

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO – TECHNOLOGICKÁ

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Oddělení organických povlaků a nátěrových hmot

**Vlastnosti ochranných povlaků aplikovaných na
ocelovém podkladu s vrstvou žárového zinku**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Dominik Řezníček

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

KONZULTANT: Ing. Miroslav Kohl

2020

UNIVERSITY OF PARDUBICE

FACULTY OF CHEMICAL TECHNOLOGY

Institute of Chemistry and Technology of Macromolecular Compounds

Department of Organic Coatings and Paints

**Properties of protective coatings applied on a steel
base with a layer of hot-dip zinc**

Bakalar Thesis

AUTHOR: Dominik Řezníček

SUPERVISOR: prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.

CONSULTANT: Ing. Miroslav Kohl

2020

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2019/2020

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

Jméno a příjmení: **Dominik Řezníček**
Osobní číslo: **C17583**
Studijní program: **B2831 Povrchová ochrana stavebních a konstrukčních materiálů**
Studijní obor: **Povrchová ochrana stavebních a konstrukčních materiálů**
Téma práce: **Vlastnosti ochranných povlaků aplikovaných na ocelovém podkladu s vrstvou žárového zinku**
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

Zásady pro vypracování

Mezi nejúčinnější systémy používané pro těžkou protikorozní ochranu kovových materiálů patří anorganické, organické povlaky a duplexní povlaky s vysokým obsahem kovového zinku. Ty se při svém zpracování opatřují dalšími vrstvami dle způsobu a konečného prostředí aplikace. Cílem této práce je zjištění přilnavosti a korozně-inhibičních účinností dalších povlaků na žárově zinkovaném povrchu.

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma. Popište tematiku ochranných povlaků s vysokým obsahem zinku, duplexních systémů, způsoby jejich vytváření a průmyslové aplikace a jiné využití.
2. Popište vlastnosti epoxidových a polyuretanových nátěrových hmot.
3. Popište vlastnosti ochranných povlaků žárového zinku, způsoby testování, platné normy pro tuto oblast, odolnost a způsoby oprav a modifikací povlaků na bázi žárového zinku.
4. Popište jednotlivé části ochranných vrstev na předložených vzorcích.
5. Proveďte testy korozní odolnosti předložených vzorků v prostředí UV a NaCl, a ponorový test.
6. Zhodnoťte adhezi všech vzorků v závislosti na složení a počtu povlaků, korozního prostředí. Věnujte pozornost výběru a složení lepidel.
7. Popište vlastnosti jednotlivých složek předložených vzorků.
8. Výsledky porovnejte s jednoduchým systémem ochranných povlaků.
9. Navrhněte, a testujte pro možnou aplikaci i další možnosti ochranných vrstev na žárovém zinku.
10. Získané výsledky diskutujte a vyjádřete přínosy práce.

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projekt, uměleckého čila, uměleckého výkonu)

Seznam doporučené literatury:

1. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky
2. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky
3. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky
4. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky
5. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky
6. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky
7. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky
8. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky
9. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky
10. Vlastnosti ochranných povláků aplikovaných na ochranné povlaky

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Andrėja Kalendová, Dr.**
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Miroslav Kohl**
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání bakalářské práce: **20. prosince 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2020**

LS.

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

Ing. David Veselý, Ph.D.
vedoucí katedry

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce na Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20. 7. 2020

.....

Dominik Řezníček

Bakalářská práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. Číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Poděkování:

Děkuji prof. Ing. Andrée Kalendové, Dr. a Ing. Miroslavu Kohlovi za vedení, ochotu a odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Lee Mořkové a Ing. Jaromíru Zouharovi za poskytnutí vzorků a materiálů k této bakalářské práci. Děkuji své rodině a přátelům za podporu při studiu.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK:

a_{Me^+} - aktivita kovových iontů

DFT – suchá tloušťka filmu [mm]

E_r – rovnovážný potenciál [V]

E – elektrodový potenciál [V]

E^0 – standardní elektrodový potenciál [V]

E_{corr} – samovolný korozní potenciál [mV]

F – Faradayova konstanta [C/mol]

I_{corr} – proudová hustota [A]

KR – korozní rychlost [mm/rok]

MDI – methyldifenyliisokyanát

MEK – methylethylketon

n – počet elektronů

NORSOK – korozní cyklický test

pO_2 – tlak kyslíku [Pa]

pH – záporný dekadický logaritmus koncentrace H^+ iontů

Ponor – korozní test

R – univerzální plynová konstanta [J/mol.K]

R_p – polarizační odpor [Ω]

TDI – totylendiisokyanát

UV – ultrafialové záření

VOC – obsah těkavých organických látek [g/l]

β_a – tafelová anodická směrnice [mV]

β_c – tafelová katodická směrnice [mV]

ΔG – Gibbsova energie [J]

η – přepětí [V]

SOUHRN

Tato bakalářská práce se zabývá studiem ochranných povlaků aplikovaných na ocelovém podkladu s vrstvou žárového zinku, fyzikálně-mechanické odolnosti a antikorozní účinnosti nátěrových hmot na bázi epoxidové a polyuretanové pryskyřice. Je zkoumán vliv korozních testů na fyzikálně-mechanickou odolnost i antikorozní účinnost epoxidových a polyuretanových povlaků, které byly naneseny na skleněné a ocelové panely. Hodnoty jsou zpracovány formou tabulek.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Žárové zinkování

Koroze

Epoxidový povlak

Polyuretanový povlak

Páskové systémy

SUMMARY

This thesis deals with the study of protective coatings applied on a steel substrate with a layer of hot-dip zinc, physical-mechanical resistance and anti-corrosion effectiveness of paints based on epoxy and polyurethane resin. The influence of corrosion tests on the physical-mechanical resistance and anticorrosion efficiency of epoxy and polyurethane coatings, which were applied to glass and steel panels, is investigated. The values are processed in the form of tables.

KEY WORDS:

Hot dip galvanizing

Corrosion

Epoxy binders

Polyurethane binders

Tape systems

SEZNAM TABULEK:

Tabulka 1: Stupně korozní agresivity atmosféry podle ČSN EN ISO 9223 [11]	37
Tabulka 2: Základní údaje dvousložkového epoxidového nátěru	53
Tabulka 3: Doba schnutí a vytvrzování.....	54
Tabulka 4: Základní údaje dvousložkového polyuretanu	54
Tabulka 5: Doba schnutí a vytvrzování.....	55
Tabulka 6: Základní údaje jednosložkového nátěru s vysokým obsahem zinku	55
Tabulka 7: Základní vlastnosti třívrstvého páskového systému.....	56
Tabulka 8: Základní vlastnosti dvoupáskového systému.....	57
Tabulka 9: Vlastnosti základního nátěru	57
Tabulka 10: Vlastnosti polyuretanového lepidla.....	58
Tabulka 11: Vlastnosti epoxidového lepidla.....	59
Tabulka 12: Adhezní vlastnosti při vytvrzení 5 dnů při teplotě 22 °C.....	59
Tabulka 13: Hodnocení přilnavosti organického povlaku	67
Tabulka 14: Vyhodnocení MEK testu.....	69
Tabulka 15: Vyhodnocení odolnosti testovaných organických povlaků vůči MEK testu v závislosti na čase, DFT = 95 ± 5 μm.....	72
Tabulka 16: Vyhodnocení povrchové tvrdosti organických povlaků v závislosti na čase, DFT = 95 ± 5 μm.	73
Tabulka 17: Vyhodnocení odolnosti organických povlaků proti vrypu, DFT = 95 ± 5 μm. ...	73
Tabulka 18: Vyhodnocení fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných organických povlaků, DFT = 80 ± 10 μm.....	73
Tabulka 19: Stanovení přilnavosti organického povlaku odtrhovou zkouškou, DFT = 80 ± 10 μm	74
Tabulka 20: Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s obsahem solné mlhy po 960 hodinách, DFT = 145 ± 20 μm	74
Tabulka 21: Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s povšechnou kondenzací po 960 hodinách, DFT = 145 ± 20 μm.....	75
Tabulka 22: Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého, DFT = 145 ± 20 μm.....	75
Tabulka 23: Vyhodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace	76
Tabulka 24: Stanovení přilnavosti organických povlaků odtrhovou zkouškou před a po expozici vzorků v korozních testech	76
Tabulka 25: Vyhodnocení typu lomu po odtrhové zkoušce.....	77
Tabulka 26: Vyhodnocení prokorodování organických povlaků po expozici korozního testu NORSOK	78
Tabulka 27: Vyhodnocení vrásnění páskových systémů po expozici v korozním testu NORSOK	78
Tabulka 28: Vyhodnocení prokorodování organických povlaků po expozici korozního testu Ponor	79
Tabulka 29: Vyhodnocení vrásnění páskových systému po expozici korozního testu Ponor..	79

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek 1: Princip elektrolytického pokovení (6)	20
Obrázek 2: Binární diagram železo-zinek (7)	22
Obrázek 3: Schéma linky pro kontinuální žárové zinkování plechu (8)	23
Obrázek 4: Schématické znázornění operací pro suchý proces zinkování (9)	24
Obrázek 5: Schéma linky na mokré zinkování (10)	24
Obrázek 6: Schéma linky pro odstředivé zinkování (10)	25
Obrázek 7: Duplexní systém (34).....	50
Obrázek 8: Nákres vzorků s organickými systémy	62
Obrázek 9: Nákres vzorků s páskovými systémy	63
Obrázek 10: Předloha pro hodnocení koroze v ploše podkladu	70
Obrázek 11: Předloha pro hodnocení puchýřů organických povlaků	71
Obrázek 12: Předloha pro hodnocení vrásnění páskových systémů	71
Obrázek 13: Mikrofotografie testovaného vzorku: vrstva žárového zinku	80
Obrázek 14: Mikrofotografie testovaného vzorku: ocelový panel / žárový zinek / epoxidový povlak	80
Obrázek 15: Mikrofotografie testovaného vzorku: ocelový panel / žárový zinek / epoxidový povlak / polyuretanový povlak	80
Obrázek 16: Mikrofotografie testovaného vzorku: ocelový panel / žárový zinek / epoxidový povlak / polyuretanový povlak	81
Obrázek 17: Mikrofotografie testovaného vzorku: dvoupáskový systém	81
Obrázek 18: Mikrofotografie testovaného vzorku: třívrstvý asymetrický systém	81
Obrázek 19: Fotografie po provedení mřížkové zkoušky přilnavosti organických povlaků ...	84
Obrázek 20: Fotografie po provedení ohybové zkoušky organických povlaků	85
Obrázek 21: Fotografie po provedení mechanické zkoušky hloubením organických povlaků	85
Obrázek 22: Fotografie po provedení mechanické zkoušky úderem, z rubové strany, polyuretanového povlaku	86
Obrázek 23: Fotografie po provedení odtrhové zkoušky přilnavosti organických povlaků	86

OBSAH

1	Úvod.....	17
2	TEORETICKÁ ČÁST	18
2.1	Ochranné povlaky – žárové zinkování.....	18
2.1.1	Historie	18
2.1.2	Zinek	18
2.1.3	Technologie zinkování	19
2.1.4	Chemická předúprava.....	25
2.1.5	Mechanické úpravy povrchu	28
2.2	Koroze kovů.....	29
2.2.1.	Úvod	29
2.2.2	Historie	29
2.2.3	Koroze v elektricky vodivých prostředí	30
2.2.4	Depolarizační reakce.....	31
2.2.5	Korozní články	33
2.2.6	Pasivita.....	34
2.2.7	Atmosférická koroze.....	34
2.2.8	Druhy korozního napadení.....	37
2.2.9	Koroze zinku	39
2.3	Nátěrové hmoty určené na pozinkovanou ocel	40
2.3.1	Epoxidové nátěrové hmoty.....	40
2.3.2	Polyuretanové nátěrové hmoty	44
2.4	Lepidla.....	48
2.4.1	Epoxidová lepidla	48
2.4.2	Polyuretanová lepidla.....	49
2.5	Duplexní systémy	50
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	52
3.1	Cíl práce.....	52
3.2	Charakterizace surovin:	52
3.2.1	Ochranná folie (TRENCHCOAT)	52
3.2.2	Nátěrové systémy:	53
3.2.2.1	Dvousložkový epoxydový nátěr	53
3.2.2.2	Dvousložkový polyuretan	54
3.2.2.3	Jednosložkový nátěr s vysokým obsahem zinku.....	55
3.2.3	Páskové systémy	56

3.2.3.1	Asymetrický třívrstvý systém	56
3.2.3.2	Dvoupáskový systém	56
3.2.3.3	Základní nátěr určený pod páskové systémy	57
3.2.4	Lepidla	58
3.2.4.1	Polyuretanové lepidlo	58
3.2.4.2	Epoxidové lepidlo	58
3.3	Použité přístroje a zařízení	59
3.3.1	Přístroje použité k přípravě organických povlaků	59
3.3.2	Přístroje použité ke studiu připravených organických povlaků	59
3.3.3	Přístroje použité k provedení korozních testů	60
3.4	Použité chemikálie	60
3.5	Podklady pro přípravu nátěrových filmů	60
3.5.1	Panely pro korozní testy	60
3.5.2	Panely pro mechanické a elektrochemické testy	61
3.5.3	Skleněné panely	61
3.6	Příprava ochranných organických povlaků	61
3.6.1	Příprava zkušebních organických povlaků na skleněné panely	61
3.6.2	Příprava zkušebních organických povlaků na ocelové panely	61
3.6.3	Příprava vzorků páskových systémů na ocelové panely	62
3.6.4	Vzorky pro korozní testy NORSOK a Ponor	62
3.7	Metody hodnocení povlaků z hlediska jejich fyzikálně-mechanických vlastností....	63
3.7.1	Měření tloušťky nátěru na ocelovém panelu	63
3.7.2	Měření tloušťky nátěru na skleněném panelu	63
3.7.3	Studium morfologie testovaných ochranných systémů	64
3.7.4	Měření povrchové tvrdosti nátěrového filmu	64
3.7.5	Stanovení odolnosti nátěrového filmu hloubením	64
3.7.6	Stanovení odolnosti nátěrového filmu při deformaci úderem	64
3.7.7	Stanovení odolnosti nátěrového filmu při ohybu	64
3.7.8	Stanovení přilnavosti odtrhovou zkouškou	65
3.7.9	Stanovení odolnosti proti vrypu	66
3.7.10	Stanovení přilnavosti nátěrového filmu mřížkovou metodou	66
3.8	Korozní testy	67
3.8.1	Zkouška odolnosti konstrukce vystavené přímořským a obdobným podmínkám – zkouška cyklickým stárnutím (NORSOK)	67
3.8.2	Stanovení odolnosti proti kapalinám – ponor do vody	68

3.8.3	Zrychlená korozní zkouška ve vlhké atmosféře s obsahem SO ₂	68
3.8.4	Zrychlená korozní zkouška solnou mlhou	68
3.8.5	Zrychlená korozní zkouška v kondenzační komoře s povšechnou kondenzací.....	69
3.8.6	Stanovení odolnosti organického povlaku vůči působení methylethylketonu.....	69
3.8.7	Elektrochemická technika lineární polarizace	69
3.9	Metody hodnocení korozních projevů testovaných ochranných systémů	70
3.9.1	Hodnocení koroze v ploše podkladu.....	70
3.9.2	Hodnocení puchýřů organických povlaků	70
3.9.3	Hodnocení vrásnění páskových systémů	71
4	VÝSLEDKY	72
4.1	Stanovení odolnosti organického povlaku vůči působení methylethylketonu.....	72
4.2	Měření povrchové tvrdosti organického povlaku	73
4.3	Stanovení odolnosti organického povlaku proti vrypu	73
4.4	Vyhodnocení fyzikálně-mechanických zkoušek organických povlaků	73
4.5	Stanovení přilnavosti organického povlaku odtrhovou zkouškou	74
4.6	Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s obsahem solné mlhy	74
4.7	Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s povšechnou kondenzací.....	75
4.8	Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého	75
4.9	Vyhodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace	76
4.10	Stanovení přilnavosti organických povlaků odtrhovou zkouškou před a po expozici vzorků v korozních testech	76
4.11	Vyhodnocení vzorků po expozici korozního testu NORSOK	78
4.12	Vyhodnocení vzorků po expozici korozního testu Ponor.....	79
4.13	Studium morfologie testovaných ochranných systému	80
5	DISKUZE	82
5.1	Vyhodnocení relativní povrchové tvrdosti organických povlaků na skleněných panelech.....	82
5.2	Vyhodnocení MEK testu organických povlaků na skleněných panelech.....	83
5.3	Vyhodnocení mechanických zkoušek	83
5.4	Vyhodnocení přilnavosti ochranných systémů odtrhovou zkouškou před a po expozici v korozním testu NORSOK a po korozním testu Ponoru	87
5.5	Vyhodnocení korozní odolnosti ochranných systémů po expozici testovaných ochranných systémů v korozním testu NORSOK a po korozním testu Ponoru.....	89
5.6	Vyhodnocení korozní odolnosti v atmosféře s obsahem solné mlhy	91

5.7	Vyhodnocení korozní odolnosti v atmosféře s povšechnou kondenzací.....	91
5.8	Vyhodnocení korozní odolnosti v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého	92
5.9	Vyhodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace	93
5.10	Přínosy a poznatky z bakalářské práce	93
6	ZÁVĚR	96
7	POUŽITÁ LITERATURA	97
8	PŘÍLOHY	100
8.1	Fyzikálně-mechanické vlastnosti epoxidového pojiva	100
8.2	Fyzikálně-mechanické vlastnosti polyuretanového pojiva	101
8.3	Fyzikálně-mechanické vlastnosti pojiva s vysokým obsahem zinku	102
8.4	Korozní odolnost epoxidového pojiva.....	103
8.5	Korozní odolnost polyuretanového pojiva	103
8.6	Korozní odolnost pojiva s vysokým obsahem zinku	104
8.7	Korozní odolnost asymetrického třívrstvého systému.....	104
8.8	Korozní odolnost dvouvrstvého systému	104
8.9	Odrhová zkouška před expozicí	105
8.10	Odrhová zkouška po expozici NORSOK 1344 hodin	106
8.11	Odrhová zkouška po expozici Ponor do vody 2000 hodin.....	107
8.12	Odrhová zkouška po expozici NORSOK 2688 hodin.....	108
8.13	Vyhodnocení korozní odolnosti po expozici NORSOK 1000 hodin	111
8.14	Vyhodnocení korozní odolnosti po expozici NORSOK 2000 hodin	114
8.15	Vyhodnocení korozní odolnosti po expozici NORSOK 2688 hodin	117
8.16	Vyhodnocení prokorodování v ploše podkladu.....	120

1 Úvod

Problémem většiny kovových materiálů je to, že podléhají podmínkám vytvořených okolním prostředím. Koroze materiálů je jedním z největších problémů ekonomiky a také samotné použitelnosti kovových materiálů. Škody způsobené korozi v České republice dosahují hodnoty až 130 miliard korun ročně. Organické povlaky jsou jedním z nejrozšířenějších způsobů ochrany konstrukčních materiálů proti korozi. Organický povlak, aplikovaný na povrch chráněného předmětu, působí jako bariéra mezi korozním prostředím a podkladem. Tyto organické povlaky musejí vykazovat výborné chemické a fyzikálně-mechanické vlastnosti. Dále, aby bylo dosaženo dané korozní odolnosti, musejí organické povlaky vykazovat vysokou přilnavost k podkladu. Pro ochranu kovových materiálů před účinky koroze se používají různé typy povlaků např. epoxidový povlak, polyuretanový povlak a povlak s vysokým obsahem zinku.

Tato práce se zabývá zkoumáním a hodnocením chemických a fyzikálně-mechanických vlastností organických povlaků. Předmětem studia byl epoxidový povlak, polyuretanový povlak a povlak s vysokým obsahem zinku, kdy byla zkoumána korozní odolnost těchto ochranných systémů i přilnavost těchto ochranných systémů, po jejich aplikaci na ocelové panely opatřené vrstvou žárového zinku a ochranou folií, případně na ocelové panely opatřené vrstvou žárového zinku a ochranou folií v místech, kde došlo ke zhotovení defektu na vrstvu žárového zinku případně až na samotný ocelový podklad, což mělo za účel simulovat poškození původního ochranného systému.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Ochranné povlaky – žárové zinkování

2.1.1 Historie

Metodu nanášení zinkového povlaku na různé předměty ze železných kovů, ponořením do roztaveného zinku, předvedl jako první francouzský lékař Paul Jaques Malouin a to v roce 1742. Další velmi důležitý objev uskutečnil italský biolog Luigi Galvani, který studoval efekt elektrického proudu na nervech kůže žabích nohou. A tak objevil elektrochemický jev, který byl později nazván galvanismus. Dal tak podobu jména pro elektrochemickou reakci, které se využívá při ochraně materiálu zinkem. V roce 1799 objevil Alessandro Volta galvanický článek, který přispěl k poznání katodické ochrany železa proti korozi. Pojmenoval ho právě po italském vědci Luigie Galvaniho. V roce 1829 anglický fyzik a chemik Michael Faraday potvrdil ochrannou funkci zinku. K tomuto poznatku došel při pokusu za přítomnosti zinku, slané vody a hřebíku. [1,2,3]

Další významný průlom v této technologii přišel až téměř po sto letech, od prvních pokusů provedených Malouniem, kdy v roce 1837 francouzský chemik Stanislas Sorel podal patent na galvanickou ochranu železa proti korozi, ponořením chemicky předupraveného železného předmětu do roztaveného zinku. Při svém pokusu použil chlorid amonný jako tavidlo. Tuto metodu později pojmenoval galvanizací. Krátce poté, kolem roku 1840, začali vznikat ve Francii, Anglii a Německu první dílny, ve kterých se průmyslově nanášel zinek na železné předměty. [1,2,3]

Pokud se povlak zinku poškodí, vytvoří se galvanický článek. Samotný název galvanizace je používán i pro jiné metody nanášení zinku na ocel. Aby se předešlo nesrovnalostem v pojmenování, je zinkování v roztaveném zinku nazýváno žárovým zinkováním ponorem.

2.1.2 Zinek

Zinek se vyrábí z rudy zvané sfalerit, a to oxidačním pražením obohacené rudy v poschoďových nebo fluidních pecích. Zinek se také připravuje s odpadních surovin. Produkt obsahuje zinek ve formě oxidu se dále aglomeruje a destiluje, zpracovává elektrolyticky nebo probíhá tavením s koksem.

Jedná se o neušlechtilý, lehce tavitelný přechodný kov dvanácté skupiny periodické tabulky prvků. Má stříbřitě modrobílou barvu a vyznačuje se vysokým leskem. Nejčastěji se vyskytuje v šesterečné soustavě s nejtěsnějším uspořádáním. Za normálních teplot je houževnatý, naopak při nízkých teplotách se stává křehkým. Vyznačuje se nízkou pevností a tvrdostí. Čistý zinek na vzduchu rychle oxiduje, tudíž podléhá korozi. Za vhodných atmosférických podmínek se pokrývá vrstvičkou nerozpustného uhličitanu zinečnatého, a tak se pasivuje. Vyznačuje se dobrou odolností v atmosférách a vodách, a to díky pasivaci.

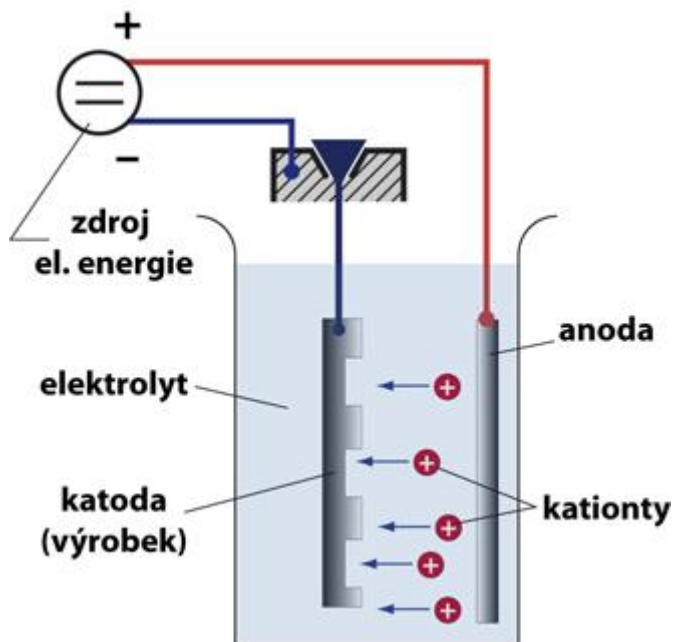
Pro průmyslové využití je důležitá jeho velmi dobrá odlévatelnost a slévatelnost, dobře se spojuje s jinými kovy. Oxid zinečnatý se používá k výrobě zinkové běloby a v gumárenském průmyslu kde tvoří funkci plniva. Významnou oblastí využívání zinku jsou povrchové ochrany kovů. Teplota tání zinku je 419,5 °C a hustota 7,14 g/cm³. [1]

Další významnou oblastí využití zinku je příprava zinkem pigmentovaných organických či anorganických povlaků, které jsou v praxi využívány pro ochranu ocelových konstrukcí [5,6]. Výhoda těchto zinkem pigmentovaných povlaků spočívá v tzv. aktivní a bariérové ochraně. V případě, že dojde k poškození zinkem pigmentovaného povlaku, dochází k tzv. elektrochemickému mechanismu ochrany, při kterém je místo, které bylo poškozené, utěšňováno korozními zplodinami zinku. Následně přechází elektrochemický mechanismus ochrany opět na bariérový mechanismus ochrany [4,7].

2.1.3 Technologie zinkování

Zinek se díky svým vlastnostem používá jako povlakový materiál, který chrání železné kovy proti korozi. V průběhu let bylo vyvinuto několik metod jeho nanášení a použití.

Elektrolytické (galvanické) zinkování je velmi významným a rozšířeným způsobem zinkování. Principem této metody je elektrolytické vylučování zinkových povlaků z elektrolytu. Systém se skládá ze zinkové elektrody, která plní funkci anody, která je připojena ke kladnému pólu stejnosměrného elektrického proudu (obrázek 1). Jako katoda je zde pokovovaný ocelový výrobek, na kterém se vylučují zinečnaté ionty obsažené v elektrolytu a vytvářejí zde vrstvu zinku. Ocelový výrobek se musí před zinkováním chemicky a elektrochemicky předupravit, aby bylo dosaženo dokonale čistého povrchu. Tloušťka vyloučeného zinku se pohybuje v intervalu 10 až 20 μm a můžeme ji velmi přesně ovlivňovat. Velmi často se také používají povlaky ve formě slitin (zinek s niklem). [1]



Obrázek 1: Princip elektrolytického pokovení (8)

Sheradování (difúzní zinkování). Principem této metody je nanášení difúzních zinkových povlaků, kdy se malé součásti očištěné tryskáním omílají v rotační peci společně se zinkovým prachem promíchaným s pískem. Při procesu dochází k difúzi atomů zinku do povrchu oceli a současně se na povrchu oceli může zinek vázat se železem chemickými vazbami. Tato metoda zaručuje vysokou korozní odolnost povlaku a zachování tvaru zinkované součásti. [1]

Zinkování žárovým stříkáním (metalizace). Principem této metody je nanášení zinku, který je nataven plamenem nebo elektrickým obloukem a poháněn proudem plynu na otryskaný povrch součásti, kde je mechanicky zakotven. Metalizace se může provádět čistým zinkem nebo, pro zajištění vyšší korozní odolnosti, slitinou zinku s hliníkem. Tloušťka nanášené vrstvy se pohybuje mezi 80 až 250 μm .

Pro lepší zakotvení zinku na povrchu, je dobré tento povrch kovu opatřit organickou nátěrovou hmotou. Kombinace zinkového povlaku s organickým nátěrem se nazývá duplexní systém.[1]

Mechanické zinkování. Mechanické zinkování se provádí v rotačním ocelovém bubnu za běžné teploty. Nejprve se u součástí provede odmaštění, odmoření a pomědění. Poté jsou několik desítek minut omílány ve vodní lázni spolu se zinkovým prachem, vhodným promotorem a skleněnými kuličkami. U součástí takto upravených nehrozí vodíková křehkost,

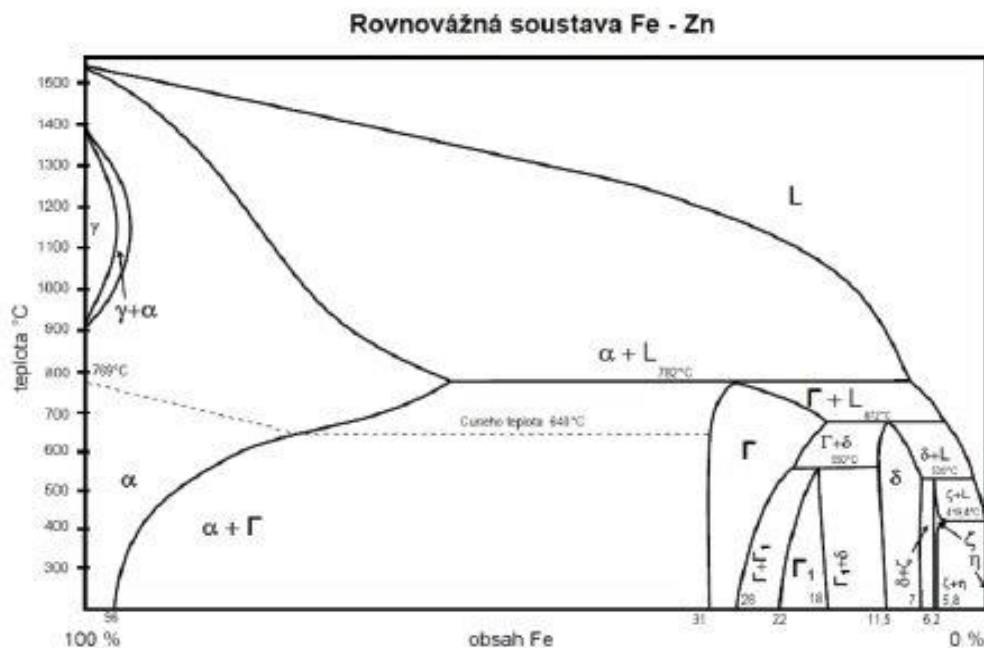
ani pokles pevnosti oceli. Tloušťka mechanicky nanášeného zinku je do 15 μm a je velmi rovnoměrná. Tato metoda se používá pro součásti z kalené nebo ušlechtilé oceli.[1]

Žárové zinkování ponorem do roztaveného zinku. Touto metodou lze vytvořit povlaky o dostatečné tloušťce s malou pórovitostí. Vlastní pokovení je rychlé, poměrně levné a velmi vhodné pro úpravu pásů, drátů, trub a podobně. Principem této metody je, že se předměty předem očištěné ponoří přes tavidlo do roztaveného zinku. Tepelným zatížením a reakcí s roztaveným zinkem vznikají difúzní mezivrstvy intermetalických fází, které zajišťují dobré zakotvení povlaku. Kusové žárové zinkování ponorem se provádí mokrým nebo suchým procesem, anebo jako zinkování odstředěním. [1,9]

Nanesení povlaku můžeme rozdělit na kusové a odstředivé. Dále můžeme rozdělit kusové nanášení na suchý a mokrý proces, a odstředivé nanášení na nízkoteplotní a vysokoteplotní.

