot na bázi epoxyesterové pryskyřice s obsahem antikorozních anorganických pigmentů na bázi zinku a fosforečnanu zinečnatého ve dvou řadách s postupně zvyšujícím se hodnotou OKP = 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 % a 40 %, poslední modelová nátěrová hmota byla s obsahem vápence s hodnotou OKP = 40 %. V průběhu experimentální části práce bylo provedeno testování a vyhodnocení fyzikálně-chemických, fyzikálně-mechanických a korozních vlastností naformulovaných organických povlaků, kdy na základě těchto výsledků byly porovnávány mechanické vlastnosti a korozní odolnost v závislosti na typu použitého antikorozního pigmentu.</p> <p>Testované nátěrové hmoty byly aplikovány na skleněné a ocelové panely, kde byly následně prováděny laboratorní zkoušky. Pro organické povlaky aplikované na skleněných podkladech byly provedeny zkoušky MEK testu, měření čísla lesku, odolnosti vůči vtisku, měření relativní povrchové tvrdosti a hodnocení přilnavosti mřížkovou metodou. Pro organické povlaky aplikované na ocelových podkladech byly provedeny zkoušky fyzikálně-mechanické a korozní. Fyzikálně-mechanické zkoušky podrobené organickým povlakům na ocelových podkladech byly hodnoceny přilnavostí mřížkovou metodou, odolnost vůči hloubení, odolnost vůči ohybu a odolnost vůči deformaci úderem. Dále byla hodnocena korozní odolnost testovaných organických povlaků zrychlenými korozními zkouškami v kombinované zkoušce ve vlhké atmosféře s obsahem oxidu siřičitého a v atmosféře neutrální solné mlhy, dále v atmosféře neutrální solné mlhy a v kondenzační komoře. Na základě hodnocení bylo doporučeno konkrétního typu korozního prostředí pro jednotlivé testované organické povlaky podle výsledků cyklických korozních zkoušek.</p>
<b>Klíčová slova:</b>	zinek, korozní, epoxyesterová pryskyřice, fosforečnan zinečnatý, vápenec, antikorozní pigment