



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

KOROZNÍ ODOLNOST POVRCHOVÝCH ÚPRAV POLYSILOXANOVÝMI NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY

CORROSION RESISTANCE OF SURFACE TREATMENTS BY POLYSILOXANE PAINT SYSTEMS.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. VERONIKA KULHANOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROMÍR TULKA, CSc.

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	FCH-DIP0675/2011	Akademický rok: 2011/2012
Ústav:	Ústav fyzikální a spotřební chemie	
Student(ka):	Bc. Veronika Kulhanová	
Studijní program:	Spotřební chemie (N2806)	
Studijní obor:	Spotřební chemie (2806T002)	
Vedoucí práce	Ing. Jaromír Tulka, CSc.	
Konzultanti:		

Název diplomové práce:

Korozní odolnost povrchových úprav polysiloxanovými nátěrovými systémy

Zadání diplomové práce:

1. Literární rozbor základních vlastností polysiloxanových povlaků s důrazem na korozní odolnost proti vlivům prostředí.
2. Experimentální ověření korozní odolnosti polysiloxanových nátěrových systémů ve vodném prostředí s obsahem chloridů, s důrazem na zkoušku v neutrální solné mlze a zkoušku podle metodiky OECD.
3. Testování korozní odolnosti povlaků proti vlivům vybraných chemických látek a směsí.
4. Rozbor výsledků a zhodnocení použití polysiloxanových nátěrových systémů v povrchových úpravách.

Termín odevzdání diplomové práce: 11.5.2012

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

Bc. Veronika Kulhanová
Student(ka)

Ing. Jaromír Tulka, CSc.
Vedoucí práce

prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 15.1.2012

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Vlivem atmosférického a chemického prostředí dochází u kovových výrobků obvykle k jejich koroznímu znehodnocování. Tato diplomová práce se zabývá způsobem ochrany kovů před korozí, především polysiloxanovými povlaky v kombinaci s nátěrem obsahujícím zinek. Korozní odolnost vytvořených povlakových systémů je testována laboratorní urychlenou zkouškou v korozní komoře, kde jsou simulovány přírodní atmosférické podmínky. Chemická odolnost ve vybraných chemických prostředích je ověřována kapkovou metodou. Jsou hodnoceny také znaky jakosti povlaků - tloušťka, přilnavost k podkladovému materiálu, tvrdost a stálost barevného odstínu a lesku.

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the evaluation of the quality parameters of selected steel surface finishes in terms of protection against corrosion. The most important parameters include the thickness of the coating adhesion to the underlying material, coating hardness, corrosion product stability, the presence of defects in the coating and corrosion test ongoing corrosion in the chamber - neutral aqueous environment containing chlorides.

KLÍČOVÁ SLOVA

Koroze, korozní odolnost, povrchová úprava, předúprava fosfátováním, prášková nátěrová hmota, korozní zkoušky, zkouška v solné mlze.

KEY WORDS

Corrosion, corrosion resistance, finishes, phosphate pretreatment, powder coating, corrosion test, salt spray test.

KULHANOVÁ, Veronika. *Korozní odolnost povrchových úprav polysiloxanovými nátěrovými systémy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2012. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaromír Tulka, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

Poděkování:

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jaromíru Tulkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a především za jeho trpělivost, vstřícnost a čas. Chtěla bych také poděkovat vedení a zaměstnancům firem TOKOZ, a.s. a Hempel (Czech Republic), s.r.o. za poskytnutí materiální pomoci a experimentálního zázemí. Také bych chtěla poděkovat všem, kteří se mnou sdíleli své zkušenosti a bez jejichž účasti by tato práce nemohla vzniknout.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1	Koroze.....	8
2.1.1	Výběr korozní terminologie.....	8
2.1.2	Dělení koroze podle vnitřního mechanismu	8
2.1.3	Dělení koroze podle druhu korozního prostředí	15
2.1.4	Dělení koroze podle druhu korozního napadení	17
2.1.5	Vliv činitelů koroze	19
2.2	Ochrana proti korozi	21
2.2.1	Metody ochrany proti korozi	21
2.2.2	Povrchové předúpravy materiálů.....	23
2.2.3	Povrchové úpravy materiálů	24
2.2.4	Ochranné povlaky.....	24
2.3	Organické povlaky	26
2.3.1	Složení nátěrových hmot (NH).....	26
2.3.2	Dělení nátěrových hmot (NH)	27
2.3.3	Základní označování nátěrových hmot (NH).....	28
2.3.4	Základní vlastnosti.....	30
2.4	Nátěrové systémy	30
2.4.1	Syntetické alkydové nátěrové hmoty.....	30
2.4.2	Syntetické epoxidové nátěrové hmoty.....	31
2.4.3	Polyuretanové nátěrové hmoty	31
2.4.4	Polysiloxanové nátěrové hmoty.....	32
2.4.5	Nátěrové hmoty s obsahem zinku.....	34
2.4.6	Vysokosušninové nátěrové hmoty	35
2.5	Korozní zkoušky	35
2.5.1	Zkoušky v klimatizační zkušební komoře (solná komora).....	35
2.5.2	Zkoušky podle metodiky OECD	37
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
3.1	Podkladový materiál	38
3.2	Předúprava podkladu materiálu	39
3.3	Použité nátěrové systémy.....	39
3.3.1	První nátěrový systém	39
3.3.2	Druhý nátěrový systém	39
3.3.3	Třetí nátěrový systém	39
3.3.4	Čtvrtý nátěrový systém	40
3.4	Technologie zhotovení povlaků	40
3.5	Hodnocení znaků jakosti povlaků.....	41
3.5.1	Hodnocení tloušťky povlaku	41
3.5.2	Hodnocení přilnavost povlaku	41
3.5.3	Hodnocení tvrdosti povlaku.....	43
3.5.4	Hodnocení barevného odstínu povlaku	43
3.5.5	Hodnocení lesku povlaku	44
3.5.6	Hodnocení korozní odolnosti povlaku.....	44
3.5.7	Chemické odolnosti	45

4	VÝSLEDKY A DISKUZE	47
4.1	Výsledky hodnocení tloušťky povlaků	47
4.2	Výsledky hodnocení stupně přilnavosti povlaků	47
4.3	Výsledky hodnocení stupně tvrdosti povlaku	52
4.4	Výsledky hodnocení stálosti barevného odstínu povlaku	53
4.5	Výsledky hodnocení stálosti lesku povlaku	54
4.6	Výsledky hodnocení korozní odolnosti.....	55
	4.6.1 Výsledky hodnocení korozní odolnosti po expozici v solné komoře	55
	4.6.2 Výsledky hodnocení korozní odolnosti podle metodiky OECD.....	57
4.7	Výsledky hodnocení chemické odolnosti povlaků.....	58
5	ZÁVĚR	62
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	68

1 ÚVOD

Kovové materiály jsou nejpoužívanějšími konstrukčními materiály, které jsou díky kovové vazbě atomů elektricky i tepelně vodivé, pevné, pružné, nepropustné atd. Tím, že na jejich povrch neustále působí různá prostředí, jako atmosféra, voda, půda, vodná prostředí kyselin, zásad, solí, ale také organické sloučeniny, taveniny kovů, slitin a plastů, dochází k jejich znehodnocení. Mění se nejen jejich vzhled, ale mnohdy i mechanické, elektrické, aj. vlastnosti, tudíž jsou pak pro svůj účel nevyužitelné. Častou příčinou tohoto znehodnocování bývá koroze. Je to skrytý škůdce, který v tichosti a nenápadně postihuje téměř všechny kovové předměty – rozvody plynu, vody, elektřiny, dopravní prostředky, konstrukce mostů a letišť, ale také provozy výroby (rafinerie, petrochemické a farmaceutické provozy). Stává se stále závažnějším národně-hospodářským problémem po celém světě. Odhady, provedené v některých průmyslových státech, se shodují v tom, že celkové ztráty způsobené korozi jsou přibližně 3–4 % HDP. Výroku ředitele španělského Národního výzkumného ústavu metalurgického, Manuela Morcilla: „Tak jako se o člověku říká, prach jsi a v prach se obrátíš, platí o kovech, že oxidy jsou a v oxidy se obrátí“, se vědci na základě poznatků o mechanismu a kinetice korozních dějů snaží zabránit vyvíjením nových technologií protikorozních povrchových úprav.^{1,2,3}

Ochranu kovových výrobků proti vlivům prostředí lze zajistit různými způsoby, z nichž nejběžnějšími jsou volba materiálu, úprava korozního prostředí a použití ochranných povlaků. Volba materiálu je zdánlivě nejjednodušší způsob. Nevyhovuje-li nám daný materiál, zvolíme jiný, vhodnější. Vyžaduje to však hlubokou komplexní znalost materiálů a vztahů mezi materiálem a konkrétním korozním prostředím. Úprava korozního prostředí se často používá v oblasti dočasné ochrany výrobků při skladování a přepravě. Převážná část kovových výrobků (konstrukce, rozvody atd.) je zhotovená z uhlíkových ocelí, které podléhají atmosférické korozi. Řešit tedy ochranu proti korozi těchto výrobků volbou materiálu nebo úpravou korozního prostředí není reálné.

V tomto případě je hlavní způsob ochrany materiálů založen na aplikaci ochranných povlaků, kde z 90 % dominují organické povlaky ve formě nátěrových systémů, které zajišťují požadované vlastnosti, jako jsou odolnost proti povětrnosti, otěru, vysokým teplotám, izolační vlastnosti nebo naopak vodivost povrchu, vysoká chemická odolnost, zdravotní nezávadnost a samozřejmě odolnost proti korozi a estetický vzhled. Jejich aplikace nevyžaduje složitá a komplikovaná zařízení a není omezená tvarem ani velikostí předmětů.⁴

Relativní novinkou, která rozšířila globální řadu ochranných povlaků, jsou organicky modifikované polysiloxany, které představují velký krok kupředu v porovnání s tradičními vrchními nátěry. Patří do oblasti vysokosuškových nátěrových hmot a byly vyvinuty pro zajištění výborné dlouhodobé retence barvy a lesku, poskytnutí prodloužené doby životnosti – vyšší korozní a chemické odolnosti, ale také pro snížení nákladů na aplikaci (díky vysoké účinnosti již ve dvou nanesených vrstvách) a zlepšení její produktivity.⁵

Jak již bylo zmíněno, korozní odolnost není základní vlastností určitého kovu, ale závisí na druhu kovu a povaze korozního prostředí. Navíc, pokud je známo, že kov je v daném prostředí neodolný, vstupuje do problematiky také potřeba znalosti vlastností uvažovaného ochranného systému. Ověřovat ale celý systém kov–prostředí–ochranné opatření v reálných podmínkách je nevýhodné a v případě aktuální potřeby řešení i nereálné, protože korozní proces je v převážné většině případů proces dlouhodobý, trvající i desítky let.

Z tohoto důvodu se pro ověřování korozních systémů včetně ochranných opatření využívají laboratorní zkoušky v klimatizační zkušební komoře s umělou atmosférou (zkoušky solnou mlhou neutrálního roztoku chloridu sodného), při nichž dochází k urychlené modelaci korozního procesu se simulací provozních podmínek a zesílením účinků některých vlivů. Výsledky korozní odolnosti materiálů je tak možné získat v podstatně kratší době, než při testování v přirozených podmínkách.

Na obdobném principu je založena i zkouška korozní odolnosti materiálů podle metodiky OECD.²

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Koroze

Pod českým termínem „tunelování“, si všichni představují nežádoucí lidskou činnost. „Tunelovat“, ve smyslu škodit národnímu hospodářství, ale mohou i přírodní živly. Škody způsobené dvěma z nich lze však do jisté míry snížit cílevědomými postupy uplatněnými společnostmi v praxi. Jedním z těchto živlů je oheň a druhým, v této práci podstatným, koroze, která vzniká v důsledku reakce mezi kovem a okolním prostředím.^{6,7}

2.1.1 Výběr korozní terminologie

Koroze

Fyzikálně-chemická interakce kovu a prostředí vedoucí ke změnám vlastností kovu, které mohou vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami.

