

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

**MECHANICKÉ PŘEDÚPRAVY ZINKOVÝCH
POVLAKŮ PŘED APLIKACÍ NÁTĚROVÉ
HMOTY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Kamil HYLÁK

Vedoucí práce: Ing. Jan KUDLÁČEK, Ph.D.

Akademický rok: 2016/2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci „Mechanické předúpravy zinkových povlaků před aplikací nátěrové hmoty“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce s použitím podkladů a informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu citované literatury na konci práce.

V Praze dne 9. července 2017

.....
Kamil HYLÁK

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za výborné vedení a odbornou pomoc při řešení diplomové práce. Dále bych také poděkoval Ing. Alexandrovi Sedláčkovi, Ph.D. ze společnosti S.A.F. Praha za vyhotovení vzorků pro praktickou část. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Ing. Michalu Zoubkovi a Ing. Jakubu Svobodovi za odbornou informovanost při vyhodnocení experimentální části.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

Program:	Strojní inženýrství
Obor:	Výrobní a materiálové inženýrství
Název diplomové práce:	Mechanické předúpravy zinkových povlaků před aplikací nátěrových hmot
Zadání:	<ol style="list-style-type: none">1. Rozbor problematiky lehkého tryskání a mechanické předúpravy2. Vliv korozního prostředí na duplexní systémy3. Vhodné kombinace nátěrových hmot pro zinkové povlaky4. Zkoušky pro duplexní systémy5. Technicko-ekonomické zhodnocení
Autor diplomové práce:	Bc. Kamil Hylák
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Rozsah diplomové práce:	Počet stran: 91 Počet obrázků: 29 Počet grafů: 3 Počet tabulek: 17 Počet příloh: 2

Anotace

Cílem diplomové práce je výběr vhodného tryskacího prostředku pro povlak žárového zinku nanášeného ponorem a zvolení vhodných organických nátěrových hmot pro vytvoření duplexního systému s dlouhodobou životností. V první části této práce je popsána problematika související s tvorbou duplexního systému. Druhá část diplomové práce je věnována experimentálnímu výzkumu, který se zabýval hodnocením kvality předúpravy zinkového povlaku a samotného duplexního systému. V rámci vyhodnocení kvality duplexního systému byla hodnocena přilnavost nátěrového systému a zrychlená korozní zkouška simulující reálné atmosférické podmínky. Výstupem jsou výsledky fyzikálněmechanických vlastností nátěrových systémů, korozní zkoušky a doporučení vhodného tryskacího prostředku.

Klíčová slova

Protikorozní ochrana, duplexní systém, lehké tryskání, sweepování, tryskací prostředky.

Annotitation

The aim of the thesis is to select a suitable blasting agent for the coating of hot dip galvanized zinc and to choose suitable organic coating materials to create a duplex system with a long life. The first part of this work describes the problems associated with creating a duplex system. The second part of the diploma thesis is devoted to experimental research, which deals with evaluation of quality of pre-treatment of zinc coating and the duplex system itself. In the evaluation of the quality of the duplex system, the adhesion of the organic paint system and the accelerated corrosion test simulating real atmospheric conditions were evaluated. The results of experiments is determination of the physico-mechanical properties of the coating system the corrosion tests and the recommendation of a suitable blasting materials.

Key words

Anticorrosive protection, duplex systém, light well blasting, sweep blasting, blasting materials

Obsah

<i>Úvod</i>	8
1. Rozbor problematiky lehkého tryskání a mechanické předúpravy	9
1.1. Mechanické předúpravy povrchu	9
1.1.1 <i>Broušení a leštění</i>	10
1.1.2 <i>Kartáčování</i>	10
1.1.3 <i>Omilání</i>	10
1.1.4 <i>Tryskání</i>	11
1.2. Duplexní systém	12
1.2.1 <i>Doporučení a pravidla při vytváření duplexního systému</i>	13
1.2.2 <i>Příprava zinkového povrchu při tvorbě duplexního systému</i>	14
1.2.3 <i>Příprava povrchu pro duplexní systém odmaštěním</i>	14
1.2.4 <i>Příprava povrchu pro duplexní systém pomocí konverzních vrstev</i>	15
1.2.5 <i>Příprava povrchu pro duplexní systém lehkým tryskáním</i>	15
1.3. Optimální podmínky lehkého tryskání	16
1.3.1 <i>Odolnosti zinkového povlaku proti abrazi</i>	16
1.3.2 <i>Tryskací zařízení</i>	17
1.3.3 <i>Tlak v trysce</i>	17
1.3.4 <i>Vzdálenost trysky od tryskaného povrchu</i>	18
1.4. Tryskací materiály	18
1.4.1 <i>Konvenční trykací prostředky</i>	18
1.4.2 <i>Nekonvenční trykací prostředky</i>	20
1.4.3 <i>Výběr trykacích prostředků pro porovnání v experimentální části</i>	21
1.4.4 <i>Umělý korund hnědý</i>	21
1.4.5 <i>Chromová korozivzdorná drť</i>	22
1.4.6 <i>Ocelová drť</i>	22
1.4.7 <i>Zinkový sekaný drát</i>	23
2. Vliv korozního prostředí na duplexní systémy	24
2.1 Životnost duplexního systému.....	24
2.2 Degradace nátěrového systému	25
2.2.1 <i>Adheze nátěrového filmu</i>	25
2.2.2 <i>Vliv tloušťky nátěrového systému na jeho životnost</i>	26
2.2.3 <i>Permeabilita nátěrového filmu a jeho propustnost</i>	26
2.2.4 <i>Chemická odolnost pojít v nátěrových hmotách</i>	27

2.2.5	<i>Faktory ovlivňující adhezi nátěrové hmoty k povrchu</i>	28
2.3	Koroze zinkového povlaku.....	28
2.3.1	<i>Koroze zinkového povlaku v atmosférickém prostředí</i>	29
2.3.1.1	Tvorba bílé rzi	29
2.3.1.2	Patina na zinkovém povrchu	30
2.3.2	<i>Koroze zinkového povlaku ve vodách</i>	31
2.3.3	<i>Koroze zinkového povlaku v půdách</i>	32
2.4	Vady zinkového povlaku - Tvrdý zinek ulpělý na povrchu povlaku zinku.....	33
2.5	Korozní zkoušky v umělých atmosférách.....	34
2.5.1	<i>Dlouhodobé korozní zkoušky v atmosférických stanicích</i>	34
2.5.2	<i>Zrychlené laboratorní zkoušky</i>	35
2.6	Principy při zrychlených korozních zkouškách organických nátěrových systémů	36
2.6.1	<i>Zkoušky v neutrální solné mlze použité v experimentální části</i>	36
3.	Vhodné kombinace nátěrových systému pro zinkový povlak	38
3.1	Charakteristika nátěrových hmot.....	38
3.1.1	<i>Nátěrový systém</i>	38
3.1.2	<i>Složení nátěrových hmot</i>	39
3.2	Základní nátěrové vrstvy duplexního systému	39
3.2.1	<i>akrylátové pryskyřice</i>	40
3.2.2	<i>Epoxidové pryskyřice</i>	41
3.2.3	<i>Práškové hmoty</i>	41
3.3	Vrchní nátěrové vrstvy duplexního systému	42
3.3.1	<i>Polyuretanové nátěry</i>	42
	Experimentální část	42
	Nátěrové hmoty použity v experimentální části.....	44
4.	Zkoušky kvality pro duplexní systémy	46
4.1	Analýza povlaku zinku a jeho morfologie.....	46
4.2	Metalografický výbrus zkušebních vzorků.....	50
4.2.1	<i>Metalografický výbrus vzorku 0129.6, NS Jotun, netryskaný</i>	50
4.2.2	<i>Metalografický výbrus vzorku 0129.2, NS Jotun – tryskaný sekaným Zn. drátem</i>	51
4.2.3	<i>Metalografický výbrus vzorku 0130.6, NS Colorlak - netryskaný</i>	52
4.2.4	<i>Metalografický výbrus vzorku 0130.2, NS Colorlak, tryskaný sekaným Zn. drátem</i>	53
4.2.5	<i>Metalografický výbrus vzorku 0131.6, NS Jotun, netryskaný</i>	54

4.2.6	<i>Metalografický výbrus vzorku 0131.2, NS Jotun, tryskaný korozivzdornou drtí.....</i>	55
4.3	Grafické znázornění vzorku z konfokálního mikroskopu.....	56
4.4	Analýza nátěrového systému	57
4.4.1	<i>Stanovení tloušťky organické nátěrové hmoty.....</i>	57
4.4.2	<i>Stanovení přilnavosti nátěrových systémů</i>	59
4.4.3	<i>Stanovení tloušťky celkového duplexního systému</i>	64
4.5	Korozní zkoušky duplexních systémů.....	64
	ČSN EN ISO 9227 Zkouška v neutrální solné mlze.....	65
	ČSN EN ISO 4628-2 Hodnocení stupně puchýřkování.....	65
	ČSN EN ISO 4628-8 Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu nebo jiného umělého defektu	65
	ČSN EN ISO 4628-3 Hodnocení stupně prorezavění.....	66
4.5.1	<i>Korozní odolnost zkušebních vzorků s nátěrovým systémem Jotun</i>	66
4.5.2	<i>Závěr k nátěrovému systému Jotun:</i>	70
4.5.3	<i>Korozní odolnost zkušebních vzorků s nátěrovým systémem Colorlak ...</i>	72
4.5.4	<i>Závěr pro nátěrový systém Colorlak</i>	75
4.6	Zkoušky přilnavosti nátěrových systému po expozici v solné komoře	76
5.	Technickoekonomické zhodnocení	80
5.1	Tryskací prostředky	80
5.2	Nátěrový systém	82
6.	Závěr	83
	Seznam použitých zdrojů.....	85
	Seznam tabulek	88
	Seznam obrázků.....	89
	Seznam grafů	90
	Seznam zkratk	91
	Seznam příloh	91

Úvod

Správné ošetření povrchu je dnes nejčastěji otázkou investic. Jeden z hlavních parametrů, který ovlivňuje životnost ocelových konstrukcí, je koroze. Může dojít k narušení statiky, a dokonce i kolapsu konstrukce. Je odhadováno, že koroze v České republice způsobí ztráty v ekonomice ve výši 4 až 5 procent HDP, což znamená škodu přesahující 200 miliard korun.

Těmto neblahým nákladům je možné předejít investicemi do efektivních technologií a správného ošetření povrchu před aplikací ochranných povlaků. Tato práce se zabývá dlouhodobou protikorozní ochranou, kde je použit kovový povlak s kombinací organického povlaku tvořící duplexní systém. Studium životnosti duplexního systému zahrnuje velkou řadu faktorů, ty nejvýznamnější z nich daly celkově podnět pro vznik experimentálního výzkumu. Cílem praktického výzkumu v rámci experimentu je nalezení vhodného tryskacího prostředku pro úpravu povrchu žárového zinku nanášeného ponorem technologií lehkým tryskáním před aplikací organických nátěrů. Výstupem by mělo být jak vhodné doporučení tryskacího prostředku na jakost povrchové úpravy s hodnotícím kritériem přilnavosti nátěrového systému, tak vyhodnocení zrychlené korozní zkoušky simulující životnost duplexního systému. V rámci testování byly vybrány nátěrové systémy od dvou výrobců stejné specifikace pro základní a vrchní krycí vrstvu. Cílem výzkumu je také porovnání kvalit nátěrových systémů rozhodujících o životnosti, přilnavosti a korozní odolnosti, která by měla přiblížit korozní chování v reálných podmínkách.

1. Rozbor problematiky lehkého tryskání a mechanické předúpravy

Z hlediska kvalitní a dlouhodobé protikorozní ochrany ocelových konstrukcí má předúprava povrchu velice důležitý význam. Zanedbání předúpravy se v mnoha případech projeví, a to nejen z hlediska nízké kvality protikorozní ochrany a degradace chráněného materiálu, ale také z hlediska ekonomie a vynaložených prostředků do oprav a renovací.

Předúpravy povrchu lze z technologického hlediska dělit následujícím způsobem:

- mechanické,
- chemické,

Níže popsané informace a zkušenosti budou věnovány především mechanickým předúpravám povrchu se zaměřením na technologii lehkého tryskání.

1.1. Mechanické předúpravy povrchu

Mechanické úpravy povrchu jsou pro některé výrobky dokončovací technologií, pro některé jsou pouze předúpravou, která má zajistit potřebnou jakost a kvalitu přípravy povrchu, například před ochrannými povlaky.

Tyto předúpravy povrchu nezajišťují výrobku přesný tvar, rozměr a vzhledové vlastnosti, ale vytváří určitou jakost povrchu hodnocenou drsností. Účelem těchto mechanických úprav je především:

- očištění povrchu pro vyhovující přilnavost,
- vytvoření podmínek pro zvýšení odolnosti proti korozi a opotřebení,
- odstranění nečistot z povrchu,
- vytvoření povrchu odpovídající vzhledovým požadavkům,
- zlepšení mechanických vlastností.

V praxi se mohou vyskytovat případy, kdy je vhodné zařadit před samotné mechanické předúpravy ještě chemické odmaštění v případě velkého znečištění tukovými produkty.

V řádu posledních let jsou na vzestupu technologie laserového čištění a předúpravy povrchu, které vynikají svojí rychlostí a efektivitou, ale z ekonomického hlediska jsou stále poměrně hodně nákladné v porovnání s konvenčními metodami. [1,2]

1.1.1 Broušení a leštění

Technologie broušení a leštění jsou používány především před vytvořením povlaku, zejména galvanickým pokovením, kde nerovnosti a povrchové vady výrazně vystupují na povrch a znehodnocují estetiku galvanické technologie. Další možností mohou být finální úpravy materiálu z hlediska estetiky i funkčnosti. [2]

Při těchto úpravách je povrch v jednotlivých operacích opracován postupně jemnějšími brusnými prostředky. Hlavním účelem technologie broušení je postupný úběr hrubých nerovností na povrchu materiálu (rýhy, švy odlitků aj.). Hrubé broušení se provádí bez kapaliny brusivem o zrnitosti 24 až 100. Při jemném broušení (zrnitost 120 až 140) se brusné kotouče promazávají kapalinou z důvodu snížení tření.

Technologie leštění souvisí s úběrem materiálu, při němž dochází k nižšímu úběru a navíc dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy. Jedná se o odstraňování nejjemnějších stop po předchozích operacích (rýhy po abrazivu) a je dosahováno hodnot drsnosti až Ra 0,1 μm.

Leštění se provádí jak u základního materiálu, tak u následných povrchových úprav, například u galvanických povlaků. Na výsledný lesk a optické vlastnosti má vliv leštící nástroj, jeho rychlost pohybu a použítá leštící pasta. Kromě tukové komponenty obsahují abrazivní látky i leštící pasty.[2,3]

1.1.2 Kartáčování

Povrchová úprava kartáčování se provádí především pro odstranění hrubých nečistot, volných korozních produktů, rzi nebo starých nátěrů, či matování povrchu, kde hlavním nástrojem je kartáč z rovných nebo vlnitých drátů.

Pro úpravu neželezných kovů se používají dráty z jiných vhodných materiálů, například mosazi, fosforového bronzu ad. Pouze kartáčováním nelze dosáhnout dokonalého odstranění korozních produktů v pórech v materiálu, proto se v dalším případě používá měkkých a pružných kartáčů z přírodních a umělých vláken, na nichž výborně lpí brusné pasty.[2]

1.1.3 Omílání

Omílání je způsob povrchové úpravy, který spočívá v úběru materiálu a jeho vyhlazování v důsledku vzájemných interakcí omílaných výrobků a omílacích

prostředků. Tato technologie je vhodná pro zpracování velkých sérií tvarově náročných a malých součástek (například bižuterie, špendlíky, přibory a jiné).

Výhodou této technologie je:

- odstranění namáhavého ručního broušení a leštění,
- snížení výrobních nákladů,
- zvýšení výrobnosti,
- snížení zmetkovitosti,
- zpevnění povrchu a zvýšení korozní odolnosti. [2]

Technologie omílání má však i některé nevýhody:

- nerovnoměrný úběr z povrchu předmětu (největší úběr na hranách),
- možnost poškození členitých výrobků.

Omílání se používá pro vyhlazování povrchů, jako brusná a leštící operace, dále k zaoblování hran, odstranění otřepů nebo okují, i k povrchovému zpevňování. Při aplikaci chemických prostředků do zařízení lze odrezovat, odmašťovat či pokovovat. [2]

1.1.4 Tryskání

Technologie tryskání je v dnešní době jednou z nejrozšířenějších mechanických úprav povrchu. Pod pojmem tryskání se rozumí opracování povrchu předmětu účinkem dopadajících zrn tryskacího prostředku, které působí většinou jako brusný materiál. Dopadem abrazivních zrn na předmět se mění jejich kinetická energie na práci formou opracování povrchu. Výsledný efekt se využívá při předúpravě, kdy hlavním cílem tryskání je dokonale očistit a optimálně zdrsnit povrch pro následné aplikace povrchových úprav dle ČSN EN ISO 8504-2¹. [4]

Při opracování povrchu tryskacím prostředkem lze zajistit odstranění korozních produktů, nežádoucích povlaků a vytvořit tak povrch o požadované čistotě a drsnosti pro následné povrchové úpravy. Tento dvojí účinek se docílí nárazem jednotlivých zrn tryskacího prostředku vysokou rychlostí na povrch upravovaného dílu. Podle druhu a velikosti použitého tryskacího materiálu se docílí požadovaný charakter a drsnost povrchu pro zakotvení následně aplikovaných povlaků. Pro většinu ochranných systémů jsou dány směrnice předúpravy povrchu, které specifikují optimální materiál, tvar a velikost použitého tryskacího prostředku i požadovanou čistotu a drsnost povrchu. Hlavní účel technologie tryskání je tedy odstranit nečistoty jakou jsou rez, okuje, staré povlaky apod. z povrchu součásti a vytvořit vhodnou mikrogeometrii povrchu.

¹ ČSN EN ISO 8504-2: (2002) Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Metody přípravy povrchu - Část 2: Otryskávání

Nedostatečné odstranění uvedených nečistot může vést ke vzniku koroze a jiného poškození povrchu. Rovněž mikrostruktura vytvořená na povrchu tryskáním hraje důležitou roli ve funkčnosti ochranného systému. Povlak, který tvoří se základním materiálem pouze mechanickou vazbu a samotná aplikace je provedena na hladký, pouze odmaštěný povrch, nemá zajištěnou dostatečnou přilnavost kotevním profilem a může docházet k místnímu odlupování, či degradaci ochranného povlaku. Drsnost povrchu musí být volena podle použitého druhu a tloušťky povlakového systému. [4]

Stlačování a deformování povrchu tryskáním je specializovaný obor, který se stal důležitý pro životnost mnoha dílů podléhajících především únavě.

Deformační technika tryskání se nazývá "shot peening" v překladu kuličkování nebo brokování. Zvýšená únavová pevnost kovových povrchů je dosažena tryskáním povrchu vysokým tlakem vybraných kulatých kuliček [5], které fungují jako malá kladívka a mechanicky tuto povrchovou vrstvu zpevňují. Změny způsobené kuličkováním v povrchové vrstvě zmenšují nebo dokonce mění nebezpečné tahové napětí, při kterém mohou vznikat trhliny, na příznivé napětí tlakové. Kuličkování zajišťuje při minimálních nákladech podstatné zvýšení některých mechanických, ale i korozních vlastností, jako jsou vrubová houževnatost, odolnost proti únavě a opotřebení, snížení rizika korozního praskání či potlačení mezikrystalické koroze. Tyto aspekty příznivě zvyšují celkovou životnost a spolehlivost součástky.[4]

Nejčastěji se lze s technologií kuličkování setkat v leteckém a automobilovém průmyslu, kdy tento proces má využití především při odstranění otřepů, ostrých hran a zvyšování pevnosti ozubených kol. Další aplikace kuličkování lze nalézt při opracování kovových odlitků a výkovků, v těchto případech poskytuje technologie čištění dílů, odstranění pórovitosti, povrchových vad a zlepšení celkového vzhledu.[4,5]

1.2. Duplexní systém

Duplexní systémy jsou systémy rozdílných chemických vlastností skládající se nejčastěji z žárově zinkovaného povlaku ponorem a povlaku nátěrových hmot. Žárově zinkování často poskytuje zcela uspokojivou protikorozi ochranu, avšak v určitých agresivních prostředích a podmínkách může být ochrana proti korozi účinnější. Duplexní systém je vhodný například pro kontinuálně žárově zinkované plechy, zinkový povlak je v tomto případě poměrně tenký a další povrchová úprava formou nátěrového systému velice prodlouží výslednou ochranu základního materiálu proti korozi. Nátěrový systém tvoří elektricky nevodivou mezivrstvu, pokud se má

pozinkovaná ocel spojit s jiným kovem, například s mědí, duplexní systém v tomto případě zajistí ochranu proti galvanické korozi. [6]

Tato kombinace povlaků poskytuje ocelovému povrchu vysokou protikorozní ochranu i v oblastech s nejvyšším stupněm korozní agresivity prostředí. Pro dosažení takto vysoké protikorozní ochrany je nutné dodržovat správné technologické postupy, doporučení norem apod., jak v procesu zhotovení povlaku žárového zinku, tak v procesu zhotovení nátěru. [7] více informací v kapitole 2 – životnost duplexního systému.

1.2.1 Doporučení a pravidla při vytváření duplexního systému

Z hlediska kvality jsou systémy duplex hodnoceny několika parametry a životnost celého systému s parametry synergie je ovlivněna především kvalitou nátěrového systému a aplikací na chráněný povrch. Nesmí být opomenuta také informovanost zinkovny, provádějící zinkový povlak nanášený ponorem, o následných aplikacích nátěrových systémů. Zinkovna i zhotovitel nátěrových systémů by měli dodržet určitá pravidla popsána níže, která mají podstatný vliv na celkovou kvalitu duplexního systému.

- *„Nechladit konstrukci ve vodě. Chladicí voda je zřídka čistá. Různé soli se mohou usazovat na zinkovém povrchu a později zhoršovat nebo zcela znemožnit přilnavost nátěrového systému.*
- *Po vytažení konstrukce ze zinkové lázně neskladovat v prostoru zinkovny. Ovzduší zde obsahuje větší nebo menší množství dýmu z tavidla (částice chloridu zinečnatého a amonného). Tyto částice ulpí na povrchu zinku a tvoří ve vodě snadno rozpustný film. Nátěr nanesený na tento film se vyznačuje výrazně sníženou přilnavostí.*
- *Neskladovat a nepřevážet konstrukce ve venkovním prostředí vystavené vlhké atmosféře. Riziko kondenzace vlhkosti, která způsobuje vznik bílé rzi, je veliké. Množství bílé rzi není v některých případech tak velké, aby bylo pozorovatelné prostým okem.*
- *Neskladovat konstrukce více než šest hodin mezi zinkováním a aplikací nátěru. Doba je přirozeně závislá na tom, jak čistý a suchý je vzduch ve skladovacím prostoru.“ [7]*

1.2.2 Příprava zinkového povrchu při tvorbě duplexního systému

Velmi důležitou operací před zahájením přípravy povrchu je posouzení, respektive kontrola povrchu, zda odpovídá všem parametrům kladených na jakost. Pokud je povrch žárového zinku v souladu s normou ČSN EN ISO 1461², popř. s doporučením technicko-kvalitativních podmínek, lze přistoupit k operaci přípravy povrchu před aplikací nátěru a vytvoření duplexního systému. [7] Nedodržením správného postupu při předúpravě zinkového povlaku, nebo nevhodný výběr nátěrových hmot vede ke snížení životnosti nátěrového systému a i celkové protikorozi ochrany ocelové konstrukce. Tento fakt se velice projeví především z ekonomické stránky, tím je myšleno především vynaložených nákladů na potřebnou opravu či rekonstrukci. Na obrázku 1 lze spatřit ztrátu adheze nátěrového systému chránící zinkový povlak, pravděpodobně vlivem nevhodné předúpravy, nebo nevhodně zvolené nátěrové hmoty.



Obrázek 1: Detail nevhodné adheze nátěrového systému, ukázka zábradlí ve venkovním, atmosférickém prostředí autobusového areálu Praha, ÚAN Florenc

Pro zajištění vhodné adheze ochranného nátěrového systému jsou aktuálně nejrozšířenější 3 metody předúpravy zinkového povlaku, které jsou popsány níže.

1.2.3 Příprava povrchu pro duplexní systém odmaštěním

Jedna z jednodušších příprav povrchu je chemické čištění, resp. odmašťování povrchu.