Aby se docílilo úspěšného pozinkování je potřeba dokonalé smáčení povrchu zinkované součásti v zinkové tavenině. Proto jsou tyto součásti před vlastním pozinkováním podrobeny chemické předúpravě, tak aby bylo dosaženo kovově čistého povrchu a jeho aktivace. Nejprve jsou součásti odmaštěny a následně mořeny. Mořením se z povrchu odstraní oxidy, okuje a korozní produkty, případně jiné rozpustné nečistoty. [1,10]

Intermetalické povlaky nanášené žárově ponořením do roztaveného zinku jsou vytvořeny na principu metalurgické reakce mezi substrátem a zinkem. Při žárovém zinkování ponorem se na povrchu tvoří slitinový železo-zinkový povlak, který je výsledkem difúze atomů obou kovů za vzniku intermetalických vazeb, poté nastávají fázové přeměny. Tyto děje probíhají jak v povrchové vrstvě zinku, na rozhraní substrát a roztavený zinek, tak i v zinkové tavenině, která se nachází v okolí zinkované součásti. Jako zinkovaný materiál se nejčastěji používá feritická nebo feriticko-perlitická konstrukční ocel. Teplota, při níž se tvoří slitinový povlak je v rozmezí 440 až 470 $^{\circ}\text{C}$. Při této teplotě se začínají tvořit intermetalické fáze, v pořadí odpovídající binárnímu diagramu Fe-Zn (obrázek 2). [1,10]



Obrázek 2: Binární diagram železo-zinek (11)

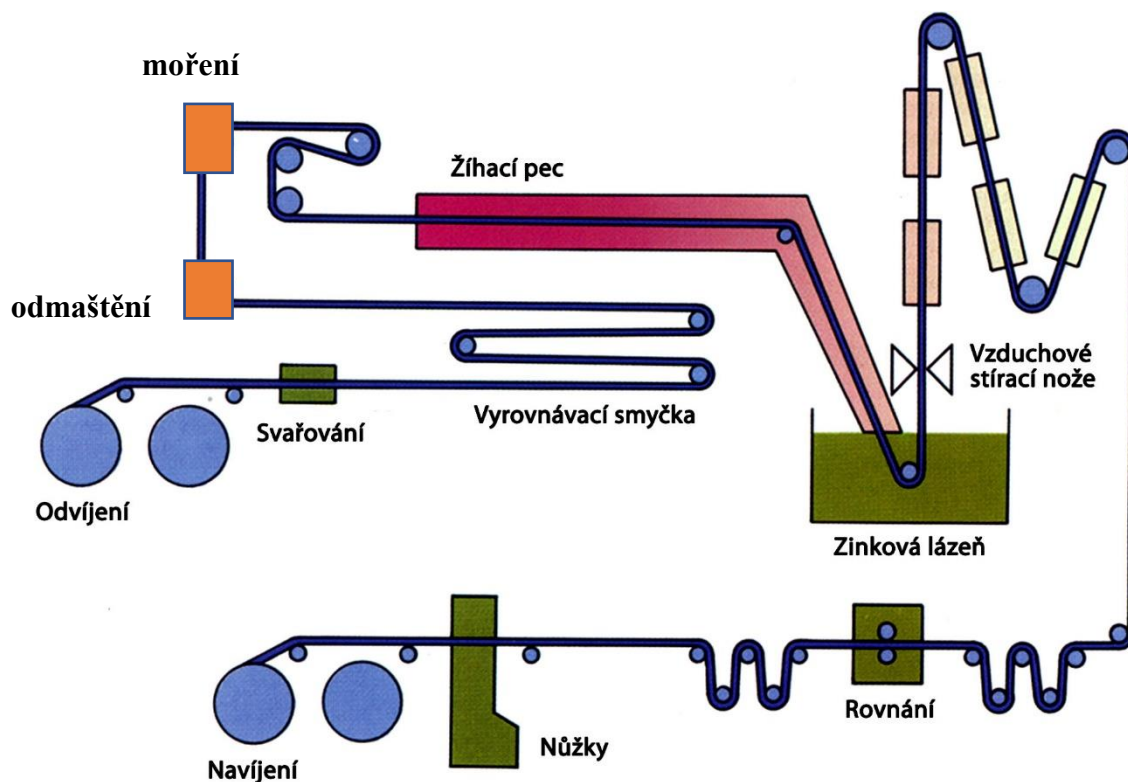
Fáze α představuje maximální rozpustnost zinku ve feritu při 450 °C, fáze γ – znázorňuje Fe₅Zn₂₁, což je velmi tenká vrstva, která představuje maximálně 5% tloušťky povlaku. Fáze δ znázorňuje tuhý roztok FeZn₁₀, který tvoří sloupkovité krystaly kolmé na povrch povlaku (hlavní strukturální fáze). Fáze ζ znázorňuje FeZn₁₃, který tvoří hrubé sloupcové krystaly, často orientované kolmo na povrch. Fáze η představuje tuhý roztok železa v zinku.

Rozpouštění železa v zinkové lázni nemá parabolický průběh, protože narůstající povlak zmenšuje rozpustnost železa v zinku a tím i tvorbu povlaku. V intervalu teplot 480 až 530 °C vykazuje rozpouštění železa anomálie. Proto teplota zinkové lázně musí být udržována pod 470 °C. Na růst zinkového povlaku má také vliv jak složení pokovované oceli, tak i složení zinkové lázně. Platí, že čím více má ocel příměsí, tím rychleji se intermetalické fáze tvoří. Růst povlaku zinku nejvíce ovlivňuje přísada hliníku do zinkové lázně. Hliník také zlepšuje lesk a tvárnost povrchu. Struktura povlaku rozhoduje o mechanických vlastnostech, a to především tažnost a další zpracování. Při vytahování z lázně ulpí na slitinových fázích vrstva čistého zinku (fáze eta). Pokud v průběhu chlazení tato vnější vrstva zinku nezreaguje se železem, pak povlak zůstává kovově lesklý. [1,3,12]

Kontinuální zinkování. Kontinuální zinkování se využívá u hromadně vyráběných produktů. Tyto procesy se vyznačují vysokou produktivitou a možností přesného nastavení parametrů procesu. Tudiž může docházet ke kontrole základních parametrů, jako je vzhled, struktura a tloušťka. Nejvýznamnější metodou pro kontinuální zinkování je Sendzimirova

metoda. Principem této metody je, že se vyválnovaný plech za studena, s relativně čistým povrchem, svařuje do nekonečného pásu a průběžně je odmašťován a mořen. Poté se protahuje pecí, ve které je redukční atmosféra, kde je vyžihán a jeho povrch je zbaven oxidů. Takto vyčištěný pás se pak v ochranné atmosféře ponořuje do zinkové lázně, tak aby z ní vystupoval ve svislém směru přes pneumatické stírací nože. Takto vytažené pásy se rovnají a navijí do svitků (obrázek 3).

V kontinuálních procesech je zinková lázeň často legována hliníkem, který se substrátem reaguje přednostně a vytvoří tak tenkou železo-hliníkovou slitinovou vrstvu. Tato vrstva brání difúzi železa, a tak reakci se zinkem. Tímto způsobem se potlačí tvorba křehkých železo-zinkových slitinových fází a povlak je tvořen z velké části houževnatým čistým zinkem. Tloušťka zinkového povlaku, takto připravených pozinkovaných plechů je 30 až 35 μm . [1]



Obrázek 3: Schéma linky pro kontinuální žárové zinkování plechu (15)

Kusové zinkování

Suchý proces. Ve většině zinkoven se vyskytuje technologie pro závěsové zinkování v takzvaném suchém procesu (obrázek 4). Hlavní výhodou je poměrně vysoká produktivita při dostatečné mechanizaci. Rozměry van jednotlivých zinkoven se liší v závislosti na poptávce. V těchto vanách lze tak pozinkovat velmi rozměrné díly.

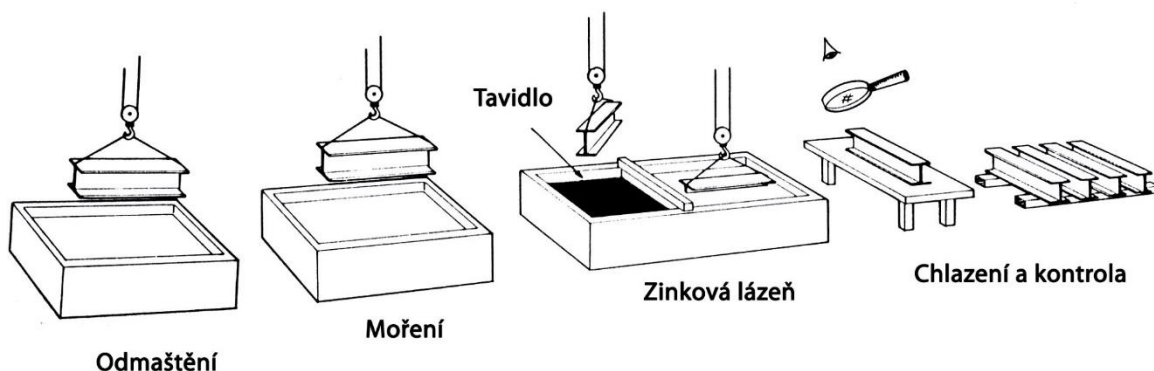


Obrázek 4: Schématické znázornění operací pro suchý proces zinkování (13)

Jednotlivé dílce jsou nejdříve chemicky předupraveny. Aby došlo k dokonalému odmoření povrchu, je zapotřebí dostatek času. Při moření většího objemu zboží musí být dbáno na co nejmenší překrytí povrchů stran zinkovaných předmětů. Za zinkovací lázni se pozinkované plechy chladí v ochlazovací vodní lázni nebo se ponechají k vychladnutí na vzduchu. [1,2]

Mokrý proces. Další metodou je zařízení s technologií mokrého procesu. Tento proces se využívá pro pozinkování výrobků, které mají složitý tvar nebo se nedají pozinkovat jiným způsobem. Hlavním rozdílem od suchého procesu je to, že se u mokrého procesu nenacházejí technologie sušení. Součástky se ihned po moření ponořují přes tavidlo do zinkové lázně. Tavidlo pokrývá část zinkovací lázně, druhá část hladiny zinkovací lázně je oddělena přepážkou (obrázek 5).

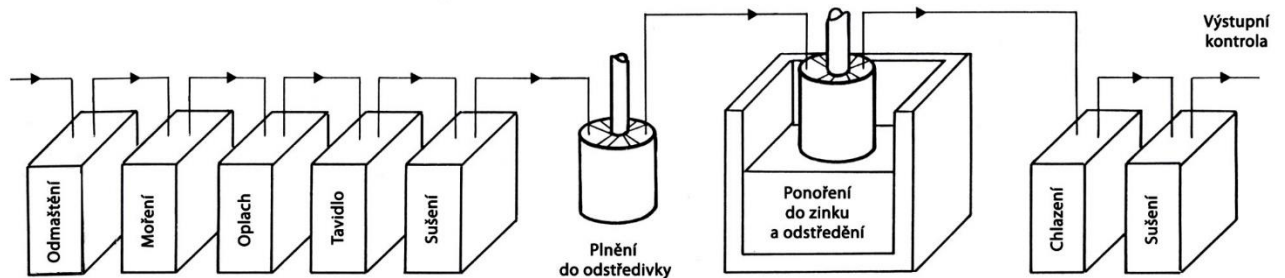
Jako tavidlo pro suchý i mokrý proces se používá chlorid zinečnatý a chlorid amonný. [1,10,12]



Obrázek 5: Schéma linky na mokré zinkování (14)

Zinkování odstředivé. Toto zinkování se používá pro pozinkování malých součástek. Součástky se nejdříve chemicky předupraví a poté se suší. V dalším kroku se nasypou do cylindrických zinkovacích košů, které se ponoří do zinkové lázně (obrázek 6). Po vynoření se koš přesune do odstředivky, ve které se odstředí přebytečný zinek. Odstředivé zinkování se

může provádět nízkoteplotně a to při 480 °C, což je teplota lázně, nebo jako vysokoteplotní při teplotě 550 °C. Po odstředění se součástky chladí ve vodě. Chlazení musí probíhat rychle, aby se zamezilo delšímu setrvání součástek na teplotě peritektické přeměny.



Obrázek 6: Schéma linky pro odstředivé zinkování (14)

Vysokoteplotní odstředivé zinkování se využívá, protože při takto vysoké teplotě nevzniká ζ fáze, a tudíž v povlaku převládá vrstva z fáze δ . Takto vytvořený povlak má malý rozptyl tloušťky a vyznačuje se dobrou mechanickou odolností. Tato metoda se využívá pro pozinkování, nejčastěji šroubů. Povrch takto pozinkovaných součástek nevykazuje příliš vysoký lesk, protože je z povrchu odstraněn čistý zinek. Tloušťka vysokoteplotně nanášeného zinku je v intervalu od 35 do 45 μm .

Při tomto procesu je důležité dodržení teploty, protože rozmezí teplot 480 až 530 °C prudce vzrůstá rozpustnost železa v roztaveném zinku. Výsledkem by byl vznik odpadního produktu na pozinkovaných součástech. [1]

2.1.4 Chemická předúprava

Chemické nebo elektrochemické úpravy povrchu se provádějí především kvůli odstraňování nečistot z povrchu materiálu před dalšími úpravami. K těmto technologiím můžeme zařadit odmašťování, moření, odrezování a leštění. Nečistoty, které se mohou usadit na povrchu kovu můžeme rozdělit na: Vlastní nečistoty, které jsou s kovem spojeny chemickou vazbou, jde o korozní zplodiny pro jejich odstranění používáme moření a ulpěné nečistoty, které jsou k povrchu vázány adhezními silami. Patří sem zbytky past, emulzí a olejů, kovové nečistoty, brusiva, prach a jiné. K odstranění těchto nečistot využíváme odmaštění. Mezi jednotlivými operacemi jsou zařazeny oplachy, aby nedocházelo ke kontaminaci lázní jinými chemikáliemi. [1,10,16]

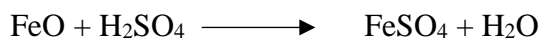
Odmašťování. Principem odmašťování je uvolnění nečistot z povrchu a převedení do roztoku nebo emulze a zabránění jejich opětovnému vyloučení na kovu. Nejčastěji se používají

alkalické nebo kyselé odmašťovací přípravky. Odmaštění provádíme proto, abychom odstranili přebytečnou mastnotu z povrchu součástí, která by bránila jejich dokonalému smáčení.

Podle způsobu aplikace rozdělujeme odmašťování na odmašťování ponorem, postřikem, v parách, elektrolytické, ultrazvukem, mechanické a tepelné.

Alkalické odmašťování se provádí ve vodném roztoku alkalického přípravku, často v kombinaci s přísadou tenzidů. Tento roztok tvoří především hydroxid sodný a fosforečnan draselný. Aby bylo dosaženo potřebné účinnosti odmaštění, musí se lázeň zahřívat na 50 °C. Pro kyselé odmaštění se využívá roztok tenzidů, kyseliny fosforečné ve směsi s kyselinou dusičnou, sírovou nebo chlorovodíkovou. Výhoda kyselého odmašťování spočívá v tom, že při odmašťování dochází k moření a tuky se v lázních nerozpouští, ale sedimentují na dně vany. Další výhodou je, že kyselí odmašťovací přípravky fungují při teplotě prostředí, nemusíme tedy odmašťovací lázně zahřívat (úspora energie). Avšak ve srovnání s alkalickým odmašťováním mohou mít nižší účinnost. [1,17]

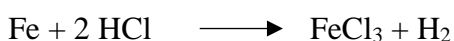
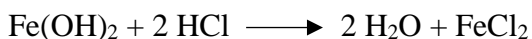
Moření. Mořením nazýváme odstranění korozních produktů z povrchu kovu chemickým nebo elektrochemickým způsobem. Nejčastěji k moření používáme kyseliny nebo jejich soli. Použitím těchto činidel dosáhneme kovově čistého povrchu. Nejvíce využívaným činidlem je kyselina chlorovodíková o koncentraci 14 %. Do mořicí lázně se také přidává chlorid zinečnatý, který lépe rozpouští okuje. S úbytkem obsahu volné kyseliny stoupá obsah železa v mořicí lázni. Aby moření proběhlo optimálně je důležité udržování poměru železa a kyseliny ve vhodném poměru. Proto se také do lázně přidávají inhibitory, které zabráňují rozpouštění železa při moření. Místo kyseliny chlorovodíkové se také může využívat k moření kyselina sírová. Kyselina sírová vniká trhlinkami a póry do vrstvy okují a rozpouštějí tak oxid železnatý a kovový povrch.



Maximální účinnosti moření dosahuje kyselina sírová při koncentraci 25 %. Pracuje se při teplotě 40 až 70 °C a moření probíhá obvykle od 10 do 30 minut. Při moření se vyvíjí atomární vodík, který je pohlčován ocelí a způsobuje jak zhoršení přídržnosti ochranných povlaků, tak i zhoršení mechanických vlastností (vodíková křehkost). Pohlcování vodíku závisí na řadě faktorů jako je druh kyseliny, teplotě, stavu povrchu a čistotě oceli. Tento vodík později odstraňujeme žíháním. Na moření jsou z hlediska výrobního procesu a vlivu na životní prostředí

kladeny vysoké požadavky, kterým je nutno se přizpůsobit. Patří sem vysoká účinnost moření, vysoké využití kyseliny, minimalizace ekologických vlivů a bezproblémová likvidace spotřebované kyseliny. Počáteční koncentrace kyseliny chlorovodíkové by neměla překročit 150 g/l. V průběhu času se koncentrace kyseliny zmenšuje a současně stoupá obsah chloridu železnatého. [1,10,16]

Při použití kyseliny chlorovodíkové probíhají následující reakce:



Oplach. Oplachu se využívá vždy po moření při suchém procesu. Oplach se provádí proto, aby nedocházelo k přenášení chloridu zinečnatého ze součástí do tavidla a poté do zinkové lázně, kde by měl škodlivý účinek, neboť by tvořil odpadní tvrdý zinek (fáze ξ). Je také možnost využívat dvoustupňový oplach. [1,16]

Jako tavidlo se využívá vodný roztok chloridu zinečnatého a chloridu amonného, které jsou v lázni v poměru 3:2. Tavidlo je nanášeno na povrch součástí před ponořením do roztaveného zinku. Obsah soli ve vodě by měl být 400 g/l. V lázni s tavidlem je udržována teplota 50 °C. Po nanesení tavidla na povrch se tavidlo usuší a na povrchu součástí se vytvoří film, který brání další oxidaci. Chlorid amonný se v zinkové tavenině rozkládá na amoniak a na chlorovodík, který rozpouští oxidy zinku a hliníku na povrchu zinkové lázně, a tak může docházet k přímému kontaktu čistého povrchu oceli a roztaveným zinkem. Vzniklý chlorid zinečnatý snižuje povrchové napětí zinku, aktivuje povrch a iniciuje vznik slitinového povlaku železo-zinek. Tavidlo má pH přibližně 4,5, což způsobí při delší expozici vsázky s tavidlem rozpouštění železa v tavenině.

Použité tavidlo se může regenerovat, a to pomocí peroxidu vodíku, kdy dochází k převedení dvojmocného železa z chloridu zinečnatého na trojmocné. Aby regenerace proběhla musíme snížit pH roztoku na 2, tak aby došlo k hydrolyze železa za vzniku nerozpustného hydroxidu železitého. Tento nerozpustný oxid poté můžeme zachytit na kalosisu. [1]

Sušení. U suchého procesu se tavidlo nanesené na součástech musí vysušit, aby nedocházelo k rozstříku zinku při ponoření do zinkové lázně. K vysušení se často používá odpadní teplo z ohřevu zinkové lázně. Po vysušení se součásti ponoří do roztaveného zinku. [1]

2.1.5 Mechanické úpravy povrchu

Mechanickými úpravami povrchu neudělujeme předmětu přesný tvar nebo rozměr výrobku, ale těmito metodami vytváříme požadovanou jakost a kvalitu povrchu. Hlavním principem těchto úprav je očistit povrch od nečistot, zlepšit mechanické vlastnosti povrchu, vytvořit požadovaný vzhled, zlepšit odolnost proti korozi a opotřebení, upravit povrch tak, aby byla zajištěna dostatečná přilnavost dalších vrstev.

Mezi nejrozšířenější metody mechanických úprav řadíme broušení, leštění, otryskání, kartáčování a omílání.

Hlavním účelem broušení je odstranění hrubých nerovností povrchu. Při této technologii dochází k postupnému úběru materiálu, a tím k odstranění nerovností povrchu. Broušení můžeme rozdělit na jemné a hrubé. Při jemném broušení jsou brusné kotouče mazány pro snížení tření a tím i zahřívání broušených předmětů. U hrubého broušení se využívají brusiva o zrnitosti 24 až 100 a to za sucha. Po takovéto úpravě je pak povrch drsnější a tím i lépe použitelný pro nanesení vrstvy zinku.

Leštění je operace, při níž dochází k nepatrnému úbytku materiálu, a navíc dochází k plastické deformaci povrchu. Leštění můžeme provádět u základního materiálu tak i u povrchových vrstev. Pro leštění se používá leštící pasta, která má vliv na konečný lesk povrchu.

Při otryskání využíváme abrazivní částice, které dopadají na povrch velkou rychlostí. Účelem otryskání je odstranění korozních produktů, grafitu, písku apod. Rychlost úbytku materiálu je regulován druhem otryskávaného materiálu, tlakem, velikostí zrn, velikostí trysky a úhlem tryskání. Nejčastěji používanými tryskacími hmoty jsou litinová drť a broky, brusiva, křemičitý písek a speciální materiály (skleněné kuličky).

Kartáčování se rozděluje na dva druhy úprav povrchu. První použití slouží k odstranění hrubých nečistot (rzi, starých nátěrů nebo korozních produktů). Druhé použití slouží k homogenizaci a k zjemnění povrchu po broušení. Po první metodu je využíván kartáč z ocelového nebo vlnitého drátu při kartáčování ocelových výrobků. Při kartáčování neželezných předmětů je vhodné použít drát z bronzu nebo mosazi. V druhém případě se využívají měkké a pružné kartáče, které jsou zhotoveny z umělých nebo přírodních vláken na nichž dochází k zachycení brusné pasty. Kartáčováním však nelze dosáhnout úplného odstranění všech nečistot.

Principem omílání je úběr materiálu a jeho vyhlazování pomocí vzájemného působení omílaných výrobků a omílacích prostředků. Omílání se používá především pro zpracování velkých sérií drobných výrobků se složitými tvary. Jako omílací prostředky se využívají kapaliny, které obsahují chemické látky. Při tomto druhu opracování se zvyšuje korozní odolnost a povrch předmětu je zpevněn. [1,10,16,18]

2.2 Koroze kovů

2.2.1. Úvod

Korozi můžeme charakterizovat jako samovolné, postupné rozrušování kovů či nekovových organických i anorganických materiálů. Toto rozrušování je způsobeno chemickým, fyzikálním nebo biologickým vlivem prostředí. Téměř všechny materiály, které jsou ve styku s okolním prostředím podléhají, více nebo méně rychlému rozrušování.

Koroze může probíhat v kapalinách, plynech tak i v zeminách nebo v různých chemických látkách. Pod pojmem koroze materiálu jsou shrnuty děje, které vedou k jeho rozrušování, u nichž má hlavní význam působení chemických pochodů. Korozi nepodléhají jen kovy, ale i silikátové stavební materiály, plastické hmoty, přírodní suroviny, textil a jiné.

Nejrozšířenějším korozním prostředím je atmosféra, jejímž účinkům je vystavena převážná většina výrobků. Mezi další technicky významné korozivní prostředí patří půda a přírodní voda. [17]

2.2.2 Historie

Korozi známe již několik tisíciletí, zejména díky nejrozšířenější formě, a to rezavění železa. První zmínky o snaze vysvětlit tento jev jsou již ve starém Římě. Kde Platón považuje rez za látku, která se vylučuje ze železa. Dalším významným objevem bylo zjištění, že rez má větší hmotnost než železo, z něhož vznikla. Toto tvrzení podal Robert Boyle. V roce 1821 přichází Hall s tvrzením, že pro rezavění železa je nutná součinnost vody a kyslíku. První zmínky o elektrochemické korozi se objevují na počátku devatenáctého století. Důležitým milníkem byl rok 1824 kdy Day zjišťuje možnost ochrany oceli a mědi pomocí zinku, a tím dává základ oboru katodické ochrany. [17]

2.2.3 Koroze v elektricky vodivých prostředí

Každá korozní reakce zahrnuje v sobě dvě dílčí reakce, a to anodickou a katodickou, protože se jedná o reakci oxidačně redukční. Anodickou reakcí rozumíme oxidaci kovu tudíž vlastní korozi. Katodická reakce odpovídá redukci některé oxidující složky, která je obsažena v roztoku, a tuto reakci nazýváme depolarizační. Obě tyto reakce jsou na sebe vázány a každá z nich nemůže probíhat samovolně, pokud elektrodou neprochází žádný vnější proud. Vzájemnou závislost reakcí určuje zachování elektroneutality. Pokud anodická reakce je zdrojem elektronů, tak katodická reakce musí stejně množství uvolněných elektronů spotřebovat, jinak by docházelo ke hromadění elektrického náboje. Tento náboj by pak ovlivňoval potenciál elektrody, a tím by se ovlivnila i rychlost reakce.

Pro průběh elektrodové reakce, a tedy i koroze kovů, má zásadní význam potenciál příslušné elektrody. U každé elektrochemické reakce probíhající mezi kovovým povrchem a elektrolytem existuje rovnováha, pro kterou je přesně určena hodnota elektrodového potenciálu. Rovnovážný potenciál E_r , který vyjadřuje termodynamickou rovnováhu reakce.

Pokud povrch elektrody má elektrodový potenciál E rovný rovnovážnému potenciálu E_r dané reakce, tak tato reakce bez vnějších vlivů nemůže probíhat ani ve směru redukce ani oxidace. Z toho plyne, že elektrodová reakce probíhá tehdy, když je potenciál povrchu elektrody E odlišný od potenciálu rovnovážného E_r . [17]

$$E - E_R = \eta \quad (1)$$

η - přepětí, $\eta = 0$ reakce neprobíhá, $\eta > 0$ oxidace, $\eta < 0$ redukce

Přepětí je rozdílem potenciálů a zároveň vyjadřuje hnací sílu reakce neboli afinitu, protože je přímo úměrný změně entalpie reakce.

$$-\Delta G = nF\eta \quad (2)$$

ΔG – Gibsova energie, n – počet elektronů, F – Faradayova konstanta, η – rozdíl potenciálu povrchu elektrody a rovnovážného potenciálu

Standartní potenciál kovu. Pokud je kovová elektroda ponořena do roztoku, který obsahuje ionty příslušného kovu, tak se časem ustaví její potenciál na rovnovážném potenciálu E_r , který je charakteristickou veličinou rovnováhy reakce. Tento potenciál závisí jednak na povaze kovu a jednak na koncentraci jeho iontů dle Nernstovy rovnice:

$$E_r = E^0 + \frac{RT}{2,32 F} \ln a_{Me^+} \quad (3)$$

Kde E^0 je standardní potenciál kovu, a_{Me^+} je aktivita kovových iontů v roztoku, R je univerzální plynová konstanta, T je teplota a F je Faradayova konstanta.

Standardní potenciál charakterizuje elektrochemickou ušlechtilost kovů, což je snaha kovů přecházet do oxidovaného nebo iontového stavu a uvolňovat elektrony. Čím více je daný kov ušlechtilější tím má tuto snahu menší a naopak. Podle potenciálů kovů můžeme seřadit kovy do tzv. Beketovy řady kovů. Kde na jedné straně jsou kovy ušlechtilé (zlato, platina, rtuť, olovo) a na druhém konci jsou kovy neušlechtilé (alkalické kovy). Za nulový bod byl přijat potenciál vodíkové elektrody. Jenž má hodnotu 0 V.

Kovy, které mají velmi pozitivní standardní potenciál mají malou afinitu ke kyslíku, tudíž k jakékoli oxidaci, a proto jsou z korozivního hlediska odolné. Naopak kovy se záporným standardním potenciálem mají větší snahu přecházet do oxidovaného stavu, a proto se na ně pohlíží jako na méně odolné vůči korozi. Avšak skutečná stupnice korozní odolnosti kovů neodpovídá Beketově řadě. Protože korozi neovlivňuje jen rychlost koroze, ale i na přepětí elektrodoových reakcí kovů v aktivním stavu a přechodu kovu do pasivního stavu. [17]

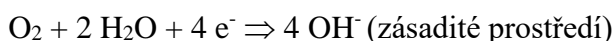
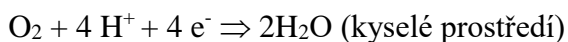
2.2.4 Depolarizační reakce

Depolarizační reakce jsou elektrodové reakce při korozních dějích, které vedou k redukci některé složky elektrolytu. Při jejich průběhu, který je spojen s odběrem elektronů z kovové elektrody, dochází i k anodické reakci, což vede k oxidaci kovů. Depolarizační reakce tudíž zajišťují možnost trvalého průběhu korozního děje.

Při korozi ve vodných roztocích můžeme rozdělit depolarizační reakce na redukci kyslíku rozpuštěného ze vzduchu a redukci vodíkových iontů. Proto je dělíme na kyslíkovou a vodíkovou depolarizaci. [17]

Kyslíková depolarizace

Redukce kyslíku probíhá podle sumární reakce:



Za předpokladu, že aktivita vody ve zředěných roztocích je rovna jedné a při teplotě 25 °C je rovnovážný potenciál vyjádřen takto:

$$E_r = E^0 + \frac{0,059}{4} \log p_{O_2} - 0,059 pH \quad (4)$$

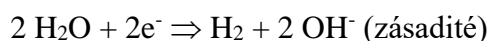
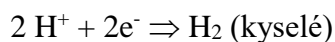
Kde E^0 je standardní potenciál kovu, pH je záporný dekadický logaritmus koncentrace H^+ iontů a p je tlak kyslíku.

Z této rovnice vyplývá, že potenciál kyslíkové elektrody závisí na aktivitě H^+ v roztoku a na parciálním tlaku kyslíku nad roztokem (koncentrace rozpuštěného kyslíku v roztoku). Díky vysoce pozitivnímu potenciálu mohou s kyslíkovou depolarizací korodovat i kovy elektrochemicky ušlechtilé – Sn, Cu, Ag.

Rychlost koroze je dána rychlostí přísunu kyslíku roztokem k povrchu kovu.

Vodíková depolarizace.

Jako depolarizátory se mohou při korozních dějích vyskytovat nejen látky oxidačního charakteru, které jsou rozpuštěné ve vodných roztocích. V těchto roztocích se může vyskytovat jako oxidační činidlo sama voda, přesněji H^+ ionty, protony. Vodíkovou depolarizaci můžeme tudíž nazývat protonová depolarizace. Redukce H^+ iontů probíhá podle sumární reakce:



Jelikož standardní potenciál této reakce je nulový, tak při teplotě 25 °C má rovnovážný potenciál hodnotu dle této rovnice:

$$E_r = -0,059 pH - \frac{0,059}{2} \log p_{H_2} \quad (5)$$

Kde pH je záporný dekadický logaritmus koncentrace H^+ iontů a p je tlak kyslíku.

Z toho plyne, že rovnovážný potenciál vodíkové elektrody závisí na kyselosti roztoku, parciálním tlaku vodíku nad roztokem (koncentraci rozpuštěného vodíku v roztoku). Rychlost vodíkové depolarizace závisí také na materiálu. [17]

V některých případech může nastat smíšená depolarizace. Ta nastává tehdy, když je v roztoku rozpuštěn kyslík a dochází tak ke kyslíkové a současně i k vodíkové depolarizaci.