Korozní systém

Systém, který se skládá z jednoho nebo více kovů a z těch složek prostředí, jež ovlivňují korozi. Složkami prostředí mohou být např. povlaky, povrchové vrstvy nebo další elektrody.

Korozní projev

Změna kterékoli složky korozního systému způsobená korozi.

Korozní produkt

Látka, která vznikla v důsledku koroze.

Rez

Viditelné korozní produkty skládající se převážně z hydratovaných oxidů železa.

Korozní rychlost

Korozní projev na kovu za jednotku času. Jednotka použitá k vyjádření korozní rychlosti závisí na technickém systému a na druhu korozního projevu. Korozní rychlost tedy lze vyjádřit jako přírůstek hloubky průniku za jednotku času, nebo jako hmotnost přeměněného kovu na korozní produkty z jednotky plochy za jednotku času atd. Korozní projev se s časem může měnit a nemusí být stejný na všech místech korodujícího povrchu. Proto je třeba, aby údaje o korozní rychlosti byly doplněny informacemi o druhu, časové závislosti a rozmístění korozního projevu.⁸

2.1.2 Dělení koroze podle vnitřního mechanismu

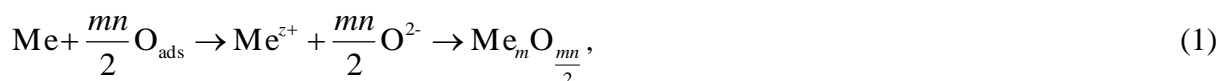
Základní příčinou koroze kovů je jejich termodynamická nestabilita v různých prostředích, spojená s přechodem kovu do stabilnějšího stavu – korozních zplodin. Samovolný proces koroze probíhá za termodynamické podmínky, kdy je změna *Gibbsovy energie* $\Delta G < 0$. V opačném případě, je proces nemožný.

Koroze je tedy samovolná vzájemná interakce mezi kovem a okolním prostředím, při které dochází k oxidačně-redukční reakci. Oxidace daného kovu a redukce oxidující složky prostředí probíhají současně.²

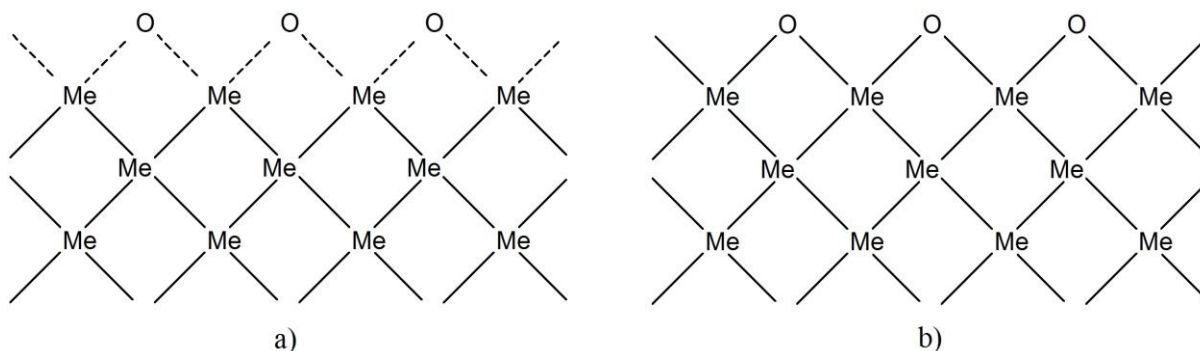
2.1.2.1 Chemická koroze

K chemické korozi dochází v elektricky nevodivém prostředí, mezi které patří plyny a neelektrolyty. Plynné prostředí může být buď oxidační – vzduch, vodní pára, kyslík, oxid uhličitý a siřičitý, síra, sirovodík, halogeny, apod., nebo redukční – vodík, amoniak, methan, směsi vodíku s jinými plyny, dusík apod.

První fází procesu oxidace je adsorpce plynu na mezifázovém rozhraní (obr. 1 a)). Adsorbovaná vrstva pak rychle přechází ve vlastní korozní produkt – vrstvičku oxidů, sulfidů aj. (obr. 1 b)), podle vztahu:



kde je: Me – označení kovu, Me^{z+} – označení iontu kovu, O_{ads} – adsorbovaný kyslík, O^{2-} – iontový kyslík, m, n – počet nábojů a z – mocenství kovu.



Obr. 1 Chemická koroze kovu v prostředí obsahující kyslík a) adsorpce kyslíku na povrchu b) postupný vznik vrstvy oxidu

Vzniklá vrstvička oxidů, sulfidů aj., může mít ochranné vlastnosti, pokud rovnoměrně pokrývá celý povrch kovu. Tvorba takovýchto vrstev je podmíněna *Pilling-Bedworthovým poměrem* P-B:

$$\text{P - B} = \frac{m_o \cdot \rho_M}{m_M \cdot \rho_o}, \quad (2)$$

kde je: m_o, m_M – molekulová hmotnost oxidu, resp. atomová hmotnost materiálu a ρ_M, ρ_o – hustota materiálu, resp. hustota oxidu.

Pokud je hodnota poměru P-B menší než 1, vrstva nepokrývá celý povrch kovu, praská a nemá tedy ochranné vlastnosti. Je-li hodnota poměru větší než 1, má vrstva ochranné vlastnosti. A při poměru vyšším než 2,5 se vrstva odlupuje a ztrácí tak ochranné vlastnosti.^{9,10}

2.1.2.2 Elektrochemická koroze

K elektrochemické korozi dochází v elektricky vodivém prostředí – atmosféra, voda, roztoky kyselin, zásad, solí aj. Vzhledem k tématu diplomové práce bude tedy podrobněji vysvětlena.

Při kontaktu kovu s elektrolytem dochází ke vzniku elektrochemického článku, kde probíhají dva na sobě závislé typy elektrodových reakcí.

Anodická reakce

Na anodě probíhá oxidace kovu, tedy vlastní koroze, při níž anoda (kov) ztrácí svůj kovový charakter, přechodem hydratovaných iontů kovu do elektrolytu. Tento děj lze popsat sledující rovnicí:



V kovu tak vzniká přebytek elektronů, které nemohou přejít do roztoku, je tedy nabit záporně a roztok kladně. Toto elektrické rozvrstvení způsobuje vznik vzájemně přitažlivých sil mezi opačně nabitými částicemi a zbrzdění průběhu koroze, označované jako polarizace.

Katodická reakce

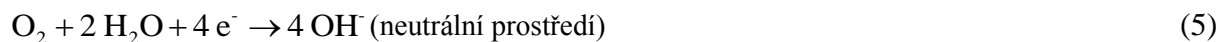
Aby rozpouštění anody mohlo dále nerušeně pokračovat skutečnou rychlostí, je třeba porušit vzniklé přitažlivé síly. Na katodě tedy probíhá redukce některé oxidující složky obsažené v roztoku, nazývané jako depolarizátor podle reakce:



Celá katodická reakce se pak označuje jako depolarizace.

Nejčastějšími depolarizátory jsou kyslík a vodík, depolarizační reakce pak mohou mít následující tvar.

Kyslíková depolarizace

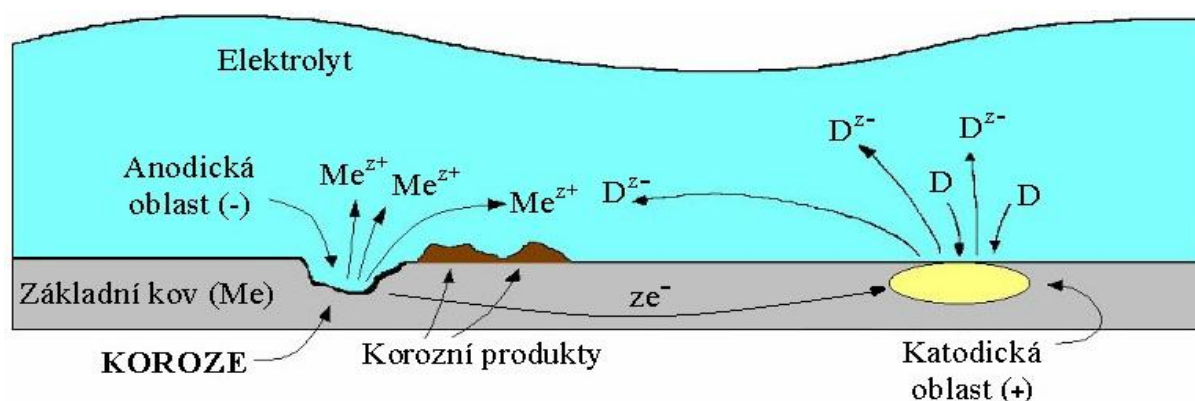


Vodíková depolarizace



Anodická a katodická reakce, představující dohromady korozní proces, probíhají každá na jiném místě povrchu (obr. 2). Obecně však platí, že mohou probíhat také na tomtéž místě, ale pouze v případě zcela homogenní plochy kovu (např. plocha monokrystalu) a také homogenního složení roztoku po celé ploše dotyku s kovem, což je v praxi nepravděpodobné.

Důležité pro tento proces je určení katody a anody – posouzením elektrodového potenciálu dvou kovů. Kov s nižším elektrodovým potenciálem bude anodou a bude korodovat.^{9,11,12}



Obr. 2 Anodický a katodický děj elektrochemické koroze

2.1.2.3 Termodynamika elektrochemické koroze

Ponoří-li se kov do vodného prostředí, stává se elektrodou o určitém potenciálu E [V], který je závislý na změně *Gibbsovy energie* ΔG [$J \cdot mol^{-1}$] a platí pro něj vztah:

$$\Delta G = z \cdot F \cdot E, \quad (9)$$

kde je: z – oxidační číslo vznikajícího kovového iontu (počet nábojů vyměněných v reakci) a F – Faradayova konstanta ($= 96\,494 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Pro každou rovnováhu elektrochemické reakce existuje její rovnovážný potenciál E_r [V]. Je-li potenciál elektrody E roven rovnovážnému potenciálu E_r , je reakce v rovnováze a probíhá oběma směry stejnou rychlostí.

Rovnovážný potenciál E_r závisí na elektrochemické ušlechtilosti daného kovu, vyjádřené standardním potenciálem E^0 a na aktivitě (koncentraci) iontů v roztoku podle *Nernstova vztahu*:

$$E_r = E^0 + \frac{R \cdot T}{2,303 \cdot z \cdot F} \cdot \log a_{Me^{z+}}, \quad (10)$$

kde je: R – molární plynová konstanta ($= 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$), T – teplota [K], $a_{Me^{z+}}$ – aktivita kovových iontů v roztoku [$mol \cdot dm^{-3}$].

Je-li potenciál elektrody E rozdílný od rovnovážného potenciálu E_r , pak dostáváme:

$$\eta = E - E_r, \quad (11)$$

kde je: η – přepětí [V], určující směr reakce. V případě hodnoty $\eta > 0$ – reakce probíhá ve směru oxidace a naopak při $\eta < 0$ – reakce probíhá ve směru redukce.

Potenciálový rozdíl vyjádřený hodnotou přepětí η , současně charakterizuje hnací sílu příslušné korozní reakce. Rovnovážený potenciál redoxní reakce je vyjádřen *Nernst-Petersonovým vztahem*:

$$E_r = E^0 + \frac{R \cdot T}{2,3 \cdot z \cdot F} \cdot \log \frac{a_{ox}}{a_{red}}, \quad (12)$$

kde v logaritmickém členu je poměr aktivit oxidované (a_{ox}) a redukované (a_{red}) formy reagující látky. Za standardních podmínek je logaritmický člen roven nule a rovnovážný potenciál E_r , je pak roven standardnímu potenciálu E^0 , který charakterizuje elektrochemickou ušlechtilost kovu, tj. snahu uvolňovat elektrony a přecházet do iontového (oxidovaného stavu).

