

Hodnocení jakosti povrchu materiálu testovaném v korozní komoře

Bc. Daniel Vávra

Diplomová práce
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Daniel Vávra
Osobní číslo: T20023
Studijní program: N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Řízení jakosti
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Hodnocení jakosti povrchu materiál testovaném v korozní komoře

Zásady pro vypracování

1. Zpracování rešerše na zadané téma
2. Výběr vhodného materiálu a doby jeho testování
3. Nalezení statisticko matematických vztahů mezi povrchem a délkou testování

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

- MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
- BRANDT, Siegmund. *Data analysis: statistical and computational methods for scientists and engineers*. 4th ed. Přeložil Glen COWAN. Cham: Springer, c2014. ISBN 978-3-319-03761-5.
- WHITEHOUSE, David. *Surfaces and their measurement*. London: Kogan Page Science, 2004. ISBN 1-9039-9660-0.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Vladimír Pata**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Necht' se tato práce zabývá problematikou korozní, kde porovnána bude jakost povrchu různých materiálů využívaných v automobilovém průmyslu. Před samotnou expozicí v korozní komoře, budou tyto materiály ponechány v několika látkách, s nimiž v terénu mohou přijít do kontaktu.

Teoretická část jest věnována seznámení s metodikou korozního testování, výběru materiálů a stanovení doby expozice za různých teplotních profilů. Praktická část se zabývá provedením experimentu, vyhodnocením výsledků a stanovení statisticko-matematických vztahů mezi jakostí povrchu a délkou testování.

Klíčová slova: korozní zkouška, solná mlha, cyklická koroze, koroze, rez, jakost povrchu

ABSTRACT

This thesis deal with corrosion issues, where the surface quality of different materials used in the automotive industry will be compared. Before the actual exposure in the corrosion chamber, these materials will be left in several substances with which they may come in contact in the field.

The theoretical part is devoted to the introduction of the corrosion testing methodology, the selection of materials and the determination of the exposure time under different temperature profiles. The practical part deals with the execution of the experiment, the evaluation of the results and the determination of statistical and mathematical relationships between surface quality and testing time.

Keywords: corrosion test, salt spray, cyclic corrosion, corrosion, rust, surface quality

Velký dík při psaní této téze patří vedoucímu mé práce, prof. Dr. Ing. Vladimíru Patovi, a všem ostatním poslům světa.

„Přestaňte si střežít poklady na zemi, kde je stravuje mol a rez a kde se zloději vloupávají a kradou“

učení Ježíše Krista

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOROZE KOVŮ	12
1.1 DEFINICE KOROZE	13
1.2 DRUHY KOROZE DLE TYPU VNITŘNÍ REAKCE	14
1.2.1 Chemická koroze.....	14
1.2.2 Elektrochemická koroze.....	16
1.3 DRUHY KOROZE DLE PROSTŘEDÍ	18
1.3.1 Atmosférická koroze	18
1.3.2 Koroze v kapalinách.....	20
1.3.3 Koroze půdní	21
1.4 DRUHY KOROZNÍHO NAPADENÍ	22
1.4.1 Rovnoměrná koroze (plošná)	22
1.4.2 Nerovnoměrná koroze	22
1.4.3 Důlková koroze	23
1.4.4 Bodová koroze (pitting)	24
1.4.5 Štěrbínová koroze.....	24
1.4.6 Mezikrystalická koroze	25
1.4.7 Selektivní koroze.....	26
1.4.8 Korozní praskání	27
1.4.9 Korozní únava	28
1.4.10 Erozní koroze	28
1.5 KOROZNÍ TESTOVÁNÍ	28
1.5.1 Provozní zkoušky	29
1.5.2 Test solnou mlhou	29
1.5.3 Cyklický korozní test	30
1.6 HODNOCENÍ KOROZNÍHO NAPADENÍ	32
1.6.1 Vzhledové změny	32
1.6.2 Rozměrové změny	32
1.6.3 Hmotnostní změny	32
1.6.4 Metalografické	33
1.6.5 Změny mechanických vlastností	33
2 VÝBĚR MATERIÁLU, SMĚSI A URČENÍ DOBY TESTOVÁNÍ	34
2.1 VÝBĚR MATERIÁLU PRVKŮ TESTOVANÝCH	34
2.2 VÝBĚR LÁTEK ZASAHOJÍCÍ MATERIÁL PŘED TESTEM	35
2.2.1 Kolový nápoj	35
2.2.2 Motorový olej 5W-30.....	36
2.2.3 Směs demineralizované vody a prachu	36
2.3 URČENÍ DOBY TESTOVÁNÍ	37
2.4 CÍL PRÁCE	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	39

3	PROVEDENÍ EXPERIMENTU	40
3.1	PŘÍPRAVA TESTOVACÍCH KOMOR A POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ.....	40
3.1.1	Příprava komory NSS	40
3.1.2	Příprava komory CCT	41
3.2	STANOVENÍ DOBY ČIŠTĚNÍ VZORKŮ OD KOROZNÍCH ZPLODIN	42
3.3	PŘÍPRAVA VZORKŮ PŘED TESTEM A APLIKACE LÁTEK	43
3.3.1	Vzorky s povrchovou úpravou zinek-nikl (označeny A)	43
3.3.2	Vzorky bez povrchové úpravy zinek-nikl (označeny B).....	44
3.4	PRŮBĚH TESTU	45
3.4.1	Vizuální zhodnocení vzorků po 360 hodinách (15 dnů)	45
3.4.2	Vizuální zhodnocení vzorků po 720 hodinách (30 dnů)	50
3.4.3	Vizuální zhodnocení vzorků po 1008 hodinách (42 dnů)	52
3.4.4	Vizuální zhodnocení po testu	54
4	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ	56
4.1	HMOTNOSTNÍ ÚBYTEK.....	58
4.1.1	Hmotnostní úbytek stanovený na A vzorcích	58
4.1.2	Hmotnostní úbytek stanovený na B vzorcích.....	60
4.2	ZMĚNA HMOTNOSTI VLIVEM NÁNOSU KOROZNÍCH USAZENIN.....	62
4.2.1	Hmotnostní rozdíl nánosu korozních usazenin na A vzorcích.....	62
4.2.2	Hmotnostní rozdíl nánosu korozních usazenin na B vzorcích	63
4.3	ZMĚNA DRSNOSTI POVRCHU	64
4.3.1	Změna drsnosti povrchu na A vzorcích	65
4.3.2	Změna drsnosti povrchu na B vzorcích.....	66
4.4	ZMĚNA IZOLAČNÍHO ODPORU	68
	ZÁVĚR	69
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	71
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	76
	SEZNAM TABULEK.....	78
	SEZNAM GRAFŮ	79
	SEZNAM PŘÍLOH.....	80

ÚVOD

Problematika, jíž se tato práce bude zabývat je psána zejména pro průmysl automobilový. S korozi kovů se ve všedním životě setkáváme doslova na každém kroku, kde kovy podléhají procesu koroze za různých příčinění. Zejména je to ponecháním napospas atmosféře, kde na ni mají klíčový vliv dešťové srážky, teplota a vlhkost okolního vzduchu. Dalšími faktory, jež napomáhají korozi kovových prvků je expozice pohybu v přímořských oblastech, kde atmosféra obsahuje větší koncentraci soli v ovzduší. (1) V oblastech, jež bývají každoročně zasaženy sněhovou pokrývkou se rovněž sezóně k údržbě silnic používá posypová sůl, jež slouží k zajištění bezpečí, při pohybu pěším, či motorizovaném po veřejných komunikacích. Tato posypová sůl se při pohybu po takto ošetřené vozovce rovněž zadržuje na vnějších prvcích automobilu, kde s ní kovové prvky docházejí do stálého kontaktu. V takovýchto případech mohou být prvky rovněž vystaveny poměrně razantním teplotním změnám, jelikož při delším pohybu vozidla se mění jeho teplota, která je zvyšována chodem motoru, případně zvyšující se okolní teplotou. Dá se očekávat, že proces koroze bude mít jiný průběh, pokud je testovaný prvek ponechán za konstantní teploty, než bude-li ponechán v teplotním profilu, stávajícím z různých změn okolní teploty a relativní vlhkosti.

Dalším faktorem, jež se tato práce bude zabývat je vystavení takovýchto kovových prvků různým kapalným směsím, s nimiž může testovaný díl za cyklus své životnosti přijít do styku v běžném provozu. Tato expozice bude provedena před samotným korozním cyklem a bude rovněž zkoumáno, zda zasažení danou látkou má na následnou korozní agresi větší, či menší vliv. Zjištění korozní agrese různých materiálů využívaných v běžném provozu, může mít velký vliv na stanovení jejich použitelnosti ku různým prvkům, zejména bezpečnostním, jež se při výběru materiálů využívají. Došlo by kupříkladu ke zjištění, že kolový nápoj, jež dítě neopatrností vylije na bezpečnostní prvek, jako je automobilový zámek způsobí akceleraci koroze zasaženého materiálu, byl by pro prvek bezpečnostní zvolen jiný materiál, popřípadě s jinou povrchovou úpravou. Po delším časovém úseku může takováto zdánlivě banální neopatrnost způsobit smrtelnou příhodu, kdy v případě havárie automobilu nebude možno zajistit bezpečnou evakuaci osob z důvodu, že prvek nevydržel vlivem korozního procesu zatížení a mohlo by dojít ke ztrátám na životech.

V této práci se bude zabíráno korozní problematikou na prvcích, jež byly vystaveny látkám běžného komerčního použití a stanovení matematicko-statistických vztahů ku stejným prvkům, jež určeným látkám vystaveny nebyly.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOROZE KOVŮ

S problematikou procesu koroze se lidský rod potýká od počátku dějin, kdy začal kovové materiály využívat ke tvorbě nástrojů a zbraní. Využití tohoto materiálu mělo na celkový vývoj lidských dějin enormní vliv a je nepochybné, že korozní problematika byla pozorována a zkoumána již od počátku éry využívání železných surovin, i když nemuselo být přesně určeno, co tento jev způsobuje. V dnešní době je možno pozorovat, že některé železné produkty ze starověku jsou rzi zasaženy méně, než železné výrobky vyrobené o několik století později. Částečně to může být způsobeno tím, že ke zpracování železa za starověku bylo více využíváno dřevěné uhlí obsahující méně síry, oproti pozdějším zpracovatelským surovinám. Je rovněž možné, že vliv mohl mít i celkový obsah síry ve vzduchu, jež byl nižší před průmyslovým využíváním uhlí jako paliva. Zřejmě nejznámějším příkladem takového starověkého, takřka nerezavějícího metalurgického umění je Sloup v Dillí. Jedná se o 7,2 metru vysoký železný sloup s průměrem až 50 cm, jehož stáří je odhadováno na 4. až 5. století našeho letopočtu. Dodnes nebylo přesně stanoveno, co je přesně důvodem tak vysoké odolnosti vůči korozi, jež jej ani po desítkách století takřka nepoznamenala. Nejvíce reálnou se jeví teorie, že je to díky svému složení: z 98 % železa, až 1 % fosforu a nepřítomnosti síry s hořčíkem. Fosfor dle studií vytváří na povrchu sloupu 0,05 mm tlustou vrstvu modročerného povlaku krystalického hydrogenfosforečnanu železa, což při velmi nízké pórovitosti povrchu způsobuje vynikající odolnost vůči korozi. (2)



Obrázek 1- Železný sloup v Dillí (3)

Problematikou korozního testování s účelem tento proces vysvětlit a popsat, se v historii zabývalo mnoho badatelů. V souvislosti s atmosférickou korozi byly v roce 1923 publikovány první výzkumy spojující korozi s časem. V tomto výzkumu byl poprvé zveřejněn princip tzv. Kritické vlhkosti. Tento výzkum přinesl informaci, že proces koroze zrychluje na vzduchu pouze v případě, pokud vlhkost překročí určitou hodnotu, jež bývá udávána okolo 60%.

1.1 Definice koroze

Korozi jest označováno destruktivní napadení materiálů chemickými, nebo elektrochemickými látkami za možného působení okolního prostředí. (4) Zhoršení materiálových vlastností vlivem fyzikálních příčin se nenazývá koroze, ale je popisována jako eroze, zadírání nebo opotřebení. Tento popis ovšem neplatí pro nekovové materiály. Ty sice mohou rovněž korodovat, avšak u odlišných materiálů tento jev probíhá na jiných principech. Plasty kupříkladu mohou bobtnat nebo praskat, dřevo se může rozštěpit, či rozpadnout, žula eroduje a portlandský cement se může vyluhovat.

Všeobecně se pojem " koroze " vztahuje na korozi železa, nebo jeho slitin, kde dochází ke vzniku reakce, která se skládá převážně z hydroxidů železa. Neželezné kovy tedy korodují, ale nerezaví. Vedle rozdělení koroze chemické a elektrochemické je možno ji dále rozdělit dle korozního prostředí, jež bývá rovněž velmi rozmanité. Mezi nejrozšířenější prostředí

na naší planetě patří bezpochyby zemská atmosféra, jejímuž působení je vystavena drtivá většina průmyslově využívaných materiálů. Dále je to koroze ve vodách, v půdách, či v roztocích solí, zásad a kyselin.

V této práci se budeme dále zabývat jen korozi kovových materiálů.

1.2 Druhy koroze dle typu vnitřní reakce

Korozi lze dle vnitřní reakce rozdělit na 2 základní druhy: chemickou a elektrochemickou.

1.2.1 Chemická koroze

K chemické korozi dochází především na kovových materiálech, jež jsou vystaveny plynnému prostředí za zvýšených teplot. Korozní reakce je zde způsobena interakcí oxidačních plynů s povrchem kovového materiálu, což vede k tomu, že korozní zplodiny jsou vytvářeny přímo v místě vzniku této reakce. Mezi oxidační plyny se řadí především vzduch a oxid sírový, siřičitý a uhličitý. K tomuto druhu koroze dochází takřka na všech materiálech, již při teplotě 20°C, ačkoliv tyto tenké povlaky korozních zplodin nejsou běžnými metodami velmi přesně měřitelné. Při zvyšování teploty dochází ke zrychlení chemické reakce, díky čemuž dochází k nárůstu korozních vrstev. Jsou známy kovy, na kterých se korozní vrstva vytváří pouze jedna, avšak kupříkladu na železných materiálech se vrstev vytváří vícero, přičemž se tyto vrstvy mohou lišit i chemickým složením. Složení těchto korozních vrstev je dáno právě složením okolního plynného prostředí, které při znečištění, či rozmanité koncentraci prvků vytváří velké množství chemických sloučenin. Kupříkladu při expozici kovu s čistým kyslíkem dochází ke vzniku oxidů. Na vzduchu vznikají oxidy, spolu s nitridy a při expozici kovu s oxidem uhličitým, jež je dnes ve stále větší míře zastoupen v atmosféře, což přispívá ke vzniku tzv. skleníkového efektu, dochází ke vzniku oxidů a uhličitanů. Spaliny, jež v dnešní době na kovové materiály díky průmyslovému zpracování surovin působí rovněž čím dál více, vedou ke vzniku oxidů, nitridů, uhličitanů, sulfidů a rovněž komplexních síranů, spolu s mnoha ještě složitějšími sloučeninami. Směsi vytvořených korozních zplodin mají vedle pórovitosti povrchu kovového materiálu velký význam pro následné zjištění rychlosti šířící se koroze. Čím méně pórovitý bude povrch kovového materiálu, tím bude rychlost šířící se koroze nižší. Vliv korozních zplodin na rychlost koroze se počítá tzv. Pillingovo-Bedworthovým číslem:

$$\frac{V_{MeA}}{V_{Me}}, \text{ kde: } V_{MeA} = \frac{M_{MeA}}{\rho_{MeA}}; V_{Me} = \frac{M_{Me}}{\rho_{Me}} \quad (1.1)$$

V_{MeA} – poměr molárního objemu korozní zplodiny

V_{Me} – atomový objem kovového materiálu

M_{MeA} – molární hmotnost zplodiny

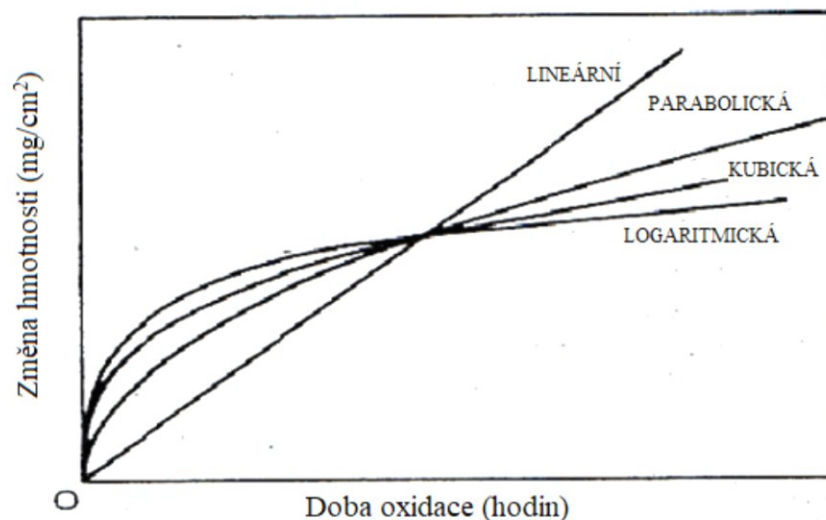
ρ_{MeA} – hustota zplodiny

M_{Me} – atomová hmotnost kovového materiálu

ρ_{Me} – hustota kovového materiálu

Pokud vychází hodnota Pillingovo-Bedworthova čísla menší jedné, indikuje to, že korozní zplodiny vytvořené na povrchu kovového materiálu nemají ochranný charakter. Pokud toto číslo je vyšší jedné, ochranný charakter mít může. Při vyšších hodnotách dochází v materiálu ke vzniku trhlin a vnitřního pnutí a ochrana vůči korozi je i tímto snížena. Kupříkladu hodnota Pillingovo-Bedworthova čísla oxidu železitého (Fe_2O_3) jest udávána 2,14.

Na základě látek v prostředí interagujících s kovovým materiálem, míry ochrany korozních zplodin a okolní teploty, lze získati závislost, jež bude korozní rychlost definovat. Například pokud koroze bude probíhat za konstantní teploty a korozní zplodiny nemají ochranný účinek, průběh závislosti bude lineární. Za konstantní teploty, při alespoň mírné ochranné korozní vrstvě, při nichž dochází k zabránění dalšího styku oxidů s materiálem, dochází k závislosti parabolické, kde korozní rychlost nabírá zpomalující charakter. Kubickou závislost vytváří přechody vysokých a nízkých teplot okolního prostředí a při nízkých okolních teplotách, spolu s nízkou oxidační vrstvou lze získat závislost logaritmickou. (5)

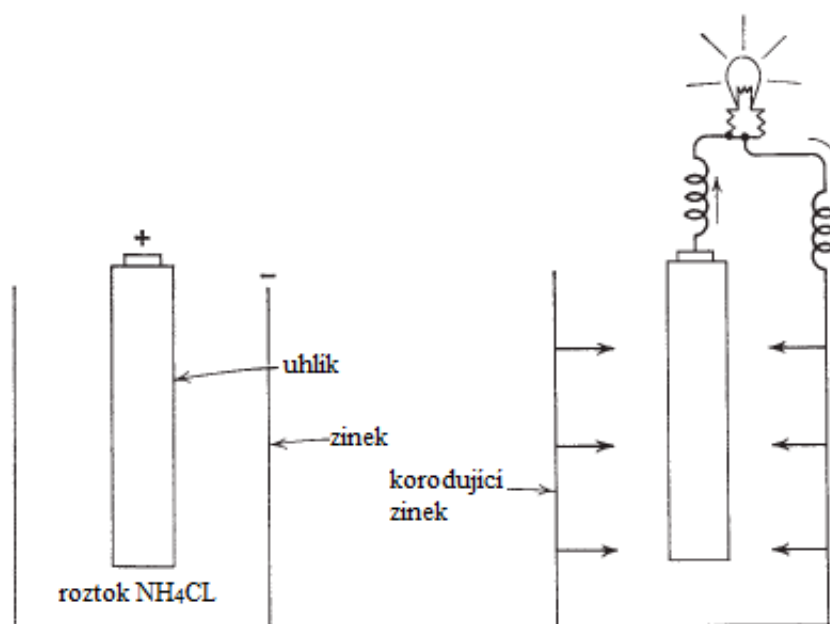


Obrázek 2 - Závislost korozní rychlosti na úbytku materiálu (5)

1.2.2 Elektrochemická koroze

Do tohoto druhu koroze jsou zahrnovány reakce, probíhající v elektricky vodivém prostředí, tedy v elektrolytech. V tomto případě zde rozeznáváme dva druhy dílčích reakcí, které probíhají vždy současně, za průchodu elektrického proudu. Jedná se o reakci anodovou a katodovou. Tento jev pozorovali již mezi lety 1834-1840 Michael Faraday a profesor Schobenheimem, jež jej jako první také detailněji popsal. Jedná se o skutečnost, že při průchodu elektrického proudu elektrolytem dochází současně k reakci anodové, která podporuje oxidaci kovu a dochází tedy k vlastní korozi, a reakci katodové, označované též jako depolarizační, jež snižuje množství oxidu v roztoku. Korozi tedy brání a zpomaluje ji. Na základě znalosti těchto reakcí jsme schopni řídit rychlost koroze anodou, nebo katodou.

Jako příklad k popsání tohoto jevu si můžeme představit uhlíkovou elektrodu, jež je od nádoby zinkové elektrody oddělena elektrolytem roztoku chloridu amonného (NH_4Cl). (2)



Obrázek 3 – Princip elektrochemické koroze (2)

Žárovka připojena k oběma elektrodám svítí nepřetržitě, přičemž energie pro její chod je dodávána chemickými reakci na obou elektrodách. Na uhlíkové elektrodě (kladný pól - katoda) dochází k reakci, jež vysílá do roztoku kladně nabitě kationy a na zinkové elektrodě (záporný pól- anoda) dochází k oxidaci zinku a přechodů iontů zinku z katody do elektrolytu, zatímco v samotném kovu zůstávají elektrony. Tyto elektrony nemohou vstoupit do elektrolytického roztoku a tím udělují anodě záporný potenciál, tj. polarizují ji. Tyto elektrony jsou přiváděny přímo ke katodě, kde způsobují redukci oxidačních prvků.

Tento jev se rovněž nazývá jako depolarizace. V okamžiku, kdy kationy začínají nabíjet elektrolyt kladně, dochází k zápornému nabíjení zinkové elektrody, což způsobí, že mezi kladnou (uhlíkovou) elektrodou a zápornou (zinkovou) se objevuje napětí (V). Při připojení spotřebiče (v našem případě žárovky) dochází skrze něj k přenosu elektronů ze záporné elektrody na kladnou a vzniká tak elektrický proud. (6)

Čím více elektrické energie protéká skrze článek, tím zinek více koroduje. Pro tento jev platí vztah, označovaný jako Faradayův zákon, jež se vyjadřuje ve gramech za Coulomb, což je elektrický náboj přenesen proudem 1A za 1s.