Méně ušlechtilé kovy, které v daném prostředí mohou korodovat s vodíkovou depolarizací, budou za přítomnosti kyslíku v roztoku korodovat rychleji. Kovy, které jsou ušlechtilejší nemohou v daném prostředí korodovat vodíkovou depolarizací, tak jejich rychlost koroze je řízená pouze rychlostí kyslíkové depolarizace.

Při těchto procesech se účinek kyslíkové a vodíkové depolarizace sčítá. Pokud se v roztoku vyskytují jiné oxidační látky, tak se může jejich depolarizační účinek přičítat.

2.2.5 Korozní články

Korozní děj je dohromady anodická i katodická reakce, tento děj může probíhat buď na jednom místě povrchu korodujícího kovu, anebo na více místech, na nichž tyto reakce probíhají. Pokud je plocha kovu homogenní a je-li složení roztoku stejné po celé ploše dotyku s kovem, tak probíhají obě dílčí reakce na stejném místě. V takovém to případě se jedná o korozi homogenně elektrochemickou.

Pokud je materiál nehomogenní nebo složení roztoku se mění na různých místech korodujícího povrchu kovu, tak rychlost anodické a katodické reakce není na všech místech stejná. Obě dílčí reakce se tak přesunují na různá místa korodujícího kovu. Aby tyto reakce proběhly musí být mezi místem anodické a katodické reakce přítomno elektricky vodivé prostředí. Mezi těmito dvěma místy probíhá elektrický proud, čímž vzniká korozní článek. Vznik takového článku, může mít řadu příčin. [17]

Makročlánek. Tento článek vzniká spojením dvou kovů s odlišnými korozními vlastnostmi v korozním prostředí. V takovém to systému probíhá depolarizační reakce na povrchu obou kovů zhruba stejně rychle, ale jen v případě kyslíkové depolarizace. Anodická depolarizace probíhá převážně na méně ušlechtilém kovu. Rychlost koroze méně ušlechtilého kovu závisí na rozdílu ušlechtilosti obou kovů. [17]

Mikročlánek. Jedná se o články, které vznikají podobně jako makročlánky, avšak na úrovni mikrostruktury kovů a jejich slitin. Tento článek může vzniknout spojením nesourodých částic materiálu, odlišnou krystalografickou orientací krystalitů, chemickým složením nebo i vměstky, karbidy a jiné. [17]

Korozní článek mezi aktivním a pasivním povrchem kovu. Tento typ článku vzniká tehdy, jestliže existují na povrchu kovu vedle sebe aktivní a pasivní místa. K takovému případu dochází tehdy, když se kov nachází v prostředí, které způsobuje jeho pasivaci. Tato pasivace není však úplná a na některých místech je rušena nedostatkem pasivátoru nebo účinkem

přítomných aktivátorů. V takovém to systému anodická reakce probíhá prakticky zcela na aktivních místech, protože na pasivních místech je tato reakce výrazně zpomalena. Části povrchu, kde dochází k porušení pasivní vrstvy, mají menší plochu oproti ostatnímu pasivnímu povrchu. A zde se soustředí právě anodická reakce koroze. Ten to jev nazýváme důlková koroze. [17]

2.2.6 Pasivita

První zmínku o pasivitě popsali v roce 1836 Schönbein a Faraday, a to pasivitu železa, které bylo ponořeno do koncentrované kyseliny dusičné. Železo se v silně kyselém a oxidačním prostředí stalo korozně odolným a jeho potenciál se posunul k ušlechtlejším hodnotám. Pasivitu můžeme chápat jako existenci tenké vrstvy sloučeniny (oxidu) na povrchu kovu. Pasivita kovů je v ochraně kovů vítaným jevem, protože zpomaluje korozní reakce v oxidačním prostředí.

Podle potenciálů a proudových hustot mohou nastat čtyři případy: Kov se může v daném prostředí nacházet buď v aktivním nebo pasivním stavu. Přechod z jednoho stavu do druhého nemůže být samovolný, tudíž musí dojít k vnějšímu zásahu. Kov se v daném prostředí nemůže udržet pasivní a samovolně přechází do aktivního stavu. Kov v daném prostředí přechází samovolně do pasivního stavu a zůstává pasivní nebo se kov v daném prostředí nemůže udržet v pasivním stavu a samovolně přechází do aktivního nebo transparentního stavu.

Kyslík nebo jiný pasivátor je adsorbován pouze na aktivnějších centrech na povrchu kovu a jeho účinek se potom blíží účinkům adsorpčních inhibitorů. Pasivaci můžeme vysvětlit jako vznik třetí fáze na rozhraní mezi kovem a roztokem. Tato pasivní vrstva je sloučeninou kovu a některé složky obsažené v roztoku.

Rychlost anodického rozpouštění kovu nelze libovolně zvyšovat rostoucím přepětím. Rychlost anodické reakce je omezena odváděním reakčního produktu. Rychlost růstu pasivační vrstvy závisí na transportu kovových nebo kyslíkových iontů již existující vrstvou. Z toho plyne, že při zvětšující se tloušťce vrstvy se tento transport zpomaluje a tím se zpomaluje i růst pasivační vrstvy. Stabilita bariéry závisí na jejím složení a na složení okolního prostředí. [17]

2.2.7 Atmosférická koroze

Atmosférickou korozi řadíme mezi elektrochemické druhy. Atmosférická koroze, která má technický význam, může vznikat pouze v dostatečně vlhkých atmosférách, v nichž na povrchu

kovu vzniká vrstvička elektrolytu, a to různými mechanismy. Elektrochemické děje při atmosférické korozi probíhají v tenké vrstvě, a to je hlavní rozdíl oproti ostatním případům elektrochemické koroze, která probíhá ve větším objemu agresivního elektrolytu. V důsledku malé tloušťky elektrolytu a stálého styku s nadbytkem kyslíku probíhají katodické reakce převážně s kyslíkovou depolarizací. Malý objem elektrolytu je rychle nasycován korozními zplodinami, což je významný činitel, který zpomaluje průběh koroze. Atmosférická koroze je vždy doprovázena vznikem tuhých korozních zplodin, protože se jedná o neutrální nebo mírně kyselé reakce elektrolytu. [17]

Základní podmínkou pro průběh elektrochemických korozních dějů v atmosféře je existence vrstvy elektrolytu, tudíž mechanismus jeho vzniku je velmi důležitý. Při reálných podmínkách má atmosféra určitý obsah vodních par. Obsah těchto par je definován absolutní vlhkostí v mg/l, případně parciálním tlakem nebo relativní vlhkostí. Relativní vlhkost představuje maximálně možný parciální tlak při dané teplotě. V systému kov-atmosféra dochází k adsorpci vodní páry, jenž je snadno zkapalnitelná. Aby takto na adsorbovaná voda plnila funkci elektrolytu musí být na povrchu kovu v kapalně fázi. Za ideálních podmínek, kdy předpokládáme hladký povrch kovu a atmosféru o stálé teplotě a vlhkosti, se začne tvořit kapalná fáze na povrchu kovu až při nasycení atmosféry vodní parou.

Avšak reálné podmínky se od těch ideálních výrazně liší, tak se na povrchu kovu začne tvořit kapalná fáze, již při nižších vlhkostech. Příčinou tohoto jevu jsou nerovnosti na povrchu kovu, které mohou být způsobeny nečistotami (prach, okuje) nebo mechanickými úpravami. V důsledku nerovného povrchu dochází ke kapilární kondenzaci vodní páry, což je hlavní příčina průběhu atmosférické koroze při nižší tenzi páry.

Vznik elektrolytu také ovlivňuje samotné složení atmosféry, která místo hlavních složek O_2 , N_2 , H_2O , CO_2 obsahuje další látky, které jsou rozpustné ve vodě. A tím k tvorbě elektrolytu přispívá i chemická kondenzace. Tyto znečišťující látky (plyny, soli), které jsou v trvalém styku s kovovým povrchem způsobí, když je tenze vodních par nasyceného roztoku příslušné látky nižší, než je tlak vodní páry v atmosféře, vznik vrstvičky elektrolytu. Díky těmto látkám tak dochází ke snížení potřebné minimální vlhkosti k vytvoření povrchové vrstvičky elektrolytu. Příkladem může být obsah malého množství HCl v atmosféře. Při působení této atmosféry stačí již 3% relativní vlhkosti k tomu, aby se vytvořila korozně aktivní vrstvička elektrolytu na povrchu zinku. Vznik elektrolytu může být způsoben také rychlými změnami teplot, které mohou způsobit orosení kovů. Mezi další zdroje vytváření elektrolytu na povrchu kovu řadíme atmosférické srážky jako je déšť a mlha. Kritická vlhkost představuje minimální hodnotu

relativní vlhkosti, při níž dochází k tvorbě elektrolytu na povrchu kovu, který je nutný pro průběh elektrochemické koroze. Kritickou vlhkost ovlivňuje složení atmosféry a vlastnosti povrchu kovu (přítomnost kondenzačních center, prachu a korozních zplodin). [17,19]

Vzhledem k přítomnosti tenké vrstvy elektrolytu na povrchu kovu je jeho nejpravděpodobnější katodická reakce redukce kyslíku. U nejméně ušlechtilých kovů, jako je zinek nebo hořčík, je možná depolarizace redukcí H^+ iontů. Přístup kyslíku jako hlavního depolarizátoru katodické dílčí korozní reakce je snadnější při snížené tloušťce elektrolytu.

Anodická reakce je základní pochod, který vede ke korozi kovu. Proto je důležité vědět jaký vliv má tloušťka elektrolytu na anodickou dílčí reakce. Zinek se polarizuje velmi obtížně až při velmi vysokých hustotách proudu. U mědi se zmenšující se tloušťkou vrstvy elektrolytu, vzrůstá polarizace anodické reakce, která se tím zpomaluje.

Atmosférická koroze je velmi významně ovlivněna **složením atmosféry**. Atmosférické nečistoty jako jsou SO_2 , H_2S , Cl_2 , HCl , Cl^- (přímořské oblasti) prudce zvyšují intenzitu koroze (zvyšují vodivost elektrolytu), případné stopy HCl ve vzduchu způsobují to, že kritická vlhkost je pouze 3 % (běžně 60–80 %). Tuhé nečistoty jako jsou písek, popel, saze způsobují to, že dochází k vytvoření kondenzačních center.

Dalším faktorem ovlivňující korozi je **složení korodujícího kovu**. Vzhledem k tomu, že většina atmosférické koroze probíhá s kyslíkovou depolarizací, nebude mít čistota kovu příliš velký vliv na jeho korozní odolnost. Například u zinku byla změřena rychlost atmosférické koroze jak u zinku o čistotě 98,5 %, tak i u 99,9 % a rychlost koroze dosahovala stejné hodnoty. Opakem jsou výrazně elektronegativní prvky, jako je hliník nebo hořčík.

U oceli lze pomocí legujících prvků dosáhnout lepší korozivzdornost. K legování oceli se používá chrom, nikl, hliník a další. Další vlivy, které ovlivňují atmosférickou korozi, je teplota, množství srážek, pohyb vzduchu a světlo. [17,19]

Tabulka 1: Stupně korozní agresivity atmosféry podle ČSN EN ISO 9223 [20]

C1 – velmi nízká	Atmosféry uzavřených, klimatizovaných místností, v nichž nedochází ke kondenzaci vody.
C2 – nízká	Vztahuje se na prostory, v nichž dochází k občasné kondenzaci. Obsahuje malé znečištění
C3 – střední	Odpovídá suchým klimatům.
C4 – vysoká	Odpovídá vlhkým oblastem za působení atmosférických nečistot průmyslových měst, přístavů. Subtropické a tropické pásmo. Atmosféry se středním znečištěním
C5 – velmi vysoká	Atmosférické prostředí s vysokým znečištěním, velký obsah chloridů.
CX – extrémní	Odpovídá prostředím s extrémní vlhkostí nebo velmi vysokým průmyslových znečištěním.

2.2.8 Druhy korozního napadení

Rovnoměrná koroze

Vyazuje velkou reaktivitu, kterou způsobují většinou rozpustné korozní zplodiny o značném počtu aktivních míst, což způsobí rovnoměrné napadení. V důsledku toho je celý povrch pokryt korozními zplodinami, díky čemuž probíhá difúze korozního prostředí k povrchu kovu stejnoměrně.

Skvrnité a nerovnoměrné napadení

Vyazuje nižší reaktivita systému, což vede k nižšímu počtu aktivních míst. Po odstranění aktivního místa z povrchu je koroze zpomalena, a dochází tak k rozšíření koroze do stran. Při delším čase koroze dojde ke spojení skvrn a vzniká tak rovnoměrné napadení. Vlivem rozdílných vlastností kovu, složením prostředí, složením korozních zplodin, různou rychlostí transportu složek prostředí i zplodin v různých částech povrchu přechází napadení skvrnité v napadení nerovnoměrné. Hlavními příčinami vzniku koncentračních článků je rozdílné provzdušnění, styk korozně odlišných kovů nebo teplotní rozdíly.

Důlkové a bodové napadení

Se projevuje místním zvýšení aktivity kovového povrchu nebo korozních zplodin. Při tomto typu koroze dochází k zasažení malé části povrchu do značné hloubky. Příčinou je místní porušení pasivního stavu kovu. U důlkového napadení je hloubka nižší než průměr porušení, u bodového napadení má hloubka větší rozměr než průměr porušení. Důlky mohou vznikat

vměstkem katodického charakteru, mikrotrhlkami v ochranné vrstvě nebo přítomností nečistot před tvorbou ochranné vrstvy.

Nitkové napadení

Vzniká pod ochrannými (organickými) povlaky a neproniká do hloubky kovu. Korozní prostředí proniká ke kovu ojedinělým pórem v povlaku, což způsobí pomalý přívod korozního prostředí, a tudíž vznik malého množství korozních produktů, které odtrhávají povlak od kovu v místě nejmenší soudržnosti. Při intenzivním přívodu korozního prostředí dochází k tvorbě většího množství korozních produktů, to vede k vytvoření puchýřů, které při velkém tlaku korozních zplodin praskají. Nitky časem narůstají na šíři.

Podpovrchové napadení

Může vznikat v důsledku toho, že se kov v dutině nepasivuje, dalším důvodem může být vznik intermediálních fází u slitin nebo dochází k vnitřní oxidaci.

Selektivní napadení

K selektivnímu napadení dochází obvykle u slitin s dvou a více fázovou strukturou. Korozně je napadena pouze jedna fáze, která je přítomná v malém množství. Korodující fáze se liší od nekorodující chemickým složením, plasticky deformovanými zrny, rozhraním a celou plochou zrn odlišné velikosti.

Mezikrystalové napadení

Jedná se v podstatě o selektivní napadení, korodované pásmo je 10^{-5} – 10^{-4} cm. Precipitát vznikající na hranicích zrn vytváří podél hranic zrn pásmo tuhého roztoku, chudšího oproti původnímu tuhému roztoku o chemickou složku způsobující korozní odolnost. Vznikající precipitát má značné vnitřní pnutí. Spojitě vyloučená fáze na hranicích zrn má nižší korozní odolnost než samotná zrna. Spojitě nebo nespojitě vyloučená fáze na hranicích zrn může mít také vyšší korozní odolnost než samotná zrna. Hranice homogenních tuhých roztoků neobsahují cizí fáze, ale stavbou strukturní mřížky se liší od stavby vnitřku zrn v závislosti na krystalografické orientaci stýkajících se zrn.

Transkrystalové napadení

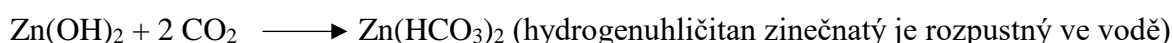
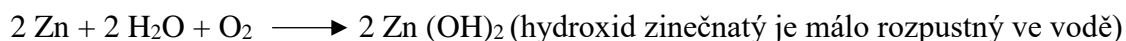
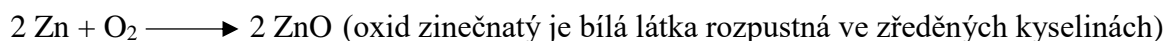
Vzniká rozvětvením trhlinek procházejících zrny. Ovlivňuje vnitřního pnutí kovu. Je pomalejší než mezikrystalové napadení.

Korozní trhlinky a lomy

Tvoří se současným působením prostředí a mechanickým namáháním. Když trhlinky probíhají zrny kovů, tak toto napadení nazýváme transkrystalové, trhlinky jsou úzké a na povrchu není patrné korozní centrum. Pokud trhlinky probíhají po hranici zrn jedná se o mezikrystalové napadení, trhlinky jsou úzké a na povrchu není patrné korozní centrum. Pokud trhlinky vycházejí ze zřejmého korozního centra na povrchu kovu, tak jejich další průběh pod tímto centrem může být jak mezikrystalový tak i transkrystalový. Trhlinky jsou při zkorodovaném povrchu široké a do hloubky se značně zužují až dostávají tvar mezikrystalové nebo transkrystalové trhlinky. Průběh trhlinky je dán místními podmínkami v malých oblastech zrn.

2.2.9 Koroze zinku

Zinek je kov, který má v čistém stavu nízkou korozní odolnost. Pokud na čistý zinek působí atmosférické vlivy, vyznačuje se rychlou oxidací. Podle určitých podmínek probíhají následující reakce:



Za určitých podmínek, díky působení vzdušné vlhkosti, dochází k pasivaci zinku, což je přeměna oxidu zinečnatého na hydroxid zinečnatý, který poté může reagovat s oxidem uhličitým a dochází tak k přeměně na stabilní uhličitan zinečnatý. Právě díky pasivaci vykazuje zinek vysokou trvanlivost, jako protikorozní ochrana povlakem žárového zinku. Každá z výše uvedených reakcí probíhá určitou rychlostí. Pokud se rychlost tvorby hydroxidu zinečnatého vyrovná s rychlostí jeho přeměny na uhličitan zinečnatý, dochází k pokrývání zinkového povlaku patinou. V opačném případě, když převáží objem vzniklého hydroxidu zinečnatého nad rychlostí tvorby uhličitanu zinečnatého, dochází k pokrývání povlaku objemnými korozními produkty zinku. Rychlost koroze je ovlivněna složením atmosféry. Pokud je v atmosféře zvýšená koncentrace chloridů nebo oxidu siřičitého, rychlost koroze stoupá. Pokud

zinek koroduje, poznáme to podle tvorby převážně bílých korozních produktů. Těmto korozním produktům se také říká bílá rez. [1,17,19]

Ochrana oceli žárovým zinkováním spočívá ve vytvoření dostatečné bariéry, schopnost zinku se pasivovat a v katodické ochraně.

Zinek chrání ocel proti korozi, díky jeho fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Zinek se ve většině prostředí vyznačuje nižším redox potenciálem, než má železo. Pokud je mezi zinkem a železem elektricky vodivé prostředí, tak při ovlhčení se zinek chová jako obětovaná anoda. Tato katodická ochrana je důležitá vzhledem k tomu, že každý povlak se vyznačuje různými poruchami a póry, a tyto póry a poruchy umožňují pronikání vlhkosti k substrátu. [1,17,19]

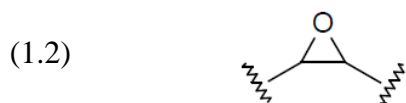
2.3 Nátěrové hmoty určené na pozinkovanou ocel

2.3.1 Epoxidové nátěrové hmoty

Názvem epoxidové pryskyřice nazýváme pryskyřičné produkty, které obsahují v molekule více než jednu epoxidovou (oxiranovou) skupinu. Tato epoxidová skupina je velmi reaktivní a v závislosti na její reaktivitě s velkým počtem látek, které vedou k zesíťovaným makromolekulárním produktům, se volí jejich aplikace. Nejčastěji se epoxidové pryskyřice používají jako lepidla, lisovací hmoty a lakařské pryskyřice. Při vytvrzování epoxidových pryskyřic se neodštěpují vedlejší produkty a dochází pouze k malé změně objemu. Vytvrzené produkty se vyznačují výbornou přilnavostí k mnoha typům povrchů. Mezi další vlastnosti epoxidových pryskyřic patří dobrá chemická odolnost, značná je i odolnost vůči vodě, roztokům alkálií a kyselin, ale i některým rozpouštědlům. Díky svým vlastnostem jsou nátěry na této bázi využívány např. v automobilovém průmyslu i pro povrchovou ochranu lodí. [21,22,23]

Epoxidové pryskyřice jsou bezbarvé až nažloutlé vysoce viskózní kapaliny nebo křehké tuhé látky o teplotě tání do 150 °C. [24,25]

Epoxidové pryskyřice můžeme rozdělit na dvě skupiny, a to na pryskyřice glycidylového typu, které obsahují glycidylové (2,3-epoxypropylové) skupiny (1.1). Tyto pryskyřice se připravují reakcí epinchlorhydrinu s vhodnými surovinami a cykloalifatické epoxidové pryskyřice, které obsahují epoxidové skupiny (1.2), připravené epoxidací nenasycených sloučenin s kyselinou peroxyoctovou.

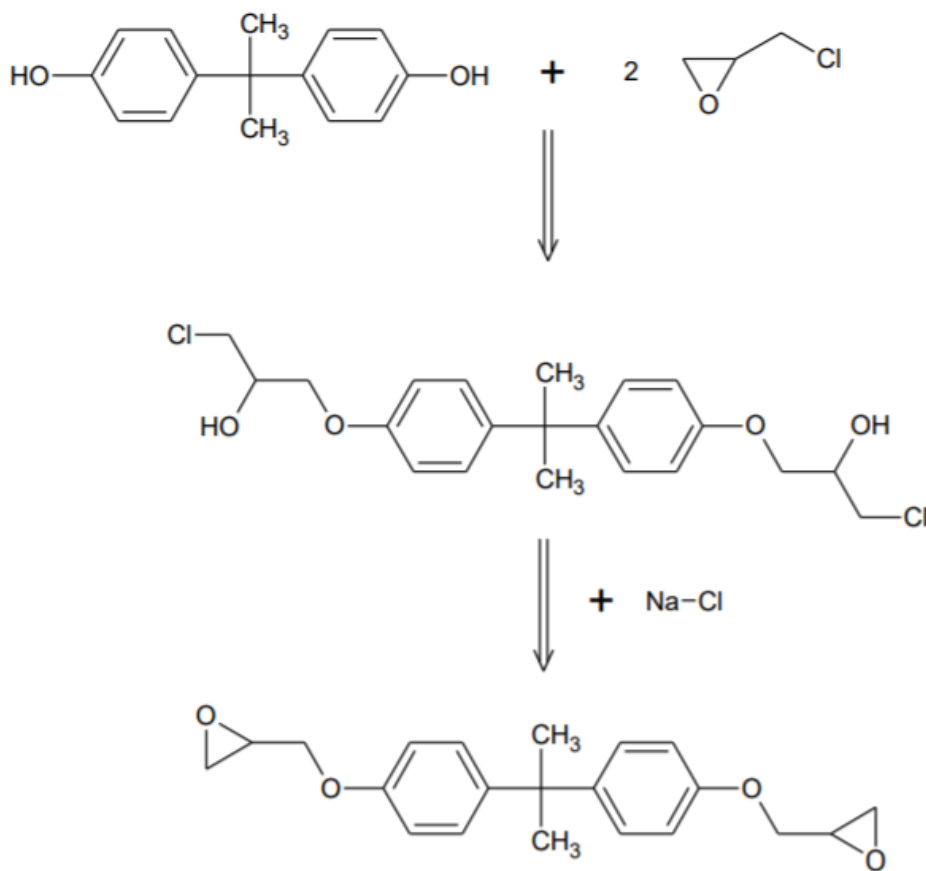


Prskyřice glycidylového typu

Prskyřice glycidylového typu jsou nejběžnějším typem epoxidových prskyřic, získávají se alkalickou kondenzací epinchlorhydrinu s bisfenolem A (2,2-bis(4-hydroxy(fenyl)propan. Při této reakci probíhají dvě hlavní reakce, první reakcí je adice epoxidové skupiny epinchlorhydrinu na fenolický hydroxyl. Při další reakci s chloridem sodným se z řetězce odstraní navázané chloridové anionty a na koncích se opět vytvoří epoxidové skupiny.

Takto vytvořená epoxidová skupina zůstane zachována, nebo dále reaguje s fenolickým hydroxylem další molekuly dianu, a při těchto reakcích vzniká vyšemolekulární látky. Kromě těchto reakcí probíhají současně i vedlejší reakce.

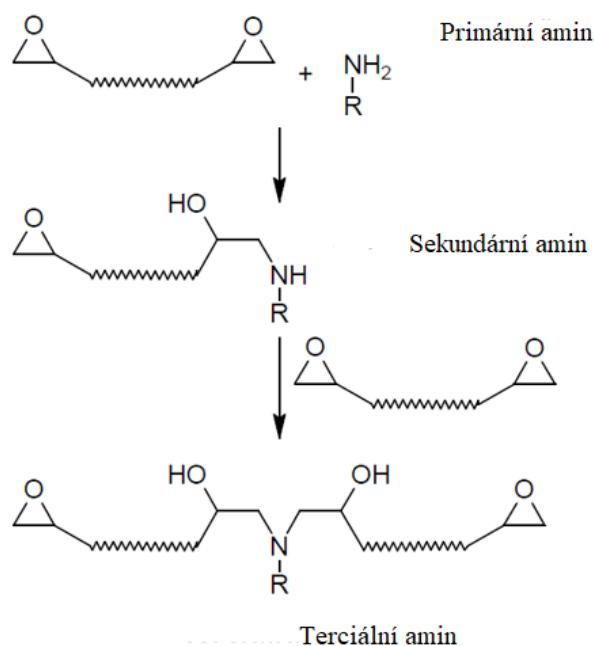
Reakční schéma výroby prskyřic glycidylového typu:



Molekulová hmotnost takto připravených pryskyřic závisí na molárním poměru daných složek. Pro výrobu se nátěrových hmot se nejčastěji používají pryskyřice o relativní molekulové hmotnosti od 340 do 3800 podle použitého molárního poměru monomerů. Čím menší množství epinchlorhydrinu připadá na 1 mol dianu, tím vyšší je molekulová hmotnost výsledné pryskyřice. Vzniká lineární polymer. Se zvyšujícím se polymeračním stupněm se zvyšuje obsah hydroxylových skupin a snižuje se relativní zastoupení epoxy skupin.

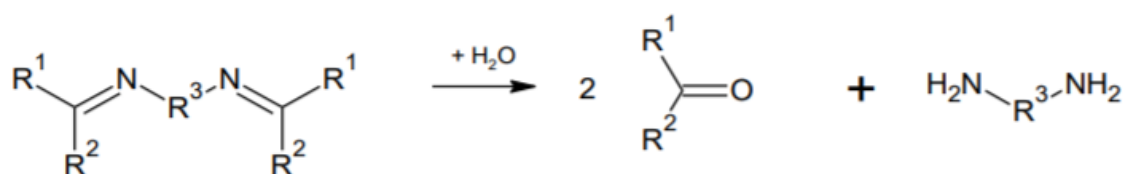
Nízkomolekulární druhy epoxidových pryskyřic jsou rozpustné v aromatických uhlovodících. Středně a výše molekulární typy pryskyřic jsou rozpustné pouze v ketonech, esterech a ve směsích aromatických uhlovodíků s vyššími alkoholy (směs butanol-xylen) a poskytují málo viskózní roztoky, které jsou snadno zpracovatelné. [23,26,28]

Vytvrzování epoxidových pryskyřic. Abychom docílili požadovaných vlastností epoxidových nátěrů je nutno epoxidovou pryskyřici kombinovat s tvrdidly. Funkce tvrdidla je taková, že dokáže propojit epoxidové řetězce do trojrozměrné sítě a tím celý materiál zpevnit. Vytvrzování epoxidových pryskyřic můžeme uskutečnit několika způsoby. Jednou možností je polyadice probíhající na epoxidových skupinách, další možností je polykondenzace na přítomných hydroxylových skupinách a poslední možností je polymerace epoxidových skupin. Jako tvrdidla se používají například alifatické a aromatické polyaminy, anhydridy aromatických dikarboxylových kyselin a mnohé jiné sloučeniny. Vytvrzování epoxidových pryskyřic reakcí s polyaminy. Pomocí primárních a sekundárních alifatických polyaminů se vytvrzují epoxidové pryskyřice za normální teploty. Reakce probíhá za vzniku hydroxylové a sekundární



aminoskupiny. Poté vzniklá aminoskupina reaguje stejným mechanismem za vzniku terciární aminoskupiny. Podle daného schématu:

Aby vznikl zesíťovaný produkt je základní podmínkou to, aby použitý polyamin obsahoval v molekule minimálně 3 aktivní atomy vodíku. Vytvrzování epoxidových pryskyřic pomocí alifatických polyaminů probíhá za normální teploty během krátké doby. Tyto pryskyřice, které na vzduchu zasychají, jsou připravovány ve dvou složkách, a to pryskyřice a tvrdidlo. Mimo jiné se též připravují jednosložkové epoxidové pryskyřice, které se za účasti vzdušné vlhkosti vytvrzují samy. Pro vytvrzování jednosložkových pryskyřic se využívají k vytvrzování ketiminy, které jsou obsaženy v nátěrových hmotách. Na vzduchu reagují se vzdušnou vlhkostí podle následujícího schématu:



Tyto polyaminy vytvrzující epoxidové pryskyřice za normální teploty se především používají pro lepidla, tmely a nátěrové hmoty.

Epoxidová část dvousložkových nátěrových hmot obsahuje etherové vazby, které velmi dobře odolávají organickým a anorganickým kyselinám a zásadám. V průběhu vytvrzování epoxidových pryskyřic dochází ke vzniku nových vazeb, které určují odolnost nátěru. Například použijí-li se k vytvrzování anhydridy dikarboxylových kyselin, vytvořený nátěr bude dobře odolávat kyselinám, avšak bude málo odolný vůči účinkům zásad. Protože při vytvrzování dochází ke vzniku esterové vazby, která se snadno zmýdelňuje. Pokud dochází k vytvrzování epoxidových nátěrů polyaminy, vzniká vazba C-N, která je velmi dobře odolná vůči účinkům anorganických kyselin i zásad, ale tato vazba neodolává organickým kyselinám. Odolnost vzniklé vazby vysoce závisí na použitém polyaminu. Pro nátěry zasychající na vzduchu se jako tvrdidlo používá např. diethylentriamin, triethylentetramin. Použitím určitých tvrdidel se dá docílit různých vlastností epoxidového nátěru. Dynamika procesu vytvrzování závisí především na teplotě. Samotný proces vytvrzování probíhá zpočátku velmi rychle. Většina tohoto procesu proběhne během několika hodin, ale optimálních vlastností dosahuje nátěr až za několik dní. Nejideálnější teplotou vytvrzování je teplota 20 až 25 °C, při této teplotě nátěr zasychá během čtyř hodin a vytvrzený je za 24 hodin. [26,27]

K vytvrzování epoxidových pryskyřic se také používají polythioly, anhydridy nebo jiné pryskyřice.

