

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2023

Bc. Lukáš Plichta



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

POSOUZENÍ DEGRADAČNÍHO PŮSOBENÍ KOROZE V MATERIÁLECH

ASSESSMENT OF CORROSION DEGRADATION IN MATERIALS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Plichta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Binar, Ph.D.

BRNO 2023

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektrotechnická výroba a management**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Lukáš Plichta

ID: 198029

Ročník: 2

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Posouzení degradačního působení koroze v materiálech

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Připravte zkušební tělesa a podrobte je degradačnímu působení koroze v kondenzační komoře. Na vybrané vzorky naneste povrchovou ochranu proti korozi a otestujte její účinnost v kondenzační komoře. Dosažené výsledky porovnejte. Na základě zjištěných výsledků, navrhněte využití ochrany proti korozi pro konkrétní díl nebo část zařízení. Dosažené výsledky porovnejte. V závěru uveďte doporučení pro další výzkum a případné návrhy pro experimentální měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 23.5.2023

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Binar, Ph.D.

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce popisuje princip degradačního působení koroze v materiálech, konkrétně kovech a jejich slitinách. Korozi dělí dle několika hledisek. Základní rozdělení dle vzniku člení tento jev na chemickou, elektrochemickou a biologickou korozi. Podle korozního poškození rozlišuje korozi rovnoměrnou, nerovnoměrnou, bodovou, selektivní, štěrbinovou, erozivní, mezikrystalovou a korozní praskání. Představuje také možnosti korozních zkoušek. V experimentální části popisuje výrobu vzorků z šedé litiny, jejich rozměr, aplikované povrchové ochrany, měření tvrdosti a měření drsnosti. Dále se věnuje elektrochemickým zkouškám a zkouškám v kondenzační komoře u vybraných vzorků šedé litiny GJL-250MnCuCr.

Klíčová slova

Koroze, elektrochemická koroze, korozní poškození, kondenzační zkoušky, elektrochemické zkoušky, šedá litina

Abstract

The work describes the principle of degradation of corrosion in materials, specifically metals and their alloys. Corrosion is divided into several aspects. The fundamental division according to its origin divides this phenomenon into chemical, electrochemical and biological corrosion. It distinguishes between uniform, non-uniform, spot, selective, crevice, erosive, intercrystal corrosion and corrosion cracking according to corrosion damage. It also presents corrosion testing options. In the experimental part, it describes the production of samples from gray cast iron, their dimensions, applied surface protection, hardness measurement and roughness measurement. This work also conducts electrochemical tests and tests in a condensation chamber on selected samples of gray cast iron GJL-250MnCuCr.

Keywords

Corrosion, electrochemical corrosion, corrosion damage, condensation tests, electrochemical tests, gray cast iron

Bibliografická citace

PLICHTA, Lukáš. *Posouzení degradačního působení koroze v materiálech* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/151561>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Tomáš Binar.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Lukáš Plichta</i>
VUT ID studenta:	<i>198029</i>
Typ práce:	<i>Diplomová práce</i>
Akademický rok:	<i>2022/23</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Posouzení degradačního působení koroze v materiálech</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 23. května 2023

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrální práce doc. Ing. Tomáši Binarovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 23. května 2023

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	13
SEZNAM TABULEK.....	15
ÚVOD	16
1. KOROZE OBECNĚ	17
2. DĚLENÍ KOROZE	18
2.1 CHEMICKÁ KOROZE.....	18
2.2 ELEKTROCHEMICKÁ KOROZE	19
2.3 BIOLOGICKÁ KOROZE	22
3. TYPY KOROZNÍHO POŠKOZENÍ.....	23
3.1 ROVNOMĚRNÁ KOROZE	23
3.2 NEROVNOMĚRNÁ KOROZE.....	24
3.2.1 Bodová koroze.....	24
3.2.2 Štěrbínová koroze.....	25
3.2.3 Selektivní koroze	25
3.2.4 Mezikrystalová koroze.....	26
3.2.5 Korozní praskání a erozní koroze	27
4. KOROZNÍ OCHRANA.....	28
4.1 POVLAKY	29
4.1.1 Kovové povlaky.....	29
4.1.2 Chemické povlaky	29
4.2 SNÍŽENÍ AGRESIVITY KLIMATU	30
4.3 NÁTĚRY	30
4.4 SMALTY	31
4.5 LEGOVÁNÍ.....	31
4.6 INHIBITORY KOROZE	31
4.6.1 Anodické inhibitory.....	31
4.6.2 Katodické inhibitory.....	31
4.6.3 Adsorpční inhibitory	31
5. KOROZNÍ ZKOUŠKY	32
5.1 KOROZNÍ ZKOUŠKA V SOLNÉ MLZE	32
5.2 KOROZNÍ ZKOUŠKA V KONDENZAČNÍ KOMOŘE	33
5.3 ATMOSFÉRICKÉ ZKOUŠKY	33
5.4 AKUSTICKÁ EMISE.....	33
5.5 ELEKTROCHEMICKÉ ZKOUŠKY	34
5.5.1 Potenciodynamický a potenciostatický test	34
5.5.2 Tafelova analýza	35
5.5.3 Elektrochemická impedanční spektroskopie	35
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	36
6.1 VÝBĚR MATERIÁLU PRO EXPERIMENTY	36
6.1.1 Litina s lupínkovým grafitem.....	37

6.2	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	38
6.2.1	<i>Výroba vzorků.....</i>	38
6.2.2	<i>Zaliti vzorků.....</i>	38
6.2.3	<i>Aplikace povrchové ochrany a označení.....</i>	39
6.3	MĚŘENÍ TVRDOSTI	39
6.4	MĚŘENÍ DRSNOSTI.....	40
6.4.1	<i>Drsnost referenčních vzorků.....</i>	41
6.4.2	<i>Drsnost vzorků pro elektrochemické zkoušky.....</i>	43
6.5	ELEKTROCHEMICKÉ ZKOUŠKY	45
6.5.1	<i>Výsledky elektrochemických zkoušek.....</i>	46
6.6	ZKOUŠKA V KONDENZAČNÍ KOMOŘE	48
6.7	METALOGRAFICKÝ ROZBOR	49
6.7.1	<i>Makroskopický rozbor.....</i>	50
6.7.2	<i>Metalografický rozbor.....</i>	53
6.7.3	<i>Měření parametrů korozního napadení.....</i>	58
6.7.4	<i>Srovnání s výzkumem.....</i>	62
7.	NÁVRH VYUŽITÍ MATERIÁLU	63
8.	DISKUZE A ZÁVĚR.....	65
	LITERATURA.....	67
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	70

SEZNAM OBRÁZKŮ

č.1	Řada napětí kovů a jejich odolnost vůči korozi [5]	20
č.2	Koroze uhlíkaté oceli ve vodě [5]	21
č.3	Korozní kupony – plošná koroze [4]	23
č.4	Bodová koroze korozivzdorné oceli [3]	24
č.5	Štěrbinová koroze příruby potrubí z korozivzdorné oceli typu Cr-Ni 18-8 [6]	25
č.6	Selektivní koroze – odzinkování mosaze [7]	26
č.7	Mezikrystalová koroze korozivzdorné oceli 10CrNi 8-10 [7]	26
č.8	Erozní koroze mosazi v proudící vodě [3]	27
č.9	Postup při volbě protikorozi ochrany dle [16]	27
č.10	Kondenzační komora pro zkoušky solnou mlhou [8]	34
č.11	Schématické znázornění elektrického obvodu pro Randelsovu celu [23]	36
č.12	Schéma postupu experimentu [vlastní tvorba]	37
č.13	Detail grafitových lupínků v LLG [11]	37
č.14	Vzorky pro testování po soustružení [vlastní zdroj]	38
č.15	Vzorky po zalití, zatažení a broušení [vlastní zdroj]	40
č.16	Tester tvrdosti HR-150A (vlevo) a poldi kladívko a etalon pro měření tvrdosti dle Brinella (vpravo) [vlastní foto]	41
č.17	Olympus Lext OLS4100 při snímání referenčního vzorku [vlastní foto]	42
č.18	Bok referenčního vzorku – v 3D grafu [vlastní foto]	43
č.19	Čelo referenčního vzorku – v 3D grafu [vlastní foto]	43
č.20	Čelo vzorku s nátěrem – v 3D grafu [vlastní foto]	44
č.21	Čelo vzorku s chemickým niklem – v 3D grafu [vlastní foto]	45
č.22	Čelo vzorku bez nátěru – v 3D grafu [vlastní foto]	45
č.23	Čelo vzorku s galvanickým zinkem – v 3D grafu [vlastní foto]	46
č.24	Zapojení při měření [vlastní foto]	47
č.25	Příklad Tafelova grafu pro vzorek 3A [vlastní foto]	48
č.26	Upevněné vzorky v kondenzační komoře [vlastní foto]	48
č.27	Použitá kondenzační komora [vlastní foto]	50
č.28	Šedá litina bez ochrany vlevo a šedá litina s nátěrem vpravo [vlastní foto]	52
č.29	Pozinkovaná šedá litina vlevo a poniklovaná šedá litina vpravo [vlastní foto]	52
č.30	Šedá litina bez ochrany vlevo 1A a šedá litina s nátěrem 1B (30 dní kondenzační komora) [vlastní foto]	53
č.31	Šedá litina s povlakem Zn 1C vlevo a šedá litina s povlakem Ni 1D vpravo (30 dní kondenzační komora) [vlastní foto]	53
č.32	Šedá litina bez ochrany 2A vlevo a šedá litina s nátěrem 2B vpravo (90 dní kondenzační komora) [vlastní foto]	53
č.33	Šedá litina s vrstvou Zn 2C vlevo a šedá litina s vrstvou Ni 2D vpravo (90 dní kondenzační komora) [vlastní foto]	54
č.34	Detail struktury šedé litiny bez ochrany [vlastní foto]	55
č.35	Detail struktury šedé litiny s nátěrem [vlastní foto]	56
č.36	Detail struktury šedé litiny s povlakem Zn [vlastní foto]	56
č.37	Detail struktury šedé litiny s povlakem Ni [vlastní foto]	57
č.38	Detail struktury šedé litiny bez ochrany 1A (po 30 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto] [vlastní foto]	57
č.39	Detail struktury šedé litiny s nátěrem 1B (po 30 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]	57

č.40	Detail struktury šedé litiny se Zn povlakem 1C (po 30 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]	57
č.41	Detail struktury šedé litiny se Ni povlakem 1D (po 30 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]	58
č.42	Detail struktury šedé litiny bez ochrany 2A (po 90 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]	58
č.43	Detail struktury šedé litiny s nátěrem 2B (po 90 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]	59
č.44	Detail struktury šedé litiny s povlakem Zn 2C (po 90 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]	59
č.45	Detail struktury šedé litiny s povlakem Ni 2D (po 90 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]	59
č.46	Obraz korozních produktů vytvořených na povrchu slitiny AZ31 vystavené kontinuálnímu kondenzačnímu testu [25]	64
č.47	Schéma kompresoru klimatizační jednotky.....	65
č.48	Návrh předního dílu kompresoru klimatizační jednotky [vlastní zdroj].....	66

SEZNAM TABULEK

č.1	Chemické složení vybrané šedé litiny GJL-250.....	37
č.2	Hodnoty z měření tvrdosti na referenčním vzorku.....	40
č.3	Hodnoty z měření Ra na referenčním vzorku.....	41
č.4	Hodnoty z měření Ra na vzorcích pro elektrochemické zkoušky	43
č.5	Hodnoty parametrů Tafelovy analýzy pro vzorky bez předchozí koroze.....	49
č.6	Hodnoty parametrů Tafelovy analýzy pro vzorky exponované 30 dní v kondenzační komoře	49
č.7	Hodnoty Tafelovy analýzy pro vzorky exponované 90 dní v kondenzační komoře	49
č.8	Značení vzorků pro kondenzační zkoušku	49

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá problematikou degradačního působení koroze v materiálech. Konkrétně cílí na popis korozních mechanismů, které probíhají především při vzniku koroze. Dále se také pokouší popsat jednotlivé druhy korozního poškození v kovech a jejich slitinách a následně také uvést možné metody, jak lze provádět korozní zkoušky. Cílem práce bylo připravit zkušební tělesa a podrobit je degradačnímu působení koroze v kondenzační komoře. Dále měla být na vybrané vzorky aplikována povrchová ochrana proti korozi a měla být zkoumána její účinnost v kondenzační komoře.

První kapitola se zabývá popisem a definicí termínu koroze a nabízí tak úvodní představení zkoumaného tématu. V druhé kapitole je pak již dále pozornost věnována rozdělení pojmu koroze dle různých hledisek, podrobně se pak věnuje rozdělení dle korozních mechanismů. Třetí kapitola rozebírá jednotlivé korozní poškození a nabízí i vizuální přiblížení pomocí příkladných obrázků. Čtvrtá kapitola se poté věnuje různým metodám protikorozních ochranných materiálů, kde nastiňuje i korozní ochrany použité v praktické části. Problematikou korozních zkoušek se zabývá pátá kapitola, přičemž popisuje možné metody zkoušení koroze. Experimentální část, tedy kapitola šestá, poté zpracovává postup přípravy vzorků vybrané šedé litiny pro testování a aplikaci povrchových ochranných materiálů. Dále popisuje měření tvrdosti dle Brinella, Rockwella a Vickerse prováděné na referenčním vzorku šedé litiny. Mimoto se věnuje měření drsnosti povrchu referenčního vzorku a vzorků bez koroze pro elektrochemické zkoušky. Nastiňuje též způsob provádění elektrochemických zkoušek i vložení testovacích vzorků šedé litiny do kondenzační komory na 30 a 90 dní. Práce cílí především na podrobení vzorků šedé litiny koroznímu napadení v kondenzační komoře a následnému vyhodnocení aplikovaných antikorozních ochranných materiálů. Mimoto se zabývá i elektrochemickými metodami zkoušení koroze a poskytuje tak informace o rychlosti šíření korozního napadení.

1. KOROZE OBECNĚ

Koroze je termín, který popisuje děje vedoucí k narušování materiálu pomocí chemického, elektrochemického či biologického působení okolního prostředí. Jedná se především o působení atmosféry, kyslíku, oxidu uhličitého či vodních par. V kovech má toto narušování za následek úbytek materiálu a vznik korozních produktů, jež jsou obdobné jako sloučeniny, které byly použity pro výrobu korodujícího kovu. Někteří autoři dokonce označují korozi jako nemoc kovů nebo také jako obrácenou metalurgii [3].

Pojem koroze lze však chápat i jako snahu materiálu navrátit se do svého původního a stabilního stavu pomocí uvolňování energie. Autoři uvádějí, že se kovy působením koroze snaží přetvořit do své původní stabilní formy, což je v případě kovů ruda [1].

Při výrobě kovů z rud je nutno dodat jistou energii, což má za následek vznik energeticky bohatého produktu, jímž je zmiňovaný kov. Tento produkt však není stabilní ve svém prostředí a dochází v něm k samovolné korozi a uvolňování energie dodané během jeho výroby v důsledku působení okolních vlivů jimiž mohou být vlhkost, vítr či sluneční záření. Tyto vlivy způsobují poté oxidaci daného materiálu. Korodující materiál tedy přechází do stavu s méně uspořádanou strukturou s menším obsahem energie [3].

Dále autoři uvádějí, že s výjimkou vzácných kovů jsou všechny kovy vystaveny tomuto degradačnímu procesu a v průběhu času se tudíž znehodnocují. Dále se tvrdí, že v normálním prostředí je pro vznik koroze nezbytné působení vody a kyslíku. Nicméně, k procesu koroze nedochází pouze u kovů. Tento degradační proces postihuje také různé organické a anorganické materiály jako například pryže, plasty či horniny [1].

Zkoumáním jevu koroze se zabývá korozní věda, která se zaměřuje na studování mechanismů korozních procesů, ale také hledání nových materiálů se zvýšenou odolností vůči degradačnímu působení koroze. Pro správné plnění své funkce musí mít totiž kov vhodnou korozní odolnost, která zaručuje jeho primární užitnou vlastnost (například mechanické vlastnosti, vzhled či tepelná vodivost) po celou dobu životnosti kovového výrobku [3].