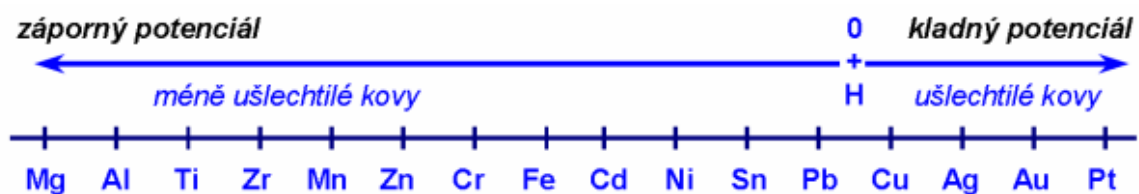
$$\text{Váha reagujícího kovu} = k * I * t \text{ (g)} \quad (1.2)$$

kde, I – proud (A)

t – čas (s)

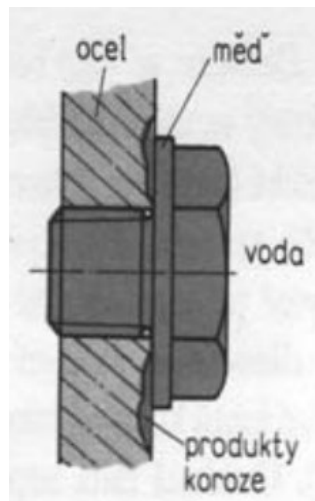
k – konstanta pro elektrochemický ekvivalent materiálu (g/C)

V případě elektrochemické koroze může rovněž docházet k tomu, že se na povrchu materiálu vytvoří vrstva korozních zplodin, jež nejsou v elektrolytu rozpustné a jež vytvoří ochranný povlak na materiálu. V tomto případě mluvíme o tzv. pasivitě. Ta způsobuje zbrzdění anodové korozní reakce v místě vytvoření ochranné vrstvy. Kovový materiál v tomto případě přestává korodovat, jelikož je jeho elektrodový potenciál posunut k hodnotám kladným, jež jsou charakteristické pro ušlechtilé kovy.



Obrázek 4 – Beketova řada napětí kovů (7)

V Beketovově řadě napětí rovněž platí, že kterýkoliv kovový materiál je schopen z roztoku vyredukovat kovy umístěné napravo od něj. Pokud je kov umístěn v elektricky vodivém prostředí (stačí vzdušná vlhkost), začíná z méně ušlechtilého kovu (anoda) proudit elektrický proud ke katodě, jež je kovem ušlechtilejším. Méně ušlechtilý materiál v tomto případě začíná korodovat výrazně rychleji, než pokud by se v soustavě ušlechtilý kov nenacházel. Rovněž v takovémto případě záleží na dalších aspektech, jako je plocha obou prvků, teplota, či složení elektrolytu, což vše bude ve finále ovlivňovat rychlost výsledné koroze méně ušlechtilého prvku.



Obrázek 5 – Příklad elektrochemické koroze (8)

1.3 Druhy koroze dle prostředí

Prostředí, v němž se kovový prvek nachází, má na rychlost postupující koroze nezanedbatelný vliv. Hlavní roli v tomto ohledu hraje vlhkost, jelikož za absence vlhkosti v prostředí železo koroduje zanedbatelnou rychlostí. Kupříkladu ocelové díly ponechány na poušti, kde je vzdušná vlhkost zanedbatelná, zůstávají i po desítkách let světlé a korozi takřka nepoznamenané. Dalším aspektem vzniku koroze jest, že s odkazem na proces elektrochemické koroze, nemůže probíhat bez elektrolytického prostředí, tedy v prostředí, jež není schopno vést elektrický proud. S tímto faktorem se setkáváme v klimatických podmínkách pod bodem tuhnutí vody. Led je špatný elektrolytický vodič a z tohoto důvodu je rovněž koroze na povrchu kovu v tomto prostředí takřka zanedbatelná. (4)

1.3.1 Atmosférická koroze

Atmosférická koroze vyjadřuje napadení kovu, jež je vystaven působení vzduchu v zemské atmosféře. Jedná se o nejrozšířenější typ koroze běžných materiálů, jelikož jsou tomuto faktoru vystaveny povětšinou celou svou funkční životnost a rovněž velkou částí své plochy. Atmosférická koroze je celosvětově velkým tématem, jelikož má nezanedbatelný vliv na životnost a trvanlivost konstrukčních materiálů. Proto se stává předmětem mnohých predikčních pokusů a centrem zájmu korozních zkoušek, jež mají za cíl nasimulovat životnost prvků na různě dlouhé časové období. Konvekční atmosférické parametry, jež vedou ke vzniku koroze kovů jsou zejména: povětrnostní vlivy, teplota a vlhkost okolního

prostředí, dešťové srážky, sluneční záření, či znečištění ovzduší, kde velkou roli hrají především látky, jako je síra a oxid siřičitý. Znečištění ovzduší hraje při predikci korozního procesu u kovových materiálů velmi důležitou roli, jelikož různá míra znečištění činní předpovědi atmosférické koroze velmi obtížné.

Atmosférická koroze kovů je ve své podstatě elektrochemický proces, který je souhrnem jednotlivých jevů, které probíhají, když se na kov vytvoří elektrolytická vrstva. Tato vrstva může být extrémně tenký vodní film o tloušťce jen několika stovek mikrometrů, či může být pokryta vodními srážkami i z důsledku teplotních změn (rosa). Bylo rovněž zjištěno, že nánosy pevných částic znečišťujících látek usazených na kovovém povrchu, bývají hlavními příčinami kondenzace vlhkosti a tím pádem i činitelem koroze kovů v atmosféře. (8)

Zejména v přímořských oblastech, pro které rovněž probíhá predikce většiny zkoušek, jsou klíčovými látkami chemického složení vzduchu: oxid siřičitý (SO_2), chlorid sodný (NaCl) a oxidy dusíku (NO_x). Obsah oxidu siřičitého v ovzduší se dle lokalit velmi liší v závislosti na typu průmyslových odvětví v okolí, přítomnosti elektráren, ročním období atd. SO_2 je rovněž mnohem agresivnější vůči oceli, když jeho hodnota přesáhne $0,1 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$, což je hodnota, které lze snadno dosáhnout v mnoha městech, zejména v zimě. Koncentrace SO_2 v městském ovzduší se naštěstí v posledních letech výrazně snížila díky snaze o snižování znečištění. Dešťová voda má rovněž tu vlastnost, že při svém dopadu absorbuje SO_2 z atmosféry, čímž vzniká tzv. kyselý déšť. Z tohoto důvodu je pH dešťové vody shromážděné ve vysoce průmyslových oblastech v Evropě nižší, než pH dešťové vody v oblastech neznečištěných. Například v Norsku byla zaznamenána měření, kde průměrné denní a měsíční hodnoty pH klesly, až ke 2,9. (9) (Pro porovnání má dešťová voda pH průměrně 5,9).

Expozice solných částic na kovovém povrchu urychluje jeho korozi, zejména pokud se jedná o jejich chloridy. Chlorid sodný (NaCl) je v největší míře zastoupen v mořské vodě, kde se jeho koncentrace udává 2,7% a tvoří zde přibližně 80% složení mořské soli. Bývá rovněž označován jako „sůl“, či „kuchyňská sůl“. V důsledku rozpouštění chloridových iontů, které mají malou velikost a záporný náboj dochází k pronikání k pozitivně nabitému kationtu kovu a ničí se tak ochranná funkce pasivní vrstvy povrchu kovu. (10) V tomto důsledku jsou poté kovové povrchy náchylnější ke vzniku důlkové koroze.

1.3.2 Koroze v kapalinách

Ve zkoumání koroze v kapalinách má nejvyšší užité zastoupení výzkum koroze ve vodách. Jedná se také o elektrochemický proces, kde voda slouží jako elektrolyt. Vedle elektrochemického procesu zde mohou současně probíhat korozní jevy chemické, či vliv mikroorganismů a mechanických a organických nečistot v okolí, jako jsou oleje, či ropa. Na rychlost koroze v kapalném prostředí má nejvyšší vliv zastoupení plynů v elektrolytu, zejména O_2 a CO_2 . V průmyslovém využití se jejich snížení dosahuje za pomoci odplyňování, či chemickými prostředky.

Vodní prostředí rozlišujeme především na sladké a slané. Ty se liší zejména obsahem chloridu sodného v jejich koncentraci, což má za následek, že ve sladké vodě je korozní proces výrazně pomalejší, jelikož NaCl obsahují výrazně méně. Menší rychlost koroze u sladkých vod bývá přisuzována právě absenci chloridových iontů, které narušují pasivní vrstvu povrchového prvku. (11)

Mezi hlavní faktory ovlivňující korozi ve vodě můžeme zařadit:

- Slanost (salinita) – množství soli ve vodě přímo ovlivňuje vodivost a obsah kyslíku. S rostoucím obsahem soli ve vodě její elektrická vodivost roste, ale obsah kyslíku klesá. V mořské vodě se udává průměrná slanost vody 3,5 %, tj. 1 kg mořské vody obsahuje průměrně 35 gramů soli.
- Elektrická vodivost (EC) – jedná se o vodivost v elektrolytu, je to tedy klíčová vlastnost při vzniku elektrochemické koroze. Je rovněž dokázáno, že při zvyšující se vodivosti roste rovněž účinek koroze mikrobakteriální a makrobakteriální. Hodnota elektrické vodivosti se pro různé druhy vody liší, přičemž její hodnota je udávána v Siemensích (S), za přesně stanovené teploty, jež se většinou nastavuje 25 °C. S proměnnou teplotou se hodnota vodivosti může lišit. (12)
 - a) Přírodní voda, $EC = 500-3.000 \mu S \cdot cm^{-1}$
 - b) Sladká voda, $EC = 300-800 \mu S \cdot cm^{-1}$
 - c) Destilovaná voda, $EC = 1-10 \mu S \cdot cm^{-1}$
 - d) Mořská voda, $EC = 45.000-60.000 \mu S \cdot cm^{-1}$
 - e) Slaná voda, $EC = 65.000-85.000 \mu S \cdot cm^{-1}$
- Rozpuštěnost kyslíku - Čím vyšší je obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě, tím vyšší je elektroodový potenciál kovu v moři a tím rychlejší koroze je. Hliník a nerezová ocel při oxidaci vytváří na povrchu tenkou vrstvu oxidového filmu, která kov

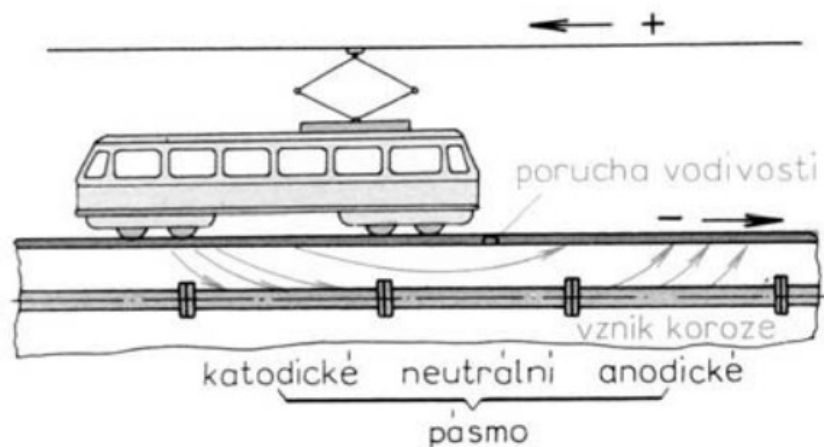
chrání, není-li tato vrstva jiným jevem narušena. V tomto stádiu kov nekoroduje, to znamená, že se udržuje v pasivním stavu. Kromě toho při nepřítomnosti rozpuštěného kyslíku v moři, měď a železo téměř nekorodují.

- pH – vodíkový exponent = veličina, jež určuje, zda se měřený roztok chová kyselé, či zásaditě. Hodnota se vyjadřuje na stupnici 0 – 14, kde neutrální hodnota vody se udává 7. Kyseliny mají tuto hodnotu nižší, zásady naopak vyšší. pH mořské vody je udáváno 8,08-8,33 (13). Při korozních zkouškách se tato hodnota nastavuje na hodnoty vody neutrální.
- Fyzikální faktory - Jako je rychlost proudění, příliv a odliv, teplota atd. Když se relativní rychlost moře zvýší vzhledem k rychlosti proudění vody, zvyšuje se rychlost koroze kovu, jelikož se rozpuštěný kyslík dostává rychleji ke katodě.

1.3.3 Koroze půdní

Jedná se kombinovaný druh koroze, kde spolu současně působí koroze tuhá, kapalná i plynná. Nejvyšší míru zastoupení zde nachází koroze kapalná, jež pokrývá kovový povrch elektrolytickou vrstvou s různým složením, odvíjející se dle zastoupení plyných prvků v okolním prostředí. Nejčastěji to bývá dusík (70-80%), kyslík (10-20%), oxid uhličitý (0,1-10%) a ostatní plyny, jež do půdy mohou být přivedeny například ve formě hnojiv. Ty mohou reagovat, jak plynou fází, tak i tuhou, pakliže na kovový materiál působí dotykem a mohou s ním interagovat, případně na sebe více vázat vlhkost a tím zvyšovat množství elektrolytické vrstvy na povrchu kovového materiálu.

Dalším projevem koroze, jež se v půdních podmínkách vyskytují, jsou tzv. bludné proudy. Ty se do půdy dostávají ze zdrojů stejnosměrného proudu, jako jsou například vlakové koleje, v místech kde je izolace poškozena, či chybí. V těchto místech proud do půdy vstupuje a vzniká tzv. pásmo katodové. Následně proud prochází půdou a v místech kde vystupuje, vzniká pásmo anodové – v těchto místech vzniká koroze materiálů vlivem bludných proudů.



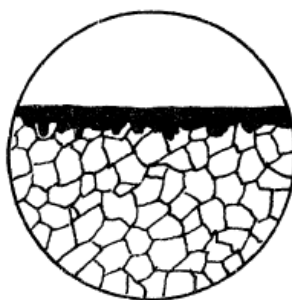
Obrázek 6 – Půdní koroze (8)

1.4 Druhy korozního napadení

Vedle stanovování rychlosti a vnitřního mechanismu koroze nám různé faktory okolního prostředí, či interakce se zkoumaným materiálem zapříčiňují i různé druhy korozního napadení. Koroze může napadat jen povrch materiálu, či rovnou narušit celou jeho objemovou strukturu.

1.4.1 Rovnoměrná koroze (plošná)

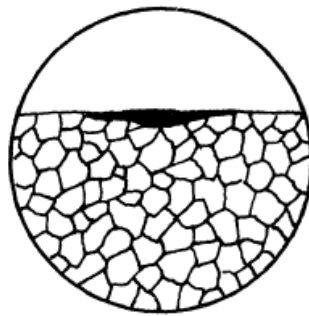
V atmosférických podmínkách nejvíce zastoupená forma korozního napadení. Korozní proces zasahuje materiál na jeho povrchu a dochází k jeho rovnoměrnému rozpouštění. (7)



Obrázek 7 – Rovnoměrná koroze (15)

1.4.2 Nerovnoměrná koroze

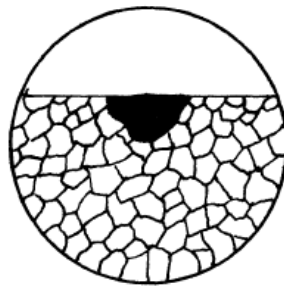
Podobně jako u rovnoměrné koroze dochází k postupnému rozpouštění povrchu kovového materiálu. Zde se ovšem koroze akceleruje v určitých místech, nebo je část materiálu například heterogenitami lépe chráněna a v těchto místech koroze zpomaluje. (7)



Obrázek 8 – Nerovnoměrná koroze (15)

1.4.3 Důlková koroze

Jedná se o druh nerovnoměrné koroze. Charakteristické pro ni je, že poměr hloubky se šířkou korozního napadení je zachován a zachovává svůj poměr i delší časový úsek.



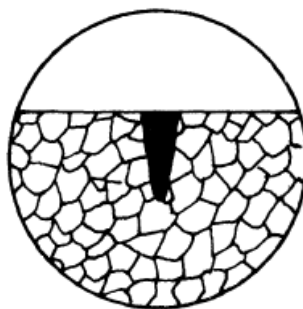
Obrázek 9 – Důlková koroze (15)



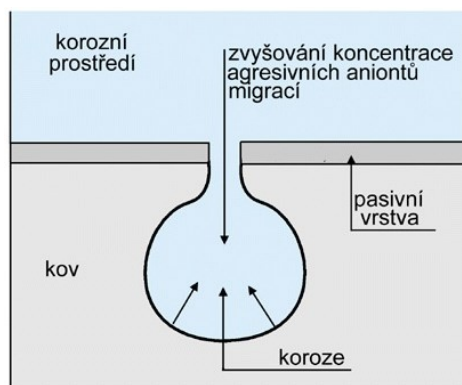
Obrázek 10 – Důlková koroze (16)

1.4.4 Bodová koroze (pitting)

Tento druh koroze vzniká často u materiálů, jež na svém povrchu vytvářejí ochranou pasivní vrstvu, která chrání kovový povrch vůči korozi. Nejčastěji vlivem poškrábání, či jinému narušení dochází k oxidaci tohoto bodu, kde korozní působení postupuje směrem do materiálu. Vznikají tak hluboké důlky i bez viditelného poškození. V místě vzniku důlku roste množství iontů chloridu a vznikem korozních zplodin klesá hodnota pH. Tím vzniká stále agresivnější prostředí a koroze v tomto místě zrychluje.



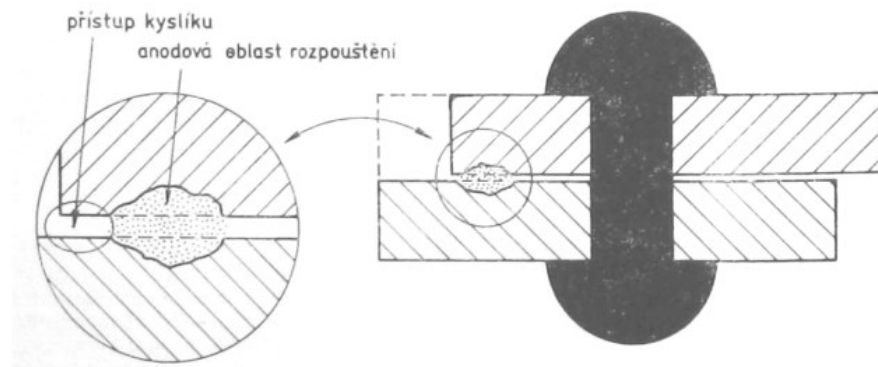
Obrázek 11 – Bodová koroze (15)



Obrázek 12 – Bodová koroze (17)

1.4.5 Štěrbínová koroze

Vzniká ve štěrbinách, kde bývá zachyceno malé množství kapaliny, či zde dochází k rozdílnému odvědušnění, tj. rozdílnému obsahu kyslíku na povrchu kovu. Obvykle mezi dvěma materiály, jako jsou zánýtované plechy, šroubové spoje, svary, pod podložkami, těsnění atd. V případě rozdílného obsahu kyslíku vzniká uvnitř štěrbiny oblast anodová a oblast katodová na vnější části povrchu kovu. Tento druh koroze bývá typický u korozivzdorných ocelí.

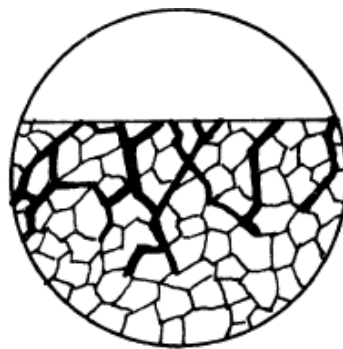


Obrázek 13 – Štěrbínová koroze (17)

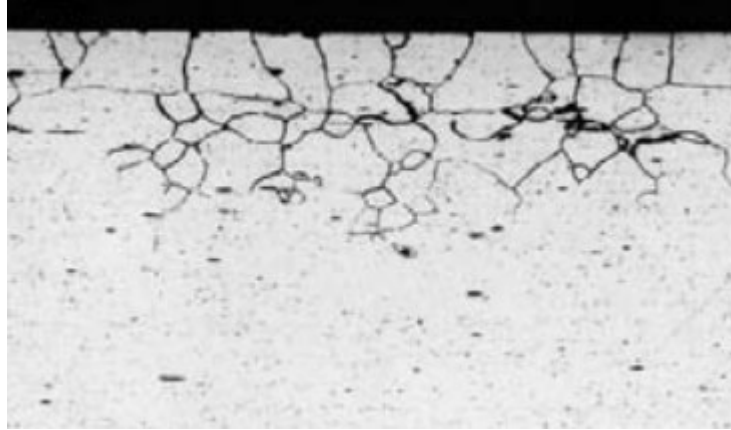
1.4.6 Mezikrystalická koroze

K tomuto druhu vzniku koroze dochází především u korozivzdorných ocelí po jejich teplem zpracování, případně u svařování. Tato koroze má zřejmě nejvýznamnější vliv na změnu strukturních vlastností kovu. Vliv této koroze spočívá v působení na strukturní nehomogenitu kovu zrn, případně snížením obsahu chromu na hranicích zrn, vlivem srážení karbidu chromu, ke kterému dochází přibližně v rozmezí teplot 500-800°C.

Tento druh koroze je velmi nebezpečný, jelikož zrna ztrácejí soudržnost a dochází ke snížení mechanické pevnosti, aniž by toto zasažení bylo okem pozorovatelné, jelikož může pronikat až do značné hloubky.



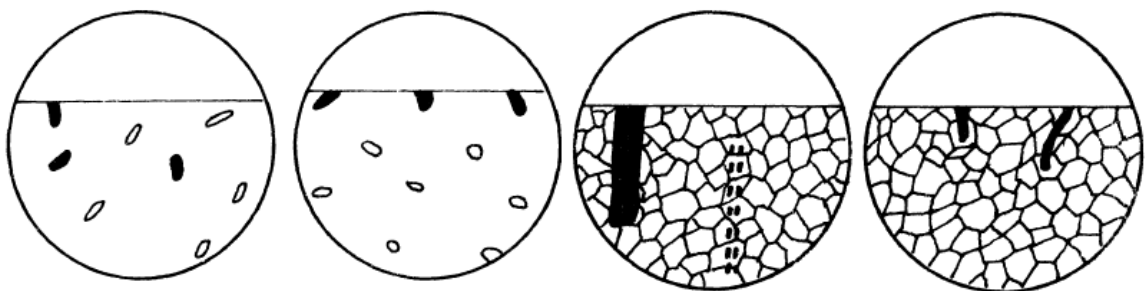
Obrázek 14 – Mezikrystalová koroze (15)



Obrázek 15 – Mezikrystalická koroze uhlíkové oceli (18)

1.4.7 Selektivní koroze

Jedná se o případ koroze, ve které dochází k přednostnímu rozpouštění složek slitiny, jež je v kovu nežádoucí. V místě působení korozního napadení dochází ke strukturním změnám krystalické mřížky slitiny a tím pádem i ke zhoršení mechanických vlastností prvku, jelikož korodující složka napadá pouze určitou oblast struktury kovu. Selektivní korozi lze dále rozdělit na rovnoměrnou, jež napadá zejména povrch materiálu a jež probíhá při běžné teplotě, či ve slabě kyselých vodách. A dále na lokalizovanou selektivní korozi, jež probíhá ve vodách se zvýšeným obsahem soli, při zvýšené teplotě. Často se s tímto druhem koroze setkáváme u mosazných armatur vodovodních rozvodů, kde vlivem selektivní koroze dochází k odzinkování mosazi, což vede ke zhoršení mechanických vlastností potrubí.