Tento způsob chemického čištění materiálu je vhodný pro odstranění všech ulpělých nečistot z povrchu materiálu, které jsou vázány fyzikální absorpcí nebo adhezivními

² ČSN EN ISO 1461: (2010) Žárové povlaky zinku nanášené ponorem na železných a ocelových výrobcích - Specifikace a zkušební metody

silami. K tomuto účelu existuje mnoho přípravků a technologií. Odmašťováním se docílí odstranění z povrchu materiálu různých mastnot, nečistot apod., ale nezajistí se požadované zdrsnění povrchu (kotvící profil) a zvětšení kontaktní plochy pro nátěrový systém. Vazba mezi povlakem zinku a nátěrovým systémem bude především chemická. Přesto má příprava povrchu odmašťováním ve specifické oblasti své uplatnění. [2]

1.2.4 Příprava povrchu pro duplexní systém pomocí konverzních vrstev

Konverzní vrstvy na bázi fosfátu a chromátu nejsou z ekonomického ani ekologického hlediska příliš výhodné, jak by se mohlo zdát. Tyto vrstvy se vytváří především pro vyšší korozní odolnost, ale vedle tohoto jevu vykazují i zlepšení přilnavosti organických povlaků. Chemické předúpravy jsou základním krokem způsobu výroby konverzních vrstev, zejména na ocelové, hliníkové a zinkové materiály. Díky těmto předúpravám je dosaženo zvýšení přilnavosti nátěrového systému a celkové odolnost proti korozi. Mezi nové alternativní úpravy povrchu lze zařadit povlaky na bázi oxidu zirkonia a titanu, které se během posledních let staly hlavním alternativním řešením k chemickým předúpravám na bázi chromu. [8]

Pro tyto aplikace se nejčastěji používají povlaky na bázi zirkonia a titanu vylučované z roztoků s obsahem fluorozirkoničitanů (Bonderite NT 1, TecTalis), ale také povlaky z předhydrolyzovaných organosilikátů (Dynasilan, Degussa ad.). [8,9]

V posledních desetiletích se ukázaly další perspektivní techniky, které dokážou poměrně dobře nahradit fosfátování a chromátování. Jedná se především o použití oxidu zirkoničitého na povrchu pomocí metody sol – gel nebo ponořením v kyselině hexafluorzirkoničité (H_2ZrF_6). Bylo zjištěno, že povlaky ZrO_2 o tloušťce 18 až 30 nm poskytují vyšší ochranu proti korozi oproti klasickým fosfátům na nízkouhlíkových ocelích a ve vrstvách do 50 nm nebo méně, vykazuje srovnatelnou odolnost s běžnými chromáty a fosfáty, což se pozitivně promítne i do přilnavosti nátěrového systému. Zmíněné úpravy povrchu lze provádět máčením, natíráním, nebo pneumatickým způsobem. [8,10]

1.2.5 Příprava povrchu pro duplexní systém lehkým tryskáním

Účelem tohoto otryskávání je pouze očištění nebo zdrsnění organických a kovových povlaků, nebo odstranění povrchové vrstvy nepřilnavého povlaku takovým způsobem, že přilnavé vrstvy povlaku zůstanou neporušené a zbylý povlak bude vykazovat dobrou přilnavost bez většího poškození. [11]

Mechanická soudržnost mezi povrchem s hodnotou drsností povrchu menší než Ra 0,5 μm , kterou převážně nový zinkový povlak disponuje a následným nátěrovým systémem je velmi nízká, což negativně ovlivňuje vlastnosti a dlouhodobou protikorozi ochranu. Lehké tryskání, někdy označováno jako „sweepování“ je tedy využíváno především pro nezbytnou změnu mikrogeometrie struktury a drsnosti povrchu, kde je zapotřebí nanést nátěrový systém. [6] Pro kvalitní výsledek předúpravy povrchu je zapotřebí dodržet několik zásadních parametrů:

- výběr tryskacího zařízení
- tlak v trysce
- vzdálenost a úhel trysky od tryskaného povrchu
- vhodný tryskací prostředek
- manuální zručnost pracovníka

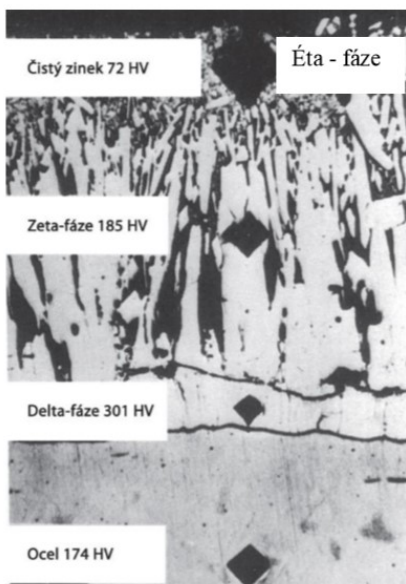
Při nesprávném průběhu tryskání může dojít k poškození zinkového povlaku a jeho znehodnocení. Vhodné podmínky je nutné korektně nastavit a vyzkoušet nanečisto. Více o podmínkách a samotných parametrech je uvedeno níže v kapitole 1.8.

1.3. Optimální podmínky lehkého tryskání

Vrstva žárového zinku nanášeného ponorem je závislá především na tloušťce a chemickém složení materiálu. Lehké tryskání zinkového povlaku by mělo zajistit mechanickou změnu povrchu s ohledem na nejmenší možný úběr zinkové vrstvy. Příliš silné mechanické opracování ničí a zmenšuje tloušťku povlaku zinkové vrstvy nebo vytvoří vnitřní pnutí, které může později způsobit odlupování vrstvy nátěrového systému. Při správně provedeném lehkém tryskání se odstraní cca 0-10 μm zinkového povlaku. [6]

1.3.1 Odolnosti zinkového povlaku proti abrazi

Čistý zinek je měkký kov, avšak i tak je tvrdší než většina organických povlaků. Slitinové fáze železo – zinek, které při žárovém zinkování vznikají, jsou naopak velmi tvrdé, tvrdší než běžná konstrukční ocel (obr. 2). Fáze železo – zinek proto snáší ořez výrazně lépe než čistý zinek. Pokus ukázal, že slitinová vrstva má odolnost vůči ořezu asi čtyři- až pětkrát vyšší než je tomu u vrstvy čistého zinku. [6]



Obrázek 2: Metalografický výbrus žárově zinkovaného vzorku ponorem a rozdíl tvrdosti jednotlivých fází tvořících zinkovou vrstvu, zkouška tvrdosti podle Vickerse. [6]

1.3.2 Tryskací zařízení

Lehké tryskání vyžaduje použití tlakovzdušného přístroje s regulací tlaku vzduchu, samotný princip tryskání využívá stlačeného vzduchu z kompresoru, který unáší abrazivní částice a uděluje kinetickou energii potřebnou pro opracování povrchu materiálu. Zařízení s pneumatickým pohonem tryskacího prostředku je pro tryskaný povrch materiálu šetrnější, než vrhání zrn tryskacího prostředku odstředivou silou z metacích kol. Všechny výše uvedené vzorky použité pro experimenty byly otryskávány na pneumatickém tryskacím zařízení PTZ 100 I od firmy S.A.F. [4,5]

1.3.3 Tlak v trysce

Před samotnou činností předúpravy lehkým tryskáním je důležité vyzkoušet efektivitu opracování povrchu nanečisto, rozdílné tryskací prostředky mají odlišnou hmotnost, čímž je ovlivněna kinetická energie abrazivních zrn a účinnost tryskání. Tlak v trysce je doporučen udržovat do hodnoty 0,3 MPa. [5] V rámci experimentálního výzkumu byl tlak nastavován dle tryskacího prostředku a pohyboval se v rozmezí hodnot

0,25 - 0,4 MPa. Vyšší hodnota tlaku by v případě experimentálního měření způsobovala nežádoucí úběr, nebo dokonce poničení zinkové vrstvy. [4,12]

1.3.4 Vzdálenost trysky od tryskaného povrchu

Účinnost tryskání je velice ovlivněna vzdáleností konce trysky od základního materiálu. S rostoucí vzdáleností jsou abrazivní částice více rozptýleny a energie pro následné mechanické opracování klesá. Pro lehké tryskání je optimální vzdálenost mezi tryskou a základním materiálem udržovat v rozmezí 250 až 350 mm, menší vzdálenost by znamenala vyšší úběr zinkové vrstvy. Podklad by měl být udržován při teplotě vyšší než 3 °C nad teplotou rosného bodu. Úhel, pod kterým dopadají zrna tryskacího prostředku, by se měl pohybovat v rozmezí 30 – 70 stupňů. Důležité je také zmínit, že podmínky (úhel trysky, vzdálenost od tryskaného povrchu) tryskaného předmětu by měli být konstantní, jen tak může být technologie tryskání provedena kvalitně a s určitou jakostí. Za tímto faktem jsou nezbytné dobré zkušenosti pracovníka provádějícího technologii lehkého tryskání. [4,12]

1.4. Tryskací materiály

1.4.1 Konvenční tryskací prostředky

Mezi hlavní typy kovů pro abrazivní účely patří především oceli a litiny, nejčastější zastoupení u litin je tvárná a tvrzená litina. Každý typ zmíněného tryskacího prostředku se vyrábí ve dvou tvarech zrna, kulaté a ostrohranné. Z těchto tří typů je ocel nejvíce používaný tryskací prostředek. Jednotlivá zrna po dopadu na opracováváný povrch mohou být přefiltrována a recyklována, znovu použití ocelových zrn se uvádí přibližně 200 krát, což příznivě ovlivňuje rozšíření použití tryskacího prostředku.

Tvrzené a tvárné litiny mají výdrž zhruba čtvrtinovou až poloviční než oceli, a tak je lze využít přibližně 50 až 100 krát. Trvanlivost zrn je závislá především na parametrech tryskání a materiálů, na který zrna dopadají, proto je nutné tento fakt zohlednit při výběru tryskacího prostředku. Úspory z recyklace jednoznačně upřednostňují abrazivní ocel, ale výběr typu materiálu tryskacího prostředku je především založen na více aplikačních faktorech. Tvrdost oceli se pohybuje v rozmezí 35 až 65 HRC, (HRC označuje tvrdost podle Rockwella), tvárné litiny 28-40 HRC, tvrzené litiny 57-68 HRC. Stejně jako u všech ostatních abraziv, struktura a drsnost povrchu je závislá od tvrdosti zrn tryskacích prostředků. Litiny jsou méně nákladné než ocel a jsou používány tam,

kde dochází k velkému úbytku tryskacího prostředku. Litina na bázi železa je křehčí a po interakci s povrchem dochází k lomu zrna, což způsobuje větší agresivitu opracování než u oceli. V případě ocelové drtě se částice při nárazu deformují a otupují, zatímco litinové částice železa jsou roztrženy na menší kusy. Jednotlivé velikosti zrn tryskacího prostředku jsou standardizovány na SAE specifikace. Velikosti rozměrů zrn jsou tedy od G-10 (2,0-1,7 mm), do G-120 (0,125-0,075 mm).

Kovové tryskací prostředky s kulatými zrny mají široké použití pro technologii kuličkování, což je řízený proces, kdy opracovávané díly jsou vystaveny tváření a změně mechanických vlastností po interakci kulatých zrn s povrchem.

Tryskací prostředky na bázi karbidu křemíku jsou nejtěžší, nejostřejší a cenově náročnější abrazivní materiály na trhu. Vzhledem k vysoké tvrdosti jsou značně křehké a jejich lámavost způsobuje zasekávání částic do tryskaného povrchu. Své uplatnění mají tam, kde je vyžadováno specifické povrchové struktury. Tato média jsou blízko k tvrdosti diamantu. Největší využití tohoto tryskacího prostředku je při odstraňování zbytků po tepelném zpracování z tvrzených a kalených částí dílu. Existují různé speciální povrchové úpravy a aplikace, kde je nutné zajistit potřebnou řeznou hloubku abrazivních částic.

Oxid hlinitý, neboli Al_2O_3 , známý také pod názvem korund, je s cenou a ostrostí zrn hned za karbidem křemíku. Využívá se především pro velmi náročné čištění, vzhledem k jeho ceně jsou tato média využívána v uzavřených tryskacích systémech, kde je možnost přefiltrování jednotlivých zrn a znovu použití tryskacího prostředku. Oxid hlinitý je velmi agresivní, vysoce výkonnostní tryskací prostředek. Existuje několik stupňů čistoty, které vyžadují minimální množství kontaminace z abrazivního materiálu. Přední využití oxidu hlinitého je v leteckém průmyslu, kde je významné použití pro čištění a odstraňování otřepů z titanu, hořčíku, a další ušlechtilých kovů, kde kontaminace železem z kovových tryskacích prostředků je při čištění nežádoucí.

Skleněné kuličky, jedinečný abrazivní materiál vyvinutý pro odstranění povrchové nečistoty bez ovlivnění rozměrové tolerance součástí. Poskytuje leštěný povrch a v některých případech i zpevnění součástí. Skleněné kuličky jsou vyrobeny z bezolovnatého, sodíko-vápenatého typu skla a neobsahují žádný volný oxid křemičitý. Tvar je téměř dokonale kulatý, takže je ideální pro kuličkování. Relativní tvrdost dle Mohsovy stupnice je 6 s velkým stupněm drobitosti, nicméně použití nižších tlaků při tryskání efektivně prodlouží životnost tryskacího média. Typické nastavení tlaku vzduchu pro skleněné kuličky v tlakových systémech jsou od 270 do 550 kPa.

Nadměrné tlaky skleněné kuličky roztrhají předčasně a zvýšená produktivita v žádném přiměřeném rozsahu nestoupne. Skleněné korálky se vyrábí ve velikosti od (1,68-1,41 mm) do (0,088-0,044 mm). [4,5]

1.4.2 Nekonvenční tryskací prostředky

Pšeničný škrob, drcené skořápky a kukuřičné klasy jsou tryskací prostředky poměrně zastaralé a jejich nahrazení drceným plastem získává aktuálně popularitu v aplikacích, kde je potřebné odstranit barvu a korozní povlaky bez narušení základního materiálu. Hranaté a pružné abrazivní částice se ukázaly jako účinné při odstraňování nežádoucích látek z lehkých tenkostěnných kovů a pokročilých kompozitů, bez materiálového poškození. Potenciální využití tryskacího prostředku z plastu lze nalézt v odstraňování nátěrů z mnoha tenkostěnných kovů, skleněných vláken a různých pokročilých kompozitních materiálů nebo i dřeva. Tato média jsou široce používána v automobilovém, leteckém a lodním průmyslu. Použití najdou také v elektronickém průmyslu pro čištění citlivých obvodových částí. Vzhledem ke schopnosti odstraňovat pouze povrchové povlaky, jsou tato media ideální pro čištění forem a přesného elektronického odhroťování.[4,5]

Suchý led, nazývaný také jako oxid uhličitý v tuhém stavu, se v dnešní době dostává poměrně do popředí hlavně díky bezpečnostním, ekonomickým a přísným požadavkům pro ochranu životního prostředí. V atmosférickém tlaku suchý led sublimuje a volně se odpařuje do atmosféry. Výroba spočívá ve stlačení a ochlazení CO_2 do kapalného stavu, následným snížením tlaku dochází k odpaření části kapalné fáze CO_2 a prudkému extrémnímu ochlazení, což má za následek vytvoření tuhé fáze. Tryskání suchým ledem patří mezi mechanické úpravy povrchu, kde hlavním cílem je zajistit odstranění korozních povlaků, mastnot a nečistot jako u ostatních abrazivních materiálů. Efektivita předúpravy povrchu spočívá především v teplotě suchého ledu (-79°C), při kontaktu částice s odstranitelnou nečistotou nebo povlakem dojde k rychlému ochlazení a zkrěhnutí, povlak je tímto efektem daleko snadněji odstranitelný. Částice suchého ledu jsou měkké a tak nedochází k porušení povrchu materiálu, po dopadu na povrch částice sublimují a nezůstávají v podobě nutně odstranitelného odpadu. Významným faktorem je, že čištění může probíhat takřka za běhu bez nutnosti přesouvat díly do tryskací haly nebo komory a tryskání lze provést většinou na místě. [13]

1.4.3 Výběr tryskacích prostředků pro porovnání v experimentální části

Požadovaný profil a drsnost povrchu jsou velice ovlivněny tryskacím materiálem. Výběr vhodného tryskacího prostředku pro šetrné tryskání ovlivňuje několik faktorů, abrazivní zrna by měla být především ostrohranná tak, aby jednotlivé interakce zrn s povrchem vytvářely ostrohrannou mikrostrukturu. [4] Velikost částic by měla mít rozsah 200 až 500 μm . Z anorganických tryskacích prostředků lze používat hliníkovo-hořčíkové silikáty. Ve velké míře mohou být použita také organická media, jako jsou drcené sušené kukuřičné klasy, skořápky vlašských ořechů, korundy, vápence a minerální písky.[5] Pro experimentální měření a porovnání účinnosti byly vybrány tyto tryskací prostředky:

- umělý korund,
- chromová korozi-vzdorná ocelová drť,
- ocelová drť,
- zinkový sekaný drát.

1.4.4 Umělý korund hnědý

V rámci experimentální práce byl vybrán korund hnědý, jedná se o ostrohranný tryskací prostředek označovaný také jako oxid hlinitý, vyznačuje se vysokou tvrdostí, zrna jsou kubického tvaru s ostrými hrany a měly by vytvářet optimální profil pro přilnavost nátěrových hmot. [14] Výrobce uvádí několikanásobnou recyklaci, v praxi se lze ovšem setkat s faktem, že zrno, které projde přes trysku zhruba 3 krát se roztrhne na menší částice a efektivita opracování povrchu se rapidně snižuje. Trvanlivost je dána především materiálem, na který zrna dopadají a stanoveným tlakem, který zrna unášejí. Tvrdost zrn podle Mohsovy stupnice tvrdosti odpovídá stupni 9. [14]

Chemické složení:

- $\text{Al}_2\text{O}_3 = > 95,0\%$,
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 = < 0,3\%$,
- $\text{TiO}_2 = < 3,0\%$,
- $\text{SiO}_2 = < 1,0\%$.

Velikosti zrn použitých v experimentu: granulometrie F40 (500-355) [μm]. [14]

1.4.5 Chromová korozivzdorná drť

Chromová drť, s přesným názvem Granonix, je korozivzdorný tryskáci ostrohranný prostředek vyrobený z kvalitního chromového ocelového granulátu s vysokým obsahem chromu. Využívá se především tam, kde je třeba dosáhnout vyššího abrazivního účinku v krátkém čase. Korozivzdorné tryskáci prostředky jsou určeny zejména pro tryskání odlitků, výkovek a povrchů, kde je nežádoucí povrchová kontaminace produkty železa způsobující možné korozní produkty. Struktura jednotlivých zrn je martenzitická s tvrdostí 600-800HV. [15]

Chemické složení:

- C = 2 - 2,5%,
- Cr = 28 - 30%,
- Si = 2 - 2,5%,
- Mn = 1 - 1,35%.

Velikosti zrn použitých v experimentu: granulometrie CrH30 (250-600) [μm]. [15]

1.4.6 Ocelová drť

Tryskáci prostředek z ocelové drtě je vzhledem ke svým vlastnostem velice účinný, a řadí se mezi nejúčinnější tryskáci prostředky. Zrna se vyrábí drcením ocelového granulátu, po němž následuje proces popouštění, kterým se docílí třech různých tvrdostí s optimální houževnatostí. Tento druh tryskáciho prostředku se používá při předúpravě nebo renovaci, kde je žádoucí vysoká efektivita opracování povrchu. Volba použití musí být adekvátně zvolena vzhledem k tryskanému materiálu, je nutné brát v úvahu možnou kontaminaci tryskaného povrchu od ocelových zrn. Jednotlivá zrna se vyznačují tvrdostí 58 – 60 HRC. [16]

Chemické složení:

- C = 0,85 – 1,20%,
- Mn = 0,50 – 1,20%,
- Si = 0,40 – 1,50%,
- P = < 0,05 %,
- S = < 0,05 %.

Velikosti zrn použitých v experimentu: granulometrie G80 (200-600) [μm]. [16]

1.4.7 Zinkový sekaný drát

Sekaný zinkový drát je poměrně šetrný tryskací prostředek, především kvůli své hmotnosti a tvrdosti. Využívá se pro tryskání a čištění hliníkových či zinkových forem nebo výrobků. Vzhledem k relativně nízké tvrdosti nedochází k úbytku materiálu na tryskaném předmětu. Při kontaminaci tryskaného povrchu zinkovými zrny nehrozí pozdější vznik korozních produktů. Jednotlivá zrna se vyznačují tvrdostí 40 – 50 HV.
[17]

Chemické složení:

- Zn = 99,9%,
- Al = < 0,001%,
- Cu = < 0,002%,
- Pb = < 0,005%,
- Fe = < 0,003%.

Velikosti zrn použitých v experimentu: sekaný válcový tvar délky 0,4mm a Ø0,4mm.

[17]

2. Vliv korozního prostředí na duplexní systémy

2.1 Životnost duplexního systému

Z hlediska dlouhodobé protikorozní ochrany se systémy duplex řadí mezi jedny z nejlépe fungujících ochran. Nátěrový systém brání vlivem vnějšího prostředí erozi patiny pokrývající zinkový povlak a chrání ho proti korozi. Při tomto jevu pasivovaný zinek nesnižuje adhezi nátěrového systému k substrátu, jak by tomu bylo v případě nanesení nátěru přímo na ocel. Systém je tak dlouho intaktní vůči koroznímu prostředí, dokud nátěrová hmota nedegraduje natolik, že se začne rozpadat.

Kombinace kovového povlaku a organické NH tvoří takzvaný synergický efekt, kdy životnost duplexního systému se uvádí jako 1,5 až 2,3 násobek součtu životností obou systémů. Hodnotu násobku určí prostředí, ve kterém výrobek bude exponován. Výsledkem synergie je životnost, která je vyšší než součet obou životností povlaků. V praxi je životnost ovlivněna několika faktory:

- typ organického povlaku,
- konstrukční řešení,
- stupeň přípravy povrchu – přítomnost solí, mastnoty, prachu, znečištění
- kvalita prací při přípravě povrchu před žárovým zinkováním a aplikaci NH,
- úroveň a kvalita prací při žárovém zinkování ponorem,
- úroveň a kvalita prací při nanášení organického povlaku,
- podmínky při vytváření, nanášení organického povlaků,
- podmínky vytvrzení organického povlaku,
- podmínky expozice organického povlaku v okolním prostředí,
- způsob, kvalita a četnost údržby ocelové konstrukce, apod. [18]

Samotná ochrana konstrukce povlakem zinku je velice účinná a vedle bariérové ochrany základního kovu tvoří také ochranu katodickou, elektrochemickou. Organické nátěrové hmoty tvoří ochrannou bariéru, která má především za úkol zabránit zinkovému povlaku přirozené, samovolné rozpouštění a zmenšování tloušťky povlaku. Korozní děj probíhající na zmíněném systému ochrany má několik fází. Charakter korozního jevu a celkové životnosti duplexního systému je závislý na použitém nátěrovém systému, jeho propustnosti a možné degradaci. Expozice v agresivním chemickém prostředí, například vystavení účinků posypových solí, nebo kondenzaci vody, má obvykle za následek propouštění par skrze nátěrový systém. [6] Na zinkovém

povlaku začínají reakce, které lze popsat tvorbou bílé rzi a patinového efektu, což může vyvolat postupné puchýřování nátěrového systému, ztrátu adheze, až konečnou degradaci nátěrových vrstev. Pokud je nátěrový systém více odolný vůči propustnosti par, má duplexní systém životnost závislou především na časové degradaci nátěrových hmot vlivem chemických účinků a korozního prostředí. Zinkový povlak je po degradaci nátěrového systému takřka bez ochrany odkryt a exponován bez ochranného nátěrového systému.

2.2 Degradace nátěrového systému

Při expozici okolního prostředí se složkami ochranného filmu NH (nátěrové hmoty) může dojít k několika způsobům transportu pronikajícího (difuzního) prostředí filmem a k následným reakcím uvnitř filmu i na jeho povrchu. Mezi tyto vlivy lze zařadit difuzi v okolí inertních i reaktivních pigmentů, vliv hustoty makromolekulární sítě na fyzikální proces difuze, vliv chemických reakcí probíhajících uvnitř filmu, tvar pigmentových částic a jejich velikost, vliv teploty na difuzní i reakční pochody uvnitř filmu. [19]

2.2.1 Adheze nátěrového filmu

Jestliže je nátěrový systém exponován ve vlhkém prostředí a voda proniká přes povlak NH až ke kovovému podkladu, dochází v některých oblastech nátěrového filmu k oddělení od kovového povrchu. Voda a v ní rozpuštěný kyslík jsou pak v přímém kontaktu s kovovým povrchem, nastává proces koroze, který lze pozorovat tvorbou puchýřků. Takový nátěrový systém má potom nízkou přilnavost ve vlhkém prostředí. Prvním krokem, jak dosáhnout dobré přilnavosti, je samotná předúprava kovového povrchu. Nejdůležitější je odstranění organických nečistot, solí, korozních zplodin a v neposlední řadě zajištění mechanické soudržnosti s NH. [19]

Přilnavost nátěru zvyšuje také přítomnost polárních skupin ve struktuře polymerního pojiva, a to především s aminovými skupinami. Dalším faktorem pro zvýšení adheze nátěru může být odolnost pojiva proti hydrolýze. Hydrolýza esterových skupin vede ke snížení adheze vlivem degradace pojivového systému. Hydrolýze poměrně odolávají epoxy-fenolické, epoxy-aminové, epoxy-esterové a další pryskyřice, které mohou být vhodnou volbou při návrhu duplexního systému. Ve vodě rozpustné látky, které jsou obsaženy v nátěru, zvyšují jeho nasákavost a tím podporují tvorbu puchýřů. Tento důsledek vyvolávají například i antikorozní pigmenty, které působící v anodické

pasivační oblasti, kde je pro jejich funkci potřebná částečná rozpustnost. Přilnavost nátěru závisí také na stupni pigmentace, vzrůstá-li hodnota objemové koncentrace pigmentů a plniv, přilnavost nátěru k podkladu klesá. Adhezi rovněž ovlivňuje i doba zasychání nátěru a jeho tloušťka. Čím je delší doba zasychání a čím menší je tloušťka nátěru (vzniká nižší vnitřní pnutí), tím je dosaženo lepších hodnot přilnavosti. [19]

2.2.2 Vliv tloušťky nátěrového systému na jeho životnost

Ochranná schopnost a s tím související životnost nátěrů je přímo úměrná tloušťce nátěrového systému. Nátěry, které jsou určené k ochraně kovů uvnitř budov v čistém prostředí, mohou být poměrně tenké. Ale nátěry (zasychající na vzduchu), které jsou vystaveny vnějšímu ovzduší, zejména znečištěnému, musí mít tloušťku přesahující hodnotu 100 μm . S rostoucí tloušťkou nátěru se zvětšuje bariéra a agresivní látky nemohou tak snadno pronikat k chráněnému kovovému povrchu. Je samozřejmé, že pro dosažení obdobné životnosti nátěrů o různé pojivové bázi je zapotřebí jejich rozdílné tloušťky. Optimální tloušťka nátěru je v mnoha případech ovlivňována jeho propustností pro vodu. Čím více je nátěr pro vodu propustnější, tím větší musí být jeho tloušťka, aby měl požadovanou odpovídající životnost.