Lze tedy usuzovat, že přirozeným procesem u koroze kovů je směřování k neuspořádanosti a energeticky výhodnějšímu stavu. Navíc se uvádí, že kovy, které byly poškozeny korozí, se již nemohou samovolně opravit. Jedná se tedy o trvalé poškození kovu, které nelze zacelit pomocí protikorozní ochrany. Ta má význam jako preventivní opatření před korozí, nikoli jako účinný opravný proces [2].

2. DĚLENÍ KOROZE

V současnosti lze najít více než 100 pojmů, v české a anglické literatuře, které popisují různé druhy koroze. Pro praktické využití se dělení koroze zaměřuje pouze na korozi kovů a jejich slitin [2].

Přesto není dělení koroze na dílčí druhy zcela jednoznačné a je nutné použít několik hledisek, podle kterých korozi dělit. Dle vybraného kritéria se lze setkat s dělením koroze podle:

- **Korozního prostředí** – v elektrolytech, neelektrolytech, koroze biologická
- **Vzhledu** – koroze rovnoměrná, plošná, celková, skvrnitá, nerovnoměrná, lokální, strukturní, selektivní, mezikrystalová, transkrystalová, důlková, po vrstvách
- **Místa vzniku** – v rovině hladiny, u svaru, štěrbinová
- **Fyzikálních podmínek vzniku** – pod napětím, opotřebením, při vysokých teplotách, při mechanickém namáhání, katodická koroze
- **Korozních produktů** – karbonylová koroze, rezivění železa
- **Rozsahu poškození** – celková, lokalizovaná, místní, plošná
- **Rychlosti vzniku** – blesková
- **Druhu chemické reakce** – chemická, elektrochemická, organickými látkami
- **Dominantního článku** – anodická, katodická
- **Hlavního poškozovacího děje** – vodíková křehkost, vodíkové puchýře, vodíková koroze
- **Stavu kovu** – aktivní, pasivní, transpasivní stav

[2]

Běžným postupem v praxi je dělit korozi podle korozního prostředí, které definuje mechanismy korozních dějů probíhající v jednotlivých typech korozních procesů [1]. Tento způsob dělení koroze se označuje někdy také jako dělení podle vzniku a je základním cestou k rozlišení koroze na korozi chemickou, elektrochemickou a biologickou.

2.1 Chemická koroze

Chemická koroze se vyskytuje především v plynech za vysokých teplot, spalínách kapalných i tuhých paliv nebo také v elektricky nevodivých kapalinách. Důležitým faktorem u tohoto procesu je jak samotný povrch korodujícího předmětu, tak také jeho složení a struktura. Při chemické korozi působí okolní prostředí přímo na daný předmět.

Chemickou korozi lze dělit na:

- ***Korozi v plynu s oxidačním působením*** jako je například kyslík, oxid uhličitý či oxid siřičitý. Zde je typickým jevem vznik vrstvy oxidů na povrchu kovu.
- ***Korozi v plynu s redukčním působením*** jako je například amoniak či vodík [1]

Jedná se o chemickou reakci mezi kovem a plynem či kyselinou, která není závislá na elektrické vodivosti či nevodivosti okolního prostředí. Alkalické kovy, které velmi rychle reagují s okolním prostředím, jsou obzvláště náchylné k chemické korozi. Naopak mezi kovy s odolností vůči korozním účinkům lze zařadit zlato či platinu [5].

Proces chemické koroze v plynu s oxidačním působením pokrývá kov tenkou vrstvou kysličníku, který odděluje kov od okolního prostředí. Pro reagování kovu s kyslíkem je nutné, aby kyslík či ionty kovu procházeli touto vrstvou. Nejčastěji se lze setkat s chemickou korozi při oxidaci kovu kyslíkem obsaženém ve vzduchu. S vyšší teplotou také narůstá vrstva oxidu a mohou vznikat takzvané okuje.

2.2 Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze se vyskytuje v prostředích, které jsou elektricky vodivá. Jedná se o korozi v elektrolytech a mezi katodickými a anodickými oblastmi. Uvádí se, že katodické a anodické reakce jsou fyzikální podstatou všech korozních reakcí u elektrochemické koroze. Přesněji se jedná se o oxidační a redukční reakce, které se nemohou odehrávat samostatně a vyžadují splnění podmínky elektroneutality. Mimoto autoři uvádějí, že anodická reakce představuje oxidaci kovu, a tudíž je označována jako vlastní koroze, kdežto katodická reakce vyznačuje redukcí některé ze složek, které oxidují v obsaženém roztoku [1].

Anonymita reagujících částic je uváděna jako hlavní rozdíl při rozdělení na elektrochemickou a chemickou korozi. Rozdílem je elektricky vodivá fáze, jež v elektrochemické korozi umožňuje oxidované částici a atomu kovu výměnu elektronů bez nutnosti jejich naprosté blízkosti [2].

Uvádí se, že u elektrochemické koroze jako elektroda může být použita jakákoliv kapalná či pevná fáze jenž splňuje alespoň částečnou elektronovou vodivost. Elektrolyt poté musí být iontově vodivý a tvořen libovolnou pevnou či kapalnou fází. Navíc, přenos náboje v elektrolytu zprostředkovávají jak anionty, tak kationty a během průběhu proudu skrze elektrolyt dojde ke změně složení elektrod. Dále se tvrdí, že se polarita elektrod odvíjí od samovolného či vynuceného průchodu elektrického proudu, kde u samovolného

průchodu platí, že anoda je záporná a katoda je kladná a dochází k uvolňování elektronů, kdežto u vynuceného průchodu je anoda kladná a katoda záporná a dochází k odsávání elektronů [3].

Korozi zde zapříčiňuje vytvoření korozního galvanického článku vodivým propojením anody a katody. Látka, která představuje anodu podléhá oxidaci a korozi, přičemž musí docházet ke spotřebování uvolněných elektronů z oxidace. Ty jsou přijímány například atomy kyslíku či kationty vodíku, které plní funkci depolarizátoru. [5] Platí podmínka, že katodická reakce musí spotřebovat všechny elektrony uvolněné pomocí anodické reakce a nastolit tak rovnováhu. [1]

Důležitým parametrem u elektrochemické koroze je elektrodový potenciál, který je závislý především na materiálu elektrody a koncentraci elektrolytu. Tento potenciál představuje napětí vzniklé mezi kovem a roztokem a je vodítkem k rozdělení kovů na ušlechtilé a neušlechtilé. Pro toto rozdělení platí, že ušlechtilé kovy dosahují vyšších hodnot elektrodového potenciálu než vodíková elektroda a neušlechtilé menších hodnot elektrodového potenciálu než vodíková elektroda [1].



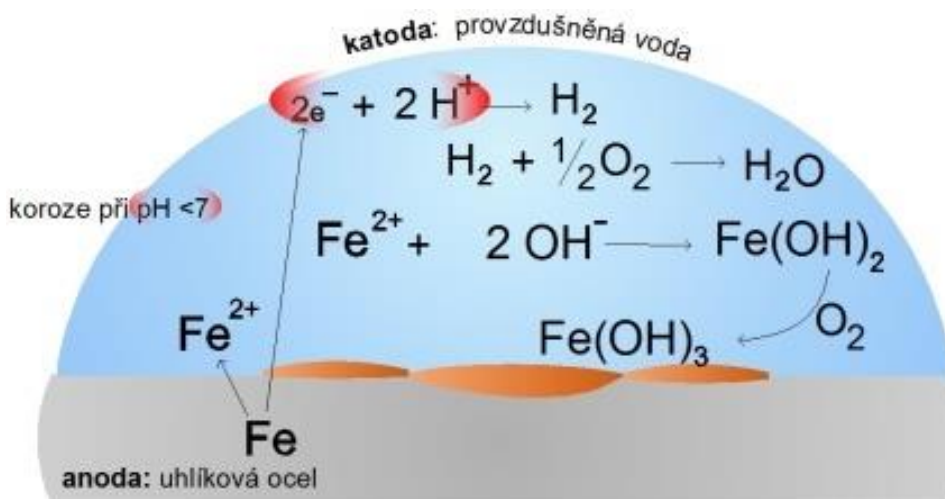
Obrázek č.1 Řada napětí kovů a jejich odolnost vůči korozi [5]

Z obrázku č.1 lze rozeznat seřazenou elektrolytickou řadu napětí, která udává prvky dosahují kladných a záporných hodnot elektrodového potenciálu E_0 . Jako nulová hodnota je použita hodnota nulového potenciálu vodíkové elektrody.

Důležitost této řady je patrná při spojení dvou elektrod odlišných kovů, kde roli anody přejímá elektroda z kovu s menší hodnotou elektrodového potenciálu. Na této anodě dochází k oxidaci a projevuje se zde degradační působení koroze, kdežto elektroda s vyšší hodnotou elektrodového potenciálu plní roli katody a přijímá elektrody uvolněné oxidací. [1] Nicméně vědci poukazují na to, že ušlechtilost kovů není spolehlivým ukazatelem pro odhad korozní odolnosti materiálu, jelikož mezi kovy odolné vůči korozi lze řadit i některé neušlechtilé kovy. Elektrolytickou řadu napětí lze využít pouze ve vodních prostředích bez dalších komplexotvorných látek. [3]

Významnou vlastností některých kovů je též jejich pasivita, která se často samovolně projevuje pomocí tvorby ochranné vrstvy na povrchu kovů. Tato vlastnost má za následek potlačení korozního působení. Solná pasivita, která se projevuje takřka u každého kovu, pokrývá povrch kovu tlustou vrstvou korozních produktů. Pasivní vrstva postupem času nabývá o prvky, které tvoří stabilní oxidy. Ochranný účinek této pasivní vrstvy tkví ve vytvoření bipolární membrány, která zabraňuje prostupu aniontů z vnější elektrolytické části a kationtů vnitřní kovové části do elektrolytu. [3]

Jako příklad elektrochemické koroze lze uvést korozi oceli v provzdušněné vodě, kde jako katoda akceptující elektrony vystupují kationty vodíku. Ty se díky katodické reakci redukují a přechází na vodík a dále reagují s rozpuštěným kyslíkem. Do roztoku uvolněné železnaté kationty poté zapříčiňují vznik hydroxidu železnatého. Hydroxid železitý, který vzniká oxidací hydroxidu železitého a je považován za podstatu rzi, poté se odlupuje z povrchu uhlíkaté oceli, což umožňuje následný průběh koroze. [5]



Obrázek č.2 Koroze uhlíkaté oceli ve vodě [5]

Uvádí se, že koroze ocelového potrubí způsobuje obohacení vody o železo, což vyúsťuje ve snížení kvality pitné vody a narušování vnitřní stany potrubí. Mimoto je koroze kovů ve vodě zapříčiněna širokou škálou faktorů, mezi které lze počítat obsah rozpuštěného kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě, obsah organických látek, pH, tlumivou kapacita, iontové složení vody či přítomnost určitých mikroorganismů. [4]

Vody lze dělit i pomocí jejich agresivity dle korozního úbytku (úbytek materiálu za čas) do tří kategorií:

- **I. Mírně agresivní vody** – korozní úbytek do 50 $\mu\text{m/a}$, bez nutnosti protikorozní ochrany
- **II. Středně agresivní vody** – korozní úbytek 50 až 100 $\mu\text{m/a}$, protikorozní ochrana dle výsledků technicko-ekonomického rozboru
- **III. Silně agresivní vody** – korozní úbytek nad 100 $\mu\text{m/a}$, nutnost protikorozní ochrany

[4]

V praxi dochází k využití fyzikálního principu elektrochemické koroze i k protikorozní ochraně u potrubí či lodních trupů, kde se využívá propojení požadovaného chráněného tělesa s elektrodou složenou z neušlechtilých kovů, která bude vystavena korozi a bude ve vodním prostředí korodovat přednostně. Využívaným materiálem pro tuto elektrodu je často zinek, hořčík či hliník. Po rozložení této elektrody dochází k výměně. [5]

2.3 Biologická koroze

Dalším dělením koroze podle jejího prostředí je koroze biologická, která se označuje také jako koroze mikrobiální či koroze bakteriální. Tento druh koroze se vyskytuje především v místech, kde se nalézají přírodní mikroorganismy, které působí na kov a napomáhají tak k degradačnímu koroznímu procesu. Dále se uvádí, že samotná přítomnost těchto mikroorganismů nevede k novému poškození kovů. Jedná se pouze o jeden z faktorů v degradačním působení koroze na materiály. Koroze pomocí organických látek se tedy někdy projevuje čistě jako chemická přeměna [2].

Různé druhy plísní, bakterií či hub lze počítat do skupiny mikroorganismů, které svým působením přetvářejí povrch kovu pomocí elektrochemických a chemických změn. Biologická koroze se dle autorů může projevovat přímo nebo nepřímo a je zapříčiněna metabolickou činností organismů [1].

3. TYPY KOROZNÍHO POŠKOZENÍ

Rozdělení negativního působení koroze lze členit také pomocí jeho účinku na povrch kovu. Jedná se zde o míru napadení kovu korozním procesem. Rovnoměrná a nerovnoměrná koroze se uvádí jako základní rozdělení koroze v elektrolytickém prostředí a specifikuje jakým způsobem se napadení ve vybraném materiálu šíří. Korozi nerovnoměrnou lze navíc dělit do dalších kategorií, které se vyznačují svými specifickými vlastnosti a způsobem šíření korozního napadení, trhlin a korozního úbytku materiálu [2].

3.1 Rovnoměrná koroze

Jde o rovnoměrné poškození, a tudíž i degradaci kovu po celém jeho povrchu. Typickou charakteristikou je u rovnoměrné koroze, která se označuje také jako plošná či obecná koroze, výskyt napadení kovů pouze u homogenních povrchů v homogenním prostředí. Takové prostředí se vyznačuje vyrovnaností v teplotách a koncentracích všech složek na rozhraní mezi kovem a okolním prostředím [7].

Plošné působení korozního procesu se vyznačuje přibližně stejným množstvím materiálu na kterémkoli místě povrchu. Navíc se tvrdí, že lokální difference v úbytku materiálu díky koroznímu procesu je menší než celkový korozní úbytek. Jako příklad rovnoměrné koroze lze uvést korozi v atmosférických podmínkách či korozi pasivovaných kovů [2].



Obrázek č.3 Korozní kupony – plošná koroze [4]

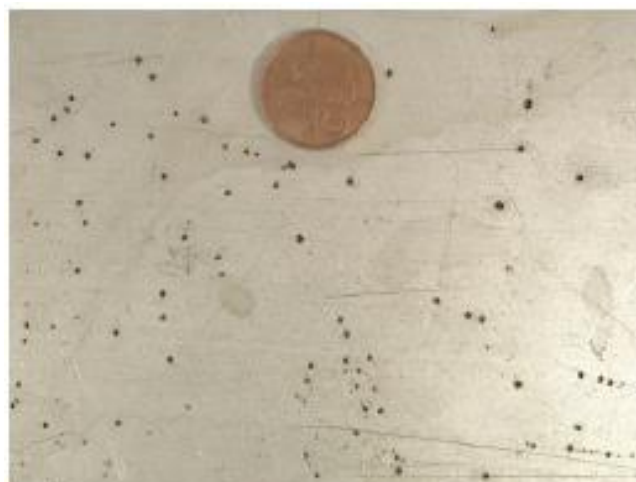
3.2 Nerovnoměrná koroze

3.2.1 Bodová koroze

Bodová koroze, označována též jako pitting, je druhem nerovnoměrné koroze vyskytující se u kovů se schopností pasivizace. Konkrétně se jedná například o železo, měď, hliník či některé druhy oceli. Dále tento typ korozního napadení působí lokálně, čímž dochází ke vzniku malých prohlubní s úzkým hrdlem v materiálu, které mohou tento materiál i penetrovat. Nicméně okolí těchto prohlubní neboli důlků zůstává korozním procesem nepoškozeno. Podstatným rysem, který je potřebný pro tento typ koroze je výskyt síranových či chloridových iontů, ale také vysoká schopnost okolního prostředí oxidovat napadený kov. Navíc se tato koroze objevuje v mnoha případech v oblastech nehomogenity kovu nebo prostředí. Zde se může jednat například o mechanické poškození kovu či rozdílné koncentrace látek v okolním prostředí [7].