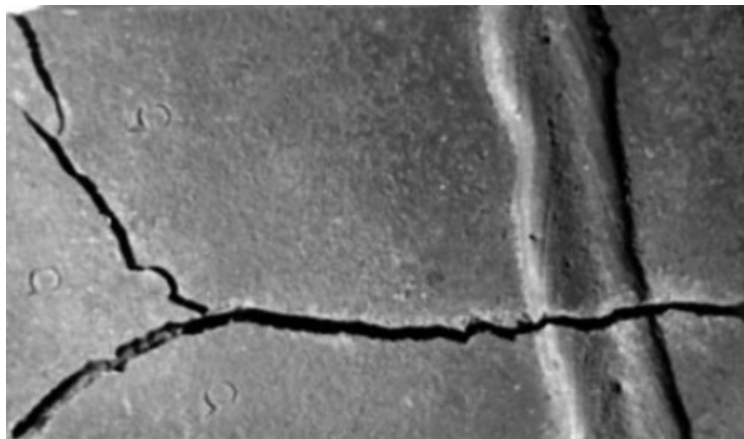
Obrázek 16 – Příklady selektivní koroze (15)



Obrázek 17 – Selektivní koroze- odzinkování mosazi (7)

1.4.8 Korozní praskání

Korozní působení prostředí v kombinaci s mechanickým namáháním má za příčinu vznik trhlin, jež povětšinou vycházejí z míst s porušenou pasivní vrstvou, jako je bodová, či štěrbinová koroze, jež se má dále tendence šířit skrze hranice zrn. (20) Větší tendence ke koroznímu praskání mají slitiny kovů. U kotlů z uhlíkové oceli, u nichž byla voda upravena zvýšením pH nad hodnotu 9, aby se zabránilo rovnoměrné korozi, začalo docházet k tzv. louhové křehkosti ocelí. V místě spojení nýtových spojů se vlivem přehřátí začal hydroxid koncentrovat a nýty, jež byly namáhány na tlak začaly praskat, což způsobovalo explozi kotle.



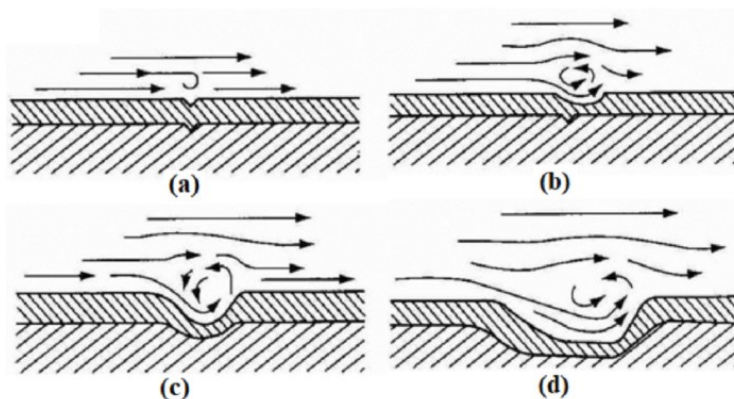
Obrázek 18 – Korozní praskání uhlíkové oceli (20)

1.4.9 Korozní únava

Obdobně jako u korozního praskání, dochází i u korozní únavy k výrazné degradaci materiálu, ovšem s tím rozdílem, že u procesu korozní únavy je materiál zatěžován cyklickým namáháním za působení korozního prostředí. Tím se snižuje mez únavy kovového materiálu a současně se snižuje průřez materiálu vlivem rozpouštěním povrchových vrstev, což přispívá ke vzniku lomu. (17)

1.4.10 Erozní koroze

Tento druh koroze velmi často vzniká v rychle proudícím prostředí, kde se na zvýšení korozní rychlosti podílí erozní porušování pasivní vrstvy kovového materiálu, která povrch chrání před rozpouštěním. Tento účinek může být ještě akcelerován, pokud proudící kapalina obsahuje pevné, či plynné látky, jež se na odírání povrchové vrstvy mohou také podílet. Rovněž zde hraje roli geometrie systému. Běžným projevem erozní koroze je tvorba vlnek, rýh, či podkovovitých důlků na povrchu kovu. (20)



Obrázek 19 – Erozní koroze (20)

1.5 Korozní testování

Zkušební vzorky se při jejich testování podrobují účinku předpokládaného prostředí, v němž budou během své životnosti vystaveny. Toto testování je velmi důležité k získání dat, týkajících se jejich chování a zjištění typu korozního napadení, rychlosti korozního účinku a případných změn mechanických vlastností zkoumaného materiálu.

1.5.1 Provozní zkoušky

Tento typ zkoušek podává poměrně kvalitní data o chování materiálu, jelikož se zkušební vzorky ponechávají v podmínkách odpovídajících skutečnému ději (atmosféra, půda, kapalný roztok, atd.). Současně se zachovává i doba jejich expozice v prostředí bez urychlení, což sice přináší kvalitní data, avšak díky tomu jsou tyto zkoušky poměrně velmi časově náročné.

1.5.2 Test solnou mlhou

Zkouška dle normy ISO 9227 (21). Jedná se o standardizovanou normu z roku 1939, jež se používá ke kontrole odolnosti materiálu a jejich povrchů proti korozi. Test spočívá v expozici zkoumaných vzorků v atmosféře neutrální solné mlhy (NSS) s rozprašovaným roztokem atomizovaného NaCl v demineralizované vodě o koncentraci $50 \text{ g/l} \pm 5 \text{ g/l}$ a pH 6,5-7,2. Jedná se o nejrozšířenější zkoušku ke zjišťování korozního napadení, přičemž postupem let vznikalo mnoho modifikací vycházejících z ISO 9227, jež upravovaly například salinitu roztoku, jeho pH, nebo změnu zkušební teploty. Obecně platí, že doba expozice vzorků v solné komoře odpovídá předpokládané odolnosti povrchu materiálu. Čím je tedy odolnost větší, tím déle se vzorky v komoře ponechají, než se objeví koroze. V této souvislosti se vyhodnocení většinou používá v ohledu k očekáváním, tedy jestli se korozní zplodiny objeví na povrchu materiálu, před očekávaným počtem hodin.

Z důvodu ponechání vzorků ve velmi vlhkém prostředí je pravděpodobnost přiblížení se reálnému chování materiálu v běžném světě velmi malá, jelikož NSS nevytváří reálné korozní podmínky, ani neurychluje korozní agresí reálného prostředí. K tomuto účelu slouží spíše testování cyklické.

Zkoušení materiálů solnou mlhou probíhá v uzavřené komoře o teplotě 35°C , do které je skrze trysku kontinuálně rozprašován předpřipravený solný roztok o určité salinitě a neutrální hodnotě pH. Vzorky jsou zde umístěny tak, aby se vzájemně neovlivňovaly dotykem, ani například stékající vodou a nedocházelo tak k jejich kontaminaci. Rovněž se v komoře nachází dvě spádové nádoby, které slouží ke kontrole podmínek probíhajícího testu. Úkap nahromaděný v těchto nádobách je předepsáno pravidelně měřit a zaznamenávat, aby bylo možno sledovat změnu možných zkušebních podmínek vně komory během probíhajícího testu.



Obrázek 20 – NSS komora (23)

Mezi nejčastěji zkoumané materiály touto korozní zkouškou patří například zinek a jeho slitiny, galvanicky pokovený chrom, cín, měď a nikl. Ovšem díky vysoké oblibě této zkoušky bývá stále více prováděna i na dalších materiálech ve všech možných odvětví průmyslu.

1.5.3 Cyklický korozní test

Cyklické korozní testování (CCT) se velmi rozšiřuje zejména v řadu posledních letech v automobilovém průmyslu, jelikož slouží jako velmi účinný nástroj urychlení korozních reakcí v laboratorních podmínkách. Účelem provádění těchto zkoušek bývá určení predikce selhání, které může postihnout materiál v reálném světě, ovšem rychleji. Výrobci produktů tak mohou přesněji predikovat životnost jimi vyráběných produktů.

CCT spočívá v měnících se hodnotách klimatických změn, čímž se liší od zkoušek solnou mlhou. Zpravidla se při cyklických zkouškách mění hodnoty teploty a vlhkosti uvnitř komory. Dalším aspektem těchto testů je příprava solného roztoku a stanovení parametrů (pH, salinita), které mohou při správné predikci velmi napodobovat skutečné podmínky z reálného světa. Díky této možnosti přináší CCT velmi kvalitní výsledky, avšak je třeba flexibilnější přístup, než je tomu u zkoušek solné mlhy.

Především v automobilovém průmyslu došlo díky tomuto odvětví zkušebnictví k převratu, jelikož většina automobilových společností zavedla vlastní cyklické korozní testy, jež nejvíce odpovídaly prostředí, v nichž se jejich produkty budou za své životnosti pohybovat, popřípadě mohou materiály zasahovat látkami typickými pro dané prostředí.

Mají tak lepší výsledky k predikci vzniku korozních zplodin, což jim na antikorozi zaruče ušetří nemalé množství financí.

Testy CCT jsou většinou založeny na změně teplotních a vlhkostních cyklů. Dle běžných cyklických požadavků můžeme rozeznat několik základních fází:

- Znečištění solným roztokem, jež většinou probíhá coby solná mlha, nebo sprchovací proces. Solný roztok může mít různé parametry a dobu i intenzitu postřiku je možno přesně nadefinovat.
- Vlhčení. Tato fáze většinou bývá prováděna za zvýšené teploty komory, k podpoření vzniku kondenzátu na povrchu vzorku. Vlhkost bývá nastavována na 95-100% relativní vlhkosti (RH).
- Sušení. Bývá prováděno při teplotě pokojové, nebo vyšší. V této fázi může být vlhkost regulována na určitou hodnotu, nebo také nemusí. Obecně bývá požadováno, aby po skončení této fáze byly vzorky na povrchu vizuálně suché.
- Cyklování vlhkosti. Zde dochází ke změnám hodnot vlhkosti uvnitř komory. K tomuto cyklování může být potřeba speciálních cyklických komor, na kterých jde nastavit například také časový průběh změny (lineární, parabolický).
- Ostatní. Již se v současnosti na trhu nalézají komory, schopny vytvořit rovněž prostředí s možností přechodu pod 0°C, či provedení jiných extrémních podmínek v průběhu testu.



Obrázek 21 – CCT komora (24)

1.6 Hodnocení korozního napadení

Dle druhu materiálu a provedené zkoušky je nutno určit, která z hodnotících podmínek je pro účel stanovení korozního napadení neoptimálnější. Stanovení správné hodnotící metody se odvíjí zejména dle druhu zkoumaného materiálu, jeho použití v reálném světě a očekávání, jež na něj budou v běžném provozu kladena a dále dle kterých kritérií se u něj v procesu korozního napadení očekávají možná selhání.

1.6.1 Vzhledové změny

Hodnotí se povrch, jež je napaden korozi. Hodnocení probíhá zejména vizuálními metodami, ať už pohledem oka výzkumníka, lupou, či mikroskopem. Je rovněž možno zviditelnit korozní zplodiny různými fluorescenčními látkami, jež u korozních zplodin změni zabarvení a pod ultrafialovým světlem je jejich zviditelnění razantnější. (24) Této metody se využívá zejména u prvků běžné spotřeby, jež jsou viditelné zvenčí okem zákazníka. Výrobce garantuje korozní ochranu po určitý časový úsek, je tedy nechtěné, aby se na okem viditelných plochách objevily korozní zplodiny před uplynutím tohoto data.

1.6.2 Rozměrové změny

Hodnotící kritérium je zejména zjištění rozdílu tloušťky materiálu před expozicí v korozním prostředí a po ní. U rovnoměrné koroze je poté zjištěno zeslabení stěn materiálu. U koroze nerovnoměrné se dále měří hloubka napadení v nejtenčím místě (24). Mezi měřicí přístroje se využívá především mechanických posuvných měřítok, nebo metod defektoskopických, jako je ultrazvuk, či radiačních a indukčních metod.

1.6.3 Hmotnostní změny

Hodnotící hmotností kritérium bývá stanoveno na základě hmotnostní difference vzorku před a po testu. Dle hmotnostního úbytku a celkové exponované ploše se stanoví hodnota korozní agrese. Tato hodnota je úměrná časové délce probíhajícího testu, je možno tedy stanovit časovou závislost koroze materiálu. Tvar i velikost zkušebních vzorků je předepsána normou ČSN ISO 9227 (21), ale může být i upravena dle potřeb zkušební laboratoře, dle typu, či tvaru zkoumaného prvku. Po expozici v korozní komoře je nutno odstranění korozních zplodin, které probíhá dle specifiků normy ČSN ISO 8407 (24), za

použití mechanických, či chemických metod, dle druhu zkoumaného materiálu a rozsahu korozního napadení.

1.6.4 Metalografické

Spočívá rovněž na základě vizuálního hodnocení korozního napadení a je užíván ke stanovení charakteru rozmístění, tvaru a hloubky korozního napadení zkoumaných vzorků, kde vyhodnocení těchto kritérií je stanoveno normou ČSN 03 8137 (26). Tato metoda je vhodná k hodnocení nerovnoměrné koroze.

1.6.5 Změny mechanických vlastností

Do této metody zahrnujeme hodnocení mechanických vlastností vzorků po korozním zatížení. Řadíme sem například zkoušky tvrdosti, trhací, či rázové. Hodnotícím kritériem je zjištění vlivu korozního napadení na vlastnosti daného prvku. (25)

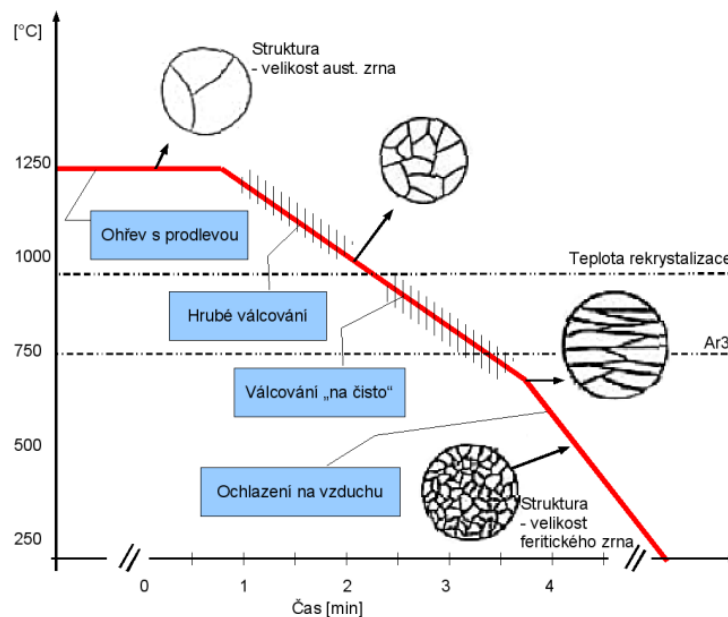
2 VÝBĚR MATERIÁLU, SMĚSI A URČENÍ DOBY TESTOVÁNÍ

Předmětem zkoumání, jež se v této práci budeme zabývat, je zjištění vlivu roztoků látek běžné spotřeby na ocelové materiály, se kterými mohou přijít do styku a jež mohou mít vliv na průběh jejich korozního napadení.

2.1 Výběr materiálu prvků testovaných

K provedení zkoušky bude využito dvou druhů materiálů z konstrukční oceli, kde na prvním typu se bude rovněž nacházet povrchová úprava zinek-nikl, na druhém nikoli. Tvar zkušebních vzorků má specifickou geometrii, přičemž tloušťka zkoumaných vzorků jest 2 mm, objem prvků je 14,8 cm³ s vnější plochou 166,7 cm².

Materiál zkušebních vzorků jest ocel s označením: S420MC (1.0980) dle normy EN 10149, válcovaný za tepla. Jedná se o nízkolegovanou ocel (též mikrolegovanou), jež disponuje vyšší odolností vůči atmosférické korozi, než-li oceli uhlíkové. Obsah uhlíku u tohoto druhu ocelí bývá udáván mezi 0,05-0,5%. Díky nízké hodnotě obsahu uhlíku dochází k lepší úrovni svařitelnosti a houževnatosti materiálu. Ke zlepšení pevnosti se užívá mikropřísad, zejména vanadu a niobu, jež nízkou hodnotu uhlíku kompenzují. Následným válcováním za tepla při austenizační teplotě, dochází ke zvýšení houževnatosti a zvýšení meze kluzu, jež se udává v rozsahu 345 až 620 MPa.



Obrázek 22 – Schéma řízeného válcování za tepla (27)

Tento druh ocelí bývá velmi využíván v automobilovém průmyslu. Kupříkladu jen na karoserii bývá jeho obsah u jistých modelů udáván vyšší, než 26%.

Úprava povrchu kovů galvanickým pokovením ZINEK-NIKL přináší materiálu nejvyšší možnou korozní odolnost, nazývanou též „katodická ochrana“. Ta znamená, že galvanicky pokovená vrstva vytvoří ze zinku obětní anodu, korozní napadení se zaměří na tuto umělou vrstvu a nedochází k vytváření korozního napadení na samotném povrchu kovu. (28) Nikl v tomto procesu hraje rovněž klíčovou roli, jelikož snižuje elektrickou vodivost hydroxidů zinku, což vede ke slabší reakci oxidu a korozní napadení tím výrazně zpomaluje. Obecně platí, že čím je hodnota niklu v povrchové vrstvě vyšší, tím je ochrana účinnější. Tento typ úpravy povrchu se v průmyslu nejvíce prováděl skrze ponoření ocelových prvků do kyanidových lázní. To se ovšem ukázalo jako velmi znečišťující pro životní prostředí. Hledají se tedy nové alternativy, kde se kyanidové lázně nahrazují například kyselými (pH 3-4), alkalickými (pH 13-14) či sulfátovými lázněmi. (28)

Pokovení Zn-Ni se rovněž hojně využívá jako alternativa antikoročních nátěrů a dnes patří tento způsob ochrany kovového materiálu vůči korozi k nejodolnějším a rovněž nejdéle trvajícím.

2.2 Výběr látek zasahující materiál před testem

Látky, jež mohou s ocelovými prvky za dob jejich využití ve světě přijít do styku, byly vybrány na základě jejich míry používání v běžném životě a předmětem zkoumání bude zjištění vlivu jejich 24 hodinové expozice na zkoumaný vzorek před korozním testem.

2.2.1 Kolový nápoj

Byla stanovena limonáda s kolovou příchutí, obsahující uvedené složení ve blíže nspecikovaném poměru: voda, fruktózo-glukózový sirup, oxid uhličitý, barvivo E150d, kyselina fosforečná, přírodní aroma kofeinu.

- Bylo dokázáno, že oxid uhličitý podporuje tvorbu koroze (tzv. sladká koroze), kde rozpouštějící se CO_2 hydratuje na kyselinu uhličitou H_2CO_3 , jež ovlivňuje pH a koncentraci roztoku, což má vliv na vznik různých druhů katodových reakcí s kovovým povrchem. (29)
- Vliv kyseliny fosforečné H_3PO_4 na tvorbu korozních zplodin dosud nebyl uspokojivě prozkoumán. Jedná se o kyselinu, jež se v běžném životě používá jako

odrezovač, jelikož nemá oxidační vlastnosti a většinu kovů nerozpouští. Ovšem jedná se o kapalinu kyselou, tedy s nízkou hodnotou pH, což při dlouhodobém styku s průmyslovými kovovými materiály představuje problém a je zapotřebí je chránit. (30) V průmyslu je využíváno této kyseliny rovněž ke tvorbě koroze ochranných vrstev- tzv. fosfátování, kde se do lázně kyseliny fosforečné a dalších aditiv noří materiály za cílem vytvoření ochranné vrstvy proti korozi. Fosfátová vrstva však ani zde nikdy není poslední a musí následovat další vrstva krycí, jelikož by následkem nízké hodnoty pH začal materiál opět korodovat.

- Dle výzkumů bylo odhaleno, že kofein obsažen v sycených nealkoholických nápojích prokázal svůj charakter jako inhibitor koroze, tedy snižuje korozní působení na materiál. (31)

2.2.2 Motorový olej 5W-30

Motorový olej 5W-30, jež je běžně využíván v automobilovém průmyslu. Běžně jsou motorové oleje využívány coby ochrana proti korozi a opotřebení. Studie ukazují, že celková ochranná účinnost olejového filmu na povrchu materiálu může po jednom dni v roztoku chloridu sodného dosáhnout 93-96%. Zpomalení koroze oceli pod vrstvou olejového filmu je způsobeno především zpomalením katodického procesu s mírnou inhibicí anodické reakce. (32)

2.2.3 Směs demineralizované vody a prachu

Vytvoření roztoku demineralizované vody s příměsí prachu je jeden ze způsobů zkoušení kovových materiálů, zohledňujících pohyb kovových prvků po poušti, či v zaprášeném prostředí, sloužící ke zjištění chování prachových částic při vzniku koroze.

Demineralizovaná voda jest voda, která je zbavena všech minerálů, jež se ve vodě vyskytují, což se projevuje velmi sníženou elektrickou vodivostí. Tato voda se používá v laboratorních podmínkách, aby nedošlo ke kontaminaci vzorků nechtěnými minerály z užívání užitkové vody a mohlo tak být přesně stanoveno její složení ke zkouškám na základě potřebných příměsí. Z tohoto důvodu se všechny chemické přípravky a směsi musí vyrábět z tohoto druhu vody.

Byla použita syntetická prachová směs (CAS 14808-60-7), obsahující složení:

- 38-69 % = oxid křemičitý (SiO_2)

- 15-30 % = oxid hlinitý (Al_2O_3)
- 10-20 % = oxid železitý (Fe_2O_3)
- 6-12 % = dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

Následně z demineralizované vody a syntetické prachové směsi bude vytvořen 5% prachový roztok, za cílem zkoumání vlivu prachových částic na povrch materiálu.

2.3 Určení doby testování

Doba ponoření 3/4 ocelových vzorků do jednoho z připravených roztoků byla stanovena na 24 hodin, při zvýšené teplotě okolního prostředí na 60°C , což má za účel simulaci aplikace látek v tropickém prostředí a současně zvýšení rychlosti korozní reakce, oproti teplotě pokojové. 1/4 vzorků ponořena nebude a bude sloužiti k účelům porovnávacím.

Následně necht' jsou zkušební vzorky rozděleny do dvou skupin, kde bude polovina těchto vzorků umístěna do komory s neutrální solnou mlhou (NSS) a druhá polovina do komory cyklické (CCT). V každé z těchto komor bude třetina vzorků ponechána na dobu 360 hodin (15 dnů). Druhá třetina 720 hodin (30 dnů) a třetí třetina 1008 hodin (42 dnů).

