



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

**Ověření vlastností žárově pokovených vzorků**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**AUTOR:** Bc. Klára Harazimová

**VEDOUcí PRÁCE:** Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE

**STUDIJNÍ PROGRAM:** N 2301 Strojní inženýrství

**Praha 2023**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Harazimová** Jméno: **Klára** Osobní číslo: **452706**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výrobní inženýrství**  
Specializace: **Bez specializace**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Ověření vlastností žárově pokovených vzorků**

Název diplomové práce anglicky:

**Verification of the properties of hot-dip plated samples**

Pokyny pro vypracování:

1. Technologie žárového zinkování (historie, výhody a nevýhody technologie)
2. Metalurgie tvorby povlaku
3. Morfologie povlaků žárového zinku
4. Předúprava povrchů před žárovým zinkováním
5. Metody žárového zinkování ponorem
6. Koroze zinkových povlaků
7. Zhotovení vzorků
8. Vyhodnocení a diskuze výsledků

Seznam doporučené literatury:

1. KUKLÍK, Vlastimil a Jan KUDLÁČEK. Žárové zinkování. [Havlíčkův Brod]: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014. ISBN 978-80-905298-2-3.
2. Příručka žárového zinkování

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jiří Kuchař, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

**Ing. Kamil Hylák ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání diplomové práce: **26.04.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **11.08.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2023**

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

## **Prohlášení**

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kuchaře, Ph.D., IWE, a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne: .....

Bc. Klára Harazimová

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat panu Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D., IWE a panu Ing. Kamilu Hylákovi za cenné rady a připomínky při tvorbě této diplomové práce.



# Anotace

<b>Název diplomové práce:</b>	Ověření vlastností žárově pokovených vzorků
<b>Autor práce:</b>	Bc. Klára Harazimová
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE
<b>Konzultant:</b>	Ing. Kamil Hylák
<b>Akademický rok:</b>	2022/2023
<b>Vysoká škola:</b>	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
<b>Ústav:</b>	12133 – Ústav strojírenské technologie
<b>Vedoucí ústavu:</b>	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
<b>Rozsah práce:</b>	77 stránek a 51 stran příloh, 15 tabulek, 247 obrázků
<b>Klíčová slova:</b>	žárové zinkování, zinek, tloušťka povlaku, drsnost, koroze, metalografie

# Annotation

<b>Title of the final thesis:</b>	Verification of the properties of hot-dip plated samples
<b>Author:</b>	Bc. Klára Harazimová
<b>Supervisor:</b>	Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE
<b>Consultant:</b>	Ing. Kamil Hylák
<b>Academic year:</b>	2022/2023
<b>University:</b>	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
<b>Department:</b>	12133 – Department of Manufacturing Technology
<b>Head of department:</b>	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
<b>Extent:</b>	77 pages and 51 pages of attachments, 15 tables, 247 pictures
<b>Keywords:</b>	hot-dip galvanizing, zinc, coating thickness, roughness, corrosion, metallography

# Obsah

Úvod.....	10
1. Technologie žárového zinkování .....	11
2. Zinek .....	12
3. Předúprava povrchu pro žárové zinkování .....	13
3.1 Odmašťování.....	13
3.2 Moření.....	15
3.3 Oplach .....	17
3.4 Tavidlo .....	18
3.5 Sušení.....	18
4. Žárové zinkování ponorem .....	19
4.1 Kontinuální zinkování.....	20
4.2 Kusové zinkování .....	21
4.2.1 Suché zinkování.....	21
4.2.2 Mokrý zinkování .....	22
4.2.3 Zinkování s odstředěním.....	22
4.3 Duplexní systém .....	23
5. Metalurgie tvorby povlaku žárového zinku .....	24
5.1 Slitinové železo-zinkové fáze .....	24
5.2 Nízkoteplotní zinkování.....	26
5.3 Vysokoteplotní zinkování .....	26
6. Morfologie povlaků žárového zinku .....	27
6.1 Vliv křemíku .....	27
6.2 Vliv chemického složení oceli .....	28
6.3 Vliv legur v zinkové lázni.....	29
6.4 Vliv dalších faktorů .....	30
7. Koroze zinkových povlaků .....	31
7.1 Koroze v atmosféře .....	32
7.2 Koroze ve vodě .....	34
7.3 Koroze v půdě.....	35
7.4 Galvanická koroze .....	35
8. Experimentální část.....	36
8.1 Měření drsnosti .....	39
8.2 Měření tloušťky .....	43

8.3 Korozní zkouška .....	46
8.4 Metalografická analýza.....	53
9. Diskuse.....	60
9.1 Drsnost.....	60
9.2 Měření tloušťky .....	60
9.3 Korozní zkouška .....	61
9.4 Metalografická analýza.....	61
Závěr.....	62
Bibliografie .....	63
Seznam tabulek.....	70
Seznam obrázků.....	71
Příloha I.....	78
Korozní zkouška (vzorek 1.1.2).....	78
Korozní zkouška (vzorek 1.2.1).....	81
Korozní zkouška (vzorek 1.2.2).....	85
Korozní zkouška (vzorek 2.1.1).....	88
Korozní zkouška (vzorek 2.1.2).....	92
Korozní zkouška (vzorek 2.2.1).....	95
Korozní zkouška (vzorek 2.2.2).....	99
Korozní zkouška (vzorek 3.1.1).....	102
Korozní zkouška (vzorek 3.1.2).....	106
Korozní zkouška (vzorek 3.2.1).....	109
Korozní zkouška (vzorek 3.2.2).....	113
Korozní zkouška (vzorek 4.1).....	116
Korozní zkouška (vzorek 4.2).....	120
Příloha II. ....	124
Měření tloušťky povlaku (vzorek 1.1.3).....	124
Měření tloušťky povlaku (vzorek 1.2.3).....	124
Měření tloušťky povlaku (vzorek 2.1.3).....	125
Měření tloušťky povlaku (vzorek 2.2.3).....	126
Měření tloušťky povlaku (vzorek 3.1.3).....	126
Měření tloušťky povlaku (vzorek 3.2.3).....	127
Měření tloušťky povlaku (vzorek 4.3).....	128

# Seznam zkratek

$\text{Al}_2\text{O}_3$	oxid hlinitý
BCC	mřížka krychlové prostorově středěná
ČSN	české státní normy
EN	evropské normy
FCC	mřížka krychlové plošně středěná
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	oxid železitý – hematit
$\text{Fe}_3\text{O}_4$	oxid železnato-železitý – magnetit
$\text{FeCl}_2$	chlorid železnatý
$\text{FeO}$	oxid železnatý – wüstit
$\text{H}_2\text{O}$	voda
$\text{H}_2\text{SO}_4$	kyselina sírová
HB	tvrdost dle Brinella
HCl	kyselina chlorovodíková
HCP	mřížka šesterečná těsně uspořádaná
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
$\text{NH}_4\text{Cl}$	chlorid amonný
pH	vodíkový exponent
Ra	střední aritmetická odchylka [ $\mu\text{m}$ ]
$i_{\text{corr}}$	rychlost koroze [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ nebo $\mu\text{m}\cdot\text{rok}^{-1}$ ]
$R_p$	stupeň ochrany
Rz	průměrná hloubka drsnosti [ $\mu\text{m}$ ]
$\text{SiO}_2$	oxid křemičitý
$\text{SO}_2$	oxid siřičitý
$T_T$	teplota tání
TZ	tepelné zpracování
$\text{ZnCl}_2$	chlorid zinečnatý
$\text{ZnFe}_3\text{O}_4$	franklinit
$\text{ZnO}$	zinkit
$\text{ZnS}$	sfalerit

# Úvod

Žárové zinkování se řadí mezi komerčně nejdůležitější metody protikorozní ochrany. Cílem této práce bylo zjistit, jaký vliv má teplota a doba zinkování na kvalitu výsledného povlaku a jaký je rozdíl mezi parametry povlaku u vzorků vyrobených v zinkovně i vzorků vyrobených v univerzitní laboratoři. Zinkování se provádělo za tří odlišných teplot a při třech různých časech zinkování. Výsledný povlak se hodnotil z hlediska drsnosti pomocí digitálního drsnoměru. Dále se zjišťovala tloušťka pomocí tloušťkoměru. Tím, že atmosférická koroze nepříznivě ovlivňuje užité i estetické vlastnosti výrobku, se vzorky podrobily i korozní zkoušce, kde byly vzorky umístěny po dobu 1 500 hodin, a poté se vyhodnotily pomocí normy ČSN EN ISO 10289. Zbylé vzorky se použily na metalografickou analýzu, kde se ověřoval výskyt jednotlivých fází povlaku a jeho celková tloušťka, která se porovnávala s hodnotami naměřenými pomocí tloušťkoměru.

# 1. Technologie žárového zinkování

Žárové zinkování je jednou z nejstarších (používá se téměř 200 let) a komerčně nejdůležitějších metod protikorozní ochrany. Jedná se o metalurgický proces, kterým vzniká na povrchu vzorku ochranný povlak zinku a zinkových slitin. Tento povlak vzniká při ponoření dílu do zinkové lázně za teploty přibližně 460 °C. Vzniklý povlak poskytuje vynikající bariérovou, katodickou i pasivační ochranu. Zinkový povlak se skládá z pěti fází. Tyto fáze mají odlišný obsah zinku a jejich obsah výrazně ovlivňuje vlastnosti výsledného povlaku. Aby byl povlak co nejkvalitnější, je důležité díl nejprve zbavit všech nečistot odmaštěním a mořením. Žárově zinková vrstva může také sloužit jako podkladová vrstva pro nátěrovou hmotu. Vzniklý povlak se nazývá duplexní. Životnost duplexního povlaku je dvojnásobkem životnosti obou povlaků samostatně. [1, 2]

Nevýhodou žárového zinkování ponorem je používání van, ve kterých je roztavený zinek. Velikost vany určuje maximální velikost dílu, který je možné pozinkovat.

Mezi jeho výhody patří relativně nízké pořizovací náklady, nižší náklady v průběhu životnosti, dlouhá životnost (v desítkách let), rychlost aplikace, kvalitní způsob ochrany a v neposlední řadě i rovnoměrná tloušťka zinkové vrstvy na celé součásti (vnitřní a vnější části součásti, hrany a rovné plochy).

## 2. Zinek

Zinek je čtvrtý nejpoužívanější kov na zemi. Používanější je pouze železo, hliník a měď. Zinek je modrobílý lesklý kov, který na vzduchu rychle oxiduje, podléhá korozi. Za určitých atmosférických podmínek zinek pasivuje, což znamená, že si na povrchu utvoří tenkou vrstvičku oxidu, která jej chrání před korozi. Za normálních podmínek je zinek houževnatý. Se zvyšující teplotou se stává tažný, naopak při nižších teplotách se stává křehký. Krystalizuje v šesterečné (hexagonální) mřížce. Jeho teplota tání je 419,5 °C, hustota 7 140 kg/m<sup>3</sup> a bod varu 907 °C. Čistý zinek se nepoužívá, kvůli nízké mezi pevnosti a tvrdosti. Tvrdost zinku bývá okolo 31 HB. [3-5]

Zinek se v průmyslu používá především kvůli jeho dobré slévateľnosti a schopnosti přilnout s jinými kovy. Je důležitým prvkem při výrobě mosazi. Největší využití zinku (až 50 %) je v povrchových úpravách, a to hlavně díky poskytnutí vysoce účinných a trvanlivých povlaků na ocelových konstrukcích, které brání korozi. Dále se používá jako plnivo v gumárenském průmyslu. Zinek není důležitý pouze v průmyslu, ale i jako prvek v lidském organismu, u zvířat i rostlin. Zajišťuje správný růst a vývoj. Tělo dospělého člověka obsahuje 2 – 3 g Zn, kdy stopové množství se vyskytuje v arašídech, ústřicích a v hovězím mase. [4]

Zinek se vyskytuje v půdě i v mořské vodě pouze ve sloučeninách. Hlavní surovinou pro jeho výrobu jsou sulfidické a oxidické rudy. Nejrozšířenějším minerálem je sfalerit (ZnS). Tento minerál je v hornině doprovázen sulfidy jiných kovů, např. Pb, Cu, Fe, Cd aj. a také Ge a In, které jsou ve sloučenině pouze ve stopovém množství. Oxidické rudy nemají tak velký význam jako rudy sulfidické, ale mezi hlavní zástupce patří zinkit (ZnO) a franklinit (ZnFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Zinek se tedy nejčastěji získává ze sulfidických rud, kdy proces začíná koncentrací rudy a následným pražením rudy za přístupu vzduchu. Procesem vzniká oxid zinečnatý a oxid siřičitý, ten se dále používá k výrobě kyseliny sírové. Oxid zinečnatý se poté zpracovává elektrolyticky, kdy se vyloučí zinek s čistotou 99,95 %. Další způsob získávání zinku je redukce oxidu zinečnatého koksem. Proces probíhá ve vysoké peci, kdy zinkové páry, které opouštějí vrchol pece jsou rychle schlazeny a rozpuštěny zkrápným olovem. Zinek se následně odděluje jako kapalina s 99% čistotou, následuje rafinace, kdy se získá 99,99% čistý zinek. [6]

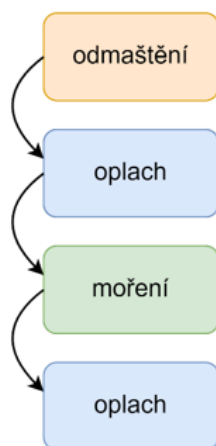


### 3. Předúprava povrchu pro žárové zinkování

Předúprava povrchu je nedílnou součástí u všech povrchových úprav. Ovlivňuje přilnavost a funkci povrchové vrstvy. Předúprava je mechanická a chemická a dochází při ní k odstranění cizorodých i stejnorodých látek. Mechanická předúprava se provádí pomocí kartáče, brusných kotoučů, tryskání aj.. Tímto způsobem se odstraňuje z oceli barva nebo struska po svařování. Pomocí chemické předúpravy se odstraňují mastné nečistoty, tuky, okuje a oxidické vrstvy. Dochází k tomu za pomoci chemických látek, které reagují s nečistotami. Po kvalitní předúpravě vykazuje ocel kovově čistý povrch. [7-10]

V moderních zinkovnách jsou předúpravy povrchu odděleny od ostatních prostor zinkovny, a to především kvůli efektivnímu odsávání a čištění emisí z lázní. [7]

Chemická předúprava se dělí na odmašťování a moření. Mezi jednotlivými operacemi se provádí oplachy viz. obr. 1. Oplachy zabraňují přenosu chemikálií mezi procesními lázněmi. V případě suchého procesu se po posledním oplachu musí nanést na díl tavidlo, které se následně vysuší (viz. kapitola 4.2.1 Suché zinkování). [7]



Obr. 1: Schéma předúpravy vzorku, obr. vytvořen autorkou dle literatury [8]

#### 3.1. Odmašťování

Úkolem odmašťovací lázně je uvolnění nečistot z povrchu kovu do lázně a následnému zabránění jejich zpětnému vyloučení na povrch vzorku. Odmaštění se dělí podle typu lázně na alkalické, kyselé, v organických rozpouštědlech, emulzní odmaštění atd. Mezi alkalické odmaštění patří odmašťování elektrolytické, odmašťování s použitím

ultrazvuku, vodní páry aj., jelikož jde pouze o zvýšení účinnosti alkalických odmašťovacích roztoků. [8, 11, 12]

Alkalické odmašťování – spočívá v emulgaci a disperzi nečistot. Dochází také k rozpouštění heteropolárních nečistot, které jsou ve vodě nerozpustné. Roztoky působí na jednotlivé nečistoty odlišným způsobem. Tuky, ať už rostlinné nebo živočišné, i oleje se při odmašťování chemicky mění – zmýdelňují se. Mastné látky minerálního původu, které jsou chemicky odolnější, se rozptylují ve formě jemných kapiček do roztoku (emulgují), a tím se odstraňují z povrchu. Další přísady v lázni zajišťují rozptyl tuhých látek v roztoku a zabraňují zpětnému ukotvení nečistot na povrchu. Další příměsí v lázni jsou tenzidy, které zlepšují smáčivost a oplachovatelnost. Bez této příměsi by nebylo možné odmašťovat členité díly s malými dutinami. Hlavními složkami alkalických přípravků je hydroxid sodný a fosforečnan draselný. Odmaštění se provádí ponorem při teplotách 60 – 90 °C a při koncentraci 1 – 10 %. Během provozu je nutné odstraňovat nečistoty, které plavou na hladině lázně. [8, 9, 12, 13]

Kyselé odmašťování – kyselé odmašťování často nahrazuje alkalické odmašťování, a to z několika důvodů:

- Zkrácení technologického postupu čištění (neprovádí se oplach mezi odmaštěním a mořením)
- Zabránění přenosu alkálií do mořicí lázně (úspora mořicí kyseliny)
- Snížení množství odpadních vod (recyklace)
- Proces moření se provádí již od začátku odmašťování
- Potřeba menších prostor [14]

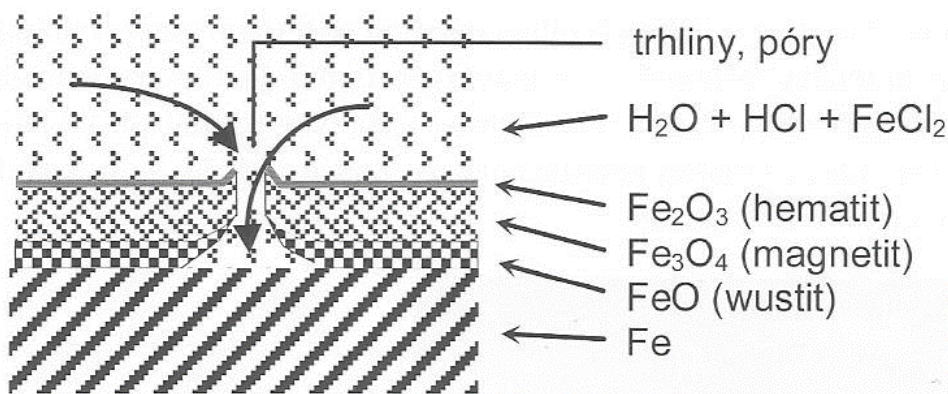
Ale kyselé odmaštění nemá pouze výhody. Velkou nevýhodou je menší účinnost než alkalické odmaštění. Nejčastěji se používají lázně kyseliny dusičné s kyselinou fosforečnou, sírovou nebo chlorovodíkovou. Do lázně jsou přidávány tenzidy, stejně jako do alkalického odmaštění. Za velkou výhodu se považuje nerozpustnost tuků v lázni, ale jejich vysrážení v podobě sedimentů, které se usazují na dně vany. V pravidelných intervalech se lázně vypustí a následuje vyjmutí usazených sedimentů. Poté se napustí vana původní lázní, která se dočerpá o úbytek způsobený výnosem na odmašťovaných dílech. Jedná se tedy o lázně s neomezenou životností. Poslední výhodou je provoz vany při pokojové teplotě. Kvůli tomu je kyselé odmašťování méně nákladné na provoz vany než alkalické odmaštění. [14, 15]

Odmašťování v organických rozpouštědlech – jedná se o nejjednodušší způsob odmaštění (rozpuštění mastnot molekulárním pochodem). Mezi výhody patří vysoká čistící mohutnost a jednoduchost procesu. Ideální rozpouštědlo by mělo být nehořlavé, netoxické, kapalné v provozních podmínkách, má dobře rozpouštět mastné nečistoty a musí být stálé (nesmí se rozkládat). Podmínku nehořlavosti a netoxičnosti nesplňuje žádné rozpouštědlo, některá rozpouštědla se ale této podmínce přibližují. Z hořlavých rozpouštědel se používá benzín a petrolej, ale pouze v malém množství. S těmito rozpouštědly se nedosáhne dokonalé smáčivosti povrchu, a to kvůli tomu, že během používání dochází k znečišťování rozpouštědla, tudíž stoupá zbytkový stupeň zamaštění čistého povrchu. Z nehořlavých rozpouštědel se používá trichloretylen a perchloretylen, ale kvůli jejich toxicitě je lze použít pouze v uzavřených zařízeních. Nevýhodou organických rozpouštědel je, že se nemohou použít na vlhké povrchy, nelze odstraňovat heteropolární nečistoty (anorganické soli, otisky prstů) a dodržování přísných bezpečnostních pravidel. [8, 11, 12]

Emulzní odmašťování – spočívá v umístění vzorků do organického rozpouštědla (nejčastěji do úzké destilační ropné frakce s vyšším bodem vzplanutí). Rozpouštědlo také obsahuje organické emulgátory (mýdla, sulfonáty). Emulgátor podporuje penetraci rozpouštědla do vrstvy nečistot. Rozpouštědlo snižuje viskozitu mastnot, a tím dochází k jejich rozpuštění. Po vyjmutí vzorku z rozpouštědla následuje oplach, při kterém se odstraní nečistoty i použité rozpouštědlo z povrchu ve formě vodné emulze. Tento proces je velmi účinný i přesto, že pracuje za pokojových teplot. Nevýhodou je vznik velmi stabilních emulzí, které způsobují potíže při zneškodňování odpadních vod. Proto se tento způsob odmaštění nerozšiřuje. [8, 9]

### **3.2. Moření**

Mořením se rozumí odstraňování korozních produktů z povrchu kovu. Mezi korozní produkty patří okuje (vznikají při ohřevu ke tváření za tepla i při TZ) a rez (vzniká za působení atmosféry za běžným podmínek). Odstranění produktů lze docílit ať už chemickým nebo elektrochemickým způsobem. K moření se nejčastěji používají kyseliny, kyselé soli a ojediněle i alkalická činidla. Na obr. 2 je schematicky znázorněn ocelový povrch s korozními produkty a trhlinami, kterými se lázeň dostane k ocelovému povrchu. [8, 9, 16]



Obr. 2: Princip moření a složení oxidů v okujích [15]

V okujích se vyskytují tři základní vrstvy oxidů železa. Tyto okuje jsou popsány v tabulce 1. Podíly těchto oxidů železa ve vrstvě okují jsou různé. [15, 16]

Tab. 1: Struktura vrstvy okují na oceli [15, 16]

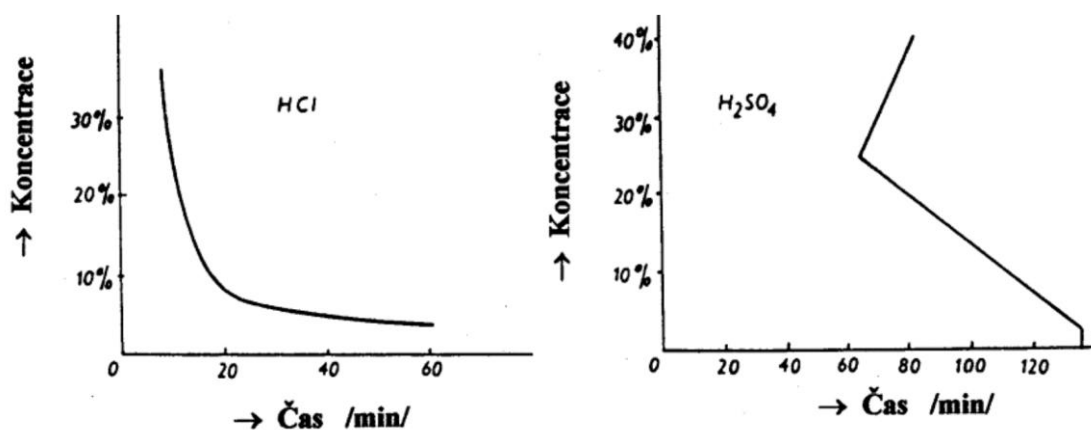
Látka	Substrát	Wüstit	Magnetit	Hematit
Složení	Fe	FeO	FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Název	Železo	Oxid železnatý	Oxid železato-železitý	Oxid železitý
Rozpustnost	Obtížná	Velmi dobrá	Obtížná	Velmi obtížná

Na odstranění jednotlivých oxidů železa jsou zapotřebí odlišné podmínky. K odstranění wüstitu, který se nachází nejbližší k substrátu, musí dojít k přímému kontaktu s mořícím roztokem. K odstranění okují, které jsou složeny převážně z magnetitu, je zapotřebí dlouhá doba moření. V případě, že na povrchu oceli převládá wüstit, postačí krátká doba moření k odstranění okují. Wüstit se dobře rozpouští, a proto se dosáhne čistého povrchu relativně rychle. [15, 16]

K moření se používá nejčastěji kyselina chlorovodíková HCl a kyselina sírová H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Kyselina sírová se využívá především díky její nízké ceně, malé spotřebě a nízké exhalaci okolí. Skrz trhliny a póry se kyselina dostane do vrstvy okují, kde rozpouští wüstit a kovový povrch. Velký vliv na proces moření má koncentrace a teplota lázně a důležitý je i stupeň saturace chloridem železnatým FeCl<sub>2</sub>. Maximální rychlost moření je při 20% koncentraci kyseliny sírové, viz. obr. 3. Teplota lázně se pohybuje od 40 °C do 70 °C. Doba moření obvykle bývá 10 – 30 minut, kdy závisí na tloušťce a struktuře okují. Nevýhoda lázně tkví v tom, že během provozu ztrácí svoji účinnost, a to kvůli poklesu koncentrace a vzrůstu obsahu železa. [7-9, 17]

Kyselina chlorovodíková napadá kovový povrch méně než kyselina sírová, díky tomu je povrch čistší. Koncentrace bývá zpravidla mezi 10 a 12 % HCl. Pokud by došlo k překročení 20% koncentrace, nastala by exhalace chlorovodíku. V dnešní době je kladen důraz na ekonomičnost procesů. Moření v kyselině chlorovodíkové se provádí za běžných teplot, nedochází tedy k zahřívání lázně stejně jako u moření pomocí kyseliny sírové. Nevýhodou kyseliny chlorovodíkové je rozpouštění okují převážně chemicky (pouze malé množství odpadáva mechanickým působením vodíku). Oproti tomu v kyselině sírové zůstává jejich převážná část nerozpuštěna jako kal. Z tohoto důvodu je spotřeba kyseliny chlorovodíkové mnohem větší. [7, 9, 17, 18]

Srovnání závislosti koncentrace lázně na době moření je vyobrazen na obr. 3. Na levé straně obr. je závislost kyseliny chlorovodíkové na pravé straně kyselina sírová.



Obr. 3: Vliv koncentrace lázně na rychlost moření [7]

### 3.3 Oplach

Oplach je nedílnou součástí procesu předúpravy povrchu. Aplikuje se vždy mezi jednotlivými operacemi. Oplachy zabraňují přenosu chemikálií mezi procesními lázněmi, a tím dochází k větší životnosti jednotlivých lázní.

Moderní zinkovny mají vícestupňové oplachy mezi operacemi. Díky tomu nemusí zinkovna produkovat žádné odpadní vody. Pokud se jedná o dvoustupňový oplach, tak se voda z první oplachové lázně dále využívá k doplnění odparu z mořících lázní. Odčerpané množství z první oplachové vany je doplněno vodou z druhé oplachové vany a druhá vana je doplněna o čistou užitkovou vodu. [15, 19]

### 3.4 Tavidlo

Jedná se o speciální operaci, která se u jiných technologií předúprav neprovádí. Tavidlo zajišťuje konečné dočištění povrchu oceli před samotným pokovením. Podle způsobu nanášení se rozlišuje proces žárového zinkování na tzv. suché a mokré zinkování. U mokrého zinkování je tavidlo ve formě taveniny na hladině pokovovací lázně (viz. kapitola 4.2.2 Mokré zinkování). [19]

U suchého procesu je tavidlo umístěno samostatně ve vaně. Tavidlo je vodný roztok solí, do kterého se díly ponoří. Po vyjmutí dílu z lázně se voda odpaří v sušárně ještě před vstupem do roztaveného kovu (viz. kapitola 4.2.1 Suché zinkování). Tím vznikne na povrchu dílu ochranný film, který brání další oxidaci. Dalším úkolem tavidla je rozpustit oxidy na povrchu oceli a oxidy zinku na hladině zinkové lázně, díky tomu dojde k přímému kontaktu obou kovů (železo – zinek). [7, 10, 19]

Tavidlo je složeno ze dvou základních složek, a to z chloridu zinečnatého ( $ZnCl_2$ ) a chloridu amonného ( $NH_4Cl$ ). [19]

### 3.5 Sušení

Sušení se provádí pouze u procesu suchého zinkování. Před vstupem do zinkové lázně je nutné, aby tavidlo bylo suché, jinak by došlo k rozstříku zinku při ponořování dílu do zinkové lázně. [15]

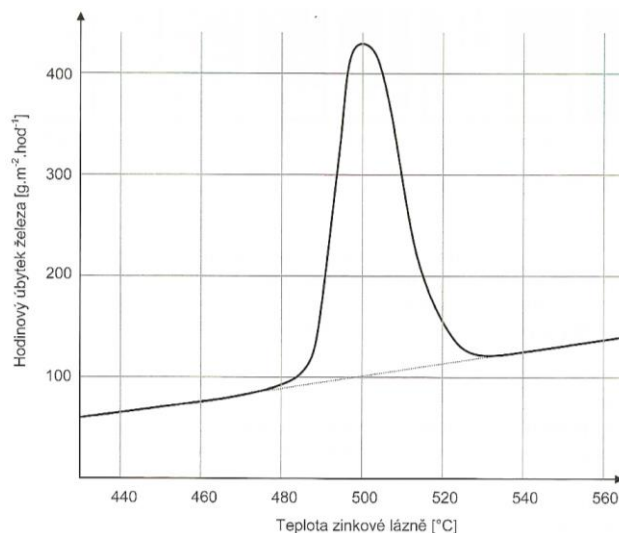
## 4. Žárové zinkování ponorem

Žárové zinkování se řadí mezi nejpoužívanější technologie povrchových úprav. Lze jej aplikovat na rozmanité výrobky (plechy, dráty, trubky, armatury, pletiva, spojovací materiály aj.). Dochází k ochraně ocelových dílů před korozním napadením, a tím se zvyšuje živostnost součástí. Toho se docílí vytvořením kvalitního a rovnoměrného povlaku po celém povrchu součásti. Výhodou žárového zinkování je rovnoměrná tloušťka povlaku na celém povrchu dílu i na vnitřních plochách. Také je stejná (nebo větší) tloušťka povlaku na hranách oproti rovným plochám dílu. [1, 10, 20, 21]

Jedná se o metalurgický proces, kdy po ponoření ocelových dílů do vany s roztaveným zinkem vzniká slitinový povlak. Ten vzniká při složitých difúzních pochodech, metalurgických reakcích a termodynamických přeměnách. Aby bylo možné nanést na díl kvalitní zinkový povlak, tak je nezbytné, aby byl díl pečlivě předupraven (viz. kapitola 3 Předúprava povrchu pro žárové zinkování). Obvyklá tloušťka vytvořeného povlaku je 35 – 250  $\mu\text{m}$ . Na základě dokončeného výzkumného projektu FOSTA P835[22] bylo prokázáno, že povlak, který přesahuje tloušťku 200  $\mu\text{m}$  chrání ocel proti korozi po dobu až 100 let bez nutnosti údržby. [15, 18, 22, 23]

Zinkování ponorem se provádí mezi teplotami 450 °C a 470 °C. Ve speciálních zařízeních, kterými jsou keramické zinkovací vany, lze provádět pokovení nad teplotu 530 °C. Pokud by díl, který se má pozinkovat, byl z materiálu, který má nižší teplotu tání, než je teplota zinkování, nebylo by možné jej pozinkovat. [13, 19, 24]

Mezi teplotami 480 °C a 530 °C není vhodné zinkovat. V tomto rozmezí teplot prudce vzrůstá rychlost rozpouštění železa v roztaveném zinku viz. obr. 4. To vede ke znehodnocování zinku v zinkové lázni a k viditelné změně geometrie pozinkovaných dílů. Znehodnocený zinek se váže s rozpuštěným železem na tvrdý zinek, který sice lze recyklovat, ale pro zinkovnu představuje ztrátu. [15]



Obr. 4: Závislost úbytku železa při rozpouštění v zinkové lázni v závislosti na teplotě [15]

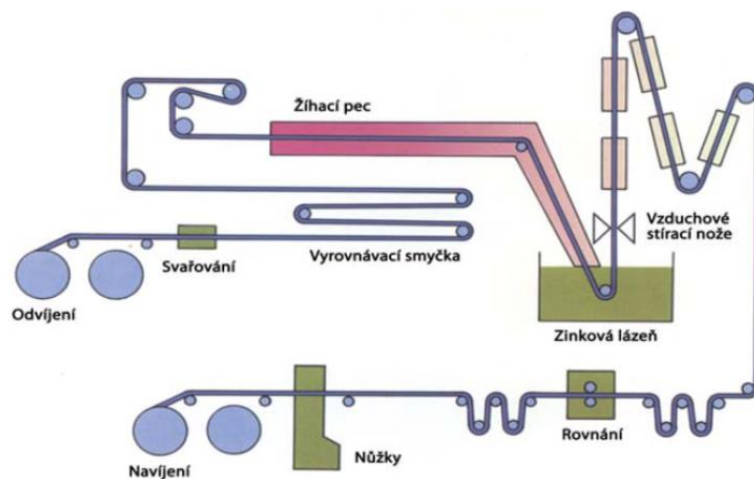
Důležitým parametrem u procesu zinkování je doba zinkování. Doba zinkování je minimální doba, po kterou musí díly setrvat v zinkovací lázni, aby došlo k vytvoření kvalitního povlaku. Během toho, kdy je díl vložen do lázně dochází k ohřívání dílu na teplotu roztaveného zinku, konečné dočištění pomocí tavidla a samotné pokovení. Doba ohřátí dílu na teplotu roztaveného zinku je závislá na tloušťce pokovovaného materiálu a celkové hmotnosti dílu. Čím je díl větší, tím trvá prohřátí materiálu déle a vznikají tlustší povlaky. [1, 19]