Čím je tato hodnota kladnější, tím je kov ušlechtlejší a tedy stabilnější. Naopak čím je standardní potenciál E^0 zápornější, tím je kov méně ušlechtilý a tím snadněji a ochotněji probíhá jeho přeměna na ionty (tabulka 1).

Tabulka 1 Ušlechtilost a stabilita kovů

Standardní potenciál E^0 [V]	Ušlechtilost a stabilita
-3,0 až -0,4	Neušlechtilé kovy se zvýšenou termodynamickou nestabilitou
-0,4 až 0	Nestabilní kovy
0 až 0,8	Polo-ušlechtilé kovy se zvýšenou termodynamickou odolností
0,8 až 1,2	Ušlechtilé kovy s vysokou stabilitou
1,5 a víc	Zcela termodynamicky stabilní kovy

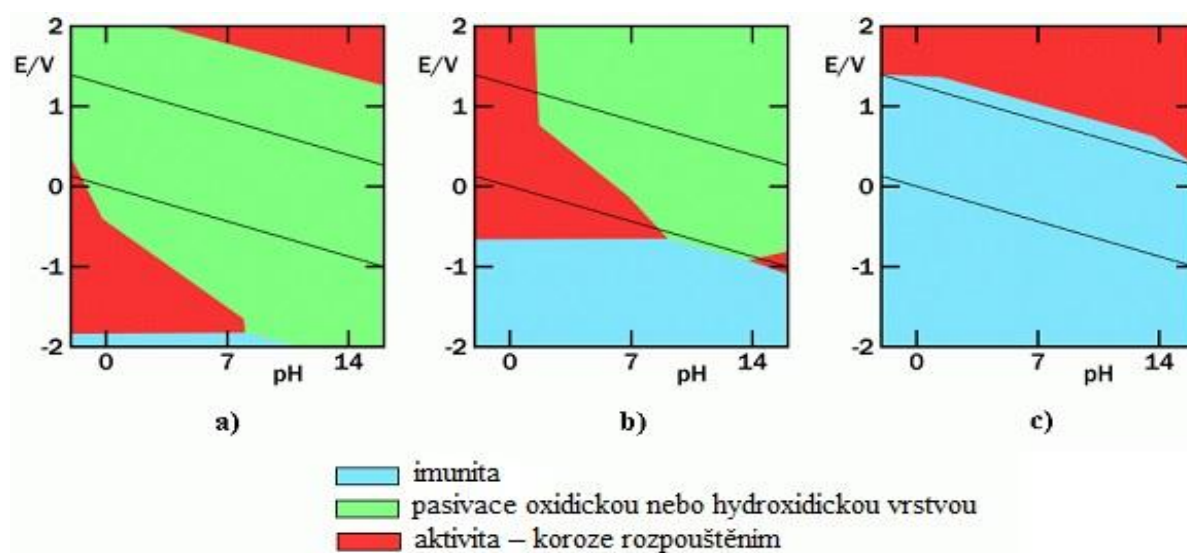
Hodnotu elektrodového potenciálu nelze stanovit absolutně, ale je měřitelná proti druhé srovnávací elektrodě. Standardní rovnovážné potenciály elektrochemických reakcí jsou smluvně tabelovány proti tzv. vodíkové elektrodě, pro kterou byla hodnota jejího rovnovážného potenciálu prohlášena za nulovou při všech teplotách.

Podle takto získaných hodnot standardních elektrodových potenciálů různých kovů, lze tyto kovy seřadit do tzv. řady elektrochemické ušlechtilosti kovu. Podle postavení v této řadě jsou pak někdy kovy hodnoceny také z hlediska jejich korozní odolnosti, což je však velmi nepřesné, neboť i kovy elektrochemicky méně ušlechtilé mohou být poměrně značně korozně odolné (tabulka 2).

Je zřejmé, že řada elektrochemické ušlechtilosti kovů není pro posuzování jejich korozní odolnosti vhodná, protože nepočítá se vznikem tuhých korozních produktů, a tím ani s možným přechodem do pasivního stavu. Je proto důležité si uvědomit, že korozní odolnost kovu není dána jen jeho termodynamickou stabilitou (odolností proti oxidaci), ale že mnohem více záleží na kinetice koroze. Tomuto účelu proto mnohem lépe vyhovují diagramy závislosti potenciálu kovu E na pH prostředí, tzv. Pourbaixovy diagramy (obr. 3).

Tabulka 2 Srovnání elektrochemické ušlechtilosti a průměrné korozní odolnosti kovů

Standardní potenciál E^0 [V]	Elektrochemická ušlechtilost	Korozní odolnost
1,68	Au	Au
1,19	Pt	Pt
0,8	Ag	Ti
0,34	Cu	Ag
-0,14	Sn	Mo
-0,2	Mo	Cr
-0,25	Ni	Cu
-0,4	Cd	Ni
-0,44	Fe	Al
-0,74	Cr	Sn
-0,76	Zn	Fe
-1,18	Mn	Cd
-1,21	Ti	Zn
-1,66	Al	Mg
-2,37	Mg	Mn



Obr. 3 Pourbaixovy diagramy vybraných kovů a) titan b) železo c) zlato

Diagramy jsou sestaveny ze tří oblastí odpovídajících stavu termodynamické rovnováhy, a to z oblastí imunity, pasivity a aktivity. V oblasti imunity je koroze termodynamicky vyloučena. V oblasti pasivity je kov termodynamicky nestabilní, ale koroze je výrazně zpomalená vznikem málo rozpustných produktů reakce (vrstev) a v některých prostředích je tak korozní proces prakticky zastaven. V oblasti aktivity pak dochází k aktivnímu rozpouštění kovu – korozi.

Pomocí těchto diagramů lze provést zhodnocení jednotlivých kovů buď podle jejich termodynamické ušlechtilosti, tj. pouze podle jejich imunity, nebo podle jejich tzv. praktické ušlechtilosti, zahrnující jak imunitu, tak i pasivitu. Seřadí-li se kovy podle velikosti ploch vymežujících pouze jejich imunitu, získá se tzv. termodynamická stupnice, která je hodně podobná řadě standardních potenciálů. Seřazením kovů podle velikosti ploch vymežujících imunitu a zároveň pasivitu se získá stupnice praktické ušlechtilosti. Tyto dvě stupnice se mohou v mnoha případech značně lišit (tabulka 2). Je tedy jasné, že korozní odolnost kovů vystihuje lépe stupnice praktické ušlechtilosti.

Z výše uvedeného obrázku (obr. 3) se dá vyvodit, že jak titan, tak zlato, jsou velmi korozně odolné kovy, i když je jejich odolnost založena na úplně jiných principech. Zlato je odolné díky vysoké termodynamické stabilitě – ušlechtilosti, zatímco titan zařazený mezi neušlechtilé kovy získá korozní odolnost díky snadné tvorbě ochranné pasivní vrstvy.

Z toho vyplývá, že kov označený termodynamickou stupnicí jako méně stabilní, může díky tvorbě ochranných vrstev v daném korozním prostředí natolik zpomalit korozní děje, že potom bude korozně odolnější, než kov za daných podmínek termodynamicky stabilnější. **2,9,13,14**

2.1.2.4 Kinetika elektrochemické koroze

Jak už bylo zmíněno v předchozím oddíle, kinetika korozního procesu je stejně tak důležitá, ne-li dokonce důležitější než jeho termodynamika. Rychlost elektrochemické korozní reakce odpovídá ve smyslu *Faradayova zákona* elektrickému proudu:

$$\frac{m}{\tau} = \frac{M \cdot I}{z \cdot F}, \quad (13)$$

kde je: m/τ – rychlost reakce (množství zkorodovaného kovu m za jednotku času τ [kg·s⁻¹]), I – proud [A], M – relativní atomová hmotnost kovu nebo molekulová hmotnost látky [g], z – oxidační číslo vznikajícího kovového iontu (počet nábojů vyměněných v reakci) a F – Faradayova konstanta (= 96 494 C·mol⁻¹).

V korozní oblasti se potom pro vyjádření rychlosti korozního procesu často využívá právě toho, že úbytek kovu za určitý čas je úměrný prošlému proudu I [A], respektive proudové hustotě j [A·m⁻²] (tj. proudu vztaženému na jednotku plochy). Celková rychlost je pak přímo úměrná procházejícímu proudu (proudové hustotě). Pro hrubý odhad odpovídá číselná hodnota proudové hustoty přibližně korozní rychlosti v mm za rok.

Musíme si ale uvědomit, že samotný korozní proces není jediný děj, ale několik dílčích dějů, které se navíc mohou vzájemně ovlivňovat. Jedná o tyto tři základní děje:

- transport reagující složky korozního prostředí k povrchu kovu
- interakce kovu a prostředí (chemické děje)
- transport reakčních produktů od povrchu kovu.

Vzhledem k tomu, že se zde uplatňují především následné a paralelní reakce, platí obecné pravidlo, že výsledná rychlost koroze následných reakcí je dána rychlostí nejpomalejšího děje a výsledná rychlost paralelních reakcí naopak rychlostí nejrychlejšího děje. Nejpomalejší (nejrychlejší) děj může být libovolný. V případě transportu látek k fázovému rozhraní (nebo od něj), je rychlost koroze dána rychlostí tohoto transportu – difuzí, a pro průběh redoxních korozních reakcí, je pak rychlost určena rychlostí těchto reakcí, které lze vyjádřit následujícími vztahy.

Pro anodický děj

$$j_A = j_0 \cdot \exp \left[\frac{\alpha \cdot z \cdot F}{2,3 \cdot R \cdot T} \cdot \eta \right], \quad (14)$$

Pro katodický děj

$$j_K = j_0 \cdot \exp\left[-\frac{(1-\alpha) \cdot z \cdot F}{2,3 \cdot R \cdot T} \cdot \eta\right], \quad (15)$$

kde je: j_A, j_K – anodická, katodická proudová hustota [$A \cdot m^{-2}$], j_0 – výměnná proudová hustota charakterizující rychlost dílčího děje [$A \cdot m^{-2}$], α – koeficient přenosu náboje.

Oba hlavní dílčí děje korozního procesu – anodický i katodický, probíhají rychlostí podle rovnic (14) a (15), přitom ale musí být splněna podmínka elektroneutality tím, že součet dílčích proudových hustot (rychlostí) je roven nule:

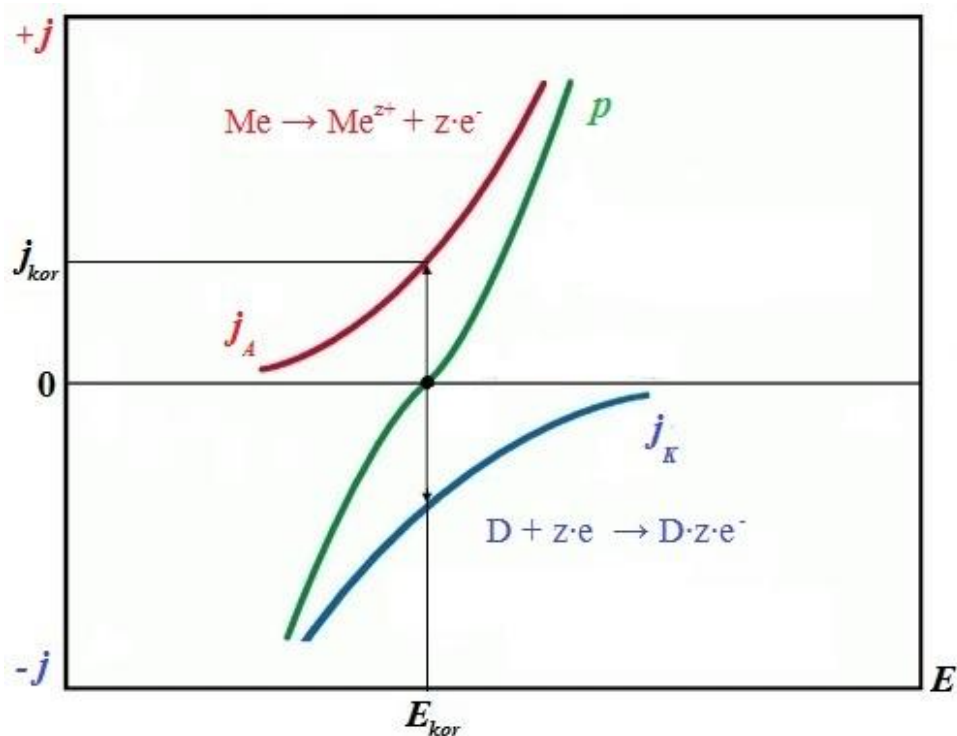
$$j_A + j_K = 0. \quad (16)$$

Potom se potenciál daného systému E vždy samovolně posune na takovou hodnotu, aby se ustavil smíšený, tzv. korozní potenciál E_{kor} , při kterém platí:

$$j_A = -j_K = j_{kor}. \quad (17)$$

Pro výše uvedené provázání obou dějů jsou někdy anodické a katodické děje souhrnně nazývány jako „děje spřažené“.