U vícevrstvých nátěrových systémů dochází se zvyšováním počtu vrstev k překrývání pórů, a tím k omezení průniku agresivních látek k chráněnému povrchu. Tloušťka nátěrů potřebná k zajištění odpovídající životnosti závisí především na druhu pojiva a na prostředí, kde jsou exponovány. Při exponování nátěrů povětrnostním účinkům ubývá jejich tloušťka vlivem destrukce nátěru především abrazivním mechanismem. Je nutné také poznamenat, že u nátěrů příliš tlustých (nad 250 μm) se již značně uplatňuje vnitřní pnutí, které vede ke snížení jejich přilnavosti, vzniku trhlinek, popřípadě jinému narušení celistvosti povlaku. U výrobků, kde je požadavek na hladký povrch, nelze často vystačit s nátěrovým systémem zahrnujícím základní, podkladový a vrchní nátěr. V takových případech musí být použity vyrovnávací tmely, které obsahují mnohem více plniv a pigmentů než nátěrové hmoty. [19]

2.2.3 Permeabilita nátěrového filmu a jeho propustnost

Výrobci nátěrových hmot se snaží dělat výrobky, které jsou vůči propustnosti stále více imunní. Nátěrový film má ale vždy určitou propustnost, která dovoluje agresivním látkám (voda, kyslík, ionty) pronikat k povrchu kovu, kde následně způsobují korozi.

Agresivní látky mohou pronikat k povrchu substrátu několika způsoby. Důležitým prvkem morfologie filmu je porozita. Z tohoto hlediska existují malé a velké póry, malé póry mají velikost 1 - 5 nm nebo méně, vznikají a zanikají při pohybu segmentů řetězců v teplotách nad hodnotou skelného přechodu (T_g). Tento systém s malými póry se nazývá jednofázový. „*Teplotní závislost propustnosti filmu odráží teplotní závislost mobility řetězců. Jestliže agresivní látka proniká filmem takto vzniklými póry, hovoříme o aktivované difuzi. Polymery, které vykazují velkou pohyblivost řetězců (elastomery), podporují aktivovanou difuzi. Naopak, čím vyšší je hustota polymerní sítě, tím nižší je rychlost aktivované difuze, neboť výrazně klesá pohyblivost řetězců a jejich segmentů.*“ [19] Systém s velkými póry je označován jako dvoufázový. Velké póry jsou statické elementy s tvarem závislé na teplotě. Samotná závislost propustnosti takového systému na teplotě je víceméně závislá na vlastnostech látky, která má do nátěru difundovat.

V rámci experimentální práce, konkrétně v kapitole číslo 4.5 (korozní zkoušky duplexních systémů), si lze povšimnout nízké odolnosti proti propustnosti nátěrového systému Colorlak, který vlivem propustnosti vody a jiných složek výrazně snížil adhezi ke chráněnému povrchu, viz obrázek číslo 21 a 23. [19]

2.2.4 Chemická odolnost pojiv v nátěrových hmotách

Důležitým faktorem ochrany kovů proti korozi je chemická odolnost polymerních pojiv, neboť nekorodují jen kovy, ale i polymery - dochází k chemické korozi, degradaci. Chemickou odolnost organických povlaků lze definovat jako fyzikálně-chemické interakce mezi filmotvornými složkami povlaku a okolním prostředím, které vedou ke změnám vlastností povlaků. Při interakci prostředí s pojivem nastává:

- transport média k povrchu polymeru,
- sorpce média na povrchu polymeru,
- difuze média do polymeru mechanismem aktivované nebo neaktivované difuze,
- fyzikální, chemická nebo fyzikálně chemická interakce média s polymerem,
- difuze reakčních zplodin na povrch polymeru,
- difuze zplodin z povrchu polymeru do okolního prostředí.

Chování a charakter uvedených jevů je převážně ovlivněn teplotou a zesíťováním příslušného polymeru. [19]

2.2.5 Faktory ovlivňující adhezi nátěrové hmoty k povrchu

U ochranných nátěrů na kovech se ve vlhkém prostředí často tvoří působením velkého osmotického tlaku puchýřky naplněné kapalinou. Vznikají především, když osmotický tlak je tak vysoký, že překoná přilnavost nátěru k podkladu. Takové puchýřky se za jinak stejných podmínek tvoří snáze a ve větší míře u nátěrů na duralu a zinku než na oceli. Lze z toho vyvodit, že přilnavost nátěrů k oceli je obecně větší než k duralu a zinku. U některých druhů nátěrů lze adhezní mechanismus ochrany považovat za primární. Povlaky, které chrání tímto způsobem, neztrácejí adhezi během dlouhé doby působení agresivního prostředí a zabraňují adsorpci složek prostředí na rozhraní nátěr-kov, nejčastěji jde o vodu.

Přilnavost pigmentovaných nátěrů je ovlivňována jejich objemovou koncentrací. Největší přilnavost mají nátěry při optimálním obsahu pigmentů, zvýšením objemové koncentrace pigmentu se přilnavost mění. Závislost přilnavosti na obsahu pigmentu je řízena mnoha různými faktory, proto zatím nelze danou otázku přesně zodpovědět. Jisté ovšem je, že při překročení kritické objemové koncentrace pigmentu se přilnavost zhoršuje.

Přilnavost nátěru závisí též na době jeho zasychání, pro získání optimální hodnoty přilnavosti je nutná přítomnost určitého minimálního množství vodní páry v prostředí, jemuž je nátěr vystaven. Při hodnotě relativní vlhkosti blízké se nule lze u některých typů nátěrů pozorovat snížení přilnavosti. Přilnavost nátěrů závisí na jejich tloušťce, jak bylo psáno výše. Obecně je přilnavost ke kovovému povrchu podmíněna buď vznikem primárních chemických vazeb reakcí kovu se složkami organického povlaku, nebo sekundárních vazeb, jako jsou van der Waalsovy síly. Proto je nutné brát v úvahu vhodnost nátěrových hmot pro zinkový povlak při vytváření duplexních systémů. [19]

2.3 Koroze zinkového povlaku

Korozní chování a degradace nátěrového systému byla popsána výše, viz kapitola 2.2. Po selhání a degradaci nátěrových vrstev je koroze zinkového povlaku obdobná, jako v případě exponovaného zinkového povlaku bez ochranného organického systému. Níže bude popsána problematika o expozici povlaku žárového zinku nanášeného ponorem v okolním prostředí.

2.3.1 Koroze zinkového povlaku v atmosférickém prostředí

Koroze zinkového povlaku má charakter samovolného rozpouštění a úbytku zinkového povlaku dle způsobu expozice v korozním prostředí. Ačkoliv zinek paradoxně slouží k ochraně oceli proti korozi, je nutno zdůraznit, že se sám naopak vyznačuje poměrně nízkou korozní odolností a stává se tak obětovanou anodou. Tento jev je dán elektrochemickým potenciálem, který je nižší než v případě chráněného železa. Princip ochrany oceli proti korozi nanesením povlaku z roztaveného zinku spočívá ve schopnosti zinku přirozeně se pasivovat. Na povrchu zapasivovaného kovu existuje i tenká vrstva hydratovaných oxidů, která má amorfní až mikrokystalický charakter, je obvykle elektronově vodivá a její složení je dáno podkladovým materiálem. Pasivní vrstva se postupně obohacuje o některé prvky tvořící stabilní oxidy. [19]

Nestabilní oxid zinku se za příznivých podmínek (suché atmosférické prostředí) působením vzdušného oxidu uhličitého přeměňuje na stabilní uhličitán zinečnatý. Tato sloučenina vyniká velmi dobrou mechanickou i chemickou odolností, je konzistentní a spolehlivě izoluje zinek od korozního prostředí. Dostatečná vrstva, schopná účinně chránit základní kov, se na zinkovém povlaku vytvoří v průběhu několika týdnů po pozinkování. Do té doby je vhodné předcházet ovlhčení povrchu pozinkovaných součástí. [20]

Potenciodynamické výzkumy zinkovacích slitin vykazaly, že všechny legující přísady, bez ohledu na konfiguraci ve slitině zinku, způsobují snížení odolnosti proti korozi. Nejmenší hodnoty korozního proudu byly zaregistrovány pro čistý Zn, nejhorší odolností proti korozi se vykazuje slitina zinku obsahující přísadu Pb. [21]

2.3.1.1 Tvorba bílé rzi

Vzhledem k tomu, že i duplexní systém má svoji životnost a nátěrové hmoty chránící zinkový povlak mohou po čase degradovat, nebo být mechanicky poškozeny, nastává expozice zinkového povlaku okolnímu prostředí. Chování, stav a vzhled zinkového povlaku bude záviset především na charakteru korozního prostředí. Nejčastěji nastává stav, kdy je zinkový povlak pokryt vrstvou „bílé rzi“.

Čistý zinek vystavený působení atmosférických vlivů okamžitě oxiduje a pokrývá se vrstvou nestabilního oxidu zinečnatého. Při následném ovlhčení se oxid zinečnatý přeměňuje na hydroxid zinečnatý, který se na zinkovém povlaku projevuje, jako bílý voluminózní poprašek, viz obrázek číslo 3. Korozní produkty zinku postihující

pozinkované součásti jsou proto obecně nazývány jako bílá rez, ale mohou mít v závislosti na příčinách i odlišné chemické složení a barevný odstín. [22]

Bílá rez představuje především dočasné vizuální poškození povlaku, má přechodný charakter a nesnižuje odolnost systému proti korozi. Působením povětrnostních vlivů dochází postupně k erozi povrchové vrstvičky solí na zinkovém povlaku a bílá rez je erozním způsobem odstraněna. V obvyklých podmínkách atmosférické expozice je úbytek zinkové vrstvy v důsledku poškození bílou rzi zanedbatelný a prakticky nemá vliv na výslednou životnost protikorozního systému. Postupný úbytek pasivační vrstvičky uhličitanu zinečnatého vlivem eroze působením vnějšího prostředí je plynule nahrazován na úkor povlakového kovu naneseného na ocel. [20] [23]



Obrázek 3 - Vzhled bílé rzi (hydroxidu zinečnatého) na povrchu zinku [22]



Obrázek 4 - Vzhled patinového efektu na povrchu zinku [22]

2.3.1.2 Patina na zinkovém povrchu

Světlý a lesklý povlak žárového zinku si svůj vzhled po celou dobu své životnosti neuchová, jestliže je povlak bez ochrany exponován v agresivním korozním prostředí, pokrývá se v průběhu několika měsíců patinou, viz obrázek číslo 4. Tento povrch je převážně tvořen uhličitánem zinečnatým, který vzniká přeměnou oxidu zinečnatého, hydroxidu zinečnatého (bílá rez), nebo hydrogenuhličitanu zinečnatého při rovnovážných podmínkách, za spolupůsobení vzdušného oxidu uhličitého. Vznik patiny je také závislý na čase, pokud je rychlost tvorby hydroxidu zinečnatého vyrovnána s rychlostí jeho přeměny na uhličitan zinečnatý, pokrývá se zinkový povlak patinou.

Patinový vzhled je důsledkem přirozené pasivace zinkového povlaku, v této fázi je také snížena rychlost korozního úbytku zinku. Jestliže povlak žárového zinku chrání nátěrový systém, pronikající vlhkost způsobí pasivaci zinku a zastavení koroze.

Nátěrový systém tedy brání úbytkům zinkové patiny na rozhraní mezi zinkovým povlakem a nátěrovou hmotou. Zmíněným efektem je koroze zinku pod patinou zastavena. Patinového efektu si lze všimnout v kapitole 4, která je věnována hodnocení kvality duplexního systému, kde mimo jiné v rámci experimentu probíhaly korozní zkoušky v neutrální solné mlze, a tvorba patinového povlaku byla jedním z hodnocených parametrů koroze zinkového povlaku. [22] [6]

2.3.2 Koroze zinkového povlaku ve vodách

Korozního prostředí ve vodách zahrnuje nejen chemicky čistou vodu, ale především nejrůznější slabě koncentrované vodné roztoky s obsahem látek, které se do vody dostávají při jejím koloběhu a to jak v přírodě, tak v průmyslu. [19]

Obdobně jako při korozi na vzduchu se po ponoření zinkového povrchu do vody většinou vytvoří ochranná vrstva korozních produktů. Vody mohou být kyselé nebo alkalické povahy a mohou obsahovat rozpuštěné nebo pevné agresivní látky. Velký význam má i rychlost proudění a teplota vody. Pokud proudí voda rychlostí vyšší než 0,5 m/s, brání tím vzniku ochranné vrstvy na povrchu zinku a koroze je rychlejší. Tyto faktory společně způsobují, že ochranná vrstva může mít nejrůznější složení, nebo se nemusí dokonce vytvořit vůbec. Při překročení teploty cca 55 °C získává ochranná vrstva korozních produktů hrubozrnnou strukturu a ztrácí přilnavost k zinkovému povrchu. Korozní produkty pak snadno odpadávají a odhalují nový, čistý povrch zinku pro další napadení. Největší význam na korozní děj má hodnota pH dané vody. Rychlost koroze zinku je běžně relativně stabilní v rozsahu hodnot pH mezi 5,5 a 12,5 a při teplotách od 0 do 20 °C.

Elektrochemická koroze na vzduchu hraje druhořadou roli, ve vodách má ovšem zásadní význam. V závislosti na hodnotě elektrické vodivosti vody dochází k elektrochemické korozi, a tím i ochrannému působení zinkové vrstvy na větší či menší část povrchu. V ojedinělých případech může také dojít ke změně polaritě mezi zinkem a ocelí, ocel se stane v tomto článku anodou (rozpuštějící se elektroda). V takovém případě hrozí nebezpečí bodové koroze. Změnu polaritě potlačuje kyselina uhličitá, sírany a chloridy. [6]

Agresivita vody je dále ovlivněna obsahem kyslíku, množstvím a typem rozpuštěných solí (solí ve vodě mají pozitivní vliv na tvoření ochranné vrstvy), přítomností organických látek a mikroorganismů, a obsahem pevných částic. Z plynů

rozpuštěných ve vodě má největší vliv na korozi kyslík, koroze ve vodách je většinou řízena rychlostí redukce kyslíku. Kyslík není jen stimulatorem koroze, ale může podporovat i tvorbu ochranných vrstev, případně může korozi omezovat.[19] Ochranné vrstvy zinkového povlaku lze vidět při korozních zkouškách v kapitole 4, přesněji na obrázku 16.

2.3.3 Koroze zinkového povlaku v půdách

Pro korozní agresivitu půdy je nejvýznamnější obecně její typ a soudržnost, homogenita, vlhkost, chemické složení půdního elektrolytu, pH a redox potenciál, tlumivá kapacita, kolísání spodní vody. Podle těchto kritérií lze na základě řady metodik odhadnout korozní agresivitu půdního prostředí.

Korozní napadení kovových materiálů v půdě je víceméně závislé na přítomnosti vlhkosti. Půdy obsahují 15 – 35 % vody. Toto rozmezí kolísá v časových intervalech, v souvislosti s měnicími se meteorologickými podmínkami. Závisí také na charakteru konkrétní půdy, na její pórovitosti, propustnosti, schopnosti vodu zadržovat, na sklonu k vysychání či k převlhčení, množství srážek a výparu. Pro průběh korozního děje v půdě je nezbytná přítomnost půdního elektrolytu. [19] [6]

Tabulka 1- Agresivita korozního prostředí v půdách. [6]

Druh půdy	Agresivita
vápencová, vápencový slín, morénová, pískovcový slín	malá
píscitá, štěrkovitá	střední
jílovitá, rašelinná, slatinná, bohatá na humus	velká

Základní informace o korozním chování kovů lze získat z ustanovení ČSN EN 12501³ Ochrana kovových materiálů proti korozi – Pravděpodobnost koroze v půdě.

Posouzení zahrnuje faktory:

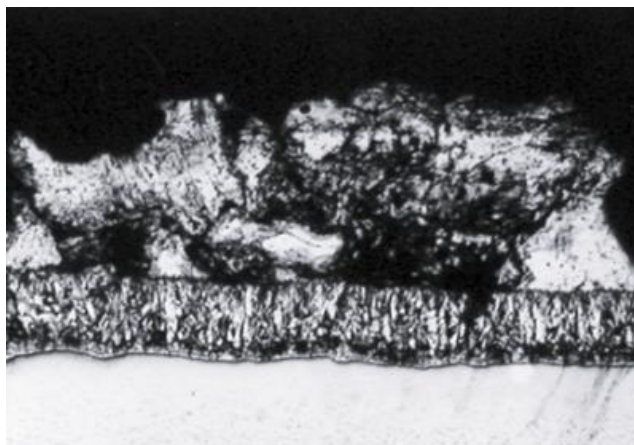
- parametry půdy (pH, obsah solí, obsah vody, měrný odpor, homogenita, složení),
- charakteristiky nechráněné konstrukce (materiál, geometrie, provozní podmínky),

³ ČSN EN 12501-1: (2003) Ochrana kovových materiálů proti korozi - Pravděpodobnost koroze v půdě - Část 1: Obecné zásady

- činitele prostředí. [6]

2.4 Vady zinkového povlaku - Tvrdý zinek ulpělý na povrchu povlaku zinku

Při žárovém zinkování dochází ke vzájemnému rozpouštění železa a zinku. Proces tvorby tvrdého zinku samozřejmě neprobíhá pouze v povrchové vrstvě dílu, ale i v zinkové tavenině. V roztaveném stavu vykazuje kašovitý charakter a má mírně větší specifickou hmotnost než zinek. Usazuje se na dně vany a je zapotřebí ho pravidelně vybírat. U rozměrného dílu, kde není možnost při vynořování ze zinkové lázně na určitých plochách dosáhnout dostatečně rychlého odplavování vytvořeného tvrdého zinku z povrchu, nelze vyloučit ulpívání drobných krupiček v podobě puchýřků na povrchu, viz obrázek 5. [23] [29]



Obrázek 3 - Metalografický výbrus povlaku zinku s hrudkou tvrdého zinku naplavené na povrchu [29]

Tvrdé hrudky zinku ulpělé na povrchu zinkového povlaku mohou přinášet negativní účinky při korozní odolnosti duplexního systému. Jedním z důvodů je samotné chemické složení tvrdého zinku, které má vysoký obsah železa, což může znamenat riziko prvních korozních produktů. Ve spojení s ochranným nátěrovým systémem není nad hrudkou tvrdého zinku dostatečná vrstva nátěrové hmoty a tak je toto místo primárně určeno pro výskyt koroze. Tento fakt byl v rámci zkoušek kvality duplexního systému víceméně potvrzen, a v kapitole číslo 4. je o tomto jevu více informováno.

Odstranění tvrdého zinku může být jeden z důvodů, proč provádět lehké tryskání. Pokud zrna tryskacího prostředku dopadnou pod vhodným úhlem a nastane interakce s tvrdým zinkem, je velká pravděpodobnost, že dojde k jeho odstranění, pokud není

ukotvený hluboko v zinkovém povlaku. V případě neúspěchu odstranění při tryskání lze tvrdý zinek odstranit mechanický způsobem dle normy ČSN EN ISO 8501-3⁴.

Výskyt tvrdého zinku se dá minimalizovat správným postupem při zinkování. U rozměrné součásti při vynořování ze zinkové lázně může být obtížné dosáhnout dostatečného sklonu potřebného pro rychlé odtékání zinkové taveniny. Minimální úhel je zapotřebí mimo jiné také pro účinné odplavování krystalků tvrdého zinku z míst, kde se mohou hromadit. Jedná se převážně o dutiny a zákoutí. Nedostatečně dimenzované drenáže zpomalují odtékání zinkové taveniny a způsobují nahromadění tvrdého zinku. S tímto typem vady povlaku je nutno počítat i v případech, kdy jsou konstrukční prvky součásti uspořádány do tvaru koryta, které má při zinkování horizontální polohu. Následně při pomalém proudění zinkové taveniny kolem povrchu během vynořování z lázně nejsou krystalky tvrdého zinku dostatečně účinně odplavovány a zůstávají zality ve zbytnělém povlaku. Popsaný jev může být způsobem vyšším obsahem křemíku v ukladné oceli. [29]

2.5 Korozní zkoušky v umělých atmosférách

Tato práce se zabývá sledováním kvality a životnosti duplexních systému v závislosti na mechanické předúpravě zinkového povlaku, kde jeden z parametrů hodnocení je korozní odolnost, respektive odhad chování duplexního systému v korozním prostředí. Pro tyto účely a vyhodnocení byly vybrány urychlené korozní a povětrnostní zkoušky. V této kapitole bude přiblížena obecně problematika korozních a povětrnostních zkoušek v umělých atmosférách, která poskytne informace o jejich principech a přesnosti možných dosažených výsledků. Obecně lze korozní zkoušky dělit dle časového hlediska:

- dlouhodobé zkoušky v atmosférách,
- zrychlené laboratorní zkoušky.

2.5.1 Dlouhodobé korozní zkoušky v atmosférických stanicích

Tyto zkoušky poskytují poměrně přesné výsledky vlivu působení korozní agresivity na exponované vzorky. Tyto výsledky jsou ovšem dosaženy po dlouhé době expozice (v

⁴ ČSN EN ISO 8501-3: (2008) Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stupně přípravy svarů, hran a ostatních ploch s povrchovými vadami

řádu mnoha let). Tato časová náročnost expozice vedla k vytvoření urychlených korozních testů, vedoucí k získání rychlých výsledků na úkor přesnosti a shodě s chováním nátěrů exponovaných reálným podmínkám. Přes snahu nebyly nalezeny převodní koeficienty mezi výsledky odolnosti nátěrových filmů z dlouhodobých povětrnostních zkoušek a výsledky urychlených laboratorních zkoušek, které jsou do jisté míry pouze odhadem chování zkoušeného předmětu v korozním prostředí.

Při srovnání výsledků laboratorních korozních zkoušek a atmosférických zkoušek v reálných podmínkách, lze konstatovat, že je zde jen malá korelace. Hlavním důvodem je značná variabilita atmosférických podmínek závisící na klimatické oblasti, ročním období aj. Intenzivně nad touto problematikou pracují vedoucí světové koncerny automobilového a leteckého průmyslu. Oblasti hodnocení různých vlastností nátěrů po vystavení urychleným laboratorním zkouškám a atmosfér, je k dispozici soubor mezinárodních a národních norem, které dostatečně tuto oblast pokrývají. [19] [24]

2.5.2 Zrychlené laboratorní zkoušky

Zrychlené zkoušky urychlují korozní procesy působící na exponované vzorky, vedoucí k rychlému vzniku korozních změn jak na kovovém podkladu, tak na organickém povlaku. Testované vzorky jsou vystaveny, na rozdíl od venkovní expozice, konstantním korozním a povětrnostním podmínkám. Konstantní proces je možno částečně nahradit složitějšími cyklickými korozními a povětrnostními testy, které mají přesnější vypovídající hodnotu vzhledem k venkovní expozici. Hlavním důvodem těchto zkoušek je fakt, že k urychlení dějů působících na testovaný vzorek, dochází v počátečním stadiu korozních reakcí. Po následném vytvoření korozních produktů již k dalšímu urychlení korozních dějů zpravidla nedochází, nebo je minimální. Korozní děje probíhající při zkouškách by měly probíhat při nezměněném mechanismu elektrochemické koroze. [19]

Pro simulaci venkovních povětrnostních a korozních podmínek byly stanoveny faktory, které ovlivňují působení těchto podmínek na exponovaný vzorek.