Žárové zinkování ponorem se dělí na kontinuální a kusové zinkování:

#### 4.1 Kontinuální zinkování

Touto metodou se zinkují tenké plechy. Vstupním materiálem jsou za studena válcované svitky plechu. Tyto svitky se během procesu svařují, a tím vzniká nekonečně dlouhý pás. Jedná se o kontinuální zařízení. Výhody této metody jsou vysoká produktivita a přesné nastavení parametrů procesu. Celý proces je složen z předúpravy (odmaštění a moření), normalizačního žihání v peci, zinkování a navíjení zpět do svitků viz. obr. 5. Aby se zajistila požadovaná tloušťka zinkové vrstvy, musí se plech odvíjet ze zinkovací lázně kolmo nahoru, kde prochází vzduchovými stíracími noži, které jemným proudem vzduchu odstraňují přebytečný povlak. Dále plech pokračuje přes rovnací zařízení (kde se provádí ochrana proti vzniku bílé korozi) a poté se navije do svitků. [18, 25, 26]





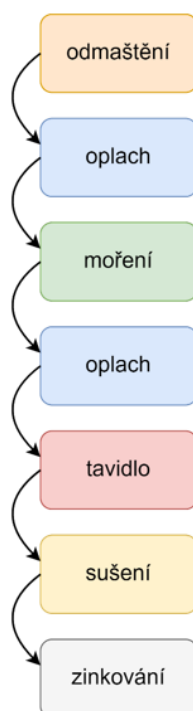
Obr. 5: Kontinuální žárové zinkování tenkého plechu [18]

## 4.2 Kusové zinkování

Kusové zinkování je zinkování po vsázkách. Celkový vyrobený objem kusovým zinkováním je větší než celkový objem produkce kontinuálním zinkováním. Kusové zinkování se dále rozděluje na suché, mokré a zinkování s odstředěním. [15]

### 4.2.1 Suché zinkování

Jedná se o proces, který je možné mechanizovat, díky tomu se zvýší produktivita. Díly jsou během procesu nejčastěji zavěšeny na závěsu, který je přemísťuje mezi jednotlivými operacemi. První operace je předúprava, dále následuje nanesení tavidla, sušení a zinkování viz. obr. 6. [15]

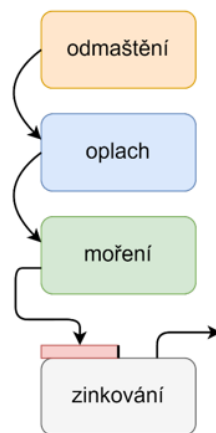


Obr. 6: Schéma sledu operací při suchém zinkování, obr. vytvořen autorkou dle literatury [18]

#### 4.2.2 Mokrý zinkování

Oproti suchému zinkování je hladina zinkovací lázně rozdělena na dvě části a mezi těmito částmi se nachází přepážka tzv. hradítko viz. obr. 7. V jedné části lázně se na hladině nachází vrstva tavidla. Díl vstupuje do zinkovací vany právě přes tuto část, kde se na něj nanese tavidlo a odchází přes čistou hladinu za hradítkem. Následuje sušení, případná kontrola a balení s expedicí. [18, 26]

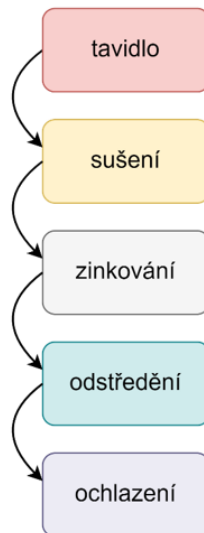
Jedná se o méně produktivní metodu kvůli tomu, že se využívá pouze ruční manipulace s díly. Touto metodou se zinkují díly složitých tvarů. [15]



Obr. 7: Schéma sledu operací při mokřím zinkování, obr. vytvořen autorkou dle literatury [18]

#### 4.2.3 Zinkování s odstředěním

Používá se na drobné díly (hřebíky, podložky, matice atd.), které jsou umístěny v koších. Postup procesu je velmi podobný suchému zinkování, pouze s tím rozdílem, že po zinkování následuje operace odstředění a sušení viz. obr. 8. Na obr. již není schematicky znázorněna předúprava. Odstředění může probíhat již při vyndávání košů ze zinkovací lázně, anebo na odstředivce, kde se odstředí přebytečný zinek z povrchu pozinkovaných dílů. Odstředivé zinkování může být jak nízkoteplotní (do 480 °C), tak vysokoteplotní (nad 530 °C). Po vysokoteplotním odstředivém zinkování je nezbytné ochlazení dílů, a to především kvůli tomu, aby vsázka nesetrvávala dlouho na teplotě peritektické přeměny. Při této teplotě se přeměňuje fáze  $\delta$  a likvid (roztavený zinek) na fázi  $\zeta$ . Fáze  $\zeta$  je velmi tvrdá. [15, 18]



Obr. 8: Schéma sledu operací při zinkování s odstředěním bez předúpravy, obr. vytvořen autorkou dle literatury [18]

### 4.3 Duplexní systém

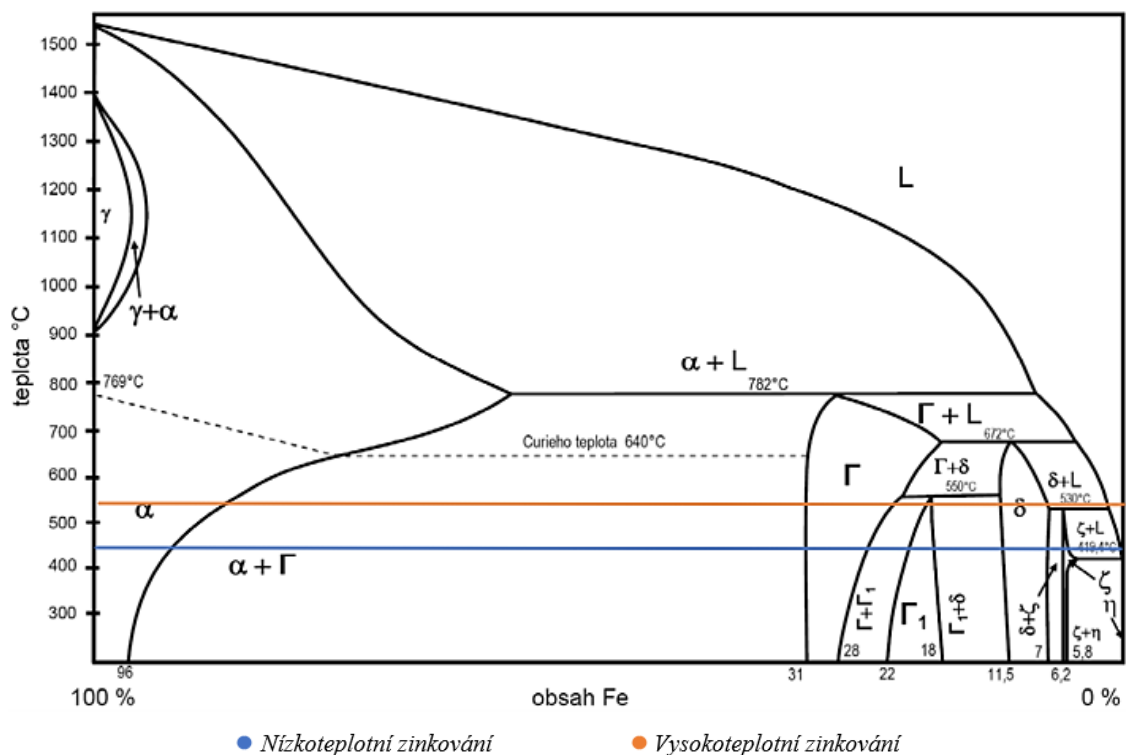
Jedná se obecně o kombinaci kovového povlaku s organickou nátěrovou hmotou. V tomto případě je kovovým povlakem žárový zinek. Duplexní systém se v praxi nejčastěji používá jako ochrana oceli proti korozi díky vzájemné podpoře obou povlaků. Organický povlak tvoří bariéru, která odděluje substrát od korozního prostředí. Tím brání erozi patiny pokrývající zinek a chrání zinek proti korozi. Pasivovaný zinek nesnižuje adhezi organického nátěrového povlaku k substrátu. Tato podpora obou povlaků končí tehdy, když se nátěrová hmota začne rozpadat (degradovat). Poté nastává koroze zinkového povlaku. Životnost duplexního povlaku je mnohem delší než životnost obou povlaků samostatně. Zpravidla bývá 1,5 – 2,3 násobkem součtu životností obou povlaků separátně. Z tohoto důvodu se duplexní systém aplikuje tam, kde je obtížně proveditelná budoucí údržba nebo pokud je zinkový povlak tenký. To často nastává u plechů, které se kontinuálně zinkovaly. [1, 27]

## 5. Metalurgie tvorby povlaku žárového zinku

Povlaky, které vzniknou žárovým ponorem, se tvoří na principu metalurgické reakce mezi základním materiálem a nanášeným kovem (zinkem). Během procesu zinkování na zinkovaných součástech narůstá železo-zinkový povlak. Tento povlak je výsledkem složitého procesu vzájemné difúze atomů obou kovů za vzniku elementárních intermetalických vazeb a následných fázových přeměn. Tyto děje probíhají nejenom v povrchové vrstvě zinkovaného kovu a na rozhraní mezi základním materiálem a roztaveným zinkem, ale také v zinkové tavenině, která obklopuje zinkovou součást v těsné blízkosti. Během toho, kdy je součást ponořena do taveniny, vzniká intermediální železo-zinková slitinová fáze. [1, 21, 28]

### 5.1 Slitinové železo-zinkové fáze

Nejpoužívanějším materiálem jsou konstrukční oceli feritické nebo feriticko-perlitické. Binární diagram Fe–Zn viz. obr. 9, je charakterizován částečnou rozpustností jedné složky a prakticky úplnou nerozpustností druhé složky. Ferit tvoří se zinkem tuhý substituční primární roztok  $\alpha$ . Tento roztok může obsahovat až 41 % zinku. Naopak maximální obsah železa v tuhém zinku je 0,03 %. [28, 29]



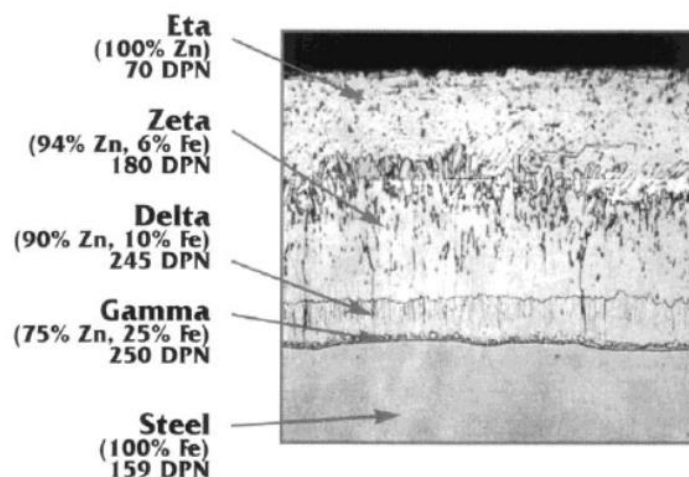
Obr. 9: Binární soustava Fe-Zn [28]

Pro tuto dvojici kovů je charakteristický veliký rozdíl  $T_T$  (teplota tavení zinku je 419,4 °C a železa 1538 °C). Jedná se o soustavu se třemi peritektickými a jednou peritektoidní přeměnou. Pokud se provádí žárové zinkování okolo 450 °C nelze dosáhnout rovnovážných podmínek pro žádnou peritektickou ani peritektoidní přeměnu. [28, 29]

Železo se zinkem tvoří dvousložkové slitinové fáze  $\Gamma$ ,  $\Gamma_1$ ,  $\delta$  a  $\zeta$ . Jednotlivé fáze se od sebe odlišují krystalografickou strukturou, chemickým složením a mechanickými vlastnosti. [21, 29, 30]

- Fáze  $\eta$  (Zn(Fe)) - jedná se o tuhý roztok železa v zinku, maximální rozpustnost železa je 0,03 %. Tato fáze představuje povlak z čistého zinku a její krystalická mřížka je HCP. [26, 31]
- Fáze  $\zeta$  (FeZn<sub>13</sub>) – obsahuje 5 – 6 % železa. Vzniká peritektickou reakcí mezi fází  $\delta$  a roztaveným zinkem za teploty 530 °C. Je tvořena dlouhými jednoklonnými krystaly, které jsou orientovaný kolmo k povrchu. Tato fáze je tvrdá a křehká. [26, 31]
- Fáze  $\delta$  (FeZn<sub>10</sub>) – obsah železa je mezi 7 a 11,5 %. Má HCP krystalickou mřížku. Vzniká z peritektických reakcí z fáze  $\Gamma$  a roztaveného zinku za teploty 665 °C. Dříve se fáze delta rozdělovala na dvě fáze. Delta<sub>1P</sub> (palisádová) tvořila se na straně bohaté na zinek a delta<sub>1K</sub> (kompaktní) na straně bohaté na železo. Později se zjistilo, že obě části fáze mají stejnou krystalickou mřížkou a nyní se o obou mluví jako o fázi delta. [26, 31]
- Fáze  $\Gamma_1$  (Fe<sub>5</sub>Zn<sub>21</sub>) – obsahuje 17 – 19,5 % železa a má FCC krystalickou mřížku. Vzniká peritektoidní reakcí mezi fází  $\Gamma$  a  $\delta$  při 550 °C. Jedná se o celistvou vrstvu mezi vrstvou  $\Gamma$  a  $\delta$ . Lze jí dosáhnout při zahřívání na nízkou teplotu po dlouhou dobu. [26, 31]
- Fáze  $\Gamma$  (Fe<sub>3</sub>Zn<sub>10</sub>) – Obsahuje 23,5 – 28 % železa. Od fáze  $\Gamma_1$  se liší BCC krystalickou mřížkou. Je výsledkem peritektické reakce mezi železem  $\alpha$  a taveniny zinku při teplotě 782 °C. [26, 31]
- Fáze  $\alpha$  (Fe(Zn)) – jedná se o substituční tuhý roztok zinku ve feritu. Maximální obsah zinku jsou 4 %. Tato fáze se vyznačuje BCC krystalickou mřížkou. [26, 31]

Všechny výše vypsané fáze jsou vyobrazeny na obr. 10.



Obr. 10: Základní stavba povlaku naneseného na ocel [30]

*Eta představuje fázi  $\eta$ , zeta = fáze  $\zeta$ , delta = fáze  $\delta$ , gamma = fáze  $\Gamma_1$  a fáze  $\Gamma$ , steel = ocel (fáze  $\alpha$ )*

## 5.2 Nízkoteplotní zinkování

U nízkoteplotního zinkování se při procesu zinkování chová jinak ocel uklidněná křemíkem a neuklidněná křemíkem. Nízkoteplotní zinkování se provádí za teploty zinkovací lázně okolo 450 °C (viz. obr. 9). [28]

U ocelí neuklidněných křemíkem fáze  $\delta$  narůstá do poměrně tlusté vrstvy. Tato vrstva odděluje základní materiál od zinkové taveniny a zpomaluje difúzi atomů obou kovů. Se zvyšujícím časem zinkování fáze  $\zeta$  narůstá. Fáze narůstá až do té doby, dokud se na fázovém rozhraní s fází  $\delta$  nezačnou vytvářet překážky, které brání difúzi, a tím se nárůst tloušťky zpomaluje. [28]

U oceli uklidněné křemíkem se fáze  $\delta$  významně nerozvíjí s dobou ponoru v zinkové lázni. Zůstává poměrně tenká a nerovnoměrná. Nebrání probíhající difúzi železa a tloušťka vrstvy fáze  $\zeta$  narůstá v čase lineárně. [28]

## 5.3 Vysokoteplotní zinkování

Jedná se o proces probíhající nad teplotou 530 °C, nejčastěji za teploty 550 °C. Jak je vyobrazeno na obr. 9, při této teplotě nevzniká  $\zeta$  fáze. Vysokoteplotní zinkování se nejčastěji používá při zinkování s odstředěním (viz. kapitola 3.2.3). Při vysokoteplotním zinkování se váže železo se zinkem a vzniká fáze  $\delta$ . Pro fáze  $\Gamma$  a  $\Gamma_1$  nejsou příznivé podmínky a jejich přítomnost v povlaku je zanedbatelná. [15, 19, 32]

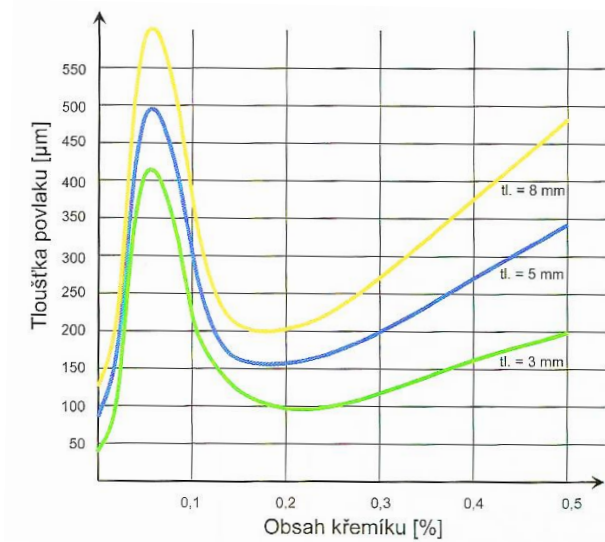
## 6. Morfologie povlaků žárového zinku

Metalurgickou reakci mezi železem a zinkem velmi ovlivňují vnější vlivy. Především odchylka v chemickém složení a struktuře základního materiálu (oceli), ale také v chemickém složení a teplotě zinkovací lázně a v délce ponoru. V neposlední řadě záleží i na podmínkách zinkování. [7]

### 6.1 Vliv křemíku

Za účelem snížení nežádoucích prvků se přidává během výroby oceli kyslík. S poklesem teploty rozpustnost kyslíku klesá. Při vázání uhlíku s volným kyslíkem dochází ke vzniku bublin oxidu uhelnatého, které zhoršují vlastnosti oceli. Z tohoto důvodu je nutné ocel před odlitím dezoxidovat. K dezoxidaci se používají prvky např. křemík, mangan, hliník, které mají vyšší afinitu ke kyslíku než železo. Křemík také ovlivňuje při žárovém zinkování jakost naneseného povlaku. Této problematice se věnoval Robert W. Sandelin. Pan Sandelin zjistil [18], že u oceli s obsahem Si nad 0,03 % tloušťka naneseného povlaku strmě vzrůstá. Výzkum provedl i John J. Sebisty, který zjistil, že mezi hodnotami 0,03 a 0,12 % Si tloušťka povlaku s rostoucím křemíkem prudce vzrůstá, ale následně strmě klesá. Při zvyšování koncentrace Si nad 0,25 % tloušťka povlaku opět vzrůstá. [15, 18, 23]

- Ocele uklidněné křemíkem – tyto ocele mají obsah Si nad 0,15 %. Vyznačují se poměrně tlustou a křehkou vrstvou povlaku. Dominuje zde fáze  $\zeta$ , která je složena z neuspořádaných jednoklonných krystalů. Pokud obsah křemíku bude v Sebistyho oblasti (0,15 – 0,25 % Si) je možné zaručit přijatelnou tloušťku povlaku. Pomocí Sandelinova diagramu (obr. 11) lze znázornit závislost tloušťky povlaku žárového zinku na obsahu křemíku. [15, 18, 26]



Obr. 11: Příklad Sandelinova diagramu [15]

- Ocele neuklidněné křemíkem – jedná se o doporučené ocele z hlediska kvality povlaku k žárovému zinkování. Řadí se sem ocele s obsahem Si pod 0,04 %. Největší zastoupení ve slitinovém povlaku má fáze  $\delta$ . Ta se vyznačuje těsně uspořádanou vrstvou hexagonálních krystalů, které oddělují základní materiál od roztaveného zinku a zpomalují difúzi železa a jeho reakci se zinkem. Na vrstvě tvořené fází  $\delta$  je fáze  $\zeta$  uspořádaná ve formě pažitu. Roztavený zinek tvoří vrstvičku na slitinových fázích a také vstupuje do krystalů fáze  $\zeta$ , které nejsou těsně uspořádány. Vytvořené povlaky jsou mnohem tenčí, než na oceli uklidněné křemíkem a vyznačují se dobrými mechanickými vlastnostmi. [15, 18]

## 6.2 Vliv chemického složení oceli

Vlastnosti povlaku ovlivňují jak příměsi oceli, tak i nežádoucí nečistoty.

Uhlík – do obsahu 0,3 % nemá velký vliv na reakci železo–zinek. S větším obsahem uhlíku se zvyšuje reakční rychlost a s tím spojená tloušťka povlaku. Dále záleží na tom, v jaké formě je uhlík v oceli přítomen (např. perlit, sorbit, martenzit ...) [18]

Mangan, chrom a nikl – tyto prvky stejně jako uhlík zvyšují reakční rychlost. V běžně používaných koncentracích v nízkoalegované oceli reakční rychlost zvyšují minimálně. [18, 21]

Niob, titan, vanad – prvky sloužící ke zjemňování zrna. Obsahy těchto prvků jsou v běžných ocelích nízké, takže se jejich vliv může zanedbat. [18]



Síra a fosfor – vyznačují se nízkým obsahem v konstrukčních ocelích a na reakci železa se zinkem nemají významný vliv. U fosforu je výjimka. Pokud obsah křemíku a fosforu překračuje 0,04 % je vyvolána vysoká reaktivita (z důvodu výskytu oceli v Sandelinově oblasti). Pokud síra přesahuje obsah 0,18 % u vybraných automatových ocelí, tak významně zvyšuje reakční rychlost. Tyto oceli nejsou vhodné pro žárové zinkování, protože reakce mezi zinkem a ocelí je tak rychlá, že dochází k rozpadu. [18]

### 6.3 Vliv legur v zinkové lázni

Příměsi některých prvků se přidávají do zinkové lázně za účelem zlepšení vlastností povlaku a usnadnění jeho nanášení. Celkové množství těchto příměsí i s nečistotami v lázni nesmí překročit 1,5 %. [15]

Hliník – přidává se v koncentraci 0,003 až 0,005 %. Na povrchu se vytvoří velmi tenký film  $Al_2O_3$ , který chrání zinkovou taveninu před rychlou oxidací vzduchem. Výsledný vzhled povlaku s přidaným hliníkem je lesklý. Pokud koncentrace Al přesáhne 0,03 % stoupá v tavenině nebezpečí vzniku nepozinkovaných míst. [33]

Cín – jedná se o příměs, která s obsahem křemíku od 0,035 % do 0,30 % na konstrukčních ocelích výrazně snižuje tloušťku povlaku. Stejně jako hliník zvyšuje lesk povlaku, za přítomnosti olova tvoří tzv. zinkové květy. Cín zlepšuje tekutost zinkové taveniny. V kombinaci s olovem nebo bismutem tvoří nízko tající eutektika a zvyšuje tak nebezpečí korozního praskání indukovaného kapalným kovem. [33]

Nikl – potlačuje u ocelí s obsahem Si 0,03 – 0,12 % Sandelinův efekt. Tyto ocele se v zinkové lázni s obsahem niklu kolem 0,055 % chovají podobně jako ocele nelegované křemíkem. Výsledný povlak má přiměřenou tloušťku s výbornými mechanickými vlastnostmi. Pokud má ocel obsah křemíku nad 0,12 %, nikl ztrácí svou schopnost ovlivňovat vlastnosti povlaku. Obdobně působí i titan a vanad. [15, 33]

Olovo – olovo se přidává do lázně z důvodu snížení povrchového napětí zinkové taveniny, snížení viskozity a ke zlepšení stékání taveniny při vynořování dílce z lázně. Do zinkové lázně se přidává více olova, než je možné rozpustit. Nerozpuštěné olovo klesne ke dnu lázně (kvůli vysoké hmotnosti). Vrstva (může být až několikacentimetrová) olova chrání dno vany před mechanickým opotřebením a napomáhá vybírání tvrdého zinku. [15, 33, 34]

Bismut – bismut se využívá v zinkovnách jako náhrada nebezpečného olova. Bismut zvyšuje tekutost lázně, používá se do koncentrace 0,1 %. [33]

#### **6.4 Vliv dalších faktorů**

Teplota – při nízkoteplotním zinkování (cca 450 °C) se rychlost reakce železa se zinkem významně nemění. Při vysokoteplotním zinkování (nad 530 °C) se netvoří fáze  $\zeta$ , naopak se tvoří fáze  $\delta_{1K}$  a  $\delta_{1P}$ . Tato vrstva se vyznačuje matným povrchem s tmavým nebo světle šedým zbarvením. Tím, že se  $\zeta$  fáze netvoří, tak křemík nemá žádný vliv na reakci Fe-Zn. [18]

Doba ponoru – stanovuje se podle možnosti manipulace s díly a podle požadavku na výslednou tloušťku povlaku. Doba ponoru se pohybuje v rozmezí 3 – 10 minut. [26]

Drsnost povrchu oceli – čím je povlak drsnější, tím je nanesený povlak tlustší. Např. na otryskaném povrchu oceli se může zvýšit tloušťka povlaku o 15 – 100 %. Větší tloušťka vrstvy může být také způsobena větším korozním napadením, intenzivnějším mořením a může být ovlivněna i obráběcími operacemi. Větší posuv při obrábění (např. soustružení) znamená tlustší vrstvu povlaku než obrábění s jemným posuvem. Opačný vliv má řezání plynem a laserem. Tento proces způsobuje, že výsledné povlaky jsou tenčí. [18]

Tloušťka stěny – s rostoucí tloušťkou stěny dílu roste tloušťka povlaku. [18]

Zpracování oceli – pro různé polotovary se liší zpracování mechanické i teplené. To vede k rozdílné struktuře, která ovlivňuje reaktivitu oceli. [18]

## 7. Koroze zinkových povlaků

Povlak, který je vystaven korozi, postupem času ubývá. Rychlost úbytku záleží na korozní agresivitě prostředí. Rychlost se udává velikostí ročního korozního úbytku v mikrometrech nebo gramech na jednotku plochy. Pokud je známá korozní rychlost zinku v daném prostředí a tloušťka povlaku, lze jednoduše dopočítat životnost protikorozního systému. [36]

Ocel, jakožto nejpoužívanější materiál současnosti, má nevýhodu ve velké korozní rychlosti. Z tohoto důvodu má ochrana konstrukcí a výrobků veliký význam. Protikorozní ochranou se rapidně zvyšuje životnost ocelového dílu. Mezi velmi účinnou ochranu patří právě zinek. Zinek chrání základní materiál pomocí bariérové ochrany, katodické ochrany a díky pasivaci samotného zinku. [34, 37]

- Bariérová ochrana – jedná se o nejzákladnější ochranu základního materiálu. Zinkový povlak je pevně propojen s ocelí, a tím vzniká bariéra složená ze Fe-Zn slitin. Tato bariéra odděluje pozinkovanou ocel od korozního prostředí. Má dobrou odolnost proti otěru a poměrně dlouho odolává účinkům eroze. [15, 26, 34]
- Katodická ochrana – ocel je chráněna zinkem především díky jeho fyzikálním a chemickým vlastnostem. Při katodické ochraně záleží na hodnotě redox potenciálu jednotlivých kovů. Redox potenciál při pokojové teplotě je pro zinek -0,763 V a pro ocel -0,441 V. Hodnoty těchto potenciálů se s rostoucí teplotou mění. Pokud je mezi Fe a Zn elektricky vodivé spojení, tak se zinek stává obětovanou anodou (kvůli nižší hodnotě redox potenciálu). Ze zinkové anody jsou uvolňovány zinečnaté ionty. Ty jsou dále přitahovány k ocelové katodě. Ocel je převedena do stavu imunity, a tudíž nedochází ke korozi. Mezi velkou výhodou katodické ochrany patří schopnost velmi dobře chránit základní materiál i přes nečistosti a póry v zinkovém povlaku. [35, 37-39]
- Pasivace zinku – jedná se o významnou vlastnost zinkového povlaku. Na povlaku vznikne samovolně ochranná vrstva, která má dostatečnou tloušťku a velmi odolnou patinu. Tato vrstva odděluje zinkový povlak od korozního prostředí. Zinek by bez pasivace korozi neodolával. Patina je tvořena převážně uhličitánem zinečnatým. Ten se vyznačuje velmi dobrou přilnavostí a dobrou mechanickou i chemickou odolností. [40]

## 7.1 Koroze v atmosféře

Při vystavení zinkového povlaku atmosféře se na jeho povrchu tvoří oxid zinečnatý. Dále dochází k tvorbě zásaditých uhličitanů zinku za působení atmosférické vlhkosti a oxidu uhličitého ze vzduchu. Ty mají vynikající přilnavost, jsou konzistentní a jsou skoro nerozpustné ve vodě, a proto se řadí mezi dobrou ochranu pro zinkovaný povrch. V atmosféře se vyskytuje taky oxid siřičitý. Ten přetváří zásaditý uhličitan zinečnatý na lehce rozpustný siřičitan zinečnatý nebo na síran zinečnatý. [36, 41]

Agresivita atmosféry se odvíjí od stupně znečištění, záleží tedy na druhu a obsahu nečistot. Vliv oxidu siřičitého se projevuje ve vnitrozemské atmosféře a vliv chloridu v mořské atmosféře. Klimatické oblasti a stupeň izolace pozinkovaného předmětu od venkovní atmosféry v podstatě určují vliv atmosférických srážek, teploty, vlhkosti a jejich kolísání a slunečního záření. [41]

Korozní agresivita prostředí v závislosti na hodnotách průměrných ročních korozních úbytků jsou rozděleny (podle normy ČSN EN ISO 9223) do šesti stupňů C1 až CX. Stupeň C1 označuje nejnižší agresivitu, naopak stupeň CX představuje nejvyšší agresivitu. Všechny stupně jsou zaznamenány v tabulce č. 2. [42]

V atmosférickém prostředí se vyskytují dva druhy rzi, bílá rez a rez s červenohnědým zbarvením. Slovem bílá rez se označuje povlak, který je bílý „moučnatý“ a objemný. Bílá rez se tvoří na pozinkovaném díle tam, kde zůstává stát na povrchu dešťová nebo kondenzovaná voda. Často k bílé rzi dochází ve štěrbinách mezi dvěma těsně uspořádanými díly. Na místech, kde proudí vzduch se bílá rez skoro netvoří. Pokud se již na díle bílá rez vyskytuje, stačí zajistit k napadenému povrchu přístup vzduchu a pomocí povětrnostních podmínek se odstraní zbylá bílá rez. Pokud je napadení větší, může se odstranění bílé rzi urychlit jemným mechanickým nebo chemickým opracováním. Poté se vzhled dílu vrátí na běžný vzhled žárového zinku. Rez s červenohnědým zbarvením se vyskytuje na křemíkem uklidněných ocelích. Tyto oceli obsahující v zinkové vrstvě velký podíl slitinových fází Fe-Zn a můžou po určité době expozice získat červenohnědý barevný odstín. Tato barva se s prodlužující dobou expozice prohlubuje. Fáze Fe-Zn korodují, a přitom se uvolňuje železo, které tvoří rez s dešťovou vodou, ale i s vlhkostí ze vzduchu. I malé množství rzi způsobuje zbarvení. Výrazné zbarvení může znamenat snížení nebo úplnou ztrátu funkčnosti korozní ochrany. Tím, že slitiny Fe-Zn chrání ocel lépe než čistý zinek, tak většinou nedojde k úplné ztrátě

funkčnosti ochrany. Pokud je vyžadován určitý barevný vzhled, je možné díl opatřit nátěrem. [43-45]

Tab. 2: Korozní rychlost zinku podle stupně korozní agresivity podle ČSN EN ISO 9223 [42]