Je uváděno, že termín bodová koroze v literatuře často koreluje s pojmem důlková koroze, ten však může značit takřka jakékoli lokální korozní poškození u kterého dochází ke vzniku důlků v materiálu. Navíc lze u důlkové koroze pozorovat důlky s větší šířkou než hloubkou důlku. Naopak bodová koroze vyniká svým extrémně místním poškozením kovů, což naznačuje menší šířku a větší hloubku důlků. Mimoto je možno rozlišit ještě důlkovou korozi s mělkými důlky na relativně velké ploše kovu a skvrnitou korozi s vyšší koncentrací důlků na menší ploše kovového materiálu [2,7].

Autoři tvrdí, že přesná lokalizace poškození u bodové koroze spočívá v tom, že vnitřek důlku tvoří obětovanou anodu pro zbytek vnějšího pasivního povrchu. Šíření tohoto typu koroze urychluje zvýšenou teplotou a nízkou hodnotou pH [3].



Obrázek č.4 Bodová koroze korozivzdorné oceli [3]

3.2.2 Štěrbínová koroze

Jedná se o druh koroze, který se vyskytuje v oblastech kde je odděleno určité množství kapaliny, tedy ve štěrbině. Příkladem takové oblasti je například místo pod podložkami šroubů, mezi plechy spojenými pomocí nýtů, pod těsněním nebo pod šrouby [7].

Štěrbínová koroze se vyznačuje jedním malým rozměrem ústí štěrbiny, která se pohybuje většinou pod hodnotou 10 μm . Velikost rozměru pak brání k promíchávání kapaliny a dovoluje interakci elektrolytu vně a uvnitř štěrbiny. Mimoto se uvádí, že poměr elektrolytu uvnitř štěrbiny je podstatně menší než poměr elektrolytu mimo štěrbinu. Štěrbínový efekt se může uplatňovat v různých pórech kovů a vyskytovat se také u dalších druhů koroze jako například mezikrystalová či bodová koroze [3].



Obrázek č.5 Štěrbínová koroze příruby potrubí z korozivzdorné oceli typu Cr-Ni 18-8 [6]

3.2.3 Selektivní koroze

Tento typ koroze je definován jako postupné rozpouštění některé ze složek kovu. Mimoto jedná se o složku materiálu, která je v něm žádoucí. Jako příklad selektivní koroze se uvádí odzinkování mosazi, ale je možno tento jev pozorovat i u slitin mědi s hliníkem či niklem. Hlavním důvodem selektivní koroze je rozdíl v ušlechtilosti kovů korodující slitiny, tedy jejich elektrodových potenciálů [3].

Uvádí se, že při selektivní korozi mosazi dojde k přetvoření původní slitiny mědi se zinkem na houbovitou měď, přičemž méně ušlechtilý zinek přechází do roztoku pomocí chloridových a hydroxidových reakcí [2].



Obrázek č.6 Selektivní koroze – odzinkování mosaze [7]

3.2.4 Mezikrystalová koroze

Tento typ nerovnoměrné koroze se ve velké míře vyskytuje převážně u ocelí s korozivzdornými účinky, které vznikají například za procesu svařování. Hlavním principem je zde snížení obsahu chromu na hranicích zrn korozivzdorných ocelí. Následně jsou místa se sníženým obsahem chromu více náchylné ke korozním účinkům, které u mezikrystalové korozi způsobují zhoršení mechanických vlastností kovového předmětu [7].

Náchylnost ke koroznímu napadení se zde začne významně projevovat při snížení obsahu chromu pod 12 %, což zaručuje snadnou pasivovatelnost slitiny. Jako druh interkrystalické koroze lze označovat také nožovou korozi, která je korozi stabilizovaných korozních slitin či exfoliaci, která označuje mezikrystalovou korozi slitin hliníku [2], [3].



Obrázek č.7 Mezikrystalová koroze korozivzdorné oceli 10CrNi 8-10 [7]

3.2.5 Korozní praskání a erozní koroze

Korozní praskání je jev vznikající jako důsledek vnitřního pnutí v definovaném korozním prostředí. Mimoto lze pozorovat snížení deformační síly, která zapříčiňuje narušení materiálu v porovnání s inertním prostředím. Dále se trhliny korozního praskání šíří od povrchu, z místa, kde došlo v narušení pasivní vrstvy, mezikrystalicky po hranicích zrn nebo transkrystalicky napříč zrn. Tvrdí se, že korozní únava, což je typ koroze požadující opakované mechanické namáhání s tahovou zkouškou, a praskání vyvolané vodíkem lze také řadit mezi korozní praskání [2], [3].

Erozní koroze se často vyskytuje v prostředích s proudící kapalinou, která dokáže urychlovat erozní působení, a tedy rozpouštění kovů. Tento jev vzniká v rychle proudících prostředích, u nichž dochází k narušení ochranných a pasivních vrstev. Důležitým faktorem u erozní koroze je geometrie korodujícího předmětu. Samotná koroze se poté projevuje důlky ve tvaru kapek či podkov nebo také rýh a zaoblení. Rychle tekoucí kapalina obsahující částice o velikosti v řádech desítek μm či mm dokáže zničit pasivní vrstvu již při malém průtoku a obnovení pasivní vrstvy je spojeno s výrazným anodickým rozpouštěním kovu [2], [7].



Obrázek č.8 Erozní koroze mosazi v proudící vodě [3]

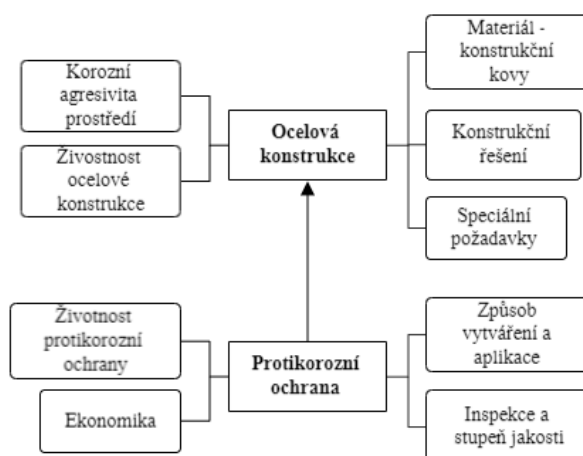
4. KOROZNÍ OCHRANA

Primární funkcí korozních ochrany je zabránění či zpomalení působení koroze v konstrukčních materiálech, což zajišťují oddělením kovového materiálu od agresivního okolí. Bez patřičné a dostačující korozní ochrany dochází totiž u těchto materiálů k degradaci materiálu, která může negativně ovlivňovat korodovanou konstrukci z vybraného materiálu a vést k havárii, poruše či destrukci konstrukce. Pro zamezení těchto nežádoucích stavů je vhodné tedy vybrané materiály chránit po dobu jejich požadované životnosti pomocí protikorozní ochrany. Pro zvolení vhodné a kvalitní ochrany, zhodnocení korozního prostředí, vyhotovení povlaků a jednotlivé kroky jejího technologického postupu se využívají specializované technické normy. Při návrhu vhodné protikorozní ochrany se též dbá na součet nákladů na ochranu konstrukce při využívání po celou dobu její životnosti i nákladů spojených s obnovou a údržbou protikorozní ochrany [16].

Mimoto je při volbě ochrany kladen důraz také na zvolení vhodného odolného materiálu, montážní práce na součásti či samotné konstrukční řešení [17].

Při volbě materiálu pro dané korozivní prostředí se dbá na funkční požadavky na součást a taktéž na korozivní činitele, kterým bude součást vystavena. Zásadou je také zamezit kombinování elektrochemicky odlišných materiálů a tím i vznikání korozivních článků. Při kombinaci dvou rozdílných kovů se využívá ochrany konstrukční úpravou, u které platí, že plocha ušlechtilějšího kovu má být větší než plocha méně ušlechtilého kovu. Dále se využívá pájek stejného chemického složení jako jsou spojované materiály. Cílem je dosahovat menší drsnosti součástí a tím i zmenšování plochy pro možné korozní napadení. Využití vhodné ochrany pak může až dvojnásobně zvýšit životnost chráněné součásti [20].

Faktory ovlivňující volbu protikorozní ochrany lze vidět na Obrázku č.9



Obrázek č.9 Postup při volbě protikorozní ochrany dle [16]

4.1 Povlaky

Jedná se o jednu z metod ochrany proti korozi pomocí aplikace ochranného povlaku na povrch materiálu. Povlaky lze dělit na kovové, skládající se z vrstvy kovu nebo jeho slitin, a nekovové, do kterých lze řadit plasty, smalty či pryže.

Povlaky musí plnit ochranné a funkční požadavky na kvalitu. Konkrétně se jedná o odolnost vůči deformacím, mechanickému poškození, či vnějšímu prostředí. Mimoto je kladen důraz i na estetické vlastnosti, tedy lesk, barva a výsledný vzhled [19].

4.1.1 Kovové povlaky

Ochranné kovové povlaky se vytvářejí pomocí několika metod. První metodou je pokovení materiálu ponorem v lázni, která je tvořena roztaveným kovem, a následné vytažení a vychladnutí. Zde se jedná zejména o povlaky z olova, cínu či zinku. Podmínkou je takové složení lázně, které umožňuje zformování difuzní mezivrstvy tvořené z kovu povlaku a základního materiálu. Dalšími metodami jsou kupříkladu žárové zinkování, které využívá nástřiku zkapalněného ochranného kovu na povrch materiálu, nebo pokovování amalgámem, kde se sloučeniny kovů s rtutí nanášejí na chráněný materiál a po vypálení, během kterého dojde k odstranění rtuti, vzniká kovový povlak [20].

Kovové povlaky se též vytvářejí elektrochemickým pokovováním díky ponořením materiálu do roztoku soli či difuzním pokovováním díky difuzi ochranného materiálu do základního materiálu během ohřevu ve vakuu či ochranné atmosféře. Galvanické pokovování, jež je další metodou kovových ochran, vytváří pomocí elektrolýzy povlaky převážně z mědi, zinku, niklu nebo chromu [20].

4.1.2 Chemické povlaky

Jednou z variant chemických povlaků je pasivování – vytvoření ochranné vrstvy oxidů na povrchu kovu v oxidačním prostředí. Většinou se jedná o lázeň. Vzniklá vrstva chrání kov před účinky koroze a zlepšuje jeho estetické vlastnosti. Ponořením do oxidační lázně kov nabývá černé barvy. Příkladem této metody je fosfátování – vznik 0,005 až 0,01 mm silného kovofofosfátového povlaku na povrchu odmaštěného kovu po 5 až 60 minutách v roztoku manganu nebo zinkofosfátu za teploty 100 °C. Nevýhodou fosfatizace je nutnost kombinace s jinými ochrannými vrstvami, jelikož sama o sobě neposkytuje dobrou odolnost vůči korozi. Mimoto se využívá metoda chromátování, u níž se kovová součást ponořuje do roztoku kyseliny chromové s teplotou 95 °C. Levnou variantou s nízkými nároky na ochranu kovu proti korozi je metoda černění, kde se v lázni za teploty 95 °C až 145 °C a působení solných roztoků tvoří tmavohnědá vrstva oxidů na ponořeném kovu [20].

4.2 Snížení agresivity klimatu

Tato metoda slouží k omezení vlivu agresivity prostředí na součást, která je tomuto prostředí vystavena. Mimo využití inertní atmosféry v uzavřených prostorech se využívá dvou způsobů ke snížení agresivity klimatu. První možnou metodou je aktivní vkládání látek, které redukuje korozní působení, do mikroklimatu. Příkladem zde může být impregnace obalového materiálu inhibitory koroze, jejichž plynná složka se adsorbuje na povrchu chráněného materiálu a vytváří tak ochranou vrstvu nebo zalkalizování vody vápnem [17], [20].

Další možností je odstranění složek způsobujících znehodnocování výrobku. Využívá se zde ohřev vzduchu za účelem snížení relativní vlhkosti pod nebezpečnou hodnotu. Ohřevu lze dosáhnout například teplotou z provozu elektrického stroje. Další možností je hermetizace obalu vybrané součásti, která zamezuje přístupu agresivních látek do klimatu, je však využitelná pouze pokud proběhla v prostředí bez agresivní atmosféry [17].

4.3 Nátěry

Nátěry se řadí do levnějších variant protikorozní ochrany s využitím především ve venkovním prostředí. Dříve se využívalo nátěrových hmot založených na lněném oleji a terpentýnu, dnes se lze setkat s grafitovým povlakem, avšak moderní nátěrové ochrany fungují na bázi alkydových olejových barev. U litiny se používá ku příkladu alkyd-uretanová barva s dobrou odolností vůči povětrnostním vlivům, která vyžaduje před svou aplikací odstranění korozních produktů z povrchu materiálu [18].

Nátěry se zpravidla aplikují v několika vrstvách, což má za následek redukcí pórovitosti chráněného materiálu a snížení přilnavosti použitého nátěru. Nátěrové ochrany jsou tvořeny základovým a vrchním povlakem a skládají se z filmotvorného a pigmentového pojiva, plniva a rozpouštědla. Aplikují se ručně štětcem, různými druhy stříkání nebo máčením. Schnutí nátěrů lze urychlit vyšší teplotou při procesu schnutí. Mezi nejběžnější nátěrové hmoty patří olejové, celulosové, lihové, syntetické, chlorkaučukové, asfaltové a emulzní nátěry. Olejové nátěry se využívají jako základové barvy pro ocel. Lihové nátěry jsou roztoky přírodních a syntetických pryskyřic v lihu, které dokáží rychle zasychat. Syntetické nátěry obsahují změkčovadla a vyznačují se odolností proti povětrnostním vlivům. Celulosové nátěry se využívají při stříkání karoserií automobilů, kdežto chlorkaučukovými nátěry se chrání kovové konstrukce vodních staveb. Asfaltovými nátěry se chrání beton vodních nádrží a emulzní nátěry jsou vhodné pro ochranu porézních materiálů [20].

4.4 Smalty

Jedná se o povrchovou úpravu, která je rozšířená u výrobků z litiny. Konkrétně se jedná především o nádoby či šperky. Metoda nanášení smaltu tkví v natavování sklovitého povlaku za zvýšené teploty (900 °C) v peci ke kovovému podkladu. Může následovat i druhá vrstva, vypalovaná při 800 °C s barvou pro zlepšení estetických vlastností. Předměty s touto ochranou se vyznačují odolností vůči korozi a stálobarevností, jsou však méně odolné mechanickému poškození, rázům a rychlým změnám teplot [18] [20].

4.5 Legování

V technické praxi se šedé a bílé litiny, které se vyznačují křehkostí a pórovitým povrchem, legují za účelem lepší zpracovatelnosti a zvýšení odolnosti proti korozi. Jedná se tedy o ovlivnění materiálu již ve výrobní fázi. Samotné legování (vylepšení vlastností pomocí příměsí dalších látek) se u litin provádí především chromem, niklem, molybdenem, hliníkem či křemíkem. Případné korozní napadení se u litin šíří podobnou rychlostí jako u konstrukčních ocelí. Mimoto se u litin projevuje selektivní koroze železa ve slitině, tzv. spongióza. Tento jev lze pozorovat především u zanedbaných součástí [16].

4.6 Inhibitory koroze

Inhibitory koroze jsou popisovány jako chemické látky zvyšující korozní odolnost, díky vytvoření ochranné vrstvy na povrchu kovu. Reagují s kovem a s okolím jemuž je kov exponován. Inhibitory lze dělit dle chemických funkcí na anodické, katodické a adsorpční [21].

4.6.1 Anodické inhibitory

Mezi zástupce anodických inhibitorů patří křemičitany, chromany, dusitany, benzoany a fosforečnany. Tyto látky svým působením zpomalují anodickou korozní reakci, jelikož zapříčiňují vznik nerozpustných produktů na povrchu, které povrch chrání před korozi. Anodické inhibitory se využívají především v neutrálních roztocích [21].