Mezi tyto faktory patří například:

- UV záření,
- teplota,
- voda a vlhkost,
- kyslík a korozně působící plyny,
- chemické látky. [19] [24]

2.6 Principy při zrychlených korozních zkouškách organických nátěrových systémů

Podstatou urychlených zkoušek je vystavení zkušebních vzorků v laboratorních podmínkách zesíleným vlivům korozních činitelů, jako je zesílený vliv teploty, vysoké vlhkosti vzduchu, koncentrace korozních látek oxidu siřičitého SO₂, vody H₂O, chloridových iontů. Pokud se zaměříme na teplotu, která urychluje chemické reakce, tedy i korozi, pak s klesající teplotou klesá rozpustnost plynů, kdežto s rostoucí teplotou roste pohyblivost iontů. Je-li použité korozní médium voda, lze korozní děj urychlit zvýšením teploty na 36 – 40 °C. Pod touto teplotou by měla být stále zabezpečena stálost korozních zplodin. Při použití vyšších teplot hrozí degradace pojiv organického povlaku. [24]

Další možností jak zrychlit korozní účinnost faktorů je zvýšení oxidační schopnosti roztoku. Toho lze docílit přidáním malého množství oxidačního činidla. Je nutno přidat pouze takové množství, které neovlivní chemickou pasivaci kovu či degradaci pojiva. Jako oxidační činidlo lze použít oxid siřičitý SO₂, který působí ve formě molekul a snadno difunduje do nátěrové vrstvy. Jeho podíl se v průmyslových oblastech vyskytuje v množství do 10⁻³ %. Další korozní složka vyskytující se převážně v přímořských oblastech je NaCl. Podle obsahu soli v mořských vodách (0,5 % až 3,9 % hm), byl experimentálně stanoven podíl korozní složky NaCl pro korozní zkoušky na hodnotu 3-5 hm. %. Korozi oceli zrychluje obsah NaCl do 6 hm. %, běžně se však pro umělé korozní zkoušky používá 5 ± 0,5 hm. %. [19] [24]

Již od první myšlenky urychlování korozních a povětrnostních zkoušek, se zmíněná problematika dělila na oblast korozních zkoušek a zkoušek povětrnostních vlivů. Korozní zkoušky se zaměřily především na oblast korozní odolnosti nátěrů. Povětrnostní zkoušky se zaměřily na vývoj testovacích zařízení pro urychlenou povětrnost, respektive pro odolnost proti UV záření a pro zkoušky dekorativního charakteru. Z hlediska reálných povětrnostních zkoušek, nedochází u zkoušek simulovaných k použití látek iontové povahy. Jako degradační proces se zde uplatňuje UV záření, případně postřik vodou. [19] [24]

2.6.1 Zkoušky v neutrální solné mlze použité v experimentální části

Zkouška kondenzací vlhkosti v solné mlze byla standardizována již v roce 1939 v USA a dnes představuje určitý standard v oblasti korozních zkoušek. Korozní zkoušky v

solné komory jsou prováděny ve dvou modifikacích. První z nich jsou testy v neutrálním prostředí (NSS – neutral salt spray), které jsou používány pro kovové magnetické materiály. Nejstarší norma pro zkoušku v neutrálním prostředí je Americká norma ASTM B117. Druhou modifikací jsou zkoušky s kyselým testovacím prostředím (AASS – acetic acid salt spray, CASS – copper accelerated salt spray test). U metody AASS byla do neutrálního roztoku NaCl přidávána kyselina octová. CASS přidává do okyselené NaCl chlorid měďnatý z předpokladu, že měďnaté ionty urychlují korozní procesy. Mezi nejpoužívanější normy definující zkoušky solnou mlhou patří ASTM G 85, BS 5466 Pt 1-3, ČSN EN ISO 9227 ad. [24]

Zkoušky v neutrální solné mlze jsou laboratorní zkoušky prováděné ve vzdušném prostředí. Kovové materiály, slitiny a ochranné protikorozní povlaky, jsou vystaveny několika činitelům zesilující korozní děj. Zkušební vzorky jsou vystaveny neustálé solné mlhovině za zvýšené teploty, kdy tyto podmínky vytváří zesílené korozní účinky. Zmíněný typ zkoušek je vhodný pro ověření protikorozní ochrany – rychlé vyhodnocení defektů povlaku (póry, nespojitost aj.) a také pro kontrolu kvality mezi porovnávanými vzorky se shodným povlakem.

Norma ČSN EN ISO 9227⁵ udává postup testování jak pro neutrální, tak pro kyselé korozní prostředí. Norma vyžaduje minimální objem komory 400 litrů. Pro zkoušku v neutrální solné mlze je pH solného roztoku definováno mezi 6,5 až 7,2. Zkouška AASS a CASS vyžaduje pH o hodnotách 3,1 a 3,3. Teplota v korozní komoře je pro NSS a AASS definována na hodnotu 35 ± 2 °C a pro CASS 50 ± 2 °C. Průměrná rychlost hromadění rozprašované mlhy z vodorovné sběrné plochy o obsahu 80 cm^2 je $1,5 \pm 0,5 \text{ ml} \cdot \text{hod}^{-1}$. [25]



Obrázek 4: Solná zkušební komora SKB400ATR [24]

⁵ ČSN EN ISO 9227: (2012) Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou

3. Vhodné kombinace nátěrových systému pro zinkový povlak

Při volbě nátěrů duplexního systému je nutné si uvědomit, že ne každá základní nátěrová hmota je vhodná pro povlak žárového zinku. Z tohoto důvodu je vždy doporučeno kontaktovat výrobce nátěrových hmot. Zhotovení samotného nátěru je proces, jehož základním cílem je dosažení nátěrového systému vysoké kvality, předepsaných parametrů s dlouhou životností.

Obecným měřítkem pro vhodnost nátěrové hmoty je volba pojiva (tvrdost, mechanická otěruvzdornost, tepelná a chemická odolnost, UV-stabilita), a pigmentu. [18]

3.1 Charakteristika nátěrových hmot

Nátěrové hmoty jsou aplikovány na daný materiál z různých důvodů, jedním z nich může být ochranná vlastnost, nebo dekorativní vzhled. Oba důvody stojí na základním předpokladu vytvoření souvislého filmu nátěrové hmoty, který po vytvrzení upravuje vlastnosti či vzhled dle požadavku zákazníka. Z technického hlediska lze nátěrovou hmotu definovat dle normy ČSN EN ISO 4618-1⁶ jako „*Produkt v kapalné, pastovité, nebo práškové podobě, který po nanesení na podklad vytváří nátěrový film mající ochranné, dekorativní anebo jiné specifické vlastnosti* [26].“ [24]

Nejrozšířenější způsob povrchové úpravy materiálu tvoří organické povlaky z nátěrových hmot. Je to především díky dobrým ochranným vlastnostem a současně i jednoduchostí vytváření těchto povlaků. Ochrana organickými povlaky je založena na jejich bariérovém způsobu ochrany před nepříznivými vlivy okolí. Mezi hlavní požadavky kladené na organické povlaky patří korozní odolnost, odolnost proti povětrnostním vlivům, UV zářením a chemikáliím. Tyto požadavky vycházejí z povahy a agresivity prostředí, ve kterém bude nátěrový systém exponován. [24]

3.1.1 Nátěrový systém

Z výše uvedeného odstavce vyplývá, že nátěrová hmota představuje prostředek pro zhotovení nátěrového systému. Nátěrový systém představuje soubor povlaků a v normě ČSN EN ISO 4618-1 je definován následovně „*Souhrn všech povlaků (vrstev) nátěrových materiálů, které mají být, nebo byly nanесeny na podklad* [26].“ Z definice

⁶ ČSN EN ISO 4618: (2015) Nátěrové hmoty – Termíny a definice

tedy vyplývá, že charakter použitých povlaků (organické, anorganické), jejich tloušťku a počet vrstev lze dělit následujícím způsobem:

- jednovrstvé
- vícevrstvé
- kombinované (duplexní)

Organické povlaky tvoří bariérovou ochranu před korozním prostředím, která závisí na propustnosti tohoto povlaku. Pro co nejefektivnější ochranu oceli před korozi se využívají tzv. duplexní povlaky. Vzhledem k degradaci organických povlaků v závislosti na čase, je chráněný předmět opatřen navíc anorganickým povlakem, který představuje galvanickou ochranu povrchu součásti. Systém tedy obsahuje několik vrstev, které jsou voleny podle korozního prostředí a namáhání, v němž se bude systém nacházet. Příklad vrstvení nátěrového systému pro ocel může být následující: ocelový substrát – žárový zinkový povlak – pasivační vrstva – organický povlak. [6] [24] Dle příručky o žárovém zinkování je nejčastěji volena pro dlouhodobou protikorozní ochranu oceli kombinace kovových povlaků a povlaků z organických nátěrových hmot [6].

3.1.2 Složení nátěrových hmot

Nátěrové hmoty kombinují nemalé množství složek tak, aby společným působením vedly k vytvoření nátěru, který splňuje požadované charakteristiky. Tyto jednotlivé složky mohou mít formu kapalnou, gelovou či tuhou a společně tvoří výslednou disperzi. V současné době je kladen co největší důraz na ekologické hledisko. Nátěrová hmota nesmí obsahovat toxické látky a složky, které by způsobovaly zdravotní či fyziologickou závadnost, jako tomu je například u šestimocného chromu.

Složení nátěrových hmot je následující:

- filmotvorné látky (pojiva, změkčovadla),
- pigmenty, plniva a barviva,
- těkavé složky (rozpouštědla, ředidla),
- ostatní přísady (aditiva). [24]

3.2 Základní nátěrové vrstvy duplexního systému

Při návrhu nátěrového systému musí být bráno v potaz, že je nezbytné vytvořit tzv. adhezni můstek, tedy vrstvu nátěru, označovanou jako základní nátěr, který

zprostředkovává „spojení“ s následujícími krycími vrstvami. Při výběru nátěrové hmoty je důležité brát v potaz vhodnost aplikace na zinkový povrch, a to především u základního nátěru, kde je pro funkčnost a dlouhodobou protikorozi ochranu rozhodující přilnavost základního nátěru. V současné době je nejvíce využíváno základových vrstev pro zinkový povrch epoxidových nátěrových hmot. Pro kvalitu přilnavosti je rozhodující mnoho aspektů, od použitých plniv až po konečná aditiva. Právě vhodná aditiva zajišťují ve velké míře optimální přilnavost.

Například skupina aditiv na bázi silanů s funkčními skupinami, které zajišťují chemické zabudování molekul silanu do matrice nátěrové hmoty, mají významný vliv na přilnavost k zinkovému povrchu. Nátěrový systém by měl být volen s ohledem na doporučení výrobce, aby byla zajištěna jak mechanická, tak i chemická přilnavost se zinkovým povlakem. [27]

Jako základní vrstvy by měly být použity pouze takové barvy, u kterých výrobce udává vhodnost pro zinkové podklady. Jen takové zaručují optimální přilnavost. Základní typy nátěrových systémů podle filmotvorných složek vhodných pro duplexní systém:

- jednosložkové AY akrylátové pryskyřice;
- dvousložkové EP epoxidové pryskyřice;
- dvousložkové PUR polyuretanové nátěry.

3.2.1 akrylátové pryskyřice

Po chemické stránce se jedná o pryskyřice syntetizované esterifikací kyseliny akrylové a metakrylové. Tyto pryskyřice dnes patří mezi velice používaná pojiva, zejména pro vodou ředitelné nátěrové systémy. Pojivovou frakci nátěrových hmot tvoří malé kulovité částice polymeru dispergované ve vodě, pro stabilizaci se obvykle do systému přidávají ochranné koloidy. Akrylátové pryskyřice mají celou řadu výhodných vlastností, mají vysokou odolnost proti povětrnostním vlivům, působením UV záření nežloutnou a nestárnou, mají výbornou přilnavost k výrobkům z lehkých kovů a odolnost vůči rázům. Lze je použít jako jednovrstvé nátěrové systémy.

Rozpouštědlové druhy akrylátových pryskyřic se používají také pro vytvrzování polyuretanových nátěrových hmot. [2] [30] [31]

3.2.2 Epoxidové pryskyřice

Používají se jako pojivo pro dvousložkové nátěrové hmoty s důrazem na vysokou chemickou odolnost. Jsou to zejména sloučeniny obsahující v molekule více než jednu epoxidovou (oxiranovou) skupinu, které reagují s vhodnými tvrdidly. Je možné zhotovit mnoho druhů organických sloučenin těchto pryskyřic, ovšem pro nátěrové hmoty jsou vhodné zejména nízkomolekulární pryskyřice na bázi dianu. Jedná se o produkt alkalické kondenzace epichlorhydrinu s 2,2bis (4hydroxyfenyl) propanem, označován jako dian nebo bisfenol A. Kombinace s dalšími látkami je žádána, zejména z důvodů dosažení požadovaných vlastností v oblasti fyzikálněchemických, jako je chemická odolnost, tvrdost a houževnatost. K těmto účelům se používají pryskyřice na bázi polyaminů. [28] [24] [11] Epoxidové pryskyřice vynikají svojí odolností vůči chemickým vlivům a mají vynikající pevnostní charakteristiky, proto jsou vhodné pro základní nátěr, kde je potřeba vytvoření pevného filmu. Epoxidové barvy podléhají vlivem UV-záření typickému zkrídovatění, a proto se hodí lépe pro vnitřní použití jako jednovrstvý nátěr, nebo jako základ nátěr ve venkovním použití s následující krycí vrstvou. [30] [31]

3.2.3 Práškové hmoty

Práškové nátěrové hmoty se rozlišují podle typu pojiva na:

- epoxidové pryskyřice (EP),
- epoxid-polyesterové pryskyřice (EP/SP),
- polyesterové pryskyřice (SP).

Práškové hmoty se vyznačují výbornou přilnavostí a chemickou a korozní odolností. Polyesterové práškové hmoty jsou rovněž velmi ekonomické a vhodné pro venkovní použití svojí barevnou stálostí.

Přilnavost práškových hmot na žárovém zinkovém povlaku je dána stavem povrchu. Protože musí být práškové hmoty vypalovány, mohou se uvolnit ze zinkového povlaku plyny a pára, které vizuálně narušují barevný film bublinkami, krátery a jinými anomáliemi. Pro tento případ je vhodné použití příslušných aditiv, která tento problém minimalizují. Aditiva, která přidává do směsi až prášková lakovna, zpožďují uzavření a vytvrzení povrchu hmoty během vypalování a tak je umožněn průchod plynů přes vrstvu hmoty. Přilnavost k zinkovému povrchu je obecně poměrně vysoká a použití pro jednovrstvý nátěrový systém je vhodnou volbou.[31]

3.3 Vrchní nátěrové vrstvy duplexního systému

Podle prostředí ve kterém bude konstrukce použita, musí být i volena krycí vrstva NH, pokud jsou ocelové konstrukce vystaveny například povětrnostním vlivům (zejména UV záření), je vhodné jako vrchní vrstvu použít právě takovou nátěrovou hmotu, která má proti těmto vlivům vysokou odolnost (např. polyuretanová nátěrová hmota).

Vrchní, neboli krycí vrstva by měla být vždy od stejného výrobce, jako základní vrstva nátěrové hmoty, jen tak bude zaručena odpovídající přilnavost mezi vrstvami a dlouhodobá životnost.

3.3.1 Polyuretanové nátěry

Polyuretany jsou polymerní látky vzniklé polyadičními reakcemi vícefunkčních izokyanátů s látkami obsahujícími aktivní vodík. Polyuretanové nátěry mohou být jednosložkové nebo dvousložkové.

Jednosložkové polyuretanové povlaky se vytvrzují vzdušnou vlhkostí. Molekuly vody obsažené ve vzduchu reagují svolnými izokyanátovými skupinami a tím se nátěr vytvrzuje. [30]

Dvousložkové polyuretanové povlaky obsahují dvě složky. Jednou z těchto složek jsou izokyanáty, které mají aktivní skupinu $-N=C=O$. Tato aktivní skupina reaguje s látkami s aktivním vodíkem obsaženým ve druhé složce (tvrdidlu). Smícháním obou složek dochází k vzájemné reakci, která vede ke tvorbě chemicky zesíťovaného nátěrového filmu. Tyto nátěrové hmoty vynikají výbornou odolností proti mechanickému namáhání, odolností vůči vodě a chemickou odolností. [24] [28]

Pojivem jsou polymery s volnými hydroxylovými skupinami, které mohou reagovat s vhodným tvrdidlem. Formulace jsou možné na bázi organických rozpouštědel nebo jsou bezrozpouštědlové. Pro svoji vysokou odolnost (voda, chemie) jsou vhodnou volbou pro použití vrchní vrstvy duplexního systému. [31] [30]

Experimentální část

V rámci výzkumného experimentu byly vytvořeny zkušební vzorky z oceli o rozměru 150 x 100 x 5 mm s povlakem žárového zinku nanášeného ponorem od společnosti Wiegell s.r.o. Pro hodnocení kvality předúpravy a celkové životnosti duplexního systému byly zvoleny dva obdobné druhy nátěrových systémů od společnosti Jotun – Atryx s.r.o. a Colorlak s.r.o.

Tabulka 2: Přehled vzorků a jejich využití v experimentální části

Č. vzorku	Tryskací prostředek	Nátěrový systém	Vyhodnocení
0129.1	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	-	Měření drsnosti
0129.2	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	A	Stanovení přilnavosti, metalografie
0129.3	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	A	Korozní zkoušky
0129.4	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	A	Korozní zkoušky
0129.5	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	A	Korozní zkoušky
0129.6	-	A	Stanovení přilnavosti, metalografie
0130.1	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	-	Měření drsnosti
0130.2	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	B	Stanovení přilnavosti, metalografie
0130.3	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	B	Korozní zkoušky
0130.4	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	B	Korozní zkoušky
0130.5	Zinkový sekaný drát Ø 0,4mm	B	Korozní zkoušky
0130.6	-	B	Stanovení přilnavosti, metalografie
0131.1	Korozivzdorná drť CrH30	-	Měření drsnosti
0131.2	Korozivzdorná drť CrH30	A	Stanovení přilnavosti, metalografie
0131.3	Korozivzdorná drť CrH30	A	Korozní zkoušky
0131.4	Korozivzdorná drť CrH30	A	Korozní zkoušky
0131.5	Korozivzdorná drť CrH30	A	Korozní zkoušky
0131.6	-	A	Stanovení přilnavosti, metalografie
0132.1	Korozivzdorná drť CrH30	-	Měření drsnosti
0132.2	Korozivzdorná drť CrH30	B	Stanovení přilnavosti, metalografie
0132.3	Korozivzdorná drť CrH30	B	Korozní zkoušky
0132.4	Korozivzdorná drť CrH30	B	Korozní zkoušky
0132.5	Korozivzdorná drť CrH30	B	Korozní zkoušky
0132.6	-	B	Stanovení přilnavosti, metalografie
0133.1	Hnědý korund F40	-	Měření drsnosti
0133.2	Hnědý korund F40	A	Stanovení přilnavosti, metalografie
0133.3	Hnědý korund F40	A	Korozní zkoušky
0133.4	Hnědý korund F40	A	Korozní zkoušky
0133.5	Hnědý korund F40	A	Korozní zkoušky
0133.6	-	A	Stanovení přilnavosti, metalografie
0134.1	Hnědý korund F40	-	Měření drsnosti
0134.2	Hnědý korund F40	B	Stanovení přilnavosti, metalografie
0134.3	Hnědý korund F40	B	Korozní zkoušky
0134.4	Hnědý korund F40	B	Korozní zkoušky
0134.5	Hnědý korund F40	B	Korozní zkoušky
0134.6	-	B	Stanovení přilnavosti, metalografie
0135.1	Ocelová drť G80	-	Měření drsnosti
0135.2	Ocelová drť G80	A	Stanovení přilnavosti, metalografie
0135.3	Ocelová drť G80	A	Korozní zkoušky
0135.4	Ocelová drť G80	A	Korozní zkoušky
0135.5	Ocelová drť G80	A	Korozní zkoušky
0135.6	-	A	Stanovení přilnavosti, metalografie
0136.1	Ocelová drť G80	-	Měření drsnosti
0136.2	Ocelová drť G80	B	Stanovení přilnavosti, metalografie
0136.3	Ocelová drť G80	B	Korozní zkoušky
0136.4	Ocelová drť G80	B	Korozní zkoušky
0136.5	Ocelová drť G80	B	Korozní zkoušky
0136.6	-	B	Stanovení přilnavosti, metalografie

Legenda po tabulku číslo 2:

- „A“ nátěrový systém od společnosti Jotun – Atryx s.r.o.
- „B“ nátěrový systém od společnosti Colorlak s.r.o.

Nátěrové hmoty použity v experimentální části

Pro výzkumný experiment a vyhodnocení kvality duplexního systému byly zvoleny rozdílní výrobci organických nátěrových hmot (Jotun a Colorlak), které měli obdobné složení základního a vrchního filmu. Základní nátěrový film tvořila nátěrová hmota na bázi epoxidové pryskyřice, vrchní film byl potom tvořen nátěrovou hmotou na bázi polyuretanové pryskyřice.

Základní charakteristiky systému Jotun:

Jotacote Universal – základní nátěr

Dvoukomponentní aminy vytvrzovaný čistě epoxidový nátěr. Je rychleschnoucí, silnovrstvý, s vysokým obsahem pevných látek. Může být použit jako základní nátěr, mezivrstva, krycí nátěr nebo jako jednovrstvý nátěr v atmosférických podmínkách nebo v ponoru. Je vhodný pro správně připravenou uhlíkovou ocel, nerezovou ocel, hliník, žárově zinkovanou ocel a beton.

- Vyhovuje přímému styku s vodou.
- Objem pevných látek = 70 – 74 % hm.

Normadur 65 HS – vrchní nátěr

Dvoukomponentní pololesklý polyuretanový krycí nátěr s alifatickým isokyanátovým tvrdidlem a vysokým obsahem pevných látek. Obsahuje antikorozní pigment a lze ho použít v prostředí C2 a C3, v kombinaci s vhodným základním nátěrem i v prostředí C2-C4, C5-I a C5-M. Je vhodný pro jako nátěr betonových podlah a ocelových konstrukcí či tlakových lahví.

- Vyhovuje přímému styku s vodou, oleji a širokému spektru méně agresivních chemikálií.
- Objem pevných látek = 63 – 67 % hm.

Základní charakteristiky systému Colorlak:S 2318 EPAX – základní nátěr

Epoxidová základní antikorozní dvousložková nátěrová hmota určena k základním antikorozním nátěrům pro venkovní i vnitřní prostředí s antikorozní složkou. Nátěrová hmota S 2318 vytvrzovaná speciálně tužidlem S 7308 je charakteristická velmi rychlým zasycháním s možností aplikace při teplotách blízkých 0 ° C. Použití je vhodné u kovových podkladů jako ocel, hliník, zoxidovaný zinek ad.

- Vyhovuje krátkodobému styku s pitnou vodou mimo horké a teplé užitkové vody.
- Objem pevných látek = 70 - 76 % hm.

U 2060 AXAPUR – Vrchní nátěr

Akryluretanová vrchní dvousložková lesklá nátěrová hmota určena pro konečnou povrchovou úpravu výrobků, u nichž je kladen důraz na vysokou odolnost vůči povětrnostním vlivům, křídování, žloutnutí, UV záření, oděru a působení čisticích prostředků a chemikálií. Použití je vhodné u dopravních prostředků, strojních zařízení, ocelových konstrukce ad. Lze ji aplikovat i na plasty (tvrdá PUR pěna, neměkčený PVC, ABS, ad.)

- Nevyhovuje přímému styku s poživatinami, krmivy a pitnou vodou.
- Objem pevných látek = 70 % hm.

4. Zkoušky kvality pro duplexní systémy

4.1 Analýza povlaku zinku a jeho morfologie

V rámci výzkumného experimentu byl analyzován povlak žárového zinku ve smyslu stanovení tloušťky povlaku, chemického složení a změny mikrogeometrie povrchu po aplikaci lehkého tryskání

4.1.1 Chemické složení zinkového povlaku

Pro vyhodnocení chemického složení zinkového povlaku byl použit ruční spektrometr a analyzátor kovů DELTA.

Zjištěné chemické složení zinkového povlaku bylo následující:

- Fe 0,91%,
- Ni 0,025%,
- Zn 99,7%.

Měření bylo provedeno především pro porovnání zinkového povlaku po korozních zkouškách, kdy pasivační vrstvy mohou být o čistý zinek ochuzeny.

4.1.2 Stanovení tloušťky zinkového povlaku

Pro stanovení tloušťky zinkového povlaku se nejčastěji používají tyto 3 metody:

- magnetická,
- vážková
- mikroskopická.

Pokud dochází ke sporu o metodě měření, musí být tloušťka povlaku vypočtena z průměrné plošné hmotnosti povlaku žárového zinku stanovené vážkovou metodou dle ČSN EN ISO 1460⁷ a jmenovité hustoty povlaku $7,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Měření je nejčastěji prováděno některou z magnetických metod uvedených v ČSN EN ISO 2808⁸ a ISO 2178⁹ [11]

Před samotnou aplikací NH byla zjišťována tloušťka zinkového povlaku pomocí metody magnetických vířivých proudů dle ČSN EN ISO 2808, vzhledem k tomu, že zinkový povlak má několik fází a základní vrstva má vysoký obsah železa, byl proveden

⁷ ČSN EN ISO 1460: (1997) Kovové povlaky - Žárové povlaky zinku nanášené ponorem na železných podkladech - Vážkové stanovení plošné hmotnosti

⁸ ČSN EN ISO 2808: (2007) Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru

⁹ ČSN EN ISO 2178: (2017) Nemagnetické povlaky na magnetických podkladech. Měření tloušťky povlaku. Magnetická metoda

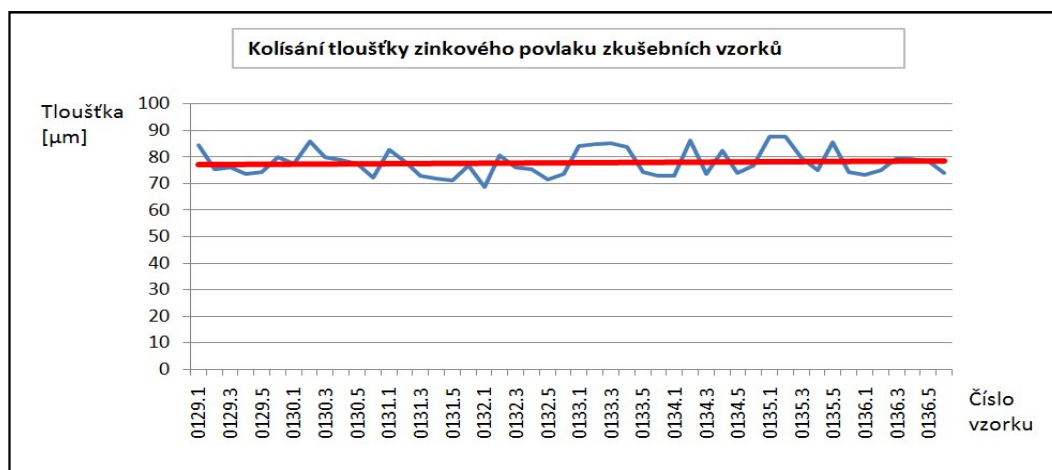
metalografický výbrus zkušební vzorku pro zjištění skutečné tloušťky Zn. povlaku, aby se vyloučila případně značná odchylka při měření nedestruktivní metodou, viz obrázek 7 a tabulka 3.