Stupeň korozní agresivity			Rychlost koroze ( $r_{\text{corr}}$ )	
			Zinek	Jednotky
C1	Velmi nízká	Dobře větrané interiéry obchodních, kancelářských a bytových prostor bez rizika kondenzace vlhkosti, suché nebo chlazené exteriéry s velmi malým znečištěním ovzduší	$r_{\text{corr}} \leq 0,7$ $r_{\text{corr}} \leq 0,1$	$[\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}]$ $[\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}]$
C2	Nízká	Větrané sportovní haly, výrobní haly, garáže, skladové prostory s neznečištěným ovzduším a možností krátkodobé kondenzace vlhkosti, suchá nebo chladná klimatická pásma	$0,7 < r_{\text{corr}} \leq 5$ $0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,7$	$[\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}]$ $[\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}]$
C3	Střední	Prostředí průmyslových hal se středním znečištěním, potravinářské závody, prádelny, mlékárny, pivovary, mírné klimatické oblasti se středním a tropické oblasti s nízkým znečištěním ovzduší, městské prostředí, přímořské prostředí s nízkou salinitou	$5 < r_{\text{corr}} \leq 15$ $0,7 < r_{\text{corr}} \leq 2,1$	$[\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}]$ $[\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}]$
C4	Vysoká	Prostředí s velkou četností kondenzace a velkým znečištěním, kryté plavecké bazény, mírné klimatické oblasti se středním znečištěním ovzduší, průmyslové oblasti se středně vysokým znečištěním ovzduší a přímořské ovzduší se střední salinitou	$15 < r_{\text{corr}} \leq 30$ $2,1 < r_{\text{corr}} \leq 4,2$	$[\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}]$ $[\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}]$
C5	Velmi vysoká	Málo větrané prostředí s velmi vysokou četností kondenzace nebo velkým znečištěním z výrobních procesů a dolů, mírné klimatické oblasti s velmi vysokým znečištěním ovzduší, průmyslové oblasti s vysokým znečištěním ovzduší a přímořské ovzduší s vysokou salinitou	$30 < r_{\text{corr}} \leq 60$ $4,2 < r_{\text{corr}} \leq 8,4$	$[\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}]$ $[\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}]$
CX	Extrémní	Prostory s trvalou kondenzací a velkým znečištěním z výrobních procesů, oblasti s velmi vysokým znečištěním ovzduší, prostředí rybářských lodí s přímým postřikem slanou vodou	$60 < r_{\text{corr}} \leq 180$ $8,4 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$[\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}]$ $[\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}]$

## 7.2 Koroze ve vodě

Voda se považuje za velmi zředěný roztok elektrolytů, proto je korozní chování materiálů ovlivňováno stejnými faktory jako v roztocích elektrolytů o vyšší koncentraci. Voda se vyskytuje nejčastěji jako technologické korozní prostředí, ale může i jako přirozené prostředí. Vlastnosti prostředí jsou ovlivněny znečištěním, zahuštěním i úpravou vody. K přesnému posouzení korozních podmínek slouží rozbor vody. Výsledné hodnoty analýzy nejsou z korozního hlediska ekvivalentní tzn. stejná vlastnost vody se u různých materiálů projevuje odlišně. [41]

Kvůli malé koncentraci elektrolytů ve vodě je relativně malá elektrická vodivost a chemická aktivita. To je jednou z příčin častého výskytu nerovnoměrné koroze. Ohmická polarizace (představuje část elektrodové polarizace vznikající při průtoku elektrického proudu ohmickým odporem elektrody) může být důležitým faktorem, který ovlivní rychlost a charakter koroze. [41]

Velký význam má hodnota pH dané vody. Rychlost koroze zinku v rozsahu pH 5,5 – 12,5 při teplotě mezi 0 – 20 °C je relativně nízká a stabilní. Samotná teplota vody má na korozi velký vliv. Při překročení přibližně 55 °C získává ochranná vrstva korozních produktů hrubozrnnou strukturu. Tím dochází k velkému snížení přilnavosti k povrchu zinku. Důsledkem je snadné odpadávání korozních produktů a odhalování nového, čistého povrchu zinku, který bude následně napaden. Korozní rychlost je maximální při 70 °C, při další zvyšování teploty se korozní rychlost snižuje (při teplotě 100 °C je korozní rychlost stejného řádu jako při teplotě 50 °C). V neposlední řadě záleží na typu vody. Tvrdé vody (obsahující Ca, Mg) jsou málo agresivní. Tyto prvky s kyselinou uhličitou tvoří na povrchu zinku těžko rozpustné uhličitany. Tím se tvoří stabilní ochranná vrstva, která zabraňuje další korozi. V měkkých vodách je to naopak, tyto vody často zinek napadají. V měkkých vodách chybí soli, a proto nedochází k tvorbě ochranné vrstvy. [18, 46]

### **7.3 Koroze v půdě**

Půda je komplexní, porézní, nespojité prostředí, které je tvořeno anorganickými a organickými pevnými fázemi, kapalnou fází, vzduchem a dalšími plynnými fázemi. Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují rychlost koroze v půdě, mezi ně patří: typ půdy, obsah vlhkosti, výskyt dešťové i prosakující půdní vody, koncentrace rozpustných iontů, pH půdy, odpor půdy a mnoho dalších. A to stále zůstává mnoho aspektů půdní koroze nejasných. Za nejvýznamnější faktory ovlivňující rychlost koroze jsou považovány obsahy vody a kyslíku v půdě. Pomocí numerického modelu se ukázalo, že provzdušňování může vést k těžké korozi podzemního potrubí. [47]

### **7.4 Galvanická koroze**

Projevuje se u dvou různých kovů, které jsou částečně nebo zcela obklopeny elektrolytem. Dochází k vytvoření článku. O tom, jaký materiál bude anoda a katoda rozhoduje redox potenciál. Pokud se jedná o ocel a o materiál, který má redox potenciál vyšší (měď, nikl, zlato aj.), dochází ke korozi (ocel se stane anodou). Pokud se spojí s materiálem, který má nižší redox potenciál (kadmium, hořčík, zinek aj.) ocel se stane katodou a je chráněna viz. kapitola 6. Katodická ochrana. [48, 49]

## 8. Experimentální část

Na experimentální část bylo použito 21 vzorků. 18 vzorků bylo vytvořeno na univerzitě a 3 vzorky byly dodány ze zinkovny ACO Příbrav. Vzorky byly ocelové destičky o rozměrech 150x100x3 mm vyrobeny z oceli S235JRG1. Složení tohoto materiálu je vypsáno v tab. 3. Ekvivalentním označením je dle ČSN 11 373. Jedná se o neušlechtilou konstrukční cel obvyklé jakosti. Tím, že tato ocel neobsahuje Si, řadí se do skupiny ocelí neuklidněných křemíkem. [50]

Tab. 3: Chemické složení oceli S235JRG [50]

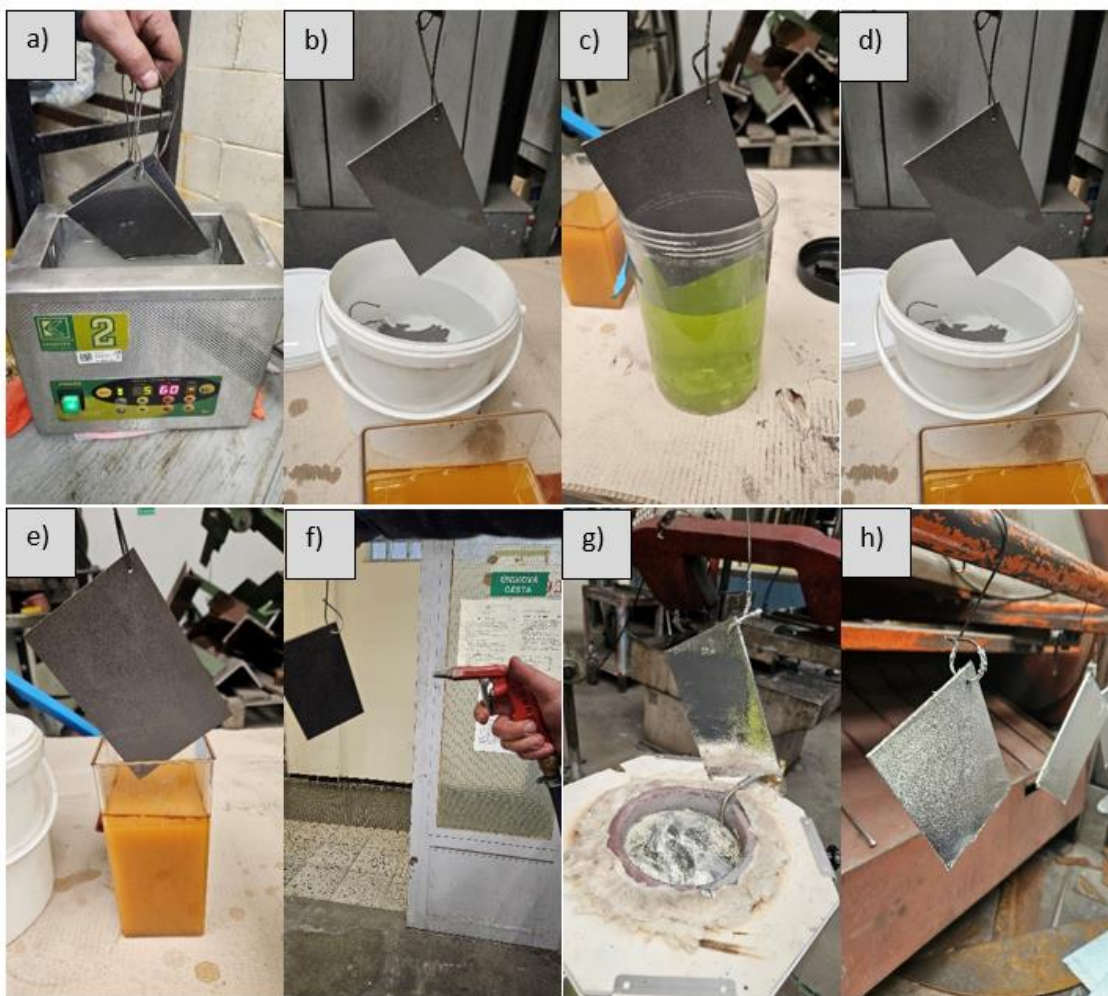
prvek	C	P	S	N
hm [%]	max. 0,170	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,007

Pozinkované vzorky v univerzitních laboratořích se nejprve mechanicky předupravily, byly zbaveny nečistot, mastnoty a rzi. Toho se dosáhlo v tryskacím zařízení s metací jednotkou. Abrazivem v tryskacím zařízení byly ocelové kuličky a každý vzorek byl tryskán po dobu 3 minut. Po otryskání začal proces zinkování.

Vzorky byly vytvořeny metodou suchého zinkování. Tato metoda se vyznačuje tím, že po nanesení tavidla se vzorek usuší. Jedná se o nejjednodušší metodu nanášení zinku v prostředí mimo specializované zinkovací firmy. Schéma suchého zinkování je vyobrazeno na obr. 6 v kapitole 4.2.1 Suché zinkování.

Před samotným zinkováním je důležité vzorky pečlivě předupravit. Kvalitní předúprava zlepšuje přilnavost a funkci povrchové vrstvy. Po mechanické předúpravě pomocí tryskacího zařízení následovala chemická předúprava, kdy docházelo k odstranění mastných nečistot, tuků, okují a oxidické vrstvy. Jednotlivé operace zinkování jsou vyobrazeny na obr. 12.





Obr. 12: a) alkalické odmaštění b) oplach c) moření d) oplach e) tavidlo f) sušení g) zinkování ponorem h) sušení

První operací bylo odmaštění. To se provádělo v průmyslové ultrazvukové čističce K-IE od firmy KRAINTEK. V čističce dochází k uvolnění nečistot z povrchu kovu do lázně a zabránění jejich zpětnému vyloučení na povrch vzorku. Následoval oplach v demineralizované vodě. Poté se vzorky vložily do mořicí lázně. Následoval druhý oplach v demineralizované vodě. Oplachy se prováděly po vyndání vzorků z každé procesní lázně. Pokud by se oplachy neprováděly, došlo by ke kontaminaci lázní, a tím by docházelo ke zkrácení jejich životnosti. Následně se vzorky vložily do tavidla. Tavidlo zajišťuje konečné dočištění povrchu oceli před samotným pokovením a po jeho usušení vznikne na dílu ochranný film, který zabraňuje další oxidaci. Tavidlo také zajišťuje přímý kontakt obou kovů (železo – zinek) díky rozpuštění oxidů na povrchu oceli a rozpuštění oxidů zinku na hladině zinkové lázně. Po vyjmutí z tavidla se vzorky usušily pomocí stlačeného vzduchu. Následovalo samotné zinkování v zinkovacím zařízení od firmy INDUKCE.CZ viz. obr. 13. V posledním kroku docházelo k tuhnutí

zinkového povlaku na vzduchu. Technologický postup s parametry jednotlivých operací je sepsán v tab. 4.

Tab. 4: Technologický postup žárového zinkování

Č. op.	Název operace	Doba op. [min]	Teplota op. [°C]	Prostředí
1	Odmaštění	5	60	Star 75 PN
2	Oplach	1	23	Demineralizovaná voda
3	Moření	2	23	10% HCl
4	Oplach	1	23	Demineralizovaná voda
5	Tavidlo	2	23	ZnCl <sub>2</sub> + NH <sub>4</sub> Cl
6	Sušení	1	23	Stlačený vzduch
7	Zinkování	1,5 - 3	450 - 550	Zinkovací lázeň
8	Sušení	60	23	Vzduch



Obr. 13: Zinkovací zařízení

Zinkování probíhalo při teplotě 450 °C, 480 °C a 550 °C. Kdy dvě nižší teploty spadají do nízkoteplotního zinkování a teplota 550 °C do vysokoteplotního zinkování. Doba zinkování byla zvolena dle literatury [51], kdy na 1 mm tloušťky materiálu se počítá s 30 – 60 sekundami. Jelikož má vzorek tloušťku 3 mm, byly zvoleny časy 90 a 180 s. Při každé teplotě se pozinkovalo šest vzorků s tím, že tři vzorky se zinkovaly po dobu 90 sekund a zbylé tři po dobu 180 sekund. Po vyndání vzorků ze zinkovací lázně následovalo sušení na vzduchu. [18]

Vyhotovené vzorky se rozdělily na dvě části. První část vzorků (7 ks) byla použita na metalografickou zkoušku. Vybraly se vždy dva vzorky pro jednu zinkovací teplotu

s tím, že jeden ze vzorků byl při čase 90 s a druhý při 180 s. Sedmý vzorek byl dodán ze zinkovny.

Druhá část vzorků (14 ks) byla použita na zkoušku drsnosti, tloušťky zinkové vrstvy a korozní odolnosti. Vzorky byly označeny viz. tab. 5.

*Tab. 5: Označení vzorků v závislosti na teplotě a délce ponoru*

Číslo vzorku	Doba ponoru [s]	Teplota [°C]
1.1.1	90	450
1.1.2	90	450
1.2.1	180	450
1.2.2	180	450
2.1.1	90	480
2.1.2	90	480
2.2.1	180	480
2.2.2	180	480
3.1.1	90	550
3.1.2	90	550
3.2.1	180	550
3.2.2	180	550
4.1	300	450
4.2	300	450

## 8.1 Měření drsnosti

Měření drsnosti se provádělo pomocí drsnoměru Mitutoyo SJ-301. Měření drsnosti pomocí drsnoměru je přesné a poměrně jednoduché. Velkou výhodou tohoto zařízení je odečítání číselných hodnot drsnosti z přístroje a snadná přenosnost, tudíž je ho možné použít kdekoliv. Samotné měření se provádělo pomocí rovnoměrného pohybu hrotu, u kterého se zaznamenává jeho výška při pohybu na povrchu zkoumaného vzorku. Pomocí drsnoměru je možné měřit drsnost, a to nejvyšší a průměrnou výšku nerovnosti profilu, rozteč nerovnosti profilu a mnoho dalších. [52, 53]

Měření se provádělo vždy 12krát na každé destičce. Naměřená nejnižší a nejvyšší hodnota se v průměru neuvažovala. Tabulka naměřených hodnot drsností na jednotlivých vzorcích je vyobrazena v tab. 6, 7, 8 a 9. Kdy  $R_a$  je střední aritmetická odchylka a  $R_z$  je průměrná hloubka drsnosti.

Tab. 6: Naměřené hodnoty drsností při teplotě 450 °C

1.1.1.		1.1.2.		1.2.1.		1.2.2.	
Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
13,61	65,36	7,02	35,67	7,66	37,76	6,20	40,95
11,87	54,67	6,89	34,53	8,33	44,01	7,17	35,75
10,95	53,36	8,46	41,83	6,78	33,65	5,91	30,16
13,22	65,89	7,18	38,95	9,39	58,60	6,97	36,51
8,38	43,96	10,03	65,69	6,66	35,54	5,90	32,17
10,74	54,64	7,73	36,71	7,93	47,22	6,54	38,32
12,07	62,50	7,20	46,58	7,19	38,66	8,09	41,80
9,16	48,29	8,00	45,40	3,99	36,50	5,59	29,12
10,47	57,98	8,56	42,07	4,95	31,31	9,50	59,11
6,44	35,29	7,42	43,69	6,76	44,23	5,93	32,91
12,66	64,59	9,21	55,44	7,35	34,55	6,04	35,55
16,80	85,74	9,63	48,17	8,34	46,46	6,90	38,98
Průměr [ $\mu\text{m}$ ]							
11,31	57,12	8,04	43,45	7,30	39,86	6,57	36,31

Tab. 7: Naměřené hodnoty drsností při teplotě 480 °C

2.1.1.		2.1.2.		2.2.1.		2.2.2.	
Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
8,67	48,41	9,29	43,00	5,60	34,45	7,12	34,58
6,30	34,37	8,19	40,25	6,05	37,88	6,61	33,87
6,95	35,46	7,01	38,41	7,35	42,70	6,45	41,08
7,72	37,74	7,14	37,99	5,64	29,68	9,83	53,87
10,41	51,15	8,82	51,57	5,84	31,29	8,74	43,63
7,69	42,58	9,38	49,77	5,54	33,72	9,67	47,95
7,20	42,06	9,67	45,65	4,83	33,88	8,01	40,70
6,72	41,02	9,63	47,68	6,95	39,07	7,32	33,76
8,41	42,99	8,90	46,07	7,68	42,44	5,79	30,24
9,27	54,49	8,87	47,01	7,99	43,90	6,94	46,75
8,74	43,39	9,14	42,71	5,75	35,13	7,31	39,30
6,86	39,89	10,41	55,71	9,35	48,64	6,33	33,53
Průměr [ $\mu\text{m}$ ]							
7,78	42,47	8,90	45,21	6,44	37,45	7,45	39,52

Tab. 8: Naměřené hodnoty drsností při teplotě 550 °C

3.1.1.		3.1.2.		3.2.1.		3.2.2.	
Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
7,73	41,44	4,13	23,52	7,22	39,46	6,50	34,25
8,96	55,97	4,23	28,28	6,71	34,70	7,70	40,25
7,63	48,36	3,41	23,91	5,97	32,32	6,35	36,79
6,32	38,69	3,08	24,72	6,86	41,65	7,51	38,78
8,76	48,31	3,18	21,80	5,58	32,74	7,19	43,37
8,93	54,33	3,34	20,53	5,84	34,07	7,42	43,23
9,45	50,66	4,93	29,83	6,89	37,96	6,56	36,75
8,79	46,28	3,82	25,20	7,26	38,78	7,90	38,50
6,95	42,98	4,09	22,74	6,77	46,41	6,52	37,41
6,81	34,10	3,24	22,99	8,93	46,38	6,98	50,38
8,25	43,13	2,42	17,19	7,59	40,69	5,94	37,59
7,45	43,64	4,31	33,03	7,42	37,79	6,78	39,96
Průměr [ $\mu\text{m}$ ]							
8,03	45,78	3,68	24,35	6,85	38,42	6,95	39,26

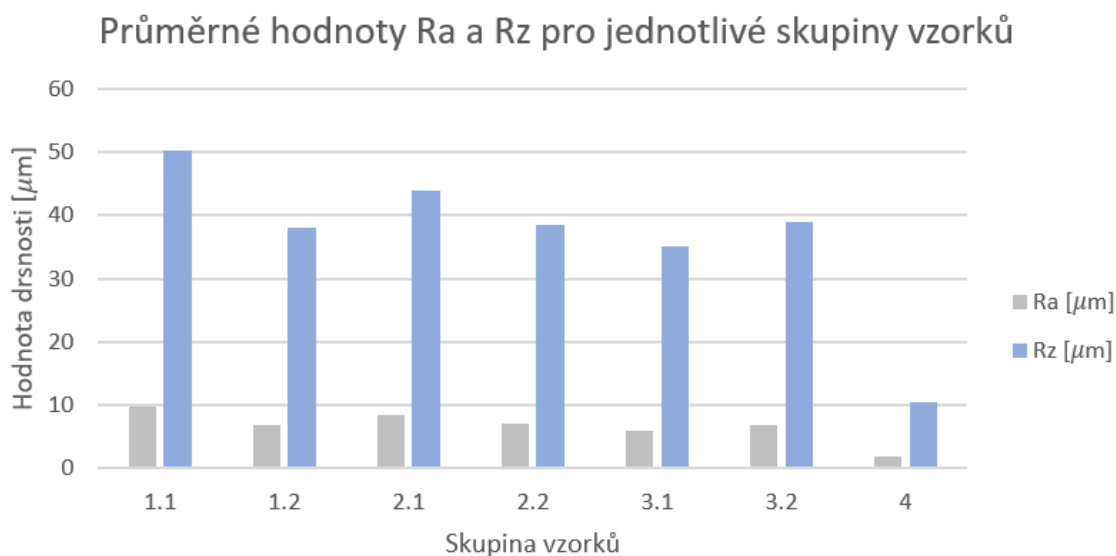
Tab. 9: Naměřené hodnoty drsností komerčních vzorků

4.1.		4.2.	
Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1,37	8,26	3,61	18,82
1,59	8,88	2,06	12,03
2,26	12,51	1,90	10,39
1,13	6,67	2,00	12,23
1,41	8,23	2,07	13,95
1,75	9,76	1,64	10,60
1,23	7,53	1,61	9,04
1,80	10,62	1,80	10,17
1,62	9,69	1,95	12,03
1,38	3,52	3,06	16,81
1,31	7,32	1,82	11,09
1,29	7,44	2,31	13,97
Průměr [ $\mu\text{m}$ ]			
1,48	8,44	2,06	12,33

V tab. č. 10 jsou sepsány průměrné hodnoty Ra a Rz pro každou skupinu vzorků zvlášť. Na obr. 14 jsou tyto průměrné hodnoty vyneseny do grafu. Skupina vzorků obsahu vždy dva vzorky, které byly vytvořeny za shodných podmínek např. vzorek 1.1.1 a vzorek 1.1.2 byly pozinkovány při teplotě 450 °C po dobu 90 sekund, jsou tedy dány do skupiny 1.1.

Tab. 10: Průměrné hodnoty Ra a Rz pro jednotlivé skupiny vzorků

Skupina vzorků	Průměrný Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Průměrný Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1.1	9,68	50,29
1.2	6,93	38,08
2.1	8,34	43,84
2.2	6,94	38,48
3.1	5,85	35,07
3.2	6,90	38,84
4	1,77	10,38



Obr. 14: Průměrné hodnoty Ra a Rz pro jednotlivé skupiny vzorků

Při porovnání naměřených hodnot při 450 °C a 480 °C při delší době zinkování (tj. 180 s) není rozdíl v Ra ani v Rz. V kratší době zinkování (90 s) má lepší Ra i Rz zinkování při teplotě 480 °C. To je způsobeno tím, že krystaly  $\zeta$  fáze vystupují až na povrch. U nízkoteplotního zinkování platí, že u vzorků, které byly delší dobu zinkovány je Ra i Rz nižší než u vzorků, které byly zinkovány kratší dobu. To může být způsobeno tím, že krystaly  $\zeta$  fáze měly více času na rovnoměrný růst (krystaly rostou zpravidla kolmo k povrchu bez toho, aby si navzájem překážely) a zinek pronikal mezi krystaly a vyplňoval nerovnosti. U vysokoteplotního zinkování je to naopak. Hodnoty Ra i Rz jsou

nižší při kratší době zinkování. Při porovnání nízkoteplotního a vysokoteplotního zinkování jsou oba parametry lepší při vysokoteplotním zinkování. To je dáno chybějící  $\zeta$  fází. Komerčně vyrobená skupina vzorků má třetinovou hodnotu obou parametrů oproti vyrobeným vzorkům, které byly zinkovány 180 s. To je způsobeno skoro dvojnásobnou dobou zinkování. S rostoucí dobou zinkování krystaly  $\zeta$  fáze rostou rovnoměrněji a rovnají se do úzkého pásu, nad kterým se vyskytuje vrstva fáze  $\eta$ . Přes tuto fázi se krystaly fáze  $\zeta$  nedostanou na povrch, a tudíž neovlivňují drsnost. [18]

## 8.2 Měření tloušťky

Měření tloušťky povlaku se provádělo pomocí tloušťkoměru Elcometer 456, který používá k měření oddělenou sondu. Jedná se o nedestruktivní tloušťkoměr. Mezi jeho velké výhody patří rychlost, okamžité zobrazení číselných výsledků na displeji, snadná obsluha a nepoškození jak výrobku, tak povrchové úpravy.

Tloušťka naneseného povlaku je jednou z významných znaků jakosti povrchových úprav. Tloušťka povrchové vrstvy může být v některých případech rozhodujícím měřítkem kvality. Povlak zlepšuje korozní, mechanickou a chemickou odolnost základního materiálu, tím se docílí vyšší životnosti součásti. Na tloušťku povlaku má vliv teplota lázně, doba ponoru, drsnost povrchu oceli, tloušťka stěny aj. [54, 55]

Elcometer používá k vyhodnocení výšky povlaku magneticko-indukční metodu. Tato metoda je založena na vyhodnocování intenzity vybuzeného elektromagnetického pole, které je funkcí tloušťky. V měřící sondě je umístěno feromagnetické jádro a budící vinutí. Budící vinutí je napájené střídavým proudem o nízké frekvenci. Díky tomu sonda vytváří ve svém blízkém okolí nízkofrekvenční střídavé elektromagnetické pole. Pokud jsou v blízkosti sondy feromagnetické materiály, tak se elektromagnetické pole sondy zesiluje. Zesílené pole se měří pomocí druhé snímací cívky, která odpovídá vzdálenosti feromagnetického podkladu od sondy. Tím, že zinek je nemagnetický a základní materiál (ocel) je magnetický, je možné změřit vrstvu pomocí magneticko-indukční metody. [54, 56]

Před samotným měřením byla provedena kalibrace Elcometeru 456. Kalibrace byla provedena pomocí kalibrační fólie o známé tloušťce, kdy se provedlo několik prvotním měření. Standartní přesnost Elcometeru po zkalibrování je  $\pm 1 \mu\text{m}$ . Nejprve probíhalo měření na folii o tloušťce  $126,3 \mu\text{m}$  a následně na folii o tloušťce  $50,7 \mu\text{m}$ . [55]



Měření se provádělo vždy 12krát na každé destičce. Nejnižší a nejvyšší naměřená hodnota se v průměru neuvažovala. Hodnoty naměřených tloušťek povlaků na jednotlivých vzorcích je vyobrazena v tab. 11.

Tab. 11: Naměřené hodnoty tloušťky povlaku pro všechny vzorky

Vzorek	Naměřené hodnoty [ $\mu\text{m}$ ]						Průměr [ $\mu\text{m}$ ]
1.1.1.	123	132	131	103	113	141	122,4
	122	126	114	109	135	119	
1.1.2.	99,2	165	106	169	94,5	115	117,5
	82,8	105	151	104	129	106	
1.2.1.	129	101	131	129	130	133	124,8
	148	114	119	106	136	121	
1.2.2.	109	117	121	104	131	124	119,3
	118	122	123	105	130	124	
2.1.1.	125	99,8	107	130	123	137	117,6
	109	114	98	124	119	125	
2.1.2.	128	94,5	87,7	94,2	91,9	124	100,4
	114	89,7	99,3	102	103	91,7	
2.2.1.	154	130	145	140	154	158	145,9
	133	140	144	153	144	152	
2.2.2.	131	152	141	156	123	125	134,3
	142	131	141	116	111	141	
3.1.1.	91,2	93,1	104	98,7	97	112	102,9
	105	111	110	98,7	112	99,2	
3.1.2.	74,3	74	84,3	66,2	67,3	72,9	69,8
	66,9	74,1	66,2	66,2	69,7	63,4	
3.2.1.	126	146	137	116	140	144	129,4
	132	118	119	118	138	122	
3.2.2.	110	104	112	104	107	123	107,9
	99,9	108	116	100	116	102	
4.1.	76,5	80,8	78,5	79,5	79,2	79	80,6
	94,5	80,2	81,4	79	82,4	86,1	
4.2.	81,2	74	84,3	78,8	74,4	70	77,7
	74,9	75,9	79,5	78,7	79,4	80,1	



V tab. č. 12 jsou sepsány průměrné hodnoty naměřené tloušťky povlaku pro každou skupinu vzorků zvlášť. Skupina vzorků obsahuje vždy dva vzorky, které byly vytvořeny za shodných podmínek př. vzorek 1.1.1 a vzorek 1.1.2 byly pozinkovány při teplotě 450 °C po dobu 90 sekund, jsou tedy dány do skupiny 1.1.

Tab. 12: Průměrné hodnoty tloušťky povlaku pro jednotlivé skupiny vzorků naměřené Elcometerem 456

Skupina vzorků	Průměrná tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]
1.1	119,9
1.2	122,1
2.1	109,0
2.2	140,1
3.1	86,3
3.2	118,7
4	79,2

Při žárovém zinkování má na tloušťku vrstvy vliv obsah křemíku v oceli. Platí, že při zvýšení obsahu křemíku se zvyšuje tloušťka povlaku. Také zvýšená tloušťka stěny oceli zapříčiňuje větší tloušťku povlaku. Dále na tloušťku má vliv složení a stav povrchu oceli (mimo jiné struktura, velikost zrna, napětí a povrchová drsnost), ale i složení taveniny, její teplota a doba ponoru. Faktory, které v tomto experimentu ovlivňují tloušťku vrstvy jsou pouze teplota taveniny a doba ponoru vzorku v zinkovací lázni. Ostatní faktory se nebudou uvažovat, protože všechny používané vzorky měly stejné vlastnosti. [18]

Norma EN ISO 1461, která se zabývá žárovými povlaky zinku nanášenými ponorem na železných a ocelových výrobcích říká, že na vzorku o tloušťce 3 mm má být místní tloušťka povlaku 45  $\mu\text{m}$  a průměrná tloušťka povlaku 55  $\mu\text{m}$ . Všechny vzorky tuto podmínku splňují. [57]

U ocelí s obsahem Si do 0,03 % je tloušťka povlaku u nízkoteplotního zinkování (440 – 480 °C) přibližně úměrná teplotě zinkovací lázně. Při vykreslení křivky závislosti mezi tloušťkou povlaku a dobou ponoru má křivka téměř logaritmický průběh. Pokud přesáhne doba ponoru optimální dobu, již nedochází k výraznému zvětšování tloušťky povlaku. Dochází k tomu kvůli primárnímu vytvoření soudržné vrstvy šesterečných, vzájemně těsně přiléhajících jednotlivých krystalů fáze  $\delta$ . Krystaly fáze  $\delta$  způsobují zpomalení difúze železa, a tudíž se nárůst povlaku zpomaluje. Tento nárůst tloušťky platí pouze pro nízkoteplotní zinkování. Po překročení cca 490 °C tloušťka povlaku

se s narůstající teplotou snižuje. To je zapříčiněno tím, že se již jedná o vysokoteplotní zinkování. [15]

Během zinkování při teplotě 450 °C se i při dvojnásobné době ponoru naměřily nepatrně odlišné hodnoty tloušťky povlaku. Naopak zinkování při teplotě 480 °C potvrzuje tvrzení, že při délce ponoru 90 a 180 sekund má křivka závislosti logaritmický průběh. Při zinkování, které bylo po dobu 180 s, se vytvořila tloušťka povlaku o 30 μm větší oproti době ponoru, který trval 90 s. Pokles tloušťky povlaku při vysokoteplotním zinkování je nejlépe viditelný u vzorku č. 3.1.2, kdy tloušťka povlaku nedosahuje ani 70 μm. V tab. 12 u skupiny vzorků 3.1 a 3.2 takový markantní rozdíl u naměřených tlouštěk povlaku už není, ale je vidět, že se jedná o mírný pokles.

Při porovnání komerčních vzorků se vzorky, které byly vyrobeny při stejné teplotě v zařízení od firmy INDUKCE.CZ, je vidět markantní rozdíl v tloušťce povlaku. Zde neplatí tvrzení, že při vzrůstajícím čase zinkování roste tloušťka vrstvy logaritmicky. Naopak, při skoro dvojnásobném čase je tloušťka povlaku dvoutřetinová. To může být zapříčiněno odlišným složením pokovovaného vzorku, stavem povrchu vzorku a složením zinkovací lázně.

Při žárovém zinkování ponorem do roztaveného zinku se vzorek ponořuje a vytahuje z lázně, a tudíž je spodní část vzorku v lázni delší dobu než vrchní část. Také při vytáhnutí vzorků dochází ke stékání přebytečné lázně po povrchu vzorku. To vše se projeví nerovnoměrnou tloušťkou povlaku.