Grafickým vyjádřením vzájemných vztahů mezi potenciálem elektrody E a rychlostí korozí vyjádřené proudovou hustotou j , je korozní diagram (obr. 4), kde potenciál E je mírou hnací síly a korozní proudová hustota j_{kor} mírou rychlosti korozního procesu.



Obr. 4 Korozní diagram

Červená a modrá křivka vyjadřují rychlost dílčích reakcí, anodické j_A a katodické j_K , a proto jsou nazývány tzv. dílčími polarizačními křivkami. Zelená křivka – $j_A + j_K$, vyjadřuje závislost celkové rychlosti elektrodové reakce $E = f(j)$, nazývaná jako polarizační křivka p . Její matematické vyjádření udává Butlerova-Volmerova rovnice:

$$j = j_0 \cdot \left[\exp\left(-\frac{\alpha \cdot z \cdot F}{2,3 \cdot R \cdot T} \cdot \eta\right) - \left(\frac{(1-\alpha) \cdot z \cdot F}{2,3 \cdot R \cdot T} \cdot \eta\right) \right]. \quad (18)$$

Koroze v prvních dvou až třech letech probíhá rychleji – exponenciálně, a to po dobu tzv. koroze počáteční K_p . Po třech letech se rychlost koroze ustaluje, probíhá pomaleji – lineárně. V tomto druhém období koroze ustálené K_u platí:

$$v_k = M \cdot \tau^m \cdot Z^n, \quad (19)$$

kde je: v_k – korozní rychlost oceli, vyjadřovaná jako rozměrový úbytek koroze [$\mu\text{m}/\text{rok}$], τ – doba ovlhčení, počet hodin v roce, kdy je relativní vlhkost vzduchu $\geq 80\%$ při teplotě vzduchu $> 0^\circ\text{C}$, Z – obsah oxidu siřičitého, vyjádřený na jednotku objemu vzduchu, M , m , n – konstanty.

Doba ovlhčení τ se v atmosférických podmínkách ČR pohybuje v rozmezí 3 800–5 000 h/rok. Znečištění atmosféry oxidem siřičitým charakterizuje směrnici přímky vyjadřující ustálenou korozní rychlost.^{2,6,15}

2.1.3 Dělení koroze podle druhu korozního prostředí

Koroze může probíhat v nejrůznějších prostředích. Jejich nejzákladnější rozdělení je uvedeno v následujícím schématu:

- Koroze v elektricky nevodivém prostředí
 - Oxidující plyny
 - Redukující plyny
 - Nevodivé kapaliny
- Koroze v elektricky vodivém prostředí
 - Roztoky elektrolytů
 - Kyselin
 - Zásad
 - Solí
 - Tavenin
 - Ionizované plyny¹⁶

Z těchto oblastí koroze má pro tuto práci největší význam koroze kovů ve vodných prostředích, a proto bude v následujícím oddíle podrobněji popsána.

2.1.3.1 Koroze ve vodném prostředí

Pod pojem vodné prostředí ve smyslu korozního prostředí zahrnujeme nejen chemicky čistou vodu, ale především nejrůznější slabě koncentrované vodné roztoky s obsahem látek, které se do vody dostávají při jejím koloběhu v přírodě a v průmyslu. Přírodní vody působí nejen agresivně na vodní stavby a lodě, ale jejich agresivita se přenáší i na vody průmyslové, které jsou z nich získávány a také na vodu pitnou.

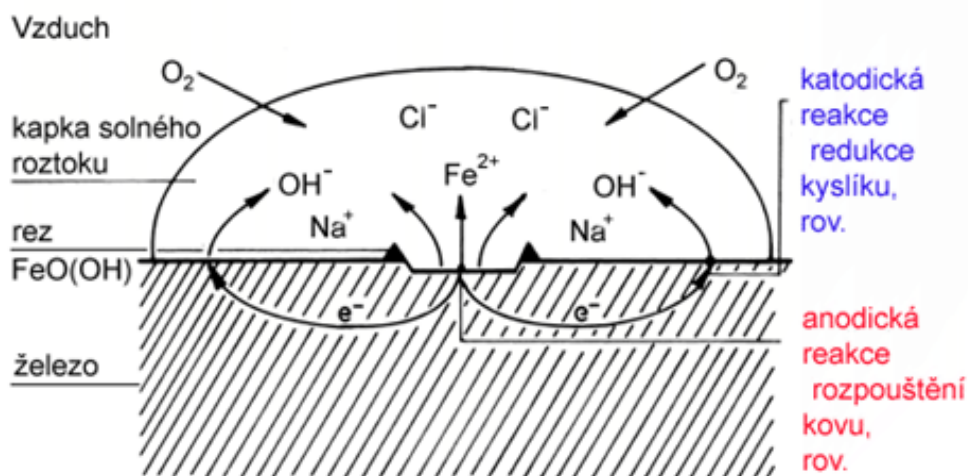
Mezi korozi ve vodném prostředí patří mimo jiné např. koroze půdní, atmosférická a dokonce i koroze v lidském těle. V lidském těle můžeme mnohdy nalézt kovy jako materiály pro náhrady orgánů, kloubů, kostí, ale i zubních výplní, jež jsou vystaveny delšímu působení tělních tekutin. A jelikož jsou tělní tekutiny roztoky s obsahem chloridů, dochází po určité době k jejich degradaci vlivem koroze. U půdy, která je složena jak z pevné, tak i kapalné a plynné fáze, je právě kapalná fáze oním korozním prostředím, které jí dává elektrickou vodivost. A proto i předměty pod povrchem země podléhají korozi. Koroze atmosférická je také jedním z druhů elektrochemické koroze ve vodách, a protože většina kovových výrobků plní svou funkci právě v atmosféře, bude její problematika, i vzhledem k cíli této diplomové práce, důkladněji objasněna.

2.1.3.2 Atmosférická koroze

Tento druh koroze se vyskytuje v největším rozsahu a zapříčiňuje až 80 % všech ztrát způsobených korozi. Korozní děj probíhá pod velmi tenkou vrstvičkou vody na povrchu kovu (obr. 5), nasycenou rozpustnými složkami atmosféry, jako jsou oxid siřičitý, oxid uhelnatý, amoniak, kyselina chlorovodíková, aerosoly aj. Vodní film o tloušťce 50–150 μm se tvoří v důsledku kondenzace vodních par obsažených ve vzduchu a jeho vznik a rozsah je tedy podmíněn klimatickými podmínkami, znečištěním vzduchu, slunečním zářením, větrem, aktivitou povrchového filmu atd.

Klimatickými podmínkami jsou myšleny vlhkost a teplota vzduchu. Při nadkritické relativní vlhkosti dochází ke vzniku dostatečně silného filmu elektrolytu na povrchu kovu (5–10 monovrstev), nutného pro průběh korozních reakcí. Takové podmínky jsou splněny, pokud relativní vlhkost vzduchu překročí kritickou hodnotu 60–80 %. Je-li povrch kovu nerovnoměrný (drsňý a pokrytý prachem a nečistotami), tvoří se vodní film i při nižší relativní vlhkosti s hodnotou 60 %. Pro teplotu platí, že musí být vyšší než 0 °C. Při nízkých teplotách se koroze zastavuje zmrznutím elektrolytu a naopak se vzrůstající teplotou roste i korozní rychlost.

Důležitým parametrem je také doba ovlhčení – doba, po kterou je vlhkost atmosféry nadkritická za teplot, kdy je povrchový elektrolyt kapalný. V našich podmínkách je to 3200–4000 hodin za rok, což je přibližně jedna třetina až jedna polovina celkové doby. Velký význam má i kyslík, který proniká tenkým filmem a účastní se katodické reakce jako depolarizátor a tím urychluje korozi. Po krátké době dojde k jeho spotřebování a depolarizační reakce (redukce kyslíku) probíhá převážně na okrajích kapky, k rozpouštění kovu ale dochází nejvíce ve střední části kapky.



Obr. 5 Schematické znázornění dějů probíhajících pod kapkou vody obsahující stopy soli na povrchu železa

Míra atmosférického napadení se výrazně mění mezi různými oblastmi atmosférických prostředí:

- Venkovské – nejnižší korozní agresivita, neobsahuje žádné znečišťující látky, ale organické či anorganické jemné pevné nebo kapalné částice. Hlavní složky způsobující korozi jsou vlhkost, kyslík a oxid uhličitý.
- Městské – podobné venkovskému typu. Je zde nízká průmyslová aktivita, obsahuje tedy znečišťující látky typu SO_x a NO_x, produkované vozidly a domácnostmi.
- Průmyslové – atmosféra je spojená s velkými průmyslovými výrobními komplexy a může obsahovat značné koncentrace oxidu siřičitého, chloridů, fosfátů a nitrátů.
- Mořské – typické pro tento druh prostředí jsou jemné, větrem roznášené chloridové částice, které se mohou usazovat na povrchu. Mořská atmosféra je vysoce korozivní a míra koroze je významně spjatá se směrem a rychlostí větru a vzdáleností od pobřeží. Ekvivalentní atmosféra je vytvářena solením silnic v mnoha oblastech s chladným podnebím.

Podle normy ČSN ISO 9223 klasifikujeme atmosféru podle korozní agresivity do pěti stupňů (tabulka 3).¹⁷

Tabulka 3 Stupně korozní agresivity atmosféry

Stupeň korozní agresivity	Příklad typického venkovního prostředí	Příklad typického vnitřního prostředí
C1 Velmi nízká		Vytápěné budovy s čistou atmosférou (kanceláře, školy, obchody, hotely)
C2 Nízká	Venkovské prostředí	Nevytápěné budovy, kde dochází ke kondenzaci (sklady, sportovní haly)
C3 Střední	Městské průmyslové atmosféry s mírným znečištěním SO ₂ ; přímořské prostředí s nízkou salinitou	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší (výrobní potravin, pivovary, mlékárny)
C4 Vysoká	Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s nízkou salinitou	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží
C5 – I Velmi vysoká průmyslová	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší
C5 – M Velmi vysoká přímořská	Přimořské prostředí s vysokou salinitou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší

V důsledku změny ročních období se pak agresivita jednotlivých atmosfér může měnit, zejména v zimě a období dešťů, změnou teploty a vlhkosti.^{18,19,20}

2.1.4 Dělení koroze podle druhu korozního napadení

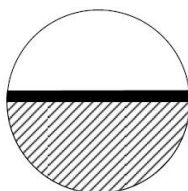
Korozi podléhají nejen kovy a jejich slitiny, ale také nekovové materiály, jako jsou např. keramické nebo silikátové anorganické látky (sklo, beton), organické látky (guma, plasty) a další materiály. Poškození materiálů korozi se může projevit změnou jeho vzhledu, úbytkem hmotnosti, tvorbou korozních produktů, úplným rozpadem materiálu, nebo jeho změnami, které nejsou sice tak zjevné (např. ztráta pevnosti, tažnosti, vznik mikrotrhlin), ale projeví se za delší dobu. Výběr možných druhů korozního napadení je uveden v následujícím textu.