2.4 Cíl práce

Cílem této diplomové práce jest zjistit vliv různých roztokových směsí běžného uživatelského výskytu na ocelové materiály, hojně využívané v průmyslových odvětvích a porovnat rovněž stupeň ochrany povrchové úpravy Zn-Ni, ku vzorku bez této ochrany. Jako roztoky, jež zasáhnou materiály před započítím korozního cyklu, byla na základě jejich hojného výskytu v každodenním životě vybrána: kolová limonáda, motorový olej a prachová voda. V závěru práce budeme tyto účinky porovnávat k těmž materiálu, jež žádnou z těchto látek zasažen nebyl. Následně budou na polovině vzorků provedeny zkoušky neutrální solnou mlhou a s druhou polovinou vzorků test v komoře cyklické. Po uplynutí 360 h, 720 h, a 1008 h bude na vzorcích následovat vyhodnocení získaných hodnot a stanovení statisticko-matematických rovnic k určení závislosti, mezi získanými korozními daty v porovnání k délce testování.

Rozhodl jsem se ke zkoumání tohoto tématu z důvodu mého vlastního zájmu o tuto problematiku a rovněž z nekonečné zvědavosti provedení experimentu, při vystavení ocelových materiálů látkám běžného užití, kde kupříkladu o kolových nápojích slýcháme z kutilských pořadů o jejich všestranném charakteru. Zda-li má motorový olej opravdu

ochranný účinek při provozu motoru, či zda prašné prostředí vlivem křemičitých zplodin korozní napadení zrychlí.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 PROVEDENÍ EXPERIMENTU

K provedení kvalitního a opakovatelného experimentu, bude dosaženo za pomoci norem, nejvíce se užívajících při provádění korozních testů, tedy ISO 9227 (22), a norem, na něž se tato specifikace odkazuje. Tato část experimentu obsahuje zejména přípravu vzorků před testem a následné stanovení optimální doby čištění po testu, jež je třeba provést s předstihem, aby získaná data byla co nejvíce validní. Následovat bude umístění vzorků do vybraných látek k jejich kontaminaci odlišným prostředím a jejich aplikaci do korozního prostředí.

3.1 Příprava testovacích komor a použítá zařízení

K provedení experimentu bylo použito těchto testovacích zařízení:

- Komora k provádění testů solnou mlhou (NSS)
- Komora k provádění testů cyklického rozprašování (CCT)
- Klimatická komora s možností nastavení teplotního prostředí do 100°C
- Univerzální multi-parametrický měřič pH, salinity a vodivosti roztoku
- Přesná váha značky KERN, s rozsahem měření 1 000 gramů a přesností vážení 0,01 gramu.
- Měřič izolačního odporu MEGMET s měřícím rozsahem: 20 GΩ
- Drsnoměr Mitutoyo SJ-201p, s měřícím rozsahem: 350 μm

Všechna zařízení měla v době provedení zkoušky platný kalibrační protokol.

3.1.1 Příprava komory NSS

Vzorky v aplikaci prostředí solnou mlhou, budou korodovány dle normy ISO 9227 (22). Provozní podmínky komory jsou 38°C za vysoké vlhkosti, dosahující 100%. V komoře jsou umístěny 2 zkušební nádoby, které mají za cíl shromažďovat úkap uvnitř komory, ze kterého je na denní bázi kontrolován objem úkapu a parametry jako pH a salinita, aby bylo možno stanovit kvalitu probíhajícího testu, či zaznamenat případné odchylky od optimálního průběhu testu.

Roztok chloridu sodného v zásobovací nádrži, jež bude během testu rozprašován, se připraví z deionizované, či demineralizované vody s vyhovující vodivostí a následného

rozpuštění chloridu sodného s koncentrací $50 \text{ g/l} \pm 5 \text{ g/l}$. Hodnota pH tohoto roztoku musí být v rozmezí 6,2 – 7,2.

K ověření správné funkce tohoto testu, bylo zapotřebí provést ověřovací test, jež ověří, že korozní agrese je ve předpokládaných, normou udaných mezích. Tento ověřovací test probíhá za užití čtyř, až šesti referenčních ocelových vzorků, přesně udaných rozměrů. Vzorky se před ověřovacím testem pečlivě očistí a jedna strana se zalepí samolepící ochrannou fólií. Dále jsou vzorky umístěny do různých kvadrantů zkušební komory, obnaženou stranou nahoru a pod úhlem 20° ke svislici. Po skončení testovacího cyklu se vzorky očistí vhodným mechanickým, či chemickým čištěním dle normy ISO 8407 (26), a následuje jejich zvážení. Z rozdílu hmotnosti před a po testu, ku celkové ploše je následně vypočtena hodnota korozní agrese ve zkoumané komoře. Dle normy je za vyhovující hodnotu považován úbytek hmotnosti předepsaného ocelového materiálu, po 48 hodinách zkoušky $50\text{-}90 \text{ g/m}^2$. Tomuto parametru námi zvolená korozní komora byla vyhovující.

3.1.2 Příprava komory CCT

Ke sprchovacímu cyklu bude použito stejného roztoku, jako u testu NSS, jež byl popsán výše. Jak již bylo avizováno, podstatou cyklických testů je simulace změn vlhkosti a teploty během cyklu. Z tohoto důvodu byl stanoven teplotní cyklus, jež odpovídá užívaným testovacím specifikacím tohoto druhu zkoušek.

Profil kroků komory byl stanoven následující, kde jednodenní cyklus se po sobě 5x opakuje, následující krokem „víkendovým“:

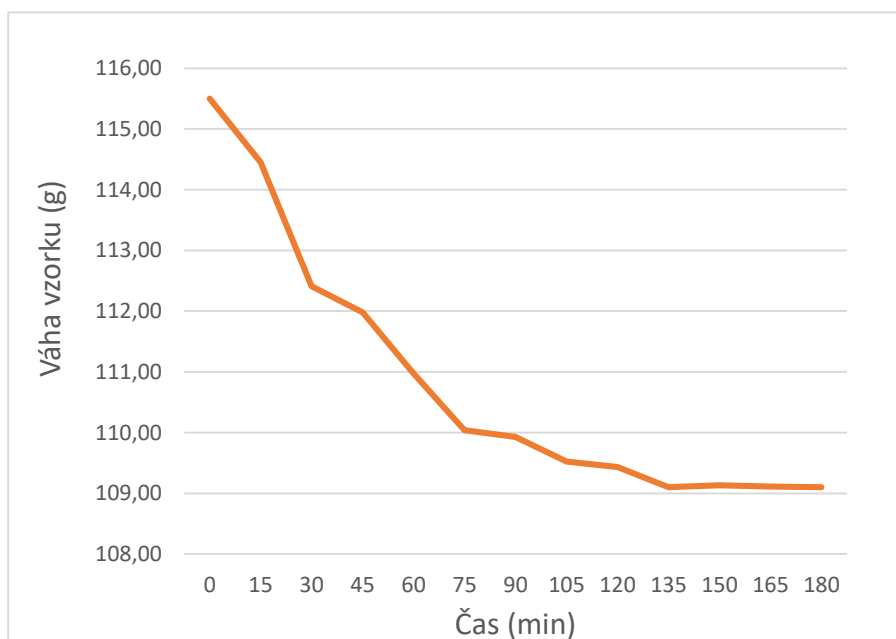
Krok	Operace	Teplota (°C)	Vlhkost (%)	čas (min)	(1 denní cyklus)
1	Sprchování	50	x	10	
2	Vlhčení	30	95	20	
3	Sprchování	30	x	3	
4	Vlhčení	25	95	147	
5	Sprchování	25	x	3	
6	Vlhčení	25	95	174	
7	Sprchování	25	x	3	
8	Vlhčení	25	95	30	
9	Vlhčení	40	95	120	
10	Vlhčení	50	70	930	
Zopakování kroku 1-10, do celkového počtu cyklů 5					
11	"Víkendové" vlhčení	50	70	2880	

Tabulka 1 – Teplotní profil cyklické komory

3.2 Stanovení doby čištění vzorků od korozních zplodin

Před testem jest důležité stanovit vhodnou metodu a dobu čištění korozních zplodin zkoušeného materiálu tak, aby nedošlo ke zbytečnému odleptávání podkladového materiálu a zvolená metoda byla co nejvíce účinná. Norma, zaobírající se touto problematikou jest ISO 8407 (26), dle které bude zkouška prováděna. Očištěné cvičné vzorky byly ponechány 120 hodin v komoře produkující solnou mlhu. Z důvodu nepatrné korozní reakce na vzorcích s povrchovou úpravou zinek-nikl, bylo stanovení doby čištění primárně zkoumáno pro vzorky bez této povrchové úpravy.

Zkoumaný vzorek byl před umístěním do komory pečlivě očištěn a zvážen. Po skončení testovacího cyklu byly největší korozní zplodiny jemně odstraněny mosazným kartáčem, a dále umístěny do roztoku citronanu amonného, o koncentraci: 200g citronanu amonného, doplněného do 1 000 ml čistou destilovanou vodou. Tento roztok byl spolu se vzorkem ponechán v klimatické komoře s nastavenou teplotou +80°C, kde byl každých 15 minut kontrolován a pravidelně vážen. Při každém vážícím cyklu byl vzorek jemně mechanicky čištěn štětečkem a hadrou, jež vedlo k rychlejšímu odstranění povrchových usazenin.



GRAF 1 – Stanovení doby čištění vzorku

Na základě měření byla stanovena doba čištění 135 minut jako optimální, pro odstranění korozních zplodin. Při čistícím cyklu je vhodné provádění kontrol za častého kartáčování tak, aby došlo k uvolnění usazených nánosů rzi a další setrvání v roztoku bylo tím

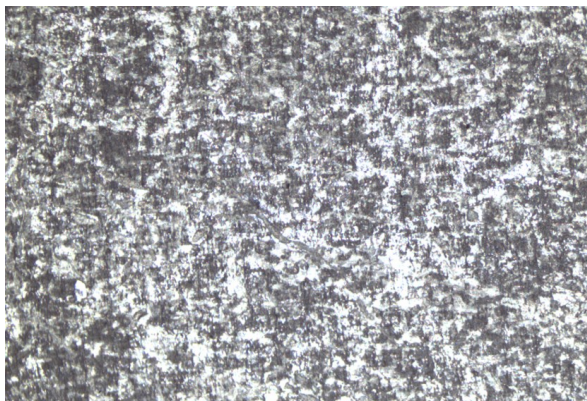
efektivnější. Následně proběhla rovněž kontrola pod mikroskopem s cílem ověřit, že usazeniny byly z povrchu materiálu odstraněny, což se potvrdilo.

3.3 Příprava vzorků před testem a aplikace látek

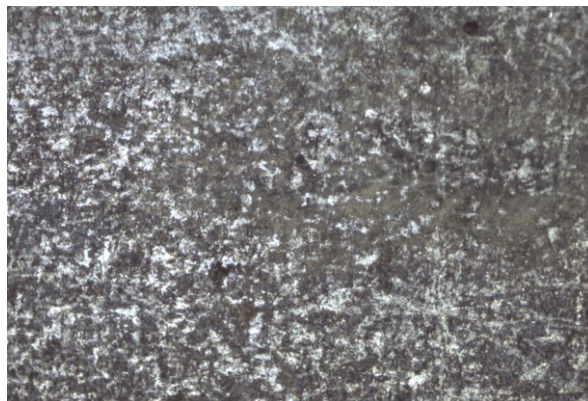
Před testem byly vzorky pečlivě očištěny vodou a vysušeny ofukem vzduchu, aby došlo k odstranění případných nánosů nečistot. Po očištění byly vzorky zváženy vahou KERN, byl změřen izolační odpor, pro případné zkoumání změn vodivosti proudu a byla na vzorcích změřena drsnost povrchu. Vzorky byly dále opatřeny nenavlhavým provázkem, za nějž měly být umístěny do komory a rovněž byly popsány specifickým označením, za účelem určení typu a druhu kontaminace vzorku, aby k danému označení byla i po ukončení testu dohledatelná historie.

Po prvotní přípravě byly předem vybrané vzorky umístěny na 24 hodin do vybrané látky, při +60°C okolní teploty. Mezi kontaminační látky, jak již bylo zmiňováno, patří kolový nápoj, prachová voda a motorový olej. Poslední čtvrtina vzorků byla coby porovnávací tohoto kroku ušetřena. Po skončení máčecího cyklu byly pořízeny fotografie pod mikroskopem.

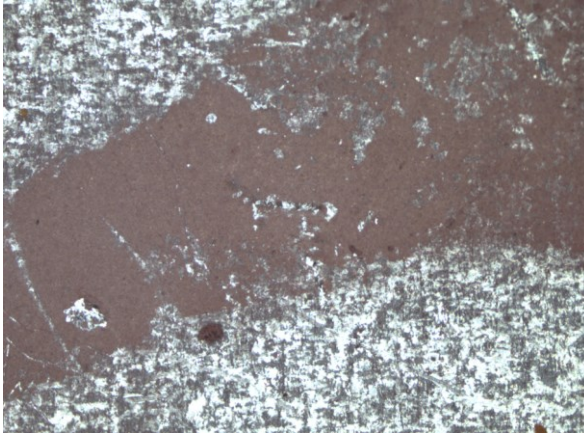
3.3.1 Vzorky s povrchovou úpravou zinek-nikl (označeny A)



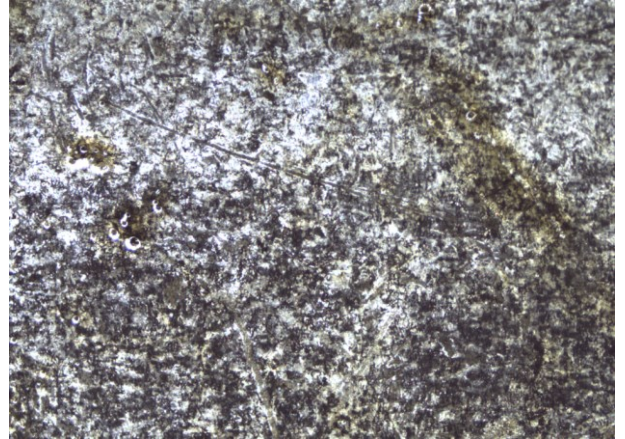
Obrázek 23 – Vzorek A nezasažen



Obrázek 24 – Vzorek A zasažen kolou

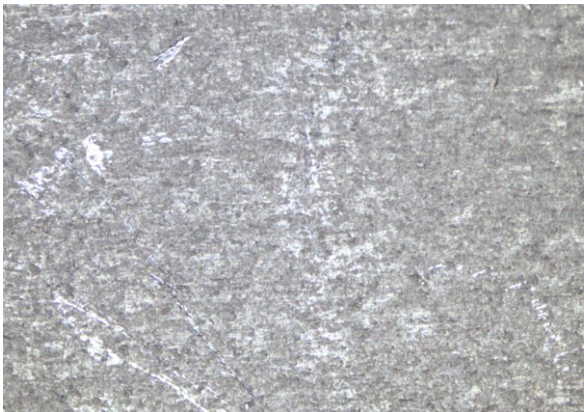


Obrázek 25 – Vzorek A zasažen prachem

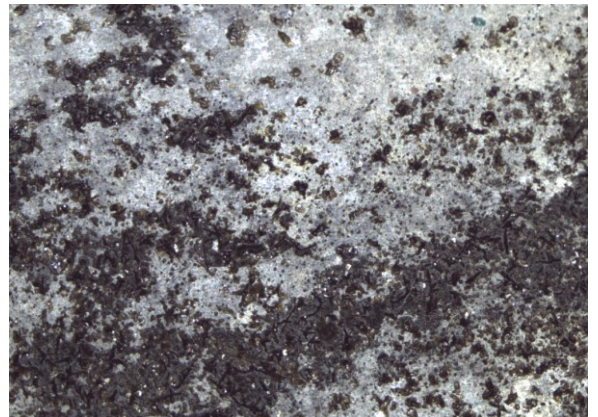


Obrázek 26 – Vzorek A zasažen olejem

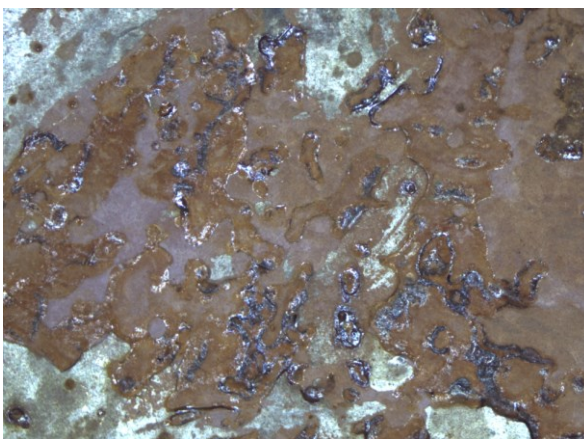
3.3.2 Vzorčky bez povrchové úpravy zinek-nikl (označeny B)



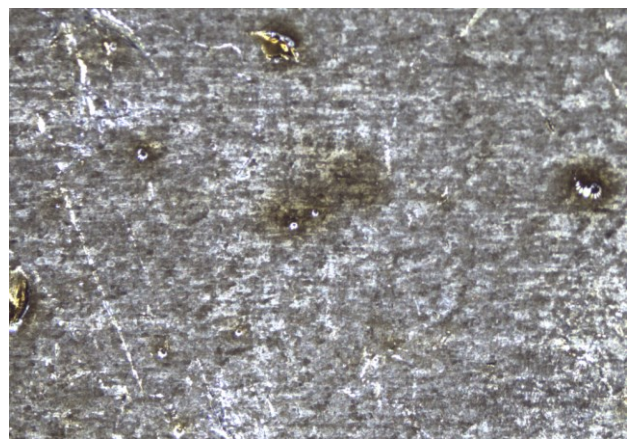
Obrázek 27 – Vzorek B nezasažen



Obrázek 28 – Vzorek B zasažen kolou



Obrázek 29 – Vzorek B zasažen prachem



Obrázek 30 – Vzorek B zasažen olejem

Vzorčky po tomto kroku byly rozděleny dle předpřipraveného plánu, dle doby testování a typu korozního prostředí do skupin a umístěny do připravených korozních komor.

3.4 Průběh testu

Testované vzorky byly dle kategorií rozmístěny do připravených korozních komor a zavěšeny na nenavlhavý motouz tak, aby se vzájemně nedotýkaly a nikterak neovlivňovaly. Během testování docházelo k pravidelným kontrolám úkapové kapaliny uvnitř korozní komory produkující solnou mlhu a rovněž docházelo ke kontrolám připraveného solného roztoku obou komor na denní bázi, aby se předešlo případným výchytkám získaných úkapových hodnot.

Po vyjmutí vzorků z korozních komor, po uplynutí jim určené doby testování, byly vzorky vysušeny v klimatické komoře nastavené na teplotu +50°C, aby došlo k vysušení jejich povrchu a odpaření usazené vody. Následně na těchto vzorcích, jež stále obsahovaly korozní sedimenty, proběhlo zvážení hmotnosti, elektrického odporu a drsnosti povrchu, včetně zaznamenání vizuální dokumentace jejich povrchu na fotoaparát. Po tomto kroku byly vzorky umístěny do předem připraveného roztoku citronanu amonného a destilované vody, kde byly za zvýšené teploty (+80°C) pravidelně mechanicky čištěny, do odstranění všech korozních zplodin. Následně proběhlo opětovné usušení za teploty +80°C a ponechání v pokojové teplotě, ke stabilizaci jejich teploty povrchu. Na závěr byly vzorky opětovně zváženy a změřeny, následující zaznamenání jejich povrchu na mikroskopu.

3.4.1 Vizuální zhodnocení vzorků po 360 hodinách (15 dnů)

Vzorky s povrchovou úpravou zinek-nikl (A vzorky), vyjmuty z testu solnou mlhou NSS nejevily známky vzniku koroze. U těchto vzorků z komory cyklické CCT, se objevily známky korozního napadení pouze u hran materiálu.

Oproti tomu na B vzorcích, bez této povrchové úpravy, došlo k viditelnějším usazeninám a rovněž ke viditelné změně povrchu materiálu.

Odlišnosti lze nalézt i mezi oběma korozními prostředími, kde u vzorků z cyklického testování změn teplot a vlhkosti lze zaznamenat dominantní prezenci černé a hnědé koroze. Tyto druhy korozního napadení bývají typické pro vznik koroze s nízkými hodnotami vlhkosti v prostředí. Hnědá koroze se na vzorcích objevuje spíše lokálně a svědčí o nízké vlhkosti prostředí a možnosti přísunu kyslíku k povrchu materiálu. Černá koroze vzniká rovněž v prostředí s nízkou hodnotou vlhkosti v prostředí, avšak svědčí o nemožnosti přísunu kyslíku k povrchu materiálu. Tento druh rzi je však stabilnější, než jiné a nešíří se rovněž tak rychle.

U vzorků vyjmutých z komory solnou mlhou se jako dominantními druhy koroze objevila barva červená, až nažloutlá, což svědčí o vysoké vlhkosti prostředí, jelikož tento typ korozního napadení se objevuje zejména u materiálů korodujících v blízkosti okolí stojatých vod a vlhkého prostředí (33).

Z vizuálního hlediska hodnocení koroze na B vzorcích dle odlišné kontaminace látkami došlo k několika rozdílům a to především v cyklické korozní komoře:

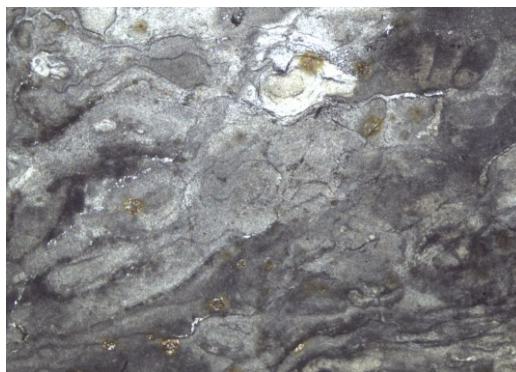
- Vzorky zasažené kolovým nápojem jevíly vedle nevelkého zasažení hnědou rží i zvýšený obsah černé koroze, přičemž tento druh korozního napadení zasáhl nadpoloviční plochu povrchu vzorku.
- Vzorky zasažené prachovou vodou byly zasaženy hnědou a černou korozí přibližně ve stejné míře a pokryly nadpoloviční plochu vzorku.
- Vzorky zasažené motorovým olejem jevíly rovněž zasažení hnědou a černou rží, avšak toto zasažení bylo zastoupeno spíše lokálně a nevytvářelo spojitou vrstvu, jako předešlé druhy napadení, ale projevilo se spíše v četné tvorbě hnědých korozních jehliček a občasných černých skvrn.
- Vzorky před testem nezasažené jevíly přibližně stejné zastoupení hnědé a černé koroze, pokrývající větší polovinu povrchu vzorku, ovšem s občasným zastoupením rovněž koroze nažloutlé.

Vzorky bez povrchové úpravy vyjmuté z komory solné mlhy se jevíly jako identické, bez výraznějších změn. Typické pro ně bylo téměř kompletní pokrytí povrchu žluto červenou korozí velmi jasného zbarvení.