### **8.3 Korozní zkouška**

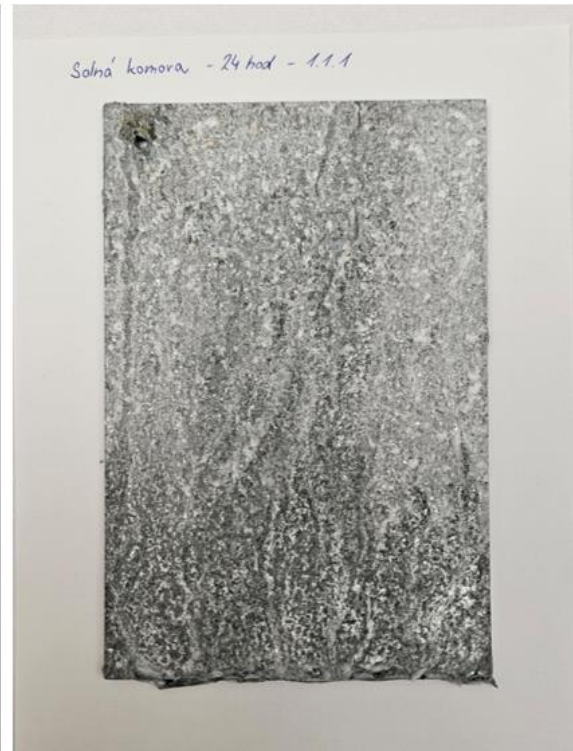
Atmosférická koroze ovlivňuje nepříznivě užité i estetické vlastnosti výrobků. Urychlené korozní zkoušky jsou dobrým pomocníkem při výběru ať už základního materiálu, tak povrchové úpravy. V tomto případě se srovnával zinkový povlak, který byl vždy nanesen za jiných podmínek. Použila se k tomu zkouška korozní odolnosti v solné mlze. Zkouška se prováděla dle normy ČSN EN ISO 9227. Během zkoušky byly vzorky kontinuálně vystaveny mlze chloridu sodného o koncentraci 5 hm. % při teplotě  $35 \pm 2$  °C a při pH 6,5 – 7,2.

Vzorky byly umístěny v solné komoře po dobu 1 500 hodin. Po určitých časových intervalech se vzorky ze solné komory vyndaly a zdokumentovaly. Časové intervaly byly: 0, 24, 48, 168, 240, 336, 480, 576, 720, 888, 1 032, 1 176, 1 344 a 1 500 hodin.

Na fotografiích níže (obr. 15 – 28) je vyobrazen reprezentativní vzorek 1.1.1 zdokumentovaný v čase. Tento vzorek byl zinkován při 450 °C po dobu 90 s. Na tomto vzorku je vidět nejenom bílá koroze, ale i červená koroze ve větší míře. Jedná se o vzorek, který byl nejvíce napaden červenou korozí.



Obr. 15: Vzorek 1.1.1, 0 h v solné komoře



Obr. 16: Vzorek 1.1.1, 24 h v solné komoře

Již po 24 hodinách se na vzorku začala objevovat bílá koroze. Jedná se o bílý objemný povlak, který se tvoří vždy, když na povrchu pozinkovaných dílů zůstává stát voda. Pokud by se díl v tomto stádiu napadení vyndal z korozní komory, k odstranění bílé koroze by stačil přístup vzduchu a pomocí povětrnostních podmínek by se tato koroze odstranila. Bílá koroze není nebezpečná, nezpůsobuje snížení korozní odolnosti pozinkovaného dílu.



Obr. 17: Vzorek 1.1.1, 48 h v solné komoře



Obr. 18: Vzorek 1.1.1, 168 h v solné komoře

Po 168 hodinách se na vzorku 1.1.1 poprvé objevila červená koroze. Barva červené koroze se s prodlužující dobou expozice zvyrazňuje (viz. obr 18 a 28). Červená koroze vzniká korodováním fáze Fe-Zn, kdy dochází k uvolňování železa, které tvoří korozi s vodou, ale i s vlhkostí ze vzduchu. K zabarvení dílu postačí malé množství koroze.



Obr. 19: Vzorek 1.1.1, 240 h v solné komoře



Obr. 20: Vzorek 1.1.1, 336 h v solné komoře





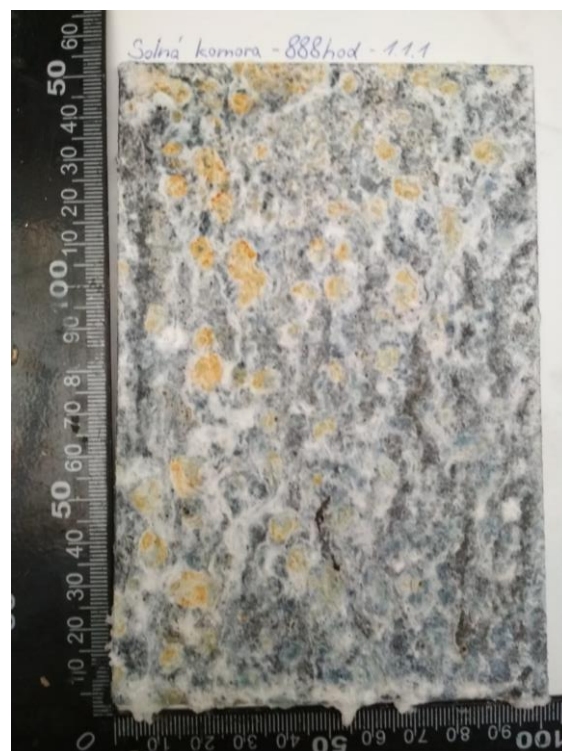
Obr. 21: Vzorek 1.1.1, 480 h v solné komoře



Obr. 22: Vzorek 1.1.1, 576 h v solné komoře



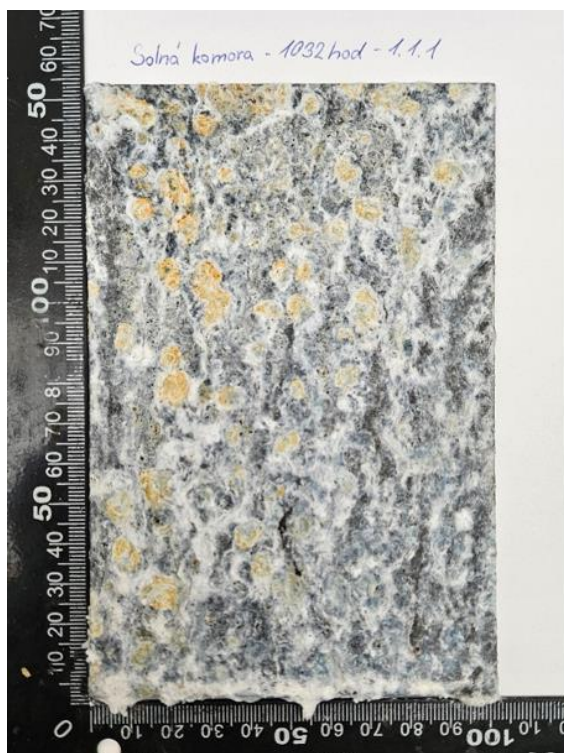
Obr. 23: Vzorek 1.1.1, 720 h v solné komoře



Obr.24: Vzorek 1.1.1, 888 h v solné komoře

Se vzrůstajícím časem v solné komoře se objevuje červená koroze na více místech, ve větší míře a ve větší hloubce. Největší napadená celistvá oblast červenou korozi po 888 h měla velikost 14 x 5 mm.





Obr.25: Vzorek 1.1.1, 1032 h v solné komoře

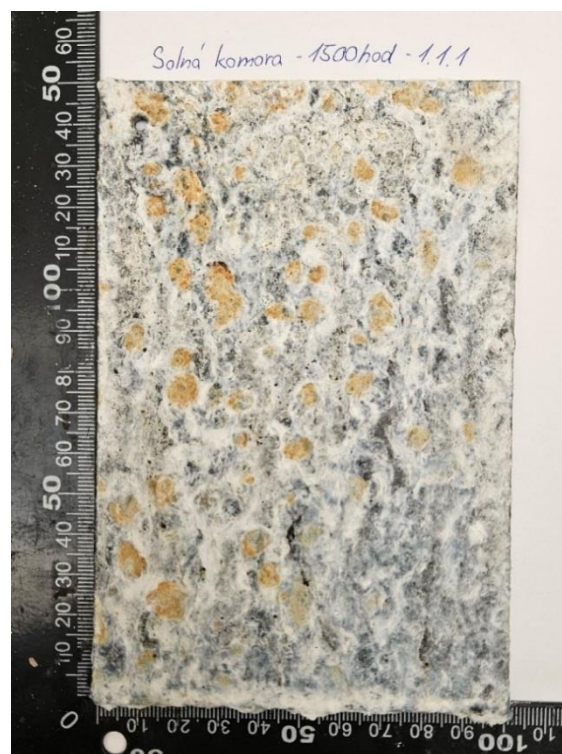


Obr.26: Vzorek 1.1.1, 1176 h v solné komoře

Červená koroze ve výraznějším zabarvení by mohla zapříčinit snížení nebo úplnou ztrátu funkčnosti korozní ochrany. K tomu by v tomto případě nemělo dojít, protože slitina Fe-Zn chrání ocel lépe než čistý zinek.



Obr. 27: Vzorek 1.1.1, 1344 h v solné komoře



Obr. 28: Vzorek 1.1.1, 1500 h v solné komoře

Všechny vzorky se po 1 500 hodinách vyhodnotily dle normy ČSN EN ISO 10289. Tato norma se zabývá korozními zkouškami kovových a jiných anorganických povlaků na kovových podkladech. Před samotnou prohlídkou se nechaly vzorky oschnout a prohlížely se bez očištění povrchu. Vyhodnocení se provádělo vizuálně, kdy se porovnávaly vzorky s obrázky v normě. Tím, že zinek je vůči základnímu materiálu (oceli) méně ušlechtlejší, je v tomto případě zinek anodou a koroduje přednostně. Proto se porovnávaly vzorky s přílohou B v normě, kde jsou vyobrazeny obrázkové standardy pro povlaky anodické vůči podkladovému kovu. Koroze, která se vyskytovala od hrany vzorku do 5 mm se nebrala v úvahu pro číselné vyhodnocení. [58]

Cílem bylo získat parametr stupně ochrany  $R_p$ . Číselný systém vyhodnocování vychází z plochy podkladu s projevy koroze a je dán vztahem [58]

$$R_p = 3 \cdot (2 - \log_{10} \cdot A) \quad (1)$$

$R_p$  – stupeň ochrany (vždy celé číslo 0-10)

$A$  – procentuální podíl celkové plochy, která vykazuje korozi podkladového kovu [58]

Pokud by byl vzorek bez vad, plocha vad by měla hodnotu 0 % a stupeň ochrany by byl 10. V případě, kdyby hodnota  $A$  byla více než 50 %,  $R_p$  by bylo 0.

V tab. 13 jsou sepsány hodnoty časů, kdy se na vzorcích objevila první červená koroze. Dále jsou odhadnuty procentuální podíly ploch, které vykazují korozi a pomocí vzorce je dopočítán stupeň ochrany. Celá tato zkouška je založena na subjektivním vyhodnocení vzorků.

Tab. 13: Vyhodnocení korozní zkoušky

č. vzorku	první výskyt červené koroze [h]	plocha vad A [%]	R <sub>p</sub> po 1500 h [-]
1.1.1	168	25	2
1.1.2	168	10	3
1.2.1	576	5	4
1.2.2	576	10	3
2.1.1	480	5	4
2.1.2	576	5	4
2.2.1	480	10	3
2.2.2	576	10	3
3.1.1	336	0,5	7
3.1.2	336	2,5	5
3.2.1	336	1	6
3.2.2	1176	0,1	9
4.1	576	5	4
4.2	576	2,5	5

Při porovnání vzorků vyhotovených při teplotě 450 °C se červená koroze objevila u skupiny vzorků 1.2 až při více než trojnásobném čase oproti vzorkům 1.1. To by mohlo být zapříčiněno buď rozdílnou tloušťkou zinkové vrstvy anebo jejím rozdílným složením. V tab. 12 jsou průměrné hodnoty tloušťky zinkové vrstvy při obou časech zinkování velmi podobné, tudíž by mělo mít vliv na vznik červené koroze pouze složení zinkové vrstvy. Markantní rozdíl je i v procentuální ploše, která vykazuje korozi, od které se odvíjí stupeň ochrany. To by také mohlo být zapříčiněno rozdílným složením zinkové vrstvy. Lépe vyšla skupina vzorků 1.2.

U vzorků ze skupin 2.1 i 2.2 jsou časy vzniku červené koroze stejné. Vzorky, které byly zinkovány při kratším čase, vykazují korozi na menší ploše vzorku oproti skupině vzorků, která byla zinkovaná 180 s, a tudíž mají i vyšší R<sub>p</sub>.

U vzorků 3.1.1, 3.1.2 je čas vzniku koroze stejný. I vzorek 3.2.1, který byl vyhotoven při delším čase zinkování má první výskyt koroze stejný. Na vzorku 3.2.2 se objevila červená koroze až po trojnásobném čase, oproti vzorku 3.2.1, který byl vyroben za stejných podmínek. Obě skupiny vzorků vykazují velmi malé zastoupení červené koroze na povrchu vzorku a mají velmi vysoké R<sub>p</sub>. O trochu lépe vychází vzorky, které byly zinkovány delší čas.



První výskyt červené koroze u skupiny vzorků 1.2 a u skupiny vzorků 4 je totožný i přes to, že doba zinkování vzorků 4 byla dvojnásobná oproti vzorkům 1.2. To by mohlo být zapříčiněno tím, že tloušťka povlaku komerčních vzorků byla dvoutřetinová oproti vzorkům 1.2.

Na všech pozinkovaných vzorcích i na vzorcích komerčních se po určité době objevila červená koroze. Ta se nejdříve ukázala na vzorcích, které byly pozinkovány při teplotě 450 °C po dobu 90 s, už po 168 hodinách v solné komoře. Jako poslední se objevila na vzorku 3.2.2, který se zinkoval při teplotě 550 °C po dobu 180 s, a to až po 1 176 hodinách. Při srovnání procentuálního podílu celkové plochy, která vykazovala korozi, jsou na tom nejhůře vzorky, které byly zinkovány při nízkých teplotách. S rostoucí teplotou zinkování a s rostoucím časem zinkování (až na vzorky 2.1 a 2.2) platí, že podíl koroze na povrchu vzorku klesá. S tím je úzce spojen i stupeň ochrany. Ten klesá s rostoucí plochou, na které byla koroze.

Fotografie vzorků, které nejsou vyobrazeny zde, jsou umístěny v kapitole Příloha I.

## 8.4 Metalografická analýza

Metalografická zkouška se řadí mezi destruktivní zkoušky materiálu a lze pomocí ní zjistit např. strukturu a chemické složení materiálu, velikost, tvar a rozložení strukturálních složek, velikost a umístění nekovových vměstků, či různých prvků i vad v materiálu. Tato zkouška se prováděla především kvůli ověření výskytu jednotlivých fází Fe–Zn. K pozorování mikrostruktury materiálu bylo zapotřebí připravit vzorky (metalografické výbrusy). Na tuto zkoušku bylo připraveno 7 vzorků, jejich označení je sepsáno v tab. 14.

Tab. 14: Označení vzorků v závislosti na teplotě a délce ponoru

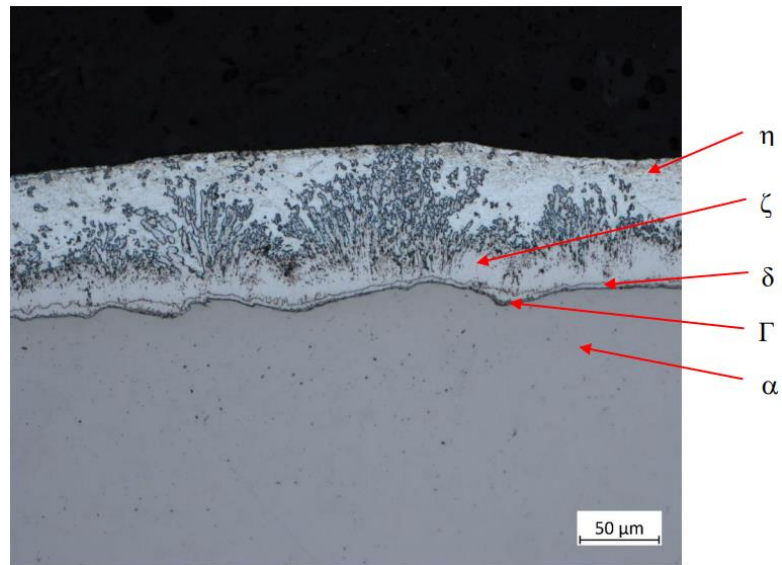
Číslo vzorku	Doba ponoru [s]	Teplota [°C]
1.1.3	90	450
1.2.3	180	450
2.1.3	90	480
2.2.3	180	480
3.1.3	90	550
3.2.3	180	550
4.3	300	450

Příprava metalografických výbrusů začala vyříznutím vzorků pomocí metalografických pil. Během řezání se vytváří teplo, které je potřeba eliminovat, aby nedošlo k ovlivnění struktury materiálu. Z tohoto důvodu bylo potřeba zajistit přístup chladicí kapaliny. Vyřízl se vzorek o rozměrech 20 x 10 mm viz. obr 29. Aby se se vzorkem dalo lépe manipulovat, byl zafixován do pryskyřice. Zafixovaný vzorek se brousil a leštil pomocí metalografické brusky a leštičky. Broušení se provádělo pomocí brusných papírů se vzrůstající zrnitostí za přívodu vody. Po odstranění stop, které vznikly dělením materiálu i broušením následuje leštění. Leštění se provádělo pomocí leštícího plátna a emulze SiO<sub>2</sub>. Vyleštěný povrch musí být rovný a zrcadlově lesklý. Posledním krokem bylo leptání. Leptání je nejcitlivější krok celé přípravy metalografického výbrusu. Na výbrus se nanese chemické činidlo a nechá se působit, tím dojde ke zvýraznění struktury.

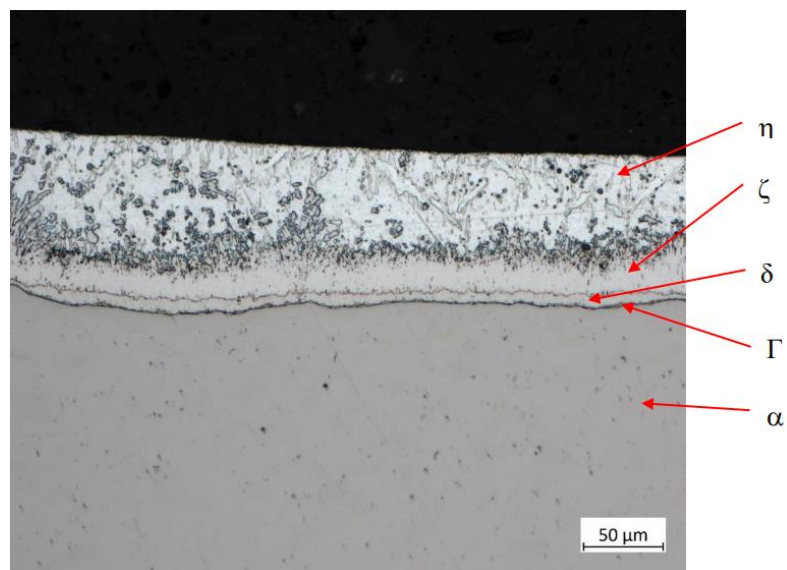


Obr. 29: Vzorek 1.2.3 po vyříznutí vzorečku na metalografickou analýzu

Železo se zinkem tvoří dvousložkové slitinové fáze  $\Gamma$ ,  $\delta$  a  $\zeta$ . Jednotlivé fáze se od sebe odlišují krystalografickou strukturou, chemickým složením a mechanickými vlastnostmi. Snímky pro jednotlivé vzorky jsou vyobrazeny na obr. 30 – 36, kdy fáze  $\eta$  (eta) představuje povlak z čistého zinku, fáze  $\zeta$  (zeta) obsahuje 5 – 6 % Fe, fáze  $\delta$  (delta) má obsah Fe 7 – 11,5 %, fáze  $\Gamma$  (gamma) má 17 – 28 % Fe. Poslední fází je fáze  $\alpha$  (ocel), která obsahuje maximálně 4 % zinku.



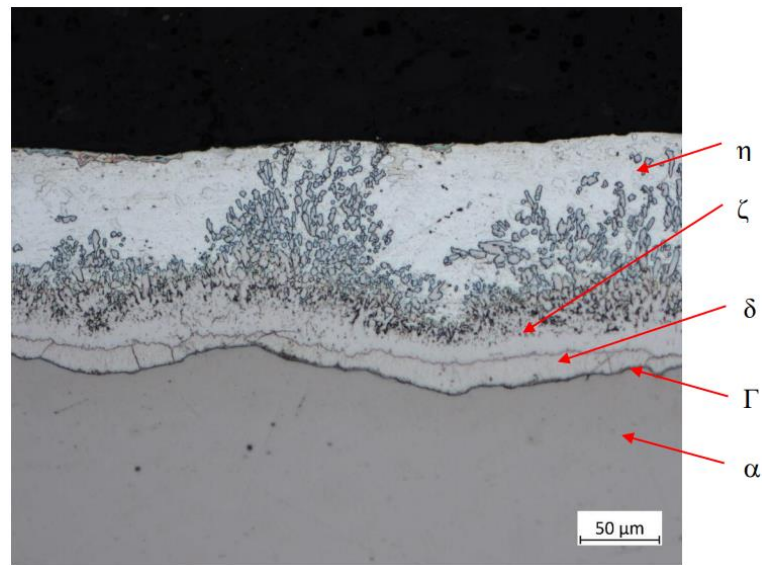
Obr. 30: Metalografický výbrus, vzorek 1.1.3



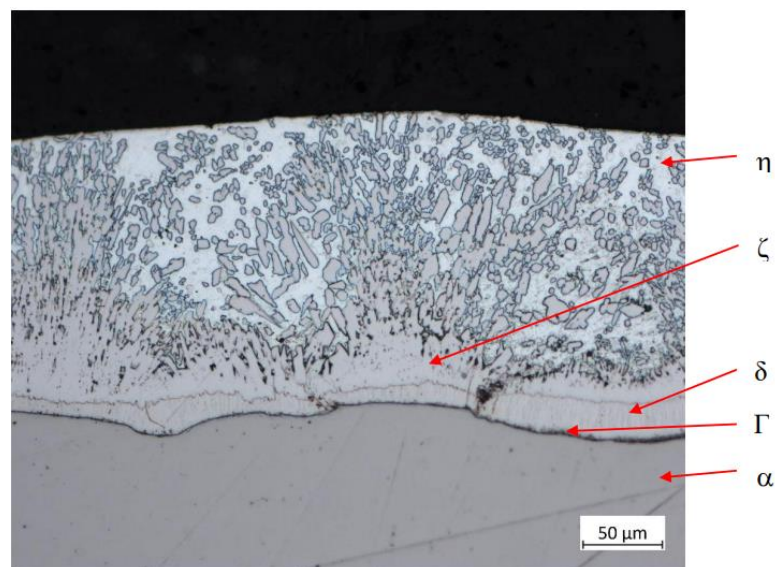
Obr. 31: Metalografický výbrus, vzorek 1.2.3

Dle literatury [28] by při nízkoteplotním zinkování u ocelí neuklidněných křemíkem měla narůstat fáze  $\delta$  do poměrně velkých tloušťek. Je patrné, že při delší době zinkování dorůstá tato vrstva větších rozměrů, ale oproti jiným vrstvám nemá tak velkou tloušťku. To je zapříčiněno krátkou dobou zinkování. U zinkování při 450 °C jsou

na metalografickém výbrusu vyobrazeny všechny dvousložkové slitinové fáze i čistý zinek. U vzorku 1.1.3 je fáze  $\zeta$  více rozvětvená než u vzorku 1.2.3. Je patrné, že v místě, kde je nejvíce fáze  $\zeta$  (jednoklonné krystaly rostoucí kolmo k povrchu) je povrch mírně vystouplý. Na vzorku 1.2.3 se zeta fáze nachází v užším pásu a zinkovací vrstva je bez výčnělků.



Obr.32: Metalografický výbrus, vzorek 2.1.3



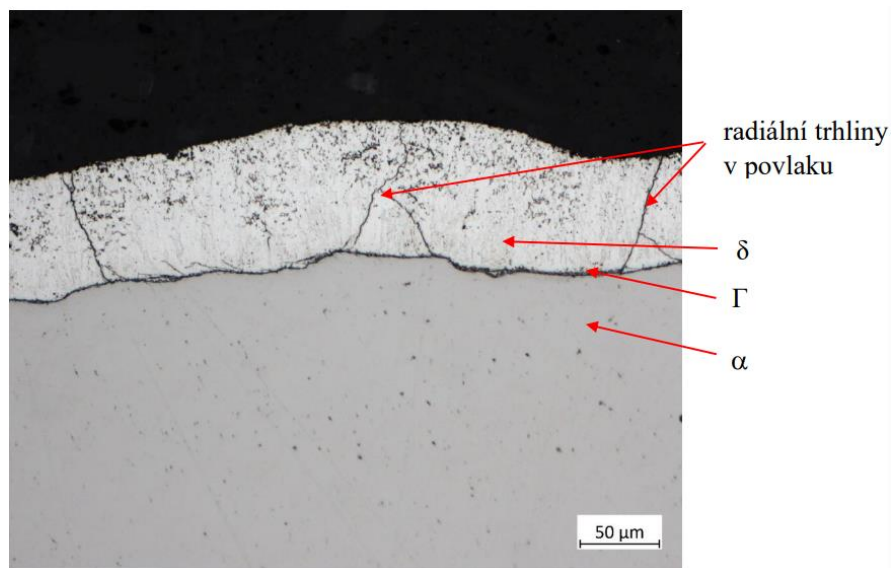
Obr. 33: Metalografický výbrus, vzorek 2.2.3

Při porovnání velikostí fáze  $\delta$  u zinkování při 450 °C a 480 °C je viditelné, že tato fáze se s rostoucí teplotou zvětšuje. Stejně jako u zinkování při teplotě 450 °C se tvoří zinková vrstva se všemi slitinovými fázemi i čistým zinkem. Povlak u vzorku 2.1.3 je složen více z fáze  $\eta$  než z fáze  $\zeta$  oproti vzorku 2.2.3, kdy vysoce převažuje právě fáze  $\zeta$  ve formě krystalů, rostoucích směrem na povrch. Dle literatury [28] by fáze  $\zeta$  měla narůstat

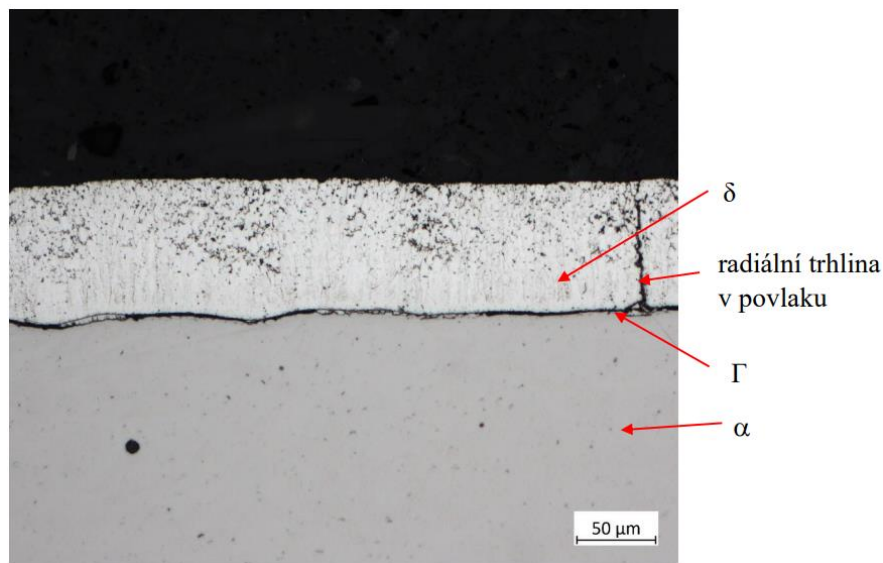


s rostoucím časem až do té doby, dokud se na fázovém rozhraní s fází  $\delta$  nezačnou vytvářet překážky, které zpomalují růst tloušťky.

Vysokoteplotní zinkování je charakteristické tím, že se nevytvoří všechny slitinové fáze, přesněji fáze  $\zeta$ . Také se zde již nevyskytuje v povlaku čistý zinek. Při zinkování nad 530 °C se váže železo se zinkem a vzniká fáze  $\delta$ . Pro fázi  $\Gamma$  nejsou příznivé podmínky, a proto je přítomnost povlaku zanedbatelná. Z toho plyne, že jediná fáze, která se vyskytuje při vysokoteplotním zinkování, je fáze  $\delta$ . Tuto teorii potvrzují i vzorky 3.1.3 a 3.2.3. Při teplotě 550 °C se na vzorcích udělaly radiální trhliny, které jsou nežádoucí.

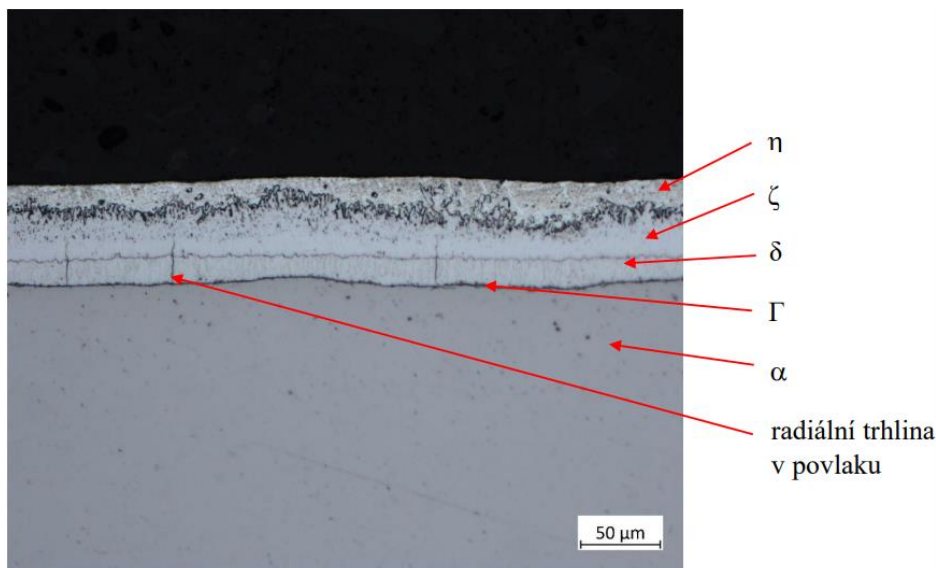


Obr.34: Metalografický výbrus, vzorek 3.1.3



Obr.35: Metalografický výbrus, vzorek 3.2.3

Komerční vzorek má stejně jako vzorky vyhotoveny nízkoteplotním zinkováním všechny slitinové fáze i čistý zinek. Při porovnání komerčního vzorku se vzorkem 1.2.3 je viditelné, že fáze  $\zeta$  se vzrůstajícím časem zinkování tvoří užší pás s malými krystaly rostoucími směrem na povrch. Také je u komerčního vzorku fáze  $\delta$  mnohem širší a rovnoměrnější. Tím se experiment shoduje s literaturou [28] (při nízkoteplotním zinkování u ocelí neuklidněných křemíkem narůstá fáze  $\delta$  do poměrně velkých tloušťek). Nedokonalostí tohoto povlaku jsou radiální trhliny.



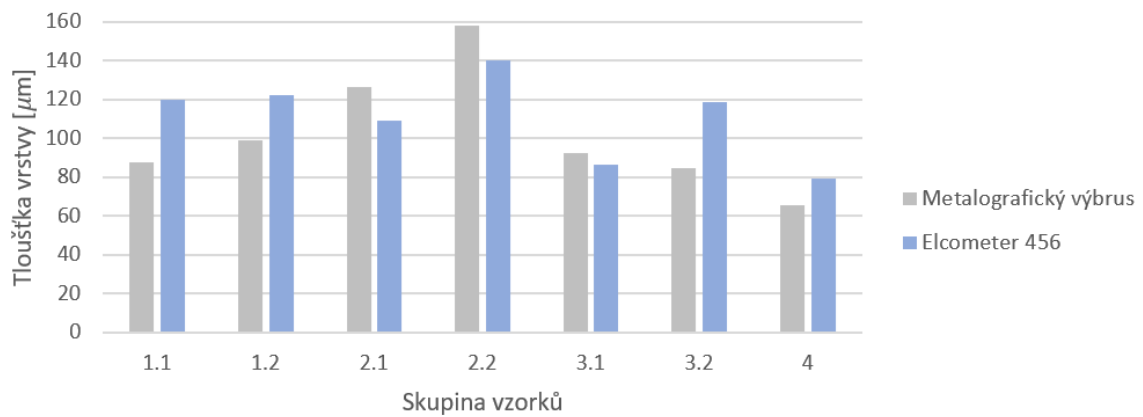
Obr. 36: Metallografický výbrus, vzorek 4.3

Dále se pomocí mikroskopických snímků ověřovala naměřená tloušťka zinkové vrstvy pomocí Elcometeru. Měření se provádělo vždy 12krát na jednom metalografickém výbrusu, z toho se vyškrtla nejmenší a největší naměřená hodnota a ze zbylých hodnot se udělal průměr. V tab. 15 jsou sepsány a na obr. 37 jsou vyobrazeny průměrné hodnoty tloušťky povlaků naměřené na metalografických výbrusech a pomocí Elcometeru 456.