4.6.2 Katodické inhibitory

Katodické inhibitory brzdí katodickou depolarizační reakci. Příkladem mohou být polyfosforečnany či sloučeniny antimonu a arzenu [21].

4.6.3 Adsorpční inhibitory

Adsorpční inhibitory jsou většinou organické látky obsahující skupiny s dusíkem a sírou. Jejich předností je zpomalování katodické a anodické korozní reakce pomocí adsorpce na povrchu kovů. Běžným postupem je kombinování více druhů inhibitorů v prostředí s více kovy [21].

5. KOROZNÍ ZKOUŠKY

Z výzkumů vyplývá, že i přes neustále narůstající znalosti v oblasti korozní problematiky, a tudíž i určité možnosti předpovídat vlastnosti a chování materiálů při vystavení korozním účinkům, je stále nutné provádět experimenty pro získávání informací o odolnosti vůči degradačním účinkům koroze v materiálech. Tyto experimentální měření, prováděné v laboratorních či provozních podmínkách, lze označovat jako korozní zkoušky. Autoři dále uvádějí, že nelze použít jednu korozí zkoušku na všechny potřebné experimentální měření, jelikož se typ korozní zkoušky odvíjí od vlastností zkoumaného materiálu a prostředí a mnoho korozích zkoušek podléhá definovaným technickým normám [3].

Změny v mechanických vlastnostech, rozměrech, hmotnosti či vzhledu jsou jedny z pozorovaných parametrů při korozních zkouškách. Mimo jiné je věnována pozornost také závislosti proudu procházejícím kovovým předmětem na korozním potenciálu a jejich změnách v čase. Dále je kontinuálně sledována korozní rychlost a úbytek pomocí elektrochemických nebo odporových čidel a využívají se metody uplatňující akustická, radiační, indukční, odporová termografická či magnetická měření [3].

Jako nepřímé zkoušky se označují zkoušky, které se nevěnují zkoumání míry napadení vybraného materiálu či korozního úbytku. Tyto zkoušky se věnují ochranným povlakům, elektrickým odporem či mechanickými vlastnosti vzorku.

5.1 Korozní zkouška v solné mlze

Tato zkouška je považována za nejvíce rozšířenou variantu a provádí se dle normy ČSN EN ISO 9227. Tato zkouška je však limitována tím, že nedokáže simulovat průběh koroze, pouze určuje, zda může zkoumaný materiál korodovat. Zkoumaný vzorek je zde vystaven urychleným korodujícím podmínkám. Jedná se tedy o destruktivní metodu zkoušení [9].

Při této zkoušce dochází k opakovanému exponování vzorků v mlze chloridu sodného o koncentraci 5 hmotnostních % za teploty 35 °C. Mezi další možnosti této zkoušky patří zkouška v mlze chloridu sodného, který se okyseluje kyselinou octovou s možností přidání chloridu měďnatého [9].



Obrázek č.10 Kondenzační komora pro zkoušky solnou mlhou [8]

5.2 Korozní zkouška v kondenzační komoře

Jedná se o korozní zkoušky v kondenzačních komorách, kde lze provádět konstantní nebo cyklické korozní zkoušky. Zkoumaný vzorek je zde vystaven maximální vlhkosti. Pokud se jedná o komoru s vodou, tak se zkouška provádí dle normy ČSN 03 8131, kde se vzorky umísťují za teploty 40 °C do prostředí se 100 % vlhkostí. Varianta s oxidem siřičitým je poté řízena dle normy ČSN ISO 6988, kde dochází k přidání oxidu siřičitého do zkušební atmosféry [9]. V současnosti se lze již setkat s korozními komorami, které kombinují jak zkoušku v solné mlze, tak zkoušku kondenzační komory.

5.3 Atmosférické zkoušky

Atmosférické zkoušky mají svou podstatu ve vystavení zkušební vzorku všem myslitelným atmosférickým vlivům. Vzhledem k náročnosti zkoušek je třeba neustálé sledování parametrů okolního prostředí. Zde se jedná především o teplotu, sluneční záření, vlhkost, znečištění ovzduší, obsah chloridů a síranů. Dále atmosférické zkoušky odpovídají normě ČSN EN ISO 8565 a v závislosti na korozní odolnosti vybraných materiálů mohou trvat až desítky let. Nedochozí tu k urychlenému působení korozního poškození. [9]

5.4 Akustická emise

Metoda akustické emise je nedestruktivní metodou zkoušení koroze, která umožňuje detekovat vady materiálu jako pomocí piezoelektrických senzorů. Je obzvláště účinná díky

tomu, že nepoškozuje zkoumaný materiál a umožňuje studium materiálu přímo na místě neboli in site. Tvrdí se také, že je intenzita akustické emise spojena s dynamikou korozního procesu. Metoda akustické emise umožňuje detekci únavového poškození a při využití více snímačů přesnou lokalizaci korodujících částí materiálu, což je využitelné například u špatně dostupných oblastí zkoumaného materiálu. V současnosti se jedná o spolehlivou metodu pro provádění inspekci korodujících materiálů a konstrukcí. [10]

5.5 Elektrochemické zkoušky

Jelikož ke korozi kovů dochází především elektrochemickými procesy, které zahrnují oxidaci a redukci, jsou v technické praxi využity elektrochemické korozní zkoušky pro studium korozních jevů a hodnocení rychlosti šíření koroze. Zkoumané parametry elektrochemických zkoušek se odvíjí od typu jednotlivých zkoušek. Mezi ty nejdůležitější parametry patří rychlost korozního šíření, korozní proud a potenciál či polarizační odpor. Závislost změny korozního potenciálu měřeného vzorku za průchodu elektrického proudu je dalším sledovaným parametrem.

Zmíněné elektrochemické korozní testy se využívají především k hodnocení odolnosti materiálů vůči korozi a k optimalizaci ochranných povlaků a nátěrů. Volba správného elektrochemického korozního testu pak závisí na konkrétní aplikaci a požadovaných cílech hodnocení korozní odolnosti.

V současnosti se lze setkat například s polarizačním měřením, potenciodynamickým či potenciostatickým testem, elektrochemickou impedanční spektroskopií, měřením lineárního polarizačního odporu nebo galvanickým testem.

5.5.1 Potenciodynamický a potenciostatický test

Toto testování je založeno na pozorování proudové odezvy při nastavení potenciálu na testovaný vzorek materiálu, který slouží jako pracovní elektroda. Samotné testování může probíhat ve dvou režimech. Prvním režimem je potenciodynamický režim, kdy dochází ke krokové změně potenciálu na pracovní elektrodě během měření. Druhý, potenciostatický režim, který udržuje konstantní potenciál a sleduje změny proudu. Na začátku potenciodynamického testu dochází k nastavení záporného potenciálu na pracovní elektrodě (v řádu mV) pro průchod elektronů do roztoku. Nastavený potenciál se krokově navyšuje až do kladných hodnot, kde dochází k odčerpávání elektronů z roztoku [22].

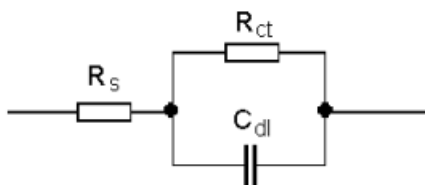
5.5.2 Tafelova analýza

Tafelova analýza využívá Tafelových směrnic, označovaných jako B_a a B_c což jsou parametry získané z Tafelových grafů. Vyznačují katodickou a anodickou oblast. Ty jsou grafickými znázorněními dat elektrochemické polarizace. V korozní vědě se Tafelovy směrnice využívají k určení rychlosti koroze kovu nebo slitiny. Tafelova směrnice je typicky vyjádřena v jednotkách voltů za dekádu (V/dec) a představuje změnu potenciálu za dekádu proudové hustoty. Extrapolace se provádí prodloužením lineárních částí Tafelových závislostí za hranice naměřených dat. Pomocí extrapolace je možné získat informace o proudu a potenciálu elektrody mimo dosah experimentálních měření.

5.5.3 Elektrochemická impedanční spektroskopie

Jedná se opět o metodu, u které se na pracovní elektrodu vkládá napětí a měří se proudová odezva. Sledovaným parametrem je tu především odpor roztoku, který je zobrazován ve formě impedance, jelikož se jedná o měření se střídavým napětím. Vyhodnocování naměřeného spektra se provádí pomocí sestavení ekvivalentního obvodu popisujícího systém. Tento obvod se skládá z kombinací sériových a paralelních prvků. Mezi využívané reálné prvky patří rezistor, který reprezentuje odpor roztoku R_s . Rezistor může také zastupovat odpor k přenosu náboje R_{ct} . Kapacita elektrické dvojvrstvy C_{dl} je poté reprezentována pomocí kondenzátoru. Mezi specifické elektrochemické prvky se řadí Wargurgova impedance popisující difuzně řízené procesy nebo člen konstantního fázového posunu [23].

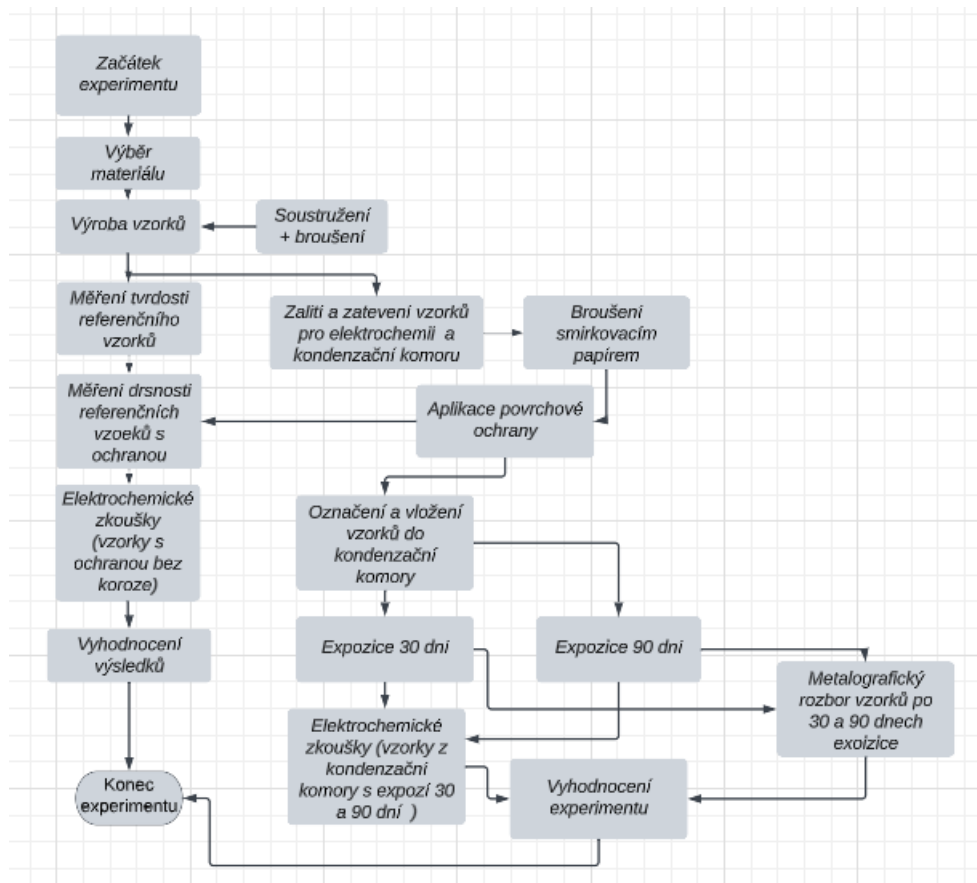
Nejjednodušším náhradním obvodem je Randlesova cela, která se skládá z paralelní kombinace kondenzátoru a odporu. Je zobrazená na Obrázku X. Význam jednotlivých prvků je popsán výše.



Obrázek č.11 Schématické znázornění elektrického obvodu pro Randlesovu celu [23]

6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část se skládá z výběru vhodného materiálu pro měření, následné přípravy testovacích vzorků, měření struktury a drsnosti povrchu na referenčním vzorku, výběru a nanesení povrchové ochrany u vybraných vzorků, provedení elektrochemických zkoušek, zkoušek v kondenzační komoře a vyhodnocování naměřených dat.



Obrázek č.12 Schéma postupu experimentu [vlastní tvorba]

6.1 Výběr materiálu pro experimenty

Pro zkoušení koroze v kondenzační komoře a elektrochemické zkušební metody koroze byla vybrána jako vhodný materiál litina s lupínkovým grafitem LLG/GJL, v literatuře známa také pod pojmem šedá litina, která má dobré slévárenské vlastnosti. Konkrétně byla vybrána varianta šedé litiny s označením GJL-250MnCuCr. Tato varianta litiny

s lupínkových grafitem je legována na vyšší tvrdost a pevnost, což může naznačovat i vyšší možnou odolnost vůči korozi. Její chemické složení je uvedeno v Tabulce č.1.

Tabulka č.1 Chemické složení vybrané šedé litiny GJL-250

Litina	Chemické složení šedé litiny [%]							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Sn
GJL-250	3,109	2,303	1,199	0,054	0,06	0,496	1,223	0,008
	Mg	Mo	Ni	Al	Co	V	Nb	Ti
	<0,005	0,011	0,042	0,005	0,006	0,011	0,014	0,009

6.1.1 Litina s lupínkovým grafitem

Obecně se uvádí, že litina je slitinou železa s uhlíkem a dalšími prvky jako například křemík, mangan či měď. Norma ČSN 42 0006 definuje litiny jako materiály, jejichž obsah uhlíku převyšuje nejvyšší možnou hodnotu rozpustnosti v austenitu, která je bez působení jiných prvků 2,11 %. Materiály s menším obsahem uhlíku norma definuje jako oceli [13].

U grafitických litin se využívá dělení dle tvaru vyloučeného karbidu. U šedé litiny je uhlík vylučován jako grafit či vázán jako karbid. Šedá litina LLG tvoří okolo 85 % hmotnosti všech litinových odlitků odlévaných na území ČR. Je tudíž nejčastější variantou odlévaných litin. Vyznačuje se především tím, že grafit, který obsahuje, vytváří prostorové útvary připomínající svým tvarem lupínky s ostrými konci. Tyto lupínky lze vidět na obrázku č.11, kde jsou znázorněny černou barvou. Dále tvar grafitu výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti litiny samotné, jako například pevnost, díky zmenšení nosného průřezu základní kovové hmoty. [11]

Šedá litina se upravuje pomocí očkování za účelem zlepšení její obrobitelnosti. Tento materiál se poté nazývá tvárná litina [17].



Obrázek č.13 Detail grafitových lupínků v LLG [11]

6.2 Příprava vzorků

6.2.1 Výroba vzorků

Prvním krokem při přípravě vzorků ze základního materiálu – opískovaného odlitku šedé litiny o délce 30 cm a průměru zvyšujícím se od 3 do 5 cm, byla výroba dvou druhů vzorků pomocí soustružení. Byly zhotoveny válečky o průměru 8 mm a délce 40 mm (obrázek č.12 vpravo) pro elektrochemické zkoušky a kondenzační komoru. Mimoto byla zhotovena i druhá sada vzorků o průměru 30 mm a délce 10 mm (obrázek č.12 vlevo) pro měření drsnosti a tvrdosti povrchu vybrané litiny s lupínkovým grafitem a měření koroze v kondenzační komoře.



Obrázek č.14 Vzorky pro testování po soustružení [vlastní zdroj]

6.2.2 Zalítí vzorků

Po měření tvrdosti na referenčním vzorku došlo k zalítí jedné strany vzorků určených pro elektrochemii a kondenzační komoru do formy pomocí dvousložkové metylakrylátové zalévací hmoty (50 ml prášek KEM 30 + 20 ml tvrdidlo KEM 30). Následovalo zatavení druhé strany vzorku pomocí smršťovací hadice s lepidlem (TE Connectivity ATUM-9/3-0). Čela takto připravených vzorků byla poté broušena na smirkovacím papíru o zrnitosti 600.