Tabulka 3 - Tloušťka zinkového povlaku měřena nedestruktivní elektromagnetickou metodou a destruktivní mikroskopickou metodou při metalografickém výbrusu

Č. vzorku	Aritmetický průměr [μm]	Mikroskopické měření [μm]
0129.1	85	
0129.2	75	78
0129.3	76	
0129.4	74	
0129.5	74	
0129.6	80	55
0130.1	78	
0130.2	86	81
0130.3	80	
0130.4	79	
0130.5	78	
0130.6	72	72
0131.1	83	
0131.2	78	73
0131.3	73	
0131.4	72	
0131.5	71	
0131.6	77	77
0132.1	69	
0132.2	81	77
0132.3	76	
0132.4	76	
0132.5	72	

0132.6	74	72
0133.1	84	
0133.2	85	82
0133.3	85	
0133.4	84	
0133.5	75	
0133.6	73	84
0134.1	73	
0134.2	87	60
0134.3	74	
0134.4	83	
0134.5	74	
0134.6	77	81
0135.1	88	
0135.2	88	70
0135.3	80	
0135.4	75	
0135.5	86	
0135.6	74	76
0136.1	73	
0136.2	75	70
0136.3	80	
0136.4	79	
0136.5	79	
0136.6	74	72

Celkový aritmetický průměr = 78 [μm]



graf 1 - Grafické znázornění kolísání tloušťky zinkové vrstvy zkušebních vzorků

Změřená tloušťka se pohybovala v hodnotách, které schvaluje příslušná norma žárového zinkování, které dále sloužila pro odečtení z celkového duplexního systému a vyhodnocení tloušťky nátěrového systému.

4.1.3 Změna mikrogeometrie povrchu zinkového povlaku

Povrch žárově zinkovaného povlaku byl z hlediska morfologie mechanicky upraven metodou lehkého tryskání. Pro porovnání mikrogeometrie povrchu bylo zvoleno několik druhů tryskacích prostředků se snahou vybrat nejvhodnější typ pro optimální předúpravu povrchu při tvorbě duplexního systému.

Lehké tryskání bylo aplikováno na vzorky s níže uvedenými tryskacími prostředky:

- umělý hnědý korund – granulometrie F40,
- korozi vzdorná chromová ocelová drť – granulometrie CrH30,
- zinkový sekaný drát – granulometrie Ø 0.4 mm,
- běžná ocelová drť – granulometrie G80, (viz kapitola 1.7).

Pro srovnání je uvedena i varianta měření profilu, kde lehké tryskání aplikováno nebylo, viz tabulka 5. Pro hodnocení struktury povrchu byly vybrány R- parametry, měření bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 4287¹⁰.

¹⁰ ČSN EN ISO 4287: (1999) Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu

Měření drsnosti povrchu probíhalo při délce $\lambda = 2,5$ mm, která byla nastavena dle porovnávacího etalonu a návodu k měřicímu zařízení.

Tabulka 4 - Drsnost vzorků tryskaných hnědým korundem

Tryskací prostředek - Hnědý korund			
Sada vzorků	Ra	Rz	Rq
0129.1, 0130.1	3,15	23,83	4,27
	2,98	18,09	3,66
	2,81	19,85	3,66
	2,64	17,46	3,39
Aritmetický průměr	2,90	19,81	3,75

Tabulka 5: Drsnost vzorků tryskaných korozivzdornou drtí

Tryskací prostředek – korozivz. ocelová drť			
Sada vzorků	Ra	Rz	Rq
0131.1, 0132.1	4,51	36,36	5,95
	4,60	35,02	5,89
	4,21	31,24	5,59
	4,51	36,53	5,96
Aritmetický průměr	4,46	34,79	5,85

Tabulka 6: Drsnost vzorků tryskaných ocelovou drtí

Tryskací prostředek - Ocelová drť			
Sada vzorků	Ra	Rz	Rq
0135.1, 0136.1	2,50	16,13	3,85
	2,63	18,13	3,73
	3,07	19,05	3,26
	3,09	20,19	3,93
Aritmetický průměr	2,82	18,38	3,69

Tabulka 7: Drsnost vzorků bez tryskání

Tryskací prostředek - bez tryskání			
Sada vzorků	Ra	Rz	Rq
0129.6, 0130.6	1,89	9,19	2,33
	1,39	7,16	1,67
	0,93	4,28	1,12
	0,94	5,13	1,14
Aritmetický průměr	1,29	6,44	1,57

Tabulka 8: Drsnost vzorků tryskaných zinkovým sekaným drátem

Tryskací prostředek - Zinkový sekaný drát			
Sada vzorků	Ra	Rz	Rq
0133.1, 0134.1	1,26	10,08	1,63
	1,11	9,83	2,26
	1,79	13,09	1,73
	1,22	9,56	1,73
Aritmetický průměr	1,35	10,64	1,84

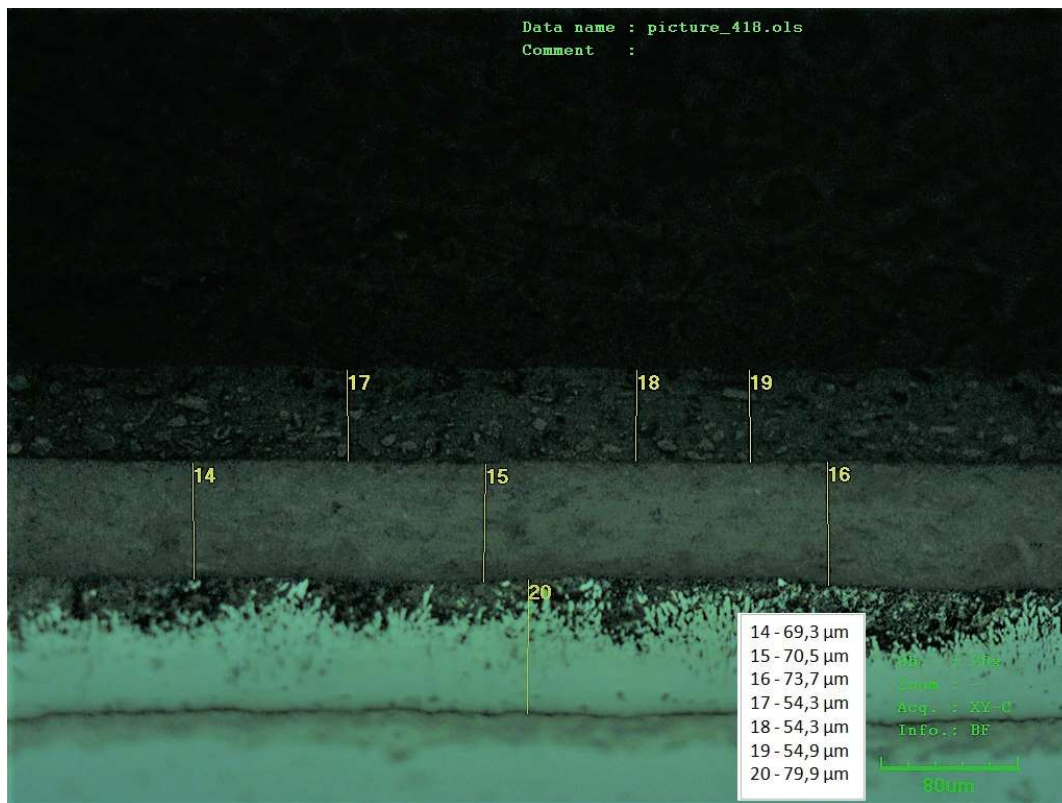
Z hlediska měření povrchu po lehkém tryskání je nejvýznamnější parametr Rz, který představuje výšku nerovnosti z deseti bodů (5 prohlubní a 5 výstupků).

„Střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu a hloubek pěti nejnižších prohlubní profilu v rozsahu základní délky l.“ [32]

4.2 Metalografický výbrus zkušebních vzorků

Pro reálnou představu změny zinkového povrchu, vlivem lehkého tryskání několika rozdílných tryskacích prostředků, byly vyhotoveny metalografické výbrusy s cílem porovnání povrchové mikrostruktury a změření tloušťky zinkového povlaku včetně jednotlivých nátěrových vrstev.

4.2.1 Metalografický výbrus vzorku 0129.6, NS Jotun, netryskaný



Obrázek 5 - Metalografický výbrus vzorku 0129.6, NS Jotun, netryskaný (zvětšeno 480x)

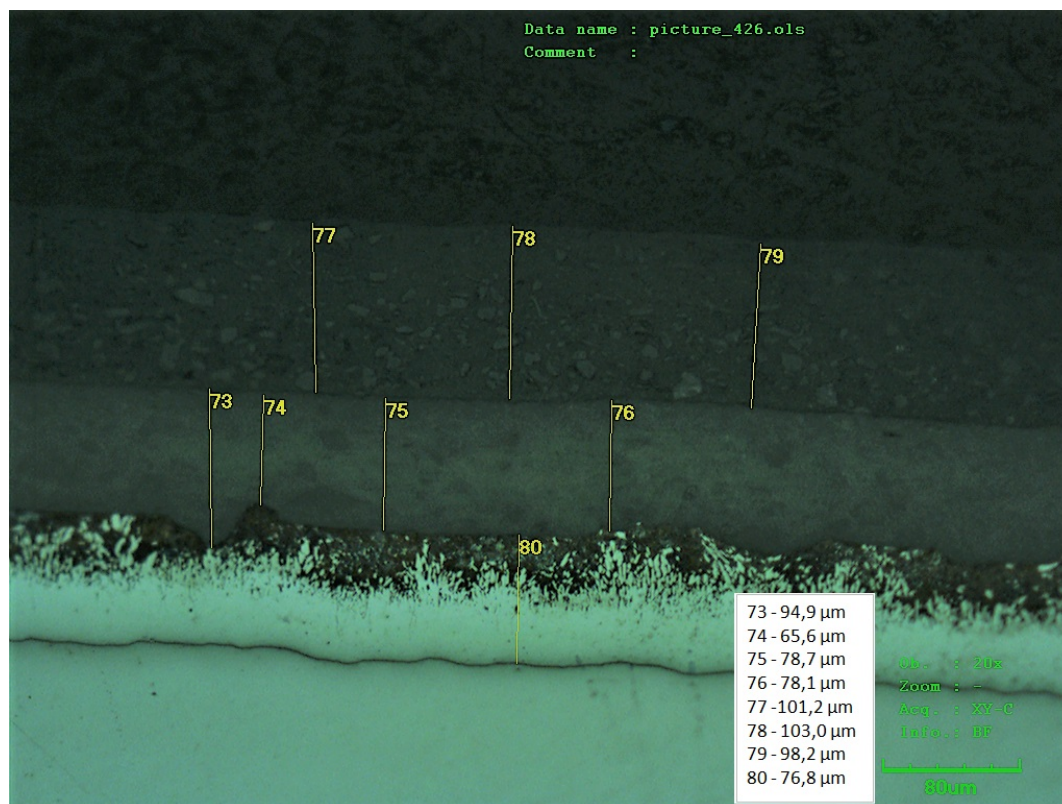
Měření tloušťky mikroskopickou metodou je následující:

- zinková povlak = 80 μm,
- základ nátěr epoxid = 70,5 μm,
- vrchní nátěr polyuretan = 54,3 μm,
- tloušťka nátěrového systému = 125 μm,
- tloušťka duplexního systému = 205 μm.

Měření nedestruktivní metodou tloušťky nátěrového systému = 121 μm.

Měření nedestruktivní metodou tloušťky duplexního systému = 201 μm.

4.2.2 Metalografický výbrus vzorku 0129.2, NS Jotun – tryskaný sekaným Zn. drátem



Obrázek 6 - Metalografický výbrus vzorku 0129.2, NS Jotun – tryskaný sekaným Zn. drátem (zvětšeno 480x)

Měření tloušťky mikroskopickou metodou je následující:

- zinková povlak = 77 μm,
- základ nátěr epoxid = 78,7 μm,
- vrchní nátěr polyuretan = 103 μm,
- tloušťka nátěrového systému = 181,7 μm,
- tloušťka duplexního systému = 258,5 μm.

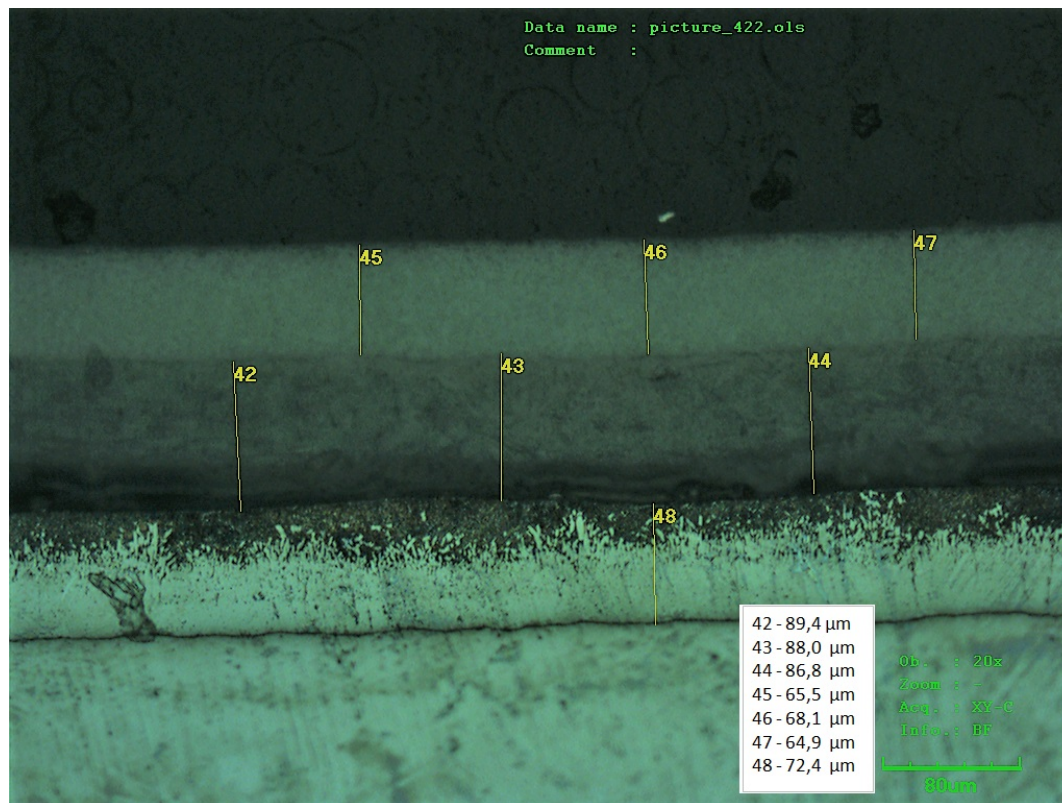
Měření nedestruktivní metodou:

- zinkový povlak = 75 μm,
- nátěrový systém = 122 μm,
- duplexní systém = 197 μm.

Měření mikroskopickou metodou je v tomto případě značně odlišné, nedestruktivní metoda je průměrně vypočtena z 5 měření v odlišných místech, a to se o mikroskopické metodě říci nedá.

Z metalografického výbrusu je evidentní změna profilu způsobená lehkým tryskáním zinkovým sekaným drátem.

4.2.3 Metalografický výbrus vzorku 0130.6, NS Colorlak - netryskaný



Obrázek 7 - Metalografický výbrus vzorku 0130.6, NS Colorlak - netryskaný (zvětšeno 480x)

Měření tloušťky mikroskopickou metodou je následující:

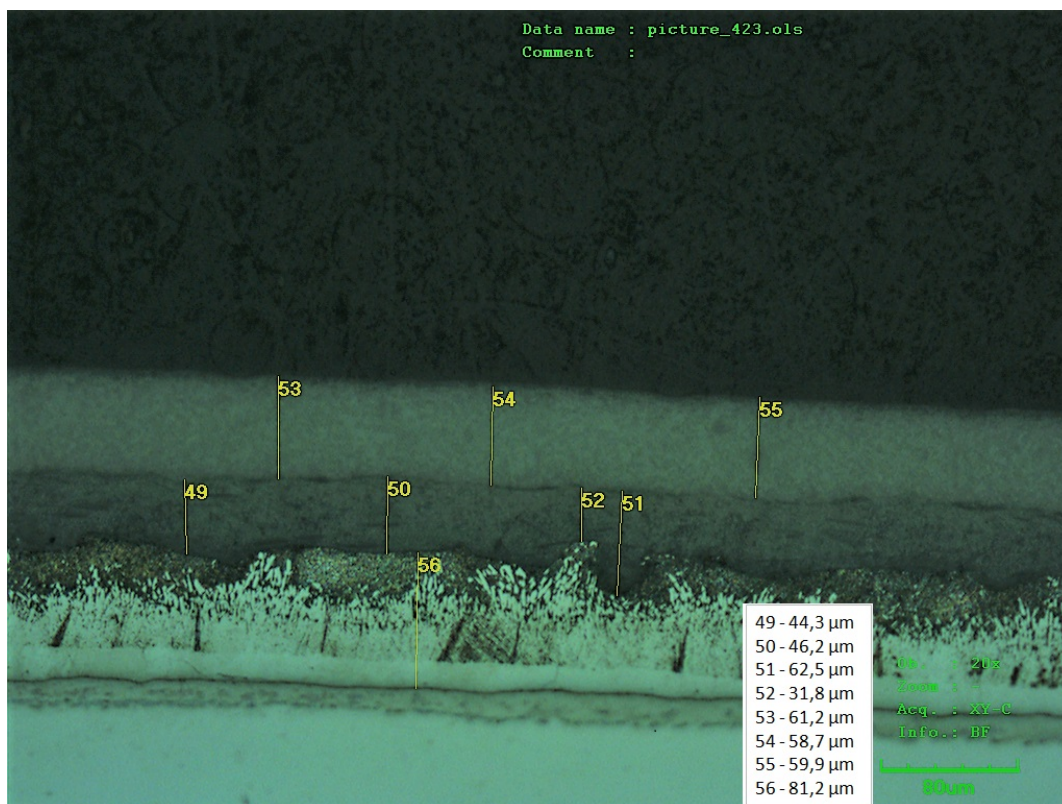
- zinkový povlak = 72 μm,
- základ nátěr epoxid = 88 μm,
- vrchní nátěr polyuretan = 68,1 μm,
- tloušťka nátěrového systému = 156,1 μm,
- tloušťka duplexního systému = 228,5 μm.

Měření nedestruktivní metodou:

- zinkový povlak = 72 μm,
- nátěrový systém = 123 μm,
- duplexní systém = 195 μm.

Z metalografického snímku je evidentní hladký povrch zinkového povlaku bez kotevního profilu pro nátěrový systém.

4.2.4 Metalografický výbrus vzorku 0130.2, NS Colorlak, tryskaný sekaným Zn. drátem



Obrázek 8 - Metalografický výbrus vzorku 0130.2, NS Colorlak, tryskaný sekaným Zn. drátem (zvětšeno 480x)

Měření tloušťky mikroskopickou metodou je následující:

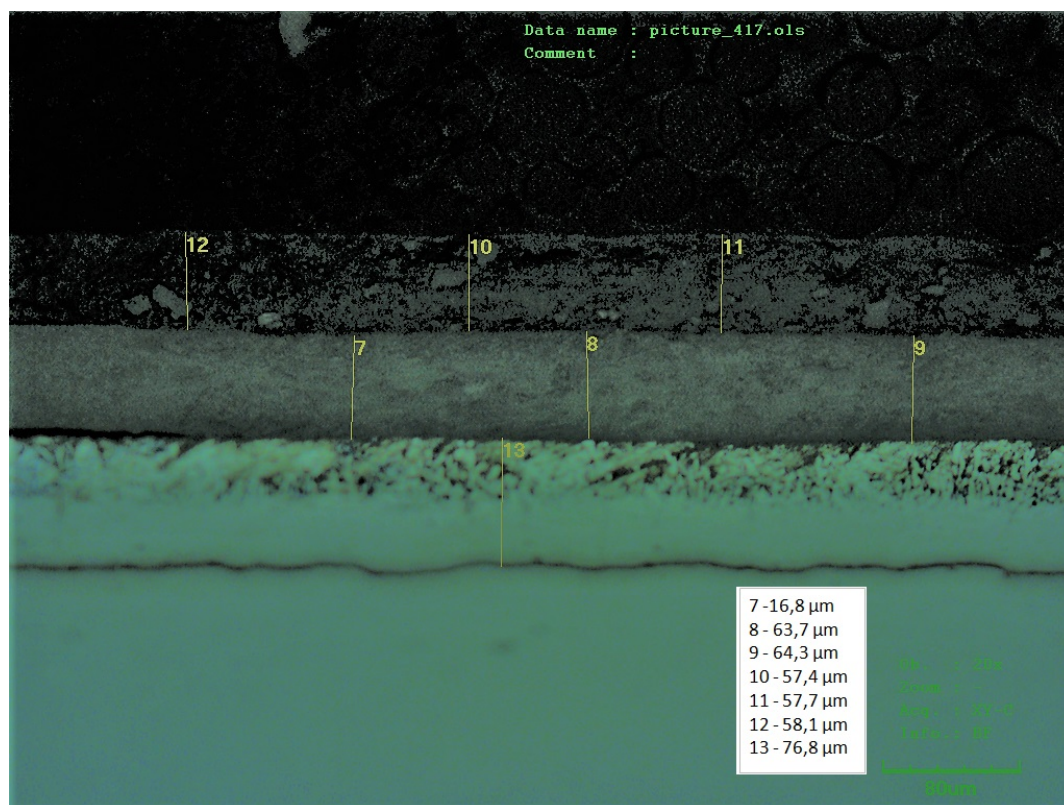
- zinkový povlak 81 μm,
- základ nátěr epoxid = 46,2 μm,
- vrchní nátěr polyuretan = 57,7 μm,
- tloušťka nátěrového systému = 103,9 μm,
- tloušťka duplexního systému = 185,1 μm.

Měření nedestruktivní metodou:

- zinkový povlak = 86 μm,
- nátěrový systém = 112 μm,
- duplexní systém = 198 μm,

Z metalografického výbrusu je evidentní změna profilu způsobená lehkým tryskáním zinkovým sekaným drátem a dobrá smáčivost tryskaného povrchu nátěrovou hmotou.

4.2.5 Metalografický výbrus vzorku 0131.6, NS Jotun, netryskaný



Obrázek 9 - Metalografický výbrus vzorku 0131.6, NS Jotun, netryskaný (zvětšeno 480x)

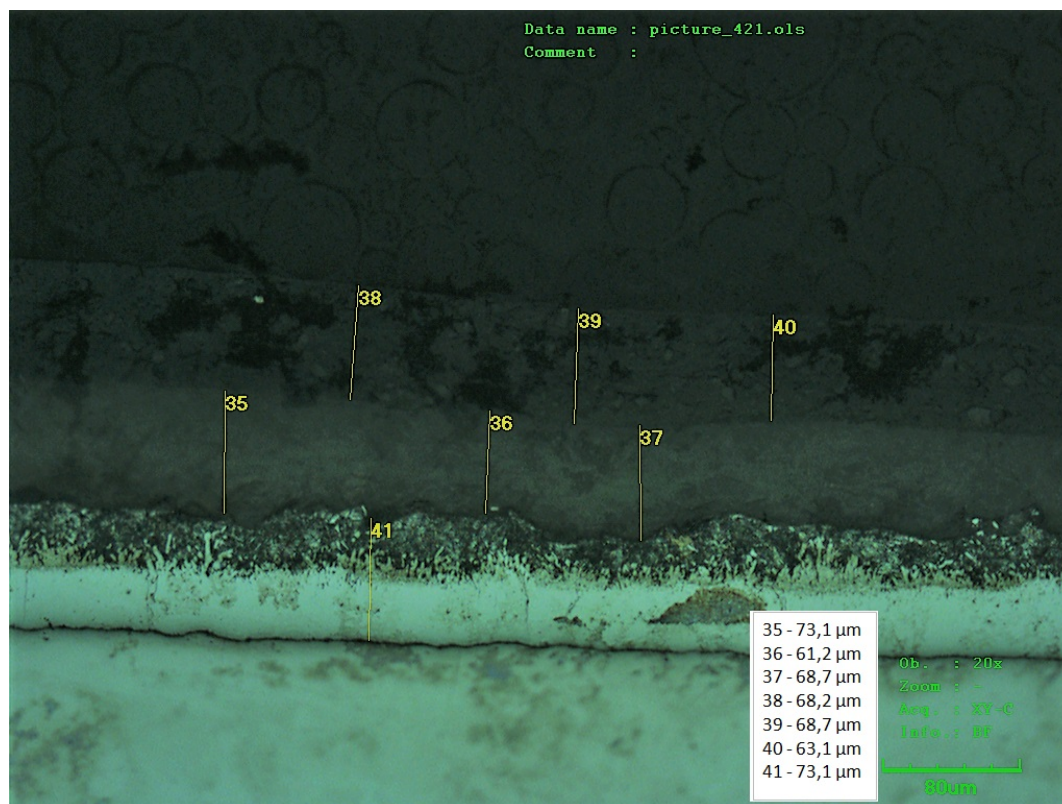
Měření tloušťky mikroskopickou metodou je následující:

- zinkový povlak = 77 µm,
- základ nátěr epoxid = 63,7 µm,
- vrchní nátěr polyuretan = 57,4 µm,
- tloušťka nátěrového systému = 121,1 µm,
- tloušťka duplexního systému = 197,9 µm.