Tab. 15: Porovnání průměrných hodnot tloušťek zinkového povlaku

Skupina vzorků	Metalografický výbrus průměrná tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]	Elcometer 456 průměrná tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]
1.1	87,770	119,9
1.2	99,094	122,1
2.1	126,158	109,0
2.2	157,860	140,1
3.1	92,551	86,3
3.2	84,674	118,7
4	65,298	79,2

## Porovnání průměrných hodnot tloušťek zinkového povlaku



Obr. 37: Porovnání průměrných hodnot tloušťek zinkového povlaku

Nevýhodou měření tloušťky pomocí mikroskopu je, že na metalografickém výbrusu se vyskytuje pouze zlomek původního vzorku. Na snímku v softwaru mikroskopu se vybraly dva body (rozhraní mezi základním materiálem a povlakem a přechod mezi povlakem a prostředím), které se spojily přímkou viz. obr. 36. Vybrané body nemusí představovat průměrnou výšku povlaku, ale lze okótovat buď výstupek nebo prohlubeň. Jedná se o přesné měření, které udává hodnoty pouze v lokálně měřených místech. Na každém vzorku se měřila tloušťka ve čtyřech průřezech. Zbylé snímky jsou vyobrazeny v kapitole Příloha II. Oproti tomu pomocí tloušťkoměru se měřil celý vzorek nedestruktivně, tudíž bez rozřezání (tedy vzorek o ploše 150 x 100 mm). Jednotlivé měření se prováděly napříč destičkou. Z tohoto důvodu se průměrné hodnoty pomocí výše zmíněných metod neshodují.



Obr. 38: Metalografický výbrus (vzorek 2.2.3-1) měření tloušťky

## 9. Diskuse

Tato kapitola je věnována naměřeným výsledkům, které vzešly z měření drsnosti, měření tloušťky, korozní odolnosti a ověření výskytu všech fází v žárově pozinkovaném povlaku.

### 9.1 Drsnost

Měření drsnosti se provádělo pomocí digitálního drsnoměru. Jedná se o velmi přesné a jednoduché měření, kdy se odečítají číselné hodnoty drsnosti z přístroje. U jednotlivých skupin vzorků se porovnávaly parametry Ra a Rz. Nejlepší hodnoty vyšly u vzorků vyrobených v komerční zinkovně. Tyto hodnoty byly třetinové oproti ostatním naměřeným hodnotám. To mohlo být způsobeno dvojnásobně delší dobou zinkování, kdy došlo k rovnoměrnému růstu krystalů  $\zeta$  fáze, nad kterou se nacházela spojitá vrstva fáze  $\eta$ , či jinou lázní. Rozdíly naměřených hodnot drsností u ostatních vzorků byly zanedbatelné.

### 9.2 Měření tloušťky

Tloušťka naneseného povlaku se měřila pomocí tloušťkoměru, který používá k vyhodnocení výšky povlaku magneticko-indukční metodu a pomocí destruktivní mikroskopické zkoušky. Tloušťka povlaku může být v některých případech rozhodujícím měřítkem kvality. Povlak chrání a zajišťuje vyšší životnost základního materiálu, zlepšuje korozní, mechanickou a chemickou odolnost. Při porovnání vzorků, které byly pozinkovány svépomocí v laboratořích fakulty, na tloušťku povlaku nemá vliv obsah křemíku v oceli, tloušťka stěny pozinkovaného materiálu, složení taveniny, ani složení a stav povrchu oceli (všechny vzorky byly vyrobeny ze stejného materiálu i předupraveny stejně). Faktory ovlivňující tloušťku byly pouze teplota a doba ponoru. U nízkoteplotního zinkování by dle teorie z literatury [15] měla mít tloušťka povlaku logaritmický průběh s rostoucí dobou ponoru. Tato teorie se potvrdila u vzorků zinkovaných při 480 °C, kdy se na vzorku, který byl zinkován 180 s, vytvořil povlak o tloušťce 30  $\mu\text{m}$  větší než u vzorků zinkovaných 90 s. Naopak tomu bylo u komerčních vzorků, kde při dvojnásobném čase zinkování je tloušťka povlaku dvoutřetinová, což mohlo být ovlivněno parametry lázně. U vysokoteplotního zinkování platí teorie z literatury [15], že se tloušťka povlaku s narůstající teplotou snižuje. Tento pokles se na vzorcích potvrdil.



Naměřené hodnoty tloušťky pomocí tloušťkoměru a mikroskopu se neshodovaly. To je způsobeno tím, že měření tloušťky pomocí mikroskopu je pouze lokální v oblasti metalografického výbrusu, zatímco měření pomocí tloušťkoměru bylo provedeno napříč celou plochou destičky.

### **9.3 Korozní zkouška**

Korozní zkouška se prováděla v solné mlze, kde byly vzorky po dobu 1 500 hodin. Vzorky se v pravidelných časových intervalech z komory vyťahovaly a vyhodnocovaly. Všechny vzorky byly napadeny po určité době červenou korozi. Ta se nejprve objevila na vzorcích pozinkovaných při 450 °C při zinkovacím čase 90 s, a to již po 168 hodinách. Červená koroze se jako poslední objevila na vzorku vysokoteplotně zinkovaném po dobu 180 s, a to až po 1 176 hodinách. Vzorky, které byly vyhotovené při stejné teplotě jako komerční vzorky, ale měly dobu zinkování poloviční, měly čas prvního výskytu červené koroze stejný. To mohlo být zapříčiněno tím, že tloušťka povlaku komerčních vzorků byla dvoutřetinová oproti vlastnoručně vyrobeným vzorkům. V tomto jediném případě se nepotvrdilo tvrzení, že s rostoucím časem zinkování se zvyšuje odolnost proti korozi.

Při srovnání procentuálního podílu celkové plochy, která vykazovala červenou korozi, jsou na tom nejhůře vzorky, které byly zinkovány při nízkých teplotách. S rostoucí teplotou zinkování a s rostoucím časem zinkování (až na vzorky, které byly zinkovány při 480 °C) platí, že podíl červené koroze na povrchu vzorku klesá. S tím je úzce spojen i stupeň ochrany. Ten klesá s rostoucí plochou, na které byla červená koroze.

### **9.4 Metalografická analýza**

Tato analýza se řadí mezi destruktivní zkoušky. Nejprve bylo zapotřebí vzorky rozřezat na vzorečky o velikosti 20 x 10 mm, ze kterých se poté připravily metalografické výbrusy. Experiment potvrdil předpoklad z literatury [15], že při nízkoteplotním zinkování se tvoří všechny slitinové fáze Fe-Zn. Také by u ocelí neuklidněných křemíkem měla fáze  $\delta$  narůstat do poměrně velkých tlouštěk. To se na připravených vzorcích nepotvrdilo, protože doba zinkování byla příliš krátká. Teorie se potvrdila u komerčního vzorku. Také s delším časem zinkování narůstá fáze  $\zeta$ , která tvoří úzký pás s drobnými krystaly rostoucími směrem na povrch. U vysokoteplotního zinkování se vytvořila pouze slitinová fáze  $\delta$ .

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo sepsání literární rešerše z oblasti žárového zinkování. Na základě těchto poznatků byly navrženy zkoušky, kterými se ověřovaly vlastnosti žárově pokovených vzorků. Následně byly vytvořeny vzorky pomocí zařízení INDUKCE.CZ. Výsledky zkoušek byly vyhodnoceny a interpretovány.

Ze zkoušky drsnosti vyplývá, že na připravené vzorky neměla teplota ani zvolený čas velký vliv. Větší rozdíl v naměřených hodnotách byl u komerčně vyrobených vzorků, kdy byla drsnost třetinová. Komerční vzorky byly zinkovány dvojnásobně dlouhou dobu. Doba zinkování má vliv na drsnost, ale projevuje se až při vyšších rozdílech času zinkování.

Na tloušťku zinkové vrstvy měla vliv pouze teplota a doba ponoru. U pozinkovaných vzorků při teplotě 480 °C platí, že při zvyšující se době ponoru roste tloušťka povlaku logaritmicky. U komerčního vzorku tloušťka povlaku klesala s delším časem zinkování. U vysokoteplotně pozinkovaných vzorků se tloušťka vrstvy snížila.

U všech vzorků připravených ve fakultní laboratoři platilo, že s rostoucím časem zinkování se zvyšuje odolnost proti korozi. Pouze u komerčních vzorků s rostoucím časem zinkování se korozní odolnost nezměnila. Všechny vzorky byly napadeny po určité době červenou korozi. Nejdříve se objevila na vzorcích pozinkovaných při nejnižší teplotě a nejkratším čase. Nejlépe na tom byl vzorek, který byl vysokoteplotně zinkován po dobu 180 s. S rostoucím časem a teplotou zinkování platí, že podíl koroze na povrchu vzorku klesá. Stupeň ochrany klesá s rostoucí plochou, na které byla koroze.

Při nízkoteplotním zinkování vznikly všechny slitinové fáze Fe-Zn, při vysokoteplotním zinkování se vytvořila pouze fáze  $\delta$ . Při nízkoteplotním zinkování fáze  $\delta$  dorůstá do větších tlouštěk, ale až při delším čase zinkování, jak tomu bylo u komerčního vzorku. Na připravených vzorcích z laboratoře byla fáze  $\delta$  tenká.

## Bibliografie

- [1] SIRIN, S.Y. Effect of hot dip galvanizing on the fatigue behavior of hot rolled and ion nitrated AISI 4340 steel. *International Journal of Fatigue* [online]. 2019, **123**, 1-9 [cit. 2023-03-20]. ISSN 0142-1123. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijfatigue.2019.01.001
- [2] HAMID, Z., A. AAL, H.B. HASSAN a A. SHAABAN. Process and performance of hot dip zinc coatings containing ZnO and Ni–P under layers as barrier protection. *Applied Surface Science* [online]. 2010, **256**(13), 4166-4170 [cit. 2023-04-03]. ISSN 01694332. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsusc.2010.01.119
- [3] JAREŠ, V. *Metalografie neželezných kovů*. První. Praha: Česká matice technická, 1950.
- [4] KROPSCHOT, S. a J. DOEBRICH. *Zinc—The key to preventing corrosion* [online]. National Minerals Information Center, 2011 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://pubs.usgs.gov/fs/2011/3016/>
- [5] HLAVÁČEK, V. Organické povlaky obsahující zinek. *Povrcháři* [online]. 2018, (6), 5-8 [cit. 2022-11-20]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201806\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201806_povrchari.pdf)
- [6] BERÁNEK, M., J. ŠEBKOVÁ a M. PEDLÍK. *Technologie kovových materiálů*. První. Nakladatelství technické literatury n.p., 1984.
- [7] STRZYŽ, P. Film o žárovém zinkování. *Povrcháři* [online]. 2011, (5), 1-4 [cit. 2022-11-20]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201105\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201105_povrchari.pdf)
- [8] KREIBICH, V. a K. HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. Druhé. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1991.
- [9] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2668-1.

- [10] GANGÉ, M. a F. GOODWIN. *Zinc coatings for sustainable steel bridges* [online]. USA, 2018 [cit. 2023-02-09].
- [11] PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-707-8235-8.
- [12] PROCHÁZKA, J. a M. ZAPOTIL. *Technologie slévání, tváření a svařování*. První. Ostrava: České vysoké učení technické v Praze, Editační středisko ČVUT, Praha 1, 1982.
- [13] SHIBLI, S., B. MEENA a R. REMYA. *Surface & Coatings Technology: A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process* [online]. 2015, 210-215 [cit. 2023-02-09]. ISSN 0257-8972. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.12.054>
- [14] Odmašťování v kyselé odmašťovací lázni a netoxické inhibitory moření. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. [cit. 2022-11-22]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/odmastovani-v-kysele-odmastovaci-lazni-a-netoxicke-inhibitory-moreni/>
- [15] KUKLÍK, V. a J. KUDLÁČEK. *Žárové zinkování*. Havlíčkův Brod: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014. ISBN 978-80-90529-2-36.
- [16] VÁŇA, P. Moření vysokolegovaných ocelí. *Povrcháři* [online]. 2018, (6), 21-26 [cit. 2022-11-20]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201806\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201806_povrchari.pdf)
- [17] CARPIO, J., J.A. CASADO, J.A. ÁLVAREZ a F. GUTIÉRREZ-SOLANA. Environmental factors in failure during structural steel hot-dip galvanizing. *Engineering Failure Analysis* [online]. 2009, **16**(2), 585-595 [cit. 2023-03-20]. ISSN 1350-6307. Dostupné z: [doi:10.1016/j.engfailanal.2008.02.006](https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.02.006)
- [18] ERIKSSON, H. a A. HIRNOVÁ. *Příručka žárového zinkování* [online]. Druhé. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2016 [cit. 2023-02-09].

- [19] HAVRÁNKOVÁ, Z. *Žárové zinkování ponorem - základní informace pro uživatele* [online]. Konstrukce - odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství, 2005, [cit. 2023-02-06]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.acsz.cz/clanek/zarove-zinkovani-ponorem-zakladni-informace-pro-uzivatele/>
- [20] STRZYŽ, P. Zinkování a udržitelná výstavba. *Žárové zinkování* [online]. Ostrava: acsz, 2010 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: [http://www.acsz.cz/UserFiles/files/odborne\\_clanky/1267341972.doc](http://www.acsz.cz/UserFiles/files/odborne_clanky/1267341972.doc)
- [21] GRANDHI, S., V.S. RAJA a S. PARIDA. Effect of manganese addition on the appearance, morphology, and corrosion resistance of hot-dip galvanized zinc coating. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2021, **421** [cit. 2023-03-20]. ISSN 0257-8972. Dostupné z: doi:10.1016/j.surfcoat.2021.127377
- [22] STRZYŽ, P. Most přes řeku Elster: Žárové zinkování v oblasti stavby mostů: praktický výzkum. *Žárové zinkování*. Ostrava: acsz, 2018, **46**, 12-13.
- [23] LI, Z., H. PENG, A. XIE, C. WU, S. KAWI a J. WANG. Effect of ball-milling pretreatment on microstructure and corrosion of hot-dip galvanized coating. *Materials Characterization* [online]. 2022, **192** [cit. 2023-03-20]. ISSN 1044-5803. Dostupné z: doi:10.1016/j.matchar.2022.112177
- [24] *Elektro průmysl.cz: Rozváděče a rozváděčová technika, měřicí, zkušební a monitorovací technika* [online]. Brno: Elektro průmysl.cz, 2020, , 162 s. [cit. 2023-02-10]. ISSN 2571-076. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/casopis/2020/rijen/II/>
- [25] COTELL, C., J. SPRAGUE a F. SMIDT JR. *ASM Handbook Volume 5: Surface Engineering* [online]. 1994 [cit. 2023-02-09]. ISBN 978-0-87170-384-2. Dostupné z: <https://docs.google.com/file/d/0B3Mrzn2Z7>
- [26] MARDER, A. R. *The metallurgy of zinc-coated steel: Progress in Materials Science*, [online]. **45**(3), 191-271 [cit. 2023-02-09]. ISSN 0079-6425. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0079-6425\(98\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6425(98)00006-1).

- [27] EIJINSBERGEN, J. F. H. *Duplex systems: Hot-dip galvanizing plus painting* [online]. Elsevier Science, 1994 [cit. 2023-03-20]. ISBN 978-0-444-81799-0. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/book/9780444817990/duplex-systems#book-description>
- [28] KUKLÍK, V. *Povrcháři: Metalurgie tvorby povlaku žárového zinku* [online]. 2013, , 28 s. [cit. 2023-02-12]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201312\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201312_povrchari.pdf)
- [29] CULCASI, J.D., P.R. SERÉ, C.I. ELSNER a A.R. DI SARLI. Control of the growth of zinc-iron phases in the hot-dip galvanizing process. *Surface and Coatings Technology* [online]. 1999, **122**(1), 21-23 [cit. 2023-02-12]. ISSN 02578972. Dostupné z: doi:10.1016/S0257-8972(99)00404-1
- [30] YEOMANS, S.R. *Galvanized Reinforcement in Bridge and Coastal Construction* [online]. USA: The evolving metrolopolis, 2019, 1591-1597 [cit. 2023-02-12]. Dostupné z: doi:10.2749/newyork.2019.1591
- [31] HORÁK, K., M. ČERNÝ, J. FILÍPEK a M. FAJMAN. Heat and mechanical resistance of zinc coating. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* [online]. 2014, **58**(4), 49-56 [cit. 2023-02-12]. ISSN 12118516. Dostupné z: doi:10.11118/actaun201058040049
- [32] VERMA, A.R.B. a W.J. VAN OOIJ. High-temperature batch hot-dip galvanizing. Part 1. General description of coatings formed at 560 °C. *Surface and Coatings Technology* [online]. 1997, **89**(1-2), 132-142 [cit. 2023-02-12]. ISSN 02578972. Dostupné z: doi:10.1016/S0257-8972(96)02941-6
- [33] Jaké výhody a nevýhody mají legované zinkové taveniny?. *Konstrukce, odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. Ostrava: Konstrukce Media, s. r. o., 2010 [cit. 2023-02-13]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/jake-vyhody-anevyhody-maji-legovane-zinkove-taveniny/>

- [34] ASGARI, H., M.R. TOROGHINEJAD a M.A. GOLOZAR. On texture, corrosion resistance and morphology of hot-dip galvanized zinc coatings. *Applied Surface Science* [online]. 2007, **253**(16), 6769-6777 [cit. 2023-03-20]. ISSN 0169-4332. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsusc.2007.01.093
- [35] NOVOTNÝ, J. a J. ŠANOVEC. *Technologie I: Slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy*. České vysoké učení technické v Praze: ČVUT, 2006.
- [36] PERSSON, D., D. THIERRY a O. KARLSSON. Corrosion and corrosion products of hot dipped galvanized steel during long term atmospheric exposure at different sites world-wide. *Corrosion Science* [online]. 2017, **126**, 152-165 [cit. 2023-03-12]. ISSN 0010-938X. Dostupné z: doi:10.1016/j.corsci.2017.06.025
- [37] AL-NEGHEIMISH, A., R.R. HUSSAIN, A. ALHOZAIMY a D.D.N. SINGH. Corrosion performance of hot-dip galvanized zinc-aluminum coated steel rebars in comparison to the conventional pure zinc coated rebars in concrete environment. *Construction and Building Materials* [online]. 2021, **274** [cit. 2023-03-12]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121921
- [38] NOVÁK, J. *Fyzikální chemie: bakalářský kurz* [online]. Praha: VŠCHT PRAHA, 2008 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/fch/cz/pomucky/FCH4Bc.view.pdf>
- [39] KORBELÁŘ, J. a H. GEIPLOVÁ. *Protikorozi ochrana kovových konstrukcí* [online]. Rada pro podporu rozvoje profese ČKAIT, 2018 [cit. 2023-03-05]. ISSN 1805-6032.
- [40] NOVÁK, P. *Koroze kovů* [online]. VŠCHT Fakulta chemické technologie, 1-63 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected>
- [41] BARTONÍČEK, R. *Koroze a ochrana materiálů: Navrhování protikorozi ochrany*. Praha: SNTL -Nakladatelství technické literatury, 1980.
- [42] ČSN EN ISO 9223. *Koroze kovů a slitin - Korozní agresivita atmosféry - Klasifikace, stanovení a odhad*. 2012.

- [43] SHON, M.Y.. Effects of residual white rust of inorganic zinc silicate primer on corrosion protection of epoxy-coated carbon steel. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* [online]. 2010, **16**(4), 523-530 [cit. 2023-03-20]. ISSN 1226086X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jiec.2010.03.029
- [44] MOONEY, T. Red rust on zinc plated parts. *Metal Finishing* [online]. 1996, **94**(10), 57-58 [cit. 2023-03-20]. ISSN 0026-0576. Dostupné z: doi:10.1016/0026-0576(96)85158-0
- [45] SZIRAKI, L., Zs. PILBÁTH, K. PAPP a E. KÁLMÁN. Study of the initial stage of white rust formation on zinc single crystal by EIS, STM/AFM and SEM/EDS techniques. *Electrochimica Acta* [online]. 2001, **46**(24-25), 3743-3754 [cit. 2023-03-20]. ISSN 0013-4686. Dostupné z: doi:10.1016/S0013-4686(01)00656-9
- [46] TANG, C., X. WANG, Y. ZHANG, N. LIU a X. HU. Corrosion behaviors and kinetics of nanoscale zero-valent iron in water: A review. *Journal of Environmental Sciences* [online]. 2024, **135**, 391-406 [cit. 2023-03-20]. ISSN 1001-0742. Dostupné z: doi:10.1016/j.jes.2022.12.028
- [47] NAKHAIE, D., A. KOSARI, J.M.C. MOL a E. ASSELIN. Corrosion resistance of hot-dip galvanized steel in simulated soil solution: A factorial design and pit chemistry study. *Corrosion Science* [online]. 2020, **164** [cit. 2023-03-12]. ISSN 0010-938X. Dostupné z: doi:10.1016/j.corsci.2019.108310
- [48] CHENG, T., H. HUANG a G. HUANG. Galvanic corrosion behavior between ADC12 aluminum alloy and copper in 3.5 wt% NaCl solution. *Journal of Electroanalytical Chemistry* [online]. 2022, **927** [cit. 2023-03-20]. ISSN 1572-6657. Dostupné z: doi:10.1016/j.jelechem.2022.116984
- [49] ZHANG, X., W. MEI, L. HUANG, J. TAO, Y. XIONG a Z. WANG. Galvanic corrosion behavior of 5083 alloy/H62 brass couple under magnetic field. *Journal of Materials Research and Technology* [online]. 2023, **22**, 192-205 [cit. 2023-03-20]. ISSN 2238-7854. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmrt.2022.11.140



- [50] *Nelegovaná ocel obvyklých vlastností vhodná ke svařování pro ocelové konstrukce: ČSN 41 1373*. Dostupné také z: [https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR\\_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a\\_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLT\\_peBZxsdEI75N8MGgz73w](https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLT_peBZxsdEI75N8MGgz73w)
- [51] Technologie žárového zinkování. In: *ALPHA Union.cz* [online]. Třinec [cit. 2023-08-03]. Dostupné z: <http://www.alphaunion.cz/nabidka/zarove-zinkovani>
- [52] Měření drsnosti a nový drsnoměr. *Technický týdeník* [online]. Praha: UZIMEX, 2003, 13 [cit. 2023-06-12].
- [53] *Drsnoměry: Měření jakosti povrchu* [online]. Teplice: Mitutoyo [cit. 2023-06-12]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/14488146-Drsnomery-mereni-jakosti-povrchu.html>
- [54] KREISLOVÁ, K. *Přehled metod měření tloušťky povlaků*. Praha: Český normalizační institut, 2008. ISBN 978-80-7283-251-4.
- [55] BRÁBNÍKOVÁ, R. *Kalibrace tloušťkoměrů Elcometer 456 v aplikační praxi* [online]. Ostrava: Gamin [cit. 2023-06-12]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/profil-spolecnosti/publikace/kalibrace-tloustkomeru-elcometer456/>
- [56] KUCHAR, J. a V. KREIBICH. *Systémy kontroly PŮ a ekologické aspekty povrchových úprav – odpadní vody* [online]. Fakulta strojní ČVUT v Praze: ústav strojírenské technologie, povrchové úpravy, prezentace ve formátu PDF [cit. 2021-6-12].
- [57] *ČSN EN ISO 1461 (038560) Povlaky žárového zinku nanesené ponorem na ocelové a litinové výrobky - Specifikace a zkušební metody*. 2023.
- [58] *ČSN EN ISO 10289. ČSN EN ISO 10289 (038151) Metody korozních zkoušek kovových a jiných anorganických povlaků na kovových podkladech - Hodnocení vzorků a výrobků podrobených korozním zkouškám*. Praha: Český normalizační institut, 2001.

## Seznam tabulek

Tab. 1: Struktura vrstvy okují na oceli [15; 16].....	16
Tab. 2: Korozní rychlost zinku podle stupně korozní agresivity podle ČSN EN ISO 9223 [42] .....	33
Tab. 3: Chemické složení oceli S235JRG [50].....	36
Tab. 4: Technologický postup žárového zinkování .....	38
Tab. 5: Označení vzorků v závislosti na teplotě a délce ponoru.....	39
Tab. 6: Naměřené hodnoty drsností při teplotě 450 °C .....	40
Tab. 7: Naměřené hodnoty drsností při teplotě 480 °C .....	40
Tab. 8: Naměřené hodnoty drsností při teplotě 550 °C .....	41
Tab. 9: Naměřené hodnoty drsností komerčních vzorků.....	41
Tab. 10: Průměrné hodnoty Ra a Rz pro jednotlivé skupiny vzorků.....	42
Tab. 11: Naměřené hodnoty tloušťky povlaku pro všechny vzorky.....	44
Tab. 12: Průměrné hodnoty tloušťky povlaku pro jednotlivé skupiny vzorků naměřené Elcometerem 456 .....	45
Tab. 13: Vyhodnocení korozní zkoušky .....	52
Tab. 14: Označení vzorků v závislosti na teplotě a délce ponoru.....	53
Tab. 15: Porovnání průměrných hodnot tlouštěk zinkového povlaku .....	58

## Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma předúpravy vzorku, obr. vytvořen autorkou dle literatury [8].....	13
Obr. 2: Princip moření a složení oxidů v okujích [15].....	15
Obr. 3: Vliv koncentrace lázni na rychlost moření [7].....	17
Obr. 4: Závislost úbytku železa při rozpouštění v zinkové lázni v závislosti na teplotě [15].....	20
Obr. 5: Kontinuální žárové zinkování tenkého plechu [18].....	21
Obr. 6: Schéma sledu operací při suchém zinkování, obr. vytvořen autorkou dle literatury [18].....	21
Obr. 7: Schéma sledu operací při mokřém zinkování, obr. vytvořen autorkou dle literatury [18].....	22
Obr. 8: Schéma sledu operací při zinkování s odstředěním bez předúpravy, obr. vytvořen autorkou dle literatury [18].....	23
Obr. 9: Binární soustava Fe-Zn [28].....	24
Obr. 10: Základní stavba povlaku naneseného na ocel [30].....	26
Obr. 11: Příklad Sandelinova diagramu [15].....	28
Obr. 12: a) alkalické odmaštění b) oplach c) moření d) oplach e) tavidlo f) sušení g) zinkování ponorem h) sušení.....	37
Obr. 13: Zinkovací zařízení.....	38
Obr. 14: Průměrné hodnoty Ra a Rz pro jednotlivé skupiny vzorků.....	42
Obr. 15: Vzorek 1.1.1, 0 h v solné komoře.....	47
Obr. 16: Vzorek 1.1.1, 24 h v solné komoře.....	47
Obr. 17: Vzorek 1.1.1, 48 h v solné komoře.....	48
Obr. 18: Vzorek 1.1.1, 168 h v solné komoře.....	48
Obr. 19: Vzorek 1.1.1, 240 h v solné komoře.....	48
Obr. 20: Vzorek 1.1.1, 336 h v solné komoře.....	48
Obr. 21: Vzorek 1.1.1, 480 h v solné komoře.....	49
Obr. 22: Vzorek 1.1.1, 576 h v solné komoře.....	49
Obr. 23: Vzorek 1.1.1, 720 h v solné komoře.....	49
Obr. 24: Vzorek 1.1.1, 888 h v solné komoře.....	49
Obr. 25: Vzorek 1.1.1, 1032 h v solné komoře.....	50
Obr. 26: Vzorek 1.1.1, 1176 h v solné komoře.....	50
Obr. 27: Vzorek 1.1.1, 1344 h v solné komoře.....	50
Obr. 28: Vzorek 1.1.1, 1500 h v solné komoře.....	50
Obr. 29: Vzorek 1.2.3 po vyříznutí vzorečku na metalografickou analýzu.....	54
Obr. 30: Metalografický výbrus, vzorek 1.1.3.....	55

Obr. 31: Metalografický výbrus, vzorek 1.2.3.....	55
Obr. 32: Metalografický výbrus, vzorek 2.1.3.....	56
Obr. 33: Metalografický výbrus, vzorek 2.2.3.....	56
Obr. 34: Metalografický výbrus, vzorek 3.1.3.....	57
Obr. 35: Metalografický výbrus, vzorek 3.2.3.....	57
Obr. 36: Metalografický výbrus, vzorek 4.3.....	58
Obr. 37: Porovnání průměrných hodnot tloušťek zinkového povlaku.....	59
Obr. 38: Metalografický výbrus (vzorek 2.2.3) měření tloušťky.....	59
Obr. 39: Vzorek 1.1.2, 0 h v solné komoře.....	78
Obr. 40: Vzorek 1.1.2, 24 h v solné komoře.....	78
Obr. 41: Vzorek 1.1.2, 48 h v solné komoře.....	78
Obr. 42: Vzorek 1.1.2, 168 h v solné komoře.....	78
Obr. 43: Vzorek 1.1.2, 240 h v solné komoře.....	79
Obr. 44: Vzorek 1.1.2, 336 h v solné komoře.....	79
Obr. 45: Vzorek 1.1.2, 480 h v solné komoře.....	79
Obr. 46: Vzorek 1.1.2, 576 h v solné komoře.....	79
Obr. 47: Vzorek 1.1.2, 720 h v solné komoře.....	80
Obr. 48: Vzorek 1.1.2, 888 h v solné komoře.....	80
Obr. 49: Vzorek 1.1.2, 1032 h v solné komoře.....	80
Obr. 50: Vzorek 1.1.2, 1176 h v solné komoře.....	80
Obr. 51: Vzorek 1.1.2, 1344 h v solné komoře.....	81
Obr. 52: Vzorek 1.1.2, 1500 h v solné komoře.....	81
Obr. 53: Vzorek 1.2.1, 0 h v solné komoře.....	81
Obr. 54: Vzorek 1.2.1, 24 h v solné komoře.....	81
Obr. 55: Vzorek 1.2.1, 48 h v solné komoře.....	82
Obr. 56: Vzorek 1.2.1, 168 h v solné komoře.....	82
Obr. 57: Vzorek 1.2.1, 240 h v solné komoře.....	82
Obr. 58: Vzorek 1.2.1, 336 h v solné komoře.....	82
Obr. 59: Vzorek 1.2.1, 480 h v solné komoře.....	83
Obr. 60: Vzorek 1.2.1, 576 h v solné komoře.....	83
Obr. 61: Vzorek 1.2.1, 720 h v solné komoře.....	83
Obr. 62: Vzorek 1.2.1, 888 h v solné komoře.....	83
Obr. 63: Vzorek 1.2.1, 1032 h v solné komoře.....	84
Obr. 64: Vzorek 1.2.1, 1176 h v solné komoře.....	84
Obr. 65: Vzorek 1.2.1, 1344 h v solné komoře.....	84
Obr. 66: Vzorek 1.2.1, 1500 h v solné komoře.....	84
Obr. 67: Vzorek 1.2.2, 0 h v solné komoře.....	85

Obr. 68: Vzorek 1.2.2, 24 h v solné komoře.....	85
Obr. 69: Vzorek 1.2.2, 48 h v solné komoře.....	85
Obr. 70: Vzorek 1.2.2, 168 h v solné komoře.....	85
Obr. 71: Vzorek 1.2.2, 240 h v solné komoře.....	86
Obr. 72: Vzorek 1.2.2, 336 h v solné komoře.....	86
Obr. 73: Vzorek 1.2.2, 480 h v solné komoře.....	86
Obr. 74: Vzorek 1.2.2, 576 h v solné komoře.....	86
Obr. 75: Vzorek 1.2.2, 720 h v solné komoře.....	87
Obr. 76: Vzorek 1.2.2, 888 h v solné komoře.....	87
Obr. 77: Vzorek 1.2.2, 1032 h v solné komoře.....	87
Obr. 78: Vzorek 1.2.2, 1176 h v solné komoře.....	87
Obr. 79: Vzorek 1.2.2, 1344 h v solné komoře.....	88
Obr. 80: Vzorek 1.2.2, 1500 h v solné komoře.....	88
Obr. 81: Vzorek 2.1.1, 0 h v solné komoře.....	88
Obr. 82: Vzorek 2.1.1, 24 h v solné komoře.....	88
Obr. 83: Vzorek 2.1.1, 48 h v solné komoře.....	89
Obr. 84: Vzorek 2.1.1, 168 h v solné komoře.....	89
Obr. 85: Vzorek 2.1.1, 240 h v solné komoře.....	89
Obr. 86: Vzorek 2.1.1, 336 h v solné komoře.....	89
Obr. 87: Vzorek 2.1.1, 480 h v solné komoře.....	90
Obr. 88: Vzorek 2.1.1, 576 h v solné komoře.....	90
Obr. 89: Vzorek 2.1.1, 720 h v solné komoře.....	90
Obr. 90: Vzorek 2.1.1, 888 h v solné komoře.....	90
Obr. 91: Vzorek 2.1.1, 1032 h v solné komoře.....	91
Obr. 92: Vzorek 2.1.1, 1176 h v solné komoře.....	91
Obr. 93: Vzorek 2.1.1, 1344 h v solné komoře.....	91
Obr. 94: Vzorek 2.1.1, 1500 h v solné komoře.....	91
Obr. 95: Vzorek 2.1.2, 0 h v solné komoře.....	92
Obr. 96: Vzorek 2.1.2, 24 h v solné komoře.....	92
Obr. 97: Vzorek 2.1.2, 48 h v solné komoře.....	92
Obr. 98: Vzorek 2.1.2, 168 h v solné komoře.....	92
Obr. 99: Vzorek 2.1.2, 240 h v solné komoře.....	93
Obr. 100: Vzorek 2.1.2, 336 h v solné komoře.....	93
Obr. 101: Vzorek 2.1.2, 480 h v solné komoře.....	93
Obr. 102: Vzorek 2.1.2, 576 h v solné komoře.....	93
Obr. 103: Vzorek 2.1.2, 720 h v solné komoře.....	94
Obr. 104: Vzorek 2.1.2, 888 h v solné komoře.....	94