2.1.4.1 Rovnoměrná koroze

Koroze probíhající téměř stejnou rychlostí na celém povrchu, který je ve styku s korozním prostředím. Projevuje se *hmotnostním úbytkem* korodujícího kovu Δm_s , který se vztahuje na jednotku plochy [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ za čas]:

$$\Delta m_s = \frac{m_0 - m_k}{S}, \quad (20)$$

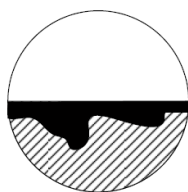
kde je: m_0 – hmotnost kovu před korozní interakcí, m_k – hmotnost kovu po ukončení korozní interakce a odstranění korozních produktů, S – plocha povrchu korodujícího kovu.



Obr. 6 Rovnoměrná koroze

2.1.4.2 Nerovnoměrná koroze

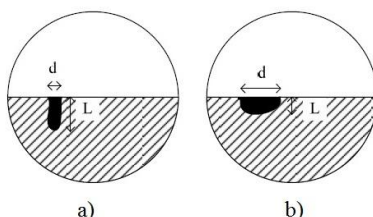
Soustředěná především na jednotlivých oddělených místech kovového povrchu, který je vystaven koroznímu prostředí.



Obr. 7 Nerovnoměrná koroze

Bodová, důlková koroze

Příčinou vzniku je lokální zvýšení korozní aktivity kovového povrchu, tvořící epicentra korozního procesu. Napadána je pouze malá část povrchu, ale proniká do větší hloubky. Konečným výsledkem je proděravění materiálu. Důlková koroze ($d > L$) je zvláštním druhem bodové koroze ($d < L$).



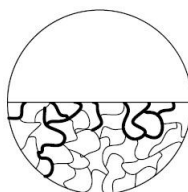
Obr. 8 a) Bodová koroze b) Důlková koroze

Štěrbinová koroze

Vzniká v případech, kdy je mezi plochami dvou kovů úzká štěrbina, jež je příčinou nerovnoměrného provzdušnění a vzniku korozního napadení.

2.1.4.3 Mezikrystalová koroze

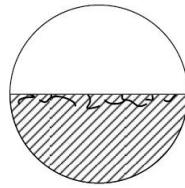
Vyskytuje se u výrobků, u nichž došlo tepelným ovlivněním ke změnám struktury zrn. Probíhá podél rozhraní zrn do značné hloubky, čímž porušuje soudržnost a dochází ke ztrátě mechanických vlastností, především pevnosti.



Obr. 9 Mezikrystalová koroze

2.1.4.4 Nitková koroze

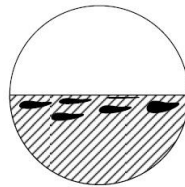
Vzniká pod ochrannými, hlavně organickými povlaky. Neproniká do hloubky kovu, ale sleduje jeho povrch. Příčinou je proniknutí koroze ke kovu ojedinělým pórem povlaku.



Obr. 10 Nitková koroze

2.1.4.5 Podpovrchová koroze

Metalograficky zjistitelná koroze na kolmém řezu povrchu, porušení vnitřní části kovu je rozsáhlejší než porušení na povrchu.



Obr. 11 Podpovrchová koroze

2.1.4.6 Další formy

Puchýřování

Proces, jehož výsledkem jsou viditelné vypouklé vady na povrchu předmětu, které vznikly místní ztrátou soudržnosti povrchu. Může se vyskytnout např. na kovu s povlakem, kdy ztrátu přilnavosti povlaku k podkladu způsobuje nahromadění produktů vzniklých korozi.

Odlupování

Oddělení a odtržení části povrchové vrstvy.

Barevné změny a ztráta lesku

Vlivem působení vzniklé tenké vrstvy korozních produktů dochází ke ztrátě lesku, vzniku skvrn, nebo změnám barevných odstínů všech druhů materiálů.^{9,14,18}

2.1.5 Vliv činitelů koroze

Vznik a průběh korozních pochodů ovlivňuje řada korozních činitelů. Jen výjimečně se při reálném korozním procesu uplatňuje vliv pouze jednoho z nich, přitom i jediný působící činitel ovlivňuje často současně několik pochodů nebo stavů. Někdy je obtížné předem správně posoudit, který z činitelů koroze, a který z jeho možných účinků se projeví jako rozhodující pro samotný průběh koroze v daných podmínkách.

Rozhodující činitelé korozního systému, jejichž vliv může být v průběhu korozního procesu konstantní, nebo se může zesilovat anebo zeslabovat, jsou rozděleni do čtyř základních skupin:

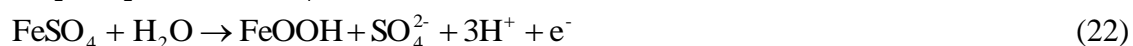
- Činitelé materiálu
- Činitelé konstrukce
- Činitelé prostředí
- Časoví činitelé²

Protože tato diplomová práce zkoumá korozní odolnost ve vodném prostředí, resp. atmosféře s obsahem chloridů, je následující část literárního rozboru zaměřena na vliv činitelů (stimulátorů) atmosférické koroze a působení chloridových iontů.

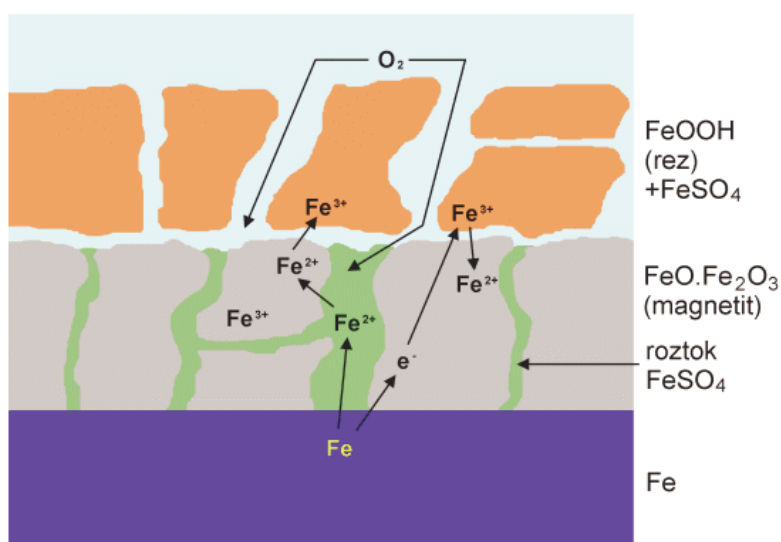
2.1.5.1 Stimulátory atmosférické koroze

Atmosférická koroze je zvláštním druhem koroze ve vodném prostředí, jehož korozní agresivita je ovlivněna obsahem a množstvím několika druhů příměsí – korozních činitelů:

- Kyslík – jak již bylo zmíněno, koroze ve vodách je řízena kyslíkovou depolarizací. Kyslík není jen stimulátor, podporuje také tvorbu ochranných vrstev. Pokud je tedy jeho obsah ve vodě dostatečný, může korozi omezovat.
- Oxid siřičitý – podmiňuje autokatalytické a tedy intenzivní napadení železa



Síranové ionty jsou schopny se, jako produkty reakce (21), znovu vázat na železo a vytvářet síran železitý. Celý cyklus se neustále opakuje, a tak dochází ke vzniku plošně stabilních aglomerací síranu železnatého, označovaných jako „síranová hnízda“, která představují výrazného akcelerujícího korozního činitele.



Obr. 12 Mechanismus atmosférické koroze železa s obsahem SO₂

- Oxidy dusíku NO_x – produkty spalování a prekurzory ozonu, který je prekurzorem vzniku oxidu siřičitého
- Další plyny
- Roztoky solí (ionty) – mění pH roztoku, zvyšují vodivost a ovlivňují tvorbu vrstev na povrchu kovu
- Kyselá vodná prostředí
- Alkalická vodná prostředí
- Pevné částice (saze) – v počátečních stádiích mají významný vliv, jelikož mohou představovat potenciální mikroelektrody, které pak vytváří korozní články
- Organické látky a mikroorganismy
- Relativní vlhkost, teplota, tlak, pH, radiace atd.

2.1.5.2 *Stimulace procesu chloridovými ionty*

Chloridové ionty jsou významné především jako stimulatory koroze železných kovů. Slučují se s kovovými ionty podle reakce (23), čímž omezují tvorbu hydroxidů železa, tvořících stabilní pasivační produkty a stimulují tak korozi, protože s primárními korozními produkty tvoří rozpustné sloučeniny.



Konkurence mezi chloridovými a hydroxidovými ionty na povrchu kovu způsobuje vznik bodové koroze. Hydroxidové ionty vytvářejí pasivní vrstvu a chloridové ji narušují. Fluktuační podmínky pasivace zajišťuje vznik a zánik mikrodůlků. Pokud ale vznikne stabilní důlek, probíhá korozní proces analogicky až k fázím koroze. Jakmile dosáhne koncentrace chloridů při daném pH kritickou hodnotu, pak už složení roztoku neumožňuje stabilní pasivitu.

Mechanismus iniciace spočívá v napadení kovu v místech se slabšími ochrannými vlastnostmi pasivní vrstvy (vměstky, hranice zrn) za přítomnosti některých agresivních iontů v roztoku. Korozní proces je jako u působení oxidu siřičitého autokatalytický. V místě poruchy pasivní vrstvy vzniká důlek, ve kterém migrací vzrůstá koncentrace agresivních iontů a hydrolýzou korozních produktů klesá hodnota pH. Vytváří se plošně stabilní aglomerace chloridu železitého, označované jako „chloridová hnízda“, která představují výrazného akcelerujícího korozního činitele. Vzniklý důlek se dále šíří, a malá velikost ústí důlku nedovoluje výměnu roztoku uvnitř. Lokalizace napadení je dána tím, že aktivně korodující vnitřek důlku je obětovanou anodou pro ostatní vnější pasivní povrch. Vznik a šíření bodové koroze jsou usnadněny zvýšenou koncentrací agresivního iontu, přítomností oxidujících látek, zvýšenou teplotou a nízkým pH.^{2,12,18}

2.2 **Ochrana proti korozi**

V předchozí kapitole byly uvedeny základní poznatky o korozních procesech, zejména o termodynamických možnostech jejich vzniku, jejich mechanismech a kinetice. Aplikacemi těchto poznatků lze vhodnými způsoby zabránit vzniku jednotlivých forem poškozování povrchu materiálů působením okolního prostředí, nebo je zpomalit. Hlavním úkolem ochrany proti korozi je tedy eliminovat nebo významně snížit pravděpodobnost tohoto znehodnocování povrchu materiálů. Vzhledem k různým podmínkám, kterým jsou konstrukční materiály vystaveny, však nelze použít jednotného, univerzálního systému ochrany a je nutno volit případ od případu podle charakteru kovu a podmínek jeho namáhání nejúčelnější způsob ochrany. Při návrhu je velmi důležitá vzájemná kombinace jednotlivých způsobů protikorozní ochrany, stejně jako zvážení ekonomického a ekologického hlediska.²¹

2.2.1 **Metody ochrany proti korozi**

2.2.1.1 *Volba materiálu*

Vzhledem ke skutečnosti, že různé kovové materiály za stejných korozních podmínek korodují různou rychlostí nebo různými morfologickými formami, je možné jako základní možnost zvládnutí koroze označit volbu vhodného konstrukčního materiálu. Konstruktor si musí dopředu promyslet, v jakém prostředí a jak dlouho se bude nacházet daný materiál, k jakým účelům bude sloužit, jaké problémy mohou nastat, a podle toho pak volit ideální materiál. Pro správnou volbu vhodného materiálu je možné využít mnoha databází v korozních sbornících, kde jsou informace o korozním chování materiálů v různých korozních prostředích, tj. o korozní rychlosti materiálu v závislosti na koncentraci a teplotě média.