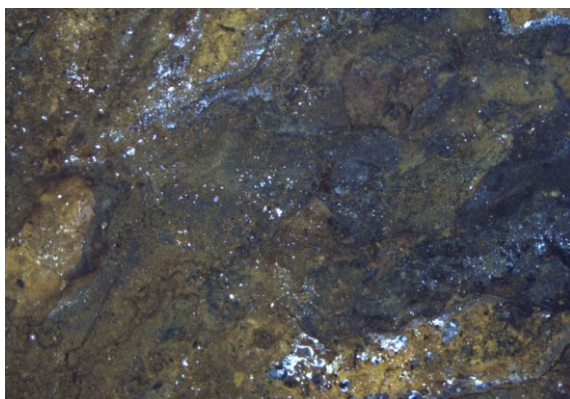
Další odlišností, spíše mezi korozními prostředími, než látkami, jest vzhled povrchu materiálu po očištění, kde u vzorků vyjmutých z komory solné mlhy NSS vidíme tvorbu kanálků od stékající vody, jež gravitačně tekla po povrchu vzorku, ku cyklickému testu, kde koroze působila spíše plošně a namísto kanálků vytvářela oválné plošky s nekorodovanou vrstvou materiálu.



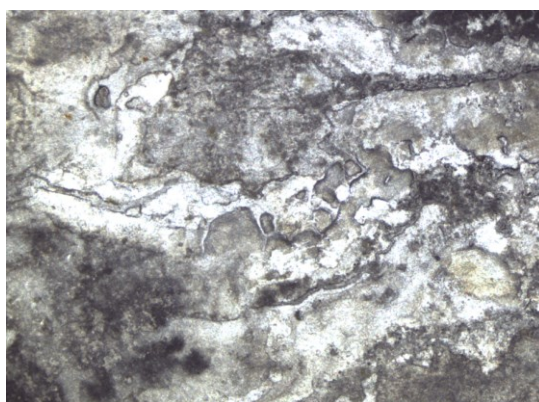
Obrázek 31 – Vzorek B nezasažen (NSS-360h), před očištěním



Obrázek 32 – Vzorek B nezasažen (NSS-360h), po očištění



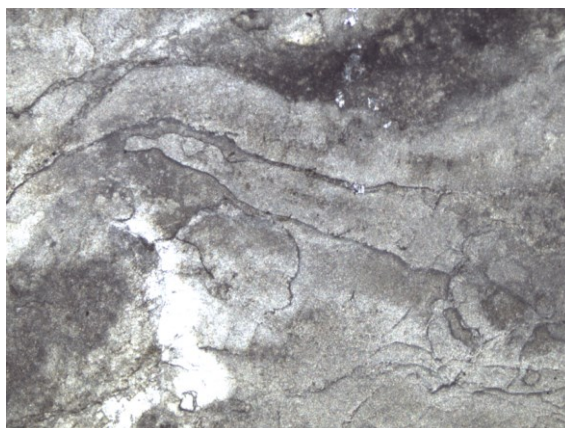
Obrázek 33 – Vzorek B zasažen kolou (NSS-360h), před očištěním



Obrázek 34 – Vzorek B zasažen kolou (NSS-360h), po očištění



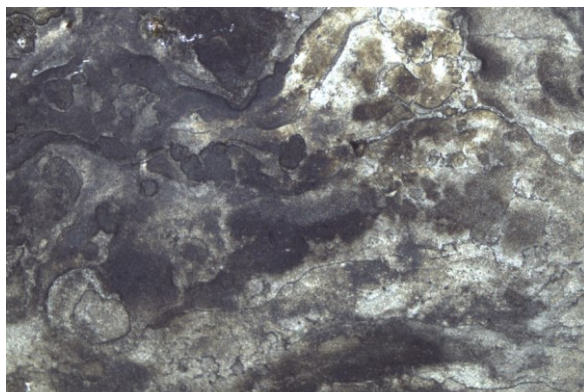
Obrázek 35 – Vzorek B zasažen prachem (NSS-360h), před očištěním



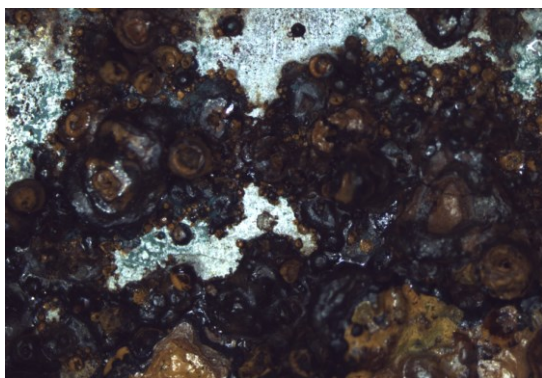
Obrázek 36 – Vzorek B zasažen prachem (NSS-360h), po očištění



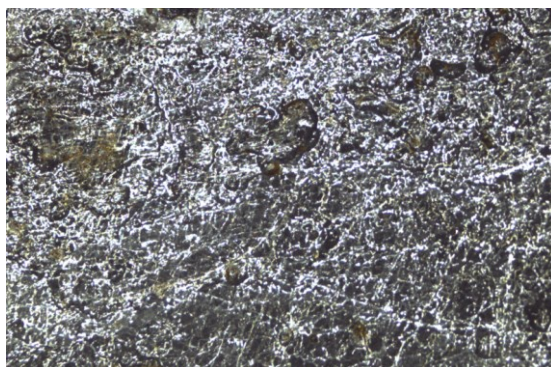
Obrázek 37 – Vzorek B zasažen olejem (NSS-360h), před očištěním



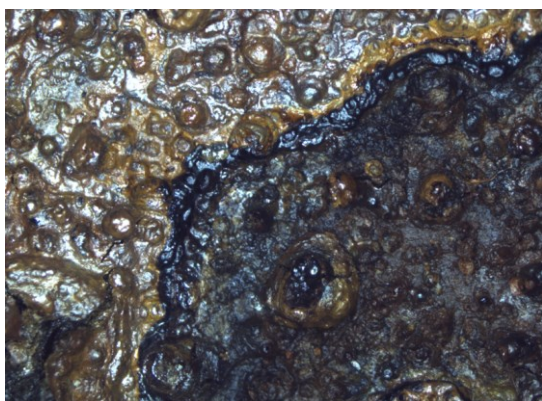
Obrázek 38 – Vzorek B zasažen olejem (NSS-360h), po očištění



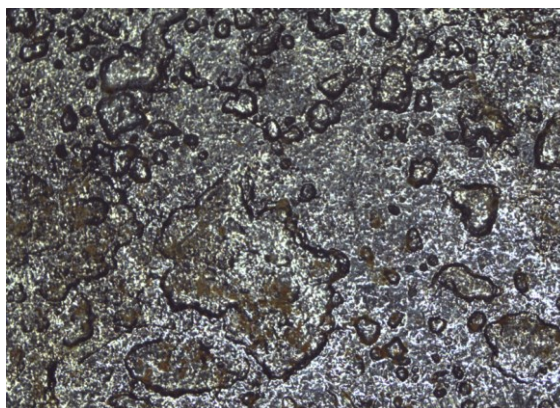
Obrázek 39 – Vzorek B nezasažen (CCT-360h), před očištěním



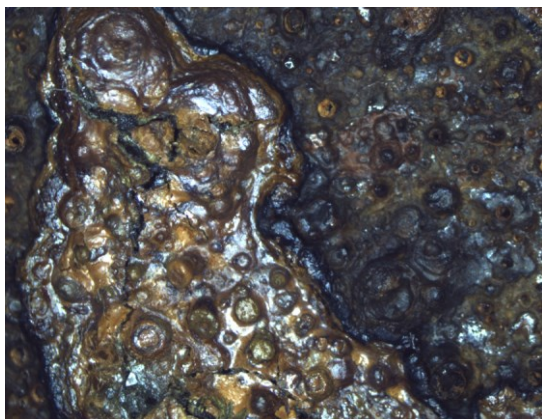
Obrázek 40 – Vzorek B nezasažen (CCT-360h), po očištění



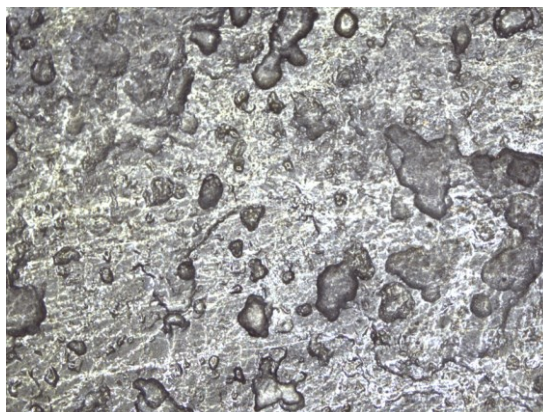
Obrázek 41 – Vzorek B zasažen kolou (CCT-360h), před očištěním



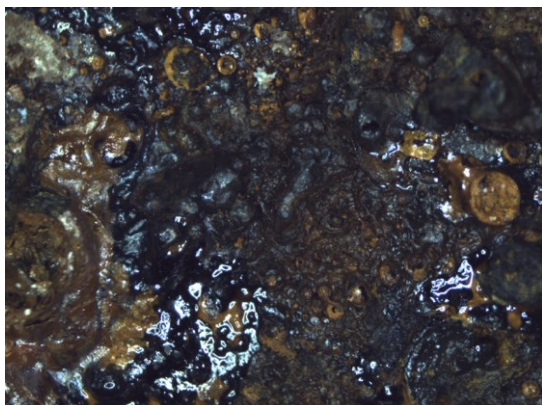
Obrázek 42 – Vzorek B zasažen kolou (CCT-360h), po očištění



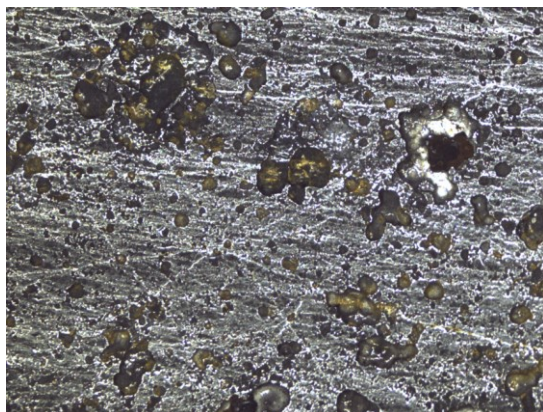
Obrázek 43 – Vzorek B zasažen prachem (CCT -360h), před očištěním



Obrázek 44 – Vzorek B zasažen prachem (CCT -360h), po očištění



Obrázek 45 – Vzorek B zasažen olejem (CCT -360h), před očištěním



Obrázek 46 – Vzorek B zasažen olejem (CCT -360h), po očištění

3.4.2 Vizuální zhodnocení vzorků po 720 hodinách (30 dnů)

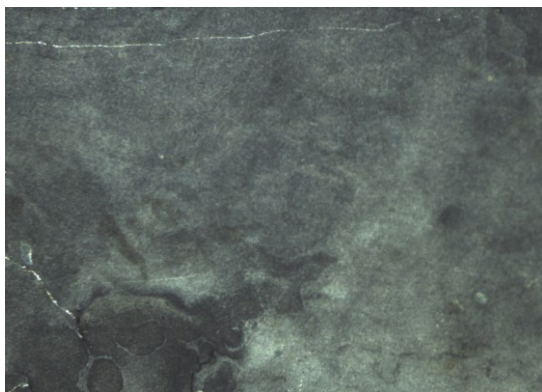
Na vzorcích s povrchovou úpravou zinek-nikl (A) po 720 hodinách, došlo ke vzniku červené koroze u vzorků vyjmutých z cyklické korozní komory a to zejména u vzorků zasažených kolovým nápojem a motorovým olejem, kde se vytvářely lokální sedimenty napříč celou délkou povrchu. Rovněž se objevily známky korozního napadení u vzorků v neutrální solné mlze (NSS) na hranách ploch. Po očištění těchto vzorků od usazenin, nedošlo k žádným výraznějším změnám na povrchu materiálu.

Vzorky bez povrchové úpravy (B) jevily zvýšenou míru usazenin na povrchu a čištění se ukázalo býti značně náročnější, jelikož koroze pronikla hlouběji do skruktury materiálu a bylo nutno prodloužení doby čištění. U vzorků vyjmutých z cyklické korozní komory (CCT), došlo oproti kontrole po 360 hodinách k těmto změnám:

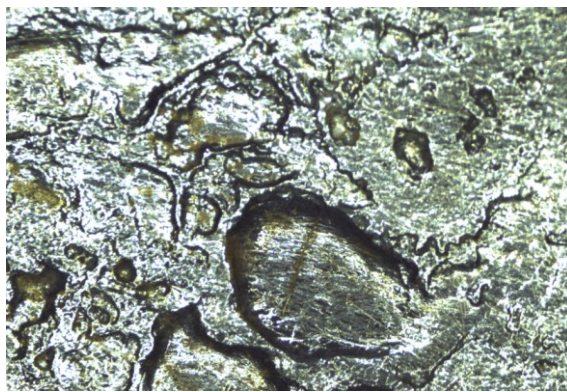
- Vzorky zasažené kolovým nápojem byly zasaženy korozí po celé své ploše. Dominantní se jevila koroze černá, jež odhadem pokrývala polovinu plochy celkové, kde zbylou čtvrtinu pokryla koroze hnědá a další kvartál koroze žlutá, jež se zde nově objevila.
- U vzorků zasažených prachovou vodou se korozními zplodinami pokryl celý povrch vzorku, kde se ve zvýšeném zastoupení začala projevovat koroze černá.
- Vzorky zasažené motorovým olejem jevily také kompletní zasažení materiálu rzi hnědou a černou, přičemž se na povrchu těchto zplodin stále vytvářely hnědé korozní špičky.
- U vzorků nezasažených před testem jakoukoliv látkou, černá a hnědá koroze pokryly celou plochu vzorku, přičemž nažloutlá koroze, jež zde byla viditelná po 360 hodinách, zmizela.

Vzorky bez povrchové úpravy vyjmuté z komory solné mlhy, se ukázaly zcela pokryté černou korozí jasné barvy, za čteného nažloutlého zbarvení koroze, jež po materiálu gravitačně stékala. Na dolní straně vzorků se rovněž začaly vytvářet krápníky korozních usazenin, způsobených stékající a následně tuhnoucí korozní směsí.

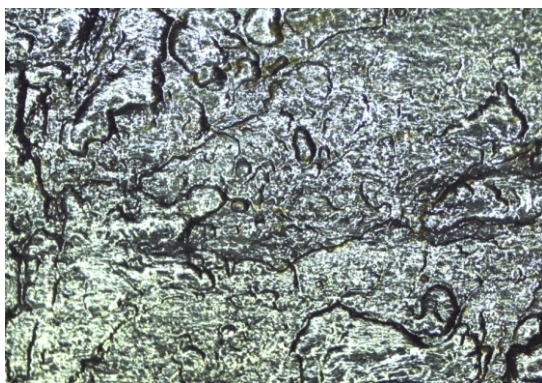
Po očištění korozních usazenin se dříve objevené kanálky u testu solnou mlhou NSS začaly vytrácet a nahradila je obdobná lokální struktura, jež byla po 360 hodinách viditelná u testu cyklického CCT. U cyklického testu se nyní tyto bodové struktury zachovaly, avšak ve hlubší a četnější míře.



Obrázek 47 – Vzorek B nezasažen (NSS-720h), po očištění



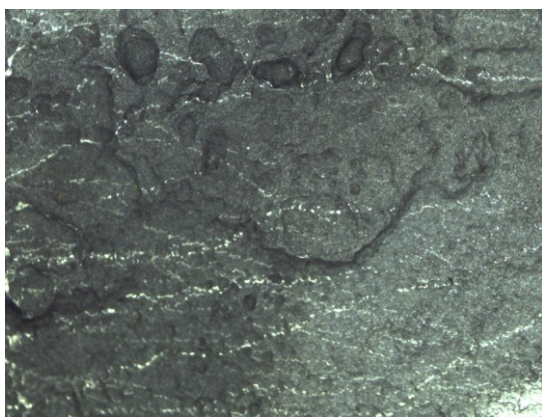
Obrázek 48 – Vzorek B zasažen kolou (NSS-720h), po očištění



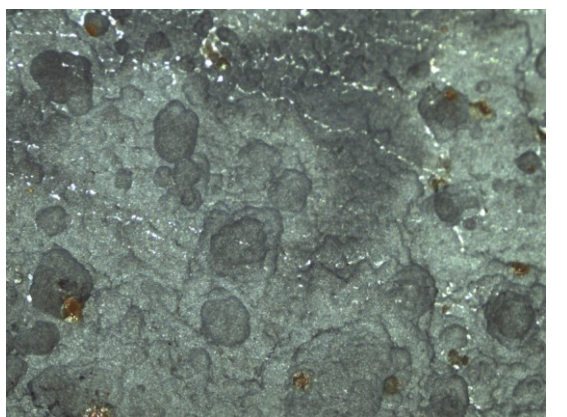
Obrázek 49 – Vzorek B zasažen prachem (NSS-720h), po očištění



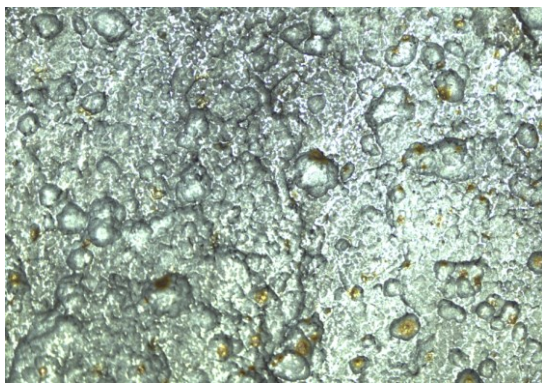
Obrázek 50 – Vzorek B zasažen olejem (NSS-720h), po očištění



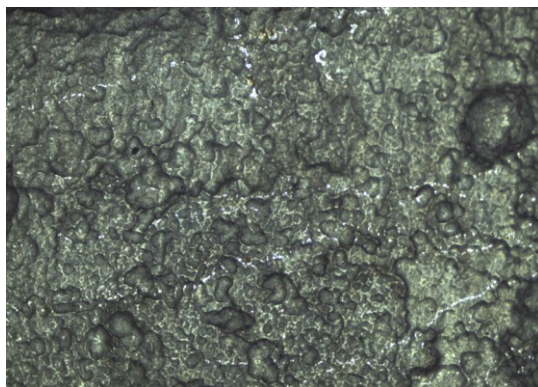
Obrázek 51 – Vzorek B nezasažen (CCT-720h), po očištění



Obrázek 52 – Vzorek B zasažen kolou (CCT-720h), po očištění



Obrázek 53 – Vzorek B zasažen prachem (CCT-720h), po očištění



Obrázek 54 – Vzorek B zasažen olejem (CCT-720h), po očištění

3.4.3 Vizuální zhodnocení vzorků po 1008 hodinách (42 dnů)

Na vzorcích s povrchovou úpravou zinek-nikl (A) po 1008 hodinách se jako nevíce zasaženy jevíly vzorky vyjmuté z korozní komory po kontaminaci kolovým nápojem a motorovým olejem, kde se červené korozní napadení začalo projevovat ve velké míře napříč plochou vzorku. Oproti tomu vzorky vyjmuty z CCT, jež byly zasaženy prachovou vodou a kategorie vzorků nezasažených před testem žádnou látkou, se ukázaly jako zasažené korozí velmi omezeně, kde se korozní napadení objevilo pouze na hranách ploch.

Vzorky s povrchovou úpravou (A), jež byly umístěny do testu solnou mlhou NSS se ukázaly i po 1008 hodinách takřka korozí nezasaženy, pouze s ojedinělou tenkou vrstvou červené koroze, kde vzorky před testem kontaminovány motorovým olejem nebyly zasaženy skoro vůbec. Oproti tomu vzorky zasaženy kolovým nápojem jevíly známky většího zasažení červenou korozí.

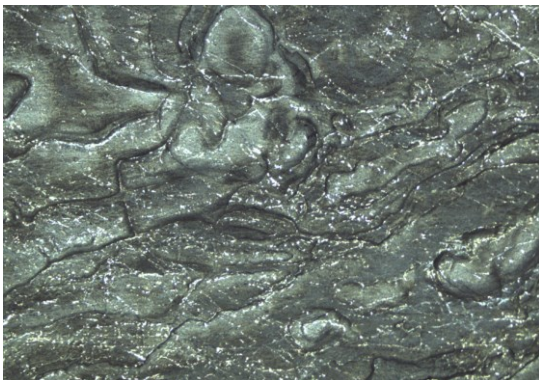
Vzorky bez povrchové úpravy jevíly opětovně zvýšenou míru usazenin na povrchu. U vzorků vyjmutých z cyklické korozní komory (CCT), došlo oproti kontrole po 720 hodinách k těmto změnám:

- Vzorky zasaženy kolovým nápojem působily vybledlou barvou, kde ve stejném zastoupení mapovitých skvrn působily koroze hnědá a černá. Žlutá koroze oproti vzorkům zkoumaných po 720 hodinách zmizela. Povrch vzorků nebyl příliš vrásčitý, spíše drsný od vzniklých sedimentů.
- U vzorků zasažených prachovou vodou se povrch vzorku pokryl hnědou korozní vrstvou velmi vybledlé barvy, se skvrnami černé koroze pod povrchem tohoto

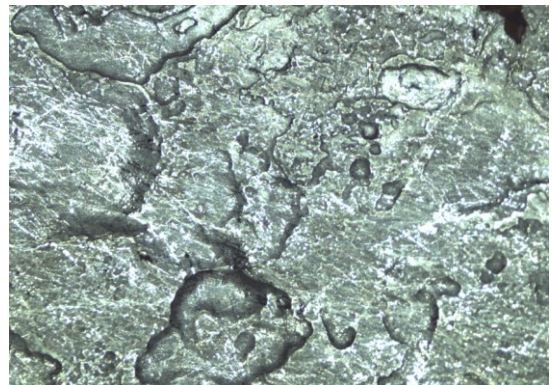
sedimentu. Povrch vzorku byl velmi vrásčitý, drolivý a loupavý.

- Vzorky zasaženy motorovým olejem se oproti 720 hodinovému testu příliš nelišily. Stále povrch obsahoval vybledlé sedimenty černé a hnědé koroze, vytvářející občasné oválné nánosy sedimentů.
- Vzorky nezasaženy před testem jakoukoliv látkou obsahovaly na povrchu především sedimenty černé koroze s občasnými hnědými skvrnami vybledlé barvy. Povrch tohoto vzorku byl díky zplodinám, podobně jako u vzorku zasaženého prachovou vodou drolivý a loupavý.

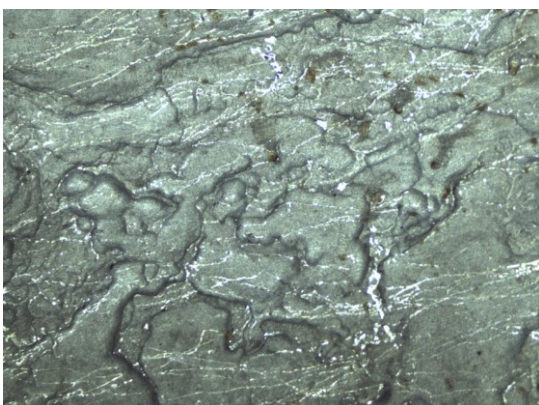
Vzorky bez povrchové úpravy, vyjmuté z komory solné mlhy se ukázaly obdobně vzorkům po 720 hodinách. Vzorky byly zcela pokryté černou korozí jasné barvy, s místy stékajícími místy žlutého zabarvení korozních zplodin. Vytvořené krápníky zde byly výraznější a dosahovaly až délky 2 centimetrů.