Měření nedestruktivní metodou:

- zinkový povlak = 77 µm,
- nátěrový systému = 112 µm,
- duplexní systém = 189 µm.

4.2.6 Metalografický výbrus vzorku 0131.2, NS Jotun, tryskaný korozivzdornou drtí



Obrázek 10 - Metalografický výbrus vzorku 0131.2, NS Jotun, tryskaný korozivzdornou drtí (zvětšeno 480x)

Měření tloušťky mikroskopickou metodou je následující:

- zinkový povlak = 73 µm,
- základ nátěr epoxid = 73,1 µm,
- vrchní nátěr polyuretan = 68,2 µm,
- tloušťka nátěrového systému = 141,3 µm,
- tloušťka duplexního systému = 214,4 µm.

Měření nedestruktivní metodou:

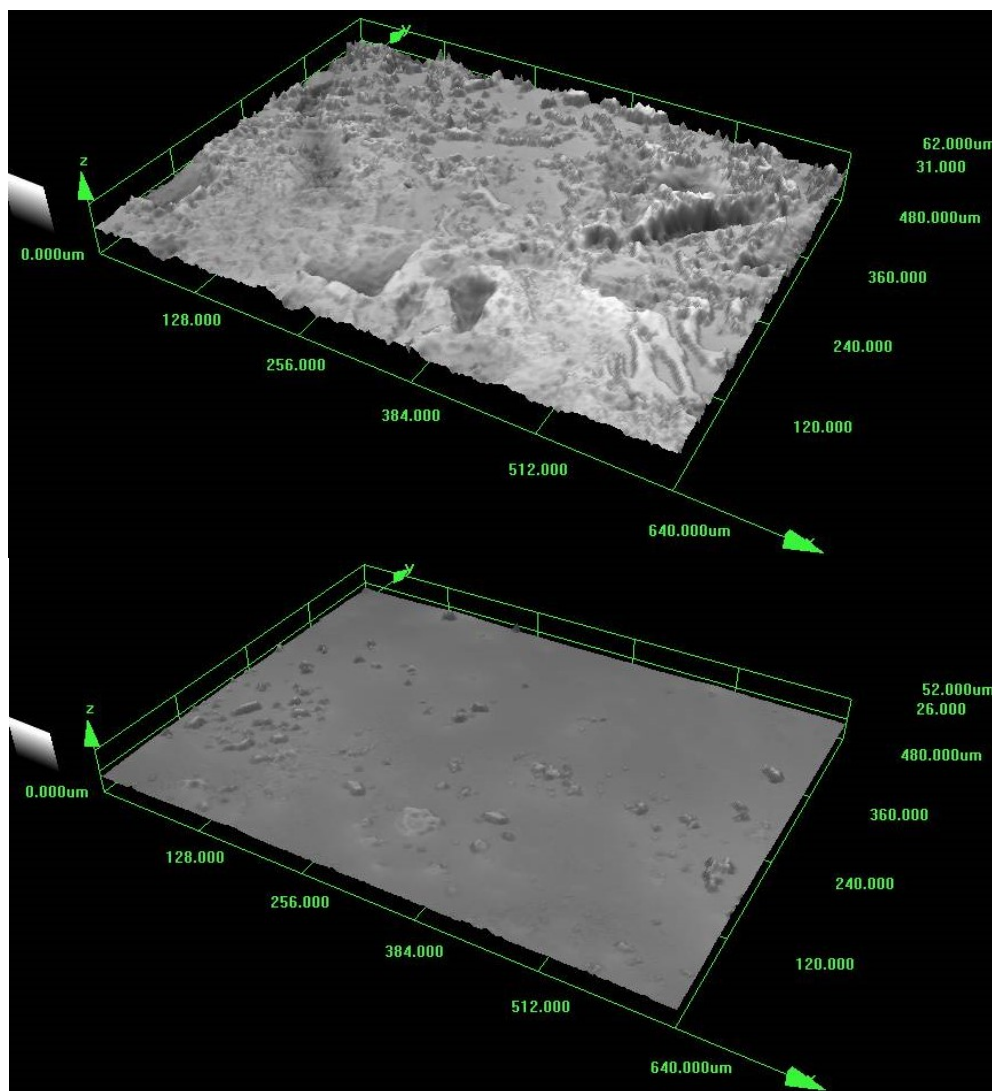
- zinkový povlak = 78 µm,
- nátěrový systém = 120 µm,
- duplexní systém = 198 µm.

Ze snímku je patná změna povrchu zinkového povlaku lehkým tryskáním korozivzdornou drtí a zvětšení kontaktní plochy pro nátěrový systém. Tento vzorek vykazoval po celou dobu zkoušení nejvyšší přilnavost nátěrového systému, a to i po

zkoušce v solné mlze. Pro velký počet snímků jsou další představitele zobrazeny v příloze 1.

4.3 Grafické znázornění vzorku z konfokálního mikroskopu

3D snímky z konfokálního mikroskopu samotného zinkového povlaku (bez nátěrového systému) představují taktéž vliv mechanické předúpravy. Snímky ve 3 rozměrech podávají jednodušší představu o vytvoření vhodného mikroprofilu a zvětšení kontaktní plochy pro základní nátěrový film, který v tomto případě tvoří adhezni můstek pro vrchní krycí vrstvu.



Obrázek 11 - Porovnání změny mikrogeometrie povrchu po lehkém tryskání, horní snímek bez tryskání, dolní snímek tryskaný prostředkem hnědý korund F40 (zvětšeno 480x)[4]

4.4 Analýza nátěrového systému

V následující kapitole jsou popsány jednotlivé zkušební postupy pro určení fyzikálně – mechanických vlastností jednotlivých nátěrových systémů:

- stanovení tloušťky povlaku dle ČSN EN ISO 2808¹¹ nedestruktivně elektromagnetickou metodou,
- stanovení přilnavosti nátěrů mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409¹²,
- stanovení přilnavosti nátěrů odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624¹³.

Před samotnou aplikací nátěrových hmot byla zjišťována tloušťka zinkového povlaku pomocí metody magnetických vířivých proudů, vzhledem k tomu, že zinkový povlak má několik fází a základní vrstva má vysoký obsah železa, byl proveden metalografický výbrus zkušebních vzorků, kde mimo jiné byla změřena mikroskopickou metodou tloušťka zinkového povlaku, aby se vyloučila případně značná odchylka při měření nedestruktivní metodou. Viz předchozí kapitola 4.2 metalografie.

4.4.1 Stanovení tloušťky organické nátěrové hmoty

V experimentálním měření byly použity nátěrové hmoty od dvou výrobců se skladbou základní nátěr epoxid a vrchní krycí nátěr polyuretan. Nátěrové hmoty dodaly firmy Colorlak s.r.o. a Jotun - Atryx s.r.o. Pro aplikace NH na všechny zkušební vzorky byl výhradně použit pneumatický způsob nanášení vysokotlakou pistolí s kontrolou tloušťky mokrého filmu hřebenovou měrkou na hodnotu 120 μm každé vrstvy.

Tloušťka finálního nátěrového systému – suchého filmu, byla stanovena pomocí přístroje Positector 6000, který pracuje na principu nedestruktivní elektromagnetické metody. Přístroj měřil kompletní duplexní systém včetně zinkové vrstvy, kterou bylo nutné následně odečíst

Na každém vzorku bylo celkově provedeno 5 měření v různých místech, průměrné hodnoty z měření jsou popsány v tabulce 7 a 8. Finální tloušťka nátěrového systému je tedy rozdílem celkového duplexního systému a zinkového povlaku.

¹¹ ČSN EN ISO 2808: (2007) Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru

¹² ČSN EN ISO 2409: (2013) Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška

¹³ ČSN EN ISO 4624: (2016) Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti

Tabulka 9 - Stanovení tloušťky nátěrového systému Jotun

Stanovení tloušťky nátěrového systému Jotun ČSN EN ISO 2808				
Označení vzorků	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka [%]	Nejvyšší hodnota [μm]	Nejnižší hodnota [μm]
0129.2	122	9	133	111
0129.3	120	8	130	108
0129.4	122	7	132	112
0129.5	120	6	128	112
0129.6	121	9	130	108
0131.2	120	10	134	110
0131.3	123	11	137	111
0131.4	124	15	140	106
0131.5	117	16	139	99
0131.6	112	14	131	93
0133.2	118	6	127	110
0133.3	119	7	128	112
0133.4	118	11	132	108
0133.5	123	11	137	109
0133.6	124	8	132	115
0135.2	125	14	142	104
0135.3	117	6	124	110
0135.4	121	6	130	113
0135.5	119	6	124	108
0135.6	130	10	144	118

Tabulka 10 - Stanovení tloušťky nátěrového systému Colorlak

Stanovení tloušťky nátěrového systému Colorlak ČSN EN ISO 2808				
Označení vzorků	Aritmetický průměr [μm]	Směrodatná odchylka [%]	Největší hodnota [μm]	Nejnižší hodnota [μm]
0130.2	112	15	124	92
0130.3	122	12	138	108
0130.4	122	4	127	118
0130.5	120	13	138	106
0130.6	123	10	138	113
0132.2	121	10	129	108
0132.3	123	12	136	106
0132.4	117	13	137	106
0132.5	116	10	130	106
0132.6	127	11	136	110
0134.2	121	10	137	111
0134.3	121	11	135	108
0134.4	120	10	135	109
0134.5	123	7	128	112
0134.6	133	15	149	111
0136.2	137	15	160	123
0136.3	118	12	132	100
0136.4	116	12	131	105
0136.5	121	12	135	111
0136.6	121	8	128	112



Obrázek 12 - Měřící zařízení tloušťky povlaku PosiTector

4.4.2 Stanovení přilnavosti nátěrových systémů

Pro stanovení odtrhové pevnosti byl použit hydraulický přístroj Comtest Elcometer 510. Odtrhová zkouška přilnavosti povlaku dle normy ČSN EN ISO 4624¹⁴, spočívá v nalepení zkušební tělesa (terče) vhodně zvoleným lepidlem na nátěrový systém, přičemž zkušební tělesa musí být uspořádána tak, aby se tahová síla přenášela rovnoměrně po celé zkušební ploše bez ohybového momentu. Po uplynutí doby vytvrzení lepidla následuje odtržení tělesa trhacím zařízením.

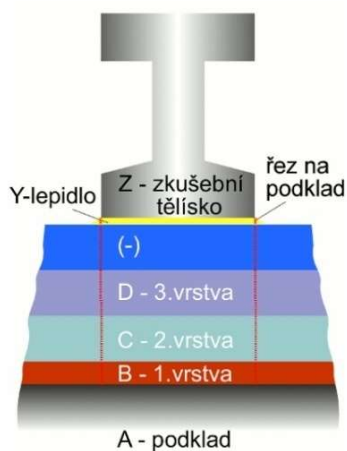
V experimentálním měření bylo použito lepidlo Epoxy scotch-weld 810 mezi zkušebními tělesy a nátěrovým systémem, jedná se o lepidlo na bázi epoxidové pryskyřice. Doba vytvrzení lepidla byla stanovena na 7 dní, pro každý zkušební odtrh. Výstupem odtrhové zkoušky přilnavosti je maximální napětí, při kterém dojde k odtržení zkušební tělesa a charakter lomu vyjádřený v procentech.

- A – kohezní lom v podkladu
- A/B – adhezní lom mezi podkladem a první vrstvou

¹⁴ ČSN EN ISO 4624: (2016) Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti

- -/Y – adhezní lom mezi poslední vrstvou a lepidlem
- Y – kohezní lom v lepidle
- Y/Z – adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním tělískem [16]

Nejčastěji dochází ke kombinaci těchto dvou lomů, a proto se uvádí jejich procentuální vyjádření.



Obrázek 13 – Schéma odtrhu a označení jednotlivých vrstev při zkoušce přilnavosti [16]



Obrázek 14 - Odtrhové zařízení Elcometer použité v experimentální části vlevo, vpravo ukázka hodnocení přilnavosti na vzorku č. 0131.2

Číslo vzorku	Číslo měření	Odtrhová pevnost [MPa]	Charakter lomu	Průměr [MPa]	Mřížková zkouška ČSN EN ISO 2409
0129.2 tryskaný	1	16,91	40%B/C, 50%C	17	1
	2	17,14	10%B/C, 75%C,		
	3	16,98	10%B/C, 80%C,		
0129.6 netryskaný	1	10,88	95A/B, 5%Y	9	2
	2	8,18	100%A		
	3	7,9	100%A		
0131.2 tryskaný	1	16,39	40%B/C, 50%C,	16,3	1
	2	15,73	40%B/C, 55%C,		
	3	16,73	30%B/C, 65%C,		
0131.6 netryskaný	1	17,26	95%A/B, 5%C	18,4	3
	2	18,33	80%A/C, 15%C,		
	3	19,47	50%A/C, 40%C,		
0133.2 tryskaný	1	14,72	50%B/C, 45%C,	16,5	0
	2	16,94	25%B/C, 65%C,		
	3	17,82	5%B/C, 90%C, 5%Y		
0133.6 netryskaný	1	17,42	75%A/B, 25%A/C	17	2
	2	16,77	80%A/C, 20%C		
	3	16,89	70%A/C, 30%C		
0135.2 tryskaný	1	14,82	5%A/B, 40%B/C,	16,2	0
	2	17,44	5%B/C, 90%C, 5%Y		
	3	16,37	30%B/C, 60%C,		
0135.6 netryskaný	1	16,97	80%A/C, 10%C,	16,2	1
	2	14,81	95%A/C, 5%Y		
	3	16,79	55%A/C, 35%C,		

Dílčí závěr pro tabulku 11 :

Nátěrový systém Jotun vykazoval po dobu zkoušení na zinkovém povlaku značně vysokou přilnavost a to i na vzorcích, které nebyly lehkým tryskáním upraveny. Lze předpokládat, že základní nátěrová hmota má velice dobrou chemickou přilnavost se zinkem a adhezní můstek je značně vysoký. Při porovnání hodnot odtrhové pevnosti v MPa tryskaného a netryskaného vzorku jsou v přilnavosti evidentní malé rozdíly, naproti tomu vzorek, který byl mechanicky předupraven lehkým tryskáním, má charakter lomu ve vrstvách nátěru a nebyl zaznamenán odtrh tělesa, který by měl lom od základního substrátu – povlaku zinku. Z tohoto jevu lze usuzovat vysokou odolnost základního nátěru proti odloupenutí od zinkového povlaku.

Vzhledem k odkrytí zinkového povlaku při odtrhnutí tělesa (adhezní lom mezi podkladem a první vrstvou) u netryskaných vzorků, lze předpokládat, že odtrhové napětí je limitní a vyšší hodnoty nelze dosáhnout ani v případě, že by nátěrové vrstvy jevily větší pevnostní charakteristiky. U mechanicky upravených vzorků s lomem povětšinou v základní vrstvě lze předpokládat, že zvýšení pevnostních charakteristik nátěrových vrstev povede k vyšší hodnotě odtrhových napětí a celkové přilnavosti nátěrového systému.

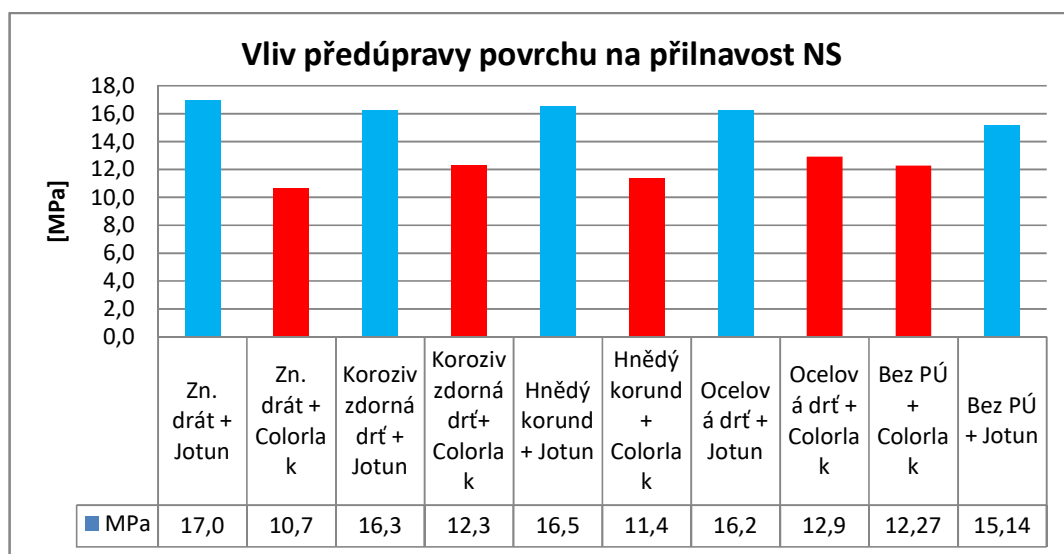
Tabulka 12: Stanovení přilnavosti nátěrového systému Colorlak

Číslo vzorku	Číslo měření	Odtrhová pevnost [MPa]	Charakter lomu	Průměr [MPa]	Mřížková zkouška ČSN EN ISO 2409
0130.2 tryskaný	1	9,37	100%B	10,7	2
	2	11,54	100%B		
	3	11,06	100%B		
0130.6 netryskaný	1	14,55	15%A/B, 80%B	13,6	3
	2	14,54	5%A/B, 95%B		
	3	11,67	5%A/B, 95%B		
0132.2 tryskaný	1	12,54	95%B/C, 5%C	12,3	2
	2	13,99	100%B		
	3	10,49	100%B		
0132.6 netryskaný	1	13,06	35%A/B, 65%C	11,7	2
	2	11,49	35%A/B, 65%C		
	3	10,45	100%B		
0134.2 tryskaný	1	11,63	100%B	11,4	2
	2	11,1	100%B		
	3	11,4	100%B		
0134.6 netryskaný	1	12,19	5%A/B, 95%B	11	2
	2	10,54	5%A/B, 95%B		
	3	10,18	5%A/B, 95%B		
0136.2 tryskaný	1	13,89	100%B	12,9	2
	2	12,4	100%B		
	3	12,46	100%B		
0136.6 netryskaný	1	13,43	40%A/B, 60%B	12,8	2
	2	12,88	40%A/B, 60%B		
	3	12,21	10%A/B, 90%B		

Dílčí závěr pro tabulku 12:

Nátěrový systém Colorlak vykazoval po celou dobu zkoušení zřetelně menší hodnoty odtrhových napětí než systém Jotun. Ačkoliv mají oba systémy stejnou charakteristiku ve složení základní nátěr epoxid, vrchní nátěr polyuretan, tak rozdíl

jsou značné. I v tomto případě se ukázalo, že vzorky které byly mechanicky upraveny lehkým tryskáním, vykazují lom ve vrstvě základního nátěrového filmu. U netryskaných vzorků docházelo k částečnému odkrytí zinkového povrchu. Tato skutečnost ukazuje na fakt, že v případě zvýšení pevnostních charakteristik nátěrových vrstev, hodnoty odtrhových napětí tryskaných vzorku znatelně zvýší. Přilnavost nátěrového systému vykazovala u všech vzorků uspokojivé hodnoty, ovšem korozní zkoušky adhezi nátěrového systému velice zhoršily, viz kapitola 4.4.



graf 2 - Stanovení přilnavosti nátěrového systému Jotun (modrý), Colorlak (červený).

4.4.3 Stanovení tloušťky celkového duplexního systému

Měření duplexního systému včetně zinkového povlaku proběhlo metodou magnetických vířivých proudů na přístroji PosiTector 6000. Hodnoty viz níže v tabulce číslo 13.

Tabulka 13 - Průměrné hodnoty tloušťky duplexního systému

Stanovení tloušťky duplexního systému - NS Jotun		Stanovení tloušťky duplexního systému - NS Colorlak	
Označení vzorků	Aritmetický průměr [μm]	Označení vzorků	Aritmetický průměr [μm]
0129.2	197	0130.2	198
0129.3	196	0130.3	202
0129.4	196	0130.4	201
0129.5	195	0130.5	198
0129.6	201	0130.6	195
0131.2	198	0132.2	202
0131.3	196	0132.3	200
0131.4	196	0132.4	193
0131.5	189	0132.5	188
0131.6	189	0132.6	201
0133.2	196	0134.2	207
0133.3	199	0134.3	194
0133.4	202	0134.4	203
0133.5	198	0134.5	197
0133.6	197	0134.6	210
0135.2	212	0136.2	212
0135.3	197	0136.3	198
0135.4	196	0136.4	195
0135.5	205	0136.5	199
0135.6	205	0136.6	195

4.5 Korozní zkoušky duplexních systémů

Zhotoveným vzorkům s nátěrovým systémem byly před samotnou expozicí zakryty hrany maskovacím voskem s následným označením defektů nátěrového systému, kde by mohly primárně vystupovat korozní produkty. Řezy byly provedeny nástrojem Sikkens typ Daimler Chrysler o šíři řezu 0,5 mm dle normy ČSN EN ISO 17872¹⁵ s důrazem na co nejhlubší řez.

¹⁵ ČSN EN ISO 17872: (2007) Nátěrové hmoty - Návod na provedení řezů povlakem na kovových vzorcích pro korozní zkoušky

ČSN EN ISO 9227¹⁶ Zkouška v neutrální solné mlze

Exponování vzorků a nastavení parametrů solné komory bylo v souladu s normou. V komoře byl rozprašován 5 % NaCl roztok v demineralizované vodě. Elektrická vodivost demineralizované vody dosahovala v průběhu testu průměrné hodnoty 15 μ S, hodnota pH připraveného roztoku byla zařízením Thermo Scientific Orion Star A211 stanovena na hodnotu 6,65. Průměrná rychlost shromažďování mlhy z vodorovné sběrné plochy byla v průběhu testu 1,37 ml·h⁻¹. Exponované vzorky byly dle normy opatřeny řezem o délce 100 mm a šíři 0,5 mm. Řez byl proveden s důrazem na proříznutí až k podkladovému materiálu (ocelovému povrchu), tuto skutečnost však nelze bez metalografického vyhodnocení exaktně potvrdit. Při zkoušce solnou mlhou byly exponovány vzorky uvedené v tabulce číslo 1. Sledovanými parametry byly stupně puchýřkování, tvorba bílé rzi, delaminace a podkorodování v okolí řezu. Zkouška proběhla v zařízení Liebisch S 400 M-TR.

ČSN EN ISO 4628-2¹⁷ Hodnocení stupně puchýřkování.

Norma popisuje metodu hodnocení stupně puchýřkování nátěru porovnáním s obrázkovými standardy. Obrázkové standardy uvádí 4 stupně pro určení velikosti puchýřků a 4 stupně pro množství (hustotu) puchýřků.

ČSN EN ISO 4628-8¹⁸ Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu nebo jiného umělého defektu

U vzorků byla nejprve hodnocena delaminace, která spočívala v odloupení nátěrového systému v okolí řezu vlivem ztráty adheze k podkladu. Poté byl odstraněn nátěr a hodnocena koroze v okolí řezu. K vyhodnocení bylo použito jak výpočtů uvedených v příslušné normě, tak obrazových standardů.

Vzhledem ke zkoušení duplexních systém, kde je vzorek zároveň zinkován, vyhodnocení koroze probíhala na základě měření korozních produktů zinku, které jak se po delaminaci ukázalo, byla pasivační patinová vrstva. Pro odstranění nátěru byl použit prostředek Colorlak P07 Profi.

¹⁶ ČSN EN ISO 9227: (2012) Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou

¹⁷ ČSN EN ISO 4628-2: (2016) Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu - Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování

¹⁸ ČSN EN ISO 4628-8: (2013) Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu - Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování

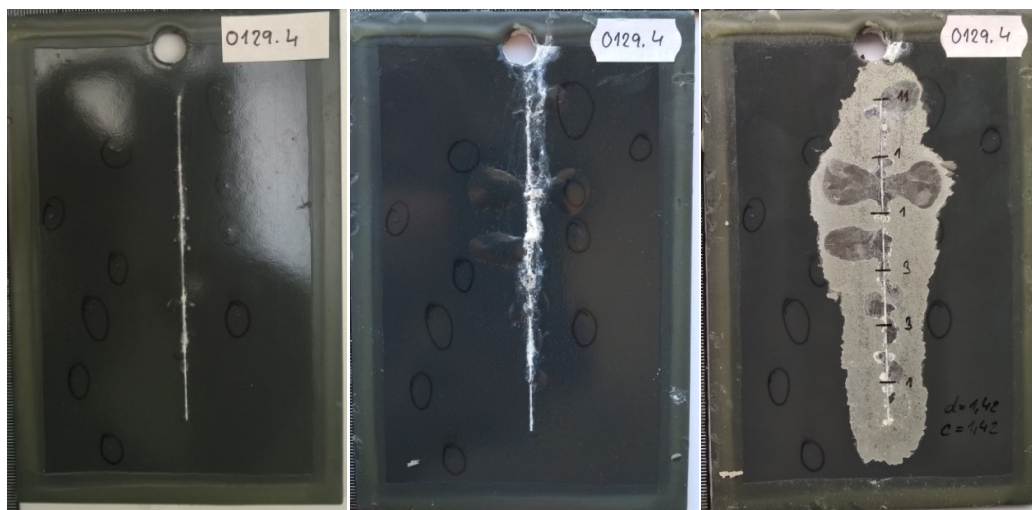
Předmětem normy je stanovení stupně prorezavění nátěrů porovnáním s obrázkovými standardy. Do této normy spadá i hodnocení stupně podkorodování, které není skrz nátěr viditelné a lze ho zkoumat až po odleptání nátěru.