2.2.1.2 Úprava korozního prostředí

Agresivitu korozního prostředí lze snížit třemi základními vzájemně kombinovatelnými a souvisejícími způsoby:

- Odstraněním složek, které jsou hlavní příčinou korozního napadení – destimulací
- Změnou fyzikálních parametrů prostředí – teplota
- Přídavkem látek, které brzdí korozní proces – inhibicí

Inhibitory výrazně zpomalují korozi svými oxidačními vlastnostmi, vytvářením pasivní nebo nerozpustné vrstvy na povrchu kovu zplodinami, retardují jakýkoliv průběh koroze nebo přilnou na povrch materiálu a následně zabraňují korozi.

2.2.1.3 Úprava konstrukce a výrobní technologie

Je-li z analýzy systému kov–prostředí–korozní podmínky zřejmé, že korozní rozrušení kovu úzce souvisí s některými specifickými rysy zařízení, jež jsou dány jeho konstrukcí nebo technologií výroby, je možný zásah do korozního děje právě pomocí ovlivnění konstrukce a výrobní technologie daného zařízení. Vhodné konstrukční řešení může omezit nebezpečí korozního napadení a také přispět ke kvalitnější povrchové úpravě. Např. nosné konstrukce a nádrže se mají řešit tak, aby nevznikala místa či štěrbin, ve kterých by se zadržovala srážková voda nebo agresivní kapaliny a v zařízeních, ve kterých proudí kapalina, je zase ideální volit takové tvary, které nevedou k turbulencím, tj. prudkým změnám směru a taková místa, která se nebudou přehřívat nebo kde nedojde ke stagnaci.

2.2.1.4 Elektrochemická ochrana

Při této ochraně je ovlivňována hodnota elektrodového potenciálu, která má rozhodující význam v korozním procesu. Podle směru polarizace, tj. posunu potenciálu od jeho původní hodnoty, se rozlišuje katodická a anodická ochrana.

Katodickou ochranou se potenciál kovu posouvá záporným směrem. Dochází tedy postupně ke snižování hodnoty proudové hustoty tak, aby rychlost koroze klesla pod technicky významnou resp. přijatelnou hodnotu, a to buď přímým potlačením anodového rozpuštění, nebo nepřímou pasivací (alkalizací roztoku a odstraněním chloridů při povrchu chráněného kovu). Používá se na ochranu venkovních povrchů zařízení uložených v zemi nebo ve vodě – plynovody, ropovody, lodě atd. Při anodické ochraně se posouvá potenciál kovu kladným směrem do oblasti pasivity, používá se převážně na ochranu vnitřních povrchů zařízení v některých chemických výrobcích, např. antikorozi chladiče kyseliny sírové, prostředí kyseliny fosforečné, zásobní nádrže atd.

2.2.1.5 Ochranné povlaky

Nejrozsáhlejší skupinou metod protikorozi ochrany je vytváření různých typů ochranných povlaků nejrozmanitějšími postupy. Je nutné si uvědomit, že z hlediska korozní odolnosti jsou pro jednotlivé kovy rozhodující vlastnosti jejich povrchu, což umožňuje nahradit drahé konstrukční materiály s vysokou korozní odolností vhodnými povlaky.

Vzhledem k zadání diplomové práce bude ochranným povlakům věnována pozornost ještě později.

2.2.1.6 Kombinace metod ochrany proti korozi

Pro mnohé korozní systémy je výhodné kombinovat dvě nebo více metod protikorozi ochrany. V technické praxi jsou kombinované protikorozi ochrany zcela běžné. Nutná je především kombinace metody ochrany volbou vhodného materiálu a ochranným povlakem. Důvody této kombinace často vyplývají z obtížnosti vytvořit pro některé součásti vhodné ochranné vrstvy z důvodů rozměru, tvaru atd. Je nutné brát také v potaz skutečnost, že nevhodným konstrukčním řešením by mohlo dojít k znehodnocení korozní odolnosti materiálu a nevhodnými kombinacemi materiálů je také možné zcela znehodnotit jinak vysoce odolné kovy anebo ochranné povlaky.^{9,19,22}

2.2.2 Povrchové předúpravy materiálů

Důležitou roli při tvorbě povlaků hraje příprava materiálů před vlastní aplikací povlaků, která obsahuje zejména zajištění čistoty povrchu a pokud je povrchová úprava konečnou operací na výrobku, je důležité zajištění požadovaného vzhledu výrobku. Technologie, které se používají při přípravě povrchů a slouží k dosažení dostačující celistvosti, přilnavosti, tloušťky povlaku a nakonec i požadovaného vzhledu se dělí do tří základních skupin:

2.2.2.1 Mechanické předúpravy povrchu materiálů

Hlavní snahou mechanických předúprav povrchu materiálů je získání požadované jakosti povrchu – drsnosti, která se dosahuje úpravou mikrogeometrie těmito technologiemi:

Tryskání

Opracování povrchu výrobku proudem tryskajícího prostředku, který je vrhán určitou rychlostí vzduchu na povrch výrobku. Jako materiál pro tryskání se používá křemičitý písek, ocelové broky, drtě z ovocných pecek, plasty, sklo, struska apod.

Broušení

Odstranění nepravidelností povrchu pomocí plstěných rotačních kotoučů, na jejichž obvodu je nalepeno brusivo s rozdílnou zrnitostí.

Kartáčování

Odstranění hrubé nečistoty z povrchu a snížení drsnosti povrchu po broušení pomocí rotačních kartáčů z přírodních i umělých vláken s nanesenými brusnými pastami s obsahem brusiva.

Leštění

Odstranění nejjemnějších stop po předchozích operacích pomocí různě tvarovaných rotačních kotoučů z různých textilních či plastových materiálů s nanesenými lešticími tukovými pastami.

Omílání

Vyhazení povrchu drobných a malých kovových součástí prováděné hromadným způsobem v omílacích zařízeních pomocí různých typů a tvarů omílacích tělísek.

2.2.2.2 Chemické a elektrochemické předúpravy povrchu materiálů

Tyto předúpravy povrchu materiálů se dají popsat jako chemické a fyzikální reakce, které vzniknou při působení chemického činidla mezi povrchem materiálu, který je znečištěn a působícím chemickým činidlem. Cílem těchto předúprav je, stejně jako u mechanických předúprav, dosažení požadované jakosti povrchu, která je potřebná ke zhotovení daného povlaku. Patří sem tyto procesy:

Odmašťování

Odstranění mastnoty, prachových částic, solí a jiných chemických látek, zbytků po tryskání, kovových částic a vody z povrchu výrobku. Nečistoty jsou vázány fyzikální absorpcí a adhezními silami.

Moření

Odstranění chemicky vázaných nečistot – rez, okuje, oxidové vrstvy z povrchu výrobku pomocí minerálních kyselin (k. sírová, solná, fosforečná, fluorovodíková) nebo zásad. Při tomto procesu dochází k rozpouštění kovu, oxidy se převedou na rozpustné soli a vzniká vodík. Vzniklé soli se z povrchu opláchnou vodou, ale atomární vodík vniká do krystalické mřížky mořeného materiálu.

Odrezování

Zvláštní druh moření, při kterém se z povrchu výrobku odstraňuje pouze rez vzniklá působením atmosférické koroze.

Po těchto procesech je povrch velice náchylný k vytvoření koroze, a proto by měly následovat další operace, jimiž bývají především neutralizační oplach a pasivace povrchu.^{23,24}

2.2.3 Povrchové úpravy materiálů

Jako finální operace zpracování kovových materiálů jsou zařazovány povrchové úpravy. Jde o všechny druhy úprav, prováděné na povrchu konstrukčních materiálů za účelem zkvalitnění jejich vlastností – zvýšení korozní odolnosti, dosažení požadovaného vzhledu, zvýšení tvrdosti a přilnavosti povrchu a také korozní odolnosti.

Povrchové úpravy lze rozdělit na základě různých hledisek:

Dělení povrchových úprav podle účelu použití

- Ochranné povlaky – ochrana materiálu proti škodlivým vlivům prostředí (klimatické vlivy)
- Dekorační povlaky – vylepšení vzhledu a estetických vlastností (barevný odstín, lesk)
- Speciální povlaky – zlepšení vlastností (tvrdost povrchu, odolnost proti teplotám aj.)

Dělení povrchových úprav podle funkce

- Izolující nedostatečně odolný podklad od znehodnocujícího prostředí
- Izolující nedostatečně odolný podklad proti mechanickému poškození
- Izolující nedostatečně odolný podklad proti elektrochemickému poškození
- Se specifickou funkcí (protipožární, signalizační)

Dělení povrchových úprav podle materiálové podstaty

- Anorganické povlaky – oxidické, silikátové
- Kovové povlaky – zinkové, chromové
- Slitinové povlaky – nikl-fosfor, zinek-hliník
- Kompozitní povlaky – nikl-kobalt-karbid křemíku
- Organické povlaky – polyuretanové, polysiloxanové
- Smalty (sklovité povlaky)

Dělení povrchových úprav podle technologického postupu

- Chemické
- Elektrochemické
- Aplikované z taveniny
- Plátované, laminační
- Natírané, válečkované atd.
- Speciální (plasmatický nástřik, laser, ...) ¹⁰

2.2.4 Ochranné povlaky

2.2.4.1 Anorganické povlaky

Kovy a slitiny mohou být upravovány vhodnými chemickými roztoky za podmínek umožňujících tvorbu vrstev a povlaků na povrchu s požadovanými vlastnostmi. Tyto konverzní povrchové úpravy je možné vytvořit následujícím výběrem procesů:

Fosfátování

Fosfatizace probíhá působením kyseliny fosforečné na kov (Fe, Zn, Mn), při kterém vznikají primární, sekundární nebo terciární nerozpustné fosforečnany těchto kovů, ve dvojmocné nebo trojmocné formě, chemicky vázané do krystalické mřížky kovu.

Chemická a elektrochemická oxidace

Ponorem do horkých, vysoce alkalických roztoků s obsahem oxidačních látek, se vytváří povlaky na výrobcích z různých kovů a slitin, např. černění (ocel a litiny), chromátování a eloxování (hliník a jeho slitiny), a pasivace (měď, mosaz, stříbro).

Chemické barvení

Interakcí chemické lázně s kovovým povrchem se vytváří, přeměnou kovu na jeho sloučeniny nebo vylučováním sloučenin kovů z roztoku, barevné povrchové vrstvy. Používá se pro dekorativní účely (bižuterii, umělecká řemesla) a v optickém průmyslu (lesklé, pololesklé nebo tmavé povrchy).

Pasivace

Pasivace je samovolná nebo řízená (chemická/elektrochemická) tvorba ochranné vrstvy na povrchu kovu, která snižuje reaktivitu základního kovu a zvyšuje tak jeho odolnost proti korozi a narušení povrchu kovu, např. tmavnutí stříbra, rezivění železa. Pasivační vrstva je velmi slabá, často neviditelná a její ochranná účinnost je omezená, např. pro mezioperační ochranu při přepravě a skladování materiálu před následnou úpravou.

2.2.4.2 Kovové povlaky

Kovové povlaky se nedají považovat za nepřístupnou bariéru, která mechanicky chrání základní kov od korozního prostředí. Hlavní vlastnost povlaku je jeho chování k základnímu (podkladovému) kovu. Podle jejich vzájemného vztahu se povlaky dělí na anodové a katodové.