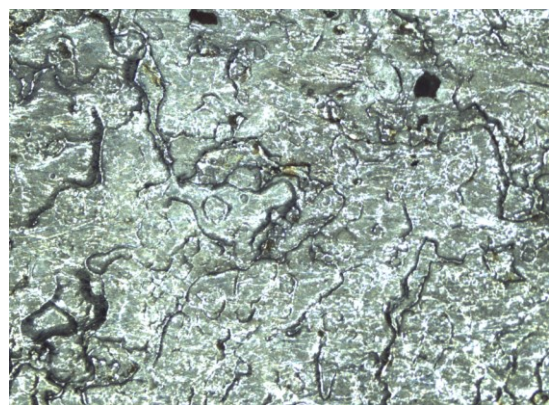
Obrázek 55 – Vzorek B nezasažen (NSS-1008h), po očištění



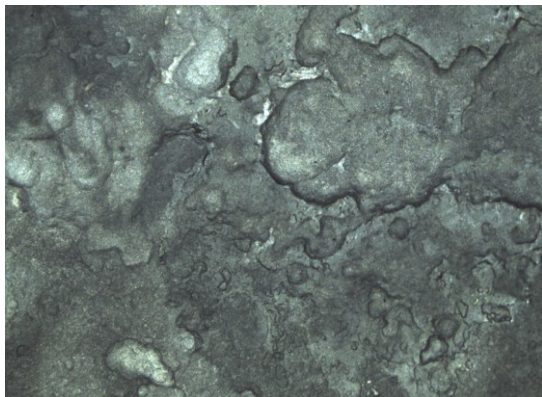
Obrázek 56 – Vzorek B zasažen kolou (NSS-1008h), po očištění



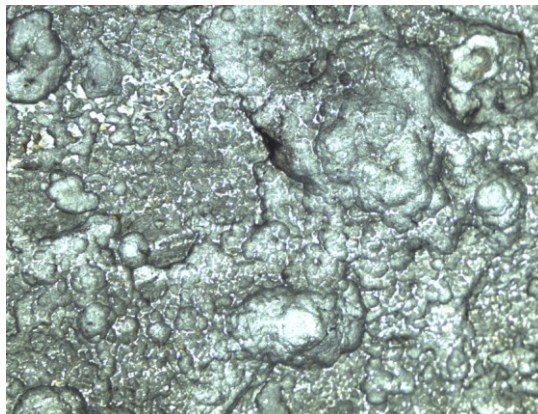
Obrázek 57 – Vzorek B zasažen prachem (NSS-1008h), po očištění



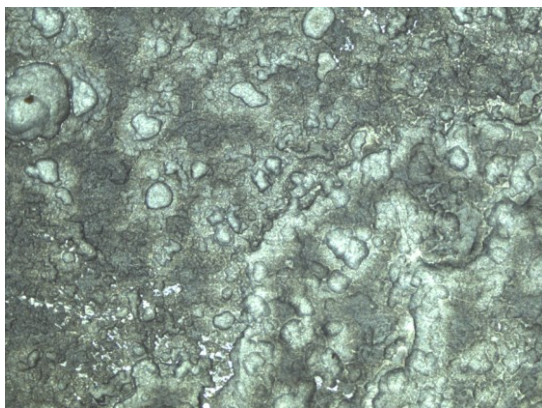
Obrázek 58 – Vzorek B zasažen olejem (NSS-1008h), po očištění



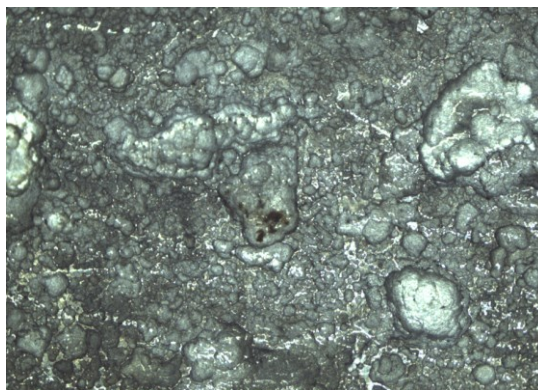
Obrázek 59 – Vzorek B nezasažen (CCT-1008h), po očištění



Obrázek 60 – Vzorek B zasažen kolou (CCT-1008h), po očištění



Obrázek 61 – Vzorek B zasažen prachem (CCT-1008h), po očištění



Obrázek 62 – Vzorek B zasažen olejem (CCT-1008h), po očištění

3.4.4 Vizuální zhodnocení po testu

Povrchová úprava zinek-nikl se coby do účinnosti ochrany proti korozi ukázala poměrně spolehlivá. V obou testovacích kabinetech se vzorky ukázaly být zasaženy korozí, pouze v povrchové míře.

Největší vliv na vznik koroze na povrchu těchto vzorků (A) se z vizuálního hlediska ukázala aplikace kolového nápoje, která měla na zvýšení postupu koroze v obou kabinetech nemalý vliv. Oproti tomu motorový olej se ve vlhkém prostředí NSS, ukázal jako velmi účinný zpomalovač koroze, ovšem v cyklickém prostředí CCT, kde se střídají změny vlhkosti a teplot, působil rovněž, jako akcelerátor.

Vzorky bez povrchové úpravy po zkoušce v solné mlze NSS působily poměrně identickým dojmem, kde jim stejný vzhled propůjčovalo zejména pokrytí černé korozní vrstvy

s oranžovými proužky vertikálního směru, od stékající vody. Barva těchto povrchů byla velmi jasná a na vzorcích se vytvářely krápníky. Nejméně zasaženy se ukázaly vzorky, jež před testem byly zasaženy motorovým olejem, kde se viditelně nacházely i po 1008 hodinách místa, korozi vůbec nezasažená.

Vzorky bez povrchové úpravy umístěné do cyklické korozní komory CCT, působily rovněž poměrně identicky. Černo-hnědá vrstva povrchu vzorků působila vybledlou barvou, drolivou a drsnou strukturou. Nepochybně se na tomto vzezření podepsaly změny teplot a vlhkostí, kde díky sušícím cyklům docházelo k vysušení korozní vrstvy a následnému praskání povrchového sedimentu, který místy dosahoval tloušťky několika milimetrů. Nejméně zasaženými vzorky se jevil materiál po kontaminaci motorovým olejem, který měl nejvíce stabilní strukturu povrchu korozních zplodin a nebyl příliš popraskaný. Naopak nejvíce zasaženy se ukazovaly vzorky po aplikaci prachové vody. Povrch těchto vzorků byl zcela popraskan a velmi se při doteku drotil.

Oba testovací kabinety: NSS a CCT, se ukázaly pro zkoumané materiály po 42 dnech testu jako velmi zátěžové prostředí, podporující vznik koroze. Ukázalo se, že materiály v obou prostředích korodují odlišným způsobem, jež vystihuje vznik korozního jevu.

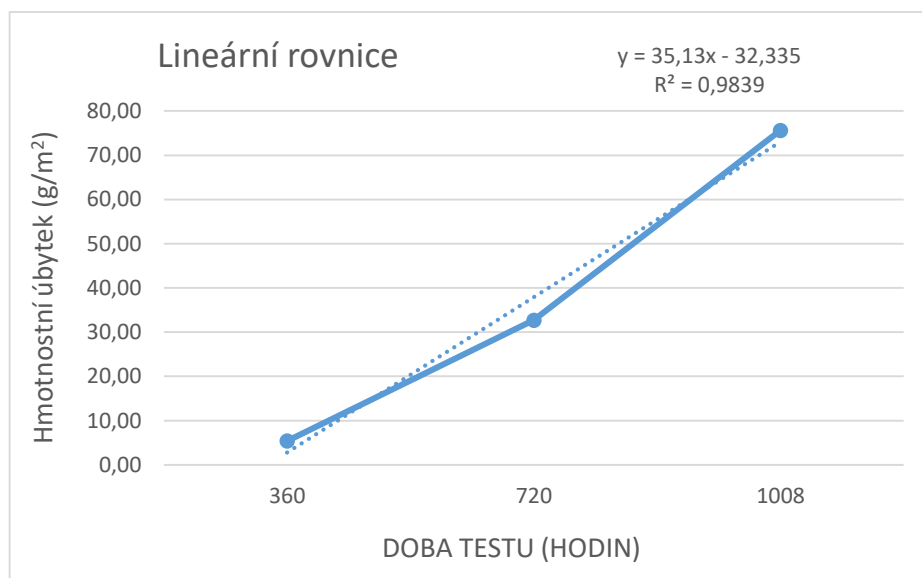
Ve vlhkém prostředí, jež zde reprezentoval test NSS, dochází ke kontaktu materiálu s kyslíkem a vlhkostí, což vede ke vzniku koroze jasné barvy, většinou červené, či žluté kombinace sedimentů, které po čase přejdou do černého čírého vzezření. Zajímavým jevem rovněž byl vznik krápníku korozních sedimentů. Ukázalo se, že motorový olej může v těchto prostředích působit jako ochranná vrstva, jež lokálně ochrání zasaženou plochu. Oproti tomu v prostředí s nedostatkem vlhkosti, zastoupené testem cyklickým CCT, indikujeme korozní zplodiny bledé barvy, černého a hnědého zbarvení. Toto svědčí o kontaktu materiálu s kyslíkem u hnědého zbarvení a zamezení přívodu kyslíku na povrch u zbarvení černého, za nízkých hodnot vlhkosti. Ukázalo se jako zajímavý úkaz, že usazené korozní sedimenty při vysušení mohou praskat a drolit se na velmi jemný prášek. Jako nejvýrazněji ovlivněné vzorky skrze prvotní kontaminaci se ukázaly býti motorový olej, jež jak se zdá, vytvořil nejstabilnější strukturu povrchu sedimentů a naopak nejvíce tuto strukturu narušující se, se ukázala směs prachu a destilované vody.

4 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

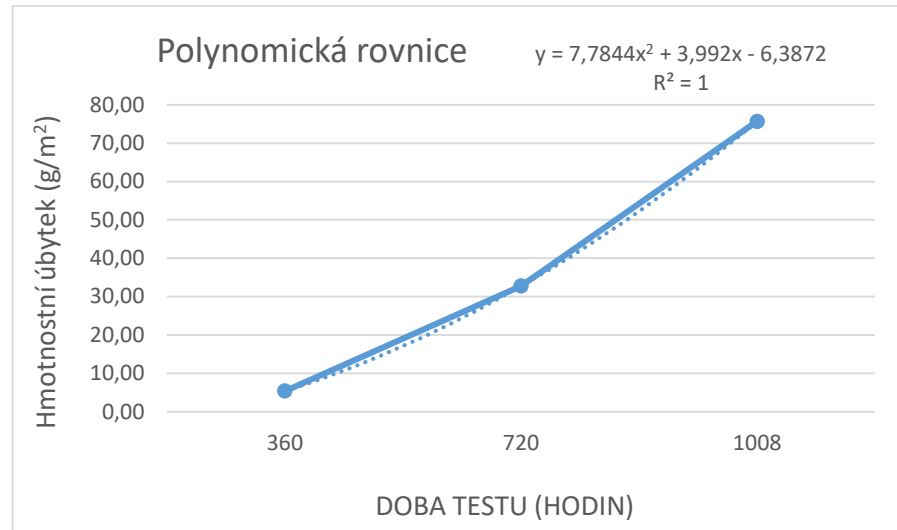
Ke stanovení matematicko-statistických výsledků, bude vypočítáno a porovnáno hodnot jednotlivých dat měření, s jejich následným porovnáním. Mezi cílová data budeme počítat především hmotnost vzorků před a po testu, z čehož budeme následně schopni spočítat hodnotu hmotnostního úbytku na plochu. Dále budeme porovnávat drsnost povrchu a také případnou změnu izolačního odporu vzorku.

- K matematickému vyjádření rovnic, jež definují trend průběhu námi získaných veličin jednotlivých měření, užitíme vyjádření regresní analýzy, získané metodou nejmenších čtverců. Definujeme námi naměřená data, u kterých při prokládání různých druhů regresní analýzy budeme sledovat koeficient determinace R^2 . Tento koeficient, jež nabývá hodnot od 0 do 1, bude tím větší, čím menší bude zbytkový součet čtverců, námi zkoumaného objektu. Pokud se rovná 1, existuje při proložení dat rovnicí dokonalá korelace. Při nulové hodnotě determinačního koeficient se jedná o stav, kdy nedokážeme rovnicí predikovat průběh dat (34).

K porovnání výsledků měření můžeme pro ilustraci uvést příklad, kdy proti sobě porovnáme regresní rovnici lineární a polynomickou druhého stupně, u téhože souboru získaných dat.



GRAF 2 – Příklad stanovení lineární rovnice



GRAF 3 – Příklad stanovení polynomické rovnice

Jelikož hodnota: $R^2 = 1$, jest větší hodnoty než li: $R^2 = 0,9839$, budeme za optimálnější regresní rovnici považovati funkci polynomickou.

- Na vzorcích rovněž provedeme párový t-test, k určení pravděpodobnosti, že se hodnoty během různé doby testování, před a po testu, liší (35). Výpočet probíhá následujícím způsobem:

1. Stanovení teorie hypotéz, kde budeme pracovat s tézemi:

$$H_0: \mu \text{ (před testem)} = \mu \text{ (po testu)}$$

$$H_A: \mu \text{ (před testem)} \neq \mu \text{ (po testu)}$$

2. Nalezení testovacího kritéria T a stanovení hladiny významnosti $\alpha = 5\%$

$$T = \frac{\sqrt{n} \cdot D}{S_D} \quad (1.2)$$

Kde: T... testovací kritérium, n... počet vzorků, D...průměr rozdílu,
 S_D ... směrodatná odchylka průměru rozdílu

3. Nalezení kritického oboru W_α

$$W_\alpha = \left\{ |t| \geq t_{1 - \frac{\alpha}{2}} \right\} \quad (1.3)$$

Kde po dosazení hladiny významnosti 5% získáváme vzorec:

$$W_\alpha = \left\{ |t| \geq t_{0,975}(2) \right\} \quad (1.4)$$

Což dle tabulek odpovídá hodnotě

$$W_\alpha = \left\{ |t| \geq 4,303 \right\} \quad (1.5)$$

4. Na základě výpočtu testovacího kritéria T , můžeme ke hodnotě kritického oboru rozhodnout, zda-li se hodnota difference vzorků před testem a po testu liší.
- a) U hodnot, kde: $t \geq 4,303$, považujeme kritický obor hodnot $W\alpha$ za splněný, čímž zamítáme hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu H_A . Na základě tohoto výsledku můžeme na hladině významnosti $\alpha = 5\%$ tvrdit, že hodnoty rozdílu parametru vzorků se před a po testu liší. Budou se průměrně lišit o vypočtenou hodnotu rozdílu parametru D .
- b) U hodnot, kde: $t < 4,303$, tedy hypotézu H_0 nezamítáme a získané výsledky se statisticky významně neliší.

4.1 Hmotnostní úbytek

Vzorky byly důkladně zváženy před umístěním do korozních komor a rovněž se vážení uskutečnilo po jejich vyjmutí ven. Za hmotnostní úbytek považujeme hmotnost, jež vzorek průměrně ztrácí na svou plochu. Zobrazovat budeme průměrnou změnu hmotnosti vzorků v gramech, odpovídající ploše 1 m^2 a průměrnou procentuální diferencii vzorků před a po testu. Rovněž graficky zobrazíme průběh změny hmotnostního úbytku vzorků po jim určené testovací době, včetně vyjádření jejich průběhu regresní rovnicí a dále bude následovat vyhodnocení dat, získaných pomocí t testu.

4.1.1 Hmotnostní úbytek stanovený na A vzorcích

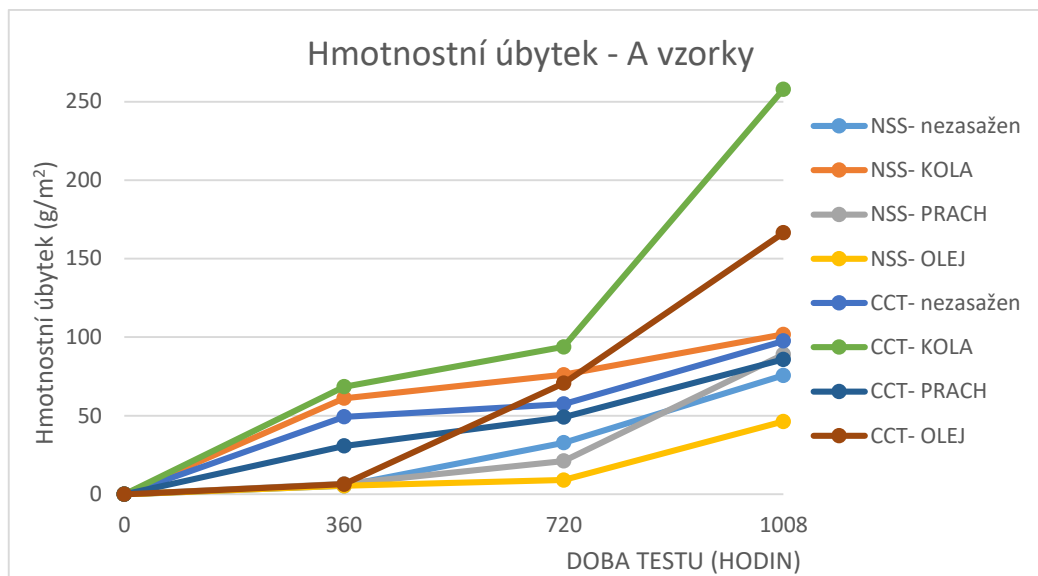
Tento výpočet proběhl pro A vzorky, tedy vzorky s povrchovou úpravou zinek-nikl.

A vzorky	Neutrální solná mlha NSS				Cyklický korozní test CCT			
HODIN	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ
360	5,39	61,08	6,59	5,39	49,30	68,46	30,74	6,39
720	32,73	76,05	21,16	8,98	57,49	93,81	49,10	70,66
1008	75,65	101,80	89,02	46,31	97,60	257,88	85,83	166,47

Tabulka 2 – Střední hodnota hmotnostního úbytku (g/m^2), A vzorky

A vzorky	Neutrální solná mlha NSS				Cyklický korozní test CCT			
HODIN	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ
360	0,08	0,90	0,10	0,08	0,72	1,01	0,45	0,09
720	0,48	1,12	0,31	0,13	0,84	1,38	0,72	1,04
1008	1,10	1,50	1,30	0,68	1,43	3,80	1,26	2,43

Tabulka 3 – Průměrný procentuální úbytek hmotnosti vzorků (%), A vzorky



GRAF 4 – Průběh změny hmotnostního úbytku v čase, A vzorky

A VZORKY	hodin testu	Kritérium T	Průměrný rozdíl D (g)
NSS - NEZASAŽEN	360	5,892	0,09
	720	32,800	0,55
	1008	21,422	1,26
CCT - NEZASAŽEN	360	2,235	0,82
	720	7,812	0,96
	1008	35,291	1,63
NSS- KOLA	360	40,531	1,02
	720	83,141	1,27
	1008	52,885	1,70
CCT- KOLA	360	5,872	1,14
	720	8,537	1,57
	1008	7,099	4,31
NSS- PRACHOVÁ VODA	360	4,371	0,11
	720	8,460	0,35
	1008	24,295	1,49
CCT- PRACHOVÁ VODA	360	13,353	0,51
	720	8,534	0,82
	1008	48,379	1,43
NSS- MOTOROVÝ OLEJ	360	5,892	0,09
	720	2,923	0,15
	1008	7,116	0,77
CCT- MOTOROVÝ OLEJ	360	2,143	0,11
	720	6,115	1,18
	1008	8,419	2,78

Tabulka 4 – Hodnoty testovacího kritéria rozdílu hmotnosti, stanoveného t-testem, A-vzorky

A VZORKY	rovnice	koeficient
NSS- nezasažen	$y = 7,7844x^2 + 3,992x - 6,3872$	$R^2 = 1$
NSS- KOLA	$y = 5,3892x^2 - 1,1976x + 56,886$	$R^2 = 1$
NSS- PRACH	$y = 26,647x^2 - 65,369x + 45,309$	$R^2 = 1$
NSS- OLEJ	$y = 16,866x^2 - 47,006x + 35,529$	$R^2 = 1$
CCT- nezasažen	$y = 15,968x^2 - 39,721x + 73,054$	$R^2 = 1$
CCT- KOLA	$y = 69,361x^2 - 182,73x + 181,84$	$R^2 = 1$
CCT- PRACH	$y = 9,1816x^2 - 9,1816x + 30,739$	$R^2 = 1$
CCT- OLEJ	$y = 15,768x^2 + 16,966x - 26,347$	$R^2 = 1$

Tabulka 5 – Regresní rovnice hmotnostního úbytku korozního cyklu, A vzorky

Z dat je patrné, že změna hmotnostního úbytku u vzorků s povrchovou úpravou zinek-nikl, se pohybovala od rozmezí 0,72% po 3,8% jejich celkové hmotnosti. Nejagresivnější tomuto druhu vzorků se ukázal kolový nápoj, jež byl aplikován v cyklickém korozním prostředí CCT. Další významnou látkou, jež se projevila, jako agresivní tomuto materiálu se ukázal býti motorový olej, s průměrnou hmotnostní diferencí vzorků před a po testu 2,43% po 42 dnech testu. Zbytek vzorků v obou kabinetech se pohybuje okolo hmotnostního rozdílu 1%.

4.1.2 Hmotnostní úbytek stanovený na B vzorcích

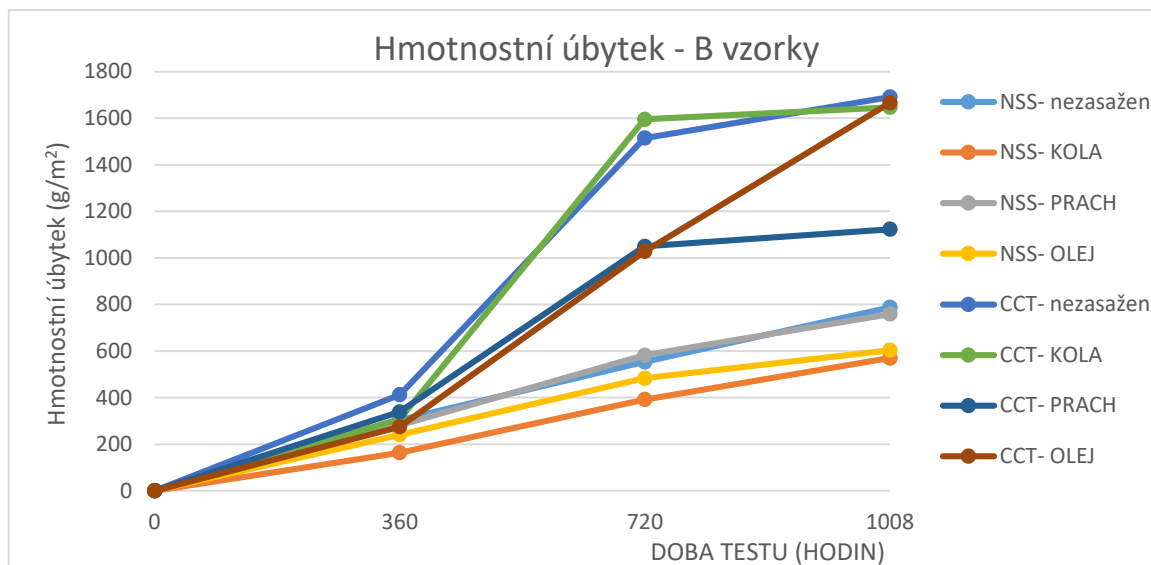
Tento výpočet proběhl pro B vzorky, tedy vzorky bez povrchové úpravy zinek-nikl. Jedná se o vzorky nízkolegované oceli s označením S420MC, válcované za tepla.