Obr. 105: Vzorek 2.1.2, 1032 h v solné komoře.....	94
Obr. 106: Vzorek 2.1.2, 1176 h v solné komoře.....	94
Obr. 107: Vzorek 2.1.2, 1344 h v solné komoře.....	95
Obr. 108: Vzorek 2.1.2, 1500 h v solné komoře.....	95
Obr. 109: Vzorek 2.2.1, 0 h v solné komoře.....	95
Obr. 110: Vzorek 2.2.1, 24 h v solné komoře.....	95
Obr. 111: Vzorek 2.2.1, 48 h v solné komoře.....	96
Obr. 112: Vzorek 2.2.1, 168 h v solné komoře.....	96
Obr. 113: Vzorek 2.2.1, 240 h v solné komoře.....	96
Obr. 114: Vzorek 2.2.1, 336 h v solné komoře.....	96
Obr. 115: Vzorek 2.2.1, 480 h v solné komoře.....	97
Obr. 116: Vzorek 2.2.1, 576 h v solné komoře.....	97
Obr. 117: Vzorek 2.2.1, 720 h v solné komoře.....	97
Obr. 118: Vzorek 2.2.1, 888 h v solné komoře.....	97
Obr. 119: Vzorek 2.2.1, 1032 h v solné komoře.....	98
Obr. 120: Vzorek 2.2.1, 1176 h v solné komoře.....	98
Obr. 121: Vzorek 2.2.1, 1344 h v solné komoře.....	98
Obr. 122: Vzorek 2.2.1, 1500 h v solné komoře.....	98
Obr. 123: Vzorek 2.2.2, 0 h v solné komoře.....	99
Obr. 124: Vzorek 2.2.2, 24 h v solné komoře.....	99
Obr. 125: Vzorek 2.2.2, 48 h v solné komoře.....	99
Obr. 126: Vzorek 2.2.2, 168 h v solné komoře.....	99
Obr. 127: Vzorek 2.2.2, 240 h v solné komoře.....	100
Obr. 128: Vzorek 2.2.2, 336 h v solné komoře.....	100
Obr. 129: Vzorek 2.2.2, 480 h v solné komoře.....	100
Obr. 130: Vzorek 2.2.2, 576 h v solné komoře.....	100
Obr. 131: Vzorek 2.2.2, 720 h v solné komoře.....	101
Obr. 132: Vzorek 2.2.2, 888 h v solné komoře.....	101
Obr. 133: Vzorek 2.2.2, 1032 h v solné komoře.....	101
Obr. 134: Vzorek 2.2.2, 1176 h v solné komoře.....	101
Obr. 135: Vzorek 2.2.2, 1344 h v solné komoře.....	102
Obr. 136: Vzorek 2.2.2, 1500 h v solné komoře.....	102
Obr. 137: Vzorek 3.1.1, 0 h v solné komoře.....	102
Obr. 138: Vzorek 3.1.1, 24 h v solné komoře.....	102
Obr. 139: Vzorek 3.1.1, 48 h v solné komoře.....	103
Obr. 140: Vzorek 3.1.1, 168 h v solné komoře.....	103
Obr. 141: Vzorek 3.1.1, 240 h v solné komoře.....	103

Obr. 142: Vzorek 3.1.1, 336 h v solné komoře.....	103
Obr. 143: Vzorek 3.1.1, 480 h v solné komoře.....	104
Obr. 144: Vzorek 3.1.1, 576 h v solné komoře.....	104
Obr. 145: Vzorek 3.1.1, 720 h v solné komoře.....	104
Obr. 146: Vzorek 3.1.1, 888 h v solné komoře.....	104
Obr. 147: Vzorek 3.1.1, 1032 h v solné komoře.....	105
Obr. 148: Vzorek 3.1.1, 1176 h v solné komoře.....	105
Obr. 149: Vzorek 3.1.1, 1344 h v solné komoře.....	105
Obr. 150: Vzorek 3.1.1, 1500 h v solné komoře.....	105
Obr. 151: Vzorek 3.1.2, 0 h v solné komoře.....	106
Obr. 152: Vzorek 3.1.2, 24 h v solné komoře.....	106
Obr. 153: Vzorek 3.1.2, 48 h v solné komoře.....	106
Obr. 154: Vzorek 3.1.2, 168 h v solné komoře.....	106
Obr. 155: Vzorek 3.1.2, 240 h v solné komoře.....	107
Obr. 156: Vzorek 3.1.2, 336 h v solné komoře.....	107
Obr. 157: Vzorek 3.1.2, 480 h v solné komoře.....	107
Obr. 158: Vzorek 3.1.2, 576 h v solné komoře.....	107
Obr. 159: Vzorek 3.1.2, 720 h v solné komoře.....	108
Obr. 160: Vzorek 3.1.2, 888 h v solné komoře.....	108
Obr. 161: Vzorek 3.1.2, 1032 h v solné komoře.....	108
Obr. 162: Vzorek 3.1.2, 1176 h v solné komoře.....	108
Obr. 163: Vzorek 3.1.2, 1344 h v solné komoře.....	109
Obr. 164: Vzorek 3.1.2, 1500 h v solné komoře.....	109
Obr. 165: Vzorek 3.2.1, 0 h v solné komoře.....	109
Obr. 166: Vzorek 3.2.1, 24 h v solné komoře.....	109
Obr. 167: Vzorek 3.2.1, 48 h v solné komoře.....	110
Obr. 168: Vzorek 3.2.1, 168 h v solné komoře.....	110
Obr. 169: Vzorek 3.2.1, 240 h v solné komoře.....	110
Obr. 170: Vzorek 3.2.1, 336 h v solné komoře.....	110
Obr. 171: Vzorek 3.2.1, 480 h v solné komoře.....	111
Obr. 172: Vzorek 3.2.1, 576 h v solné komoře.....	111
Obr. 173: Vzorek 3.2.1, 720 h v solné komoře.....	111
Obr. 174: Vzorek 3.2.1, 888 h v solné komoře.....	111
Obr. 175: Vzorek 3.2.1, 1032 h v solné komoře.....	112
Obr. 176: Vzorek 3.2.1, 1176 h v solné komoře.....	112
Obr. 177: Vzorek 3.2.1, 1344 h v solné komoře.....	112
Obr. 178: Vzorek 3.2.1, 1500 h v solné komoře.....	112

Obr. 179: Vzorek 3.2.2, 0 h v solné komoře.....	113
Obr. 180: Vzorek 3.2.2, 24 h v solné komoře.....	113
Obr. 181: Vzorek 3.2.2, 48 h v solné komoře.....	113
Obr. 182: Vzorek 3.2.2, 168 h v solné komoře.....	113
Obr. 183: Vzorek 3.2.2, 240 h v solné komoře.....	114
Obr. 184: Vzorek 3.2.2, 336 h v solné komoře.....	114
Obr. 185: Vzorek 3.2.2, 480 h v solné komoře.....	114
Obr. 186: Vzorek 3.2.2, 576 h v solné komoře.....	114
Obr. 187: Vzorek 3.2.2, 720 h v solné komoře.....	115
Obr. 188: Vzorek 3.2.2, 888 h v solné komoře.....	115
Obr. 189: Vzorek 3.2.2, 1032 h v solné komoře.....	115
Obr. 190: Vzorek 3.2.2, 1176 h v solné komoře.....	115
Obr. 191: Vzorek 3.2.2, 1344 h v solné komoře.....	116
Obr. 192: Vzorek 3.2.2, 1500 h v solné komoře.....	116
Obr. 193: Vzorek 4.1, 0 h v solné komoře.....	116
Obr. 194: Vzorek 4.1, 24 h v solné komoře.....	116
Obr. 195: Vzorek 4.1, 48 h v solné komoře.....	117
Obr. 196: Vzorek 4.1, 168 h v solné komoře.....	117
Obr. 197: Vzorek 4.1, 240 h v solné komoře.....	117
Obr. 198: Vzorek 4.1, 336 h v solné komoře.....	117
Obr. 199: Vzorek 4.1, 480 h v solné komoře.....	118
Obr. 200: Vzorek 4.1, 576 h v solné komoře.....	118
Obr. 201: Vzorek 4.1, 720 h v solné komoře.....	118
Obr. 202: Vzorek 4.1, 888 h v solné komoře.....	118
Obr. 203: Vzorek 4.1, 1032 h v solné komoře.....	119
Obr. 204: Vzorek 4.1, 1176 h v solné komoře.....	119
Obr. 205: Vzorek 4.1, 1344 h v solné komoře.....	119
Obr. 206: Vzorek 4.1, 1500 h v solné komoře.....	119
Obr. 207: Vzorek 4.2, 0 h v solné komoře.....	120
Obr. 208: Vzorek 4.2, 24 h v solné komoře.....	120
Obr. 209: Vzorek 4.2, 48 h v solné komoře.....	120
Obr. 210: Vzorek 4.2, 168 h v solné komoře.....	120
Obr. 211: Vzorek 4.2, 240 h v solné komoře.....	121
Obr. 212: Vzorek 4.2, 336 h v solné komoře.....	121
Obr. 213: Vzorek 4.2, 480 h v solné komoře.....	121
Obr. 214: Vzorek 4.2, 576 h v solné komoře.....	121
Obr. 215: Vzorek 4.2, 720 h v solné komoře.....	122



Obr. 216: Vzorek 4.2, 888 h v solné komoře.....	122
Obr. 217: Vzorek 4.2, 1032 h v solné komoře.....	122
Obr. 218: Vzorek 4.2, 1176 h v solné komoře.....	122
Obr. 219: Vzorek 4.2, 1344 h v solné komoře.....	123
Obr. 220: Vzorek 4.2, 1500 h v solné komoře.....	123
Obr. 221 Měření tloušťky (vzorek 1.1.3-1).....	124
Obr. 222 Měření tloušťky (vzorek 1.1.3-2).....	124
Obr. 223 Měření tloušťky (vzorek 1.1.3-3).....	124
Obr. 224 Měření tloušťky (vzorek 1.1.3-4).....	124
Obr. 225 Měření tloušťky (vzorek 1.2.3-1).....	124
Obr. 226 Měření tloušťky (vzorek 1.2.3-2).....	124
Obr. 227 Měření tloušťky (vzorek 1.2.3-3).....	125
Obr. 228 Měření tloušťky (vzorek 1.2.3-4).....	125
Obr. 229 Měření tloušťky (vzorek 2.1.3-1).....	125
Obr. 230 Měření tloušťky (vzorek 2.1.3-2).....	125
Obr. 231 Měření tloušťky (vzorek 2.1.3-3).....	125
Obr. 232 Měření tloušťky (vzorek 2.1.3-4).....	125
Obr. 233 Měření tloušťky (vzorek 2.2.3-2).....	126
Obr. 234 Měření tloušťky (vzorek 2.2.3-3).....	126
Obr. 235 Měření tloušťky (vzorek 2.2.3-4).....	126
Obr. 236 Měření tloušťky (vzorek 3.1.3-1).....	126
Obr. 237 Měření tloušťky (vzorek 3.1.3-2).....	126
Obr. 238 Měření tloušťky (vzorek 3.1.3-3).....	127
Obr. 239 Měření tloušťky (vzorek 3.1.3-4).....	127
Obr. 240 Měření tloušťky (vzorek 3.2.3-1).....	127
Obr. 241 Měření tloušťky (vzorek 3.2.3-2).....	127
Obr. 242 Měření tloušťky (vzorek 3.2.3-3).....	127
Obr. 243 Měření tloušťky (vzorek 3.2.3-4).....	127
Obr. 244 Měření tloušťky (vzorek 4.3-1).....	128
Obr. 245 Měření tloušťky (vzorek 4.3-2).....	128
Obr. 246 Měření tloušťky (vzorek 4.3-3).....	128
Obr. 247 Měření tloušťky (vzorek 4.3-4).....	128

# Příloha I.

## Korozní zkouška (vzorek 1.1.2.)



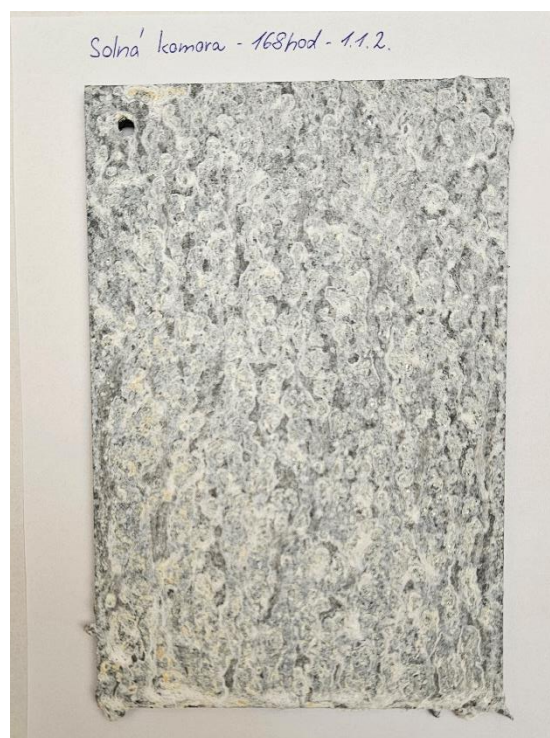
Obr. 39: Vzorek 1.1.2, 0 h v solné komoře



Obr. 40: Vzorek 1.1.2, 24 h v solné komoře



Obr. 41: Vzorek 1.1.2, 48 h v solné komoře

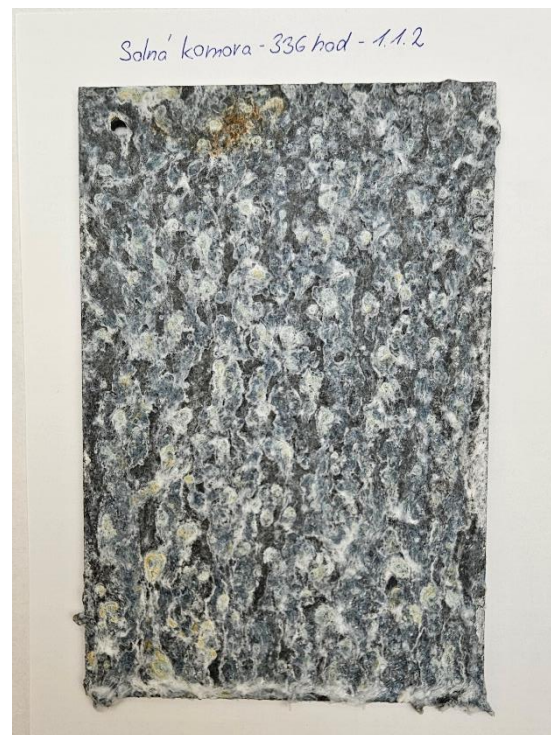


Obr. 42: Vzorek 1.1.2, 168 h v solné komoře





Obr. 43: Vzorek 1.1.2, 240 h v solné komoře



Obr. 44: Vzorek 1.1.2, 336 h v solné komoře

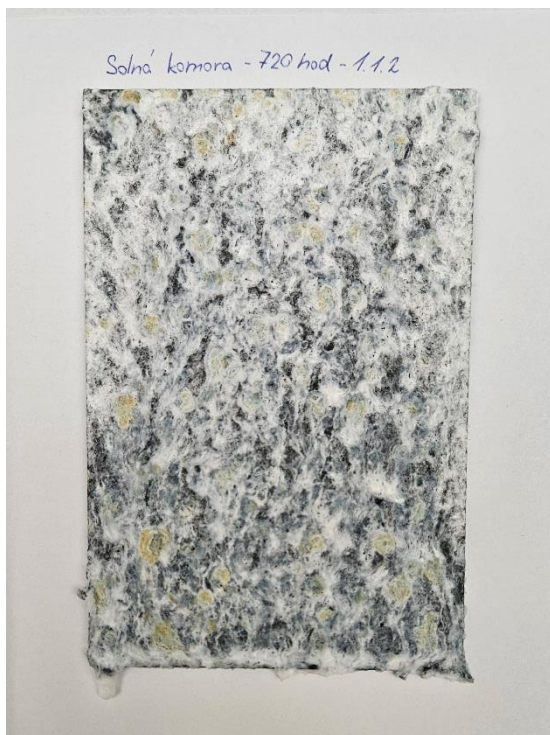


Obr. 45: Vzorek 1.1.2, 480 h v solné komoře



Obr. 46: Vzorek 1.1.2, 576 h v solné komoře





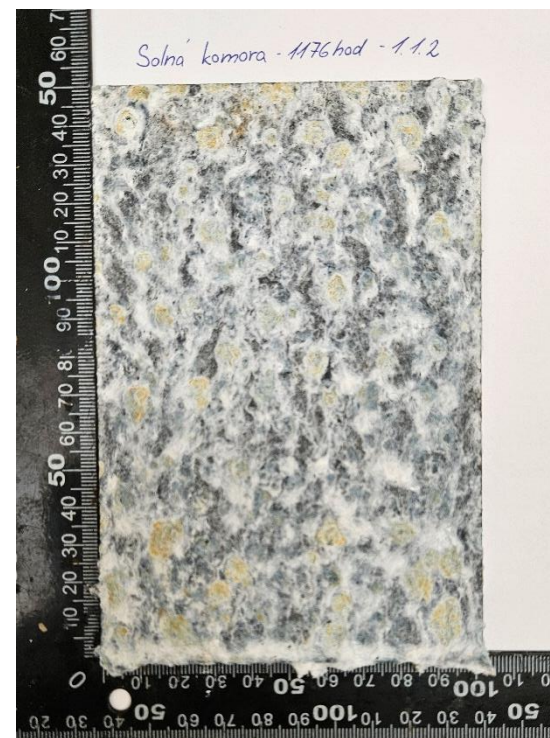
Obr. 47: Vzorek 1.1.2, 720 h v solné komoře



Obr. 48: Vzorek 1.1.2, 888 h v solné komoře



Obr. 49: Vzorek 1.1.2, 1032 h v solné komoře



Obr. 50: Vzorek 1.1.2, 1176 h v solné komoře



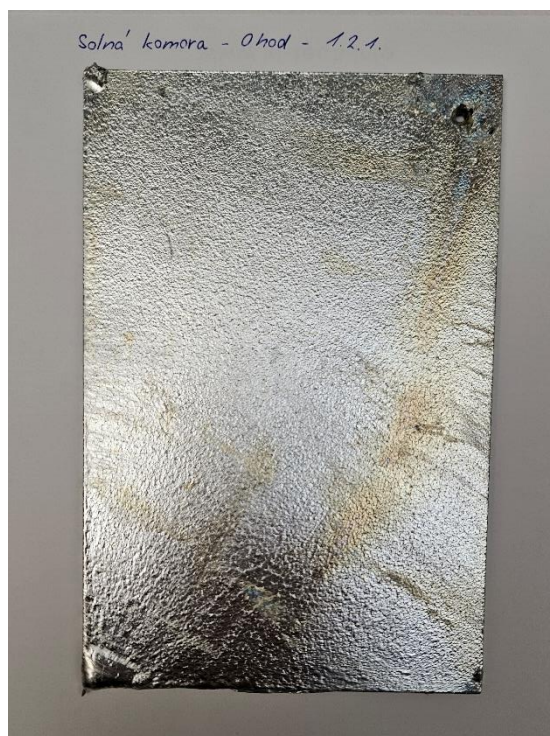


Obr. 51: Vzorek 1.1.2, 1344 h v solné komoře



Obr. 52: Vzorek 1.1.2, 1500 h v solné komoře

## Korozní zkouška (vzorek 1.2.1)



Obr. 53: Vzorek 1.2.1, 0 h v solné komoře



Obr. 54: Vzorek 1.2.1, 24 h v solné komoře





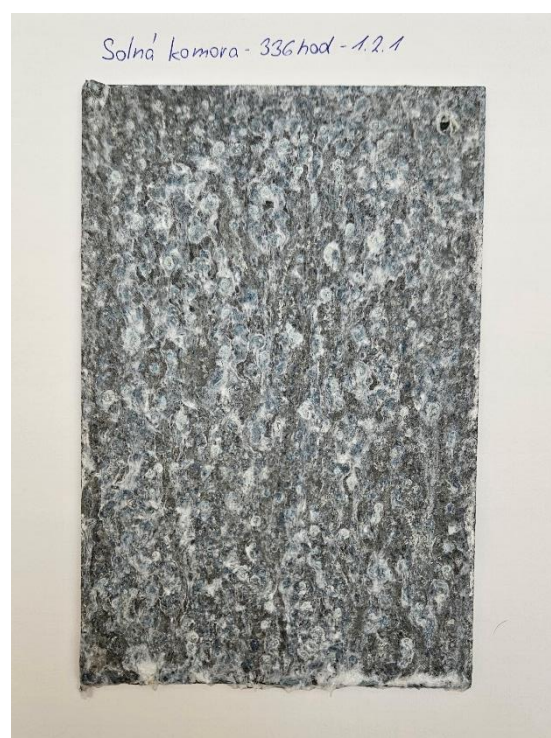
Obr. 55: Vzorek 1.2.1, 48 h v solné komoře



Obr. 56: Vzorek 1.2.1, 168 h v solné komoře



Obr. 57: Vzorek 1.2.1, 240 h v solné komoře



Obr. 58: Vzorek 1.2.1, 336 h v solné komoře





Obr. 59: Vzorek 1.2.1, 480 h v solné komoře



Obr. 60: Vzorek 1.2.1, 576 h v solné komoře



Obr. 61: Vzorek 1.2.1, 720 h v solné komoře



Obr. 62: Vzorek 1.2.1, 888 h v solné komoře





Obr. 63: Vzorek 1.2.1, 1032 h v solné komoře



Obr. 64: Vzorek 1.2.1, 1176 h v solné komoře



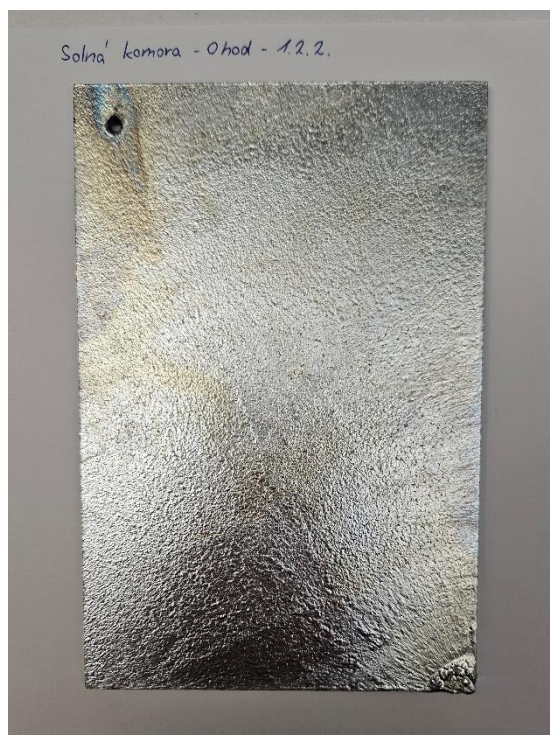
Obr. 65: Vzorek 1.2.1, 1344 h v solné komoře



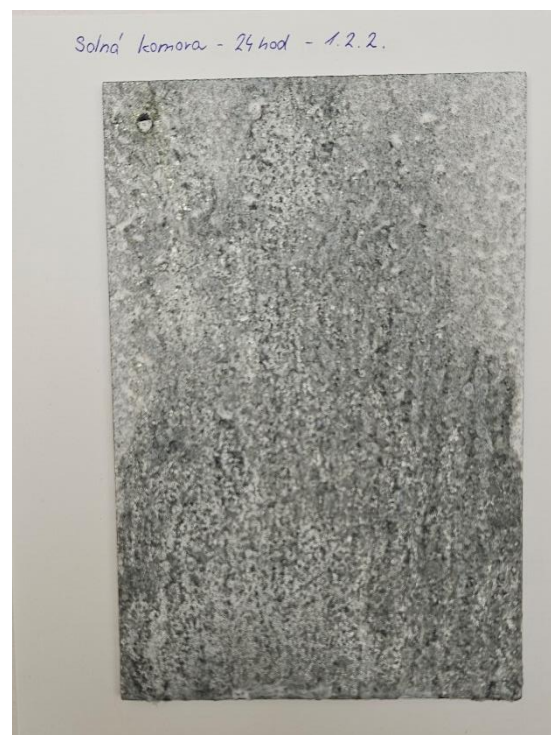
Obr. 66: Vzorek 1.2.1, 1500 h v solné komoře



## Korozní zkouška (vzorek 1.2.2)



Obr. 67: Vzorek 1.2.2, 0 h v solné komoře



Obr. 68: Vzorek 1.2.2, 24 h v solné komoře



Obr. 69: Vzorek 1.2.2, 48 h v solné komoře



Obr. 70: Vzorek 1.2.2, 168 h v solné komoře





Obr. 71: Vzorek 1.2.2, 240 h v solné komoře



Obr. 72: Vzorek 1.2.2, 336 h v solné komoře



Obr. 73: Vzorek 1.2.2, 480 h v solné komoře

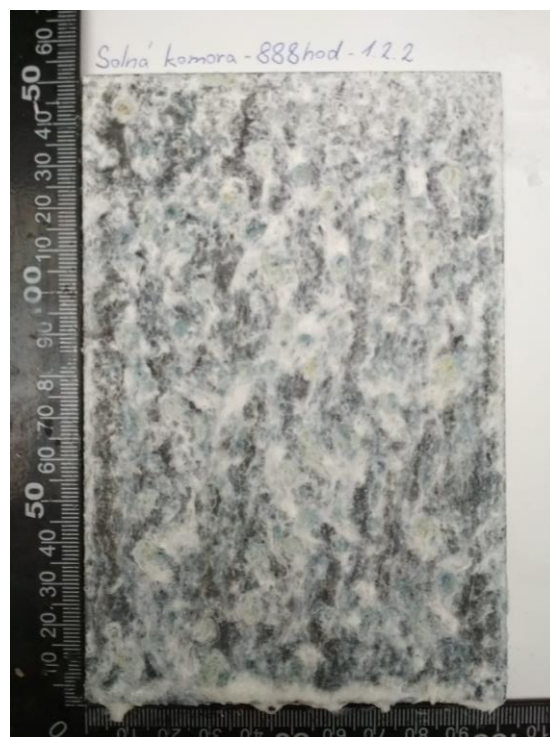


Obr. 74: Vzorek 1.2.2, 576 h v solné komoře

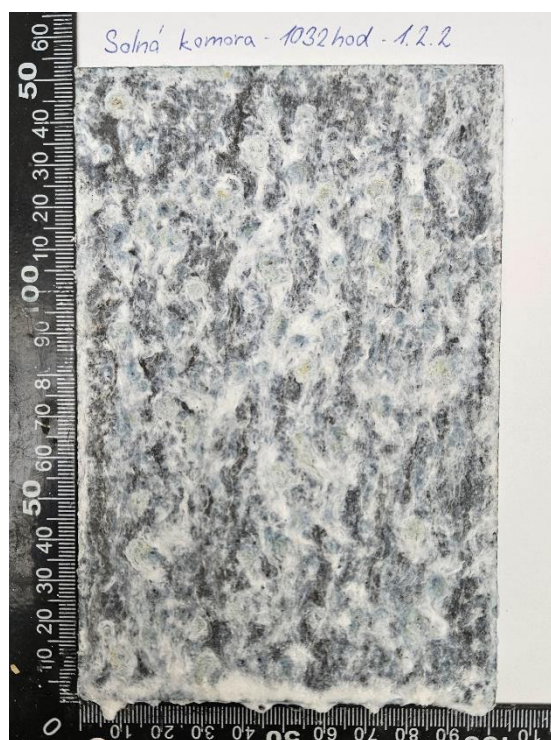




Obr. 75: Vzorek 1.2.2, 720 h v solné komoře



Obr. 76: Vzorek 1.2.2, 888 h v solné komoře

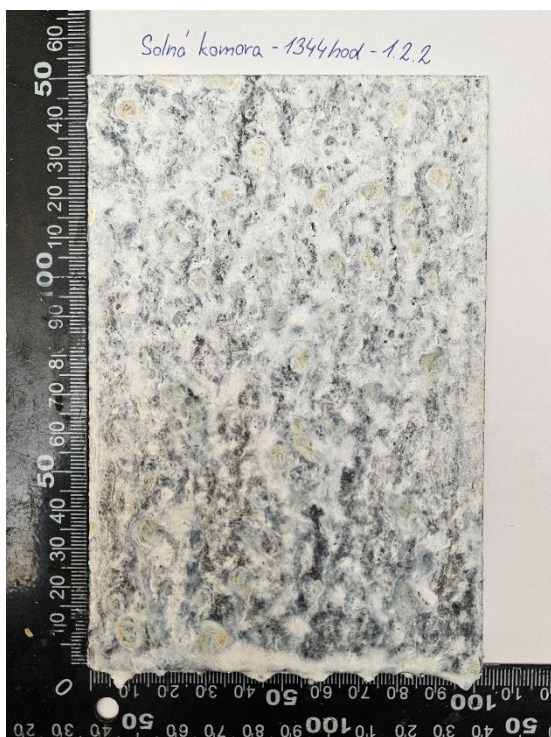


Obr. 77: Vzorek 1.2.2, 1032 h v solné komoře

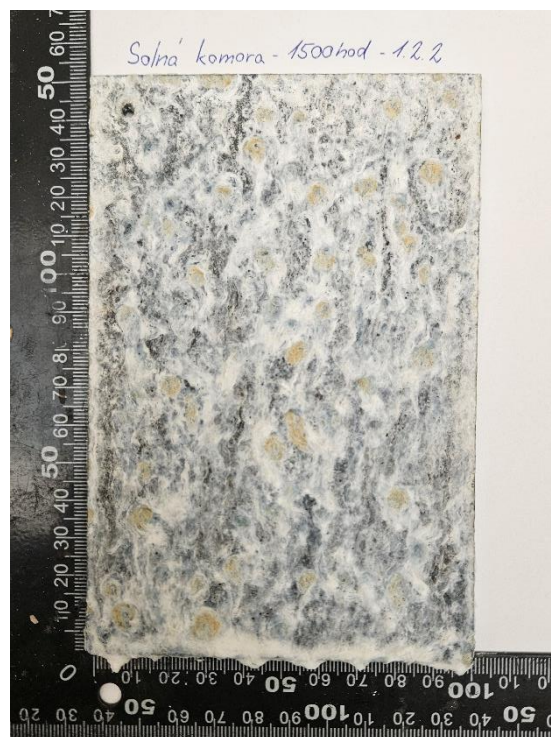


Obr. 78: Vzorek 1.2.2, 1176 h v solné komoře





Obr. 79: Vzorek 1.2.2, 1344 h v solné komoře



Obr. 80: Vzorek 1.2.2, 1500 h v solné komoře

## Korozní zkouška (vzorek 2.1.1)



Obr. 81: Vzorek 2.1.1, 0 h v solné komoře



Obr.82: Vzorek 2.1.1, 24 h v solné komoře





Obr. 83: Vzorek 2.1.1, 48 h v solné komoře



Obr. 84: Vzorek 2.1.1, 168 h v solné komoře



Obr. 85: Vzorek 2.1.1, 240 h v solné komoře



Obr. 86: Vzorek 2.1.1, 336 h v solné komoře





Obr. 87: Vzorek 2.1.1, 480 h v solné komoře



Obr. 88: Vzorek 2.1.1, 576 h v solné komoře



Obr. 89: Vzorek 2.1.1, 720 h v solné komoře



Obr. 90: Vzorek 2.1.1, 888 h v solné komoře





Obr. 91: Vzorek 2.1.1, 1032 h v solné komoře



Obr. 92: Vzorek 2.1.1, 1176 h v solné komoře



Obr. 93: Vzorek 2.1.1, 1344 h v solné komoře



Obr. 94: Vzorek 2.1.1, 1500 h v solné komoře



## Korozní zkouška (vzorek 2.1.2)



Obr. 95: Vzorek 2.1.2, 0 h v solné komoře



Obr. 96: Vzorek 2.1.2, 24 h v solné komoře



Obr. 97: Vzorek 2.1.2, 48 h v solné komoře



Obr. 98: Vzorek 2.1.2, 168 h v solné komoře





Obr. 99: Vzorek 2.1.2, 240 h v solné komoře



Obr. 100: Vzorek 2.1.2, 336 h v solné komoře



Obr. 101: Vzorek 2.1.2, 480 h v solné komoře



Obr. 102: Vzorek 2.1.2, 576 h v solné komoře





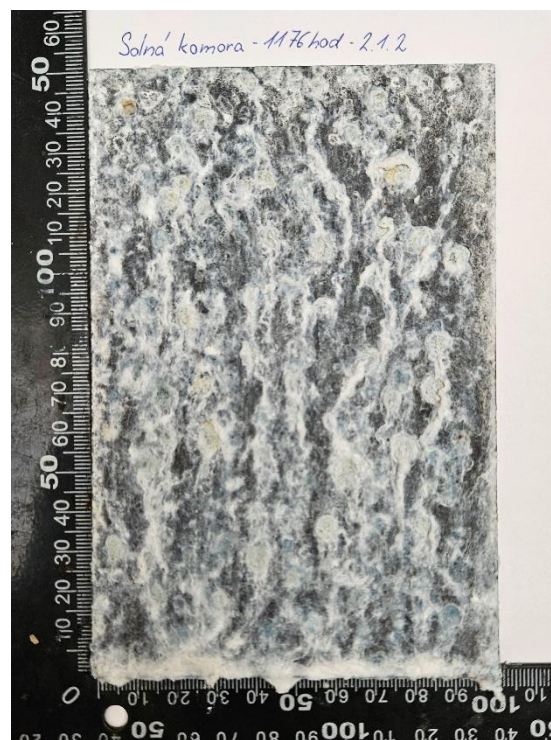
Obr. 103: Vzorek 2.1.2, 720 h v solné komoře