Anodové povlaky

Povlaky, které přednostně korodují a tak elektrochemicky chrání podklad – „obětovaná anoda“ a posouvají potenciál podkladového kovu do oblasti přijatelné korozní rychlosti. Řadíme sem především zinkové povlaky na oceli a dále např. kadmiové.

Katodové povlaky

Povlaky, které se chovají jako katoda a podkladový kov je tedy „obětovaná anoda“, která koroduje. Mezi katodové povlaky patří např. kovy, které jsou elektrochemicky ušlechtilejší než železo – měď, nikl, olovo, cín, zlato, stříbro, ale i kovy, které se v daném prostředí velmi lehce pasivují jako např. hliník a chrom.

2.2.4.3 Slitinové povlaky

Slitinové povlaky jsou kovové depozity, které vhodnou volbou legujících prvků, optimálním obsahem a způsobem zhotovování, dosahují po nanesení na povrch zcela nových vlastností. Např. slitinové povlaky železo-nikl (Fe-Ni), které se používají v leteckém průmyslu pro rozměrovou stabilitu při změnách teploty.

2.2.4.4 Kompozitní povlaky

Kompozitní povlaky jsou v podstatě klasické povlaky kovů nebo slitin, ve kterých jsou zabudovány jedna nebo více nekovových fází. Příkladem jsou kompozitní povlaky nikl-fosfor-karbid křemíku, používané v leteckém, námořním i automobilovém průmyslu pro vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení.

2.2.4.5 Smalty

Smalt je křemičitý sklovitý povlak, natavovaný na podkladový materiál, s vysokou odolností proti vlivům vnitřního i vnějšího prostředí, včetně vlivů chemických látek. Používá se v klenotnictví a šperkařství, ale také pro užité věci, jako nádobí, sporáky, cedule pro označení ulic aj.¹⁰

Posledním druhem jsou ochranné organické povlaky, které budou podrobněji popsány v následující kapitole.

2.3 Organické povlaky

Nejvýznamnější a nejrozšířenější povrchové úpravy, které se uplatňují ve všech odvětvích průmyslu, jsou právě organické povlaky. Jejich vlastnosti totiž dovolují různým způsobem vytvářet povlaky různé tloušťky a ochranné účinnosti. Podle tloušťky povlaku pak mohou být tyto ochrany děleny na obklady deskami z plastu a pryží, vrstvy tmelu a stěrkových hmot, povlaky z plastu a pryží, nátěry a vrstvy olejů, vazelin a vosku. Mezi nejpoužívanější z uvedených druhů organických ochranných povlaků patří především organické nátěry.

Organické povlaky se zhotovují, podle typu podkladu a účelu použití, aplikací nátěrových hmot a jejich významných kombinací tvořících nátěrové systémy.

Nátěrová hmota (barva) je chemická směs, jejíž hlavní součástí je filmotvorná látka, která po nanesení v tekuté, těstovité nebo práškové tenké vrstvě na podkladu tvoří pevný, souvislý a přilnavý povlak.

2.3.1 Složení nátěrových hmot (NH)

Každá NH je složena z několika hlavních složek, jejichž poměr je velmi důležitý, protože ovlivňuje mnoho vlastností budoucího povlaku:

Pojiva

Suspenze filmotvorné látky a pigmentu

Pojidla

Roztoky nebo disperze pojiva a rozpouštědla

Filmotvorné složky

- Vysychavé oleje – tuhnou polymerací a pohlcováním vzdušného kyslíku. Na této vlastnosti je založena výroba fermežových, olejových aj. NH. Např. mandlový a řepkový olej.
- Polovysychavé oleje – zasychají pomaleji, vzniklý nátěr je elastický a neprotvrdá, např. slunečnicový a makový olej
- Nevysychavé oleje – zůstávají stále lepivé, např. olivový olej
- Přírodní pryskyřice – využití v lakařské výrobě a pro výrobu některých typů lihových, olejových a nitorcelulozových NH, např. kalafuna
- Syntetické pryskyřice – hlavní složka většiny NH (alkydové, epoxidové aj.).
- Asfalty a smoly – svařují se s vysychavými oleji a používají pro přípravu asfaltových, epoxidehtových a jiných typů NH
- Zvláčňovadla – dávají nátěrovým filmům vyšší vláčnost, snižují křehkost a sklon k tvoření trhlin
- Sušidla – urychlují zasychání NH, např. pryskyřičná mýdla

Těkavé složky

- Rozpouštědla – organické kapaliny používané k rozpouštění filmotvorných látek
 - Pravá – rozpouštějí přímo filmotvornou látku
 - Nepravá – rozpouštějí filmotvornou látku ve směsi s pravým rozpouštědlem a upravují rychlost vytékání při zasychání nátěru
- Ředidla – ředí NH před jejich použitím podle druhu jejich aplikace

Pigmenty

Barevné prášky, dávající nátěru požadovaný barevný odstín, krycí schopnost, odolnost proti korozi apod. Nejsou rozpustné ve vodě, organických rozpouštědlech a pojidlech, v nichž jsou dispergovány. Musí být dokonalé jemné s vysokou kryvostí a odolností proti UV záření.

- Anorganické – oxidy či sulfidy kovů
- Organické – z těl rostlin a živočichů
- Kovové – jemně rozemleté kovy

Plnidla

Nerozpustné práškovité přísady, které dávají NH další funkční a technologické vlastnosti. Musí být velmi jemné a dobře dispergované v pojidle. Zvyšují obsah sušiny, zlepšují odolnost proti korozi, usazování a hoření. Patří sem křída, kaolin, mastek, živec, vápenec apod.

Barviva

Organické sloučeniny rozpustné v pojidlech. Používají se k výrobě obarvených laků, které dávají průhledný film pestrých barevných odstínů a k dosažení určitého barevného odstínu barev společně s pigmentem.

Aditiva

Zlepšují vlastnosti NH, např. smáčedla, odpěňovače aj.

2.3.2 Dělení nátěrových hmot (NH)

Podle použitého rozpouštědla

- Rozpouštědlové – směsi organických rozpouštědel
- Vodou ředitelné – NH dispergovatelné ve vodě

Podle obsahu pigmentů a plniv

- Transparentní – směs pojidel bez obsahu plniv, vytvářejí průhledný nátěrový film, který může být bezbarvý nebo obarvený rozpuštěným barvivem a propouští světelné paprsky, např. fermeže a laky.
- Pigmentované – směs pojidel, v nichž jsou jemně dispergovány pigmenty, plnidla, případně další přídatné látky. Po zaschnutí tvoří neprůhledné lesklé až matné vrstvy s různým stupněm kryvosti a barevného odstínu. Podle množství obsaženého pigmentu se dělí na tmely, barvy a emaily.

Pigment mění barvu odraženého světla selektivním pohlcováním určitých vlnových délek. Může být anorganický, organický, přírodní i syntetický s velikostí částic 0,2–10 μm. Je nerozpustný v pojivu, zatímco barvivo je buď přímo kapalné, nebo v pojivu rozpustné.

Podle pořadí nanášení jednotlivých nátěrů

- **Savý podklad (dřevo)**
 - Napouštěcí – napouštění savých podkladů (dřevo, zdivo, papír, textil, beton)
 - Vyrovnávací – vyrovnání povrchu podkladu i tmelových vrstev
 - Podkladový – vrchní vrstva pro nátěr
 - Vrchní – poslední vrstva v nátěrových systémech
- **Nesavý podklad (kov)**
 - Základní (primer) – první nátěr napuštěného podkladu, případně první vrstva obnovovacího nátěru
 - Podkladový – vrchní vrstva pro nátěr
 - Vrchní – poslední vrstva v nátěrových systémech

Podle způsobu nanášení

- Štětcem
- Válečkování
- Clonování
- Máčení – polévání
- Navalování
- Elektrochemické nanášení
- Stříkání (pneumatické, vysokotlaké, elektrostatické)

Podle způsobu sušení a vytvrzování

- Na vzduchu schnoucí – zasychají za normálních podmínek okolního prostředí 5–30 °C
- K přisoušení – 60–90 °C
- Vypalovací – vytváří nátěr za zvýšené teploty chemickou reakcí 90–180 °C
- Vytvrzované jinými způsoby – vytváří nátěr vytvrzený zářením (UV)

Podle způsobu zasychání

- Fyzikální pochody – odpařením rozpouštědel nebo ztuhnutím hmoty, která byla před použitím roztavena. Filmotvorná složka se při tvorbě filmu nemění.
- Chemické pochody – oxidace, polymerace, polykondenzace, polyadice apod., z nízkomolekulárních látek se stávají vysokomolekulární. Patří sem fermeže, bezrozpouštědlové NH aj.
- Fyzikální a chemické pochody – film vzniká odpařením rozpouštědla i chemickou reakcí. Řadí se sem NH epoxidové, polyuretanové aj.

Podle počtu složek

- Jednosložkové (1-K) – nepotřebují k zasychání nebo vytvrzení další složku
- Dvousložkové (2-K) – potřebují k zasychání nebo vytvrzení další složku, která se podle typu NH označuje jako tužidlo, katalyzátor či iniciátor

Podle účelu použití

- Na kovové konstrukce – mosty, stavební konstrukce
- Na dřevo – nábytek, stavebně truhlářské výrobky – okna, dveře apod.
- Na omítky, beton
- Na kůži
- Elektroizolační

Podle odolnosti nátěru

- Vnitřní – vytváření nátěrů v interiérech
- Venkovní – venkovní použití (odolné atmosférickým vlivům)
- Speciální – chemicky odolné nátěry (pro vysoké teploty, odolné abrazi, elektroizolační nebo elektrovedivé, teplosměrné apod.)

Podle stupně dosaženého lesku

- Matné – tmely a základní barvy
- Pololesklé
- Lesklé – vrchní nátěry a emaily

2.3.3 Základní označování nátěrových hmot (NH)

Většina NH je rozdělena podle toho jakého je složení X 0000/0000:

- Písmenné označení
- První číslice za velkým písmenem určuje její zařazení do kategorie
- Lomítko
- Čtyřmístné číslo označující barevný odstín

Podle základní filmotvorné složky

- Asfaltové (A) – ochranné nátěry kovů
- Polyesterové (B) – nábytkářský průmysl
- Celulózoové (C) – rychleschnoucí.
- Práškové (E) – spotřební průmysl
- Chlorkaučukové (H) – odolné proti chemickým vlivům
- Silikonové (K) – odolné vůči vysokým teplotám
- Lihové (L) – moření, lazurování dřeva

- Olejové (O) – fermeže, olejové laky, emaily
- Syntetické (S)
 - Alkydové na vzduchu schnoucí – vnitřní i venkovní nátěry kovů a dřeva
 - Alkydové vypalovací – povrchová úprava automobilů
 - Epoxidové dvousložkové – vysoká tvrdost, odolnost proti mechanickému namáhání
 - Epoxiesterové dvousložkové – nátěry strojních zařízení
 - Kyselinotvrditelné dvousložkové – úprava povrchu nábytku
 - Akrylátové – na vzduchu schnoucí nebo vypalovací
 - Polystyrenové emaily – odolné vůči vodě a vysoké vlhkosti
- Polyuretanové (U) – odolné laky, emaily a pružné tmely
- Vodou ředitelné (V) – disperzní k nátěrům dřeva a stavebních hmot nebo emulzní k nátěrům dřeva a kovů
- Pomocné prostředky (P)

Podle druhu NH

Tabulka 4 Dělení nátěrových hmot podle druhu NH

Kód	Skupina	Definice
1000	Laky Fermeže	Bezbarvé NH různého složení Olejové nátěrové ochranné laky
2000	Barvy Emaily	Pigmentové NH různého složení s vyšším obsahem netěkavých složek, většinou matné Pigmentové NH různého složení s nižším obsahem
3000	Pasty	–
4000	Nástříkové hmoty	–
5000	Tmely	Pastovité hmoty různého složení s vysokým podílem netěkavých složek, k vyrovnávání nerovností podkladu před zhotovením nátěru, většinou matné
6000	Ředidla	Směsi organických rozpouštědel k ředění NH na konzistenci vhodnou pro příslušnou technologii nanášení NH na podklad
7000	Tužidla	Specifické chemické přípravky, nezbytné k chemické reakci probíhající při tvorbě nátěru z dvousložkových hmot
8000	Pomocné přípravky	–