ČSN EN ISO 4628-3¹⁹ Hodnocení stupně prorezavění

Norma hodnotí plochu a stupeň prorezavění pomocí obrazových standardů. Jedná se o prorezavění až na povrch nátěrového systému, které se v rámci testovaného zkušební objevil v ojedinělých případech. Pokud se vyskytovalo, byla příčina zřejmě v částicích tvrdého zinku naplaveného na povrch, nebo v dodatečné kontaminaci povrchu zinku produkty z tryskacích prostředků, například z ocelové drtě.

4.5.1 Korozní odolnost zkušebních vzorků s nátěrovým systémem Jotun

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,8) č. 1					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu - tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
3. 6. 2017	žádná	500	Jotun	Zinkový sekaný drát	100x150x5



Obrázek 15 - Vzorek 0129.4 vlevo expozice 480 hod., vzorek 0129.4 uprostřed expozice 1700 hod., vzorek 0129.4 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Podkorodování	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	Bílá rez v řezu	1,42	1,42	2-2(S5)	1700

Poznámka: Barevná odlišnost vzorků je způsobena osvětlením při pořizování snímků, není způsobena vlivem solné mlhy. Pokud nedocházelo k výrazným změnám a

¹⁹ ČSN EN ISO 4628-3: (2016) Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 3: Hodnocení stupně prorezavění

anomáliím nátěrového systému, bude zde vyobrazen pouze jeden představitel ze třech, fotografie druhého a třetího vzorku budou uvedeny v přílohách (DVD disk) této práce. Tato poznámka je platná i pro následující protokoly.

Diskuze k protokolu číslo 1:

V první fázi korozních zkoušek (expozice 240 hod.) se začala objevovat bílá rez v místě řezu s funkční katodickou ochranou poskytovanou zinkovým povlakem. Po 480 hodinách expozice začal nátěrový systém v bezprostředním okolí řezu vykazovat puchýře, vlivem propustnosti solné mlhy z okolí řezu, které se postupně začaly zvětšovat až do ukončení korozních zkoušek (expozice 1700 hod.). Je zřejmé, že pod puchýřem bylo nedefinovatelné korozní prostředí vlivem zvýšené koncentrace látek. Povrch zinku pod tímto puchýřem nabýval pasivovaného stavu tmavého odstínu, zřejmě i patinového povlaku, který vykazoval při měření tloušťky hodnotu o 5 až 10 μm větší, než v jeho okolí světlého odstínu. Nátěrový systém nebyl nijak zasažen celoplošným puchýřkováním, což vykazuje dobré hodnoty nátěrového systému proti propustnosti nežádoucích látek.

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,8) č. 2					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu - tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
3. 6. 2017	žádná	500	Jotun	Korozivzdorná drť	100x150x5



Obrázek 16 - Vzorek 0131.3 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0131.3 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0131.3 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Podkorodování	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	Bílá rez v řezu	3,1	2,2	2-2(S5)	1700

Diskuse k protokolu číslo 2:

Průběh korozního testování má víceméně podobný charakter, jako v případě protokolu číslo 1. Vzorek nevykazoval žádné anomálie ani korozní produkty železa vystupující na povrch.

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,8) č. 3					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu - tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
3. 6. 2017	žádná	500	Jotun	Hnědý korund	100x150x5



Obrázek 17 - Vzorek 0133.3 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0133.3 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0133.3 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Podkorodování	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	Bílá rez v řezu	4,8	3,24	2-2(S5)	1700

Diskuze k protokolu číslo 3:

Uvedené snímky vykazují stejnou charakteristiku jako již výše uvedené, tím je myšleno především puchýřkování v okolí řezu a podkorodování. Na levé straně od řezu lze spatřit korozní produkt železa, který se začal projevovat od 480 hodin v expozici solné mlhy. Korozní produkt je pravděpodobně důsledkem tvrdého zinku ulpělého na povrchu zinkového povlaku, což potvrzuje pravidlo, že naplavené hrudky tvrdého zinku snižují životnost duplexního systému jako celku. Korozní produkt, který vystoupil na povrch nátěrového systému je důsledkem také malé hodnoty tloušťky nátěrového systému nad hrudkou. Tento fakt je dán malou tloušťkou nátěrového systému vzhledem k výšce hrudky, která nebyla dostatečně nátěrovým filmem zakryta.

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,8) č. 4					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu - tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
3. 6. 2017	žádná	500	Jotun	Ocelová drť	100x150x5



Obrázek 18 - Vzorek 0135.4 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0135.4 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0135.4 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Podkorodování	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	Bílá rez v řezu	3,25	3,4	2-2(S5)	1700

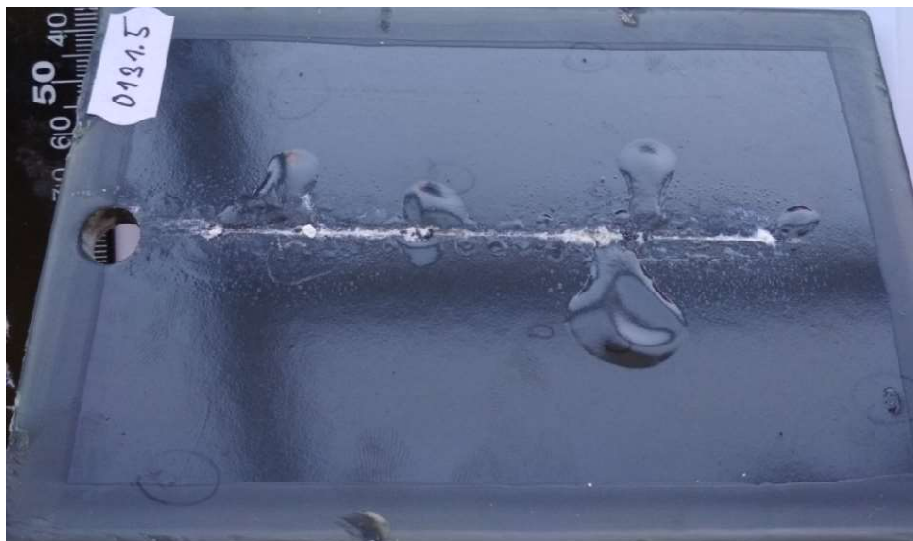
Diskuze k protokolu číslo 4:

Uvedené vzorky vykazují stejné vlastnosti a hodnocení korozní odolnosti jako v případě protokolu č. 3. Vlevo v dolní části je taktéž korozní produkt, který je pravděpodobně důsledkem tvrdého zinku ulpělého na povrchu, nebo kontaminace nečistotou při aplikaci nátěrového systému. Dle příslušné normy je přesto prorezavění hodnoceno hodnotou Ri 0, protože postižená oblast nepřesahuje více jako 0,05% zkušební plochy.

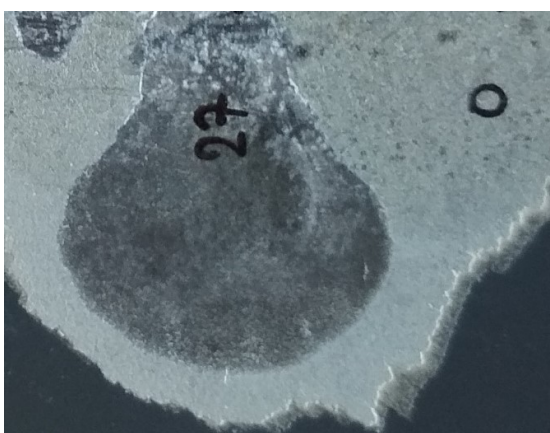
4.5.2 Závěr k nátěrovému systému Jotun:

Nátěrový systém Jotun si po dobu expozice v solné mlze zachoval velice dobrou přilnavost s povlakem zinku, hodnoty odtrhových napětí se zmenšili řádově o 15 %. V okolí řezu se vyskytovaly poměrně rozměrné puchýře, jejichž primární místo vzniku bylo právě v řezu, viz obrázek číslo 21. Puchýřkování nátěrového systému mimo okolí řezu nebylo zaznamenáno, viz obrázek číslo 21. Tento fakt potvrzuje malou propustnost

nátěrového systému a nízkou pórovitost se zachováním dobré adheze k zinkovému povlaku, viz zkoušky přilnavosti v kapitole 4.8. Dále se ukázalo, že na puchýřkování nemá podstatný vliv použitý tryskací prostředek, který má především vliv na samotnou přilnavost nátěrového systému. Na obrázku 12 lze spatřit detail tmavého povlaku na zinkovém povrchu vlivem pasivace a patinového efektu, který vykazoval při měření tloušťky hodnotu o 5 až 10 μm větší, než v jeho okolí světlého odstínu.



Obrázek 19 - Vzorek 0131.5 ze šikmého pohledu, znázornění puchýřů naplněných kondenzovaným solným roztokem v bezprostřední blízkosti řezu



Obrázek 20 - Vzorek 0131.5 Detail tmavé ochranné pasivní vrstvy na zinkovém povrchu vlivem solného roztoku.

4.5.3 Korozní odolnost zkušebních vzorků s nátěrovým systémem Colorlak

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,8) č. 5					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu - tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
3. 6. 2017	žádná	500	Colorlak	Zinkový sekaný drát	100x150x5

Obrázek 21 - Vzorek 0130.4 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0130.4 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0130.4 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Podkorodování	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	Bílá rez v řezu	2,08	1,83	5-5(S2)	1700

Diskuze k protokolu číslo 5:

Zkoušky korozní odolnosti s nátěrovým systémem Colorlak měli stejné podmínky expozice, jako vzorky s nátěrovým systémem Jotun. Nátěrový systém Colorlak vykazuje odlišné vlastnosti v korozním chování, a to především v charakteristice puchýřkování. V místě řezu se víceméně u všech vzorků objevil větší počet puchýřku, které vykazovaly menší velikost než v případě nátěrového systému Jotun. Tento fakt se odrazil i na menších hodnotách delaminace a podkorodování.

Expozice vzorku delší než 1500 hodin ovšem ukázala nízkou odolnosti proti propustnosti nátěrového systému. Po celé ploše mimo blízkého okolí řezu nastalo rozsáhlé puchýřkování, které bylo klasifikováno dle příslušné normy hodnotou 5-5(S2). Uvedené vzorky v protokolu č. 5 nejevily žádné anomálie, ani prorezavění k povrchu.

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,8) č. 6					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu - tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
3. 6. 2017	žádná	500	Colorlak	Korozivzdorná drť	100x150x5

Obrázek 22 - Vzorek 0132.4 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0132.4 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0132.4 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Podkorodování	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	Bílá rez v řezu	2,25	1,42	5-5(S2)	1700

Diskuze k protokolu číslo 6:

Vzorky hodnocené v protokolu č. 6 mají obdobný charakter jako výše zmíněné vzorky v protokolu č. 5. Po dobu expozice 1700 hodin nejevily žádné anomálie, ani prorezavění na povrch. Hodnocení stupně puchýřkování v celé ploše je taktéž shodné. Povrch zinku pod většími puchýři nabýval pasivovaného stavu tmavého odstínu, zřejmě i patinového povlaku, který vykazoval při měření tloušťky hodnotu o 5 až 10 µm větší, než v jeho okolí světlého odstínu. Tento jev byl pozorován i u nátěrového systému Jotun.

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,8) č. 7					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu - tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
3. 6. 2017	žádná	500	Colorlak	Hnědý korund	100x150x5

Obrázek 23 - Vzorek 0134.3 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0134.3 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0134.3 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Podkorodování	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	Bílá rez v řezu	3,25	2,4	5-5(S2)	1700

Diskuze k protokolu číslo 7:

Zkušební vzorky po expozici v solné mlze jevíly obdobné charakteristiky tykající se puchýřkování a podkorodování, jako vzorky, které byly tryskány rozdílným tryskacím prostředkem v protokole 5 a 6. Vzorky nejevily žádné anomálie ani prorezavění na povrch.

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,8) č. 8					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu - tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
3. 6. 2017	žádná	500	Colorlak	Ocelová drť	100x150x5

The image shows three photographs of a metal sample labeled '0136.3'. The left photo shows the sample after 480 hours of exposure, with some light-colored corrosion products. The middle photo shows the sample after 1700 hours of exposure, with more extensive corrosion and a dark, vertical strip of material. The right photo shows the sample after the surface treatment (removal of the coating and assessment of delamination and underfilm corrosion), with a dark, vertical strip of material and some corrosion products. The right photo also includes handwritten measurements: 'd = 0,58' and 'c = 4,93'.

Obrázek 24 - Vzorek 0136.3 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0136.3 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0136.3 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování

Prorezavění	Koroze	Delaminace	Podkorodování	Puchýřkování	Doba expozice [hod]
Ri 0	Bílá rez v řezu	0,58	1,33	5-5(S2)	1700

Diskuze k protokolu číslo 8:

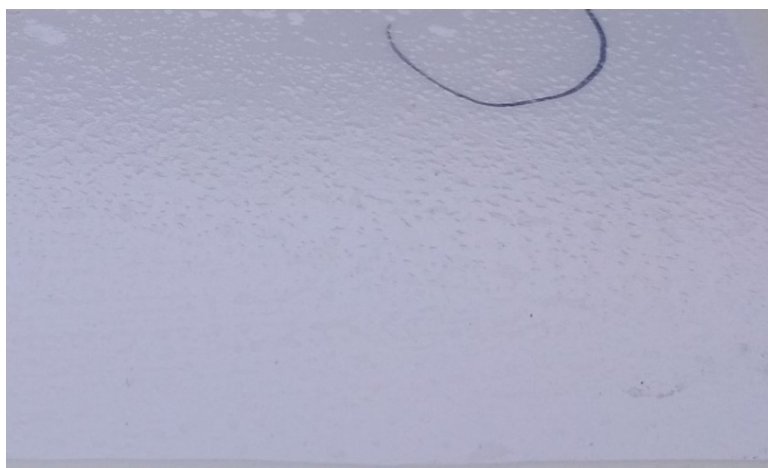
Zkoušení vzorky po expozici v solné mlze vykazovaly nejmenší hodnoty delaminace a podkorodování ze všech zkoušených vzorků. Charakteristika tykající se puchýřkování je u těchto vzorků obdobná jako v předchozích protokolech s nátěrovým systémem Colorlak. V levé části od řezu lze spatřit korozní produkty vlivem prorezavění nátěrového systému. Jejich původ nebyl shledán v částicích tvrdého zinku. S velkou pravděpodobností se jedná o kontaminaci produkty z tryskacího prostředku, a to konkrétně z ocelové drtě. Vlivem kontaminace povrchu železem vznikly produkty, které se začaly zbarvovat až po 1500 hodinách expozice v prostředí solné mlhy.

4.5.4 Závěr pro nátěrový systém Colorlak

Nátěrový systém po dobu expozice 1700 hodin v solné mlze z hlediska adheze k zinkovému povrchu nevykazoval tak dobré parametry jako v případě zkoušeného systému Jotun, viz kapitola 4.6 níže. Hodnoty delaminace a podkorodování nejsou tak vysokých hodnot, jako v případě systému Jotun. Ovšem při hodnocení stupně puchýřkování, které bylo měřeno mimo blízké okolí řezu,

nátěrový systém Colorlak nevykazoval tak dobré hodnoty, jako systém Jotun.

Tento fakt je dán skutečností, že systém Colorlak má nízkou odolnost proti propustnosti par a jeho pórovitost je vyšší než u porovnávaného systému Jotun. Vlivem větší propustnosti se pod nátěrovým systémem Colorlak začala kondenzovat voda + NaCl, která dala podnět pro vznik hydroxidu zinečnatého, viz obrázek číslo 28., neboli bílá rez. Tento povlak začal postupně nátěrový systém nadzvedávat, což se projevilo tvorbou malých puchýřku, viz obrázek číslo 27. a především velice snížené přilnavosti k zinkovému povlaku. Což je vzhledem k životnosti duplexních systémů velice důležité kritérium.



Obrázek 25 - Vzorek 132.4 znázorňuje puchýřkování nátěrového systému Colorlak - tryskáno korozivzdornou ocelovou drtí.

4.6 Zkoušky přilnavosti nátěrových systému po expozici v solné komoře

V rámci korozních zkoušek a jejich vyhodnocení proběhl také test nátěrových systémů, a to zejména zkoušky přilnavosti, které by měli odhalit negativní vlastnosti nátěrového systému vůči propustnosti par a celkovou degradaci v silném korozním prostředí.

Níže popsané tabulky 15 a 16 znázorňují stanovení přilnavosti nátěrového systému odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624²⁰ a mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409²¹.

²⁰ ČSN EN ISO 4624: (2016) Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti

²¹ ČSN EN ISO 2409: (2013) Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška

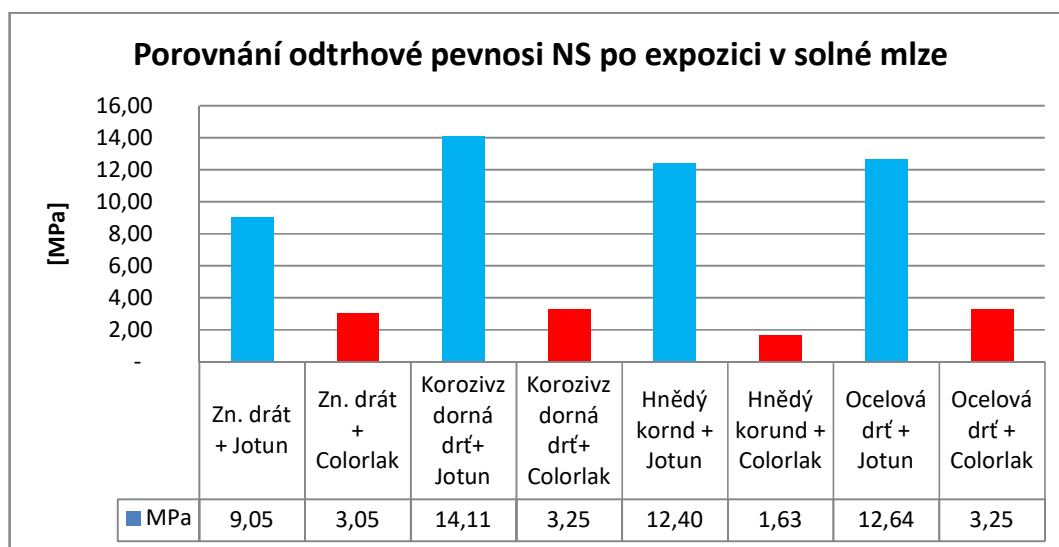
Tabulka 14: Přílnavost nátěrového systému Jotun po korozních zkouškách

Číslo vzorku	Číslo měření	Odtrhová pevnost [MPa]	Charakter lomu	Průměr [MPa]	Mřížková zkouška ČSN EN ISO 2409
0129.X	1	8,40	70%A/B, 30%B	9,05	2
	2	4,79	100%A		
	3	13,95	40%A/B, 60%B		
0131.X	1	13,69	30%A/B, 70%B	14,11	1
	2	12,81	20%A/B, 60%B, 20%B/C		
	3	15,84	30%A/B, 50%B, 20%B/C		
0133.X	1	15,08	5%A/B, 55%B, 40%B/C	12,40	2
	2	9,95	5%A/B, 90%B, 5%C/Y		
	3	12,18	50%A/B, 40%B, 10%C/Y		
0135.X	1	15,73	10%A/B, 70%B, 30%B/C	12,64	2
	2	6,20	75%A/B, 25%B		
	3	15,98	20%A/B, 50%B, 30%BC		

Tabulka 15: Přílnavost nátěrového systému Colorlak po korozních zkouškách

Číslo vzorku	Číslo měření	Odtrhová pevnost [MPa]	Charakter lomu	Průměr [MPa]	Mřížková zkouška ČSN EN ISO 2409
0130.X	1	1,59	100%A	3,05	4
	2	4,2	45%A/B, 55%B		
	3	3,35	60%A/B, 40%B		
0132.X	1	2,98	100%A	3,25	4
	2	5,32	50%A/B, 50%B		
	3	1,44	70%A/B, 25%B, 5%B/C		
0134.X	1	1,34	100%A	1,63	5
	2	2,20	100%A		
	3	1,34	100%A		
0136.X	1	2,65	100%A	3,25	3
	2	4,83	60%A/B, 40%B		
	3	2,27	70%A/B, 25%B, 5%B/C		

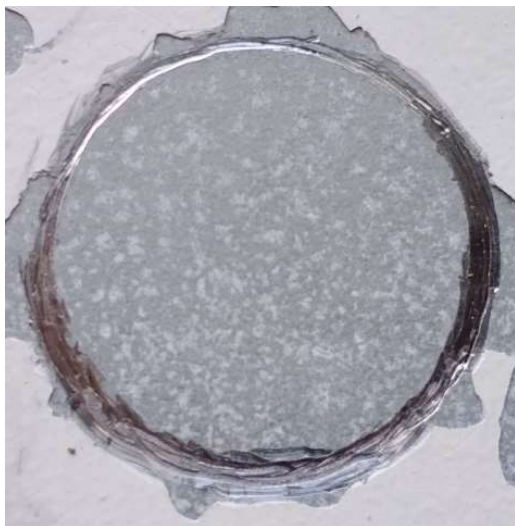
Grafické znázornění ukazuje porovnání nátěrového systému Jotun a Colorlak. Jsou zde evidentní značné změny v neprospěch systému Colorlak, který má nevyhovující přílnavost na všech zkušebních vzorcích. Doba expozice v solné mlze 1700 hodin.



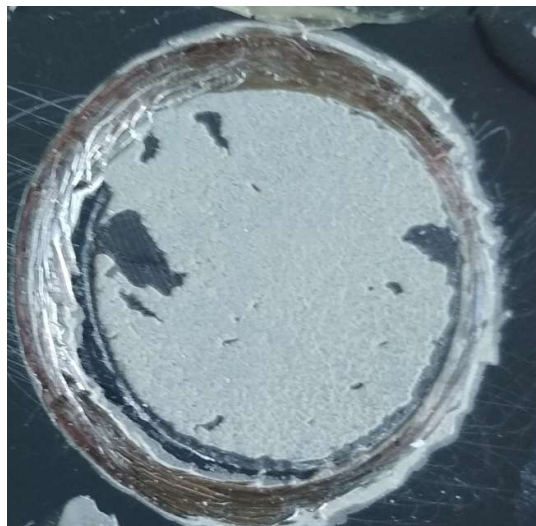
graf 3 - graf porovnání hodnot odtrhových pevností zkušebních vzorků po expozici 1700 hodin v neutrální solné mlze (Jotun modrý, Colorlak červený).

Na následující straně lze vidět detail stanovení přilnavosti metodou odtrhu. Uvedeny jsou dva obrázky 28 a 29 pro porovnání nátěrových systémů Jotun a Colorlak. Ze snímku je evidentní nejen rozdílná hodnota odtrhového napětí v MPa, ale především charakter lomu. Nátěrový systém Jotun má i přes expozici v solné mlze stále ochrannou vrstvu základního nátěru na povlaku zinku, čímž se dá předpokládat vysoká odolnost proti ztrátě adheze. Tento pozitivní jev se víceméně odvíjí od skutečnosti, že oba typy nátěrových hmot jsou určeny od výrobce pro přímý styk s vodou.

Nátěrový systém Colorlak je v tomto ohledu horší. Vlivem jeho vyšší propustnosti par ke chráněnému povlaku došlo k tvorbě bílé rzi, která následně nátěrový systém nadzvedla a velice změnila samotnou adhezi mezi nátěrem a chráněným zinkovým povrchem. Takto snížená adheze je pro dlouhodobou životnost duplexního systému nepřijatelná. Dle technických listů od výrobce Colorlak je také uvedeno, že nátěrové systémy nejsou vhodné pro přímý styk s vodou, což může být jeden z hlavních důvodů, proč nátěrový systém Colorlak ztratil adhezi se zinkovým povlakem.



Obrázek 27 - Vzorek 0134.X - Nátěrový systém Colorlak, hodnota odtrhové pevnosti 1,34 MPa, tryskací prostředek hnědý korund



Obrázek 26 - Vzorek 0133. - Nátěrový systém Jotun, hodnota odtrhové pevnosti 12,18 MPa, tryskací prostředek hnědý korund.

5. Technickoekonomické zhodnocení

V dnešní době je veliký trend snižování nákladů a šetření, což se ovšem většinou odráží na kvalitě a samotné životnosti součásti obecně. Není tomu ani jinak u protikorozních ochran. Náklady ušetřené například při nedokonalé předúpravě mohou mít za následek zhoršení životnosti a následná oprava, či renovace vyrovná, nebo dokonce překročí náklady ušetřené při přípravě povrchu.

Důležitou roli v technickoekonomickém rozhodování hraje především požadovaná životnost konstrukce, ať už při výběru základního materiálu, nebo zvolené protikorozní ochrany. Duplexní systémy jsou z hlediska ekonomické náročnosti poměrně nákladné zejména v prvotní fázi, ale je zapotřebí brát v potaz celkovou životnost chráněné konstrukce, která se může pohybovat dle způsobu expozice i okolo 100 let. Ušetřené náklady ve fázi přípravy mohou později znamenat daleko větší ekonomickou nevýhodnost.

Náklady na samotné tryskání bude velice ovlivňovat způsob realizace a spotřeba tryskacího prostředku. Uzavřené tryskací boxy disponují zařízením pro recyklaci tryskacího prostředku a tím i ušetření nákladů, to se ovšem netýká tryskacích zařízení pro venkovní použití, kde je recyklace víceméně nemožná.