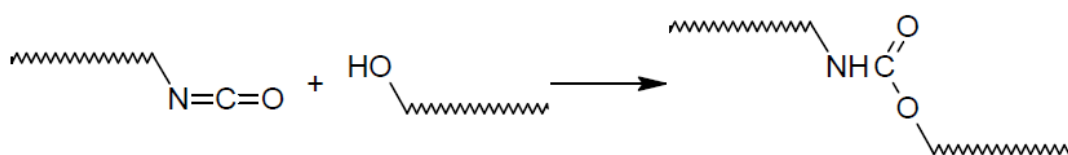
Vliv struktury na adhezi a kohezi. Adheze je souhrn přitažlivých sil pryskyřice k podkladu. Koheze jsou přitažlivé síly mezi molekulami pryskyřice. Na adhezi se z velké části podílejí skupiny epoxidové a hydroxylové, popřípadě i nitrilové skupiny z tvrdidla. Epoxidové skupiny se podílejí na adhezi jen na začátku lepení, tato fáze je taková při, které dochází ke smáčení povrchu. Avšak v této fázi projevují větší účinnost než skupiny hydroxylové. V dalších fázích tyto epoxidové skupiny mizí, protože reagují s tvrdidly, se kterými vytvářejí molekulu. Adhezi silně ovlivňují skupiny nitrilové a hydroxylové, méně chlorové. Pokud má pryskyřice dobrou adhezi neznamená to, že tato pryskyřice bude i dobrým lepidlem. Lepidlo musí mít také dobrou kohezi. A na to má největší vliv modifikující složky. Například koheze roste s přidáním polyvinylacetátu nebo dibutylftalátu. Samotné epoxidové pryskyřice nemají často požadovanou kohezi, proto se musejí modifikovat různými látkami. [23]

Aplikace epoxidových pryskyřic. Epoxidové pryskyřice se velmi významně využívají jako lepidla nejrůznějších materiálů, nejčastěji kovů, skla, plastů a keramiky. Tato lepidla mají výbornou adhezi ke kovům a dobré mechanické, tepelné a elektroizolační vlastnosti, proto se také používají jako elektroizolační materiál při výrobě transformátorů, statorů, rotorů a cívek. [26]

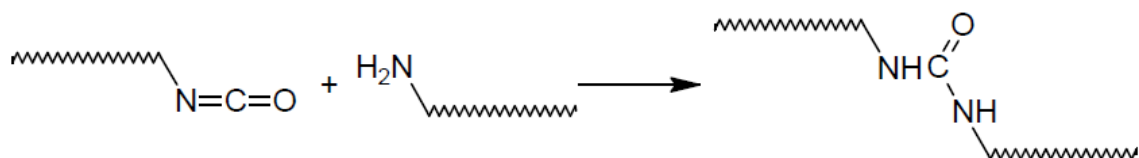
2.3.2 Polyuretanové nátěrové hmoty

Názvem polyuretany myslíme skupinu polymerů vzniklých polyadící vícefunkčních isokyanátů s polyalkoholy. První zmínky o polyuretanu sahají před II. světovou válku do Leverkusenu, kde ho vynalezl profesor Dr. Otto Bayer. V roce 1937 byla udělena patentová práva, ale až později roku 1952 byl započat výzkum a následná aplikace. V průběhu dalších několika let nastal velký rozvoj polyuretanu, díky svým mechanickým a fyzikálně chemickým vlastnostem. [29]

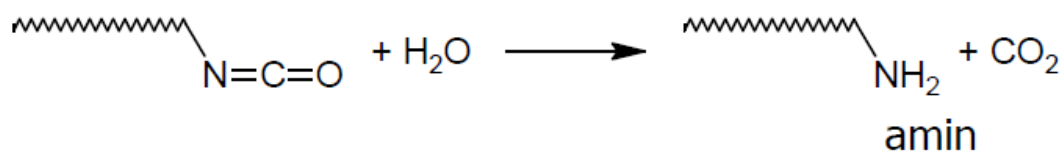
Hlavní růstová reakce je reakce isokyanátů s alkoholy za vzniku uretanu.



Tato hlavní růstová reakce je však často doprovázena dalšími vedlejšími reakcemi, které jsou mnohdy nežádoucí, protože vznikají jiné než uretanové strukturní jednotky. V některých případech je, ale můžeme využít pro dosažení určitých vlastností polyuretanů. Vedlejší reakce probíhají z důvodu snadné reakce isokyanátů se sloučeninami, které obsahují aktivní vodíkové atomy. Například reagují s aminy za vzniku substituovaných močoviny.



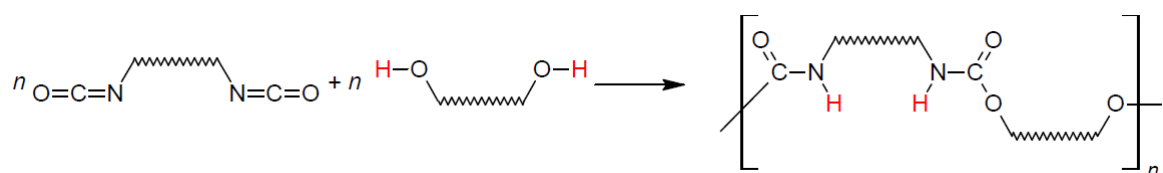
Další možnou reakcí jsou reakce s vodou, při čemž vznikají aminy a uvolňuje se oxid uhličitý.



Po-té reaguje vzniklý amin s další molekulou isokyanátu za vzniku substituované močoviny.

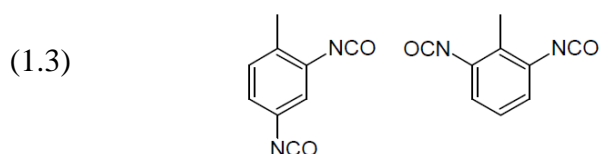
Dále izokyanáty mohou reagovat s karboxylovými kyselinami. Z toho to důvodu musíme všechny reakce isokyanátů s polyhydroxysloučeninami provádět v bezvodém prostředí, aby nedocházelo ke vzniku oxidu uhličitého a močovinných vazeb. Podle klesající reaktivity sloučenin obsahující reaktivní vodík s izokyanáty je můžeme seřadit následovně: alifatické aminy > aromatické aminy > alifatické substituované močoviny > primární alkoholy > sekundární alkoholy > voda > fenoly > aromatické substituované močoviny.

Reakce s alkoholy a aminy probíhají již při teplotě 20 °C, tyto reakce jsou silně exotermické a probíhají téměř kvantitativně. Z důvodu tepelného zbarvení reakce, je výhodné pracovat při velkém zředění nereaktivními ředidly nebo při nízké teplotě. Abychom připravili polyurethany musíme vycházet s diisokyanátů (polyisokyanátů) a polyhydroxysloučenin. Například reakcí diisokyanátu a diolu vzniká polyadiční reakcí lineární polyurethan:

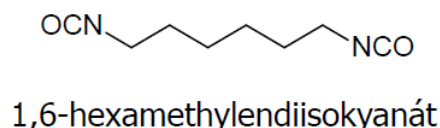
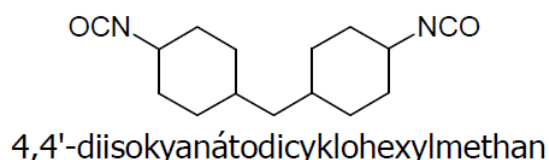


Při této reakci dochází k přesunu aktivního vodíku. Adiční reakce isokyanátů s polyalkoholy jsou katalyzovány terciálními aminy nebo organocínčitými sloučeninami pro urychlení reakce. Abychom získali lineární polymer s vysokým polymeračním stupněm musíme dodržet přesné ekvimolární množství diisokyanátu a diolu, musíme použít čisté suroviny, které neobsahují monofunkční deriváty a dodržet vhodné reakční podmínky. [26]

Většina světové produkce polyuretanů je založena na aromatických polyisokyanátech, protože jsou reaktivnější a levnější než alifatické. Nejpoužívanějším monomer jsou TDI – tolylendiisokyanát (1.3) a MDI - 4,4'-methylendifenyl-diisokyanát (1.4).



Nevýhodou diisokyanátu je to, že jejich produkty mají sklon ke žloutnutí vlivem světla a kyslíku. Tento problém nemají alifatické diisokyanáty.

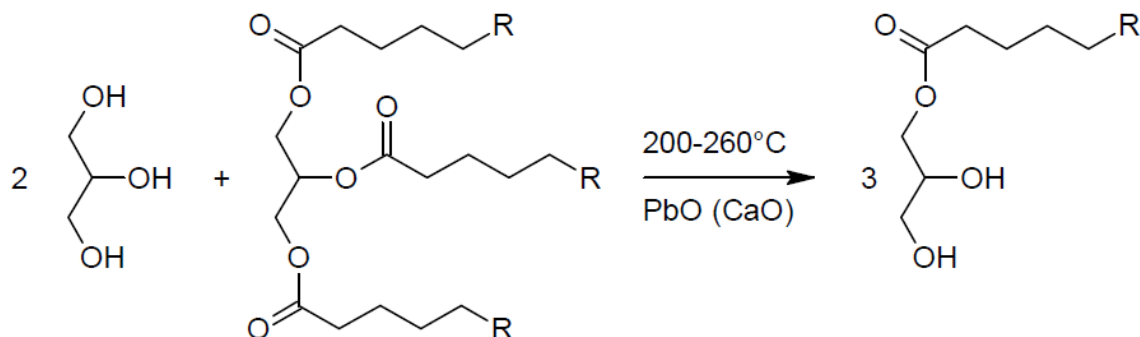


Polyuretanové nátěry jsou zhotovovány z dvousložkových nebo jednosložkových nátěrových hmot. U dvousložkových nátěrových hmot jedna složka obsahuje isokyanáty, které obsahují aktivní skupinu $-N=C=O$, která reaguje s látkami obsahující aktivní vodík, který je obsažen v druhé složce. Ve většině případů se jedná o rozvětvené polyester (alkydy). Pokud se obě složky smíchají dojde ke vzájemné reakci, která vede k zesíťování obou nízkomolekulárních látek.

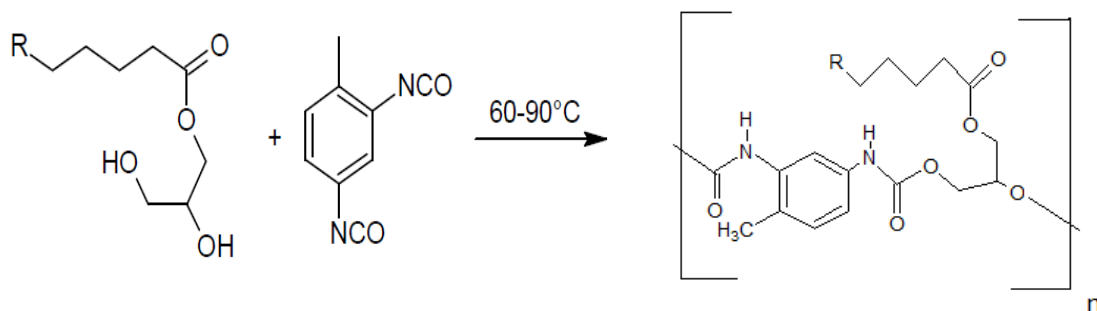
Principem jednosložkových nátěrových hmot je to, že se vytvrzují vzdušnou vlhkostí. Molekuly vody obsažené ve vzduchu reagují s volnými isokyanátovými skupinami, a tím dojde k vytvrzení nátěru. [27,28]

Urethanové alkydy se připravují podobným mechanismem jako alkydy modifikované rostlinnými oleji, akorát se nahradí dikarboxylová kyselina diisokyanátem.

Výroba spočívá ve dvou krocích. Prvním krokem je reesterifikace vysychavých olejů glycerolem při teplotě 220 až 250 °C za vzniku parciálních esterů obsahující hydroxylové skupiny. Reakce bývá katalyzována oxidem olovnatým nebo vápenatým.



Vzniklý produkt se ochladí na teplotu 60 až 90 °C a provede se druhý krok, který spočívá v přidání tolylendiisokyanátu k produktům předchozí reakce.



Vzniká středně uretanový alkyd, který zasychá oxopolymeračním mechanismem v zesíťované lakové filmy po přidavku sikativ. Uretanové alkydy rychle zasychají na vzduchu, avšak mají sklon ke žloutnutí na světle. [26,27]

Obecně můžeme říct, že polyuretanové nátěry mají dobrou přilnavost ke kovům. Slunečnímu záření odolávají polyuretanové nátěry, k jejichž přípravě bylo využito isokyanátů, které mají aktivní skupinu vázanou na alifatickém základu. [27]

Pro přípravu dvousložkových laků se používají především výšemolekulární, netěkavé isokyanáty, např. trimer 2,4-toluylendiisokyanátu. Druhou složku tvoří polyetheralkohol nebo polyesteralkohol. Lak je tedy tvořen dvěma složkami, jednou je roztok vhodného polyisokyanátu a druhou je roztok rozvětveného polyesteru nebo polyetheru s volnými hydroxylovými skupinami. Častěji se používá polyester, protože polyether se obtížně pigmentuje a vykazuje malou odolnost vůči povětrnostním jevům. Abychom odstranili přebytečnou vlhkost při reakci, používají se zeolity. A pro urychlení reakce se používají

katalyzátory (aminy). Vlastnosti laků a barev lze ovlivnit řadou faktorů, jako je volba hydroxylové a izokyanátové složky, volbou poměru těchto látek, provádění reakce v ekvimolárním poměru, použitím nadbytku hydroxylové složky, tím se dosáhne nižšího stupně zesílení, ale získají se elastičtější produkty nebo použitím nadbytku isokyanátu, což vede ke vzniku tvrdších filmů. Všechny polyuretanové nátěrové hmoty se vyznačují dobrou adhezí, vysokou odolností proti otěru, dobrou odolností vůči vodě, trvalou elasticitou, odolností proti rozpouštědlům a výbornými elektroizolačními vlastnostmi. Polyuretany můžeme využít nejen jako laky, ale i jako lepidla, lehčené hmoty, elastomery nebo vlákna. [26]

2.4 Lepidla

2.4.1 Epoxidová lepidla

Jak již bylo zmíněno epoxidové pryskyřice se připravují kondenzací a adicí dianu s epinchlorhydrinem. Podle poměru těchto látek vznikají pryskyřice s různou velikostí makromolekuly, a tato velikost významně ovlivňuje jejich vlastnosti. Před vytvrzením se epoxidové pryskyřice rozpouštějí v organických rozpouštědlech, především v alkoholech díky čemuž jsou navlhle a málo mechanicky pevné. Po vytvrzení mají výborné elektroizolační vlastnosti a jsou chemicky odolné. Vyznačují se výbornou adhezí i kohezí. [30] Mezi technicky nejvýznamnější aplikace patří použití při spojování kovů. Takové to lepidlo musí splňovat řadu podmínek, podle kterých daný typ lepidla vybíráme. Mezi tyto podmínky patří výborná adheze k hladkým povrchům, výborná koheze po vytvrzení, dobré elektroizolační vlastnosti, během vytvrzování nesmí docházet v lepidle ke značnému smrštění, odolnost proti stárnutí a lepidlo musí být snadno zpracovatelné a chemicky odolné. [31]

Epoxidová lepidla se také využívají při určování přilnavosti ochranných nátěrů k podkladu. To se provádí například odtrhovou zkouškou přilnavosti. Při takovéto zkoušce je základním pravidlem, aby použité lepidlo vykazovalo větší adhezi mezi odtrhovým válečkem a vrchní vrstvou nátěru, než je adheze mezi nátěrem a podkladem, potažmo mezi vrstvami nátěru, abychom měřili adhezi povlaku a ne lepidla. Abychom vybrali a po-té použili správné lepidlo musíme znát jakým mechanismem je tvořena adheze povlaku. Rozeznáváme pět typů adheze. Jedná se o mechanickou, difúzní, chemickou, smáčecí a elektrostatickou teorii. Materiál může být spojen s jiným jedním způsobem nebo i několika způsoby.

Mechanická teorie popisuje pronikání lepidla do pórů a dutin substrátu. Tutu adhezi vykazují lepidla na lepení papíru, textilie nebo dřeva. K vytvoření fyzické vazby dochází po

vypaření nosiče, což bývá voda. Difúzní teorie popisuje, jak polymery v lepidle difundují do povrchu substrátu na mikroskopické úrovni; např. při lepení plastů. Dobře zvolené lepidlo mírně proniká povrchem plastu v mikroskopické úrovni, aby se vytvořilo spojení. Při chemické adhezi se materiály spojují vznikem chemické vazby. Smáčecí teorie říká, když je povrchové napětí lepidla nižší než povrchová energie substrátu, může se lepidlo dostatečně rozprostřít po povrchu. Při elektrostatické adhezi vznikají subatomární částice, které působí elektrostatické účinky mezi lepidlem a substrátem. Pro testování přilnavosti lze použít několik různých typů lepidel. Důležité je udržovat rovnováhu mezi přilnavostí k podkladu, vnitřní soudržností a přiměřenou dobou vytvrzení. [32,33]

2.4.2 Polyuretanová lepidla

Polyuretanová lepidla jsou ve většině případů dvousložková, avšak nejnovější typy těchto lepidel se vyskytují jako jednosložková. Dvousložková polyuretanová lepidla se připravují smícháním polyesterové pryskyřice nejčastěji ve formě polyhydroxyesterů s polyisokyanáty. Ty to dvě složky se v daném poměru smísí těsně před použitím, protože vzniklá směs nevykazuje dlouhou životnost. Při míchání obou složek dochází k chemické reakci, při které se uvolňuje teplo, tuto reakci můžeme tak považovat za exotermní. Vlastní chemickou reakci a po-té tvrdnutí směsi můžeme zpomalovat vhodnými rozpouštědly. [30] Použité polyisokyanáty k výrobě lepidel musejí mít minimálně tři vysoce reaktivní isokyanátové skupiny. Vhodnou látkou je například surový tris(p-isokyanatofenyl)-methan. Jako druhou složku lze využít polyesteralkoholy. Tvrdost a pevnost spoje polyuretanových lepidel lze ovlivnit obsahem hydroxylových skupin v polyesterech. Čím větší obsah hydroxylových skupin bude mít polyester tím daný spoj bude pevnější a tvrdší, a naopak čím méně bude těchto skupin v polyesteru tím daný spoj bude houževnatější a elastičtější. [26]

U jednosložkových lepidel dochází k vytvrzení reakcí polyisokyanátů s vodou, která je obsažena ve vzduchu nebo vlhkost lepeného materiálu. Polyuretanová lepidla vykazují výbornou přilnavost ke kovům, dřevu, sklu, keramice, pryži i plastickým hmotám. Vytvořené spoje jsou odolné vůči vodě a rozpouštědlům, problémem aplikace může být jejich zdravotní závadnost. [30]

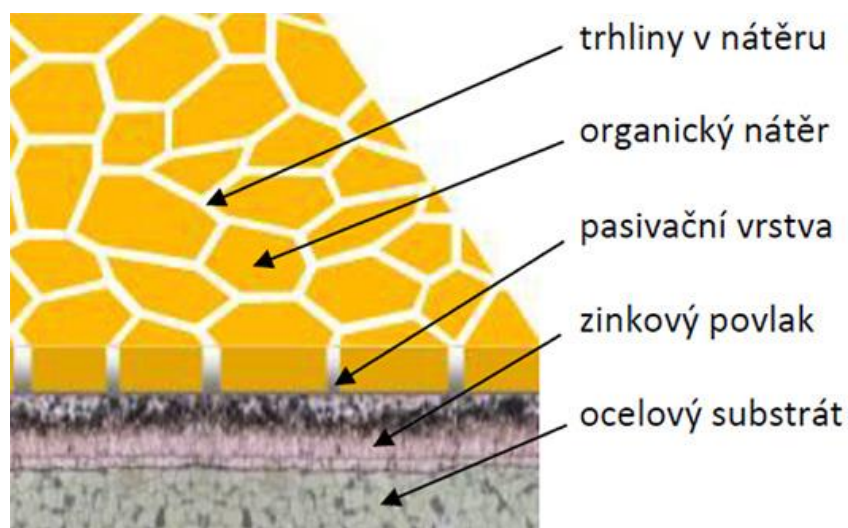
Díky jejich vlastnostem mají širokou škálu možností aplikace, používají se například i v obuvnickém průmyslu. V tomto odvětví se využívají tři typy lepidel: lepidlo na bázi rozpouštědla, lepidlo na bázi vody a lepidlo na bázi prášku. Lepidlo na bázi rozpouštědla je univerzální lepidlo, ale přítomnost těkavých látek mají některé nevýhody týkající se životního

prostředí a dobrých životních podmínek pracovníků. Na druhou stranu, lepidla na bázi vody a prášku vyžadují složitější zpracování než lepidlo na bázi rozpouštědla. [34]

2.5 Duplexní systémy

Duplexní systémy můžeme také nazývat kombinované povlaky, které jsou v technické praxi velmi využívány. Duplexní systémy jsou tvořeny dvěma odlišnými povlaky, a to kovovým a organickým, což je jejich hlavní přednost. [35] Organické nátěrové hmoty tvoří po nanesení bariéru, která odděluje substrát o korozního prostředí. Následná účinnost takovýchto povlaků pak závisí na propustnosti a odolnosti proti degradaci. S časem se však organická vrstva poškodí a začne propouštět vzdušnou vlhkost, která proniká až k substrátu a začne ho korozně napadat. Rychlost koroze kovu závisí na agresivitě atmosfér, v nichž je daný povrch exponován.

Pokud je povlak žárového zinku překryt organickým nátěrem, tak vlhkost, která proniká tímto povlakem způsobuje pasivaci zinku a tím zinkový povlak nebude korodovat. Takto vytvořená pasivace je pak zadržována na povrchu díky organickému nátěru, a tím se následná koroze zastavuje.



Obrázek 7: Duplexní systém (36)

V takto vytvořeném povlaku tak dochází k synergii mezi oběma povlaky. Organický povlak brání erozi patiny, která se vyskytuje na povrchu zinkové vrstvy a chrání ho proti korozi. Zároveň pasivovaný zinek nesnižuje adhezi vrstvy organického povlaku k substrátu, oproti tomu, kdyby organický povlak byl aplikován přímo na ocel. Životnost takovýchto duplexních systémů je výrazně delší, než kdyby každý povlak byl nanesen samostatně. Tato životnost

duplexních systému je přibližně 1,5 až 2,3násobná, než je součet životnosti obou povlaků aplikovaných samostatně. [1]

Zhotovení duplexních systému se skládá ze dvou odlišných metod zhotovení povlaku. Nejdříve se na ocel naaplikuje žárovou metodou vrstva zinku. Následuje příprava povrchu pro aplikaci organické vrstvy. K tomu to účelu se využívá otryskání, čímž se odstraní nečistoty z povrchu a vytvoří se podmínky pro zakotvení nátěru. V posledním kroku se naaplikuje nátěrový systém.

Díky těmto skvělým korozivzdorným vlastnostem mají duplexní systémy širokou škálu aplikací. Například se využívají pro hlavní nosné konstrukce, svodidla, zábradlí a mostní objekty z ocelových trub z vlnitého plechu. [35]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Cíl práce

Cíl této bakalářské práce spočíval ve studiu ochranných systémů aplikovaných na ocelových panelech či pozinkovaný ocelových panelech, kdy byla studována jak mechanická odolnost, tak i korozní odolnost testovaných vzorků. V rámci této práce byl hledán účinný ochranný systém, který by bylo možné využít k zajištění korozní odolnosti pozinkovaných ocelových panelů opatřených dvouvrstvou folií (trenchcoat) v místech, kde došlo k poškození příslušné dvouvrstvé folie, případně dvouvrstvé fólie i zinkové vrstvy. Použitelnost příslušných typů ochranných systémů byla testována pomocí stanovené odtrhové přilnavosti, která byla na vzorcích prováděna před expozicí v korozních prostředích i po expozici vzorků v korozních zkouškách.

3.2 Charakterizace surovin:

3.2.1 Ochranná folie (TRENCHCOAT)

Dodané vzorky byly opatřeny ochranou folií trenchcoat. Pro výrobu svitků s trenchcoatovou folií se používá jako základní materiál ocel (S250GD) dle normy EN 10346. V první fázi jsou svitky plechů očištěni od nečistot a okují, máčí se v kyselině chlorovodíkové, oplachují se vodou a následně suší. V další fázi se svitky plechů ohřívají na teplotu 500 °C a následně procházejí lázní s roztaveným zinkem o teplotě 470–510 °C, poté se suší. Po ochlazení jsou pozinkovaných plechy opatřeny směsí pasivátoru a lepidla, které zajišťují dobrou adhezi fólie k žárově zinkovanému povrchu plechu.

Fólie trenchcoat je dvouvrstvá fólie, spodní vrstvu folie tloušťky 50 μm tvoří kopolymer etylénu s kyselinou akrylovou s přídavkem antioxidantu. Horní vrstvu této fólie tloušťky 250 μm tvoří kopolymer ethylénu s kyselinou akrylovou s přídavkem antioxidantu s antiadhezivem a černým pigmentem. Laminace fólie probíhá následovně: povrch plechu je nejdříve nahřán na teplotu 230 °C, poté pomocí válců na takto připravený podklad při tlaku 150 bar probíhá laminace fólie. Následuje chlazení vzduchem a ve vodní lázni na teplotu 20 °C. Daná fólie je černá, vykazuje 20,7 MPa mez pevnosti v tahu, dobře odolává chemikáliím: 10% kyselině chlorovodíkové a dusičné, 30% kyselině sírové a 10% hydroxidu sodnému. Dobře odolává povětrnostním vlivům.

3.2.2 Nátěrové systémy:

3.2.2.1 Dvousložkový epoxydový nátěr

Jedná se o dvousložkový, polyaminy vytvrzující epoxydový nátěr. Je to vysokosušinnový, silnovrstvý, abrazi odolný nátěr. Pro zlepšení bariérového efektu je pigmentován hliníkem. Tento nátěr je vhodný pro podklady, které není možno nebo je nežádoucí jejich úprava. Poskytuje dlouhodobou ochranu v těžkých korozních podmínkách. Můžeme jej použít jako základní nátěr, ale i jako mezivrstvu nebo jak vrchní nátěr. Výhodou je to, že tento nátěr můžeme aplikovat i pod bodem mrazu. Vyskytuje se ve dvou barevných provedeních, a to jako aluminium a červené aluminium.

Tabulka 2: Základní údaje dvousložkového epoxidového nátěru

Vlastnost	Popis
Objem pevných látek [%]	80 ± 2
Lesk	pololesklý
Bod vzplanutí [°C]	35
Specifická hmotnost [kg/l]	1,4
VOC [g/l]	213

Tloušťka suché vrstvy by měla být v intervalu od 100 µm do 300 µm, tloušťka mokré vrstvy by měla být od 125 do 375 µm. Vydatnost je 8 – 2,7 m²/l. Abychom zajistili dokonalou přilnavost k podkladu, musí být všechny povrchy čisté a suché, bez jakékoliv kontaminace. Konkrétně u aplikace na nerezovou ocel, musí být povrch ručně, nebo strojně otryskán nekovovým abrazivem tak, aby se docílilo ostrohranného profilu. Nátěrový systém může být aplikován vysokotlakým stříkáním, u malých povrchů může být použit štětec nebo váleček. Mísící objemový poměr je 3,5:1. Teplota báze a tužidla musí být minimálně 10 °C, pokud je teplota nižší, musí být použito pro zachování správné aplikační viskozity ředidlo. Avšak nadměrné množství ředidla snižuje odolnost vůči stékání a zpomaluje vytvrzování. V kombinaci s tímto nátěrem lze použít, v závislosti na konkrétní expozici nátěrového systému, jiné základní a vrchní nátěry.

Tabulka 3: Doba schnutí a vytvrzování

Stav	Teplota podkladu [°C]			
	5	10	23	40
Zaschlý na dotyk [h]	20	12	4	1,5
Pochozí [h]	40	20	6	3
Zaschlý pro přetírání [h]	30	10	3	1,5
Vytvrzený [dny]	28	14	7	2

3.2.2.2 Dvousložkový polyuretan

Jedná se o dvousložkový, chemicky vytvrzující alifatický akryl, polyuretanový lesklý nátěr s velmi dobrou stálostí lesku. Tento polyuretan je rychleschnoucí silnovrstvý nátěr s vysokým obsahem sušiny. Výhodou je možnost aplikace přímo na kov. Vyznačuje se velkou pružností, odolností vůči nárazům a vynikající přilnavostí. Především je určen jako krycí nátěr v nátěrových systémech pro atmosférické podmínky. Může mít mnoho odstínů.

Tabulka 4: Základní údaje dvousložkového polyuretanu

Vlastnost	Popis
Objem pevných látek [%]	64 ± 2
Lesk	lesklý
Bod vzplanutí [°C]	25
Specifická hmotnost [kg/l]	1,2
VOC [g/l]	353

Tloušťka zhotoveného nátěru by měla být od 80 do 230 μm, tloušťka suché vrstvy od 50 do 150 μm. Abychom zajistili dokonalou přilnavost k podkladu, musí být povrch čistý a suchý, bez jakékoliv kontaminace. Pro aplikaci na ocel musí být povrch otryskán nekovovým abrazivem. Nátěr může být aplikován vysokotlakým, nebo pneumatickým stříkáním a pro malé povrchy může být použit štětec nebo váleček. Mísicí objemové poměry s tužidlem jsou 4:1. V kombinaci s tímto nátěrem lze použít v závislosti na konkrétní expozici nátěrového systému jiné základní a vrchní nátěry.

Tabulka 5: Doba schnutí a vytvrzování

Stav	Teplota podkladu [°C]			
	5	10	23	40
Zaschlý na dotyk [h]	6	3	1,5	1
Pochozí [h]	16	8	4	2
Zaschlý pro přetírání [h]	12	6	3	1,5
Vytvrzený [dny]	15	10	7	4

3.2.2.3 Jednosložkový nátěr s vysokým obsahem zinku

Jednosložkový nátěr s 96 % zinku v suchém nátěru, který poskytuje katodickou ochranu železných kovů. Jde o unikátní systém a může být použit i jako alternativa k hot-dip galvanizaci (zinkování ponorem v tavenině zinku), nebo metalizaci, jako základní nátěr, nebo jako obnovovací nátěrový systém pro hot-dip galvanizaci, nebo metalizaci. Je možné jej aplikovat štětcem, válečkem nebo stříkáním na čistý a drsný podklad v celé řadě atmosférických podmínek.

Tabulka 6: Základní údaje jednosložkového nátěru s vysokým obsahem zinku

Složení	zinkový prášek, aromatické uhlovodíky, pojivo
Obsah pevných částic [%]	80 ± 2 hmotnostních; 58 ± 2 objemových
Hustota [kg/dm ³]	2,67 ± 0,06
Ředění	Zingasolv
Bod vzplanutí [°C]	≥ 40 – 60
VOC [g/l]	474

Obsah zinku v této nátěrové hmotě je 96 hmotnostních % s vysokou čistotou. Atmosférická teplotní odolnost suchého filmu je od -40 °C do +120 °C, odolnost při ponoření: 5,5 pH – 9,5 pH, vykazuje vysokou UV odolnost. Před nanesením nátěrové hmoty musí být povrch důkladně odmaštěn a očištěn. To se provádí parním čištěním a otryskáním. Teoretická vydatnost při 60 µm DFT – 3,62 m²/kg nebo 9,67 m²/l, při 120 µm DFT – 1,81 m²/kg nebo 4,83 m²/l. Jednosložkový nátěr může být překryt širokou škálou kompatibilních nátěrových hmot. Je citlivá na působení rozpouštědel. Zpracovatelnost nátěrové hmoty je 4 hodiny.

3.2.3 Páskové systémy

3.2.3.1 Asymetrický třívrstvý systém

Jedná se o asymetrickou třívrstvou plastovou pásku se stabilizovanou polyethylenovou nosnou folií, s oboustranným potahem z trvale tvárného plastu na bázi butylkaučuku. Vysoce stabilní a přilnavá nosná folie poskytuje spolehlivou ochranu proti mechanickému poškození. Díky silné šedé butylkaučukové lepicí vrstvě se páska velmi dobře přizpůsobí podkladu. Ke zlepšení adheze pásky se aplikuje také základní nátěr, což je roztok butylkaučuku a nezmýdelnitelných pryskyřic v benzínu. Odolává vysoké korozivní a mechanické zátěži do 50 °C.