Obr. 104: Vzorek 2.1.2, 888 h v solné komoře



Obr. 105: Vzorek 2.1.2, 1032 h v solné komoře



Obr. 106: Vzorek 2.1.2, 1176 h v solné komoře





Obr. 107: Vzorek 2.1.2, 1344 h v solné komoře



Obr. 108: Vzorek 2.1.2, 1500 h v solné komoře

## Korozní zkouška (vzorek 2.2.1)



Obr. 109: Vzorek 2.2.1, 0 h v solné komoře

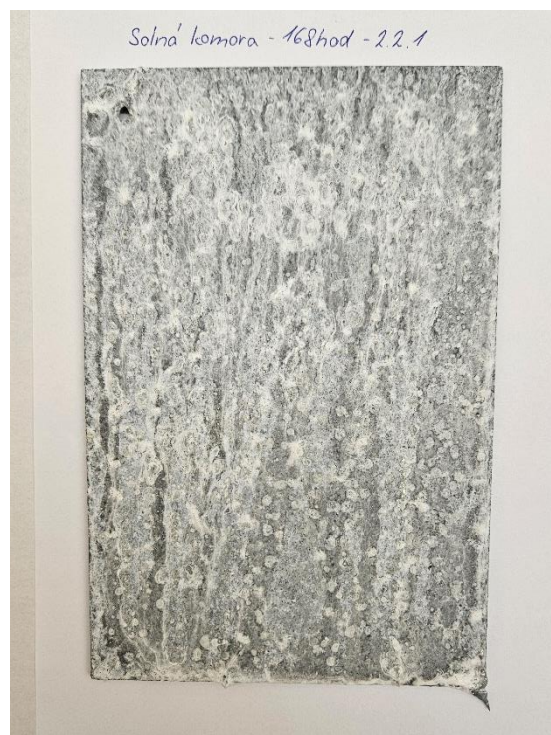


Obr. 110: Vzorek 2.2.1, 24 h v solné komoře





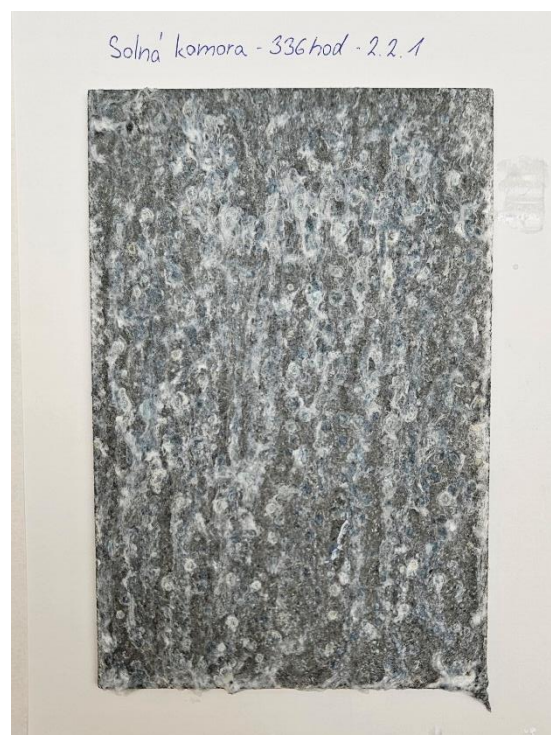
Obr. 111: Vzorek 2.2.1, 48 h v solné komoře



Obr. 112: Vzorek 2.2.1, 168 h v solné komoře



Obr. 113: Vzorek 2.2.1, 240 h v solné komoře



Obr. 114: Vzorek 2.2.1, 336 h v solné komoře





Obr. 115: Vzorek 2.2.1, 480 h v solné komoře



Obr. 116: Vzorek 2.2.1, 576 h v solné komoře



Obr. 117: Vzorek 2.2.1, 720 h v solné komoře

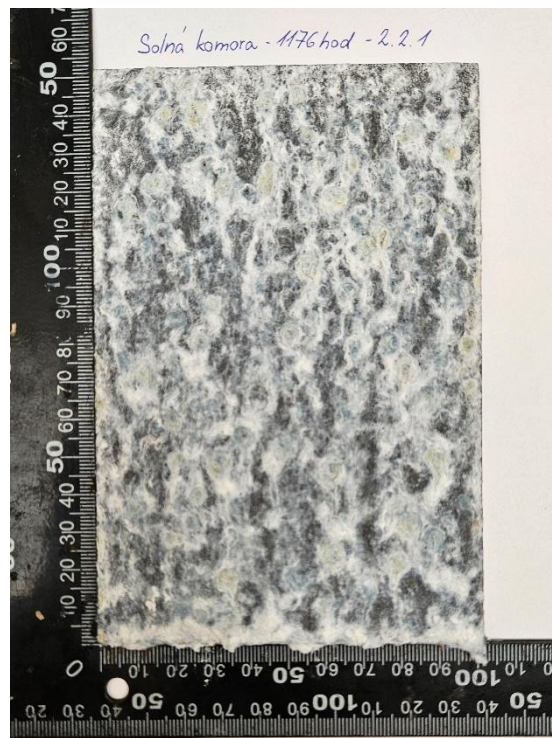


Obr. 118: Vzorek 2.2.1, 888 h v solné komoře





Obr. 119: Vzorek 2.2.1, 1032 h v solné komoře



Obr. 120: Vzorek 2.2.1, 1176 h v solné komoře



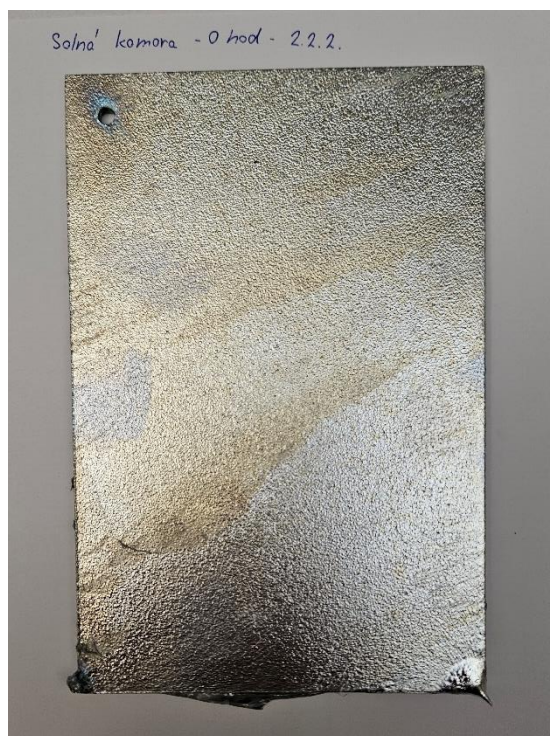
Obr. 121: Vzorek 2.2.1, 1344 h v solné komoře



Obr. 122: Vzorek 2.2.1, 1500 h v solné komoře



## Korozní zkouška (vzorek 2.2.2)



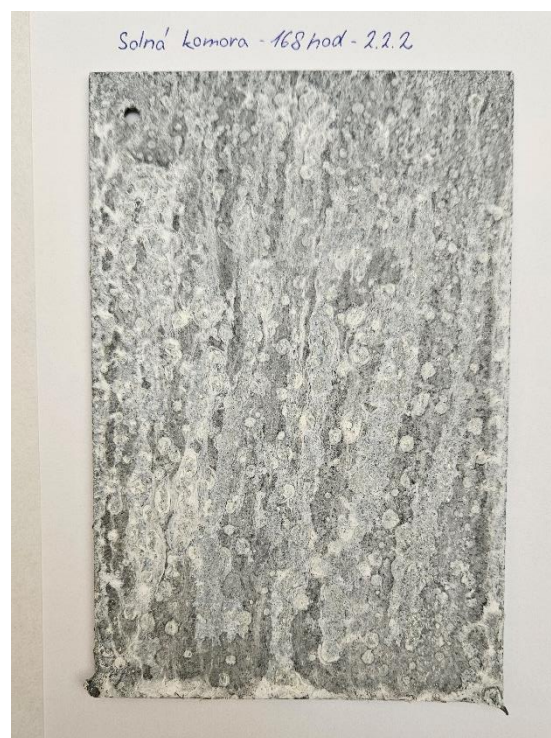
Obr. 123: Vzorek 2.2.2, 0 h v solné komoře



Obr. 124: Vzorek 2.2.2, 24 h v solné komoře



Obr. 125: Vzorek 2.2.2, 48 h v solné komoře



Obr. 126: Vzorek 2.2.2, 168 h v solné komoře





Obr. 127: Vzorek 2.2.2, 240 h v solné komoře



Obr. 128: Vzorek 2.2.2, 336 h v solné komoře



Obr. 129: Vzorek 2.2.2, 480 h v solné komoře

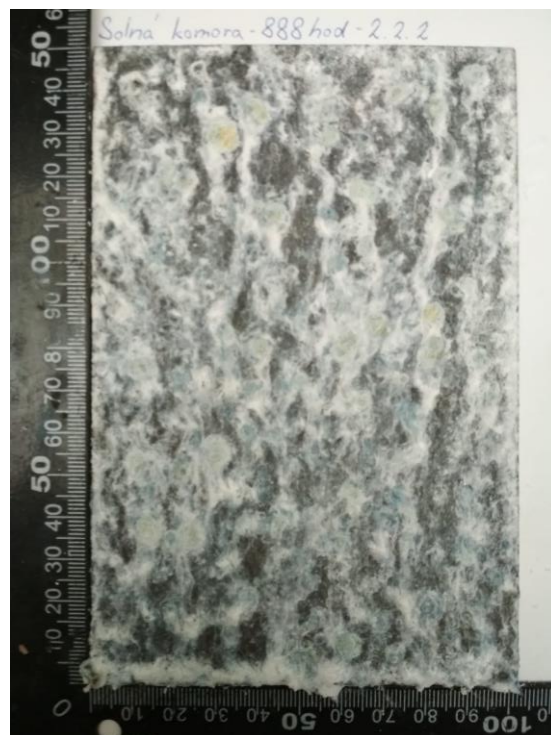


Obr. 130: Vzorek 2.2.2, 576 h v solné komoře





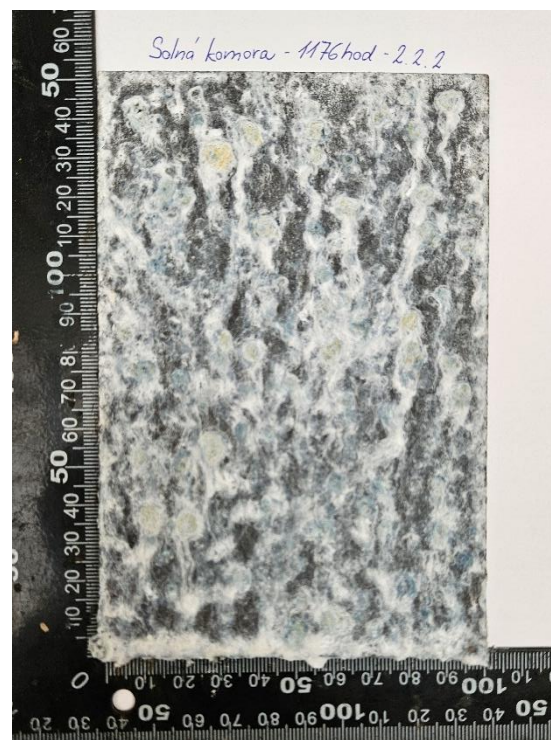
Obr. 131: Vzorek 2.2.2, 720 h v solné komoře



Obr. 132: Vzorek 2.2.2, 888 h v solné komoře



Obr. 133: Vzorek 2.2.2, 1032 h v solné komoře



Obr. 134: Vzorek 2.2.2, 1176 h v solné komoře





Obr. 135: Vzorek 2.2.2, 1344 h v solné komoře



Obr. 136: Vzorek 2.2.2, 1500 h v solné komoře

### Korozní zkouška (vzorek 3.1.1)



Obr. 137: Vzorek 3.1.1, 0 h v solné komoře



Obr. 138: Vzorek 3.1.1, 24 h v solné komoře





Obr. 139: Vzorek 3.1.1, 48 h v solné komoře



Obr. 140: Vzorek 3.1.1, 168 h v solné komoře

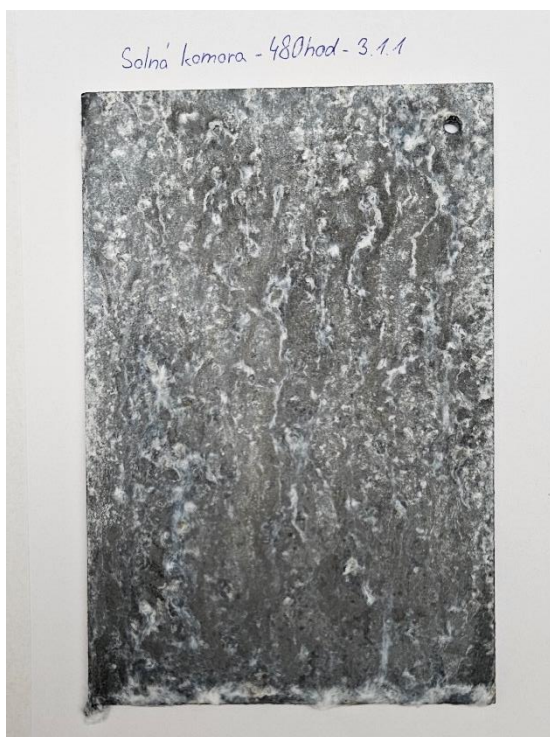


Obr. 141: Vzorek 3.1.1, 240 h v solné komoře



Obr. 142: Vzorek 3.1.1, 336 h v solné komoře





Obr. 143: Vzorek 3.1.1, 480 h v solné komoře



Obr. 144: Vzorek 3.1.1, 576 h v solné komoře



Obr. 145: Vzorek 3.1.1, 720 h v solné komoře

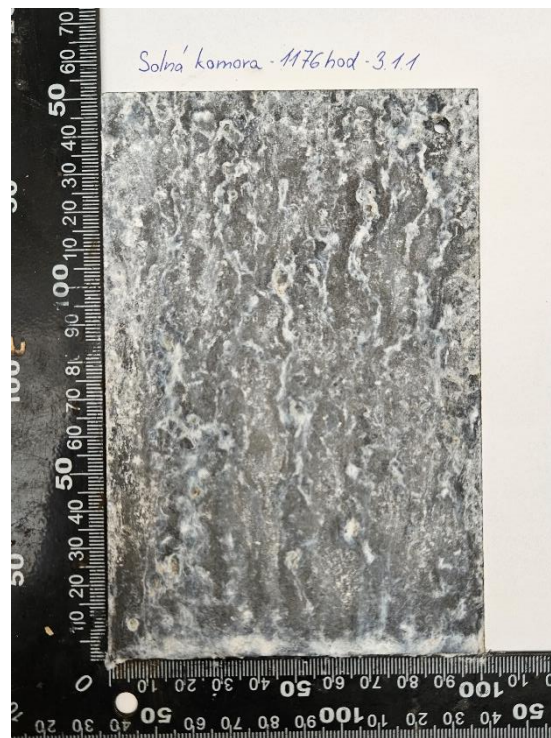


Obr. 146: Vzorek 3.1.1, 888 h v solné komoře





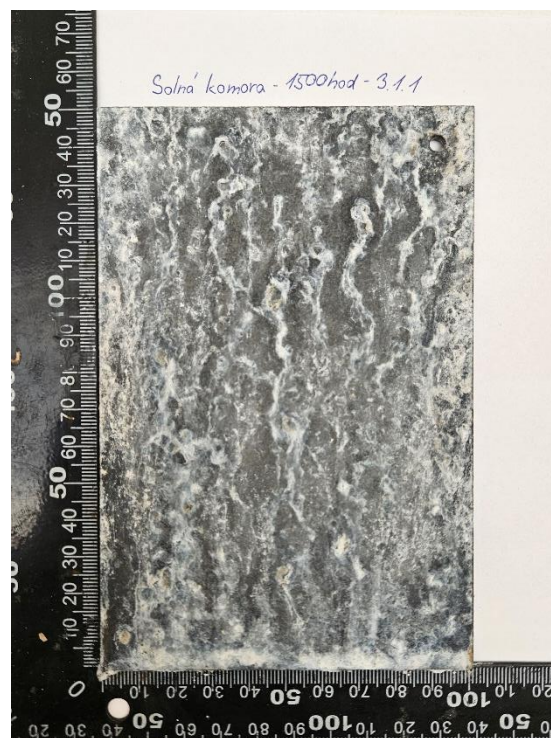
Obr. 147: Vzorek 3.1.1, 1032 h v solné komoře



Obr. 148: Vzorek 3.1.1, 1176 h v solné komoře



Obr. 149: Vzorek 3.1.1, 1344 h v solné komoře



Obr. 150: Vzorek 3.1.1, 1500 h v solné komoře



## Korozní zkouška (vzorek 3.1.2)



Obr. 151: Vzorek 3.1.2, 0 h v solné komoře



Obr. 152: Vzorek 3.1.2, 24 h v solné komoře



Obr. 153: Vzorek 3.1.2, 48 h v solné komoře

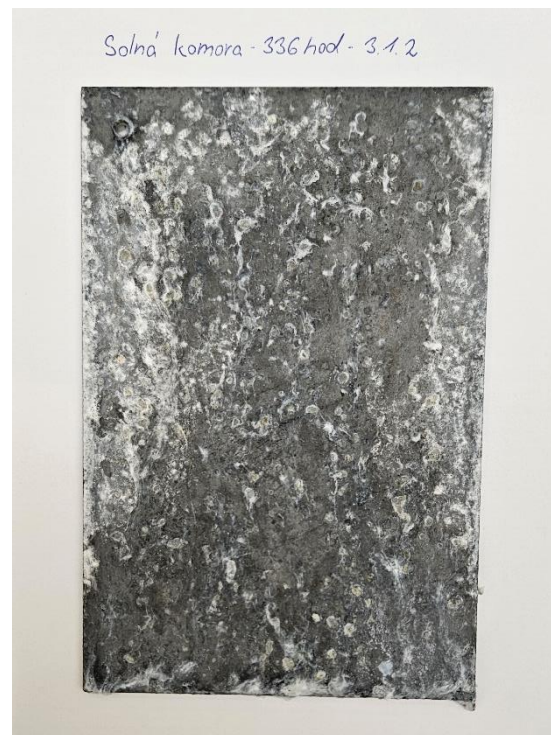


Obr. 154: Vzorek 3.1.2, 168 h v solné komoře

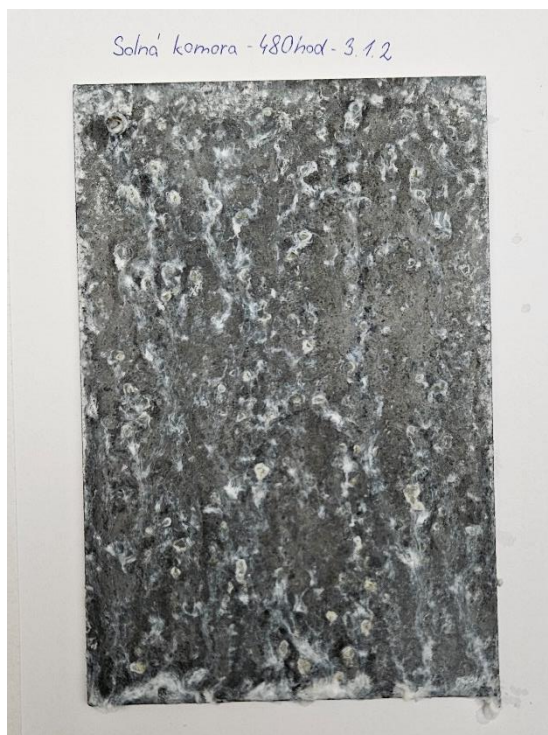




Obr. 155: Vzorek 3.1.2, 240 h v solné komoře



Obr. 156: Vzorek 3.1.2, 336 h v solné komoře

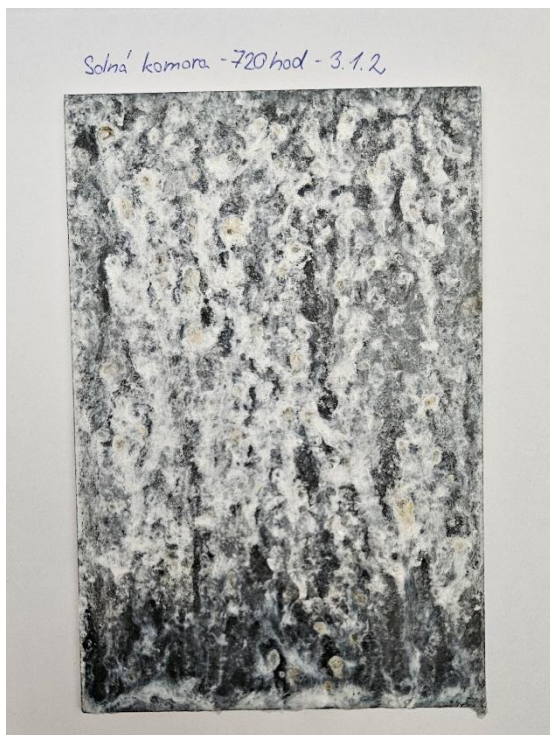


Obr. 157: Vzorek 3.1.2, 480 h v solné komoře



Obr. 158: Vzorek 3.1.2, 576 h v solné komoře





Obr. 159: Vzorek 3.1.2, 720 h v solné komoře



Obr. 160: Vzorek 3.1.2, 888 h v solné komoře



Obr. 161: Vzorek 3.1.2, 1032 v solné komoře



Obr. 162: Vzorek 3.1.2, 1176 h v solné komoře





Obr.163: Vzorek 3.1.2, 1344 h v solné komoře



Obr. 164: Vzorek 3.1.2, 1500 h v solné komoře

### Korozní zkouška (vzorek 3.2.1)



Obr. 165: Vzorek 3.2.1, 0 h v solné komoře



Obr. 166: Vzorek 3.2.1, 24 h v solné komoře





Obr. 167: Vzorek 3.2.1, 48 h v solné komoře



Obr. 168: Vzorek 3.2.1, 168 h v solné komoře



Obr. 169: Vzorek 3.2.1, 240 h v solné komoře



Obr. 170: Vzorek 3.2.1, 336 h v solné komoře





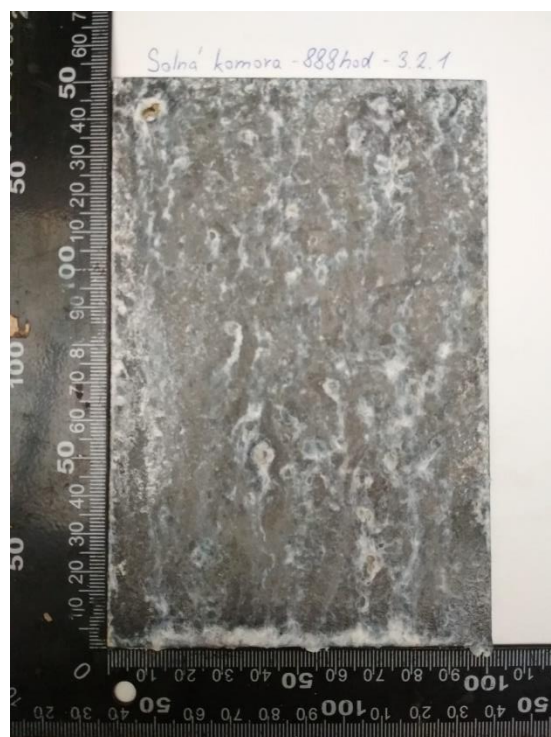
Obr. 171: Vzorek 3.2.1, 480 h v solné komoře



Obr. 172: Vzorek 3.2.1, 576 h v solné komoře

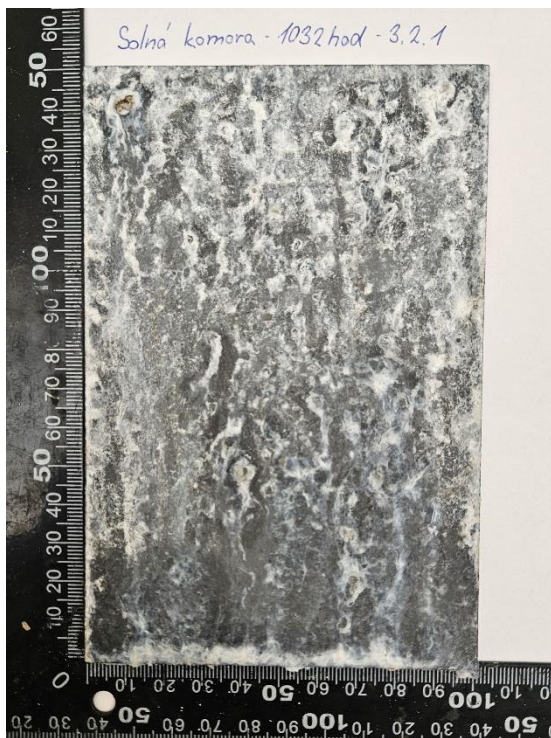


Obr. 173: Vzorek 3.2.1, 720 h v solné komoře



Obr. 174: Vzorek 3.2.1, 888 h v solné komoře





Obr. 175: Vzorek 3.2.1, 1032 h v solné komoře



Obr. 176: Vzorek 3.2.1, 1176 h v solné komoře



Obr. 177: Vzorek 3.2.1, 1344 h v solné komoře



Obr. 178: Vzorek 3.2.1, 1500 h v solné komoře



## Korozní zkouška (vzorek 3.2.2)



Obr. 179: Vzorek 3.2.2, 0 h v solné komoře



Obr. 180: Vzorek 3.2.2, 24 h v solné komoře



Obr. 181: Vzorek 3.2.2, 48 h v solné komoře



Obr. 182: Vzorek 3.2.2, 168 h v solné komoře





Obr. 183: Vzorek 3.2.2, 240 h v solné komoře



Obr. 184: Vzorek 3.2.2, 336 h v solné komoře



Obr. 185: Vzorek 3.2.2, 480 h v solné komoře



Obr. 186: Vzorek 3.2.2, 576 h v solné komoře

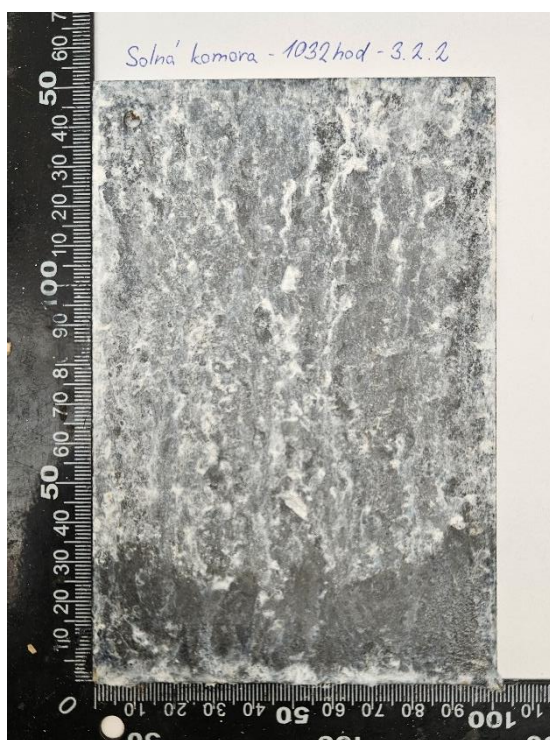




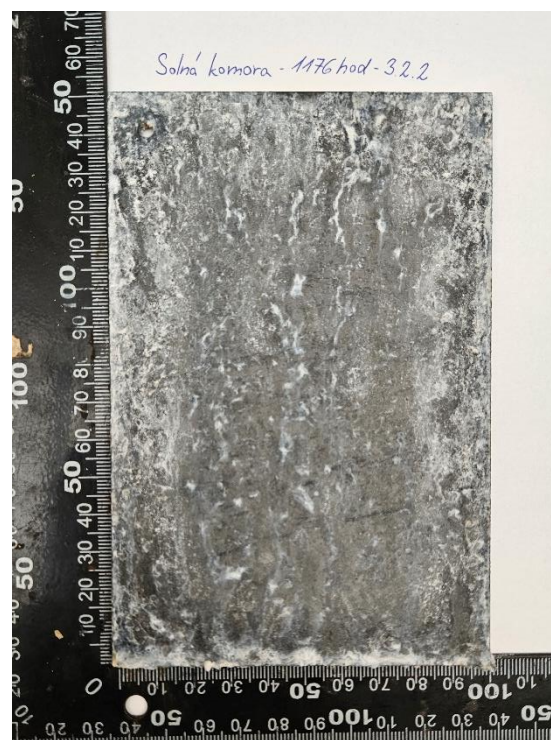
Obr. 187: Vzorek 3.2.2, 720 h v solné komoře