Obrázek č.15 Vzorky po zalití, zatavení a broušení [vlastní zdroj]

6.2.3 Aplikace povrchové ochrany a označení

Na vybrané zkušební vzorky byla také aplikována povrchová ochrana. Konkrétně se jednalo o vzorky pro elektrochemické měření před vystavením koroznímu působení v kondenzační komoře (celkem 4 vzorky) a po vystavení tomuto působení (celkem 8 vzorků, 2 korozní doby).

Dělení vzorků dle použité povrchové ochrany:

- 3x vzorek s nátěrem s inhibitory koroze Cortec VpCl-391 (3 vrstvy s mezdobou schnutí 24 hodin)
- 3x vzorek s chemickým niklem (niklovací lázeň, 85-95°C, 3x1 hodina, oplach destilovanou vodou)
- 3x vzorek s galvanickým zinkem (matný povlak podle [12], 6x20 minut, bez míchání, oplach destilovanou vodou)
- 3x vzorek bez ochrany povrchu

Vzorky byly také označeny štítky a to konkrétně:

- 00A, 00B, 00C, 00D – vzorky pro elektrochemii bez předchozí koroze
- 3A, 3B, 3C, 3D – vzorky pro kondenzační komoru na 30 dní expozice
- 4A, 4B, 4C, 4D – vzorky pro kondenzační komoru na 90 dní expozice

6.3 Měření tvrdosti

Pro detailnější představu o vlastnostech zkoumaného materiálu byly provedeny zkoušky tvrdosti na referenčním vzorku o průměru 30 mm a délce 10 mm. Daný vzorek byl nezkorodovaný a čistý, tedy nebyla na něj aplikována povrchová ochrana. Čela (podstavy) tohoto vzorku byly broušeny jemným smirkovacím papírem. Konkrétně se u měření tvrdosti jednalo o zkoušky tvrdosti dle Brinella, Rockwella a Vickerse. Výsledky těchto měření lze vidět v Tabulce č. 2.

Při porovnání výsledných hodnot dle převodních tabulek lze usuzovat, že jednotlivé výsledky pro tvrdost odpovídají s jistou odchylkou předpokládaným hodnotám pro šedou litinu. Mimoto se drží v limitech tvrdosti HB udávané v literatuře [11].

Tabulka č.2 Hodnoty z měření tvrdosti na referenčním vzorku

Litina	Tvrdost dle		
	Brinella [HB]	Rockwella [HRB]	Vickerse [HV10]
GJL-250	190	102	223



Obrázek č.16 Tester tvrdosti HR-150A (vlevo) a poldi kladívko a etalon pro měření tvrdosti dle Brinella (vpravo) [vlastní foto]

6.4 Měření drsnosti

Měření drsnosti povrchu bylo prováděno na stejném referenčním vzorku, který byl předtím podroben zkouškám tvrdosti a také na 4 vzorcích určených k elektrochemickým zkouškám (3 s povrchovou ochranou, 1 bez ochrany). Pro měření samotné byl využit 3D laserový optický skenovací mikroskop *Olympus Lext OLS4100* s otočnou hlavicí s objektivy při zvětšení 50x. U referenčního vzorku bylo měření provedeno na čele (podstavě) i boku referenčního vzorku válcovitého tvaru a hlavním sledovaným parametrem byla především průměrná aritmetická úchylka profilu R_a , jejíž průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č.3. Obrázek č.15 zase zobrazuje skenovací mikroskop během snímání referenčního vzorku. U vzorků pro elektrochemii došlo k měření pouze čela (podstavy) z důvodu fixace vzorků v zalévací hmotě. Hodnoty pro tyto vzorky jsou v tabulce č.4.



Obrázek č.17 Olympus Lext OLS4100 při snímání referenčního vzorku [vlastní foto]

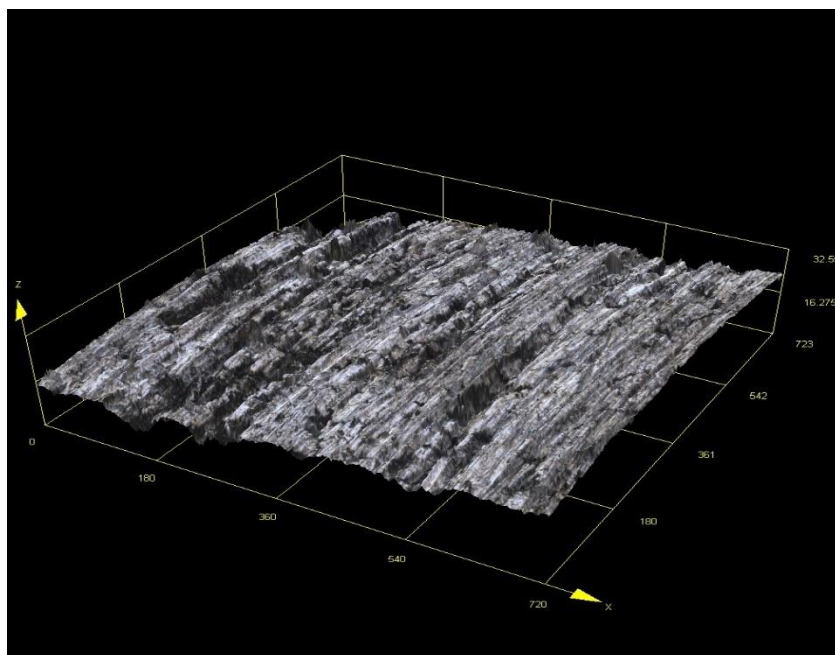
6.4.1 Drsnost referenčních vzorků

Výsledné hodnoty R_a pro plochu referenčního vzorku jsou značně ovlivněny postupem při výrobě vzorků, kdy došlo k procesu soustružení. Průměrná aritmetická úchylka profilu R_a pro bok referenčního vzorku odpovídá běžně dosažitelné tabulkové hodnotě. U hodnot R_a čela zkoumaného vzorku se uplatňuje nejen soustružení, ale také broušení vzorku na jemném brusném papíru, což vysvětluje nižší průměrnou hodnotu tohoto parametru. [15]

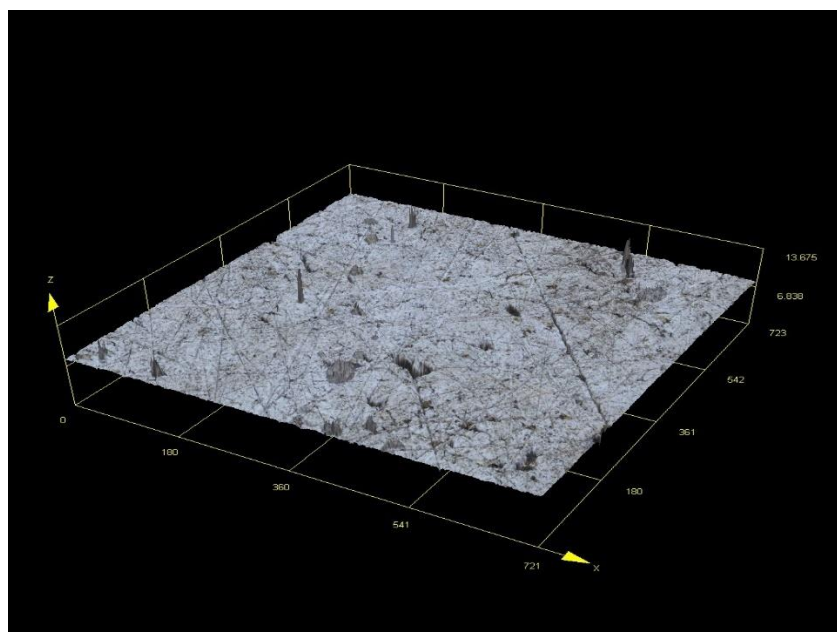
Obrázek č.18 představuje 3D zobrazení boku referenčního vzorku. Naopak obrázek č.19 zobrazuje čelo (podstavu) válcovitého referenčního vzorku. Z obou obrázků si lze udělat představu o drsnosti povrchu zkoumaného vzorku. Je možno předpokládat, že se případné korozní napadení bude šířit zejména v trhlinách testovaných vzorků, jelikož nerovnosti na povrchu materiálu hrají důležitou roli při šíření koroze.

Tabulka č.3 Hodnoty z měření R_a na referenčním vzorku

Litina	Průměrná aritmetická úchylka profilu R_a , rozlišení 50x [μm]	
GJL-250	Bok	Čelo
	1,628	0,853



Obrázek č.18 Bok referenčního vzorku – v 3D grafu [vlastní foto]



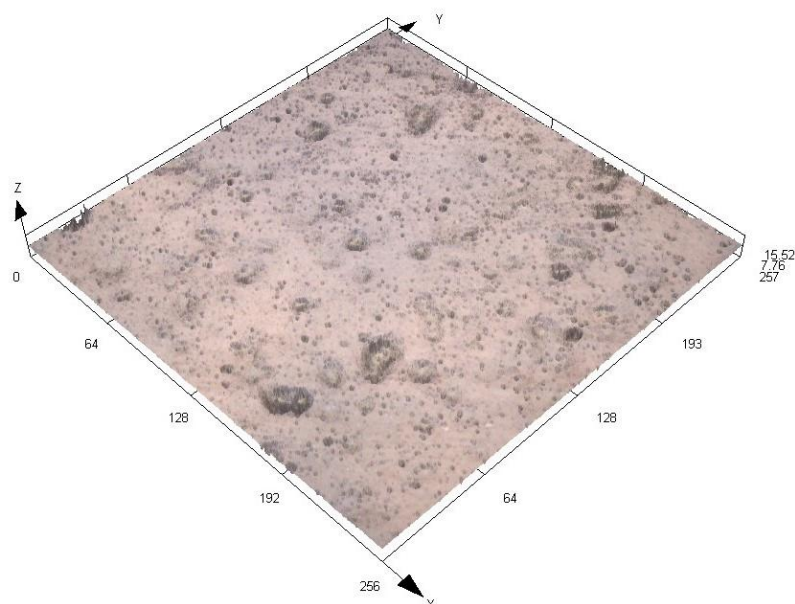
Obrázek č.19 Čelo referenčního vzorku – v 3D grafu [vlastní foto]

6.4.2 Drsnost vzorků pro elektrochemické zkoušky

V naměřených hodnotách průměrné aritmetické úchylky Ra pro vzorky určené na elektrochemické zkoušky je patný vliv důkladného broušení a leštění, což vyústí v hodnoty nižší než u referenčního vzorku. Následné 3D grafy drsnosti povrchu poté demonstřují vliv aplikace povrchových ochranných vrstev na drsnost povrchu.

Tabulka č.4 Hodnoty z měření Ra na vzorcích pro elektrochemické zkoušky

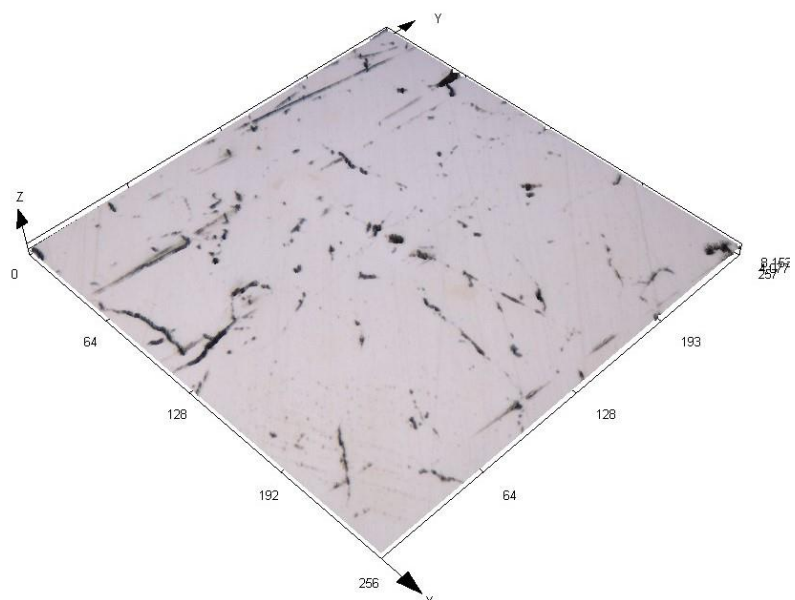
Litina	Průměrná aritmetická úchylka profilu Ra, rozlišení 50x [μm]			
GJL-250	Nátěr Cortec VpCl-391	Chemický nikl	Galvanický zinek	Bez ochrany povrchu
	0,342	0,082	0,780	0,037



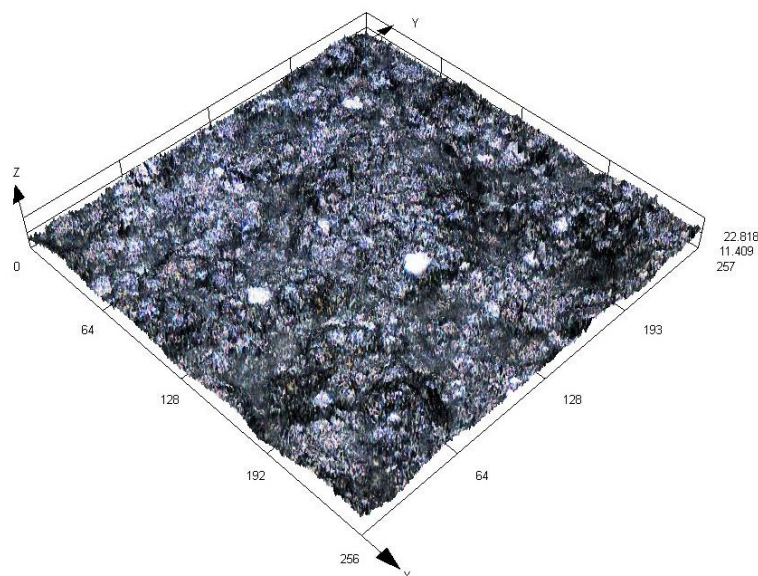
Obrázek č.20 Čelo vzorku s nátěrem – v 3D grafu [vlastní foto]



Obrázek č.21 Čelo vzorku s chemickým niklem – v 3D grafu [vlastní foto]



Obrázek č.22 Čelo vzorku bez nátěru – v 3D grafu [vlastní foto]



Obrázek č.23 Čelo vzorku s galvanickým zinkem – v 3D grafu [vlastní foto]

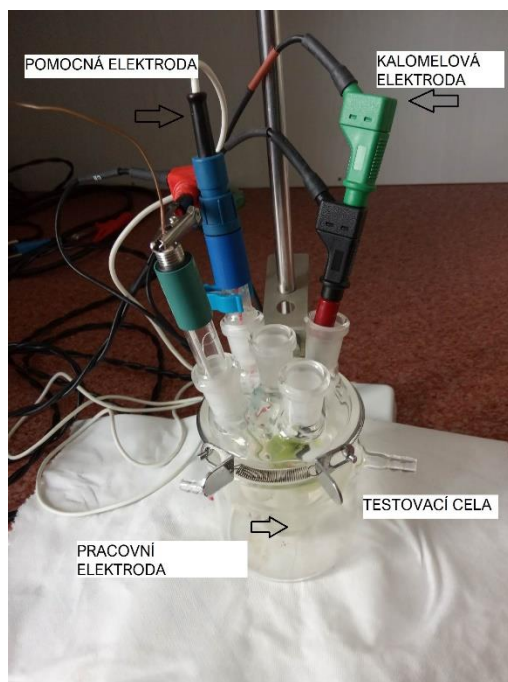
6.5 Elektrochemické zkoušky

Snahou u elektrochemických zkoušek bylo nalezení vhodných českých či mezinárodních norem, které by definovaly postup tohoto měření. Nicméně rešerše prokázala nedostatek vhodných českých a mezinárodních norem pro požadované měření. Příkladem je norma ČSN EN ISO 17475 pro provádění potenciostatických a potenciodynamických polarizačních měření, která poskytuje pouze obecný popis kroků, které by mělo měření splňovat [13].