Tabulka 7: Základní vlastnosti třívrstvého páskového systému

Vlastnost	Hodnota
Barva nosné folie	Černá
Barva butylkaučuku vnitřní	Šedá
Barva butylkaučuku vnější	Černá nebo žlutá
Minimální tloušťka [mm]	≥ 0,8
Tloušťka nosné folie [mm]	≥ 0,28
Tloušťka butylkaučuku vnitřní [mm]	0,44
Tloušťka butylkaučuku vnější [mm]	0,08
Prodloužení při přetržení [%]	≥ 600
Číslo zmýdelnění folie a butylkaučuku [mg KOH/g]	1
Odolnost proti odtržení [N/10 mm]	25

3.2.3.2 Dvoupáskový systém

Jedná se o dvoupáskový systém pro dlouhodobou protikorozní ochranu potrubí. Vyznačuje se vysokou pružností a přizpůsobivostí. Dvoupáskový systém je tvořen vysoce přilnavou folií a oboustrannou symetrickou butyl kaučukovou vrstvou. Vnější páska je zde používána jako páska, která slouží jako mechanická ochrana vnitřní pásky. Jedná se o pružnou

dvouvrstvou pásku, kterou tvoří vnější vrstva z polyethylenu a spodní vrstva z lepidivého butylkaučuku.

Tabulka 8: Základní vlastnosti dvoupáskového systému

Vlastnost	Dvoupáskový systém	Vnější páska
Barva nosné folie	Černá	Žlutá
Barva butylkaučuku vnitřní	Šedá	Šedá
Barva butylkaučuku vnější	Černá	-
Minimální tloušťka [mm]	≥ 0,8	≥ 0,4
Tloušťka nosné folie [mm]	≥ 0,14	≥ 0,26
Tloušťka butylkaučuku vnitřní [mm]	0,38	≥ 0,14
Tloušťka butylkaučuku vnější [mm]	0,28	-
Prodloužení při přetržení [%]	≥ 500	≥ 400
Pevnost v tahu [N/10 cm]	≥ 40	≥ 35

3.2.3.3 Základní nátěr určený pod páskové systémy

Jedná se o roztok butylkaučuku a nezmýdelnitelných pryskyřic v benzínu. Tento systém zlepšuje odpor pásek proti rázovým vlnám na kovovém povrchu a podporuje jejich antikoroziční účinek. Zachycuje zbytky prachu a vlhkost a neutralizuje je. Jeho využití je pro ocelové a neželezné povrchy a obaly z polyethylenu, polypropylenu a dalších. Před nanášením antikoroziční ochrany se musí povrch zbavit rzi, vlhkosti, tuků a jiných látek. Základní nátěr se před nanášením pásky nechá sušit podle teploty vzduchu a vlhkosti 5-30 minut.

Tabulka 9: Vlastnosti základního nátěru

Vlastnost	Hodnota
Rozpuštědlo	Petroleum spirit
Teplota vzplanutí [°C]	-14
Podíl pevných složek [%]	29
Měrná hmotnost [g/cm ³]	0,79
Viskozita [s]	40 ± 5
Vydatnost [l/m ²]	0,2
Provozní teplota [°C]	-60 až +100

3.2.4 Lepidla

3.2.4.1 Polyuretanové lepidlo

Jedná se o polyuretanové lepidlo vytvrzované za studena, sestávající z průhledné pryskyřičné složky a průhledné složky tvrdidla. Bod vzplanutí lepidla je nad 100 °C. Před nanesením lepidla se musí provést předúprava povrchu. Povrch musí být očištěn a odmaštěn. Aplikace lepidla: směs pryskyřice a tužidla může být nanášena ručně, nebo roboticky na předem upravené a suché povrchy spojů. Společné komponenty by měly být sestavené a zajištěné v pevné poloze, jakmile bylo naneseno lepidlo. Zpracovatelnost lepidla je v řádu několika málo minut. Vytvrzování probíhá za standardní teploty přibližně 16 hodin. Tvrdidlo a pryskyřice se mísí v poměru 1:1. Dobře odolává UV záření a může se využít k lepení kovů a plastů.

Tabulka 10: Vlastnosti polyuretanového lepidla

Vlastnost	Pryskyřice	Tvrdidlo	Smíchané lepidlo
Barva	průhledná	průhledná	průhledná
Specifická hmotnost [g/cm ³]	1,12	1,12	1,12
Viskozita při 25 °C	10,4	1,2	-
Zpracovatelnost	-	-	6 minut

3.2.4.2 Epoxidové lepidlo

Jedná se o houževnaté průmyslové epoxidové lepidlo s prodlouženou dobou zpracovatelnosti. Pokud jsou jeho dvě složky promíchány, epoxid vytvrzuje při pokojové teplotě na houževnatou, našedlou hmotu, která má vysokou odolnost vůči loupání a velkou pevnost ve smyku. Plně vytvrzený epoxid je odolný vůči širokému spektru chemikálií a rozpouštědel a slouží rovněž jako výborný elektrický izolátor.

Tabulka 11: Vlastnosti epoxidového lepidla

Technologie	Epoxid
Chemický typ	Epoxid
Vzhled (pryskyřice)	Bílá matná pasta
Vzhled (tvrdidlo)	Bílá průhledná kapalina
Vzhled (smíchané)	Našedlá matná pasta
Složky	Dvousložkový
Viskozita	Střední
Mísící objemový poměr	2:1
Mísící hmotností poměr	100:50
Vytvrzení	Při pokojové teplotě
Aplikace	Lepení

Doba fixace: doba fixace je definována jako čas potřebný k získání pevnosti ve smyku 0,1 N/mm². Plně vytvrzené lepidlo na oceli při teplotě 22 °C je vytvrzeno za 24 hodin. Doba zpracování připraveného lepidla je 60 minut.

Tabulka 12: Adhezní vlastnosti lepidla při vytvrzení 5 dnů při teplotě 22 °C

Povrch	Pevnost ve smyku [N/mm ²]
Ocel (otryskaná)	37,0
Ocel žárově zinkovaná	8,5

3.3 Použité přístroje a zařízení

3.3.1 Přístroje použité k přípravě organických povlaků

Laboratorní váhy, firma KERN&Sohn GmbH, Německo, Nanášecí pravítko se šterbinou 200 μm.

3.3.2 Přístroje použité ke studiu připravených organických povlaků

Tloušťkoměr MINTEST 1100, firma Elektro – Fysik, Německo, Kyvadlový přístroj Automatic 500, kyvadlo typu Persoz, Belgie, Řezací nůž pro stanovení přilnavosti, firma

Elcometer Instruments GmbH, Německo, Elcometer K1542 Impact tester – stanovení odolnosti proti úderu, Velká Británie, Přístroj na stanovení odolnosti proti ohybu, Německo, Pig universal/mod 3410 Buchholz, Německo, Erichsenův přístroj na stanovení odolnosti proti hloubení, firma Erichsen, Německo, Optický mikroskop Nikon Eclipse LV100 Japonsko, Odrhový přístroj COMTEST®OP3p, Coming plus, a.s., Praha, Soni DCS HX 60V Cyber Shot, Japonsko, třibodové mechanické měřidlo tloušťky, firma BYK GARDNER, Německo. Elektronový rastrovací mikroskop typu TESCAN VEGA 5130SB, Energy Dispersive Spectroscopy EDX Bruker Quantanox 200.

3.3.3 Přístroje použité k provedení korozních testů

Komora solná SKB 400 A-TR-Touch, Německo, Korozní box KB-300, Německo, Kondenzační box – QUV/Sl, Anglie, Biological thermostat BT 120, Německo, Kondenzační komora KB 260 KOVOFINIŠ, Ledec nad Sázavou, Komora testovací klimatická CTC 256, Německo, Potenciostat VSP – 300, Francie

3.4 Použité chemikálie

Xylen Výrobce: Penta, Výrobní divize Chrudim, ČR Složení: směs izomerů, hustota: 0,87 g/cm³, Chloroform Výrobce: Penta, Výrobní divize Chrudim, ČR Složení: Trichlormethan CHCl₃, hustota: 1,48 g/cm³, Aceton Výrobce: Lach-Ner s.r.o., Neratovice Složení: Propan-2-on C₃H₆O, hustota: 0,79 g/cm³. Voda Výrobce: Univerzita Pardubice, ČR Složení: destilovaná H₂O Hustota: 1,00 g/cm³

3.5 Podklady pro přípravu nátěrových filmů

3.5.1 Panely pro korozní testy

Pro korozní zkoušky v atmosféře s obsahem solné mlhy, oxidu siřičitého a povšechné kondenzace byly použity Q-panely o rozměrech 150x100x0,79 mm (typ S46). Použitý materiál je ocel, povrch panelu je broušený pomocí brusiva z jedné strany, drsnost (Ra) dosahuje hodnoty 0,5-1,15 μm. Tyto plechy obsahují maximálně 0,60 % manganu, 0,15 % uhlíku, 0,030 % fosforu a 0,035 % síry. Pro korozní cyklický test NORSOK a korozní zkoušku Ponor byly použity ocelové panely o rozměrech 150x100x3,5 mm, které byly opatřeny zinkovou vrstvou o tloušťce 42 μm a trenchcoatovou folií o tloušťce 300 μm.

3.5.2 Panely pro mechanické a elektrochemické testy

Pro tyto účely byly použity za studena válcované ocelové panely (DC01) o rozměrech 215x45x0,81 mm. Tyto panely mají broušený povrch o drsnosti (Ra) 0,5-1,15 μm . Tyto plechy obsahují maximálně 0,60 % manganu, 0,12 % uhlíku, 0,045 % fosforu a 0,045 % síry.

3.5.3 Skleněné panely

Pro přípravu zkušebních nátěrů byly použity skla o rozměrech 200x100x25 mm. Očištěná skla byla před aplikací odmaštěna chloroformem.

3.6 Příprava ochranných organických povlaků

3.6.1 Příprava zkušebních organických povlaků na skleněné panely

Před zhotovením zkušebních nátěrů byla skla dokonale očištěna, osušena a odmaštěna chloroformem. Zkušební nátěry byly naneseny pomocí nanášecího pravítka se štěrbinou 200 μm a následně byly vzorky kondicionovány v klimatizované místnosti. Následně byla změřena jejich suchá tloušťka filmu a v určitých časových intervalech byla měřena povrchová tvrdost organických povlaků, odolnost organických povlaků proti vrypu a odolnost organických povlaků vůči působení methylethylketonu.

3.6.2 Příprava zkušebních organických povlaků na ocelové panely

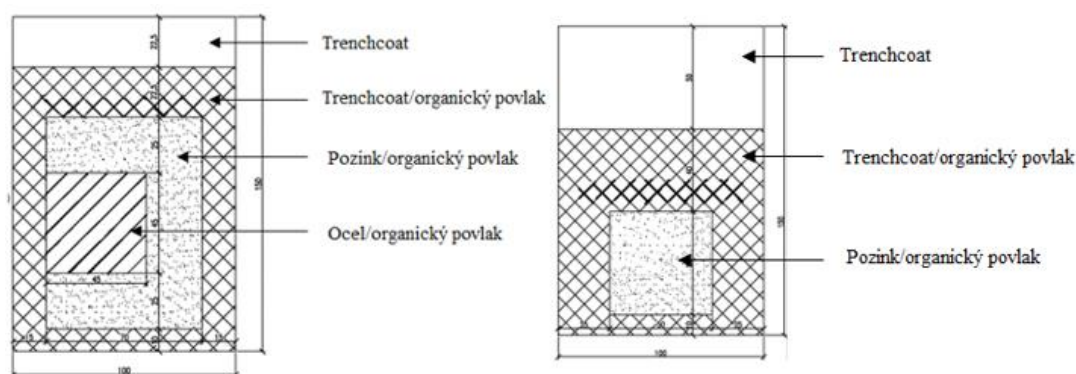
Před zkušebními nátěry byly ocelové panely důkladně očištěny a odmaštěny chloroformem. Zkušební nátěry byly naneseny pomocí nanášecího pravítka se štěrbinou 200 μm a následně byly vzorky kondicionovány v klimatizované místnosti. Pro korozní zkoušky byly použity ocelové panely o velikosti 150x100x0,79 mm a byly naneseny dvě vrstvy nátěrové hmoty. Pro mechanické zkoušky a pro elektrochemický test lineární polarizace byly použity ocelové panely o velikosti 215x45x0,81 mm, o jedné vrstvě nátěrové hmoty a bylo provedeno stanovení odolnosti hloubením, stanovení při ohybu na válcovém trnu, stanovení odolnosti nátěru při úderu, stanovení odtrhové přilnavosti organického povlaku a stanovení přilnavosti mřížkovou zkouškou.

3.6.3 Příprava vzorků páskových systémů na ocelové panely

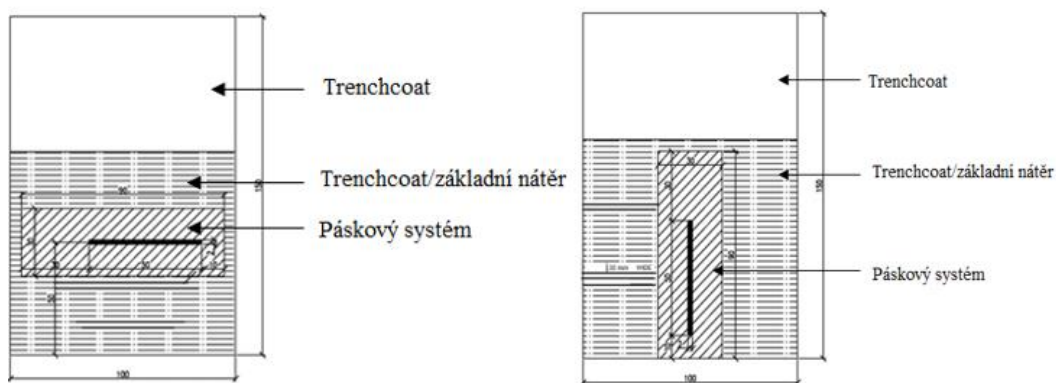
Před zkušebními nátěry byly ocelové panely důkladně očištěny a odmaštěny chloroformem. Byly použity ocelové plechy o velikosti 150x100x0,79 mm. Na takto očištěný panel byl naaplikován štětcem základní nátěr roztoku butyl kaučuku a nezmýdelnitelných pryskyřic v benzínu. Tento nátěr byl nechán prosychat při laboratorní teplotě 5 minut, poté na tento nátěr byly naaplikovány páskové systémy. U takto připravených vzorků byly provedeny korozní testy.

3.6.4 Vzorky pro korozní testy NORSOK a Ponor

Pro přípravu těchto vzorků byl použit jako základní materiál ocel (S250GD) o tloušťce 3,5 mm, na kterou byl nanesen povlak zinku ($45 \pm 5 \mu\text{m}$) metodou žárového zinkování. Na takto pozinkované plechy byla nalaminována tzv. trenchcoat folie ($300 \pm 10 \mu\text{m}$). U takto připravených vzorků byly poté udělány defekty (výbrus, řez), které simulují defekty způsobené manipulací a montáží ocelové konstrukce. Při použití organických povlaků byly udělány výbrusy ($45 \times 45 \text{ mm}$) u páskových systémů byly provedeny řezy o délce 50 mm nožem s čepelí 2 mm. Tyto defekty jsou znázorněny na obrázku 8 a 9. Na tímto způsobem připravené vzorky byly následně aplikovány ochranné systémy. Na vzorky opatřené ochranou folií trenchcoat a na vzorky, kde byl vytvořen výbrus (ocel / žárová vrstva zinku), byl naaplikován epoxidový povlak o tloušťce 300 μm nebo 400 μm . Na další sadu vzorků opatřených ochranou folií trenchcoat a na vzorky, kde byl vytvořen výbrus (ocel / žárová vrstva zinku), byly aplikovány kombinované systémy epoxidový povlak 340 μm / polyuretanový povlak 60 μm , epoxidový povlak 240 μm / polyuretanový povlak 60 μm na podklad. U vzorků, kde byl zhotoven řez, byl aplikován základní nátěr a následně byl aplikován dvoupáskový systém nebo asymetrický třívrstvý systém. Takto připravené vzorky byly dodány společností ViaCon ČR s.r.o.



Obrázek 8: Nákres vzorků s organickými systémy



Obrázek 9: Nákres vzorků s páskovými systémy

3.7 Metody hodnocení povlaků z hlediska jejich fyzikálně-mechanických vlastností

3.7.1 Měření tloušťky nátěru na ocelovém panelu

Na ocelových panelech byla suchá tloušťka nátěrů (DFT) měřena magnetickým tloušťkoměrem, který byl před měřením kalibrován na ocelový standard. Poté na deseti různých místech bylo kolmo k podkladu provedeno vlastní měření. Průměrem výsledných hodnot byla určena tloušťka nátěru. Jedná se o nedestruktivní metodu, která byla provedena dle normy ISO 2808. [37]

3.7.2 Měření tloušťky nátěru na skleněném panelu

Tato zkouška se řadí mezi destruktivní metody, výhodou této metody je nenáročné strojní zařízení, ale dochází k porušení nátěrového filmu. Měření tloušťky nátěru na skleněných panelech se provádělo pomocí tříbodového mechanického měřidla, který měří rozdíl mezi výškou nátěru a holého podkladu pomocí dvou opěrných bodů. Nejprve bylo nutné ocelovým nožem odstranit malou plochu nátěru ve tvaru čtverce o délce strany cca 5 mm. Do tohoto místa se kolmo přiložila prostřední měřicí část a dva opěrné body byly přiloženy na vrstvu nátěru. Tloušťka nátěru poté byla odečtena z ručičkového ciferníku. Postup zkoušky byl odvozen dle ČSN 67 3061.

3.7.3 Studium morfologie testovaných ochranných systémů

Studium morfologie testovaných ochranných systému bylo provedeno pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu typu TESCAN VEGA 5130SB, Energy Dispersive Spectroscopy EDX Bruker Quantanox 200. Metoda byla prováděna ve spolupráci s Dopravní fakultou Jana Pernera (UPCE).

3.7.4 Měření povrchové tvrdosti nátěrového filmu

Podle normy ČSN EN ISO 1522 bylo provedeno měření povrchové tvrdosti nátěrového filmu na skle pomocí kyvadlového přístroje. Principem zkoušky je změřit dobu útlumu kyvadla, které se skládá ze dvou kuliček nacházející se při kmitání kyvadla na povrchu nátěrového filmu. Před vlastním měřením bylo provedeno měření standardu. Měrnou jednotkou jsou procenta vztažená k tvrdosti standardu, jehož tvrdost je 100 %. [37]

3.7.5 Stanovení odolnosti nátěrového filmu hloubením

Účelem zkoušky, podle normy ČSN 672081, je zjistit odolnost při plynulé deformaci ocelového panelu ocelovou koulí o průměru 20 mm. Odolnost nátěru při hloubení odpovídá míře tažnosti nátěru. Zjišťuje se hloubka vtačované koule do ocelového panelu, a to až do zaznamenání prvního porušení nátěru, toto porušení bylo sledováno pomocí lupy (10x zvětšující). Výsledek hloubení je udáván v mm. [37]

3.7.6 Stanovení odolnosti nátěrového filmu při deformaci úderem

Při této zkoušce je zjišťována přilnavost nátěru při deformaci podkladu podle normy ČSN ISO EN 6272. Principem metody je stanovení výšky, z které je volným pádem pouštěno závaží na rubovou i lícovou stranu testovaného vzorku, u kterého ještě nedochází k viditelnému mechanickému poškození povrchu nátěru. Měření bylo prováděno z výšky 100 cm, 50 cm, 25 cm a 10 cm. Ocelový panel byl vložen do přístroje, poté bylo spuštěno závaží z určitých výšek a pod lupou (10x zvětšující) byly zkoumány defekty nátěru. [37]

3.7.7 Stanovení odolnosti nátěrového filmu při ohybu

Tato zkouška byla provedena podle normy ČSN ISO 1519 na ocelových panelech. Odolnost nátěru při ohybu vyjadřuje jeho schopnost odolávat deformaci, nepraskat a neodlupovat se. Principem zkoušky je ohýbání ocelového panelu přes válcové trny o určitých průměrech (4-

32 mm). Jako výsledek se uvádí průměr trnu, na kterém bylo znatelné první poškození nátěru. [37]

3.7.8 Stanovení přilnavosti odtrhovou zkouškou

Pro měření odtrhové pevnosti se používá zařízení CONTEST[®]OP3. Jedná se o přístroj určený k měření tahové pevnosti kolmo k povrchu. Používá se ke stanovení kohezní pevnosti a adhezní pevnosti dvou a vícevrstevných systémů. Zatěžovací sílu působí elektronicky řízený pohon. Odtrhová zkouška přilnavosti se provádí podle normy ČSN EN 24624 (ČSN EN ISO 4624). Tato norma se používá spolu s normami ISO 1512, ISO 1513, ISO 1514 a ISO 2808. Tato mezinárodní norma stanovuje postup pro zjištění přilnavosti jednovrstevných nebo vícevrstevných nátěrů, změřením minimálního tažného napětí potřebného k oddělení, nebo odtržení nátěru kolmo od podkladu. Výsledek může být ovlivněn nejen mechanickými vlastnostmi nátěru, ale také druhem a způsobem úpravy podkladu, způsobem nanášení, teplotou, vlhkostí vzduchu a dalšími. Tahové napětí musí působit kolmo k rovině podkladu s nátěrem a rovnoměrně vzrůstat rychlostí nepřesahující 1 MPa/s. Tak aby došlo k roztržení vzorku do 90 s. Zkušební váleček vhodný pro použití je z oceli o průměru 20 mm a dostatečné tloušťky, aby během zkoušky nedošlo k deformaci válečku.

Postup měření:

Měření probíhá při 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu (0 ± 5 %). Nejdříve se lehce přebrousí povrch zaschlého nátěru a povrch zkušební válečku. Poté se tyto povrchy očistí od nečistot. Připraví se lepidlo a nanese se v souladu s výrobcem na zkušební váleček, ale jen minimální množství, které je potřeba k vytvoření souvislého a rovnoměrného spojení mezi válečkem a nátěrem. Přebytek lepidla se ihned odstraní. A váleček se přiloží na zaschlý nátěr a ponechá se tam po dobu potřebnou pro vytvrzení lepidla. Pak se řezným nástrojem pečlivě prořízne nátěr a lepidlo až na podklad podél zkušební válečku. Poté se na zkušební váleček umístí vnější prsteneček a našroubuje se rychloupínací kuželka. Bezprostředně po uplynutí doby pro vytvrzení lepidla se připojí odtrhový přístroj ke zkušebnímu uspořádání. Při čemž zkušební válečky musí být vyrovnány tak, aby se tažná síla přenášela rovnoměrně po celé zkušební ploše bez ohybového momentu. Poté se nastaví parametry měření. Po kontrole všech parametrů může být zahájeno měření. Provedou se nejméně tři stanovení.

$$\text{Odrhová pevnost} = \frac{4F}{\pi d^2} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

Kde F je odtrhová síla v newtonech (N), d je průměr zkušební válečku

U vzorků se také posuzuje lomová plocha dle normy.

A = kohezní lom v podkladu, A/B = adhezní lom mezi podkladem a prvním nátěrem, B = kohezní lom prvního nátěru, B/C = adhezní lom mezi prvním a druhým nátěrem, -/Y = adhezní lom mezi vrchním nátěrem a lepidlem, Y = kohezní lom v lepidle, Y/Z = adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním válečkem, n/m = Adhezní porušení mezi n a m-tou vrstvou více-vrstvého nátěrového systému, n = Kohezní porušení v n-té vrstvě více-vrstvého nátěrového filmu. [37]

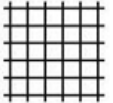
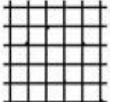
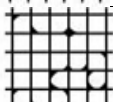
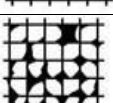

3.7.9 Stanovení odolnosti proti vrypu

Podstatou je měření vtisku, který vytvoří ostří pod tlakem určitého závaží 500 g po dobu 35 sekund. Toto měření probíhá dle normy ČSN ISO 2815. Přístroj byl přiložen na organický povlak, poté bylo přiloženo dané závaží a byl měřen čas zatížení. Po provedení dané zkoušky byla délka vtisku vyhodnocena pomocí optickým mikroskopem.

3.7.10 Stanovení přilnavosti nátěrového filmu mřížkovou metodou

Toto měření probíhalo podle normy ČSN EN ISO 2409. Byla zkoumána odolnost nátěru proti oddělení od podkladu. Tato mřížková metoda byla aplikována na vzorcích na ocelových podkladech. K proříznutí byl použit nůž s rozstupem čepelí 2 mm. Řezacím nožem byly provedeny dva na sebe kolmé řezy až na podklad. Tím byla vytvořena mřížka. Výsledky byly vyhodnoceny vizuálně, podle dané tabulky. [37]

Tabulka 13: Hodnocení přilnavosti organického povlaku

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

3.8 Korozní testy

3.8.1 Zkouška odolnosti konstrukce vystavené přímořským a obdobným podmínkám – zkouška cyklickým stárnutím (NORSOK)

Tato zkouška byla prováděna podle normy ČSN EN ISO 12944-9 z roku 2018. Nechráněná ocel v atmosféře, ve vodě i v půdě je vystavena korozi, která může vést k poškození materiálu. Proto jsou běžně ocelové konstrukce chráněny, tak aby vydržely odolávat korozi po celou dobu své životnosti.

Typy korozivního prostředí jsou rozděleny dle ISO 12944-2. Jedno značení odpovídá oblasti vystavené atmosférické kategorii CX. Druhé značení se týká konstrukcí, které jsou ponořeny do mořské vody Im4. Cyklická zkouška byla prováděna 1344 a 2688 hodin. Expoziční cyklus trvá 168 hodin a skládá se z 72 hodin vystavení UV záření a kondenzaci v souladu s ISO 16474-3 za podmínek: 1 cyklus se skládá z 4 hodin vystavení UVA – 340 lampám při 60 ± 3 °C a 4 hodiny vystavení kondenzaci při 50 ± 3 °C. 72 hodin jsou vzorky exponovány neutrálnímu solnému postřiku dle postupu odvozeného z normy ISO 9227, 24 hodin jsou vzorky vystavení nízké teplotě při -20 ± 2 °C. Mezi solným postřikem a nízkoteplotní expozicí se musejí panely opláchnout deionizovanou vodou, ale nesmějí se sušit. Na začátku vymrazovacího cyklu musejí panely dosáhnout požadované teploty do 30 minut.

3.8.2 Stanovení odolnosti proti kapalinám – ponor do vody

Tato zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 2812-2 z roku 2019. Jedná se o metodu stanovení odolnosti vrstvy nátěru nebo vícevrstvého nátěrového systému proti účinkům vody při úplném ponoru. Princip metody spočívá v tom, že se zkušební vzorek ponoří do vody a účinky ponoru se vyhodnotí podle dohodnutých kritérií. Zařízení musí být vyrobeno z inertních materiálů. Nejčastěji se používá nádrž určité velikosti vybavena víkem, ohřívacím zařízením a termostatickou regulací. Držák zkušebních destiček musí být vyroben z elektricky nevodivých materiálů a navržen tak, aby vzorky byly umístěny pod úhlem 0° až 20°, zkoušeným povrchem nahoru. Vzorky se nesmějí dotýkat stěn nádrže ani mezi sebou. Před zkouškou byla stanovena tloušťka nátěru nedestruktivní metodou. Pokud je vyžadován úplný ponor, musejí být destičky ponořeny nejméně 50 mm pod hladinou, aby se zabránilo vlivu různé koncentrace kyslíku u čáry ponoru. Byla použita destilovaná voda. Teplota vody byla po celou dobu trvání zkoušky udržována konstantní při teplotě 40 ± 2 °C. Pro naše účely byla zkouška prováděna 2000 a 4000 hodin v destilované vodě.

3.8.3 Zrychlená korozní zkouška ve vlhké atmosféře s obsahem SO₂

Tato zkouška zjišťuje odolnost povlaků vůči vlivům SO₂ i vodě. V komoře dochází ke kondenzaci vody s obsahem SO₂ na vzorcích, jelikož je relativní vlhkost v komoře až 100 %. Zkouška se provádí v opakujících se 24hodinových cyklech. Zkouška se provádí podle normy ČSN ISO 3231 a jde o 24 hodin dlouhý cyklus, který má dvě části. Prvních 8 hodin jsou vzorky vystaveny vlhkosti s SO₂ při 35 °C a ve zbylých 16 hodin se vzorky suší při laboratorní teplotě a vlhkosti menší než 75 %. Dávkování oxidu siřičitého je 1 dm³ SO₂ na 300 dm³.

3.8.4 Zrychlená korozní zkouška solnou mlhou

Touto zkouškou se simuluje prostředí se zvýšeným obsahem chloridů. Tímto způsobem se takto simulovat přímořská oblast, nebo zasolená silnice. Při této zkoušce je využíváno urychlujícího korozního působení NaCl, zvýšené vlhkosti vzduchu až na 100% relativní vlhkosti a zvýšené teploty. Zkouška byla provedena dle postupu odvozeného z normy ISO 9227. Vzorky byly umístěny do solné komory, kde na ně působila mlha 5% NaCl za teploty $35 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$. Zkouška probíhá ve dvanáctihodinových cyklech, kdy dochází ke střídání expozice vzorku v 5% mlze NaCl po dobu trvání 10 hodin. Následně cyklus pokračuje sušením vzorků při teplotě 23 ± 1 °C po dobu jedné hodiny a poté následuje kondenzace vlhkosti při

teplotě 40 °C po dobu jedné hodiny. Po 960 hodinách byl test ukončen a byly vyhodnoceny korozní projevy nátěru.

3.8.5 Zrychlená korozní zkouška v kondenzační komoře s povšechnou kondenzací

Tato zrychlená korozní zkouška probíhala podle normy ČSN EN ISO 6270-2. Při dané korozní zkoušce byly testované vzorky vystaveny nepřetržité expozici kondenzované vodní páry při teplotě 38 ± 2 °C a při 100 % relativní vlhkosti vzduchu.

3.8.6 Stanovení odolnosti organického povlaku vůči působení methylethylketonu

Tato zkouška byla provedena dle postupu odvozeného z normy ASTM D4752-10. Při tomto stanovení byla studována odolnost testovaných organických povlaků vůči přímému působení methylethylketonu za laboratorních podmínek. Plocha 8 cm² testovaných organických povlaků byla otírána dvojitahy tyčinkou s vatou smočenou v methylethylketonu po dobu 50 sekund. V případě, že nedošlo k úplnému odstranění testovaného povlaku a obnažení skleněného podkladu, byl test prováděn 300 s. Po ukončení testu byl zaznamenán čas a stupeň poškození organického povlaku. [27]

Tabulka 14: Vyhodnocení MEK testu

Stupeň poškození	Slovní hodnocení MEK testu
0	Úplné obnažení podkladu
1	Dochází ke značnému a hlubokému narušení filmu, ale již ne podkladu
2	Viditelné zřetelné poškození nátěrového filmu
3	Lehké poškození nátěrového filmu
4	Vyleštění povrchu, nepatrné množství pigmentu na otěrové gáze
5	Žádné patrné poškození ani vyleštění nátěrového filmu

3.8.7 Elektrochemická technika lineární polarizace

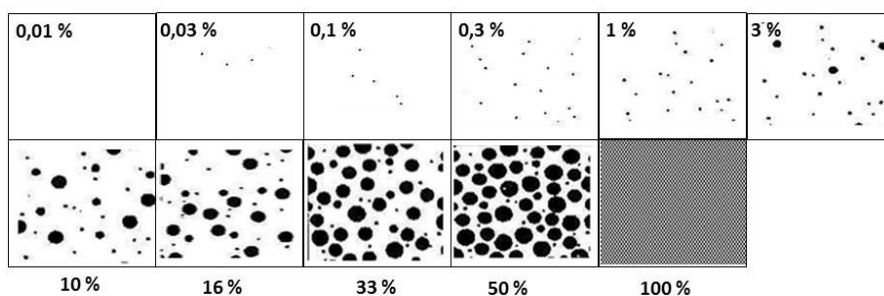
Elektrochemická technika lineární polarizace je využívána ke studiu koroze kovů. Pomocí této metody můžeme určovat rychlost koroze, polarizační odpor a proudové hustoty. Pro měření metodou lineární polarizace byly využity elektrochemické cely, které jsou složeny z referenční elektrody, kterou představuje nasycená kalomelová elektroda, protielektrody, jenž byla

platinová a pracovní elektrody, kterou tvoří testovaný vzorek. Definovaná plocha testovaného vzorku byla vystavena jednomolárnímu elektrolytu chloridu sodného. Cílem této elektrochemické metody je naměření polarizačních křivek a následné vyhodnocení lineárního úseku těchto křivek v okolí korozního potenciálu. Testované vzorky byly vystaveny účinkům elektrolytu 12 hodin, při čemž byl měřen samovolný korozní potenciál, po uplynutí této expoziční doby byly pomocí lineární polarizace změřeny polarizační křivky. Měření probíhalo na potenciostatu.