Obr. 188: Vzorek 3.2.2, 888 h v solné komoře



Obr. 189: Vzorek 3.2.2, 1032 h v solné komoře

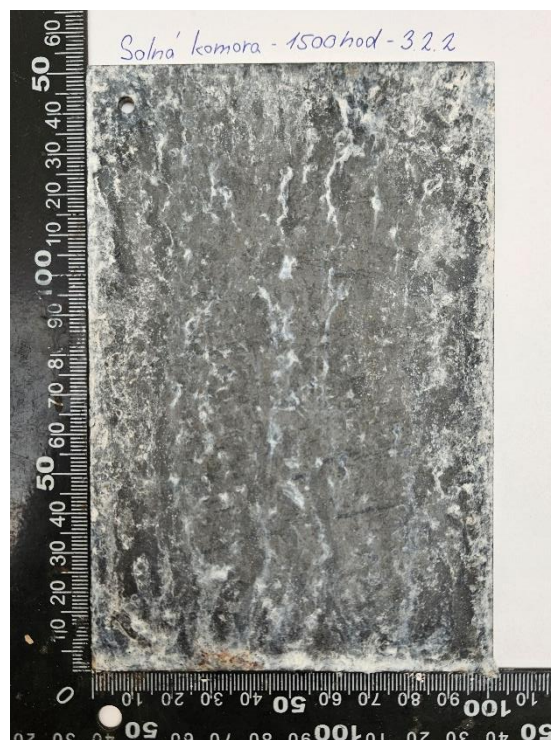


Obr. 190: Vzorek 3.2.2, 1176 h v solné komoře





Obr. 191: Vzorek 3.2.2, 1344 h v solné komoře

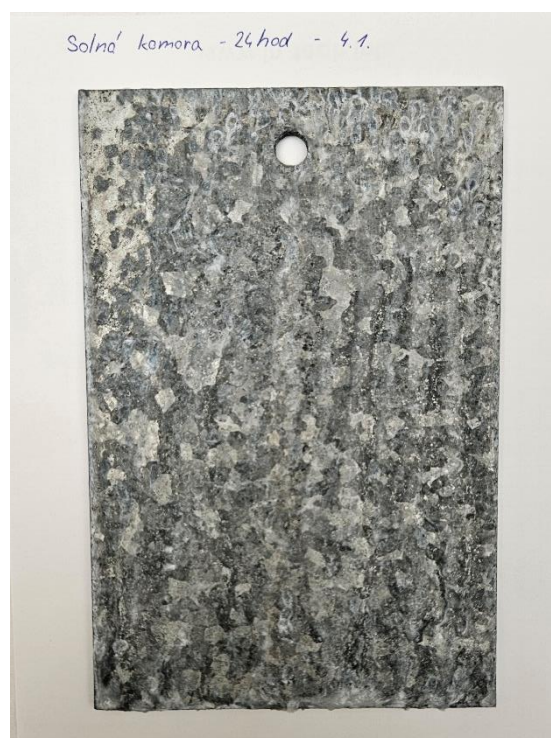


Obr. 192: Vzorek 3.2.2, 1500 h v solné komoře

### Korozní zkouška (vzorek 4.1)



Obr. 193: Vzorek 4.1, 0 h v solné komoře



Obr. 194: Vzorek 4.1, 24 h v solné komoře





Obr. 195: Vzorek 4.1, 48 h v solné komoře



Obr. 196: Vzorek 4.1, 168 h v solné komoře



Obr. 197: Vzorek 4.1, 240 h v solné komoře



Obr. 198: Vzorek 4.1, 336 h v solné komoře





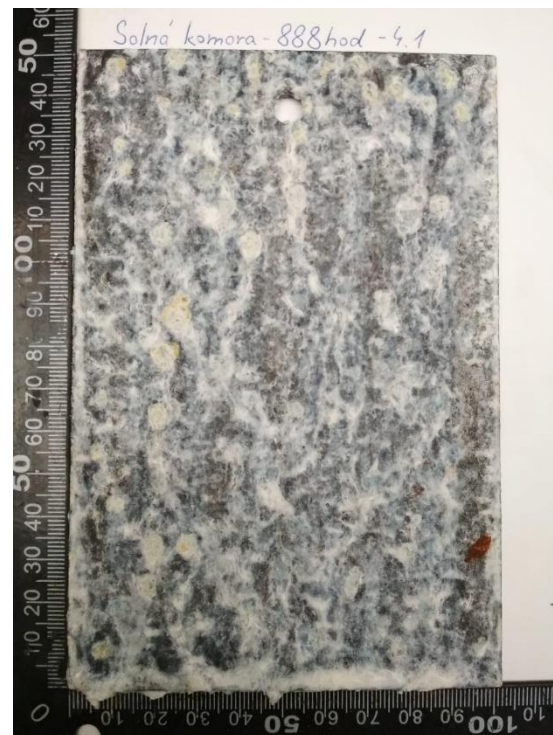
Obr.199: Vzorek 4.1, 480 h v solné komoře



Obr. 200: Vzorek 4.1, 576 h v solné komoře



Obr. 201: Vzorek 4.1, 720 h v solné komoře

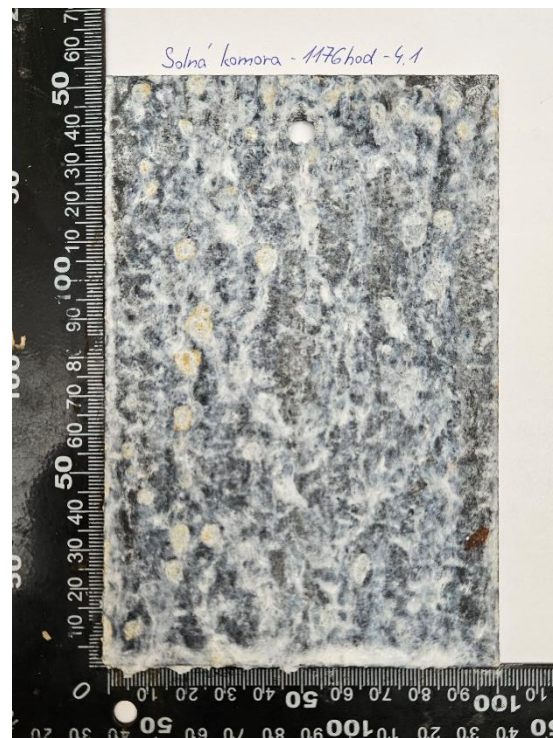


Obr. 202: Vzorek 4.1, 888 h v solné komoře





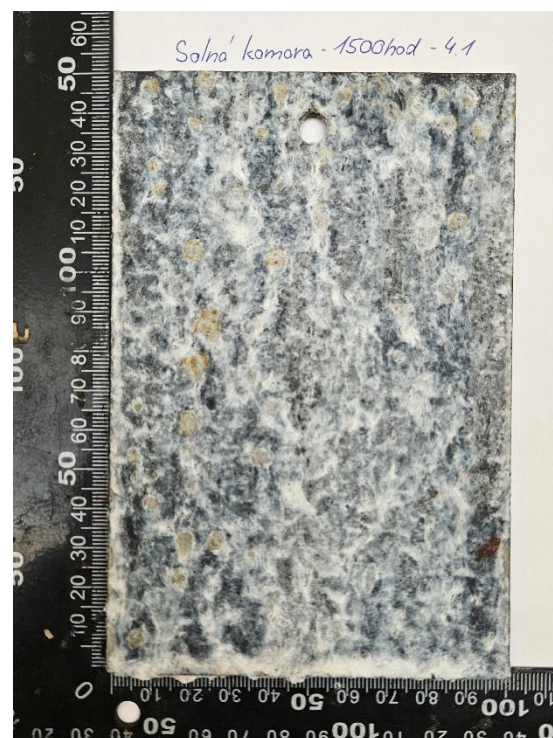
Obr. 203: Vzorek 4.1, 1032 h v solné komoře



Obr. 204: Vzorek 4.1, 1176 h v solné komoře



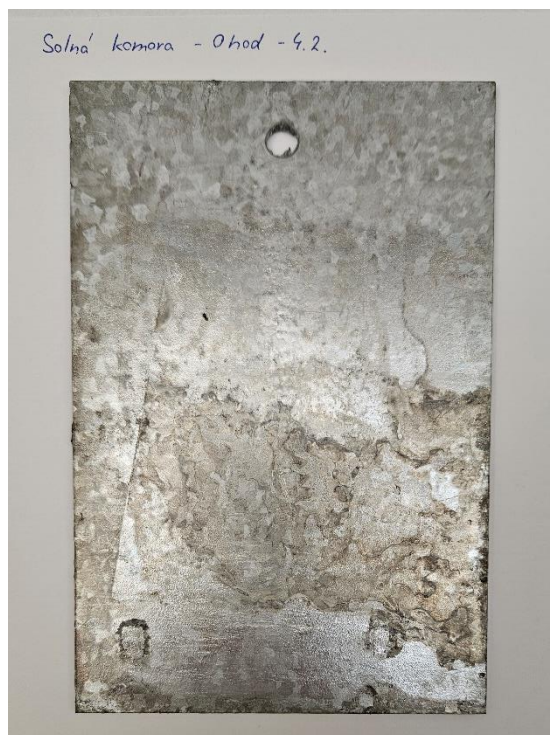
Obr. 205: Vzorek 4.1, 1344 h v solné komoře



Obr. 206: Vzorek 4.1, 1500 h v solné komoře



## Korozní zkouška (vzorek 4.2)



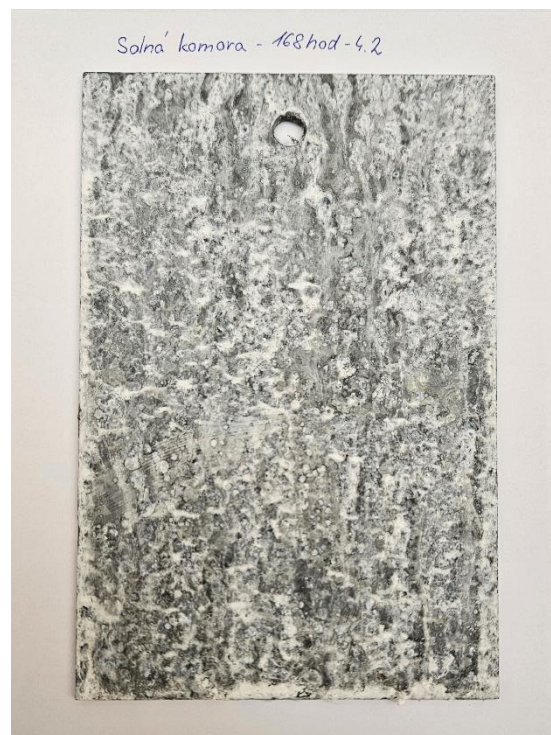
Obr. 207: Vzorek 4.2, 0 h v solné komoře



Obr. 208: Vzorek 4.2, 24 h v solné komoře



Obr. 209: Vzorek 4.2, 48 h v solné komoře



Obr. 210: Vzorek 4.2, 168 h v solné komoře





Obr. 211: Vzorek 4.2, 240 h v solné komoře



Obr. 212: Vzorek 4.2, 336 h v solné komoře



Obr. 213: Vzorek 4.2, 480 h v solné komoře



Obr. 214: Vzorek 4.2, 576 h v solné komoře

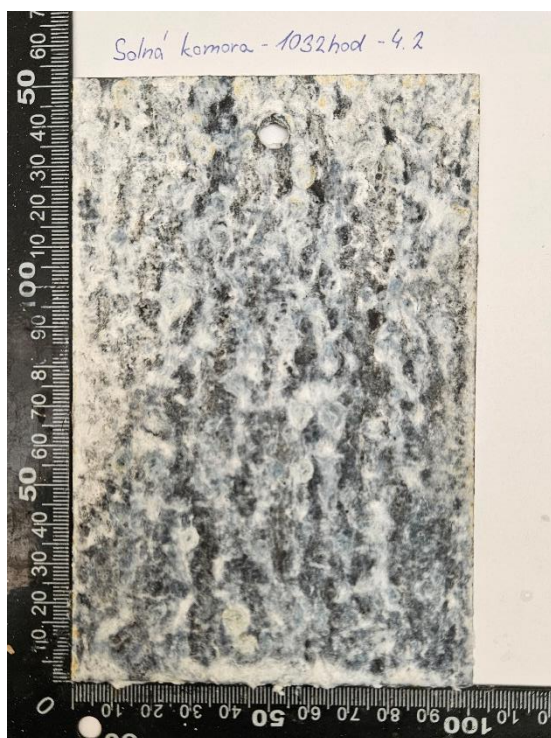




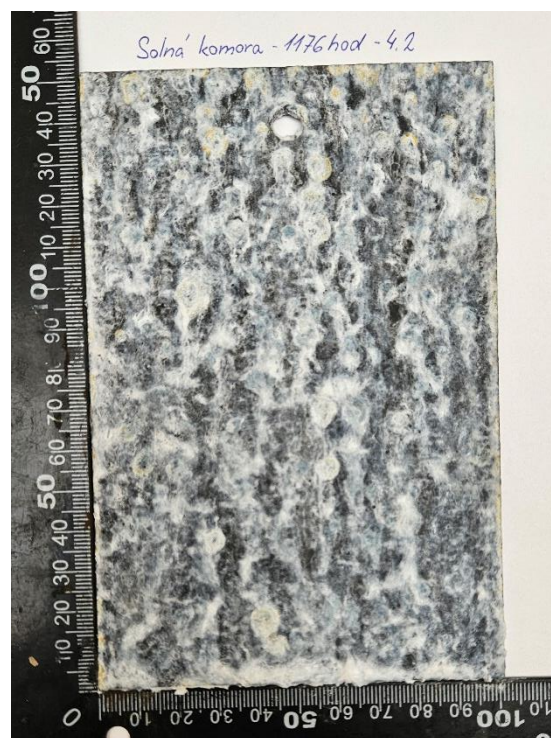
Obr. 215: Vzorek 4.2, 720 h v solné komoře



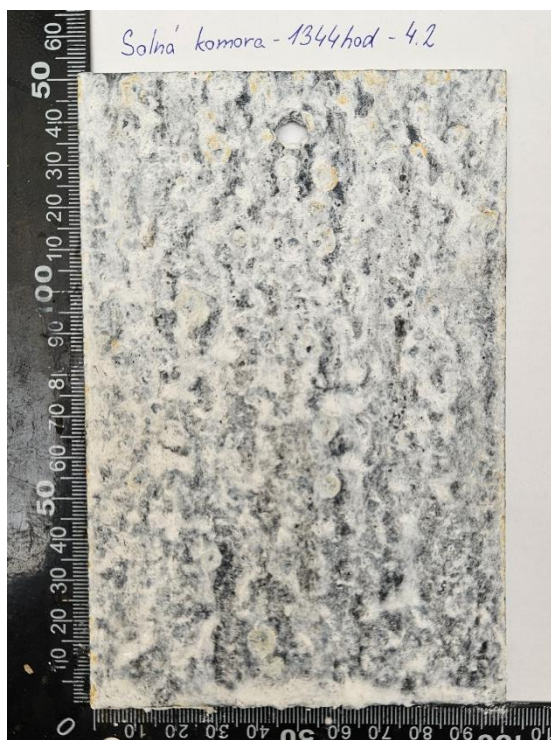
Obr. 216: Vzorek 4.2, 888 h v solné komoře



Obr. 217: Vzorek 4.2, 1032 h v solné komoře



Obr. 218: Vzorek 4.2, 1176 h v solné komoře



Obr. 219: Vzorek 4.2, 1344 h v solné komoře

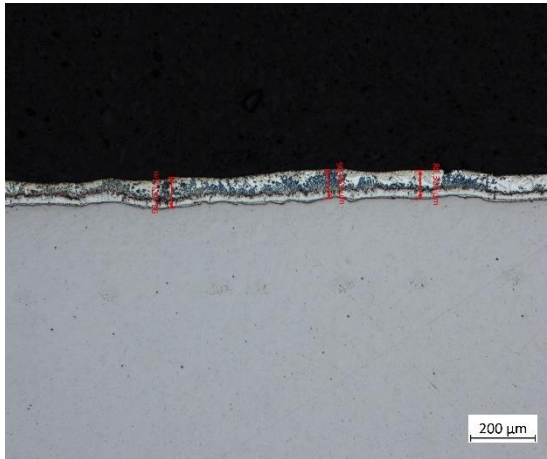


Obr. 220: Vzorek 4.2, 1500 h v solné komoře

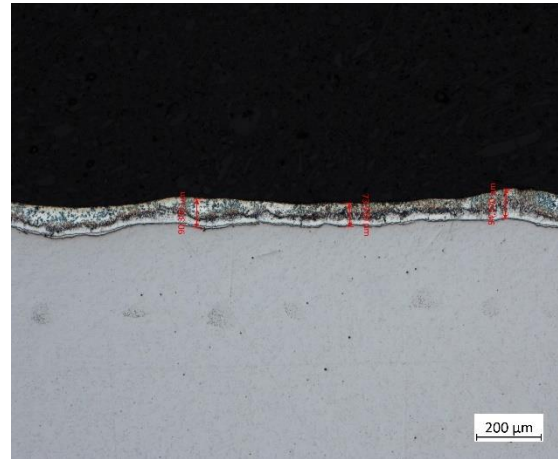


## Příloha II.

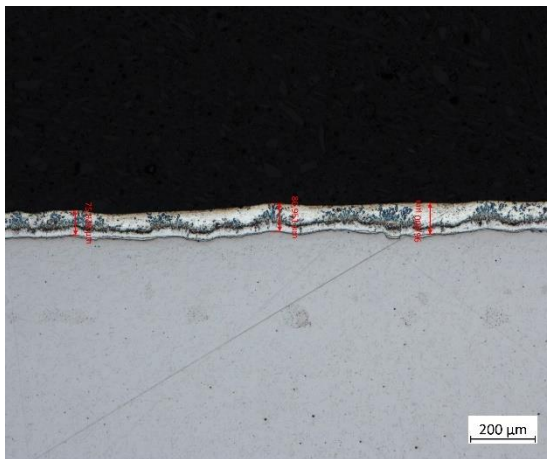
### Měření tloušťky povlaku (vzorek 1.1.3)



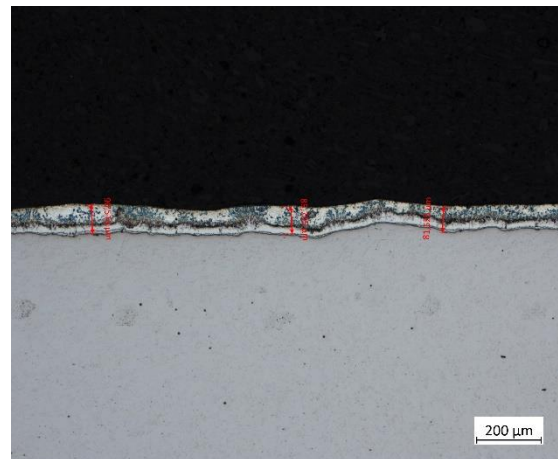
Obr.221: Měření tloušťky (vzorek 1.1.3-1)



Obr. 212: Měření tloušťky (vzorek 1.1.3-2)

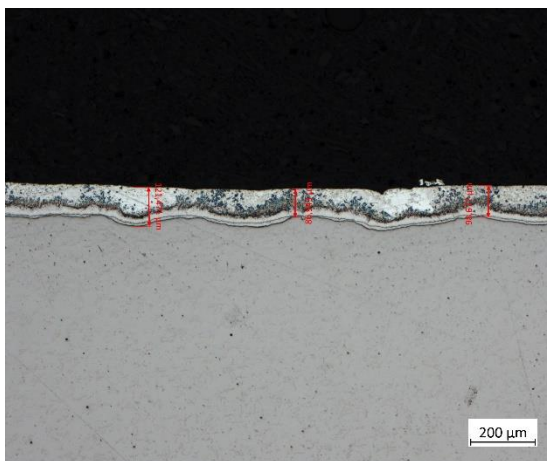


Obr. 223: Měření tloušťky (vzorek 1.1.3-3)

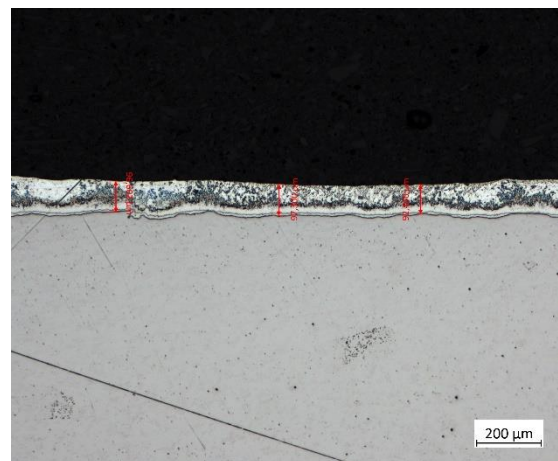


Obr. 224: Měření tloušťky (vzorek 1.1.3-4)

### Měření tloušťky povlaku (vzorek 1.2.3)

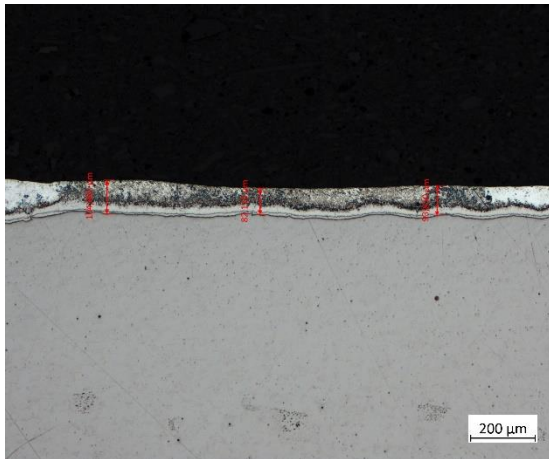


Obr. 225: Měření tloušťky (vzorek 1.2.3-1)

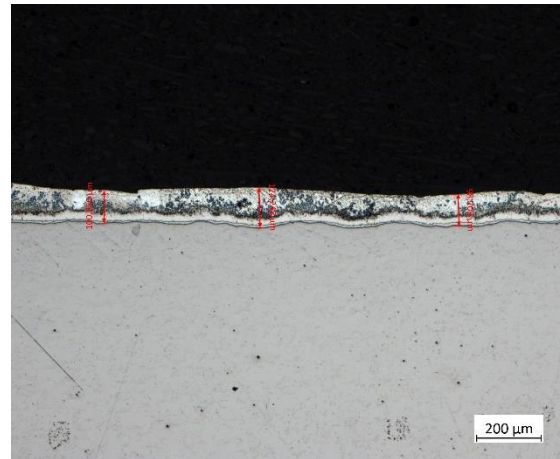


Obr. 226: Měření tloušťky (vzorek 1.2.3-2)



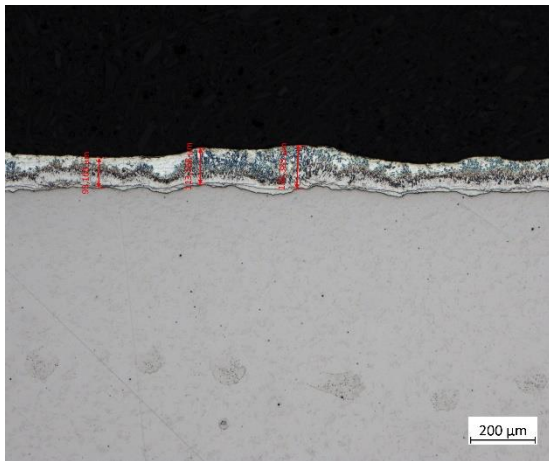


Obr. 227: Měření tloušťky (vzorek 1.2.3-3)

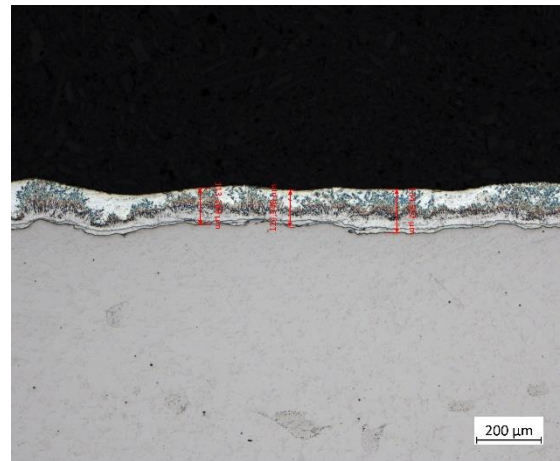


Obr. 228: Měření tloušťky (vzorek 1.2.3-4)

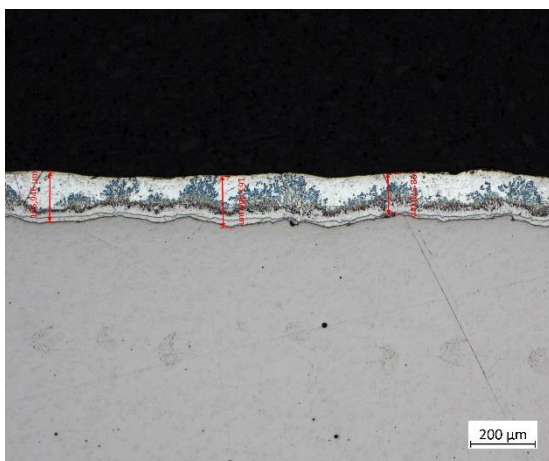
### Měření tloušťky povlaku (vzorek 2.1.3)



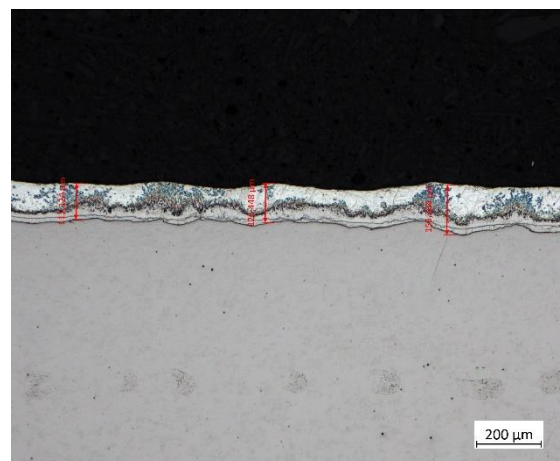
Obr. 229: Měření tloušťky (vzorek 2.1.3-1)



Obr. 230: Měření tloušťky (vzorek 2.1.3-2)

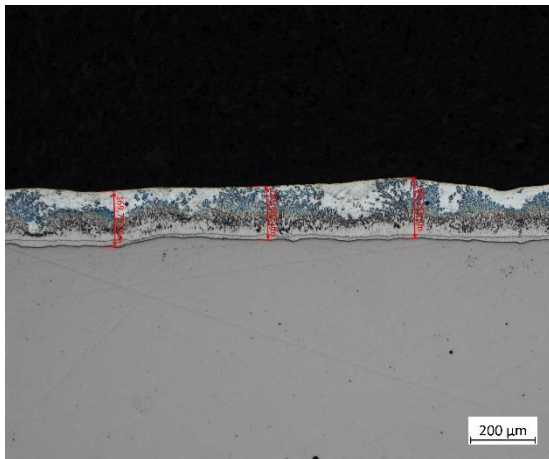


Obr. 231: Měření tloušťky (vzorek 2.1.3-3)

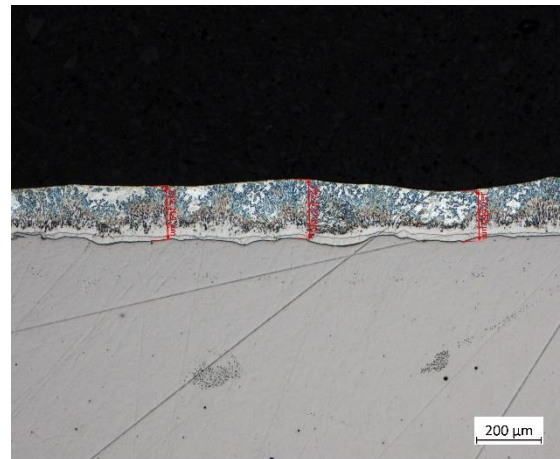


Obr. 232: Měření tloušťky (vzorek 2.1.3-4)

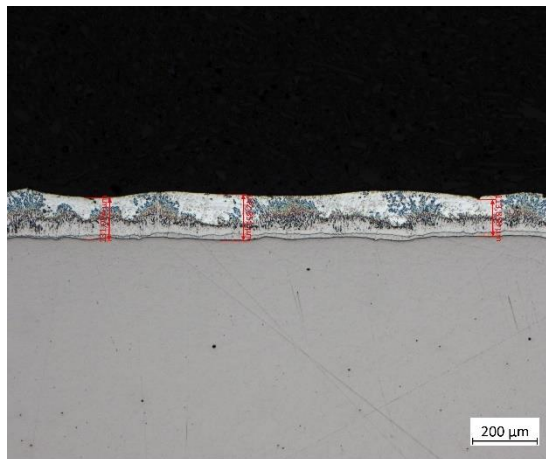
## Měření tloušťky povlaku (vzorek 2.2.3)



Obr. 233: Měření tloušťky (vzorek 2.2.3-2)

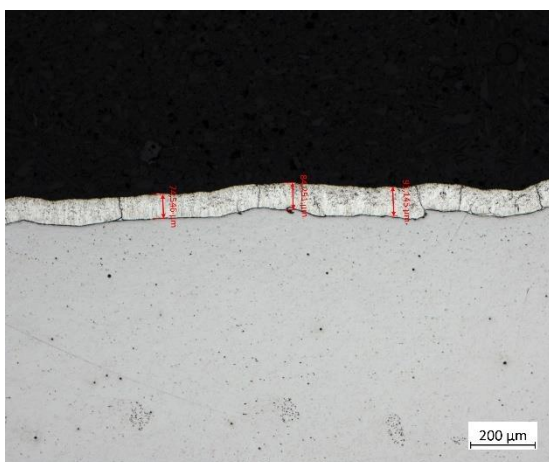


Obr. 234: Měření tloušťky (vzorek 2.2.3-3)



Obr. 235: Měření tloušťky (vzorek 2.2.3-4)

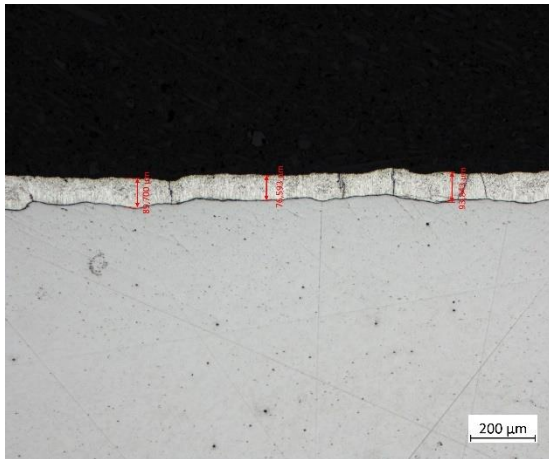
## Měření tloušťky povlaku (vzorek 3.1.3)



Obr. 236: Měření tloušťky (vzorek 3.1.3-1)



Obr. 237: Měření tloušťky (vzorek 3.1.3-2)



Obr. 238: Měření tloušťky (vzorek 3.1.3-3)



Obr. 239: Měření tloušťky (vzorek 3.1.3-4)

### Měření tloušťky povlaku (vzorek 3.2.3)



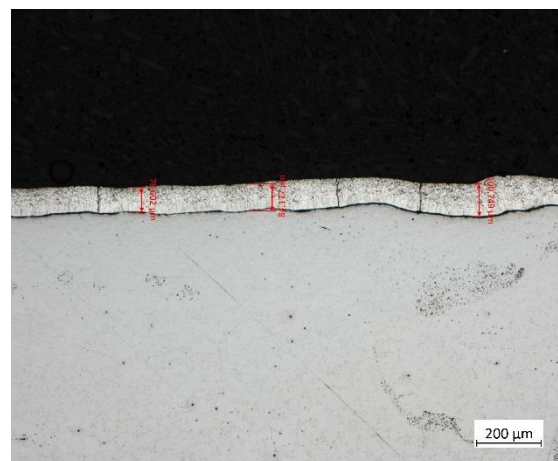
Obr. 240: Měření tloušťky (vzorek 3.2.3-1)



Obr. 241: Měření tloušťky (vzorek 3.2.3-2)



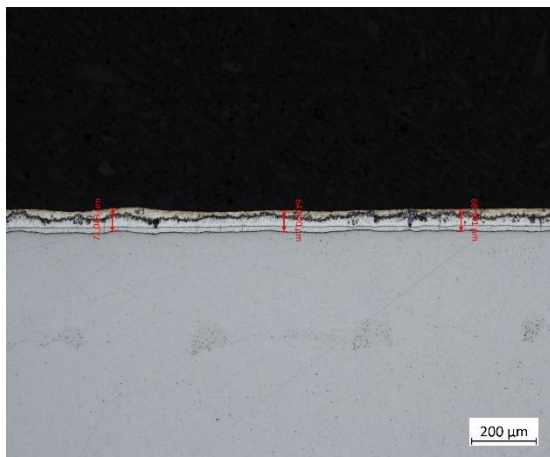
Obr. 242: Měření tloušťky (vzorek 3.2.3-3)



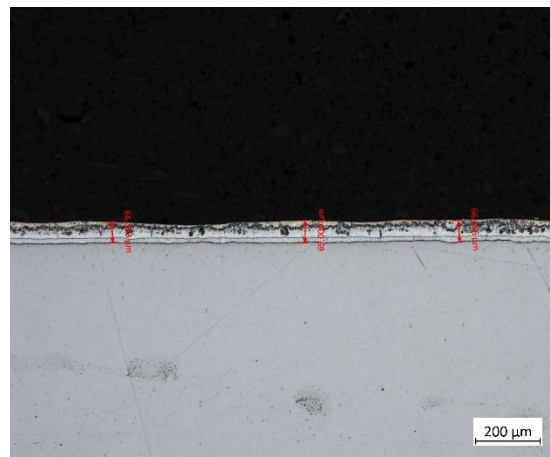
Obr. 243: Měření tloušťky (vzorek 3.2.3-4)



## Měření tloušťky povlaku (vzorek 4.3)



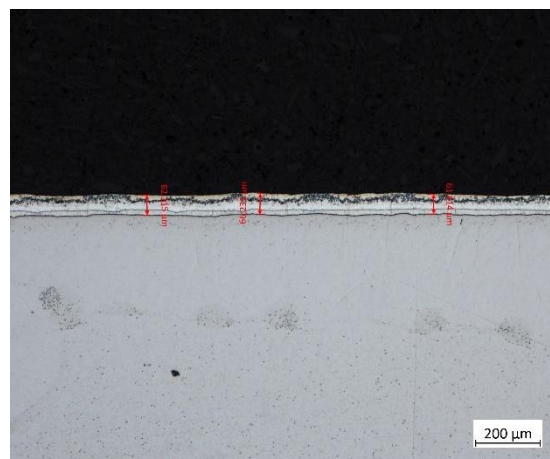
Obr. 244: Měření tloušťky (vzorek 4.3-1)



Obr. 245: Měření tloušťky (vzorek 4.3-2)



Obr. 246: Měření tloušťky (vzorek 4.3-3)



Obr. 247: Měření tloušťky (vzorek 4.3-4)