B vzorky	Neutrální solná mlha NSS				Cyklický korozní test CCT			
	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ
360	303,99	163,47	281,24	240,72	412,38	307,58	339,32	275,25
720	553,29	391,82	582,24	483,63	1514,97	1595,41	1049,50	1028,14
1008	787,82	570,26	759,08	603,79	1691,02	1646,51	1123,35	1666,27

Tabulka 6 – Střední hodnota hmotnostního úbytku (g/m^2), B vzorky

B vzorky	Neutrální solná mlha NSS				Cyklický korozní test CCT			
	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ
360	4,46	2,42	4,14	3,54	6,08	4,52	5,01	4,06
720	8,15	5,74	8,57	7,13	22,27	23,41	15,49	15,11
1008	11,59	8,39	11,24	8,86	25,04	24,26	16,56	24,41

Tabulka 7 – Průměrný procentuální úbytek hmotnosti vzorků (%), B vzorky



GRAF 5 – Průběh změny hmotnostního úbytku v čase, B vzorky

B VZORKY	hodin testu	Kritérium T	Průměrný rozdíl D (g)
NSS - NEZASAŽEN	360	26,877	5,08
	720	105,990	9,24
	1008	37,947	13,16
CCT - NEZASAŽEN	360	13,229	6,89
	720	10,791	25,30
	1008	6,681	28,24
NSS- KOLA	360	13,477	2,73
	720	18,779	6,54
	1008	11,460	9,52
CCT- KOLA	360	11,438	5,14
	720	11,802	26,64
	1008	18,085	27,50
NSS- PRACHOVÁ VODA	360	86,068	4,70
	720	222,419	9,72
	1008	44,230	12,68
CCT- PRACHOVÁ VODA	360	13,300	5,67
	720	4,614	17,53
	1008	6,507	18,76
NSS- MOTOROVÝ OLEJ	360	41,390	4,02
	720	52,268	8,08
	1008	74,995	10,08
CCT- MOTOROVÝ OLEJ	360	12,495	4,60
	720	16,549	17,17
	1008	15,298	27,83

Tabulka 8 – Hodnoty testovacího kritéria rozdílu hmotnosti, stanoveného t-testem, B-vzorky

B VZORKY	rovnice	koeficient
NSS- nezasažen	$y = -7,3852x^2 + 271,46x + 39,92$	$R^2 = 1$
NSS- KOLA	$y = -24,95x^2 + 303,19x - 114,77$	$R^2 = 1$
NSS- PRACH	$y = -62,076x^2 + 487,23x - 143,91$	$R^2 = 1$
NSS- OLEJ	$y = -61,377x^2 + 427,05x - 124,95$	$R^2 = 1$
CCT- nezasažen	$y = -463,27x^2 + 2492,4x - 1616,8$	$R^2 = 1$
CCT- KOLA	$y = -618,36x^2 + 3142,9x - 2217$	$R^2 = 1$
CCT- PRACH	$y = -318,16x^2 + 1664,7x - 1007,2$	$R^2 = 1$
CCT- OLEJ	$y = -57,385x^2 + 925,05x - 592,42$	$R^2 = 1$

Tabulka 9 – Regresní rovnice hmotnostního úbytku korozního cyklu, B vzorky

Z dat vyplývá, že hmotnostní diference vzorků bez povrchové úpravy se pohybuje v rozmezí od 2,42%, po 25,04% rozdílu jejich celkové hmotnosti. Výrazně agresivnějším se ukázal cyklický korozní kabinet, kde se hmotnostní diference vzorků po 1008 hodinách testu pohybuje okolo 20% jejich celkové průměrné hmotnosti. Nejmenšího hmotnostního rozdílu zde dosahují vzorky zasaženy prachovou vodou, kde jejich rozdíl před a po testu dosahuje hodnot 16,56%. V kabinetu solné mlhy NSS, hmotnostní rozdíl před a po testu u všech vzorků dosahuje hodnot 8,39%, až 11,59%.

4.2 Změna hmotnosti vlivem nánosu korozních usazenin

Vlivem ponechání vzorků v korozních kabinetech docházelo k vytváření korozních usazenin na povrchu vzorků a tím ke změně jejich hmotnosti během testu.

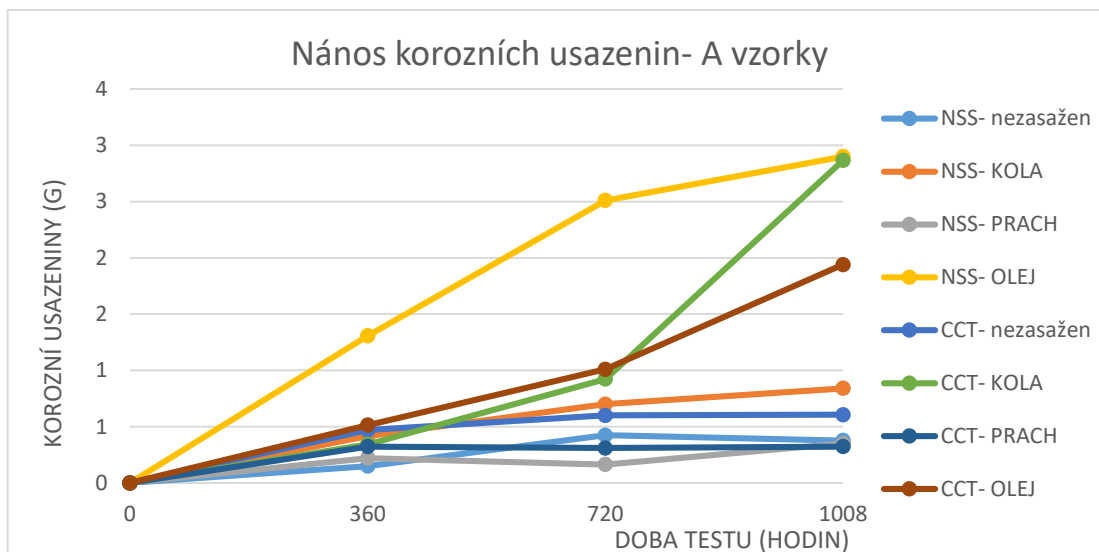
Tuto změnu hmotnosti a rozdílu nánosu korozních usazenin zobrazíme tabulkou, vyjadřující gramážní rozdíl vzorků, grafem a regresní rovnicí tento děj vyjadřující a v neposlední řadě provedením t testu.

4.2.1 Hmotnostní rozdíl nánosu korozních usazenin na A vzorcích

Tento výpočet proběhl pro A vzorky, tedy vzorky s povrchovou úpravou zinek-nikl.

A vzorky	Neutrální solná mlha NSS				Cyklický korozní test CCT			
	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ
0	0,15	0,42	0,22	1,31	0,47	0,34	0,32	0,51
0	0,42	0,70	0,16	2,51	0,60	0,92	0,31	1,01
0	0,38	0,84	0,35	2,90	0,61	2,87	0,32	1,94

Tabulka 10 – Nárůst hmotnosti vlivem korozních sedimentů (g), A vzorky



GRAF 6 – Nárůst hmotnosti vlivem korozních sedimentů, A vzorky

A VZORKY	rovnice	koeficient
NSS- nezasažen	$y = -0,16x^2 + 0,7533x - 0,4433$	$R^2 = 1$
NSS- KOLA	$y = -0,0717x^2 + 0,4983x - 0,01$	$R^2 = 1$
NSS- PRACH	$y = 0,1217x^2 - 0,4217x + 0,52$	$R^2 = 1$
NSS- OLEJ	$y = -0,4067x^2 + 2,4233x - 0,71$	$R^2 = 1$
CCT- nezasažen	$y = -0,0617x^2 + 0,315x + 0,2167$	$R^2 = 1$
CCT- KOLA	$y = 0,6817x^2 - 1,465x + 1,1267$	$R^2 = 1$
CCT- PRACH	$y = 0,0133x^2 - 0,0533x + 0,3633$	$R^2 = 1$
CCT- OLEJ	$y = 0,2167x^2 - 0,1533x + 0,45$	$R^2 = 1$

Tabulka 11 – Regresní rovnice průběhu nánosu korozních usazenin, A vzorky

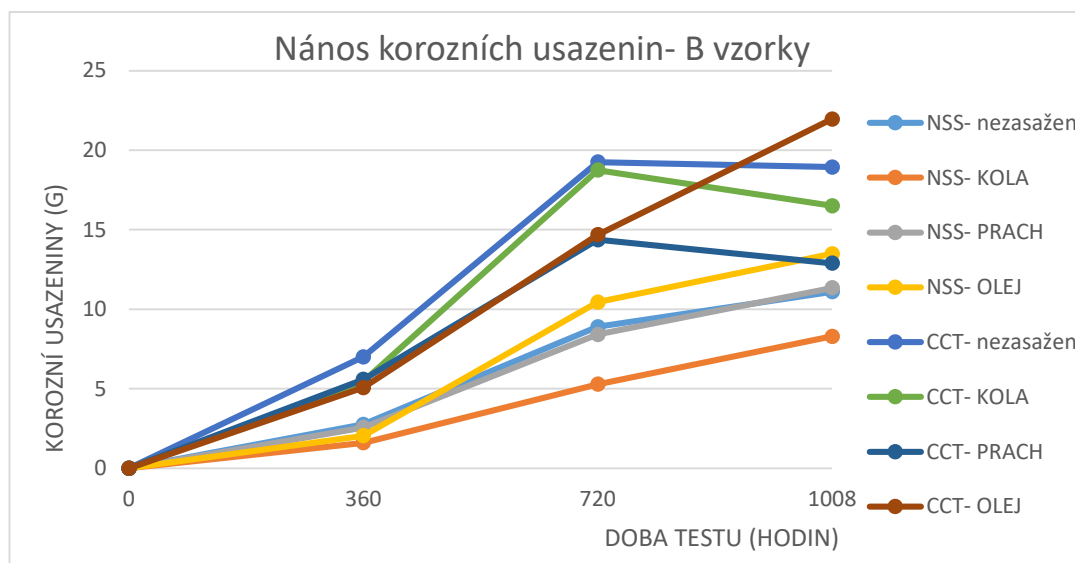
Z dat je patrné, že hmotnostní diference vlivem korozních usazenin, činila rozdíl od 0,15 gramu po 2,9 gramu. Nejvíce probíhalo usazování sedimentů v NSS komoře na vzorcích zasažených olejem, kde průměrná hmotnost nánosů činila 2,9 gramu, a dále na vzorcích v komoře CCT, zasaženými klovým nápojem- 2,87 gramu a olejem- 1,94 gramu.

4.2.2 Hmotnostní rozdíl nánosu korozních usazenin na B vzorcích

Tento výpočet proběhl pro B vzorky, tedy vzorky bez povrchové úpravy zinek-nikl.

B vzorky	Neutrální solná mlha NSS				Cyklický korozní test CCT			
	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ
0	2,76	1,60	2,57	2,04	7,01	5,45	5,58	5,07
0	8,89	5,28	8,41	10,45	19,25	18,75	14,37	14,68
0	11,10	8,29	11,35	13,49	18,94	16,50	12,89	21,96

Tabulka 12 – Nárůst hmotnosti vlivem korozních sedimentů, B vzorky



GRAF 7 – Nárůst hmotnosti vlivem korozních sedimentů, B vzorky

B VZORKY	rovnice	koeficient
NSS- nezasažen	$y = -1,9617x^2 + 12,015x - 7,29$	$R^2 = 1$
NSS- KOLA	$y = -0,3367x^2 + 4,69x - 2,75$	$R^2 = 1$
NSS- PRACH	$y = -1,45x^2 + 10,187x - 6,1633$	$R^2 = 1$
NSS- OLEJ	$y = -2,68x^2 + 16,443x - 11,72$	$R^2 = 1$
CCT- nezasažen	$y = -6,2733x^2 + 31,06x - 17,78$	$R^2 = 1$
CCT- KOLA	$y = -7,7717x^2 + 36,612x - 23,387$	$R^2 = 1$
CCT- PRACH	$y = -5,1383x^2 + 24,205x - 13,483$	$R^2 = 1$
CCT- OLEJ	$y = -1,1683x^2 + 13,115x - 6,8733$	$R^2 = 1$

Tabulka 13 – Rovnice změn hmotnosti vlivem korozních usazenin

Ze získaných výsledků vyplývá, že hmotnostní nárůst vlivem korozních usazenin na vzorcích činil v komoře NSS hodnot 8,29 gramu, až 13,49 gramu- vzorky po zasažení motorovým olejem. U vzorků po testu CCT tento hmotnostní přírůstek činil nejvíce u vzorků zasažených motorovým olejem- 21,96 gramů.

4.3 Změna drsnosti povrchu

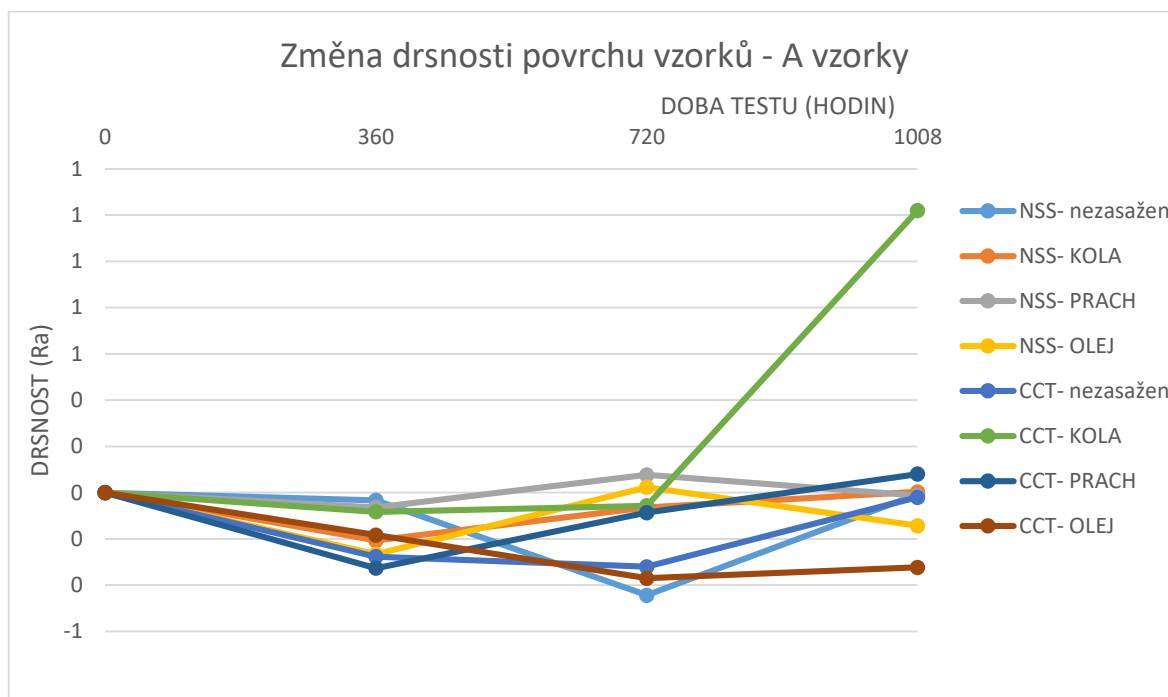
Zkoumání změn drsnosti před testem a po testu probíhalo na základě zájmu zjištění, zda li se změní drsnost povrchu, následkem působení korozního faktoru na povrch vzorku. Měření proběhla před umístěním vzorků do kontaminačních látek a následně po očištění od korozních zplodin, po jejich temperaci v pokojové teplotě (36).

4.3.1 Změna drsnosti povrchu na A vzorcích

Tento výpočet proběhl pro A vzorky, tedy vzorky s povrchovou úpravou zinek-nikl.

A vzorky	Neutrální solná mlha NSS				Cyklický korozní test CCT			
HODIN	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ
0	-0,03	-0,21	-0,06	-0,27	-0,28	-0,08	-0,33	-0,18
0	-0,44	-0,06	0,08	0,02	-0,32	-0,06	-0,09	-0,37
0	-0,01	0,00	-0,01	-0,14	-0,02	1,22	0,08	-0,32

Tabulka 14 – Změna drsnosti povrchu (Ra), A vzorky



GRAF 8 – Změna drsnosti povrchu, A vzorky

A VZORKY	rovnice	koeficient
NSS- nezasažen	$y = 0,4233x^2 - 1,68x + 1,2233$	$R^2 = 1$
NSS- KOLA	$y = -0,0383x^2 + 0,2583x - 0,4267$	$R^2 = 1$
NSS- PRACH	$y = -0,115x^2 + 0,485x - 0,4333$	$R^2 = 1$
NSS- OLEJ	$y = -0,2283x^2 + 0,975x - 1,0133$	$R^2 = 1$
CCT- nezasažen	$y = 0,1717x^2 - 0,5583x + 0,11$	$R^2 = 1$
CCT- KOLA	$y = 0,625x^2 - 1,8483x + 1,14$	$R^2 = 1$
CCT- PRACH	$y = -0,0367x^2 + 0,35x - 0,64$	$R^2 = 1$
CCT- OLEJ	$y = 0,1167x^2 - 0,5367x + 0,2367$	$R^2 = 1$

Tabulka 15 – Rovnice změn drsnosti povrchu, A vzorky

A VZORKY	hodin testu	Kritérium T	Průměrný rozdíl D (Ra)
NSS - NEZASAŽEN	360	0,428	-0,03
	720	2,381	-0,44
	1008	0,026	-0,01
CCT - NEZASAŽEN	360	5,634	-0,28
	720	2,257	-0,32
	1008	0,246	-0,02
NSS- KOLA	360	3,574	-0,21
	720	0,363	-0,06
	1008	0,016	0,00
CCT- KOLA	360	2,168	-0,08
	720	8,500	-0,06
	1008	1,667	1,22
NSS- PRACHOVÁ VODA	360	1,612	-0,06
	720	0,383	0,08
	1008	0,145	-0,01
CCT- PRACHOVÁ VODA	360	2,168	-0,33
	720	0,661	-0,09
	1008	0,280	0,08
NSS- MOTOROVÝ OLEJ	360	2,692	-0,27
	720	0,115	0,02
	1008	1,233	-0,14
CCT- MOTOROVÝ OLEJ	360	0,942	-0,18
	720	1,235	-0,37
	1008	2,189	-0,32

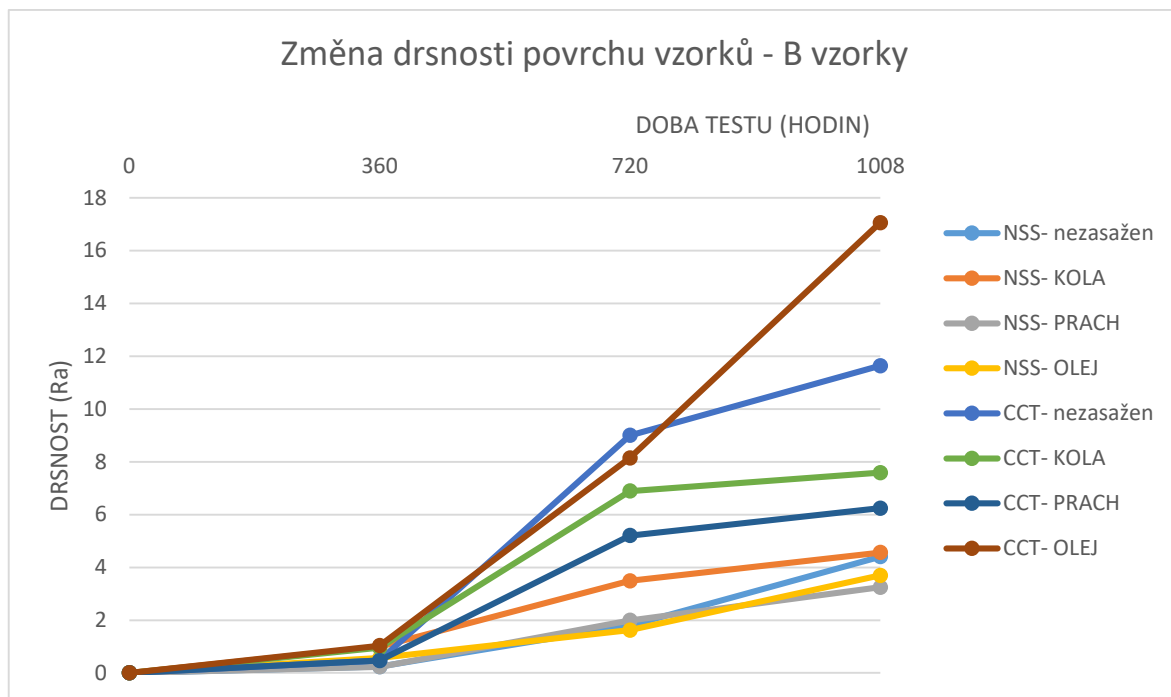
Tabulka 16 – Hodnoty testovacího kritéria drsnosti, stanovené t-testem, A-vzorky
Z dat vyplývá, že pro vzorky s povrchovou úpravou zinek-nikl, se hodnota drsnosti takřka nezměnila, kde jediná výjimka byla zaznamenána u vzorků CCT, kontaminovaných kolovým nápojem, kde difference drsnosti byla zaznamenána 1,22 Ra.

4.3.2 Změna drsnosti povrchu na B vzorcích

Tento výpočet proběhl pro B vzorky, tedy vzorky bez povrchové úpravy zinek-nikl.