3.9 Metody hodnocení korozních projevů testovaných ochranných systémů

3.9.1 Hodnocení koroze v ploše podkladu

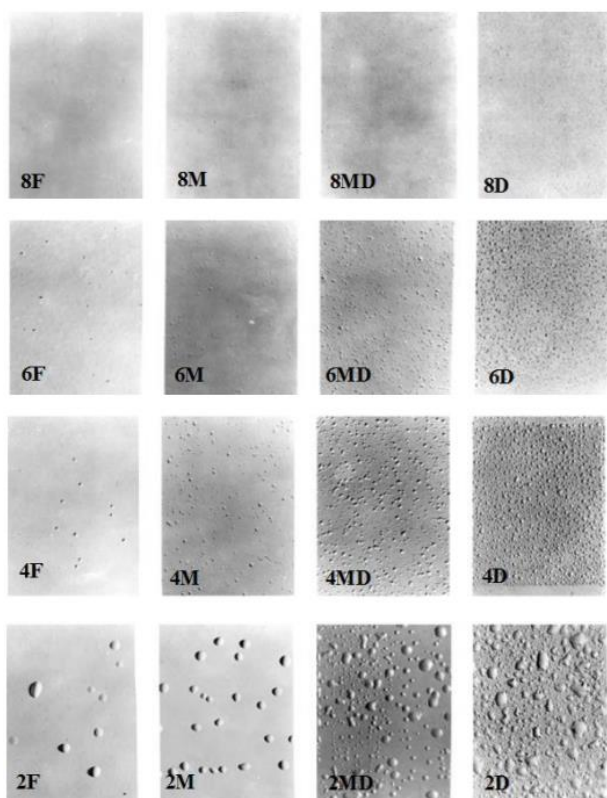
Míru elektrochemického působení antikorozičního pigmentu v ochranném systému po odstranění nátěru lze určit pomocí vyhodnocení koroze v ploše podkladu podle normy ASTM D 610-85. Hodnotí se ochranná funkce povlaku, která se vyjadřuje stupněm koroze plochy podkladu v procentech dle obrázku (10).



Obrázek 10: Předloha pro hodnocení koroze v ploše podkladu

3.9.2 Hodnocení puchýřů organických povlaků

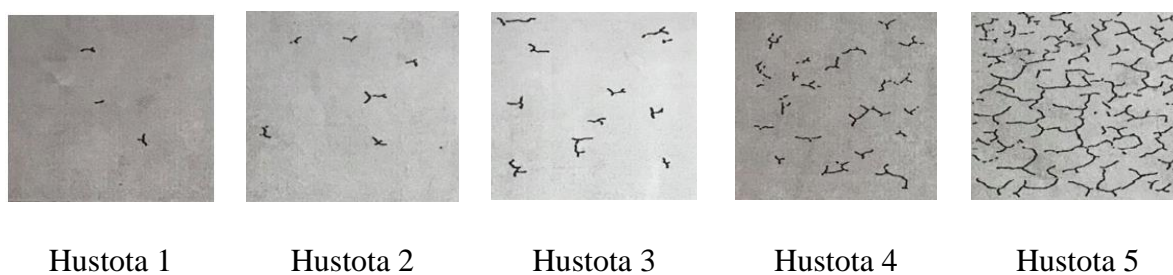
Tato metoda spočívá ve zjištění odolnosti organického povlaku, kde fyzikálně-chemickými pochody dochází k tvorbě defektů, které vznikají při difúzi okolního prostředí nátěrovým filmem k podkladu. Porušením ochranné funkce povlaku je tvorba puchýřků, kterou lze definovat jako lokální oblasti, ve kterých film ztratil adhezi k podkladu. Hodnocení bylo provedeno dle obrázku (11).



Obrázek 11: Předloha pro hodnocení puchýřů organických povlaků

3.9.3 Hodnocení vrásnění páskových systémů

Míra narušení páskových systémů vlivem korozního prostředí se hodnotí podle normy ISO 4624-4. Hodnotí se hustota trhlinek na povrchu páskového systému. Hodnocení bylo provedeno dle obrázku (12).



Obrázek 12: Předloha pro hodnocení vrásnění páskových systémů

4 VÝSLEDKY

V této bakalářské práci se v kapitole 4.1 nacházejí výsledky odolnosti organického povlaku vůči působení methylethylketonu, v kapitole 4.2 se nacházejí výsledky povrchové tvrdosti organického povlaku, v kapitole 4.3 se nacházejí výsledky odolnosti organického povlaku proti vrypu, v kapitole 4.4 se nacházejí výsledky fyzikálně-mechanických zkoušek organických povlaků, v kapitole 4.5 se nacházejí výsledky stanovení přilnavosti organických povlaků odtrhovou zkouškou, v kapitole 4.6 se nacházejí výsledky vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s obsahem solné mlhy, v kapitole 4.7 se nacházejí výsledky vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s povšechnou kondenzací, v kapitole 4.8 se nacházejí výsledky vyhodnocení korozní odolností v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého, v kapitole 4.9 se nacházejí výsledky vyhodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace, v kapitole 4.10 se nacházejí výsledky stanovení přilnavosti organických povlaků odtrhovou zkouškou před a po expozici vzorků v korozních testech, v kapitole 4.11 se nacházejí výsledky vyhodnocení vzorků po expozici korozního testu NORSOK, v kapitole 4.12 se nacházejí výsledky vyhodnocení vzorků po expozici korozního testu Ponor a v kapitole 4.13 se nacházejí výsledky morfologie testovaných ochranných systémů, od prof. Ing. Evy Schmidové, Ph.D.

4.1 Stanovení odolnosti organického povlaku vůči působení methylethylketonu

Tabulka 15: Vyhodnocení odolnosti testovaných organických povlaků vůči MEK testu v závislosti na čase, DFT = 95 ± 5 μm.

Vzorek	Doba zasychání [dny]								
	2	6	8	12	14	23	30	60	
Epoxidový povlak	Čas [s]	300	300	300	300	300	300	300	300
	Poškození	4	4	4	4	4	4	4	4
Polyuretanový povlak	Čas [s]	300	300	300	300	300	300	300	300
	Poškození	4	4	4	4	4	4	4	4
Povlak s vysokým obsahem zinku	Čas [s]	10	10	9	7	6	6	6	7
	Poškození	0	0	0	0	0	0	0	0

4.2 Měření povrchové tvrdosti organického povlaku

Tabulka 16: Vyhodnocení povrchové tvrdosti organických povlaků v závislosti na čase, $DFT = 95 \pm 5 \mu\text{m}$.

Vzorek	Relativní povrchová tvrdost [%]							
	2.den	6.den	8.den	12.den	14.den	23.den	30.den	60.den
Epoxidový povlak	9,2	14,2	17,2	18,8	20,7	26,6	27,4	30,8
Polyuretanový povlak	19,3	53,9	53,7	55,4	58,2	60,6	59,9	60,1
Povlak s vysokým obsahem zinku	36,0	37,4	36,5	36,0	37,7	37,7	36,6	36,5

4.3 Stanovení odolnosti organického povlaku proti vrypu

Tabulka 17: Vyhodnocení odolnosti organických povlaků proti vrypu, $DFT = 95 \pm 5 \mu\text{m}$.

Vzorek	Délka vrypu [mm]							
	2.den	6.den	8.den	12.den	14.den	23.den	30.den	60.den
Epoxidový povlak	2,00	1,60	1,55	1,55	1,40	1,40	1,40	1,40
Polyuretanový povlak	2,10	1,85	1,50	1,25	1,25	1,25	1,25	1,20
Povlak s vysokým obsahem zinku	1,95	1,60	1,60	1,60	1,35	1,35	1,35	1,30

4.4 Vyhodnocení fyzikálně-mechanických zkoušek organických povlaků

Tabulka 18: Vyhodnocení fyzikálně-mechanických zkoušek testovaných organických povlaků, $DFT = 80 \pm 10 \mu\text{m}$

Vzorek	Ohyb	Přilnavost	Úder rub	Úder líc	Hloubení
	[mm]	[st.]	[cm]	[cm]	[mm]
Epoxidový povlak	<4	0	25	100	>10
Polyuretanový povlak	<4	0	100	100	>10
Povlak s vysokým obsahem zinku	>32	5	10	10	1,89

4.5 Stanovení přilnavosti organického povlaku odtrhovou zkouškou

Tabulka 19: Stanovení přilnavosti organického povlaku odtrhovou zkouškou, $DFT = 80 \pm 10 \mu\text{m}$

Vzorek	Síla odtrhu [MPa]	Typ porušení [%]
Epoxidový povlak	3,0	B100
Polyuretanový povlak	2,6	-/Y100
Povlak s vysokým obsahem zinku	0,9	A/B100

B = kohezní lom prvního nátěru, -/Y = adhezní lom mezi vrchním nátěrem a lepidlem,
A/B = adhezní lom mezi podkladem a prvním nátěrem

4.6 Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s obsahem solné mlhy

Tabulka 20: Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s obsahem solné mlhy po 960 hodinách, $DFT = 145 \pm 20 \mu\text{m}$

Vzorek	Prokorodování [%]	Puchýře [st.]	Koroze v ploše panelu [%]
Epoxidový povlak	0,3	-	0,1
Polyuretanový povlak	-	-	-
Povlak s vysokým obsahem zinku	50	2D	-
Epoxidový povlak/Polyuretanový povlak	0,03	-	-
Polyuretanový povlak/Epoxidový povlak	0,01	-	-
Dvoupáskový systém	-	-	-
Asymetrický třívrstvý systém	-	-	-

4.7 Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s povšechnou kondenzací

Tabulka 21: Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s povšechnou kondenzací po 960 hodinách, DFT = 145 ± 20 μm

Vzorek	Prokorodování	Puchýře	Koroze v ploše panelu
	[%]	[st.]	[%]
Epoxidový povlak	-	-	0,3
Polyuretanový povlak	-	-	0,3
Povlak s vysokým obsahem zinku	Bíla rez	2D	-
Dvoupáskový systém	3	-	-
Asymetrický třívrstvý systém	-	-	-

4.8 Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého

Tabulka 22: Vyhodnocení korozní odolnosti organických povlaků v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého, DFT = 145 ± 20 μm

Vzorek	Expozice 720 hodin		
	Prokorodování	Puchýře	Koroze v ploše panelu
	[%]	[st.]	[%]
Epoxidový povlak	-	8F	-
Polyuretanový povlak	-	-	-
Povlak s vysokým obsahem zinku	Bíla rez	-	33
Epoxidový povlak/Polyuretanový povlak	-	-	1
Polyuretanový povlak/Epoxidový povlak	-	-	1
Dvoupáskový systém	0,1	-	10
Asymetrický třívrstvý systém	-	-	1

4.9 Vyhodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace

Tabulka 23: Vyhodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace

Vzorek	E_{corr} [mV]	I_{corr} [A]	β_a [mV]	β_c [mV]	R_p [Ω]	KR [mm/rok]
Epoxidový povlak	55	$1,37 \cdot 10^{-7}$	54,7	18,6	$58,0 \cdot 10^9$	$2,30 \cdot 10^{-9}$
Polyuretanový povlak	55	$1,01 \cdot 10^{-6}$	48,3	18,0	$66,7 \cdot 10^9$	$1,63 \cdot 10^{-9}$
Povlak s vysokým obsahem zinku	-1094	5,86	12,0	20,0	$42,6 \cdot 10^1$	$8,60 \cdot 10^{-2}$

4.10 Stanovení přilnavosti organických povlaků odtrhovou zkouškou před a po expozici vzorků v korozních testech

Tabulka 24: Stanovení přilnavosti organických povlaků odtrhovou zkouškou před a po expozici vzorků v korozních testech

Vzorek	Odrhová síla [MPa]			
	Před expozicí	NORSOK 1344 hodin	NORSOK 2688 hodin	Ponor 2000 hodin
Trenchcoat/Epoxidový povlak 300 μm	4,0	3,4	3,5	3,9
Trenchcoat/Epoxidový povlak 400 μm	3,8	3,5	3,5	3,8
Ocel/Epoxidový povlak 400 μm	5,2	3,3	3,0	5,1
Žárový zinek/Epoxidový povlak 300 μm	4,2	2,9	3,0	3,4
Trenchcoat/Epoxidový povlak 240 μm /Polyuretanový povlak 60 μm	5,6	5,5	4,9	4,3
Trenchcoat/Epoxidový povlak 340 μm /Polyuretanový povlak 60 μm	3,5	3,5	4,4	4,2
Ocel/Epoxidový povlak 340 μm /Polyuretanový povlak 60 μm	5,8	5,8	4,6	4,0
Žárový zinek/ Epoxidový povlak 240 μm /Polyuretanový povlak 60 μm	5,6	3,3	3,6	2,5
Zinek/Trenchcoat/Základní nátěr	3,7	2,9	2,0	3,7

Tabulka 25: Vyhodnocení typu lomu po odtrhové zkoušce

Vzorek	Typ lomu [%]			
	Před expoziční	NORSOK 1344 hodin	NORSOK 2688 hodin	Ponor 2000 hodin
Trenchcoat/Epoxidový povlak 300 μm	n/m – 100	B – 100	n – 100	n/m – 80 -Y – 20
Trenchcoat/Epoxidový povlak 400 μm	n/m – 90 -Y – 10	B – 100	n – 100	n/m – 100
Ocel/Epoxidový povlak 400 μm	-Y – 90 B – 10	A/B – 60 B – 40	n – 100	A/B – 80 n – 20
Žárový zinek/Epoxidový povlak 300 μm	B – 60 A/B – 40	B – 85 A/B – 15	n – 100	A/B – 100
Trenchcoat/Epoxidový povlak 240 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	n/m – 100	n/m – 90 -Y – 10	-Y – 60 n/m – 40	n/m – 100
Trenchcoat/Epoxidový povlak 340 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	n/m – 100	n/m – 90 -Y – 10	n/m – 80 -Y – 20	n/m – 100
Ocel/Epoxidový povlak 340 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	-Y – 90 n/m – 10	Y/Z – 90 n – 10	Y/Z – 50 A/B – 30 -Y – 20	A/B – 100
Žárový zinek/ Epoxidový povlak 240 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	Y/Z – 25 A/B – 25 -Y – 50	Y/Z – 90 A/B – 10	A/B – 80 -Y – 20	A/B – 100
Žárový zinek/Trenchcoat/Základní nátěr	-Y – 100	-Y – 100	n – 100	-Y – 100

A = kohezní lom v podkladu, A/B = adhezní lom mezi podkladem a prvním nátěrem, B = kohezní lom prvního nátěru, B/C = adhezní lom mezi prvním a druhým nátěrem, -/Y = adhezní lom mezi vrchním nátěrem a lepidlem, Y = kohezní lom v lepidle, Y/Z = adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním válečkem, n = kohezní porušení v n-té vrstvě více-vrstvého nátěrového systému, n/m = adhezní porušení mezi n a m-tou vrstvou více-vrstvého nátěrového systému.

4.11 Vyhodnocení vzorků po expozici korozního testu NORSOK

Tabulka 26: Vyhodnocení prokorodování organických povlaků po expozici korozního testu NORSOK

Vzorek	1000 hodin	2000 hodin	2688 hodin
	Prokorodování [%]	Prokorodování [%]	Prokorodování [%]
Trenchcoat	-	0-1	0,1-1
Trenchcoat/Epoxidový povlak 300 μm	1	0,3-3	1-3
Trenchcoat/Epoxidový povlak 400 μm	1	1-3	1-3
Ocel/Epoxidový povlak 400 μm	1	1-3	1-3
Žárový zinek/Epoxidový povlak 300 μm	0,3	0,3-3	0,3-3
Žárový zinek/ Epoxidový povlak 400 μm	1	0,1-3	0,3-3
Trenchcoat/Epoxidový povlak 240 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	0,3	0,3-1	0,3-1
Trenchcoat/Epoxidový povlak 340 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	-	0,1-1	0,1-1
Ocel/Epoxidový povlak 340 μm /Polyuretanový povlak 60 μm	-	0,3-1	0,3-1
Žárový zinek/ Epoxidový povlak 240 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	0,1	0,1-1	0,1-1
Žárový zinek/ Epoxidový povlak 340 μm/ Polyuretanový povlak 60 μm	-	-	0,1-1
Žárový zinek/Trenchcoat/Základní nátěr	0,1	0,1-3	0,1-3
Dvoupáskový systém	0,1	1-3	1-3
Třívrstvý asymetrický systém	-	0,1	0,1-0,3

Hodnoty představují průměrnou hodnotu ze čtyř vzorků

Tabulka 27: Vyhodnocení vrásnění páskových systémů po expozici v korozním testu NORSOK

Vzorek	1000 hodin	2000 hodin	2688 hodin
	Vrásnění [Hustota]	Vrásnění [Hustota]	Vrásnění [Hustota]
Dvoupáskový systém	2	3-4	3-4
Asymetrický třívrstvý systém	-	1-2	1-3

Hodnoty představují průměrnou hodnotu ze čtyř vzorků

4.12 Vyhodnocení vzorků po expozici korozního testu Ponor

Tabulka 28: Vyhodnocení prokorodování organických povlaků po expozici korozního testu Ponor

Vzorek	2000 hodin	3000 hodin
	Prokorodování [%]	Prokorodování [%]
Trenchcoat	-	-
Trenchcoat/Epoxidový povlak 300 μm	-	-
Trenchcoat/Epoxidový povlak 400 μm	-	-
Ocel/Epoxidový povlak 400 μm	-	-
Žárový zinek/Epoxidový povlak 300 μm	-	-
Žárový zinek/ Epoxidový povlak 400 μm	-	-
Trenchcoat/Epoxidový povlak 240 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	-	-
Trenchcoat/Epoxidový povlak 340 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	-	-
Ocel/Epoxidový povlak 340 μm /Polyuretanový povlak 60 μm	-	-
Žárový zinek/ Epoxidový povlak 240 μm/Polyuretanový povlak 60 μm	-	-
Žárový zinek/ Epoxidový povlak 340 μm/ Polyuretanový povlak 60 μm	-	-
Žárový zinek/Trenchcoat/Základní nátěr	-	-
Dvoupáskový systém	0,03	0,03-0,1
Asymetrický třívrstvý systém	0,01	0,01-0,03

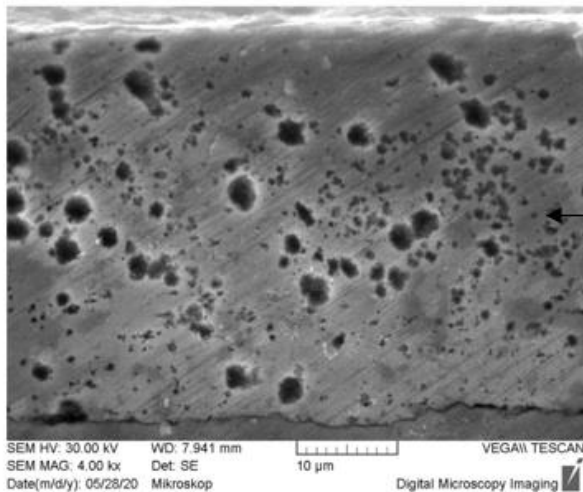
Hodnoty představují průměrnou hodnotu ze čtyř vzorků

Tabulka 29: Vyhodnocení vrásnění páskových systému po expozici korozního testu Ponor

Vzorek	2000 hodin	3000 hodin
	Vrásnění [Hustota]	Vrásnění [Hustota]
Dvoupáskový systém	1	2
Asymetrický třívrstvý systém	-	-

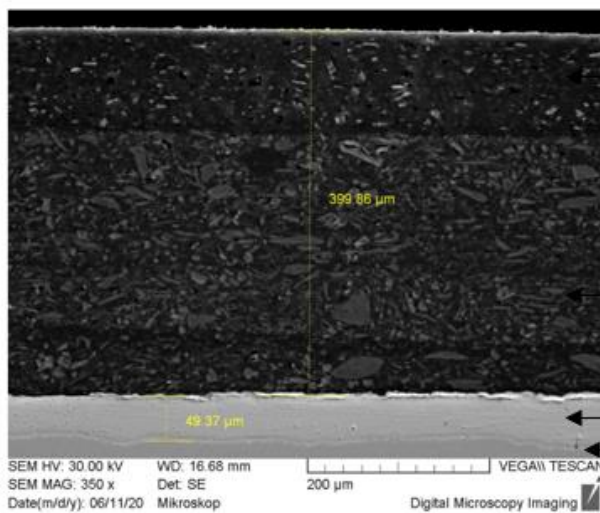
Hodnoty představují průměrnou hodnotu ze čtyř vzorků

4.13 Studium morfologie testovaných ochranných systémů



Žárová vrstva zinku

Obrázek 13: Mikrofotografie testovaného vzorku: vrstva žárového zinku



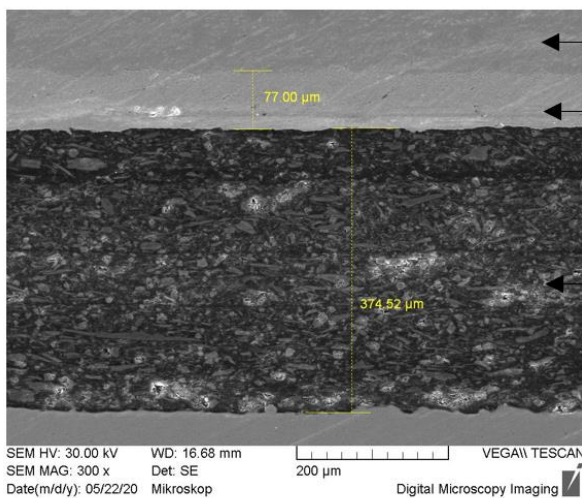
Polyuretanový povlak

Epoxidový povlak

Žárová vrstva zinku

Ocelový podklad

Obrázek 14: Mikrofotografie testovaného vzorku: ocelový panel / žárový zinek / epoxidový povlak

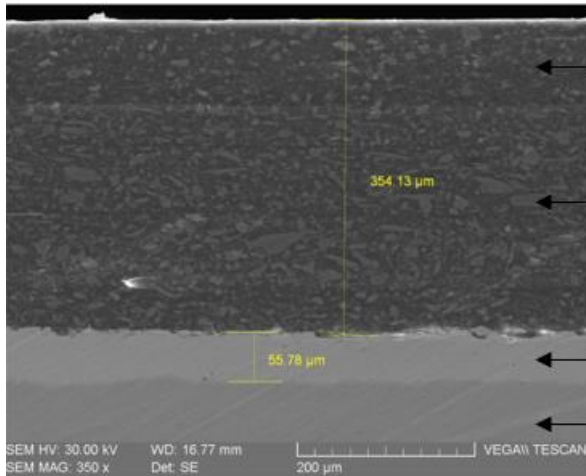


Ocelový podklad

Žárová vrstva zinku

Epoxidový ochranný systém

Obrázek 15: Mikrofotografie testovaného vzorku: ocelový panel / žárový zinek / epoxidový povlak / polyuretanový povlak



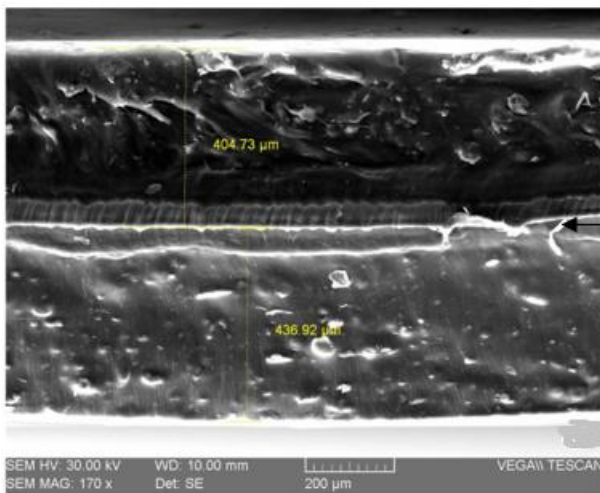
Polyuretanový povlak

Epoxidový povlak

Žárová vrstva zinku

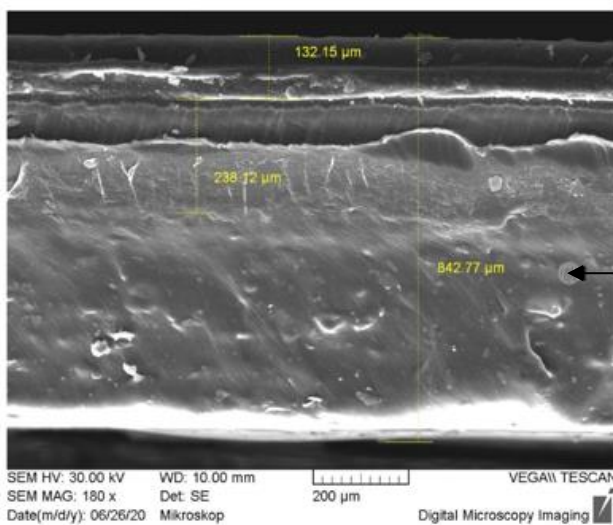
Ocelový podklad

Obrázek 16: Mikrofotografie testovaného vzorku: ocelový panel / žárový zinek / epoxidový povlak / polyuretanový povlak



Dvoupáskový systém

Obrázek 17: Mikrofotografie testovaného vzorku: dvoupáskový systém



Třívrstvý asymetrický systém

Obrázek 18: Mikrofotografie testovaného vzorku: třívrstvý asymetrický systém

5 DISKUZE

V této bakalářské práci se v kapitole 5.1 nacházejí komentáře k vyhodnocení relativní povrchové tvrdosti organických povlaků, v kapitole 5.2 se nacházejí komentáře k hodnocení odolnosti organických povlaků vůči působení methylethylketonu, v kapitole 5.3 se nacházejí komentáře k hodnocení mechanických zkoušek, v kapitole 5.4 se nacházejí komentáře k vyhodnocení přilnavosti ochranných systémů odtrhovou zkouškou před a po expozici v korozním testu NORSOK a po korozním testu Ponoru, v kapitole 5.5 se nacházejí komentáře k vyhodnocení korozní odolnosti ochranných systémů po expozici testovaných ochranných systémů v korozním testu NORSOK a po korozním testu Ponoru, v kapitole 5.6 se nacházejí komentáře k vyhodnocení korozní odolnosti v atmosféře s obsahem solné mlhy, v kapitole 5.7 se nacházejí komentáře k vyhodnocení korozní odolnosti v atmosféře s povšechnou kondenzací, v kapitole 5.8 se nacházejí komentáře k vyhodnocení korozní odolnosti v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého, v kapitole 5,9 se nacházejí komentáře k vyhodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace, v kapitole 5.10 se nacházejí komentáře o přínosech této bakalářské práce.

5.1 Vyhodnocení relativní povrchové tvrdosti organických povlaků na skleněných panelech

Nejvyšší relativní povrchové tvrdosti dosahoval polyuretanový povlak (60,6 %), u kterého se největší nárůst relativní povrchové tvrdosti projevil mezi druhým a šestým dnem od nanesení nátěrové hmoty na podklad. S dalším stárnutím filmu se tvrdost mírně zvyšovala, až dosáhla své maximální hodnoty, a to dvacátý třetí den od nanesení povlaku. V dalších dnech zůstala relativní povrchová tvrdost konstantní (60 ± 1 %). U epoxidového povlaku nastaly dva skoky nárůstu relativní povrchové tvrdosti, a to mezi druhým a šestým dnem a mezi čtrnáctým a dvacátým třetím dnem od vytvoření filmu. Maximální hodnoty relativní povrchové tvrdosti dosáhl epoxidový povlak šedesátý den (30,8 %). U povlaku s vysokým obsahem zinku relativní povrchová tvrdost po celou dobu měření oscillovala v rozmezí 37 ± 1 %. Největší relativní povrchové tvrdosti dosahoval tento povlak čtrnáctý den.

Závěry stanovení relativní povrchové tvrdosti organických povlaků na skleněných panelech:

- Nejvyšší povrchové tvrdosti dosahoval polyuretanový povlak, nejnižší relativní povrchovou tvrdost vykazoval epoxidový povlak.
- Nárůst relativní povrchové tvrdosti u polyuretanového povlaku proběhl během šesti dní od nanesení nátěrové hmoty.

5.2 Vyhodnocení MEK testu organických povlaků na skleněných panelech

U MEK testu dosahoval epoxidový a polyuretanový povlak stejných hodnot, které byly po celou dobu měření stejné. Tudíž odolnost tohoto epoxidového a polyuretanového povlaku, vůči působení methylethylketonu, nezávisí na čase od nanesení nátěrové hmoty na podklad. U těchto typů povlaků docházelo jen k vyleštění povrchu. Povlak s vysokým obsahem zinku dosahoval po celou dobu stupně 0, což znamená, že film byl do několika vteřin rozpuštěn methylethylketonem až na skleněný podklad. K úplnému poškození tohoto povlaku docházelo během celého měření za 7 ± 3 s.

Závěry ze stanovení odolnosti organických povlaků vůči působení methylethylketonu

- Epoxidový a polyuretanový povlak odolával methylethylketonu, bez ohledu na to, jaký čas uplynul od vytvoření povlaku.
- Povlak s vysokým obsahem zinku neodolával methylethylketonu

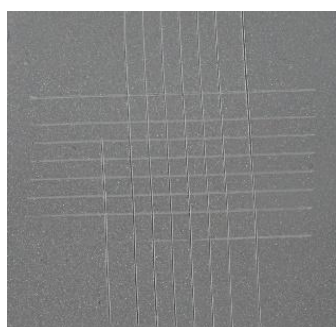
5.3 Vyhodnocení mechanických zkoušek

Stanovení odolnosti testovaných organických povlaků aplikovaných na skleněných panelech proti vrypu bylo prováděno v závislosti na čase, konkrétně 2,6,8,12,14,23,30 a 60 den, zatímco stanovení přilnavosti organických povlaků, stanovení odolnosti vůči ohybu, stanovení odolnosti vůči hloubení a stanovení odolnosti vůči úderu byla prováděna po aplikaci testovaných organických povlaků na ocelové panely po 60denním kondicionání vzorků.