Ekonomické parametry při tvorbě duplexního systému bude tedy nejvíce ovlivňovat:

- cena zinkového povlaku,
- cena nátěrového systému.
- použitý tryskací prostředek a jeho spotřeba,
- spotřeba stlačeného vzduchu při tryskání
- druh tryskacího zařízení,
- mzdové a režijní náklady s tryskáním spojené.

Pro zjednodušený přehled ekonomické náročnosti duplexního systému bude brána v potaz plocha 1m^2 jak pro spotřebu tryskacího prostředku, tak pro spotřebu nátěrových hmot.

5.1 Tryskací prostředky

Vzhledem k výsledům experimentální části budou porovnány pouze dva typy tryskacích prostředků, které lze doporučit pro technologii lehkého tryskání. Jedná se o

korozivzdornou drť a hnědý korund. Ostatní tryskací prostředky se vzhledem ke svým vlastnostem ukázaly jako nevyhovující a v rámci ekonomického zhodnocení postrádá smysl se jimi zabývat. Hodnoty v tabulkách o spotřebě tryskacích prostředků jsou převzaty dle reálné zkušenosti.

V nákladech na tryskací prostředek je zahrnuta takzvaná recyklace, kdy jedno zrno projde přes trysku vícekrát, viz níže:

- Korozivzdorná chromová drť - 100x
- Hnědý korund – 5 x

Tabulka 16: Ekonomické náklady tryskacího prostředku v balení 25Kg, ceny jsou uvedeny bez DPH

Druh tryskacího prostředku	Cena za 1 kg	Spotřeba na 1 m ² [kg]	Výsledná cena 1m ² [Kč]
Hnědý korund	36,3 Kč	2,6	94
Korozivzdorná ocelová drť	92,4 Kč	0,1	9,24

Tabulka 17 - Ekonomické náklady lehkého tryskání

Předúprava povrchu	Spotřeba vzduchu [m ³ /hod]	Výkon tryskání [m ² /hod]	Výsledná cena lehkého tryskání [Kč]
Lehké tryskání	250	50	110

Ekonomické náklady lehkého tryskání zahrnují:

- spotřebu stlačeného vzduchu z kompresoru,
- mzdové náklady,
- režijní náklady.

Další významný parametr rozhodující o ekonomické náročnosti je tvarová složitost tryskaného výrobku. Pro hodnocení v experimentální části bylo uvažováno tryskání rovné plochy.

Porovnání:

- Náklady lehkého tryskání korozivzdornou chromovou drťí = **119 Kč bez DPH.**
- Náklady lehkého tryskání hnědým korundem = **204 Kč bez DPH.**

Poznámka – Náklady jsou určeny pro opracování povrch plochy 1m².

5.2 Nátěrový systém

Ekonomické zhodnocení a využitelnosti nátěrových hmot bude bráno pro plochu 1m^2 při jedné vrstvě. Vydatnost nátěrové hmoty je stanovena dle technických listů pro tloušťku suché vrstvy v hodnotě $80\mu\text{m}$.

Tabulka 18: Ekonomické náklady nátěrových hmot bez DPH

Druh nátěrové hmoty	Cena za 1 kg [Kč]	Spotřeba na 1m^2 [kg]	Výsledná cena 1m^2 [Kč]
Základní - Jotun Jotacoe universal	143	0,16	23
Vrchní - Jotun normadur 65 HS	153	0,15	23
Základní - Colorlak S 2318 Epax	329	0,25	82
Vrchní - Colorlak U 2060 Axapur	216	0,22	48
Tužidlo S 7307 – pro S 2318	263	0,042	11
Tužidlo U 7002 – pro U 2060	426	0,022	9

Mzdové náklady související se zhotovením nátěrového systému = $40\text{ Kč}/1\text{m}^2$

Porovnání:

- Náklady nátěrového systému Jotun = **86 Kč bez DPH.**
- Náklady nátěrového systému Colorlak = **190 Kč bez DPH.**

Poznámka – Náklady jsou určeny pro zhotovení nátěrového systému o ploše 1m^2 .

6. Závěr

Vyhodnocení experimentální práce mělo několik hledisek. Prvním z nich bylo zjistit efektivitu předúpravy povrchu žárového zinku nanášeného ponorem v závislosti na několika použitých tryskacích prostředcích a to sice s hodnotícím kritériem přilnavosti organického nátěrového systému.

V této fázi se ukázalo, že všechny nátěrové systémy mají vyhovující přilnavost i na netryskaném povrchu a vyhovující chemickou vazbu se zinkovým povlakem, pokud ovšem došlo k odtržení zkušebního tělesa při hodnocení přilnavosti, téměř všechny netryskané vzorky měly odkrytý zinkový povlak. Naproti tomu všechny tryskané vzorky měly ještě alespoň základní nátěr chránící zinkový povlak a odtrh zkušebního tělesa nastal v nátěrovém systému, nikoliv od zinkového povlaku.

V další části proběhly korozní zkoušky v neutrální solné mlze, které mají do jisté míry vypovídat o zrychleném korozním chování a životnosti konstrukce. Duplexních systémů se předně využívá při dlouhodobé protikorozní ochraně, nebo v expozici silně agresivních okolních prostředí. Čas pro expozici zkoušení v neutrální solné mlze byl stanoven na 1700 hodin. Při korozních zkouškách byly vzorky opatřeny řezy dle příslušné normy, která stanoví proříznutí ochranného povlaku až na pokladový kov. Vzhledem k faktu, že se jedná o duplexní systémy, měl by být řez skrze zinkový povlak. Tuto skutečnost korozní zkoušky nepotvrdily a to sice z důvodu nedokonalého proříznutí nejtvrďší fáze (železo-zinek), nebo vysoké katodické ochrany zinkového povlaku, který podkladovou ocel v místě řezu chránil.

Dalším zkoumaným parametrem byla degradace a adheze nátěrových systémů. Nátěrové systémy v místě řezu byly otevřené pro vnikající solnou mlhu, která se zde začala kondenzovat a vytvářet puchýře v bezprostřední blízkosti řezu, jak lze pozorovat v kapitole 4. Nátěrový systém Colorlak jevil v tomto případě menší puchýře, ale s větším počtem než nátěrový systém Jotun. Nátěrový systém Jotun měl puchýře větší, ale méně početnější. Pod puchýři obou nátěrových systémů se začala kondenzovat kapalina a nastala reakce se zinkovým povlakem, které dala za vznik ochranné pasivační tmavé vrstvy (patiny), která byla dále hodnocena, jako podkorodování v příslušných protokolech v kapitole číslo 4.

Výstupem korozních zkoušek bylo také stanovení přilnavosti nátěrových systémů po expozici v neutrální solné mlze. Nátěrový systém Colorlak vlivem špatné odolnosti proti propustnosti par začal ztrácet adhezi vlivem tvorby bílé rzi, které zapříčinila velice

početné puchýřkování a ztrátu přilnavosti se zinkovým povlakem u všech tryskacích prostředků použitých pro předúpravu povrchu zinkového povlaku. Za tímto faktem stojí zřejmě vlastnost nevhodnost přímého styku s poživatinami, krmivou a pitnou vodou, která je uvedena v technických listech nátěrové vrchní hmoty Colorlak U 2060 Axapur. Základní nátěrová hmota Colorlak S2318 má dle technických listů pouze krátkodobé vystavení přímým účinkům vody, viz příloha číslo.2. Hodnocení přilnavosti nátěrového systému Colorlak po korozních zkouškách lze uvést, jako nevyhovující.

Nátěrový systém od společnosti Jotun jevil v tomto směru opačné vlastnosti a přilnavost byla i po korozních zkouškách vyhovující. Nejnižší přilnavost systému Jotun se ukázala u vzorku tryskaného zinkovým sekaným drátem s parametrem drsnosti povrchu Rz 10,6 μ m a Ra 1,35 μ m (netrysaný vzorek Rz 6,4 μ m a Ra 1,29 μ m). Ostatní tryskací prostředky měly v závislosti na přilnavosti nátěrového systému obdobné vlastnosti. Fakt, že nátěrový systém Jotun odolával propustnosti par, je dán jeho chemickým složením a doporučením dle technických listů pro přímý styk s vodou, jak u základního tak u vrchního nátěru, viz příloha 2. Hodnocení přilnavosti nátěrového systému Jotun po korozních zkouškách lze uvést, jako vyhovující.

Při vyhodnocení experimentu jednotlivých tryskacích prostředků se ukázalo, že zinkový sekaný drát není vhodný pro použití v technologii lehkého tryskání – sweepování povlaku žárového zinku nanášeného ponorem a to hlavně z hlediska odhadu dlouhodobé protikorozní odolnosti. Zrna jsou sice ostrohranného charakteru, ale jsou měkká, a jejich ostré rohy jsou velmi rychle zaobleny. Při měření drsnosti povrchu byla potvrzena vlastnost měkkých zinkových zrn a neefektivita opracování povrchu. Tento výsledek nevyhovujícího opracování povrchu byl sledován především při hodnocení přilnavosti po korozních zkouškách u nátěrového systému Jotun.

Ze závěrů experimentů lze jednoznačně doporučit pro lehké tryskání zinkového povlaku nanášeného ponorem tryskací prostředek hnědý korund a korozivzdornou chromovou drť ve spojení s nátěrovým systémem Jotun, který vykazuje vyhovující vlastnosti v přímém styku s párou a vodou, což může být bráno jako jeden z důležitých parametrů pro dlouhodobou životnost duplexního systému.

Seznam použitých zdrojů

- [1] JEDLINSKÝ, Jan a P. NĚMEC. *MM průmyslové spektrum: Povrchová úprava materiálů pomocí laseru* [online]. Univerzita Pardubice, 2005 [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/povrchova-uprava-materialu-pomoci-laseru.html>
- [2] SVOBODA, Jakub. *Návrh způsobu chemické předúpravy povrchu povlaku žárového zinku pro přilnavost organického povlaku*. Praha, ČVUT FS, 2016. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan KUDLÁČEK, Ph.D.
- [3] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [4] HYLÁK, Kamil. *STANOVENÍ PODMÍNEK PRO ŠETRNÉ SWEEPOVÁNÍ*. ČVUT FS, v Praze, 2015. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Petr Drašnar, Ph.D.
- [5] HANSEL, Dave. *Abrasive blasting systems. Metal Finishing* [online]. 1999, 97(5): 29-55 [cit. 2017-08-01]. DOI: 10.1016/S0026-0576(99)80758-2. ISSN 00260576. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026057699807582>
- [6] KUKLÍK, Vlastimil a Jan KUDLÁČEK. *Žárové zinkování*. Havlíčkův Brod: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014. ISBN 978-80-90529-2-36.
- [7] STRZYŽ, Petr a René SIOSTRZONEK. Duplexní povlaky ocelových konstrukcí. *Konstrukce* [online]. 2012, 2012 [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/duplexni-povlaky-ocelovych-konstrukci/>
- [8] HYLÁK, Kamil, Jakub SVOBODA, Jan KUDLÁČEK a Viktor KREIBICH. Comparison of chemical and mechanical pretreatments and their influence on the adhesion of organic coatings. *Technological forum*. ČVUT FS v Praze, 2017, 2017, 5.
- [9] SZELAG, Petr. Pragochema, spol. s.r.o. – interní pdf dokument pro výuku. *Železnaté fosfátování*. [cit. 2017-08-01].
- [10] Saikat Adhikari, K.A. Unocic, Y. Zhai, G.S. Frankel, John Zimmerman, W. Frisad, *Hexafluorozirkonická kyselina jako předúprava povrchu: Charakterizace a hodnocení výkonu*, *Electrochimica Acta*, Volume 56, Issue 4, 15 January 2011, Pages 1912-1924, ISSN 0013-4686, <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2010.07.037> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468610009692>)
- [11] PÁRTL, Václav a Pavel ŘÍHA. *Česká republika – Ředitelství vodních cest ČR, TECHNICKÉ KVALITATIVNÍ PODMÍNKY STAVEB ŘVC ČR: PROTIKOROZNÍ OCHRANA OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ OCHRANNÝMI NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY*. Praha: Česká republika – Ředitelství vodních cest ČR, 2013.

- [12] *Guide to Preparing Hot-Dip Galvanized Steel for paint*. 6881 S. Holly Circle, Suite 108 Centennial, CO 80112: American Galvanizers Association, , 11.
- [13] KUDLÁČEK, Jan a Viktor KREIBICH. Tryskání suchým ledem. *Povrcháři*. 2008, (1): 1. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/200801_povrchari.pdf
- [14] KORUND BENÁTKY S.R.O., *Korund: brousící zrna hnědého umělého korundu* [online]. [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.korund.cz/indexc.php?id=korundf>
- [15] *Nerezové tryskací materiály: GRANINOX CrH* [online]. TRYMETA spol. s .r.o. náměstí Míru 65/6 792 01 BRUNTÁL [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.trymeta.cz/nerezove-granulaty/graninox-crh.html>
- [16] *Tryskací materiály: Ocelová drť* [online]. PKIT Praha s.r.o. U Hřiště 245 251 01 Světlava u Říčan [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/cs/ocelova-drt/>
- [17] *Kovové a nerezové tryskací materiály: Sekaný zinkový drát- válcový, zakulacený* [online]. Abranova s.r.o Postoloprty - Rvenice 73 [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://abranova.cz/sekany-zinkovy-drat>
- [18] STRZYŽ, PETR a RENÉ SIOSTRZONEK. Duplexní povlaky ocelových konstrukcí. *Strojárstvo / Strojírnoství* [online]. TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/duplexni-povlaky-ocelovych-konstrukci>
- [19] KALEDOVÁ, Andrea. *Metody testování vlastností organických povlaků ú: KOROZNĚ-INHIBIČNÍ ÚČINNOST ORGANICKÝCH POVLAKŮ* [online]. Univerzita Pardubice Fakulta chemicko-technologická Ústav polymerních materiálů, 2001 [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: http://docplayer.cz/12102892-Metody-testovani-vlastnosti-organickych-povlaku.html#show_full_text
- [19] NOVÁK, Pavel. *Koroze kovů* [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, Fakulta chemické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, , 63 [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected>
- [20] KUKLÍK, Vlastimil. Bílá rez na povlacích žárového zinku. *Povrchové úpravy* [online]. VYDAVATELSTVÍ PRESS AGENCY - časopis Povrchové úpravy, 2008 [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.povrchoveupravy.cz/2008-03-clanek05.html>
- [21] LIBERSKI, Piotr, Henryk KANIA a Henryk SKLADANIEC. Korozní odolnost povlaků jako kritérium výběru chemického složení zinkovací lázně. *Konstrukce* [online]. KONSTRUKCE Media, s.r.o., se sídlem Starobělská 1133/5, 700 30 Ostrava, 2011 [cit. 2017-08-01].
- [22] *Sinkkipinnoitteiden korroosio* [online]. [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.nordicgalvanizers.com/foretag/Corrosionsuomi.htm>

[23] společnost Wiegel Žebrák s. r. o. Vzhled povlaků vytvořených žárovým pozinkováním ponorem. *MM průmyslové spektrum* [online]. MM publishing, s. r. o. Přípotoční 1519/10a, 101 00 Praha 10, 2002, (5), 14 [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vzhled-povlaku-vytvorenych-zarovym-pozinkovanim-ponorem.html>

[24] MOULIS, Tomáš. *Korozní chování nátěrových systémů s Mg částicemi na ocelových podkladech*. ČVUT FS, v Praze, 2016. Diplomová práce. ČVUT FS, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

[27], SLIŽ J. a Lankwitzer ČR, spol. s r. o. *VII. KONFERENCE PIGMENTY A POJIVA: UŽITÍ FUNKČNÍCH ADITIV PRO MODELOVÁNÍ PŘILNAVOSTI NA NEŽELEZNÉ KOVOVÉ POVRCHY* [online]. Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek, Fakulty chemicko-technologické, Univerzity Par. 2014 [cit. 2017-08-01].

[28] KUBÁTOVÁ, H. *Nátěry kovů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2000, 101 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-9035-1.

[29] KUKLÍK, Vlastimil a Wiegel. Drsnost povlaků žárového zinku. *MM průmyslové spektrum* [online]. MM publishing, s. r. o. Přípotoční 1519/10a, 101 00 Praha 10, 2011(4) [cit. 2017-08-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/drsnost-povlaku-zaroveho-zinku.html>

[30] TRHLÍKOVÁ, Lucie. *VLIV SMĚSÍ "GREEN SOLVENTS" A NANOČÁSTIC NA VYBRANÉ POLYMERNÍ POVRCHOVÉ ÚPRAVY*. VUT Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně Fakulta chemická. Vedoucí práce Ing. JAROMÍR TULKA, CSc.

[31] American Galvanizers Association. *Duplex system: Painting over Hot-Dip Galvanized Steel*. 2012 American Galvanizers Association: American Galvanizers Association 6881 S. Holly Circle, Ste. 108 • Centennial, CO 80112, 2012.

[31] *Ochrana ocelových konstrukcí systémem Duplex* [online]. MM průmyslové spektrum: Vydavatelství MM publishing, 2001 [cit. 2017-08-09]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ochrana-ocelovych-konstrukci-systemem-duplex.html>

[32] NEZDAŘILÍKOVÁ, Martina. *METROLOGICKÁ KONFIRMACE MĚŘIDLA*. VUT Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Koška, Ph.D.

Použité normy

[25] ČSN EN ISO 9227:2012. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. 2013. Praha: ÚNMZ

[26] ČSN EN ISO 4618:2015. *Nátěrové hmoty – Termíny a definice*. 2015. Praha: ÚNMZ

ČSN EN ISO 2808 (673061). *Nátěrové hmoty: - Stanovení tloušťky nátěru*. Český normalizační institut, 2007.

ČSN EN ISO 4287 (014450). *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda: Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Český normalizační institut, 1999.

ČSN EN ISO 2409 (673085). *Nátěrové hmoty: Mřížková zkouška*. Český normalizační institut, 2013.

ČSN EN ISO 4624 (673077). *Nátěrové hmoty: Odtrhová zkouška přilnavosti*. Český normalizační institut, 2016.

ČSN EN ISO 4628-2 (673071). *Nátěrové hmoty: Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Český normalizační institut, 2016.

ČSN EN ISO 4628-8 (673071). *Nátěrové hmoty: Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu nebo jiného umělého defektu*. Český normalizační institut, 2013.

ČSN EN ISO 4628-3 (673071). *Nátěrové hmoty: Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 3: Hodnocení stupně prorezavění*. Český normalizační institut, 2016.

Seznam tabulek

Tabulka 1- Agresivita korozního prostředí v půdách.....	32
Tabulka 2: Přehled vzorků a jejich využití v experimentální části.....	43
Tabulka 3 - Tloušťka zinkového povlaku měřena nedestruktivní elektromagnetickou metodou a destruktivní mikroskopickou metodou při metalografickém výbrusu.....	47
Tabulka 4 - Drsnost vzorků tryskaných hnědým korundem.....	49
Tabulka 7: Drsnost vzorků tryskaných korozivzdornou drtí.....	49
Tabulka 5: Drsnost vzorků tryskaných ocelovou drtí.....	49
Tabulka 8: Drsnost vzorků bez tryskání.....	49
Tabulka 6: Drsnost vzorků tryskaných zinkovým sekaným drátem.....	49
Tabulka 9 - Stanovení tloušťky nátěrového systému Jotun.....	58
Tabulka 10 - Stanovení tloušťky nátěrového systému Colorlak.....	58
Tabulka 11 - Stanovení přilnavosti nátěrového systému Jotun.....	61
Tabulka 12: Stanovení přilnavosti nátěrového systému Colorlak.....	62
Tabulka 13 - Průměrné hodnoty tloušťky duplexního systému.....	64
Tabulka 14: Přilnavost nátěrového systému Jotun po korozních zkouškách.....	77

Tabulka 15: Přílnavost nátěrového systému Colorlak po korozních zkouškách	77
Tabulka 16: Ekonomické náklady tryskacích prostředků bez DPH	81
Tabulka 17: Ekonomické náklady nátěrových hmot bez DPH.....	82

Seznam obrázků

Obrázek 1: Detail nevhodné adheze nátěrového systému, ukázka zábradlí ve venkovním, atmosférickém prostřední autobusového areálu Praha, ÚAN Florenc	14
Obrázek 2: Metalografický výbrus žárově zinkovaného vzorku ponorem a rozdíl tvrdosti jednotlivých fází tvořících zinkovou vrstvu, zkouška tvrdosti podle Vickerse. [6]	17
Obrázek 3 - Vzhled bílé rzi (hydroxidu zinečnatého) na povrchu zinku [22] Chyba! Záložka není definována.	
Obrázek 4 - Vzhled patinového efektu na povrchu zinku [22] Chyba! Záložka není definována.	
Obrázek 5 - Metalografický výbrus povlaku zinku s hrudkou tvrdého zinku naplavené na povrchu [29]	33
Obrázek 6: Solná zkušební komora SKB400ATR [24].....	37
Obrázek 7 - Metalografický výbrus vzorku 0129.6, NS Jotun, netrysaný (zvětšeno 480x) ..	50
Obrázek 8 - Metalografický výbrus vzorku 0129.2, NS Jotun – tryskaný sekaným Zn. drátem (zvětšeno 480x)	51
Obrázek 9 - Metalografický výbrus vzorku 0130.6, NS Colorlak - netrysaný (zvětšeno 480x)	52
Obrázek 10 - Metalografický výbrus vzorku 0130.2, NS Colorlak, tryskaný sekaným Zn. drátem (zvětšeno 480x)	53
Obrázek 11 - Metalografický výbrus vzorku 0131.6, NS Jotun, netrysaný (zvětšeno 480x)	54
Obrázek 12 - Metalografický výbrus vzorku 0131.2, NS Jotun, tryskaný korozivzdornou drtí (zvětšeno 480x)	55
Obrázek 13 - Porovnání změny mikrogeometrie povrchu po lehkém tryskání, horní snímek bez tryskání, dolní snímek tryskaný prostředkem hnědý korund F40 (zvětšeno 480x)[4]	56
Obrázek 14 - Měřicí zařízení tloušťky povlaku PosiTector	59
Obrázek 15 – Schéma odtrhu a označení jednotlivých vrstev při zkoušce přílnavosti [16].....	60
Obrázek 16 - Odtrhové zařízení Elcometer použité v experimentální části vlevo, vpravo ukázka hodnocení přílnavost na vzorku č. 0131.2.....	60
Obrázek 17 - Vzorek 0129.4 vlevo expozice 480 hod., vzorek 0129.4 uprostřed expozice 1700 hod., vzorek 0129.4 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování	66

Obrázek 18 - Vzorek 0131.3 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0131.3 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0131.3 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování.....	68
Obrázek 19 - Vzorek 0133.3 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0133.3 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0133.3 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování.....	69
Obrázek 20 - Vzorek 0135.4 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0135.4 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0135.4 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování.....	70
Obrázek 21 - Vzorek 0131.5 ze šikmého pohledu, znázornění puchýřů naplněných kondenzovaným solným roztokem v bezprostřední blízkosti řezu.....	71
Obrázek 22 - Vzorek 0131.5 Detail tmavé ochranné pasivní vrstvy na zinkovém povrchu vlivem solného roztoku.	71
Obrázek 23 - Vzorek 0130.4 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0130.4 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0130.4 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování.....	72
Obrázek 24 - Vzorek 0132.4 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0132.4 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0132.4 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování.....	73
Obrázek 25 - Vzorek 0134.3 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0134.3 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0134.3 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování.....	74
Obrázek 26 - Vzorek 0136.3 vlevo, expozice 480 hod., vzorek 0136.3 uprostřed, expozice 1700 hod., vzorek 0136.3 vpravo po odstranění nátěru a vyhodnocení delaminace, podkorodování.....	75
Obrázek 27 - Vzorek 132.4 znázorňuje puchýřkování nátěrového systému Colorlak - tryskáno korozivzdornou ocelovou drtí.....	76
Obrázek 28 - Vzorek 0134.X - Nátěrový systém Colorlak, hodnota odtrhové pevnosti 1,34 MPa, tryskací prostředek hnědý korund.....	79
Obrázek 29 - Vzorek 0133. - Nátěrový systém Jotun, hodnota odtrhové pevnosti 12,18 MPa, tryskací prostředek hnědý korund.....	79

Seznam grafů

graf 1 - Grafické znázornění kolísání tloušťky zinkové vrstvy zkušebních vzorků	48
graf 2 - Stanovení přilnavosti nátěrového systému Jotun (modrý), Colorlak (červený).....	63
graf 3 - graf porovnání hodnot odtrhových pevností zkušebních vzorků po expozici 1700 hodin v neutrální solné mlze (Jotun modrý, Colorlak červený).	78

Seznam zkratk

NH – nátěrové hmota

NS – nátěrový systém

UV – Ultra Violet (ultrafialové záření)

Zn – zinek

Cu – měď

Fe – železo

Si – křemík

Ni - Nikl

μm - mikrometr

°C – Celsiův stupeň (jednotka teploty)

SO₂ – oxid siřičitý

NaCl – chlorid sodný

CO₂ – oxid uhličitý

H₂O - voda

ČSN – Česká technická norma

ASTM – American Society for Testing and Materials

DIN – Deutsches Institut für Normung ZnS – sulfid zinečnatý

NSS – Neutral salt spray AASS – Acetic acid salt spray

CASS – Copper accelerated salt spray test

pH – vodíkový exponent (potential of hydrogen)

Seznam příloh

Příloha 1 – Metalografie

Příloha 2 – Technické listy nátěrových systémů

Vzhledem ke značnému počtu fotografií zkušebních vzorků, jsou po dohodě s vedoucím práce obrazové přílohy z experimentální části uloženy na příbalovém DVD.