Pro provedení elektrochemických zkoušek byla vybrána americká norma ASTM G 5-94, která je určena pro měření potenciodynamické anodické polarizace. Specifikuje postup měření a udává možné způsoby zapojení [14]. Zároveň probíhalo i měření elektroimpedanční spektroskopie EIS. Jako elektrolyt byl zvolen roztok síranu sodného Na_2SO_4 o 5 hmotnostních procentech s destilovanou vodou. Měření probíhalo v potenciodynamickém režimu v rozsahu napětí mezi -30 mV až +30 mV s nulovým počátečním potenciálem. Během měření byla udržována konstantní pokojová teplota panující v laboratoři, 23°C. Výsledky měření byly zaznamenávány pomocí potenciostatu s programem XM studio ECS. Probíhalo také měření Tafelových směrnic, které poskytly údaje o rychlosti šíření koroze.

Obrázek č.24 znázorňuje princip zapojení během elektrochemických zkoušek. Bylo využito 3 elektrodové zapojení. Zkoumaný vzorek má funkci pracovní elektrody,

označované jako WE (working electrode).

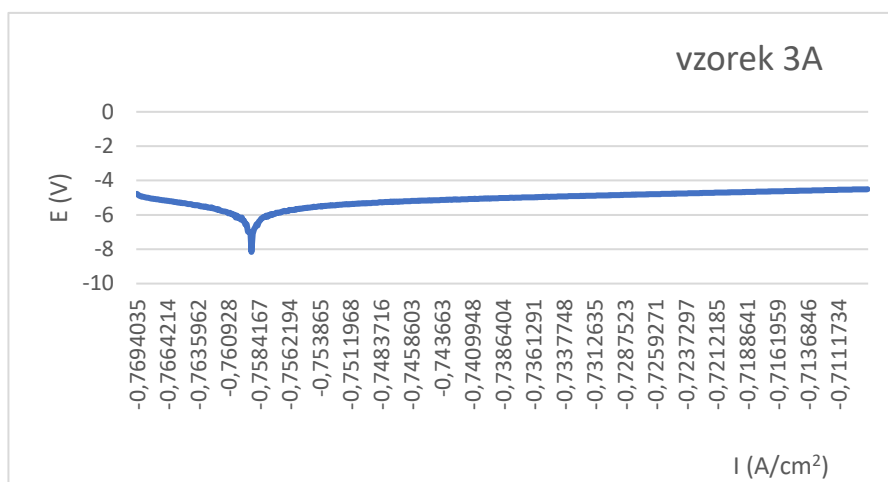


Obrázek č.24 Zapojení při měření [vlastní foto]

6.5.1 Výsledky elektrochemických zkoušek

Výsledky Tafelovy analýzy

Hodnoty v následujících tabulkách byly zjištěny extrapolací z Tafelových grafů. Příklad sestrojeného Tafelova grafu vzorku 3A lze vidět na obrázku č. 25



Obrázek č.25 Příklad Tafelova grafu pro vzorek 3A[vlastní foto]

Tabulka č.5 Hodnoty parametrů Tafelovy analýzy pro vzorky bez předchozí koroze

Veličina	Vzorek			
	čistý - 00	Barva VPCI 391-00 B	Galvanický zinek – 00 C	Chemický nikl – 00 D
Ba (mV/dec)	47,7	110,6	40,12	29,13
Bc (mV/dec)	-479,2	-93,29	-22,74	-22,22
Io (A/cm²)	$1,26 \cdot 10^{-5}$	$1,115 \cdot 10^{-9}$	$9,052 \cdot 10^{-6}$	$2,613 \cdot 10^{-6}$
Eo (V)	-0,6355	0,00145	-1,15	-0,5365

Tabulka č.6 Hodnoty parametrů Tafelovy analýzy pro vzorky exponované 30 dní v kondenzační komoře

Veličina	Vzorek			
	čistý – 3A	Barva VPCI 391-3B	Galvanický zinek – 3C	Chemický nikl – 3D
Ba (mV/dec)	59,21	114,6	136,5	158,6
Bc (mV/dec)	-19,37	-123,9	-30,72	-117,3
Io (A/cm²)	$8,874 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-10}$	$6,106 \cdot 10^{-6}$	$9,201 \cdot 10^{-6}$
Eo (V)	-0,7593	0,03049	-0,9203	-0,6465

Tabulka č.7 Hodnoty Tafelovy analýzy pro vzorky exponované 90 dní v kondenzační komoře

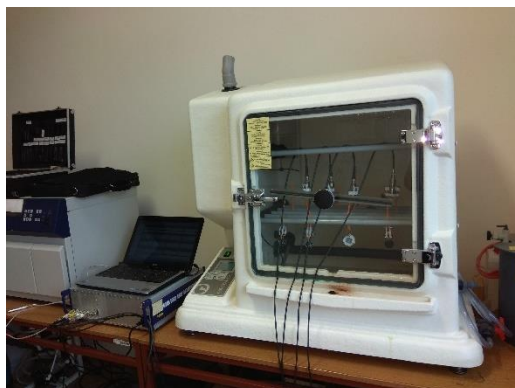
Veličina	Vzorek			
	čistý – 4A	Barva VPCI 391-4B	Galvanický zinek – 4C	Chemický nikl – 4D
Ba (mV/dec)	103,1	125,9	82,52	141,9
Bc (mV/dec)	-14,77	-106,1	-43,98	-109,3
Io (A/cm ²)	4,118*10 ⁻⁵	3,354*10 ⁻¹⁰	1,791*10 ⁻⁵	1,753*10 ⁻⁵
Eo (V)	-0,7457	-0,06021	-0,7194	-0,681

6.6 Zkouška v kondenzační komoře

Dvě sady označených vybraných testovacích vzorků (3 s ochranou, 1 bez ochrany) byly vloženy a upevněny držáky do kondenzační komory *Liebisch Constanco* s objemem 300 l pro simulaci korozního působení. Jedna s plánovanou expozicí na 30 dní, druhá na 90 dní. Během měření byla udržována konstantní teplota 23°C. Cílem této zkoušky je především simulovat zrychlené působení degradačního vlivu koroze na vybrané vzorky šedé litiny a zhodnotit účinnost aplikovaných povrchových ochran.



Obrázek č.26 Upevněné vzorky v kondenzační komoře [vlastní foto]



Obrázek č.27 Použitá kondenzační komora [vlastní foto]

6.7 Metalografický rozbor

K posouzení korozního napadení bylo využito metalografického rozboru, při kterém došlo k rozříznutí vzorků přibližně v jejich polovině (kolmo na vizuálně pozorovaná místa s korozním napadením). Pro vyhodnocování byla použita jen jedna polovina řezu.

Plochy všech zkoumaných vzorků byly relativně hladce obrobena a s přibližně stejnou mírou korozního napadení způsobeného korozní zátěží. Zkoumané vzorky se silným korozním napadením nebyly zbaveny oxidické vrstvy na povrchu pomocí odmořování. Tento krok byl učiněn pro možnost posouzení rozsahu oxidické vrstvy, a to i za cenu jejího částečného vydrolování a vyvzlínávání leštících smáčedel. Dále došlo ke standardnímu vybroušení a vyleštění vzorků šedé litiny, které byly předtím zalisovány do plastické hmoty. Pro pozorování a fotodokumentaci byl využit metalografický mikroskop Neophot 32 a digitální fotoaparát Canon EOS 4000D.

Hlavním zkoumaným parametrem metalografického rozboru byla především hloubka korozního napadení vzorků, která byla měřena počítačím modulem při 200x zvětšení. Výsledné naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány pomocí SW STADAT, kde došlo ke srovnání vzájemně porovnatelných parametrů zkoumaných vzorků pomocí testu pro dvojici souborů. Konkrétně se jednalo o F-test pro rozptyly a T-test pro střední hodnoty.

Mimoto se metalografický rozbor zaměřil na hodnocení tloušťky zachovalých povrchových vrstev korozních produktů a jejich šířku. Dále bylo hodnoceno také poškození nanesených povrchových ochranných vrstev. Zde se jednalo o místa bez Ni povlaku, u Zn povlaku pak změna a úbytek tloušťky Zn oproti výchozímu stavu vzorků. U vzorků opatřených protikorozním nátěrem nedošlo k vyhodnocování úbytku povrchové ochrany.

kvůli povaze samotného nátěru. Tento nátěr byl poškozen již během řezání a zalisování vzorku.

Tabulka č.8 popisuje označení vzorků pro kondenzační zkoušku a následné vyhodnocování

Tabulka č.8 Značení vzorků pro kondenzační zkoušku

Doba korozní zátěže	Povrchová ochrana	Označení vzorku
Výchozí stav	Bez ochrany	-
	Nátěr Cortec VpCl-391	-
	Zn povlak	-
	Ni povlak	-
1 měsíc	Bez ochrany	1A
	Nátěr Cortec VpCl-391	1B
	Zn povlak	1C
	Ni povlak	1D
3 měsíce	Bez ochrany	2A
	Nátěr Cortec VpCl-391	2B
	Zn povlak	2C
	Ni povlak	2D

6.7.1 Makroskopický rozbor

Výchozí stav

Obrázky č. 28 a 29 zobrazují výchozí stav vzorků před vložením do kondenzační komory *Liebisch Constanco*. Lze pozorovat kovově lesklý povrch šedé litiny a dále také nazelenalý nátěr na šedé litině na Obr X. Mimoto také nerovný hrbolatý povrch zinkového povlaku, lesklý a světlo odrážející povrch chemického niklu se jeví jako tmavý díky odražení světla.



Obrázek č.28 Šedá litina bez ochrany vlevo a šedá litina s nátěrem vpravo [vlastní foto]



Obrázek č.29 Pozinkovaná šedá litina vlevo a poniklovaná šedá litina vpravo [vlastní foto]

Po 30 dnech

Na dalších obrázcích lze pozorovat stav povrchu vzorků po 30 dnech působení koroze v kondenzační komoře. Obrázek X znázorňuje povrch šedé litiny bez ochrany, na kterém je patrné celoplošné poškození a také šedou litinu s nátěrem, u které zřejmě došlo k porušení nátěru a korozi pod ním, jelikož je část plochy čela již zbarvena do hněda. Na dalším obrázku lze pak pozorovat pozinkovaný vzorek s bílou korozí Zn a také vzorek s vrstvou niklu, která se zdá být zachována, avšak již se skvrnami značící narušení povlaku.



Obrázek č.30 Šedá litina bez ochrany vlevo 1A a šedá litina s nátěrem 1B (30 dní kondenzační komora) [vlastní foto]



Obrázek č.31 Šedá litina s povlakem Zn 1C vlevo a šedá litina s povlakem Ni 1D vpravo (30 dní kondenzační komora) [vlastní foto]

Po 90 dnech

U vzorků, které byly vystaveny korozním vlivům kondenzační komory po 90 dní je patrné, že došlo ke zintenzivnění rozvoji koroze u vzorků s nátěrem a Ni povlakem v porovnání se vzorky s vystavením po dobu 30 dní. Došlo také ke zvýšení rozsahu bílé koroze u vzorku se Zn povlakem, nicméně doposud není evidentní koroze základního materiálu.



Obrázek č.32 Šedá litina bez ochrany 2A vlevo a šedá litina s nátěrem 2B vpravo (90 dní kondenzační komora) [vlastní foto]

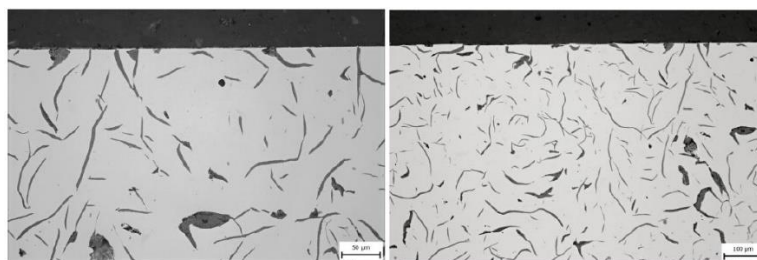


Obrázek č.33 Šedá litina s vrstvou Zn 2C vlevo a šedá litina s vrstvou Ni 2D vpravo (90 dní kondenzační komora) [vlastní foto]

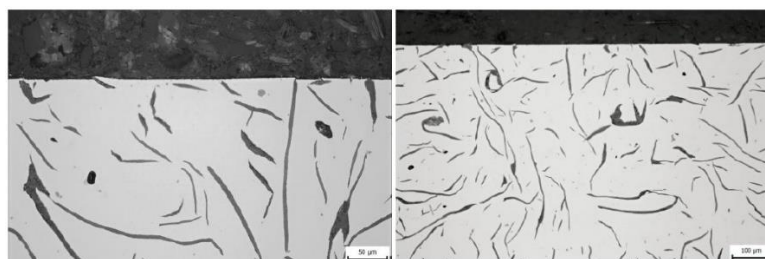
6.7.2 Metalografický rozbor

Výchozí stav

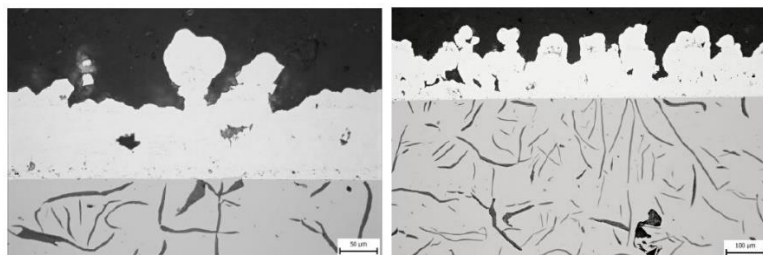
Základní materiál vybrané šedé litiny s lupínkovým grafitem byl hladce obroben s drobnými povrchovými nerovnostmi, které jsou v některých případech zapříčiněny strukturou materiálu – vybíháním grafitických útvarů k povrchu. Povrch základního materiálu také nevykazoval známky koroze. U vzorků s ochranným nátěrem si lze všimnout poškození nátěru způsobeného během přípravy vzorků. Detail vzorku se Zn povlakem ukazuje na velmi členitý a hrbolatý povrch tohoto povlaku. Detail povlaku chemického niklu prokazuje, že je dvouvrstvý, naprosto hladký a s dobrou přilnavostí k základnímu materiálu. Poměr vrstev je přibližně 50/50.



Obrázek č.34 Detail struktury šedé litiny bez ochrany [vlastní foto]



Obrázek č.35 Detail struktury šedé litiny s nátěrem [vlastní foto]



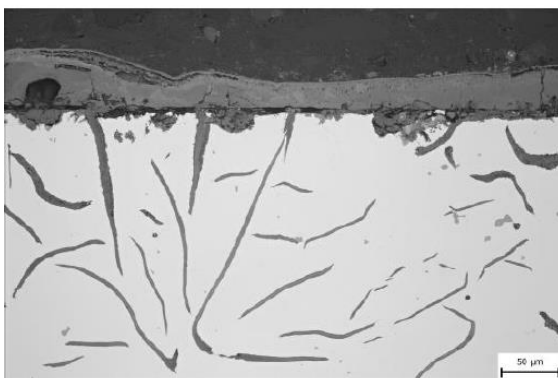
Obrázek č.36 Detail struktury šedé litiny s povlakem Zn [vlastní foto]



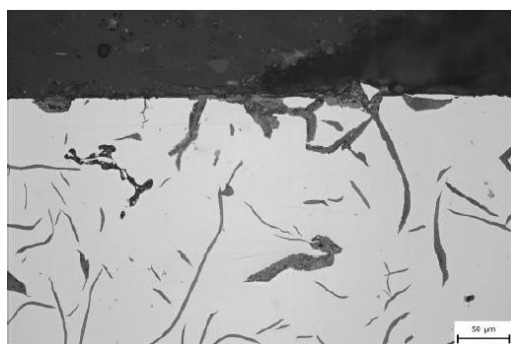
Obrázek č.37 Detail struktury šedé litiny s povlakem Ni [vlastní foto]

Po 30 dnech

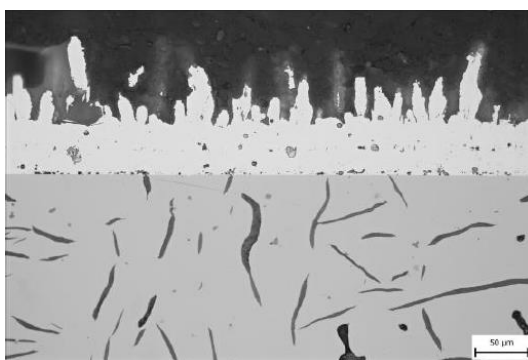
Ze snímků je patrné, že u nechráněného vzorku šedé litiny došlo k intenzivnímu koroznímu napadení. Lze pozorovat plošnou korozi a také korozi směřující do hloubky v okolí grafitických lamel – důlky a body. Povrch šedé litiny chráněný barvou se jeví zachovalejší, v určitých místech je však možné pozorovat důlkové korozní napadení i počátky rozvoje plošné koroze. Detail vzorku se Zn povlakem prokazuje postupné odkorodování špiček Zn povlaku chránícího povrch základního materiálu, který zatím nekoroduje. Detailu vzorku s Ni povlakem odhaluje princip prokorodování Ni povlaku, kdy patrně dochází ke vzniku příčných trhlin v povlaku a přes ně k průniku korozní atmosféry na rozhraní litina/povlak.