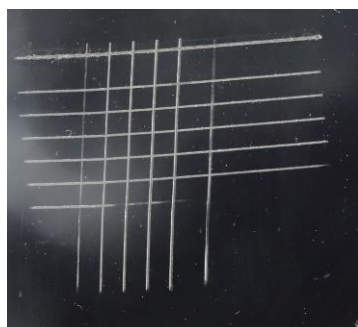
Při měření odolnosti organických povlaků proti vrypu (Buchholtzova zkouška) vykazovaly všechny typy testovaných povlaků stejný trend hodnot. Nejvyšší odolnost vykazoval polyuretanový povlak 1,2 mm, a to šedesátý den od nanesení nátěrové hmoty na podklad. Největší nárůst odolnosti tohoto systému byl zaznamenán během šestého až osmého dne (z

hodnoty 1,85 mm na hodnotu 1,50 mm). Nejnižší odolnost proti vrypu vykazoval epoxidový povlak, který své maximální hodnoty (1,4 mm) dosáhl čtrnáctý den, poté tato hodnota zůstala konstantní. U tohoto povlaku nastal největší nárůst odolnosti proti vrypu do šesti dnů od vytvoření povlaku (z hodnoty 2,00 mm na hodnotu 1,60 mm). Povlak s vysokým obsahem zinku dosahoval svého maxima odolnosti (1,3 mm) šedesátý den. Největší nárůst odolnosti proti vrypu byl zaznamenán, taktéž, mezi druhým a šestým dnem od vytvoření povlaku (z hodnoty 1,95 mm na hodnotu 1,60 mm).

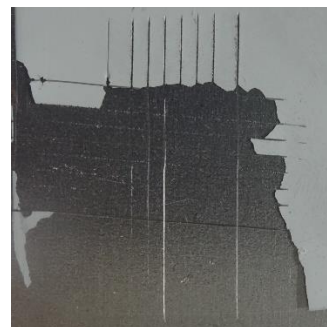
K hodnocení přilnavosti organického povlaku byl použit nůž s rozstupem čepelí 2 mm, jelikož suchá tloušťka testovaných nátěrových filmů dosahovala hodnoty $80 \pm 10 \mu\text{m}$. U epoxidového a polyuretanového povlaku nedocházelo k žádnému poškození testovaného organického povlaku, kdy řezy byly zcela hladké, a žádný čtverec nebyl poškozen. Tyto testované organické povlaky tedy dosáhly stupně přilnavosti 0. U povlaku s vysokým obsahem zinku docházelo k značnému poškození jednotlivých čtverců, kdy poškozená plocha přesahovala hodnotu poškození 65 %. Z tohoto důvodu dle klasifikace dosáhl tento organický povlak stupně přilnavosti 5.



Epoxidový povlak



Polyuretanový povlak



Povlak s vysokým obsahem zinku

Obrázek 19: Fotografie po provedení mřížkové zkoušky přilnavosti organických povlaků

U mechanické zkoušky ohybem vykazoval maximální odolnost epoxidový a polyuretanový povlak, kdy oba z těchto testovaných organických povlaků odolaly ohybu při použití trnu o průměru 4 mm, kdy na těchto testovaných organických povlacích nebyl zaznamenán vznik jakýchkoli defektů. Naproti tomu testovaný organický povlak s vysokým obsahem zinku neodolával ani trnu o průměru 32 mm. Při této velikosti trnu docházelo k úplnému porušení nátěrového filmu.



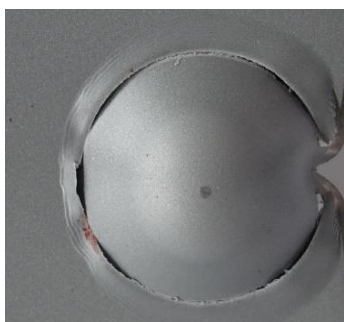
Epoxidový povlak

Polyuretanový povlak

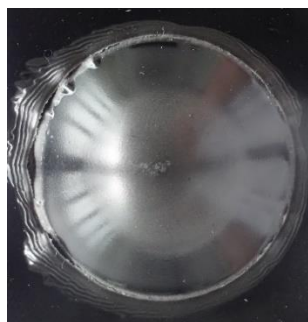
Povlak s vysokým obsahem
zinku

Obrázek 20: Fotografie po provedení ohybové zkoušky organických povlaků

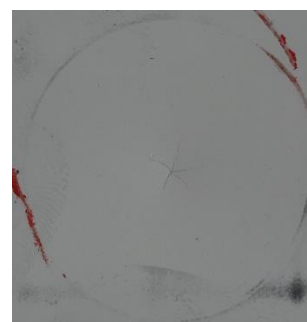
Při zkoušce hloubení vykazoval nejvyšší odolnost epoxidový a polyuretanový povlak, kdy u těchto dvou typů testovaných organických povlaků nebyla zaznamenána přítomnost defektů ani při vtlačení ocelové kuličky o průměru 20 mm do vzdálenosti 10 mm. U povlaku s vysokým obsahem zinku došlo k vzniku defektu v podobě prasklin při vtlačení ocelové kuličky do vzdálenosti 1,89 mm.



Epoxidový povlak



Polyuretanový povlak

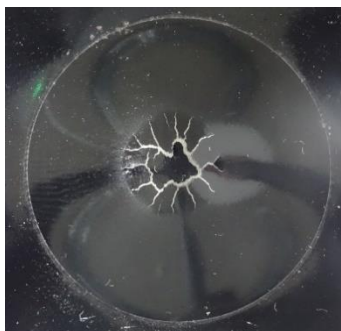


Povlak s vysokým obsahem
zinku

Obrázek 21: Fotografie po provedení mechanické zkoušky hloubením organických povlaků

Mechanická zkouška úderem byla prováděna z rubové i z lícové strany vzorku. V obou případech byl úder prováděn ze čtyř výšek (100 cm, 50 cm, 25 cm a 10 cm), ze kterých padalo závaží o hmotnosti 1 kilogramu. Epoxidový povlak odolal úderu z rubové strany vzorku při pádu závaží z výšky 25 cm bez vzniku defektů, zatímco při úderu závaží z vyšších výšek již tento testovaný organický povlak nedolával a došlo ke vzniku prasklin. Při úderu, který byl proveden z lícové strany vzorku epoxidový povlak odolal maximální možné výšce (100 cm). Polyuretanový povlak vykazoval odolnost i při pádu závaží z maximální možné výšky 100 cm, jak při úderu provedenému z rubové, tak i z lícové strany vzorku. Povlak s vysokým obsahem zinku odolával jen při pádu závaží z výšky 10 cm u obou způsobů úderu. Při pádu závaží

z vyšších výšek ať na rubovou či lícovou stranu vzorku došlo ke vzniku prasklin v testovaném organickém povlaku.



Polyuretanový povlak

(rub 100 cm)



Polyuretanový povlak

(rub 50 cm)



Polyuretanový povlak

(rub 25 cm)

Obrázek 22: Fotografie po provedení mechanické zkoušky úderem, z rubové strany, polyuretanového povlaku

Při stanovení přilnavosti odtrhovou zkouškou vykazoval největší odtrhovou sílu (3 MPa) epoxidový povlak, kdy po provedené zkoušce byl hodnocen typ lomu. Konkrétně došlo ke koheznímu lomu ve vrstvě testovaného organického povlaku (B100 %). Naměřená síla odtrhu u polyuretanového povlaku dosahovala hodnoty 2,6 MPa, kdy bylo zaznamenáno adhezní porušení mezi nátěrem a lepidlem (-/Y100 %). Povlak s vysokým obsahem zinku vykazoval nejnižší adhezi k podkladu ze všech typů testovaných organických povlaků, kdy odtrhová síla dosáhla hodnoty 0,9 MPa. Po této odtrhové zkoušce bylo zaznamenáno adhezní porušení mezi povlakem a ocelovým substrátem (A/B100 %).



Epoxidový povlak



Polyuretanový povlak



Povlak s vysokým obsahem zinku

Obrázek 23: Fotografie po provedení odtrhové zkoušky přilnavosti organických povlaků

Závěry mechanických zkoušek

- Nejvyšší odolnosti proti vrypu vykazoval z testovaných organických povlaků polyuretanový povlak
- Polyuretanový i epoxidový povlak vykazoval velmi dobrou přilnavost k podkladu hodnocenou stupněm přilnavosti 0
- I přes použití trnu o průměru 4 mm při ohybu nebyl epoxidový ani polyuretanový povlak porušen
- Při hloubení dosahoval epoxidový a polyuretanový povlak maximální odolnosti, kdy ani při hloubení do vzdálenosti 10 mm nedošlo ke vzniku defektu organického povlaku
- Polyuretanový povlak nebyl porušen po pádu závaží na rubovou či lícovou stranu vzorku z výšky 1 m. Srovnatelné odolnosti dosáhl epoxidový povlak při pádu závaží na lícovou stranu vzorku.
- Při stanovení přilnavosti odtrhovou zkouškou dosahoval nejvyšší hodnoty odtrhové síly epoxidový povlak. Podobných hodnot dosahoval také polyuretanový povlak.

5.4 Vyhodnocení přilnavosti ochranných systémů odtrhovou zkouškou před a po expozici v korozním testu NORSOK a po korozním testu Ponoru

Před expozicí testovaných ochranných systémů dosáhl nejvyšší hodnoty přilnavosti ochranný systém tvořený kombinací epoxidového a polyuretanového povlaku. Tento ochranný systém (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm), aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad, dosahoval nejvyšší přilnavosti 5,8 MPa. Vysoké hodnoty odtrhové pevnosti rovné 5,6 MPa dosáhl také ochranný systém (epoxidový povlak 240 μm /polyuretanový povlak 60 μm) aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na vrstvu žárového zinku. Srovnatelné hodnoty odtrhové pevnosti 5,6 MPa dosáhl tento ochranný systém (epoxidový povlak 240 μm /polyuretanový povlak 60 μm) po jeho aplikaci na ochrannou folii (trenchcoat). V případě aplikace epoxidového povlaku (400 μm) v místě se zhotoveným defektem na ocelový podklad dosáhla odtrhová síla hodnoty 5,2 MPa, zatímco po aplikaci epoxidového povlaku (300 μm) v místě se zhotoveným defektem na vrstvu žárového zinku dosáhla odtrhová síla hodnoty 4,2 MPa a při aplikaci tohoto povlaku na ochrannou folii (Trenchcoat) dosáhla odtrhová síla hodnoty 4,0 MPa.

Odrhové síly ochranných systémů byly hodnoceny i po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 1344hodinové expozici. Nejvyšší odtrhové síly 5,8 MPa dosáhl ochranný systém (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm), aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad. Srovnatelné hodnoty odtrhové pevnosti dosáhl tento ochranný systém i před expozicí vzorku v korozním testu NORSOK. Vysoké hodnoty odtrhové síly 5,5 MPa bylo dosaženo i při použití ochranného systému (epoxidový povlak 240 μm /polyuretanový povlak 60 μm) na ochranné folii (Trenchcoat). V případě aplikace tohoto ochranného systému (epoxidový povlak 240 μm /polyuretanový povlak 60 μm) k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na vrstvu žárového zinku bylo dosaženo, po 1344hodinové expozici v korozním testu NORSOK, hodnoty 3,3 MPa.

Odrhové síly ochranných systémů byly hodnoceny i po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 2688hodinové expozici. Nejvyšší odtrhové síly 4,9 MPa dosáhl ochranný systém (epoxidový povlak 240 μm /polyuretanový povlak 60 μm), který byl aplikovaný na ochranné folii (Trenchcoat). Tento typ ochranného systému (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm) dosáhl vysoké hodnoty odtrhové pevnosti 4,6 MPa po jeho aplikaci k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad, a hodnoty odtrhové pevnosti 3,6 MPa po jeho aplikaci k zajištění ochrany vzorku se zhotoveným defektem na vrstvu žárového zinku.

Odrhové síly ochranných systémů byly hodnoceny i po korozním testu Ponoru vzorků v destilované vodě po době 2000 hodin. Nejvyšší odtrhové síly 5,1 MPa dosáhl ochranný systém (epoxidový povlak 400 μm), aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad. Vysokých hodnot odtrhových pevnost bylo dosaženo i při použití ochranného systému epoxidový povlak/polyuretanový povlak. Po aplikaci toho ochranného systému (epoxidový povlak 240 μm /polyuretanový povlak 60 μm) na ochranné folii (Trenchcoat) bylo dosaženo hodnoty odtrhové pevnosti rovné 4,3 MPa. Po aplikaci tohoto ochranného systému (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm) k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad bylo dosaženo hodnoty odtrhové pevnosti rovné 4,0 MPa.

Závěr z hodnocení přilnavosti ochranných systémů stanovené odtrhovou zkouškou

- Ochranný systém epoxidový povlak/polyuretanový povlak dosáhl vysokých hodnot odtrhových pevností (>4,3 MPa), před i po provedených korozních zkouškách, po jeho aplikaci na ochrannou folii.

- Ochranný systém epoxidový povlak/polyuretanový povlak aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad či vrstvu žárového zinku dosáhl vysokých hodnot odtrhových pevností (>3,3 MPa) po expozici vzorků v korozním testu NORSOK.

5.5 Vyhodnocení korozní odolnosti ochranných systémů po expozici testovaných ochranných systémů v korozním testu NORSOK a po korozním testu Ponoru

Prokorodování ochranných systémů bylo hodnoceno po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 1000hodinové expozici. Nejvyšší korozní odolnosti dosáhl ochranný systém (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm), aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad, ale i na vrstvu žárového zinku i po jeho aplikaci na ochrannou folii (Trenchcoat), kdy při použití tohoto typů ochranného systému nebyla zaznamenána žádná koroze. Po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 1000hodinové expozici nebyly nalezeny žádné známky koroze, ani při použití páskového třívrstvého asymetrického systému. Po této expozici se, u třívrstvého asymetrického systému, nevyskytovalo žádné vrásnění.

Prokorodování ochranných systémů bylo hodnoceno po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 2000hodinové expozici. Nejvyšší korozní odolnosti dosáhl ochranný systém (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm), aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na vrstvu žárového zinku, u kterého nebyla zaznamenána žádná koroze. U systému (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm), aplikovaného k ochraně ochranné folie (Trenchcoat), bylo zaznamenáno prokorodování, které dosahovalo hodnoty (0,1-1 %). U systému (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm), aplikovaného k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad, bylo zaznamenáno prokorodování, které dosahovalo hodnoty (0,3-1 %). Po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 2000hodinové expozici bylo zaznamenáno prokorodování (0,1 %) při použití páskového třívrstvého asymetrického systému. Po této expozici, u třívrstvého asymetrického systému, bylo zaznamenáno vrásnění s hustotou 1-2.

Prokorodování ochranných systémů bylo hodnoceno po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 2688hodinové expozici. Nejvyšší korozní odolnosti dosáhl ochranný systém (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm), aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na vrstvu žárového zinku i po jeho aplikaci na ochrannou folii (Trenchcoat), kdy při použití tohoto typů ochranného systému bylo zaznamenáno v obou

případech prokorodování, které dosahovalo hodnoty 0,1-1 %. Při použití ochranného systému (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm), aplikovaného k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad, bylo zaznamenáno prokorodování, které dosahovalo hodnoty (0,3-1 %). U systémů, kde byl použit pouze epoxidový povlak v různých tloušťkách (300 μm , 400 μm), aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na vrstvu žárového zinku i ocelový podklad, i po jeho aplikaci na ochrannou folii (Trenchcoat), bylo zaznamenáno prokorodování v intervalu hodnot 0,3 – 3 %. Po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 2688hodinové expozici bylo zaznamenáno prokorodování (0,1-0,3 %) při použití páskového třívrstvého asymetrického systému. Po této expozici, u třívrstvého asymetrického systému, bylo zaznamenáno vrásnění s hustotou 1– 3.

Prokorodování ochranných systémů bylo hodnoceno po exponování vzorků v korozním testu Ponor po 2000hodinové expozici. Po této expozici nebylo zaznamenáno žádné prokorodování u žádného z testovaných ochranných povlaků. U dvoupáskového systému bylo zaznamenáno prokorodování 0,03 % a vrásnění s hustotou 1, zatímco u třívrstvého asymetrického systému bylo zaznamenáno prokorodování 0,01 % bez znatelného vrásnění.

Prokorodování ochranných systémů bylo hodnoceno po exponování vzorků v korozním testu Ponor po 3000hodinové expozici. Po této expozici nebylo zaznamenáno žádné prokorodování u žádného z testovaných organických povlaků. U dvoupáskového systému bylo zaznamenáno prokorodování 0,03 – 1 % a vrásnění s hustotou 2, zatímco u třívrstvého asymetrického systému bylo zaznamenáno prokorodování 0,01 – 0,03 % bez znatelného vrásnění.

Závěr z hodnocení korozní odolnosti ochranných systémů po expozici testovaných ochranných systémů v korozním testu NORSOK a po korozním testu Ponoru

- Ochranný systém epoxidový povlak / polyuretanový povlak dosáhl vysoké korozní odolnosti (prokorodování ≤ 1 %), pro provedení korozních zkoušek bez ohledu na typ podklad.
- Při použití páskového třívrstvého asymetrického systému dosáhlo prokorodování po provedení korozních zkoušek hodnot 0,1 – 0,3 % s hustotou vrásnění 1 – 3.

5.6 Vyhodnocení korozní odolnosti v atmosféře s obsahem solné mlhy

Expozice testovaných vzorků v solné mlze probíhala 960 hodin, po tomto čase vykazoval nejlepší odolnost polyuretanový povlak, na kterém nebyly známy žádné puchýře ani prokorodování. Po odstranění tohoto povlaku nebyla zaznamenána koroze v ploše podkladu. U epoxidového povlaku bylo zaznamenáno prokorodování 0,3 %, na povrchu testovaného organického povlaku nebyl zaznamenán výskyt puchýřů. Po odstranění organického povlaku dosahovala koroze v ploše podkladu hodnoty 0,1 %. U povlaku s vysokým obsahem zinku bylo zřetelné nejen prokorodování (50 %), ale i výskyt puchýřů (2D). Po odstranění povlaku nebyl zaznamenán výskyt koroze v ploše podkladu. Ze vzorků, kde byly použity oba systémy vykazoval vyšší korozní odolnost proti účinkům solné mlhy systém polyuretanový/epoxidový nátěr, u kterého prokorodování dosáhlo hodnoty 0,01 %, zatímco u systému epoxidový/polyuretanový povlak dosáhlo prokorodování hodnoty 0,03 %. U obou vzorků se nevyskytovaly žádné puchýře, po odstranění povlaku se, ani u jednoho z těchto systémů, nevyskytovala koroze v ploše podkladu. Třívrstvý asymetrický páskový systém vykazoval vysokou odolnost proti účinkům solné mlhy. Na tomto systému se nevyskytovalo žádné prokorodování, ani puchýře. U dvoupáskového systému nebyl zaznamenán výskyt puchýřů. U obou typů páskových systémů nebyl zaznamenán výskyt koroze v ploše podkladu po jejich odstranění.

Závěr z hodnocení korozní odolnosti organických povlaků po jejich expozici v atmosféře s obsahem solné mlhy

- Nejvyšší korozní odolnosti bylo dosaženo při použití polyuretanového povlaku a páskových systémů.
- Výskyt puchýřů na nátěrovém filmu byl zaznamenán pouze u povlaku s vysokým obsahem zinku.

5.7 Vyhodnocení korozní odolnosti v atmosféře s povšechnou kondenzací

Expozice testovaných vzorků v atmosféře s povšechnou kondenzací probíhala 960 hodin, po této době vykazoval nejvyšší korozní odolnost epoxidový a polyuretanový povlak, u kterých nebylo zaznamenáno žádné prokorodování, ani výskyt puchýřů. Koroze v ploše panelu po odstranění těchto organických povlaků dosahovala 0,3 %. U povlaku s vysokým obsahem zinku byl zaznamenán výskyt puchýřů (2D), celý povrch testovaného organického povlaku byl pokryt

bílou rží. Po odstranění tohoto organického povlaku nebyl zaznamenán výskyt koroze v ploše panelu. Mezi páskovými systémy vykazoval vyšší korozní odolnost třívrstvý asymetrický páskový systém, u kterého se nevyskytovalo žádné prokorodování, ani nebyl zaznamenán výskyt puchýřů. Na dvoupáskovém systému bylo znatelné prokorodování (3 %). Po odstranění těchto páskových systémů nebyl zaznamenán výskyt koroze v ploše panelu.

Závěr z hodnocení korozní odolnosti organických povlaků po jejich expozici v atmosféře s povšechnou kondenzací

- Z testovaných organických povlaků dosáhl nejvyšší korozní odolnosti polyuretanový povlak a epoxidový povlak.
- Při použití asymetrického třívrstvého systému nebyl zaznamenán žádný z hodnocených korozních projevů

5.8 Vyhodnocení korozní odolnosti v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého

Korozní test v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého probíhal 720 hodin, po této době vykazoval nejvyšší korozní odolnost polyuretanový povlak, kdy u tohoto systému nebyl zaznamenán žádný z hodnocených korozních projevů. U epoxidového povlaku se nevyskytovalo žádné prokorodování, avšak byl zaznamenán výskyt puchýře (2MD). Po odstranění tohoto organického povlaku nebyl zaznamenán výskyt koroze v ploše panelu. U povlaku s vysokým obsahem zinku nebyl zaznamenán výskyt puchýřů, ale povrch testovaného povlaku byl pokryt bílou rží. Po odstranění tohoto organického povlaku byl zaznamenán výskyt koroze v ploše panelu (33 %). U systémů polyuretanový/epoxidový povlak a epoxidový/polyuretanový povlak nebylo zaznamenáno prokorodování, ani výskyt puchýřů. Koroze v ploše panelu dosahovala po odstranění těchto organických povlaků srovnatelné hodnoty 1 %. U dvoupáskového systému bylo zaznamenáno prokorodování (0,1 %), zatímco u třívrstvého asymetrického systému nebylo zaznamenáno žádné prokorodování. U těchto vzorků nebyl zaznamenán výskyt puchýřů a prokorodování v ploše podkladu po odstranění ochranných systémů dosahovalo hodno od 1-10 %.

Závěr z hodnocení korozní odolnosti organických povlaků po jejich expozici v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého

- Z testovaných organických povlaků dosáhl nejvyšší korozní odolnosti polyuretanový povlak.

- Při použití polyuretanového povlaku nebyl zaznamenán žádný z hodnocených korozních projevů

5.9 Vyhodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace

Testované organické povlaky byly vystaveny prostředí 1M roztoku chloridu sodného po dobu 5 hodin. Následně byly proměřeny elektrochemickou technikou lineární polarizace, kdy byly změřeny jejich polarizační křivky. Na základě elektrochemické techniky lineární polarizace byly stanoveny polarizační odpory a vypočítány korozní rychlosti jednotlivých testovaných organických povlaků. Nejnížší hodnota korozní rychlosti ($1,63 \cdot 10^{-9}$ mm/rok) a zároveň nejvyšší hodnota polarizačního odporu ($66,7 \cdot 10^9 \Omega$) byla zaznamenána u polyuretanového povlaku. Nepatrně vyšší hodnota korozní rychlosti ($2,03 \cdot 10^{-9}$ mm/rok) a nižší hodnota polarizačního odporu ($58,3 \cdot 10^9 \Omega$) byla zaznamenána u epoxidového povlaku. Nejvyšší hodnota korozní rychlosti ($8,6 \cdot 10^{-2}$ mm/rok) a nejnižší hodnoty polarizačního odporu (426Ω) bylo dosaženo u povlaku s vysokým obsahem zinku.

Závěr z hodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace

- Z testovaných organických povlaků dosáhl nejnižší hodnoty korozní rychlosti ($1,63 \cdot 10^{-9}$ mm/rok) a zároveň nejvyšší hodnota polarizačního odporu ($66,7 \cdot 10^9 \Omega$) byla zaznamenána u polyuretanového povlaku.

5.10 Přínosy a poznatky z bakalářské práce

Nátěrové hmoty na bázi polyuretanů, epoxidu a ochranný systém s vysokým obsahem zinku, byly aplikovány na skleněné i ocelové panely. Na skleněných panelech byly měřeny a vyhodnocovány fyzikálně chemické vlastnosti testovaných organických povlaků druhý, šestý, osmý, dvanáctý, čtrnáctý, dvacátý třetí, třicátý a šedesátý den. Při měření relativní povrchové tvrdosti bylo zjištěno, že nejvyšší povrchové tvrdosti dosáhl polyuretanový povlak (60,6 %). Naopak nejnižší povrchové tvrdosti dosáhl epoxidový povlak (30,8 %).

Vyhodnocením chemické odolnosti testovaných organických povlaků pomocí MEK testu bylo zjištěno, že epoxidový a polyuretanový povlak odolávají methylethylketonu (poškození 4) po 300 s, zatímco povlak s vysokým obsahem zinku methylethylketonu neodolával, jelikož poškození dosáhlo stupně 0 již po 7 s.

Při vyhodnocení, odolnosti organických povlaků proti vrypu, bylo zjištěno, že nejvyšší odolnost proti vrypu vykazoval v 60 den polyuretanový povlak (1,20 mm). V průběhu stárnutí povlaku docházelo ke zvýšení odolnosti proti vrypu u všech typů povlaků.

Dále byly provedeny mechanické zkoušky, kdy byly testovány ochranné organické panely aplikované na ocelových panelech. Zkouškou přilnavosti bylo zjištěno, že polyuretanový i epoxidový povlak dosahoval stupně přilnavosti 0, zatímco povlak s vysokým obsahem zinku dosahoval stupně přilnavosti 5. Zkouškou hloubením se zjistilo, že epoxidový a polyuretanový povlak odolal maximální hodnotě (10 mm) při testu hloubení, zatímco povlak s vysokým obsahem zinku ztrácel adhezi při hodnotě 1,89 mm. Zkouškou úderem z rubové strany bylo zjištěno, že polyuretanový povlak odolává úderu z jednoho metru při použití 1000 g závaží. Epoxidový povlak odolal úderu z výšky 25 cm a povlak s vysokým obsahem zinku odolal úderu z výšky 10 cm. Při zkoušce ohybem bylo zjištěno, že epoxidový a polyuretanový povlak odolával ohybu i při použití trnu o průměru 4 mm, zatímco povlak s vysokým obsahem zinku neodolával ohybu při použití trnu o maximálním průměru 32 mm. Při stanovení přilnavosti odtrhovou zkouškou byla zaznamenána nejvyšší odtrhová síla při testování epoxidového povlaku (3 MPa). U polyuretanového povlaku dosáhla odtrhová síla hodnoty 2,6 MPa a u povlaku s vysokým obsahem zinku dosáhla odtrhová síla 0,9 MPa.

Ocelové panely opatřeny ochrannými systémy byly vystaveny atmosféře s obsahem solné mlhy po dobu 960 hodin. Po této expozici vykazoval nejvyšší odolnost polyuretanový povlak, u kterého nebylo zaznamenáno žádné prokorodování ani vznik puchýřů. U epoxidového povlaku bylo zaznamenáno prokorodování, které dosáhlo hodnoty 0,3 %, a na povrchu testovaného organického povlaku nebyl zaznamenán výskyt puchýřů. U povlaku s vysokým obsahem zinku bylo zřetelné nejen prokorodování, které dosáhlo hodnoty 50 %, ale i výskyt puchýřů (2D). Třívrstvý asymetrický páskový systém vykazoval vysokou odolnost proti účinkům solné mlhy. Na tomto systému se nevyskytovalo žádné prokorodování, ani puchýře.

Ocelové panely opatřeny ochrannými systémy byly vystaveny atmosféře s povšechnou kondenzací po dobu 960 hodin. Po této expozici vykazoval nejvyšší korozní odolnost epoxidový a polyuretanový povlak, u kterých nebylo zaznamenáno žádné prokorodování, ani výskyt puchýřů. U povlaku s vysokým obsahem zinku byl zaznamenán výskyt puchýřů (2D), celý povrch testovaného organického povlaku byl pokryt bílou rží. Mezi páskovými systémy vykazoval vyšší korozní odolnost třívrstvý asymetrický páskový systém, u kterého se nevyskytovalo žádné prokorodování, ani nebyl zaznamenán výskyt puchýřů.

Ocelové panely opatřeny ochrannými systémy byly vystaveny atmosféře s obsahem oxidu siřičitého po dobu 720 hodin. Po této expozici vykazoval nejvyšší korozní odolnost polyuretanový povlak, kdy u tohoto systému nebyl zaznamenán žádný z hodnocených korozních projevů. U epoxidového povlaku se nevyskytovalo žádné prokorodování, avšak byl zaznamenán výskyt puchýře (2MD). U povlaku s vysokým obsahem zinku nebyl zaznamenán výskyt puchýřů, ale povrch testovaného povlaku byl pokryt bílou rzí. U třívrstvého asymetrického systému nebylo zaznamenáno žádné prokorodování.

Při stanovení přílnavost odtrhovou zkouškou dosahoval nejvyšší odtrhové síly, po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 2688hodinové expozici, ochranný systém epoxidový povlak 240 μm /polyuretanový povlak 60 μm (4,9 MPa), který byl aplikovaný na ochranné folii (Trenchcoat). Tento typ ochranného systému (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm) dosáhl vysoké hodnoty odtrhové pevnosti 4,6 MPa po jeho aplikaci k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na ocelový podklad, a hodnoty odtrhové pevnosti 3,6 MPa po jeho aplikaci k zajištění ochrany vzorku se zhotoveným defektem na vrstvu žárového zinku.

Při stanovení prokorodování ochranných systémů po exponování vzorků v korozním testu NORSOK po 2688hodinové expozici, dosáhl nejvyšší korozní odolnosti ochranný systém (epoxidový povlak 340 μm /polyuretanový povlak 60 μm), aplikovaný k ochraně vzorku se zhotoveným defektem na vrstvu žárového zinku i po jeho aplikaci na ochrannou folii (Trenchcoat), kdy při použití tohoto typů ochranného systému bylo zaznamenáno v obou případech prokorodování, které dosahovalo hodnoty 0,1-1 %. Při stanovení prokorodování ochranných systémů, po exponování vzorků v korozním testu Ponor po 3000hodinové expozici, nebylo zaznamenáno žádné prokorodování u žádného z testovaných organických povlaků. Při použití páskového třívrstvého asymetrického systému dosáhlo prokorodování po provedení korozních zkoušek hodnot 0,1 – 0,3 % s hustotou vrásnění 1 – 3.

Při hodnocení elektrochemické techniky lineární polarizace dosáhl nejnižší hodnoty korozní rychlosti ($1,63 \cdot 10^{-9}$ mm/rok) a zároveň nejvyšší hodnoty polarizačního odporu (66,7.109 Ω) polyuretanový povlak.

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo studium ochranných systémů aplikovaných na pozinkovaných ocelových panelech opatřených ochrannou folií, případně na ocelové panely opatřené vrstvou žárového zinku a ochranou folií v místech, kde došlo ke zhotovení defektu na vrstvu žárového zinku případně až na samotný ocelový podklad, kdy byla studována mechanická a chemická odolnost, tak i korozní odolnost v atmosféře s obsahem solné mlhy, v atmosféře s povšechnou kondenzací a v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého. Použitelnost příslušných typů ochranných systémů byla testována pomocí stanovené odtrhové přilnavosti, která byla na vzorcích prováděna před expozicí v korozních prostředích i po 1344 a 2688hodinnové expozici v korozním testu NORSOK a po 2000hodinnové expozici testovaných vzorků v korozním testu Ponor.