B vzorky	Neutrální solná mlha NSS				Cyklický korozní test CCT			
	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ	nezasaženy	KOLA	PRACH	OLEJ
0	0,24	1,00	0,23	0,56	0,47	0,95	0,47	1,03
0	1,80	3,49	1,99	1,62	9,00	6,89	5,20	8,15
0	4,40	4,56	3,24	3,70	11,64	7,59	6,24	17,06

Tabulka 17 – Změna drsnosti povrchu (Ra), B vzorky



GRAF 9 – Změna drsnosti povrchu, B vzorky

B VZORKY	rovnice	koeficient
NSS- nezasažen	$y = 0,525x^2 - 0,0183x - 0,2667$	$R^2 = 1$
NSS- KOLA	$y = -0,7117x^2 + 4,6283x - 2,92$	$R^2 = 1$
NSS- PRACH	$y = -0,2517x^2 + 2,5117x - 2,0267$	$R^2 = 1$
NSS- OLEJ	$y = 0,51x^2 - 0,4733x + 0,5267$	$R^2 = 1$
CCT- nezasažen	$y = -2,945x^2 + 17,362x - 13,943$	$R^2 = 1$
CCT- KOLA	$y = -2,62x^2 + 13,797x - 10,223$	$R^2 = 1$
CCT- PRACH	$y = -1,8467x^2 + 10,273x - 7,9567$	$R^2 = 1$
CCT- OLEJ	$y = 0,9x^2 + 4,4133x - 4,28$	$R^2 = 1$

Tabulka 18 – Rovnice změn drsnosti povrchu

B VZORKY	hodin testu	Kritérium T	Průměrný rozdíl D (Ra)
NSS - NEZASAŽEN	360	1,652	0,24
	720	8,481	1,80
	1008	3,693	4,40
CCT - NEZASAŽEN	360	0,702	0,47
	720	23,418	9,00
	1008	28,066	11,64
NSS- KOLA	360	1,967	1,00
	720	3,982	3,49
	1008	4,884	4,56
CCT- KOLA	360	1,526	0,95
	720	45,630	6,89
	1008	22,085	7,59

NSS- PRACHOVÁ VODA	360	1,218	0,23
	720	6,738	1,99
	1008	4,754	3,24
CCT- PRACHOVÁ VODA	360	1,815	0,47
	720	19,083	5,20
	1008	10,770	6,24
NSS- MOTOROVÝ OLEJ	360	1,245	0,56
	720	7,454	1,62
	1008	5,647	3,70
CCT- MOTOROVÝ OLEJ	360	2,131	1,03
	720	13,180	8,15
	1008	80,392	17,06

Tabulka 19 – Hodnoty testovacího kritéria drsnosti, stanovené t-testem, B-vzorky

Z naměřených výsledků vyplývá, že vystavení koroznímu prostředí má z pohledu drsnosti na vzorky obnaženého nízkolegovaného ocelového materiálu vliv, kde po 1008 hodinách testu byl u každého typu vzorků zaznamenán rozdíl v Ra hodnotě.

U testu solnou mlhou se průměrná diference Ra u vzorků pohybovala v rozmezí od 3,24 Ra u vzorků kontaminovaných prachem, po 4,56 Ra vzorků, kontaminovaných kolovým nápojem.

Vzorky umístěné v cyklické komoře CCT nabývaly vyššího hodnot, kde nejméně ovlivněny se s hodnotou diference 6,24 Ra ukázaly vzorky kontaminovány prachem a naopak nejvyššího rozdílu nabyly vzorky zasaženy olejem- 17,06 Ra.

4.4 Změna izolačního odporu

Ukázalo se, že diference izolačního odporu se u všech vzorků v obou testovacích kabinetech, před a po testu, liší pouze v řádu setin ohmů (Ω). Jeví se tedy závěr, že působení korozního prostředí na vzorky, jež následně očistíme, vliv na průchod elektrického proudu ve vyšší míře nemá.

ZÁVĚR

V této práci jsme se seznámili s pojmem koroze, jejích druzích a možných způsobech jejího testování a vyhodnocení. Bylo rozhodnuto o testovacím způsobu a dále také o materiálech, jež pro experiment a téma této téze budou vybrány.

Zkoumání vlivu korozního, bylo vybráno pro materiály nízkolegované oceli válcované za tepla, kde proti sobě budou postaveny vzorky bez přídavné ochranné vrstvy a vzorky s povrchovou ochranou zinek-nikl, jež se v současné době, zejména v automobilovém průmyslu, velmi hojně používá. Rovněž vzorky budou rozděleny do čtyř skupin, kde každá čtvrtina bude před započítáním testovacího cyklu kontaminována různou látkou a budou dále zkoumány vlivy, jež tato kontaminace mohla přinést. Bylo vybráno rozdělení dle kontaminace, a to látkami: prachovou vodou, motorovým olejem a kolovým nápojem, kde čtvrtá kvadra vzorků bude ponechána bez kontaminace, sloužící k porovnání. Délka testovacího cyklu byla stanovena 1008 hodin, tedy 42 dní, kde vzorky budou rozděleny na třetiny a každá část vzorků bude v komorách umístěna po určitou dobu, k získání dat korozního průběhu. Doby ponechání vzorků v komorách byly stanoveny na 360 hodin, 720 hodin a 1008 hodin. Jako vyhodnocovací metody bylo využito vizuálního zhodnocení, stanovení hmotnostní difference vzorků před a po testu, změn hmotnosti vlivem korozních sedimentů, difference drsnosti povrchu a změny izolačního odporu materiálu. Průběh změny parametrů byl zaznamenán, vyjádřen matematickou regresní rovnicí a porovnána jejich odlišnost tzv. párovým t-testem.

Vzorky s povrchovou úpravou se v komoře solné mlhy ukázaly poměrně dobře chráněny, kde se kontaminace kolový nápojem ukázala, co do hmotnostní difference, jako nejagresivnější. Současně se ukázalo, že motorový olej vzorky v prostředí solné mlhy chrání, ale v cyklickém prostředí působí naopak agresivním chováním. Parametry drsnosti i změn izolačního odporu zůstaly u těchto vzorků takřka beze změny.

Vzorky bez povrchové úpravy se ukázaly, dle očekávání, býti korozním jevem zasaženy citelněji, kde se hmotnostní úbytek po 42 dnech testu ukázal být, u vzorků umístěných v prostředí solné mlhy mezi 9 a 11%, jejich počáteční hmotnosti. V prostředí cyklickém, až ve hmotnostním úbytku 24% jejich celkové hmotnosti a to u vzorků: nezasažených, i zasažených kolou a olejem. Rozdíl drsnosti těchto vzorků byl u testu solnou mlhou okolo čtyř jednotek Ra. U testu cyklického dosáhly nejmenšího rozdílu vzorky z prachové vody a

naopak největšího vzorky zasaženy motorovým olejem s hodnotou rozdílu 17 Ra. Změn izolačního odporu u těchto vzorků rovněž nebylo pozorováno.

Výsledkem této práce bylo provedení experimentu, zkoumajícího vliv odlišných korozních prostředí na materiály, jež se v průmyslovém odvětví běžně využívají, kde se ke zkoumání přidal možný faktor kontaminace materiálu látkami běžného civilního používání. Byla potvrzena nutnost povrchové ochrany průmyslových materiálů, jež dle provedených experimentů v této práci, byla v nejhrošším případě poskytující, až osmi-násobnou ochranu kontaminovaného povrchu materiálu. Dalším, ne méně důležitým faktorem, rovněž bylo získání informací o chování různých látek běžného užití, vzhledem k akceleraci postupu koroze materiálu, při například nechtěném vylití nápoje na kovový povrch. S počtem různých látek, s nimiž přichází do styku užívané materiály, by zkoumání vlivů těchto možných kontaminačních situací zasluhovalo většího zkoumání, zejména u prvků bezpečnostních, kde na jejich funkčním stavu mohou záviseti lidské životy, jelikož jak bylo vyzkoumáno v této tézi, se vlivem zasažení různými látkami, jejich délka životnosti může lišit.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. The vertical distribution of the concentration of sea salt in the marine atmosphere near Hawaii. [Online] Taylor & Francis, 03 01, 1984. [Cited: 19 10, 2021.] <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3402/tellusb.v36i2.14881>.
2. *On the Corrosion Resistance of the Delhi Iron Pillar*. Balasubramaniam, R. Kanpu, India : pergamon, 2000. 2103–2129.
3. Železný sloup v Dillí. [Online] 5 29, 2020. [Cited: 10 19, 2021.] <https://www.livehistoryindia.com/story/history-daily/iron-pillar/>. (OBRÁZEK).
4. R. Winston Revie, Herbert H. Uhlig. *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering, Fourth Edition*. s.l. : Copyright © 2008 John Wiley & Sons, Inc., 2008. 9780471732792.
5. *Improving Oxidation Behavior of (Alpha- Beta) (Cu-Zn40) Brass by Aluminum Addition*. KADHIM, ALI H. HALLEM & ISRAA NAYYEF. University of Babylon, Iraq : International Journal of Mechanical and Production, 1/2019. ISSN: 2249-6890.
6. *Galvanický článek*. [Online] 1999. [Cited: 19 10, 2021.] https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/galvan_cl.html. (OBRÁZEK).
7. Druhy koroze kovů. [Online] 06 2020. [Cited: 10 19, 2021.] <https://www.av-equen.cz/wp-content/uploads/2020/09/Druhy-koroze.pdf>. (OBRÁZEK).
8. Povrchové úpravy. www.spszengrova.cz. [Online] [Cited: 10 20, 2021.] https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/ZAV1-Povrchove_upravy.pdf. (OBRÁZEK).
9. *Marine Atmospheric Corrosion of Carbon Steel*:. Jenifer Alcántara, Daniel de la Fuente, Belén Chico, Joaquín Simancas, Iván Díaz and. Madrid, Spain : National Centre for Metallurgical Research, 2017.
10. *Long range transport of air pollutants and corrosion effects. In Proceedings of the*. Haagenrud, S. and Ottar, B. Trondheim, Norway : s.n., 5/1975.
11. *Corrosion behavior of some austenitic stainless steels in chloride environments*. A.M.Ibrahim, Magdy. Cairo, Egypt : Chemistry Department, Faculty of Science, Ain Shams University, 20/10/2008. ISSN 0254-0584.

12. *Corrosion and Protection of Metal in the Seawater*. Xiangyu Hou, Lili Gao, Zhendong Cui and Jianhua Yin. Tianjin : The Institute of Seawater Desalination & Multipurpose Utilization, 2018. doi :10.1088/1755-1315/108/2/022037.
13. *Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water*. Rusydi, Anna F. s.l. : IOP Publishing, 2018. DOI_10.1088/1755-1315/118/1/012019.
14. *pH of seawater*. G.M. Marion, F.J. Millero, M.F. Camões, P. Spitzer, R. Feistel, C.-T.A. Chen. s.l. : Marine Chemistry, 2011. ISSN 0304-4203.
15. *ČSN 03 8137, ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA*. Praha : Český normalizační institut, 1990.
16. <http://www.korozniinzenyr.cz>. <http://www.korozniinzenyr.cz>. [Online] 2018. [Cited: 10 21, 2021.] <http://www.korozniinzenyr.cz/fotografie.aspx>. (OBRÁZEK).
17. mendelu, AF. <https://web2.mendelu.cz>. [Online] 2021. [Cited: 21 10, 2021.] https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3717&typ=html. (OBRÁZEK).
18. Miroslav, Černý. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1984. DT 620.193:669.018.
19. *EFFECT OF THERMOMECHANICAL TREATMENT ON THE*. Peter Sláma, Jan Nacházel. Dobřany, Czech republic : MTAEC9, 2016. ISSN 1580-2949.
20. *Druhy koroze kovů*. P, Novák. Praha : Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha. 49(4) 75-82. (OBRÁZEK).
21. *Wear and its Effects in Centrifugal Pumps*. Yıl, Yüzüncü & Tarım, Üniversitesi & Dergisi, Bilimleri & Güner, Metin & Özbayer, Melih & Bilgileri, Makale & Aşınma. Ankara, Turkey : Yüzüncü Yıl Üniversitesi, 2019. 569-582.
22. *ČSN EN ISO 9227 (03 8132), ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017. ICS 77.060.
23. NSS CASS Test Salt Fog Chamber , Salt Spray Corrosion Testing Equipment. www.tensiontestmachine.com. [Online] [Cited: 21 10, 2021.] <https://www.tensiontestmachine.com/sale-10173570-nss-cass-test-salt-fog-chamber-salt-spray-corrosion-testing-equipment.html>. (OBRÁZEK).

24. [www.labomat.eu](https://labomat.eu/gb/cyclic-corrosion-regulated-humidity-chambers/132-ascott-atmosfar-atmosfar-lite-cyclic-corrosion-chambers.html). [Online] [Cited: 10 21, 2021.] <https://labomat.eu/gb/cyclic-corrosion-regulated-humidity-chambers/132-ascott-atmosfar-atmosfar-lite-cyclic-corrosion-chambers.html>. (OBRÁZEK).
25. Thompson, D. H. *Handbook on Corrosion Testing and Evaluation*. New York : John Wiley and Son Inc., 1971. ISBN:0-471-00985-7.
26. ČSN EN ISO 8407 (03 8102), ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. ICS 77.060.
27. Vysoce pevné mikrolegované oceli. [Online] [Cited: 10 22, 2021.] <https://svv.cz/files/2.11.vysocepevnmikroleg.ocelipdf.pdf>. (OBRÁZEK).
28. *Zinc–Nickel Alloy Electrodeposition: Characterization*,. Lotfia, N. Tehran, Iran : Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 2016/10/9. ISSN 2070-2051.
29. *Influence of calcium and magnesium ions on CO2 corrosion of carbon steel*. H. Mansoori, D. Young, B. Brown, M. Singer. Ohio, USA : Elsevier B.V, 2018. ISSN 1875-5100.
30. *Green approach to corrosion inhibition of stainless steel in phosphoric acid of Artemisia herba albedium using plant extract*. M. Boudalia, R.M. Fernández-Domene, M. Tabyaoui, A. Bellaouchou, A. Guenbour, J. García-Antón. s.l. : Journal of Materials Research and Technology, 2019, Vols. Volume 8, Issue 6. ISSN 2238-785.
31. *Electrochemical Studies on the Stability and Corrosion Resistance of Two Austenitic Stainless Steels for Soft Drinks Containers*. *International journal of electrochemical science*. Mareci, D. & Trinca, Lucia Carmen & Cotea, Valeriu & Souto, Ricardo. 2017. 5438-5449. 10.20964/2017.06.35. .
32. *Protective Effectiveness of Oil Compositions in the Presence of Sulfur-Containing Corrosion Stimulators*. Vigdorovich, V.I., Tsygankova, L.E., Knyazeva, L.G. et al. 570–579, 2020. DOI_10.1007/s10553-020-01169-9.
33. Meirong Li, Chengliang Mao, and Lan Ling. *In Situ Visualization on Surface Oxidative Corrosion with Free Radicals: Black Phosphorus Nanoflake as an Example*. s.l. : Environmental Science & Technology, 2022. DOI: 10.1021/acs.est.1c06567.
34. *The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation*. Chicco D, Warrens MJ, Jurman G. s.l. : PeerJ Computer Science 7:e623, 2021. DOI: 10.7717/peerj-cs.623.

35. *Application of student's t-test, analysis of variance, and covariance.* Mishra, Prabhaker et al. doi:10.4103/aca.ACA_94_19, s.l. : Annals of cardiac anaesthesia vol. 22,4, 2019.

36. *Effect of surface roughness and temperature on.* Avila-Sierra, Alejandro, Zhang, Jason and Fryer, Peter. s.l. : University of Birmingham, 2021. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110542.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	Procento (-)
°C	Stupeň Celsia
g	Gram – jednotka hmotnosti
I	Elektrický proud (A)
t	Čas (sekunda, minuta)
pH	Vodíkový exponent
EC	Elektrická vodivost ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
NSS	Neutrální solná mlha
CCT	Cyklický korozní test
RH	Relativní vlhkost
ČSN	Česká státní norma
Zn-Ni	Zinek-Nikl
„A vzorek“	Vzorek s povrchovou úpravou Zn-Ni
„B vzorek“	Vzorek bez povrchové úpravy Zn-Ni
R ²	Koeficient determinace
Ra	Průměrná aritmetická odchylka profilu drsnosti

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1- Železný sloup v Dillí (3).....	13
Obrázek 2 - Závislost korozní rychlosti na úbytku materiálu (5).....	15
Obrázek 3 – Princip elektrochemické koroze (2)	16
Obrázek 4 – Beketova řada napětí kovů (7)	17
Obrázek 5 – Příklad elektrochemické koroze (8)	18
Obrázek 6 – Půdní koroze (8).....	22
Obrázek 7 – Rovnoměrná koroze (15).....	22
Obrázek 8 – Nerovnoměrná koroze (15)	23
Obrázek 9 – Důlková koroze (15).....	23
Obrázek 10 – Důlková koroze (16).....	23
Obrázek 11 – Bodová koroze (15).....	24
Obrázek 12 – Bodová koroze (16).....	24
Obrázek 13 – Štěrbinová koroze (17).....	25
Obrázek 14 – Mezikrystalová koroze (15)	25
Obrázek 15 – Mezikrystalická koroze uhlíkové oceli (18).....	26
Obrázek 16 – Příklady selektivní koroze (15)	26
Obrázek 17 – Selektivní koroze- odzinkování mosazi (7).....	27
Obrázek 18 – Korozní praskání uhlíkové oceli (19).....	27
Obrázek 19 – Erozní koroze (20).....	28
Obrázek 20 – NSS komora (22).....	30
Obrázek 21 – CCT komora (23)	31
Obrázek 22 – Schéma řízeného válcování za tepla (27).....	34
Obrázek 23 – Vzorek A nezasažen	43
Obrázek 24 – Vzorek A zasažen kolou.....	43
Obrázek 25 – Vzorek A zasažen prachem	44
Obrázek 26 – Vzorek A zasažen olejem	44
Obrázek 27 – Vzorek B nezasažen	44
Obrázek 28 – Vzorek B zasažen kolou	44
Obrázek 29 – Vzorek B zasažen prachem	44
Obrázek 30 – Vzorek B zasažen olejem	44
Obrázek 31 – Vzorek B nezasažen (NSS-360h), před očištěním.....	47
Obrázek 32 – Vzorek B nezasažen (NSS-360h), po očištění.....	47

Obrázek 33 – Vzorek B zasažen kolou (NSS-360h), před očištěním.....	47
Obrázek 34 – Vzorek B zasažen kolou (NSS-360h), po očištění.....	47
Obrázek 35 – Vzorek B zasažen prachem (NSS-360h), před očištěním.....	47
Obrázek 36 – Vzorek B zasažen prachem (NSS-360h), po očištění.....	47
Obrázek 37 – Vzorek B zasažen olejem (NSS-360h), před očištěním.....	48
Obrázek 38 – Vzorek B zasažen olejem (NSS-360h), po očištění.....	48
Obrázek 39 – Vzorek B nezasažen (CCT-360h), před očištěním.....	48
Obrázek 40 – Vzorek B nezasažen (CCT -360h), po očištění.....	48
Obrázek 41 – Vzorek B zasažen kolou (CCT -360h), před očištěním.....	48
Obrázek 42 – Vzorek B zasažen kolou (CCT -360h), po očištění.....	48
Obrázek 43 – Vzorek B zasažen prachem (CCT -360h), před očištěním.....	49
Obrázek 44 – Vzorek B zasažen prachem (CCT -360h), po očištění.....	49
Obrázek 45 – Vzorek B zasažen olejem (CCT -360h), před očištěním.....	49
Obrázek 46 – Vzorek B zasažen olejem (CCT -360h), po očištění.....	49
Obrázek 47 – Vzorek B nezasažen (NSS-720h), po očištění.....	51
Obrázek 48 – Vzorek B zasažen kolou (NSS-720h), po očištění.....	51
Obrázek 49 – Vzorek B zasažen prachem (NSS-720h), po očištění.....	51
Obrázek 50 – Vzorek B zasažen olejem (NSS-720h), po očištění.....	51
Obrázek 51 – Vzorek B nezasažen (CCT-720h), po očištění.....	51
Obrázek 52 – Vzorek B zasažen kolou (CCT-720h), po očištění.....	51
Obrázek 53 – Vzorek B zasažen prachem (CCT-720h), po očištění.....	52
Obrázek 54 – Vzorek B zasažen olejem (CCT-720h), po očištění.....	52
Obrázek 55 – Vzorek B nezasažen (NSS-1008h), po očištění.....	53
Obrázek 56 – Vzorek B zasažen kolou (NSS-1008h), po očištění.....	53
Obrázek 57 – Vzorek B zasažen prachem (NSS-1008h), po očištění.....	53
Obrázek 58 – Vzorek B zasažen olejem (NSS-1008h), po očištění.....	53
Obrázek 59 – Vzorek B nezasažen (CCT-1008h), po očištění.....	54
Obrázek 60 – Vzorek B zasažen kolou (CCT-1008h), po očištění.....	54
Obrázek 61 – Vzorek B zasažen prachem (CCT-1008h), po očištění.....	54
Obrázek 62 – Vzorek B zasažen olejem (CCT-1008h), po očištění.....	54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Teplotní profil cyklické komory	41
Tabulka 2 – Střední hodnota hmotnostního úbytku (g/m^2), A vzorky.....	58
Tabulka 3 – Průměrný procentuální úbytek hmotnosti vzorků (%), A vzorky.....	58
Tabulka 4 – Hodnoty testovacího kritéria rozdílu hmotnosti, stanoveného t-testem, A-vzorky.....	59
Tabulka 5 – Regresní rovnice hmotnostního úbytku korozního cyklu, A vzorky	60
Tabulka 6 – Střední hodnota hmotnostního úbytku (g/m^2), B vzorky.....	60
Tabulka 7 – Průměrný procentuální úbytek hmotnosti vzorků (%), B vzorky.....	60
Tabulka 8 – Hodnoty testovacího kritéria rozdílu hmotnosti, stanoveného t-testem, B-vzorky.....	61
Tabulka 9 – Regresní rovnice hmotnostního úbytku korozního cyklu, B vzorky	62
Tabulka 10 – Nárůst hmotnosti vlivem korozních sedimentů (g), A vzorky	62
Tabulka 11 – Regresní rovnice průběhu nánosu korozních usazenin, A vzorky.....	63
Tabulka 12 – Nárůst hmotnosti vlivem korozních sedimentů, B vzorky	63
Tabulka 13 – Rovnice změn hmotnosti vlivem korozních usazenin	64
Tabulka 14 – Změna drsnosti povrchu (R_a), A vzorky	65
Tabulka 15 – Rovnice změn drsnosti povrchu, A vzorky.....	65
Tabulka 16 – Hodnoty testovacího kritéria drsnosti, stanovené t-testem, A-vzorky.....	66
Tabulka 17 – Změna drsnosti povrchu (R_a), B vzorky.....	66
Tabulka 18 – Rovnice změn drsnosti povrchu.....	67
Tabulka 19 – Hodnoty testovacího kritéria drsnosti, stanovené t-testem, B-vzorky.....	68

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1 – Stanovení doby čištění vzorku	42
GRAF 2 – Příklad stanovení lineární rovnice.....	56
GRAF 3 – Příklad stanovení polynomicke rovnice	57
GRAF 4 – Průběh změny hmotnostního úbytku v čase, A vzorky.....	59
GRAF 5 – Průběh změny hmotnostního úbytku v čase, B vzorky.....	61
GRAF 6 – Nárůst hmotnosti vlivem korozních sedimentů, A vzorky.....	63
GRAF 7 – Nárůst hmotnosti vlivem korozních sedimentů, B vzorky.....	64
GRAF 8 – Změna drsnosti povrchu, A vzorky.....	65
GRAF 9 – Změna drsnosti povrchu, B vzorky	67

SEZNAM PŘÍLOH