Obrázek č.38 Detail struktury šedé litiny bez ochrany 1A (po 30 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]



Obrázek č.39 Detail struktury šedé litiny s nátěrem 1B (po 30 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]



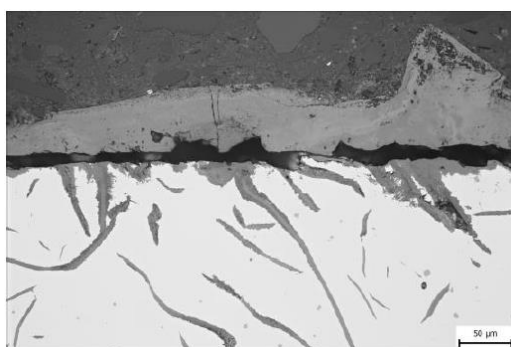
Obrázek č.40 Detail struktury šedé litiny se Zn povlakem 1C (po 30 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]



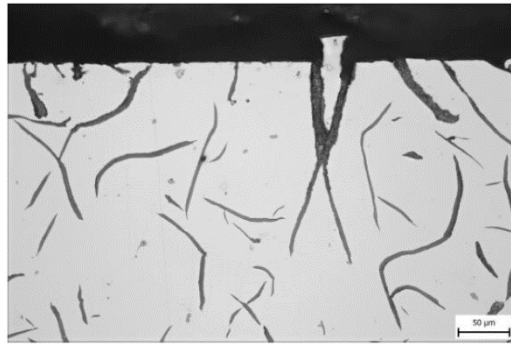
Obrázek č.41 Detail struktury šedé litiny se Ni povlakem 1D (po 30 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]

Po 90 dnech

Detail vzorku šedé litiny bez ochrany po 90 dnech v kondenzační komoře dále poukazuje na šíření do hloubky podél grafitických zrn. Rozsah koroze je pochopitelně větší než u vzorku s dobou expozice 30 dní. Delší korozní doba hraje roli i u vzorku s nátěrem, který prokazatelně koroduje pod nátěrem. U vzorku se Zn povlakem došlo k dalšímu úbytku ochranné Zn vrstvy, avšak ke korozi samotného základního materiálu ještě nedochází. U vzorku s Ni povlakem dochází k podkorodování a popraskání povlaku, což vede k rozšíření důlkové a plošné koroze. K nejintenzivnějšímu koroznímu napadení tu dochází na hraně vzorku.



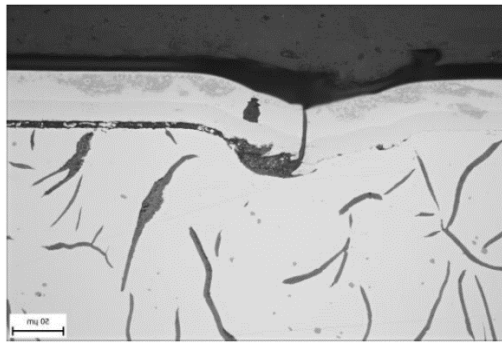
Obrázek č.42 Detail struktury šedé litiny bez ochrany 2A (po 90 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]



Obrázek č.43 Detail struktury šedé litiny s nátěrem 2B (po 90 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]



Obrázek č.44 Detail struktury šedé litiny s povlakem Zn 2C (po 90 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]



Obrázek č.45 Detail struktury šedé litiny s povlakem Ni 2D (po 90 dnech v kondenzační komoře) [vlastní foto]

6.7.3 Měření parametrů korozního napadení

V závislosti na rozsahu způsobu a intenzity korozního napadení byly u různých vzorků měřeny některé společné, ale i některé odlišné parametry charakterizující korozní napadení.

U nijak nechráněného povrchu šedé litiny byla měřena:

- tloušťka vrstvy oxidických produktů plošné koroze (+ celková délka osového řezu povrchem čela s plošnou korozí),
- hloubka korozního napadení v okolí grafitických lamel jednak v místech korozního napadení u „shluků lamel“ (zde náhodně u krátkých/mělkých i dlouhých/hlubokých lamel), jednak i u všech ojediněle se vyskytujících lamel.

U povrchu vzorků ŠL chráněných nátěrem byly měřeny stejné parametry + orientačně i tloušťka nátěru.

U povrchu vzorků ŠL chráněných Zn povlakem byla měřena hloubka koroze podél grafitických lamel (pokud se vyskytovala) + tloušťka Zn povlaku.

U povrchu vzorků ŠL chráněných Ni povlakem byla (kromě tloušťky Ni povlaku) měřena:

- celková délka poškození Ni povlaku (místa s porušením celistvosti v rozhraní povrch základního materiálu vs. povlaku a místa s úplným odlomením povlaku),
- hloubka trhlin v povlaku,
- tloušťka a šířka útvarů povrchové koroze či korozních důlků v oblastech poškození Ni povlaku
- hloubka koroze podél grafitických lamel (pokud se vyskytovala).

Tabulka č.9 poskytuje data o stavu ochranných povlaků před a po korozní zátěži i rozsahu plošného korozního napadení povrchu vzorků. Dle naměřených hodnot vyplývá z tabulky, že během zalisování vzorků došlo k poškození ochranného nátěru. Dále došlo po kratší i delší korozní zátěži k poškození Ni povlaku v podobném rozsahu. Prodloužení doby koroze zátěže mělo nepříznivý vliv na rozsah korozního napadení u nátěru a Ni povlaku. U nechráněného povrchu šedé litiny je rozsah korozního napadení stejný.

Tabulka č.9 Stav ochranných povlaků a rozsah povrchového korozního napadení (měřeno na povrchu jednoho čela vybraného osového řezu; 25 mm)

Označení vzorku	Stav povrchové ochrany	Délka oblastí s plošnou korozí
ŠL bez ochrany	-	-
1A	-	21,480 mm
2A	-	21,380 mm
ŠL s barvou	11,250 mm nátěru	
1B	10,300 mm bez nátěru	990 μ m
2B	7,750 mm bez nátěru	1840 μ m
ŠL se zinkem	Cca 10 μ m bez povlaku	
1C	Nepoškozený povlak	-
2C	Nepoškozený povlak	-
ŠL s niklem	Nepoškozený povlak	
1D	14,280 mm nespojitost, 3,600 mm odloupenutí	280 μ m
2D	14,680mm nespojitost, 4,520 mm odloupenutí	1320 μ m

Tabulka č.10 uvádí hodnoty tloušťky ochranné barvy, které se vyznačují vysokým rozptylem hodnot. To mohlo být ovlivněno již samotnou přípravou vzorků, konkrétně lisováním. Dále lze z hodnot vypočítat zjevný úbytek Zn povlaku během korozní zátěže. U Ni povlaku je naopak povlak ve stavu před korozní zkouškou statisticky významně tenčí než po korozní zátěži, což ale souvisí s procesem niklování, nikoliv koroze

Tabulka č.10 Vybrané číselné parametry tloušťky ochranných povlaků na hodnocených vzorcích (čelo vzorku)

Označení vzorku	Počet měření (ks)	Minimum	Medián	Q80*	Maximum	Var.koef. ** (%)	$\bar{x} \pm s_x$
ŠL s nátěrem	10	73,2	112,2	151,2	292,7	54,1	140,0 \pm 75,8
1B	18	19,5	63,4	97,6	126,8	49,8	68,6 \pm 34,1
2B	10	43,9	104,9	243,9	439,0	83,3	169,3 \pm 141,0
ŠL s povlakem Zn	30	0	90,3	107,3	204,9	54,0	87,0 \pm 47,0

1C	38	9,8	48,8	73,2	131,7	50,1	51,2 ±25,7
2C	36	4,9	29,3	34,2	92,7	57,1	33,9 ±19,3
ŠL s povlakem Ni	10	29,3	34,2	34,2	36,6	7,5	33,7 ±2,5
1D	10	31,7	48,8	48,8	58,5	12,7	46,9 ±6,0
2D	10	34,2	48,8	53,7	53,7	11,5	48,8 ±5,6

Z tabulky č. 11 je patrné, že nechráněný povrch ŠL nevykazuje prokazatelný statistický rozdíl v tloušťce povrchové koroze po kratší a delší době korozní zátěže (zejména kvůli značnému rozptylu dat, tendence k nárůstu tloušťky s dobou expozice je ale zřejmá). Mimoto u povrchu chráněného nátěrem došlo při delší době expozice ke statisticky významnému nárůstu tloušťky korozních zplodin. Dále u povrchu chráněného Ni povlakem nedošlo při delší době expozice ke statisticky významnému nárůstu tloušťky korozních zplodin. U Zn povlaku nedošlo ke vzniku plošné koroze základního materiálu šedé litiny vůbec. Při kratší době expozice byla tloušťka vzniklých korozních produktů statisticky významně nižší u ochranného nátěru než u nechráněného povrchu ŠL; totéž platí i pro Ni povlak, při delší době expozice byla tloušťka vzniklých korozních produktů statisticky významně nižší při ochraně Ni povlakem než u nechráněného povrchu ŠL; u ochranného nátěru ale už bylo napadení plošnou korozí srovnatelné.

Tabulka č.11 Statistické posouzení rozdílů tloušťky ochranných povlaků na hodnocených vzorcích (čelo vzorku)

Srovnávané vzorky	Rozdíl středních hodnot \bar{x} (μm a %*)		F a T test (IS 95%) pro střední délku oblastí s tlustšími oxidy na rozhraní Cu vs. Al	
			Rozptyl	Střední hodnota
Zn vs. 1C	36,0	41,4	Liší se	Liší se
Zn vs. 2C	53,1	61,0	Liší se	Liší se
1C vs. 2C	17,3	33,8	Liší se	Liší se
Ni vs. 1D	-13,2	-39,2	Liší se	Liší se
Ni vs. 2D	-15,1	-44,8	Liší se	Liší se
1D vs. 2D	-1,9	-4,1	se neliší	se neliší

Tabulka č.12 Vybrané číselné parametry hloubky koroze (koroze podél grafitických lamel) na hodnocených vzorcích (čelo vzorku)

Označení vzorku	Počet měření (ks)	Minimum	Medián	Q80*	Maximum	Var.koef. ** (%)	$\bar{x} \pm s_x$
ŠL bez ochrany	-	-	-	-	-	-	-
1A	29	19,5	68,3	78,1	112,2	38,3	63,1 ±24,1
2A	23	63,4	97,6	122,2	195,1	31,4	100,5 ±31,6
ŠL s barvou	-	-	-	-	-	-	-
1B	8	19,5	48,8	63,4	73,2	36,0	50,0 ±18,0
2B	15	29,2	73,2	122,0	136,6	48,0	81,0 ±38,9
Zn	-	-	-	-	-	-	-
1C	-	-	-	-	-	-	-
2C	2	9,8	9,8	9,8	9,8	0	9,8 ±0
Ni	-	-	-	-	-	-	-
1D	-	-	-	-	-	-	-
2D	8	14,6	36,6	48,8	13,7	78,6	47,6 ±37,4

Tabulka č.13 Statistické posouzení rozdílů hloubky koroze (koroze podél grafitických lamel) na hodnocených vzorcích (čelo vzorku)

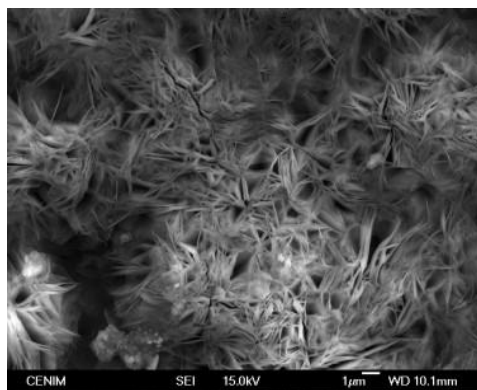
Srovnávané vzorky	Rozdíl středních hodnot \bar{x} (μm a %*)		F a T test (IS 95%) pro střední délku oblastí s tlustšími oxidy na rozhraní Cu vs. Al	
			Rozptyl	Střední hodnota
1A vs. 2A	-37,4	-59,3	se neliší	Liší se
1B vs. 2B	-31,0	-62,0	Liší se	Liší se
1A vs. 2A	13,1	20,8	se neliší	se neliší
2A vs. 2B	19,5	19,4	se neliší	se neliší
2A vs. 2C	90,7	90,2	Nelze určit	Nelze určit
2A vs. 2D	52,9	52,6	se neliší	Liší se

Výsledky měření hloubky koroze podél grafitických lamel jsou uvedeny v tabulce č. 10, z níž je patrné, že: delší doba korozní zátěže vede u nechráněného povrchu ŠL ke statisticky významně vyšší hloubce korozního napadení než kratší expozice, totéž lze říci i o ochranném nátěru, při kratší obě expozice lze pozorovat tendence k vyšší hloubce napadení u nechráněného povrchu ve srovnání s ochranným nátěrem, totéž platí i pro delší dobu zátěže, při delší době expozice je hloubka korozního napadení u vzorku s Ni povlakem statisticky významně nižší než u nechráněného povrchu, u Zn povlaku u tomto nelze statisticky rozhodnout kvůli malému počtu napadených míst u vzorku s Zn povlakem, ale hloubka napadení je o řád nižší než u nechráněného povrchu.

6.7.4 Srovnání s výzkumem

Kondenzačním zkouškám se věnoval například výzkum, který studoval rychlost koroze hořčíkových slitin AZ31 a AZ61 vystavených vlhkému vzduchu za podmínek nepřetržité kondenzace. Pro provedení tohoto výzkumu zvolili hořčíkové slitiny AZ31 a AZ61 s téměř 3 % a 6 % Al. Výzkum zahrnoval vzorky s původním povrchem a další, které byly před podrobením testu kondenzace vlhkosti mechanicky leštěny. Korozní testy byly provedeny v kontinuální kondenzační komoře, QCT Model ADO, a byly provedeny podle mezinárodní normy ISO 6270-1:1998(E). Výzkum využil kondenzaci na kovovém povrchu při teplotě asi 23 °C. Proces koroze byl proveden vystavením vzorků kontinuálnímu kondenzačnímu testu po dobu 1, 7, 15, 30, 45 a 60 dnů.

Z výzkumu vyplynulo, že v sérii testů se vzorky AZ31 a AZ61 má rychlost napadení tendenci se snižovat jako funkce času, což naznačuje určité ochranné působení rostoucí vrstvy korozního produktu. Výzkum také prokázal citlivost růstových charakteristik vrstvy korozního produktu na náhodné drobné odchylky v procesu jejich tvorby [25].