Na základě získaných výsledků fyzikálně-mechanických i chemických zkoušek je patrné, že při použití ochranného systému s vrstvou polyuretanového povlaku, bylo dosaženo nejvyšších hodnot mechanické i chemické odolnosti. Po korozních testech tento systém také vykazoval nejvyšší hodnoty korozní odolnosti po jeho aplikaci na výše zmíněné typy podkladů. Na základně korozních testů v atmosféře s obsahem solné mlhy, v atmosféře s povšechnou kondenzací a v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého vykazoval nejvyšší korozní odolnost polyuretanový povlak. Vysoké korozní odolnosti dosahoval také třívrstvý asymetrický systém, jak po korozních testech NORSOK a Ponor, tak i po korozních testech v atmosféře s obsahem solné mlhy, v atmosféře s povšechnou kondenzací i v atmosféře s obsahem oxidu siřičitého.

7 POUŽITÁ LITERATURA

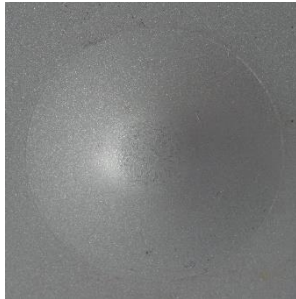
- [1] KUDLÁČEK, Jan a Vlastimil KUKLÍK. Žárové zinkování. 1. Havlíčkův Brod: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014. ISBN 978-80-905298-2-3.
- [2] KOHMAN, Edward F. Who discovered galvanism? *Journal of Chemical Education* [online]. 1963, 40(12) [cit. 2020-07-20]. DOI: 10.1021/ed040p655. ISSN 0021-9584. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed040p655>
- [3] What is Galvanizing? American Galvanizing Association [online]. Colorado: American Galvanizers Association, 2020 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing/what-is-galvanizing>
- [4] E. Armelin, M. Martí, F. Liesa, J.I. Iribarren, C. Alemán, Partial replacement of metallic zinc dust in heavy duty protective coatings by conducting polymer. *Progress in Organic Coatings* 69. 2010, pp. 26-30.
- [5] A. Kalendová, Effects of particle sizes and shapes of zinc metal on the properties of anticorrosive coatings. *Progress in Organic Coatings* 46. 2003, pp. 324-332.
- [6] J. Sigmund, Zinkové barvy - studené pozinkování, Skutečnosti a iluze. *Povrcháři* 7. 2008, pp. 1-8.
- [7] Y.R. Vidal, R.S. Rojas, C. Ruiz, J. Torres, S. Tálu, A. Méndez, G. Trejo, Electrodeposition, characterization, and antibacterial activity of zinc/silver particle composite coatings. *Applied Surface Science* 342. 2015, pp. 34-41.
- [8] GALVANICKÉ POKOVENÍ. Galvanovna Omega [online]. Praha: Galvanovna Omega, 2010 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/pokoveni.html>
- [9] ČSN EN ISO 1461. Zinkové povlaky nanášené žárově ponorem na ocelové a litinové výrobky - Specifikace a zkušební metody. 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [10] KRAUS, Václav. Povrchy a jejich úpravy. 1. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2668-1.
- [11] Metalurgie tvorby povlaku žárového zinku. TechPark [online]. Žilina: TechPark, o.z., 2008 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12014/metalurgie-tvorby-povlaku-zaroveho-zinku.html>
- [12] KAZINCZY, Béla, László KÓTAI, István E. SAJÓ, Sándor HOLLY, Károly LÁZÁR, Emma JAKAB, István GÁCS a Klára SZENTMIHÁLYI. Phase Relations and Heat-Induced Chemical Processes in Sludges of Hot-Dip Galvanization.

- [13] Žárové zinkování. AU [online]. Třinec: ALPHA Union, 2003 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.alphaunion.cz/nabidka/zarove-zinkovani>
- [14] Povrchová úprava kovů: Žárové zinkování. Vzdelavanirikfer [online]. Hovorany: RIK-FER.CZ, 2005 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.vzdelavanirikfer.cz/povrchova-uprava-kovu/zarove-zinkovani>
- [15] Povrchová úprava kovů: O další způsoby zinkování. Vzdelavanirifer [online]. Hovorany: RIK-FER.CZ, 2005 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.vzdelavanirikfer.cz/povrchova-uprava-kovu/dalsi-zpusoby-zinkovani>
- [16] ALMEIDA, Elisabete. Surface Treatments and Coating for Metals. A General Overview. 1. Surface Treatments, Surface Preparation, and the Nature of Coatings.
- [17] BARTONÍČEK, Robert. Koroze a protikorozi ochrana kovů. Praha: Academia, 1966.
- [18] KREIBICH, Viktor. Teorie a technologie povrchových úprav. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN sbn80-01-01472-x.
- [19] VAN EIJSBERGEN, J. F. H. *The Interface Zinc-Coated Steel-Paint* [online]. 1978, 17(2), 183-184 [cit. 2020-03-22]. DOI: 10.1021/i360066a019. ISSN 0196-4321. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/i360066a019>
- [20] ČSN EN ISO 9223. Koroze kovů a slitin - Korozi agresivita atmosfér - Klasifikace, stanovení a odhad. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [21] BAUER, R. S. Epoxy Resins. Applied Polymer Science. Washington, D.C: American Chemical Society, 1985, 1985-09-25, 931-961. ACS Symposium Series. DOI: 10.1021/bk-1985-0285.ch039. ISBN 0-8412-0891-3. Dostupné také z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-1985-0285.ch039>
- [22] UDDIN, M. A. Uddin, H. P. CHAN a C. K. CHOW. Thermal and Chemical Stability of a Spin-Coated Epoxy Adhesive for the Fabrication of a Polymer Optical Waveguide. 2004,16.
- [23] LIDAŘÍK, Miloslav. Epoxidové pryskyřice. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: SNTL, 1983. Makromolekulární látky.
- [24] MASLOW, PHILIP. Epoxy Resins with Concrete. Plastic Mortars, Sealants, and Caulking Compounds [online]. WASHINGTON, D.C: AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 1979, 1979-11-27, 1979(4), 39-60 [cit. 2020-03-22]. ACS Symposium Series. DOI: 10.1021/bk-1979-0113.ch004. ISBN 0-8412-0523-X. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-1979-0113.ch004>

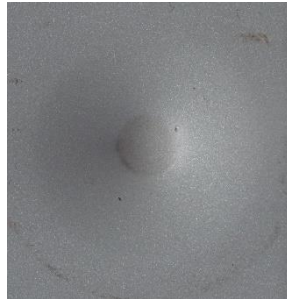
- [25] F.-L. Jin, X. Li, S.-J. Park, "Synthesis and application of epoxy resins: A review," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 29, (2015), 1–11
- [26] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha: Sobotáles, 1993. ISBN 80-901-5704-1.
- [27] SVOBODA, Miroslav. *Protikorozní ochrana kovů organickými povlaky*. Praha: SNTL, 1985.
- [28] LUKAVSKÝ, Ladislav, Stanislav BOUŠKA a Václav FIALA. *Nátěrové hmoty*. 3., upravené vyd. Praha: Merkur, 1993. ISBN 80-703-2469-4.
- [29] DUCHÁČEK, Vratislav. *Základní pojmy z chemie a technologie polymerů, jejich mezinárodní zkratky a obchodní názvy*. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1996. ISBN 80-708-0265-0.
- [30] J. Ding, O. ur Rahman, W. Peng, H. Dou, H. Yu, "A novel hydroxyl epoxy phosphate monomer enhancing the anticorrosive performance of waterborne Graphene/Epoxy coatings," *Applied Surface Science*, vol. 427, part B, (2018), 981–991
- [31] BOUBLÍK, Vlastimil. *Lepidla a jejich příprava*. 2., nezměn. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. Polytechnická knihnice (SNTL).
- [32] BARUSH, Joe. *Selecting an Adhesive for Tensile (Pull-Off) Adhesion Testing*. KTA [online]. 2019, 2019(1), 4 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://kta.com/kta-university/adhesion-testing-selecting-adhesive/>
- [33] *A Guide to Providing Perfect Coating Adhesion*. Prospector.com [online]. 2019, 2019(1), 7 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: https://knowledge.ulprospector.com/10127/pc-a-guide-to-providing-perfect-coating-adhesion/?utm_source=strongmail&utm_medium=email&utm_campaign=New+Trend+Tuesday+eNewsletter
- [34] MACIEL, Vinícius Gonçalves, Geovana BOCKORNY, Nei DOMINGUES, Moara Britz SCHERER, Rafael Batista ZORTEA a Marcus SEFERIN. *Comparative Life Cycle Assessment among Three Polyurethane Adhesive Technologies for the Footwear Industry*. 2017, 5(9), 8464-8472. DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b02516. ISSN 2168-0485. Dostupné také z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.7b02516>
- [35] *Sborník přednášek: konference žárového zinkování = Proceedings: Hot Dip Galvanizing Conference*. 1. Ostrava: [Asociace českých a slovenských zinkoven], 2019. ISBN 978-80-905298-8-5.
- [36] *Princip duplexního systému*. *Institut povrchových úprav* [online]. Praha: InPÚ, 2018 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: https://www.inpu.cz/duplexni_systemy.html
- [37] GOLDSCHMIDT A., STREITBERGER HJ.: *BASF Handbook on Basics of Coating Technology*, Vincentz Network: Germany (2007) s. 345-401, ISBN 973-3-86630-903-6

8 PŘÍLOHY

8.1 Fyzikálně-mechanické vlastnosti epoxidového pojiva



Úder rub



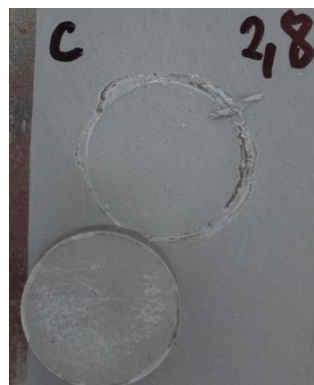
Úder líc



MEK test

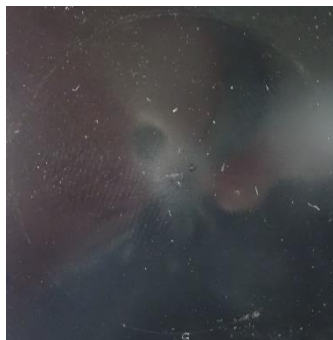


Odtrh

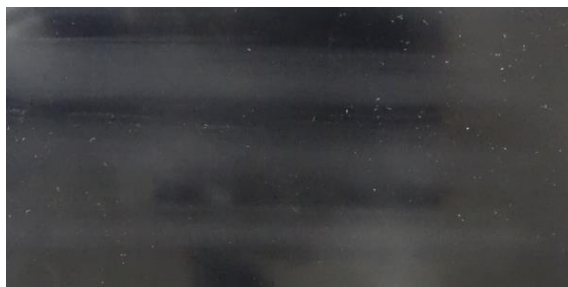


Odtrh

8.2 Fyzikálně-mechanické vlastnosti polyuretanového pojiva



Úder líc



MEK test

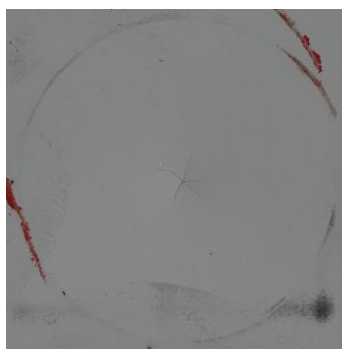


Odtrh



Odtrh

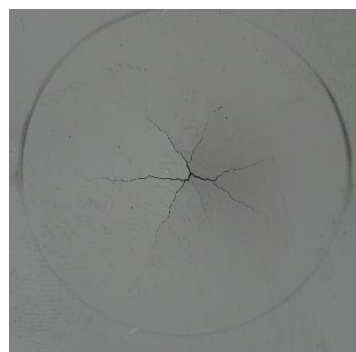
8.3 Fyzikálně-mechanické vlastnosti pojiva s vysokým obsahem zinku



Hloubení



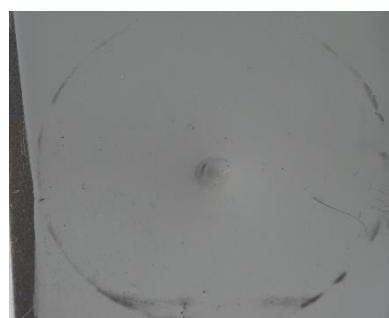
Úder rub (25 cm)



Úder rub (10 cm)



Úder líc (25 cm)



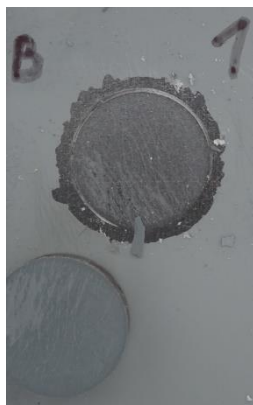
Úder líc (10 cm)



MEK test



Odtrh



Odtrh



Odtrh

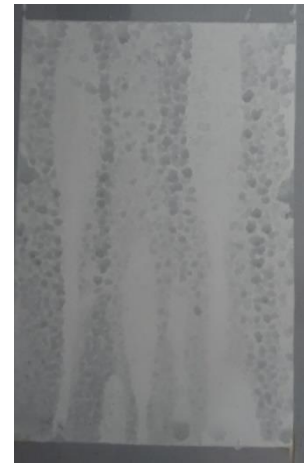
8.4 Korozní odolnost epoxidového pojiva



SO₂ – 760 hodin



Kondenzace – 920 hodin



Solná mlha – 920 hodin

8.5 Korozní odolnost polyuretanového pojiva



SO₂ – 760 hodin



Kondenzace – 920 hodin



Solná mlha – 960 hodin

8.6 Korozní odolnost pojiva s vysokým obsahem zinku



SO₂ – 760 hodin



Kondenzace – 920 hodin



Solná mlha – 920 hodin

8.7 Korozní odolnost asymetrického třívrstvého systému



SO₂ – 720 hodin



Kondenzace – 920 hodin



Solná mlha – 920 hodin

8.8 Korozní odolnost dvouvrstvého systému



SO₂ – 720 hodin



Kondenzace – 920 hodin



Solná mlha – 920 hodin

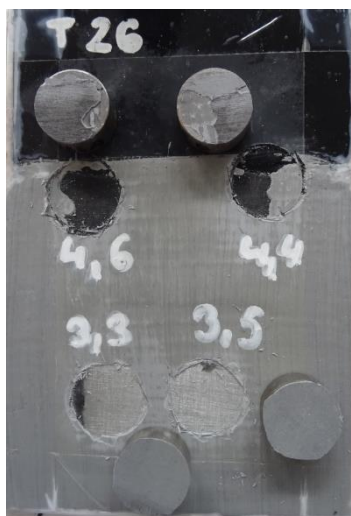
8.9 Odrhová zkouška před expozicí



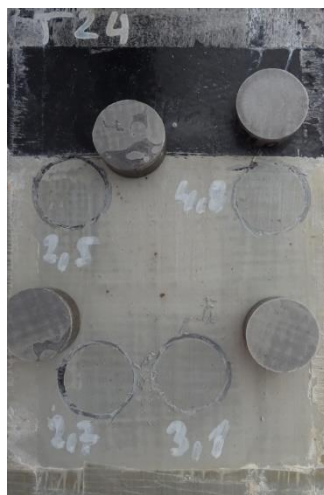
8.10 Odrhová zkouška po expozici NORSOK 1344 hodin

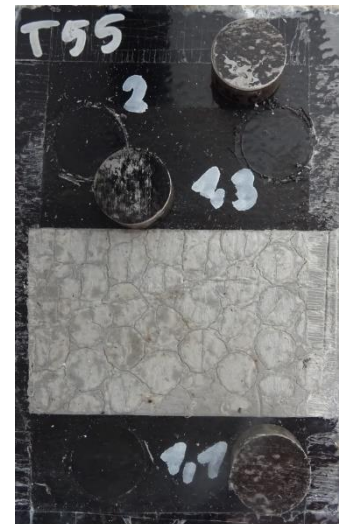


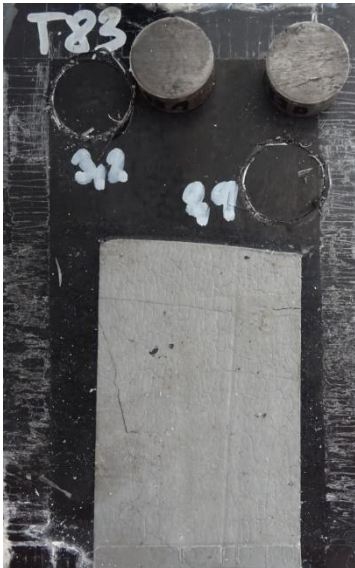
8.11 Odrhová zkouška po expozici Ponor do vody 2000 hodin



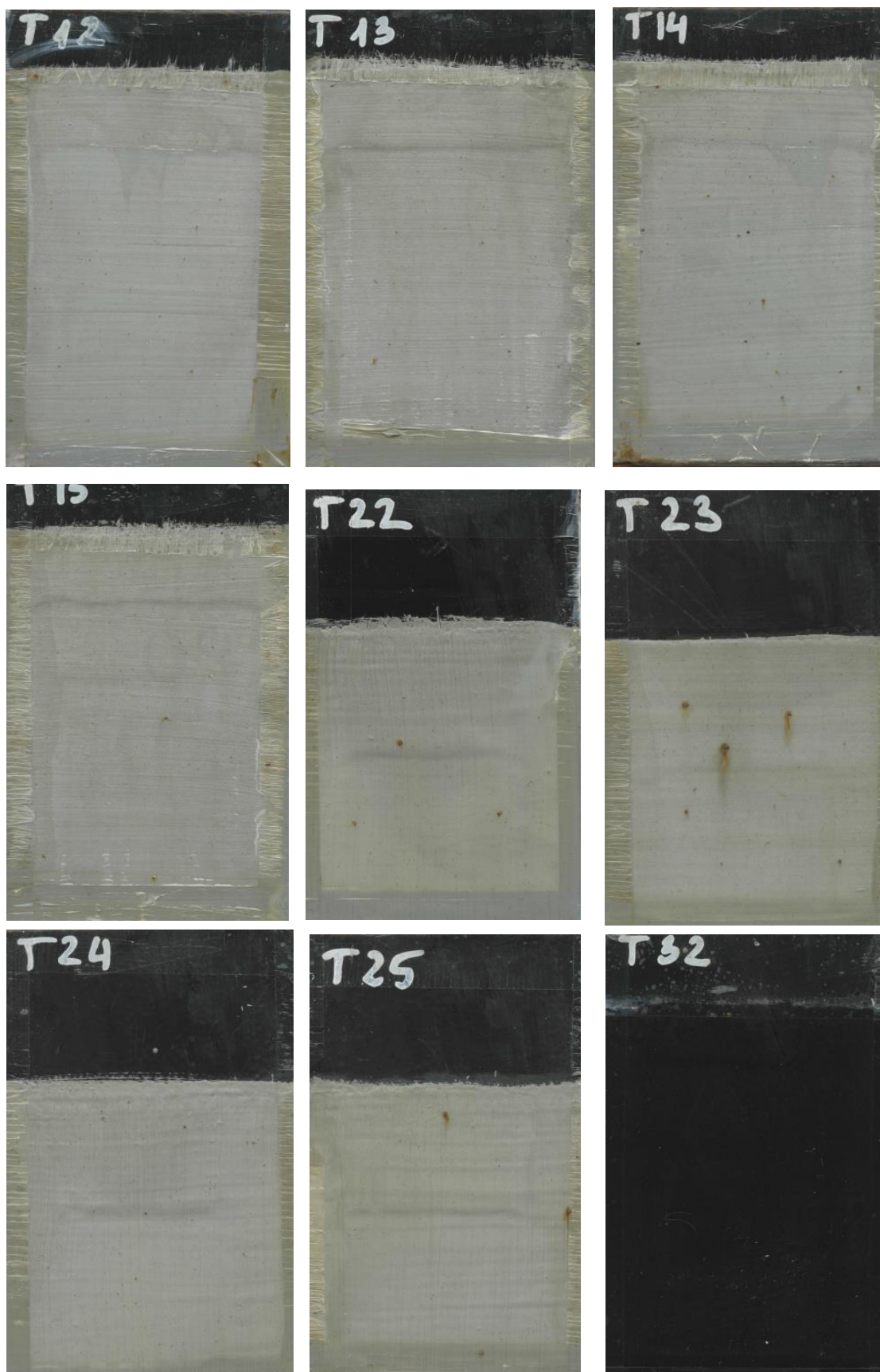
8.12 Odrhová zkouška po expozici NORSOK 2688 hodin

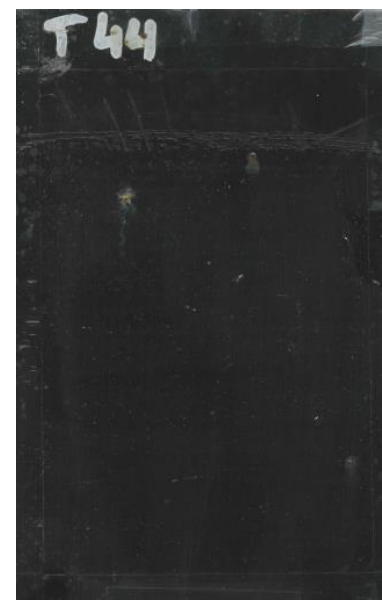


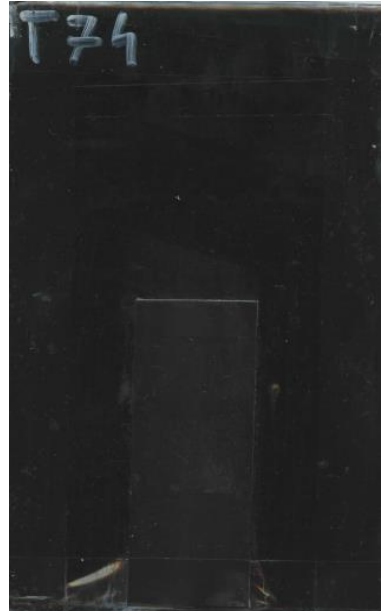
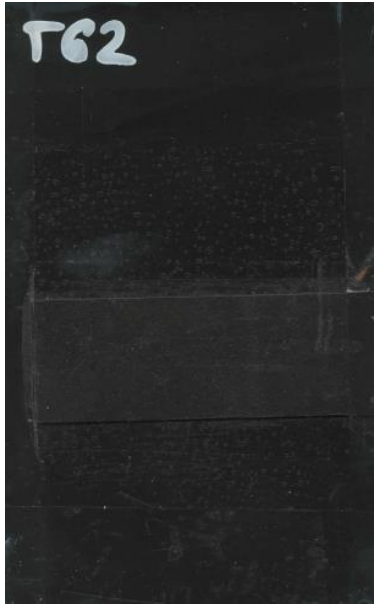




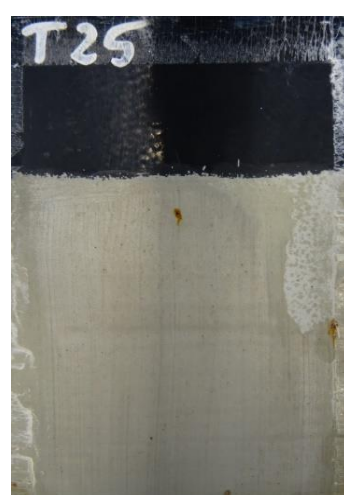
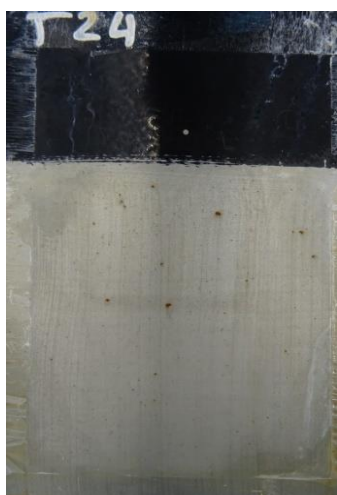
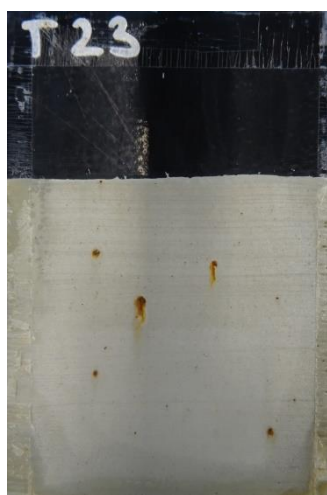
8.13 Vyhodnocení korozní odolnosti po expozici NORSOK 1000 hodin







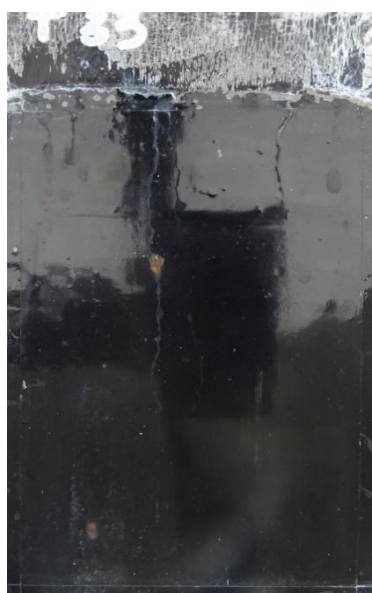
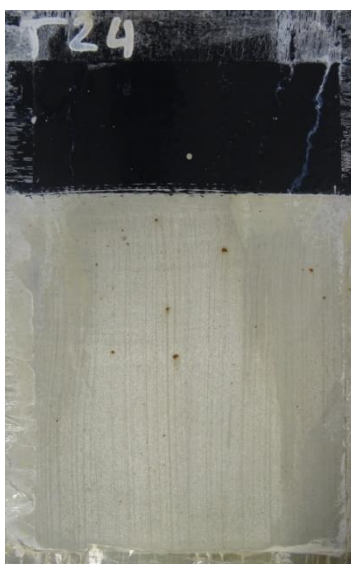
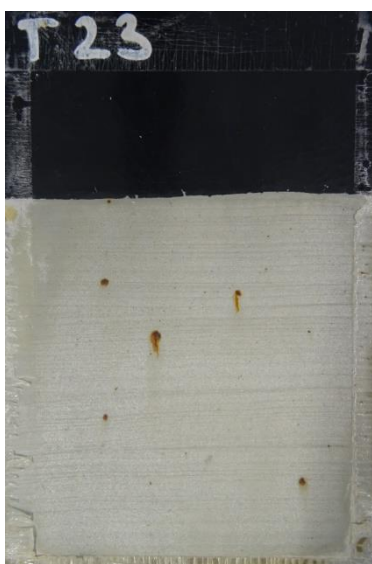
8.14 Vyhodnocení korozní odolnosti po expozici NORSOK 2000 hodin

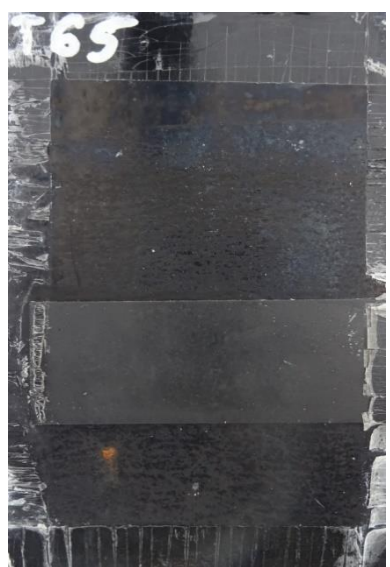
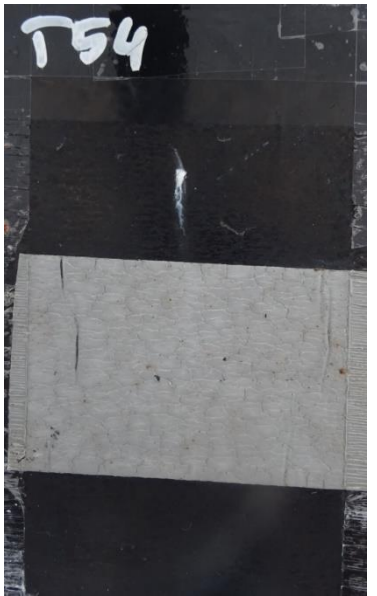






8.15 Vyhodnocení korozní odolnosti po expozici NORSOK 2688 hodin







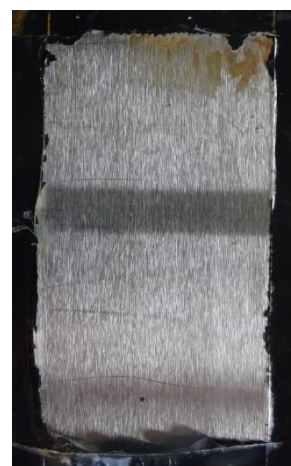
8.16 Vyhodnocení prokorodování v ploše podkladu



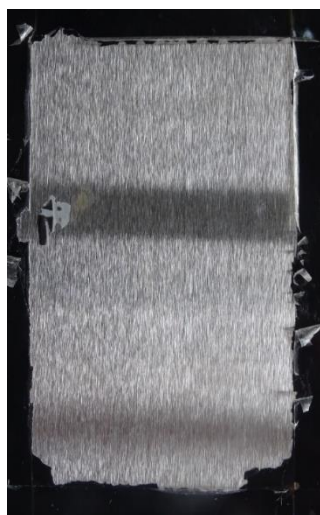
Zinkový nátěr v SO₂



Epoxidový nátěr v SO₂



Polyuretanový nátěr v SO₂



Epoxydový/Polyuretanový nátěr v SO₂



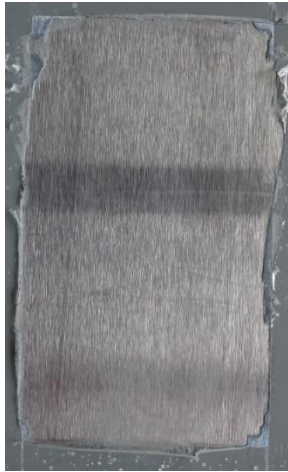
Polyuretanový/Epoxidový nátěr v SO₂



Asymetrický třívrstvý systém v SO₂



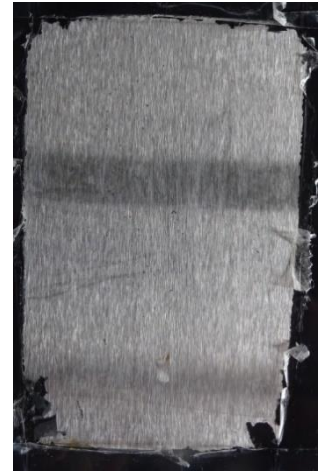
Dvoupáskový systém v SO₂



Zinkový nátěr
v kondenzaci



Epoxidový nátěr
v kondenzaci



Polyuretanový nátěr
v kondenzaci



Zinkový nátěr
v solné mlze



Epoxidový nátěr
v solné mlze



Polyuretanový nátěr
v solné mlze



Epoxidový/Polyuretanový nátěr v solné mlze



Polyuretanový/Epoxidový nátěr v solné mlze

Údaje pro knihovnickou databázi

Název práce:	Vlastnosti ochranných povlaků aplikovaných na ocelovém podkladu s vrstvou žárového zinku
Autor práce:	Dominik Řezníček
Obor:	Povrchová ochrana stavebních a konstrukčních materiálů
Rok obhajoby:	2020
Vedoucí práce:	prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.
Anotace:	Tato bakalářská práce je zaměřena na zkoumání vlastností ochranných povlaků aplikovaných na ocelovém podkladu s vrstvou žárového zinku. V této bakalářské práci byl zkoumán epoxidový povlak, polyuretanový povlak a povlak s vysokým obsahem zinku. U těchto organických povlaků byla stanovena jejich přilnavost k podkladu, korozní odolnost a jejich chemická a mechanická odolnost.
Klíčová slova:	žárové zinkování, koroze, epoxidový povlak, polyuretanový povlak