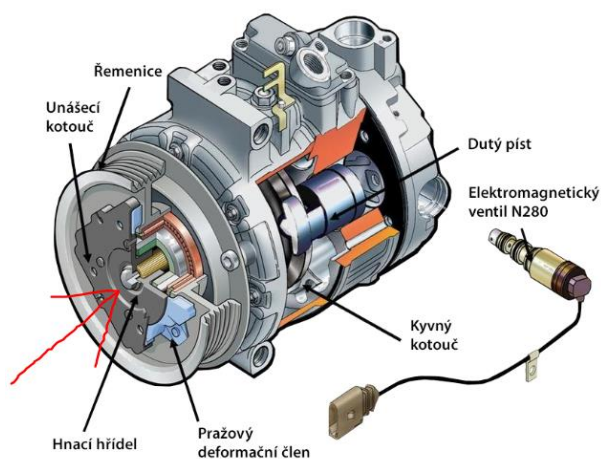


Obrázek č.46 Obraz korozních produktů vytvořených na povrchu slitiny AZ31 vystavené kontinuálnímu kondenzačnímu testu [25]

7. NÁVRH VYUŽITÍ MATERIÁLU

Šedá litina s lupínkovým grafitem nachází své využití především ve výrobě odlitků. V průmyslu se využívá pro odlévání odlitků pro celou řadu aplikací. Vyráběnými odlitky mohou být například ventily, uzávěry, klikové hřídele či části setrvačníku. Jedno z možných využití tohoto materiálu je také ve vzduchotechnice, kde je tento materiál využit pro vytvoření odlitků částí klimatizačních jednotek, konkrétně kompresorů.

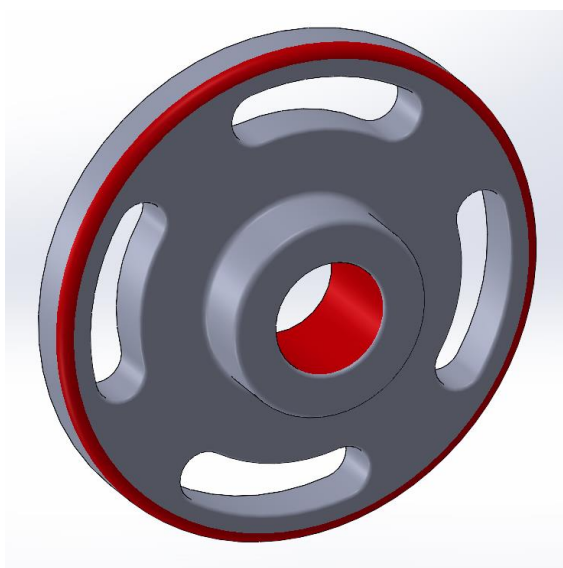
Obrázek X popisuje schéma kompresoru klimatizační jednotky. Červená šipka vyznačuje část kompresoru, kde dochází ke kontaktu předního dílu, kupříkladu unášecího kotouče, s valivým ložiskem a hřídelí kompresoru. Zde může docházet ke vzniku koroze díky kontaktu kovů s rozdílným korozním potenciálem a vzniku korozního článku.



Obrázek č.47 Schéma kompresoru klimatizační jednotky [24]

Návrhem využití materiálu EN-GJL-250 v této práci je tedy přední díl kompresoru klimatizační jednotky. Tento díl je většinou konstruován jako kruhový kotouč s otvorem pro hřídel a ložisko ve svém středu. Vyžíván je především ve větších budovách za vyšší pracovních teplot a zvýšené vlhkosti. Tyto faktory pak mohou působit na obvodovou strukturu a zapříčinit tak plošnou korozi po obvodu tohoto dílu.

Dílec, který byl vymodelován v programu SolidWorks, představuje odlitek šedé litiny EN-GLJ-250. Jeho výkres je uveden v příloze. Červeně vyznačené oblasti představují místa, kde by mohlo dojít k výskytu koroze.



Obrázek č.48 Návrh předního dílu kompresoru klimatizační jednotky [vlastní zdroj]

Na základě výsledků získaných experimentálním měřením by bylo vhodné aplikovat vrstvu zinkového povlaku jako korozní ochranu po obvodu tohoto dílu. Jelikož se tento díl využívá v prostředí se zvýšenou vlhkostí, bylo by vhodné využít zinkového povlaku, který má dle zjištěných hodnot dobré ochranné vlastnosti ve vlhkých prostředích.

Ochrana vnitřní části dílu, kde dochází ke kontaktu s hřídelí, by se mohla řešit již vhodným volením materiálů, a to konkrétně pomocí zlovení kovů s podobným korozním potenciálem. V důsledku mechanického namáhání nebyl zinkový či niklový povlak vhodným řešením. Šlo by však využít variantu levného ochranného nátěru, který by byl periodicky obnovován například během servisu kompresoru.

8. DISKUZE A ZÁVĚR

Tato práce poskytla náhled do problematiky koroze kovů a jejich slitin. Dokázala definovat samotný pojem koroze i význam jeho zkoumání. Dále se podařilo stručně popsat korozní děje neboli mechanismy zodpovědné za degradační proces koroze a znehodnocování kovů a rozčlenit korozi dle těchto mechanismů na korozi chemickou, elektrochemickou a biologickou. Podařilo se také popsat fyzikálně-chemickou podstatu procesu koroze i nastínit rozdělení kovů na ušlechtilé a neušlechtilé díky jejich rozdílným hodnotám elektrodového potenciálu. Úspěchem bylo také rozdělení koroze dle jejího negativního poškozujícího vlivu na kovy a jejich slitiny. Zde se jako prospěšné ukázalo spojit teoretický popis jednotlivých druhů koroze s praktickými obrázky daných jevů pro lepší pochopení. Vzhledem k rozsahu problematiky, kterou korozní věda je, se však nepodařilo popsat všechny typy korozního poškození. Práce také nastínila, některé využívané destruktivní a nedestruktivní metody pro testování korozních účinků v materiálech.

Dále práce popsala proces výroby testovacích vzorků vybrané šedé litiny pro elektrochemické a kondenzační zkoušky. Mimoto bylo provedeno měření tvrdosti na referenčním vzorku, jehož hodnoty tvrdosti odpovídaly předpokládaným výsledkům. Měření drsnosti povrchu pomocí 3D laserového optického skenovacího mikroskopu Olympus Lext OLS4100 poskytlo cenné informace o struktuře povrchu referenčního vzorku a o struktuře povrchu vzorků určených na elektrochemické zkoušky bez předchozího působení koroze.

Podařilo se také provést elektrochemické zkoušky na vzorcích šedé litiny, které odhalili korozní proudy jednotlivých vzorků. Zde se potvrdilo, že vzorky bez jakékoli ochrany 00, 00B dosahují nejvyšších hodnot korozního proudu a dochází u nich i k nejrychlejšímu působení koroze. Naopak vzorky 00B, 3B, 4B s nátěrem s inhibitory koroze dosáhly nejmenších hodnot korozních proudů a tudíž se zdá, že mohou být nejúčinnější z použitých ochranných povlaků. Nicméně lze i předpokládat, že dochází ke korozi materiálu pod ochrannou barvou. Vzorky s povlaky zinku a niklu projeví u elektrochemické zkoušky podobnou rychlost šíření koroze.

Z metalografické analýzy poté bylo zjištěno, že povlak zinku poskytl nejlepší ochranu základního materiálu šedé litiny, nicméně po vystavení koroznímu působení v kondenzační komoře klesla jeho tloušťka o téměř 2/3. Dá se tedy usuzovat, že funguje jako obětovaná elektroda. Niklový povlak taktéž dokázal výrazně zpomalit korozní působení, avšak po delší i kratší expozici došlo k jeho poškození. Ochranný nátěr s inhibitory koroze pak docílil jen malého zpomalení korozního působení na základním materiálu šedé litiny, což bylo patrné zejména u delší doby expozice. Lze tedy usuzovat, že je tento nátěr vhodný spíše jako krátkodobá korozní ochrana.

LITERATURA

- [1] ČERNÝ, M., FÍLÍPEK, J.: Corrosion damage of rivet joints. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2008, LVI, No. 4, pp. 37–46
- [2] NOVÁK, Pavel. Druhy koroze kovů. Koroze a ochrana materiálu, 2005, 49.4: 75-82.
- [3] NOVÁK, Pavel. Koroze kovů. Konzervování a restaurování kovů, 2011, 136-198.
- [4] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina, et al. Měření a hodnocení rychlosti koroze při procesu úpravy vody. Voda Zlín 2006, 2006, 143-148. ČSN EN ISO 80000-2: Veličiny a jednotky - Část 2: Matematické znaky a značky užívané v přírodních vědách a technice.
- [5] SVATONĚ, Jaroslav. Koroze kovů [online]. [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/2286>
- [6] BRENNER, Otakar. Základy teorie koroze. Praha : FS ČVUT v Praze, 2019. přednáška.
- [7] Druhy koroze kovů: Druhy koroze kovů v elektrolytech [online]. AV EQUEN. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.av-equen.cz/wp-content/uploads/2020/09/Druhy-koroze.pdf>
- [8] ČERNÝ, M., FÍLÍPEK, J., ŠOCH, Z.: Influence of corrosion on the fatigue strength of the weld joint. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2007, LV, No. 5, pp. 215–222
- [9] GAJDOŠÍK, Miroslav. MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ. Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů: Bakalářská práce. Brno, 2015.
- [10] KOBER, Jak a Zdeněk PŘEVOROVSKÝ. FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÁ ČVUT, ÚSTAV
- [11] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1.
- [12] ŠKERŤÍK, Jan. Praktické elektrotechnické příručky (42): Receptář pro elektrotechniku. 4. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988. ISBN 04-537-88.
- [13] ČSN EN ISO 17475: Koroze kovů a slitin - Elektrochemické zkušební metody - Návod pro provádění potenciostatických a potenciodynamických polarizačních měření. 2009.
- [14] ASTM G 5-94: Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements. (2009).
- [15] Drsnost povrchu: Dosažitelná drsnost při obrábění [online]. [cit. 2022-12-19]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/drsnost-povrchu>
- [16] KORBELÁŘ, Jaroslav a Hana GEIPOVÁ. Protikorozní ochrana kovových konstrukcí (TP 3.2). ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ: Rada pro podporu rozvoje profese

- ČKAIT [online]. 2018 [cit. 2023-01-12]. Dostupné z:
<https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-3-2/>
- [17] KUDLÁČEK, Ivan. Úprava elektrotechnických zařízení do ztížených provozních prostředí. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, Fakulta elektrotechnická: Vydavatelství ČVUT, 2005.
- [18] Průzkum a ošetření předmětů z litiny, metodický materiál [online]. Technické muzeum v Brně, Metodické centrum konzervace: Metodické centrum konzervace Technického muzea v Brně, 2018, 1-21 [cit. 2023-01-24]. Dostupné z:
<https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Litina.pdf>
- [19] Protikorozní ochrana ocelových mostů a konstrukcí - Část B. Praha: MINISTERSTVO DOPRAVY Odbor pozemních komunikací, 2013.
- [20] Protikorozní ochrana kovových technických materiálů [online]. [cit. 2023-01-24]. Dostupné z: https://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t-07_protikorozniochrana.pdf
- [21] SKALICKÝ, Michal. Stoka 2013 – sborník příspěvků: Nová technologie mezi inhibitory koroze. 1. České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05280-8.
- [22] PAVEL, Klouda. Moderní analytické metody. 2016. ISBN 978-80-86369-22-8.
- [23] TATARKOVIČ, Michal, Gabriela BRONCOVÁ a Martin KRONĎÁK. Elektroimpedanční spektroskopie a její využití v chemické analýze. Chemické listy. Ústav analytické chemie, Fakulta chemicko-inženýrská, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6, Ústav jaderného výzkumu, 2012, (106), 1067-1074.
- [24] Jak repasujeme kompresory klimatizace? [online]. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.autonorma.cz/blog/post/8-jak-repasujeme-kompresory-klimatizace>
- [25] FELIU, Sebastián, C. MAFFIOTTE, Juan Carlos GALVÁN a Violeta BARRANCO. Atmospheric corrosion of magnesium alloys AZ31 and AZ61 under continuous condensation conditions. Corrosion Science. 2011, 53(5), 1865-1872. ISSN 0010-938X.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně

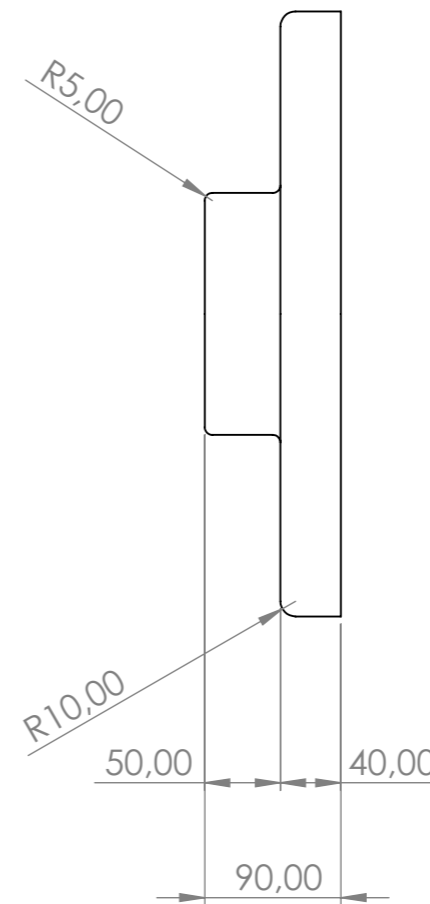
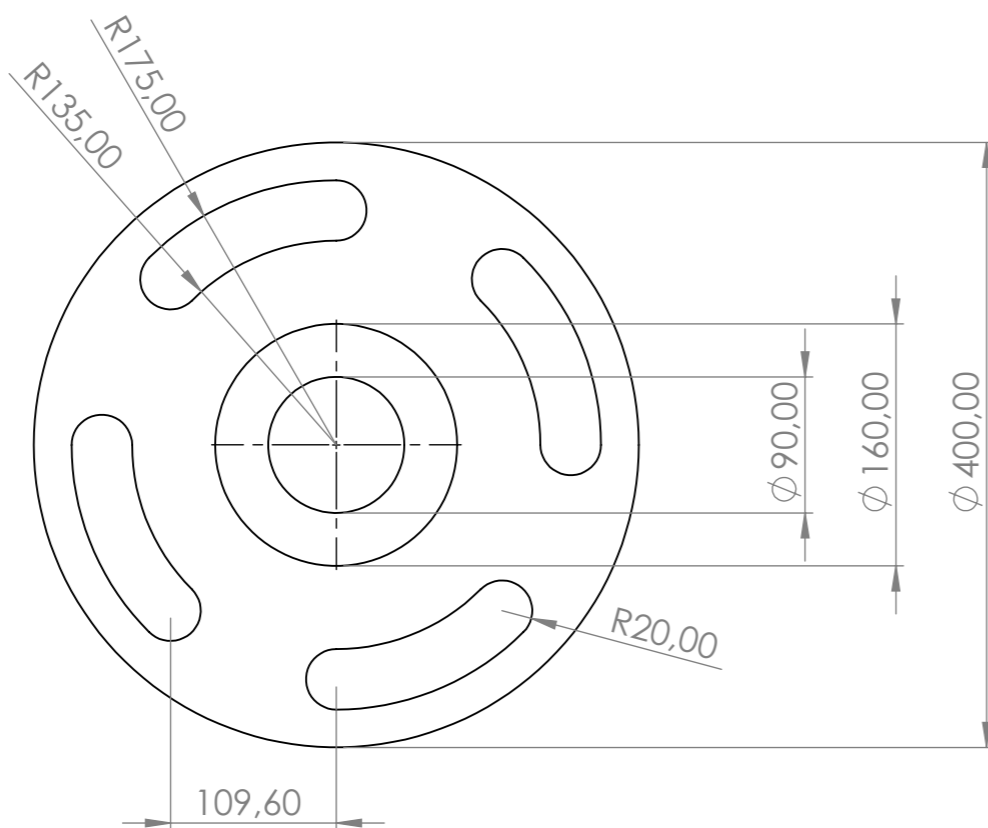
Symboly:

U	napětí	(V)
E_0	elektroodový potenciál	(V)
R_a	<i>průměrná aritmetická úchylka</i>	

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A – VÝKRES NAVRHOVANÉHO DÍLU	71
---	-----------

Příloha A - výkres navrhovaného dílu



POKUD NEJÍ UVEDENO JINAK: JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH		OPRACOVÁNÍ: Odlévání			
JMÉNO		DATUM		NÁZEV: Přední díl kompresoru klimatizační jednotky	
NAVRHL	Lukáš Plichta	21.4.2023	MATERIÁL: EN-GJL-250	Č. VÝKRESU 1	A3
				MĚŘÍTKO:1:5	LIST 1 Z 1 LISTŮ