Podle barevného odstínu

Tabulka 5 Dělení nátěrových hmot podle barevného odstínu

Kód	Barevný odstín podle ČSN	Barevný odstín podle RAL
0000–0999	Bezbarvý	–
1000–1999	Šedý (bílý až černý)	Žlutý
2000–2999	Hnědý	Oranžový
3000–3999	Fialový	Červený
4000–4999	Modrý	Fialový
5000–5999	Zelený	Modrý
6000–6999	Žlutý a okrový	Zelený
7000–7999	Oranžový	Šedý
8000–8999	Červený	Hnědý
9000–9999	Ostatní (hlinkový)	Bílý a černý

2.3.4 Základní vlastnosti nátěrové hmoty a zhotoveného nátěru

Tabulka 6 Základní vlastnosti NH a nátěru

Vlastnosti NH	Vlastnosti zhotoveného nátěru
<ul style="list-style-type: none">• Výtoková doba• Netěkavé složky• Hustota• Barevný odstín• Doba zasychání• Roztíratelnost• Kryvost• Ředitelnost• Vydatnost	<ul style="list-style-type: none">• Tloušťka• Přílnavost k podkladu• Přílnavost mezivrstvou• Krycí schopnost• Barevný odstín• Stupeň lesku (matu)• Tvrdost• Ochrana proti prostředí• Speciální ochrana^{10,25,26}

2.4 Nátěrové systémy

V následujícím textu bude uveden výběr nátěrových systémů, které se týkají této diplomové práce, přičemž největší důraz bude kladen na vysvětlení polysiloxanových nátěrových hmot.

2.4.1 Syntetické alkydové nátěrové hmoty

Definice

Alkydové nátěrové hmoty jsou jednou z nejdostupnějších variant nátěrových hmot. Do výroby byly zavedeny po roce 1927 a dodnes nacházejí uplatnění.

Příprava

Alkydové pryskyřice vznikají polykondenzační reakcí vícefunkčních mastných kyselin nebo olejů s vícefunkčními alkoholy. Mezi používané kyseliny patří např. kyselina ftalová nebo benzoová. Z alkoholů jsou to potom např. glycerol a trimethylpropan.

Vlastnosti

Alkydové nátěrové hmoty jsou snášitelné s velkým počtem dalších filmotvorných látek, mají vynikající kryvost, vysoký lesk, velmi dobrou odolnost vůči povětrnosti a velmi rychle zasychají.

Použití

Syntetické alkydové základní barvy jsou určeny k základním nátěrům pro vnitřní i vnější prostředí, zejména pod syntetické a na vzduchu schnoucí nátěrové hmoty.^{27,28}

2.4.2 Syntetické epoxidové nátěrové hmoty

Definice

Epoxidové nátěrové hmoty zpravidla obsahují epoxidovou pryskyřici, což je polymer z tříčlenných cyklů – dvěma atomy uhlíku a jedním atomem kyslíku.

Příprava

Epoxidové pryskyřice se vyrábí polykondenzací vícesytných fenolů s epoxidovou skupinou.

Vlastnosti

Epoxidové povlaky jsou elastické, kompatibilní s anorganickými nátěrovými hmotami s obsahem zinku, extrémně odolné proti odírání, povětrnostním vlivům a působení chemikálií. Vyznačují se také vysokou tvrdostí a přilnavostí na různé druhy podkladů.

Použití

Syntetické epoxidy se používají na výrobu lepidel a epoxidových laků, sloužících jako antikoroziční nátěr kovových konstrukcí, betonu, minerálních podkladů, podlah, plastů, strojů, potrubí, vnějších povrchů nádrží, v papírnách, rafinériích ropy, elektrárnách, chemických provozech a čistírnách odpadních vod. Chrání také námořní objekty – paluby, trupy a horní konstrukce lodí, remorkérů, pracovních člunů, mol, plošin pro těžbu na moři apod.^{29,30}

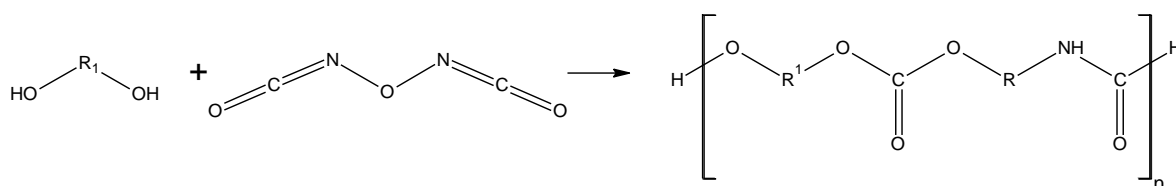
2.4.3 Polyuretanové nátěrové hmoty

Definice

Polyuretanové nátěrové hmoty (PUR) jsou rozpouštědlem nebo vodou ředitelné nátěrové hmoty, zpracovávají se jako dvousložkové nebo jednosložkové. Dochází u nich k reakci mezi poživem a izokyanátovou pryskyřicí pomocí tužidla nebo u jednosložkových dochází k vytvrzení vzdušnou vlhkostí.

Příprava

Při přípravě polyuretanů se vychází z polyadiční reakce vícefunkčních izokyanátů s polyalkoholy, kde je izokyanátová a hydroxylová skupina vázána uretanovou vazbou dle následujícího schématu:



Obr. 13 Mechanismus přípravy polyuretanu

Vlastnosti

PUR povlaky jsou známy pro jejich trvalý vysoký lesk, výborné mechanické vlastnosti jako vysoká pružnost a houževnatost. Jsou mimořádně odolné proti otěru, působení chemikálií a vysokých teplot a mají vynikající stálost barevného odstínu a lesku při působení klimatických vlivů a UV záření.

Použití

Polyuretany se využívají při výrobě lepidel jako izolační tvrdé pěny, izolační desky střech, podlah a stropů, textilní vlákna sportovních oděvů, k rámování autoskel, na výrobu koleček skateboardu aj. Jako nátěrové systémy jsou používány především v oblasti ochrany střech, betonových ploch, dřevěných konstrukcí a železných konstrukcí jako jsou chemické provozy, rafinerie ropy, námořní plošiny, trupy lodí, dopravní prostředky, letadla atd.^{31,32,33,34}

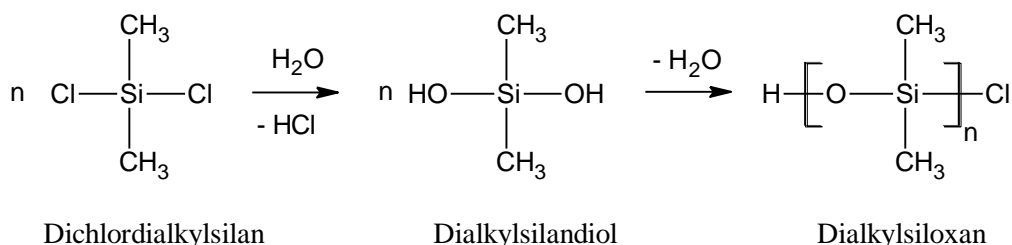
2.4.4 Polysiloxanové nátěrové hmoty

Definice

Anorganicko-organické polymery s obecným vzorcem $[R_2SiO]_n$. Kostra je tvořena sítí střídajících se atomů kyslíku a křemíku, na který je připojen organický substituent (R). Substituent může být např. malá skupina jako metyl či alkyl, cyklická skupina jako fenyl nebo nenasycená skupina jako vinyl. Struktura silikonů se může lišit délkou řetězce, bočními skupinami a stupněm síťování.

Příprava

Výchozími surovinami pro syntézu polysiloxanů jsou alkyl nebo arylchlorsilany. Jejich hydrolyzou vznikají velmi reaktivní, neizolovatelné, nestabilní hydroxysilany – silanoly, které rychle kondenzují za odštěpení vody a vzniku polysiloxanu (obr. 14). V závislosti na chemické struktuře výchozích silanů, mohou jejich hydrolyzou vznikat mono až trojfunkční silanoly. V případě dvojfunkčních monomerů vznikají polykondenzací lineární makromolekuly.



Obr. 14 Mechanismus přípravy polysiloxanu

Vlastnosti vzniklého polymeru závisí na jeho molekulové hmotnosti a stupni zesíťování. Polysiloxany vzniklé polykondenzací v kyselém prostředí mají nižší molekulovou hmotnost a jsou známy jako silikonové oleje – směs lineárních a cyklických oligomerů o různé velikosti. Naopak polysiloxany vzniklé polykondenzací v zásaditém prostředí mají vyšší molekulovou hmotnost a jsou lineární. Polysiloxany s vysokou molekulovou hmotností vznikají polykondenzací cyklických siloxanů.

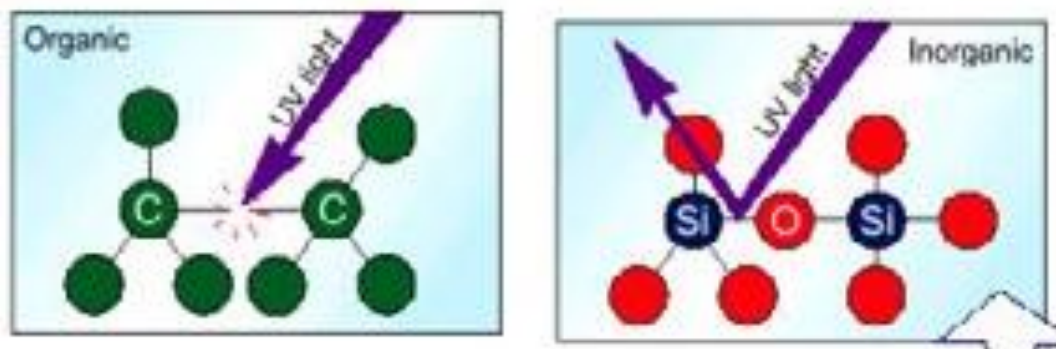
Vlastnosti

Polysiloxany jsou známy pro jejich flexibilitu, permeabilitu (propustnost) pro plyny, nízkou teplotu skelného přechodu, nízkou povrchovou energii a dlouhodobou tepelnou odolnost. Jsou také poměrně inertní vůči živým organismům a odpuzují vodu.

Navíc k jejich excelentní odolnosti UV záření, radiaci, vysoké teplotě, oxidaci a korozi, mají neodmyslitelně nízkou viskozitu a dobrou adhezi. Organicky modifikované hybridní polysiloxany mají lepší ohnivzdornost a tvoří podstatně méně kouře a toxických výparů než organické povlaky.

Srovnání

Polysiloxany jsou považovány za hybridní polymery, protože mají vlastnosti organických i anorganických materiálů. Jak již víme, jsou tvořeny opakující se anorganickou vazbou Si-O, jejíž síla je 108 kcal/mol. Tato hodnota je tedy vyšší než pro organickou vazbu C-C, 83 kcal/mol, která je v klasických organických NH. Vyšší energie, potřebná k rozštěpení Si-O vazby, poskytuje polysiloxanovým povlakům větší stabilitu a vyšší odolnost proti klimatickým vlivům.



Obr. 15 Odolnost organické a anorganické vazby

Atomy křemíku v hlavním řetězci polysiloxanu jsou z 50–70 % oxidovány, tj. každý atom Si je vázán na dva nebo tři atomy kyslíku. Takže oxidační degradace, která ovlivňuje C-C vazby, přítomné v organickém polymeru nemůže nastat v již oxidovaném Si-O polysiloxanovém polymerním řetězci. Odolnost polysiloxanů k napadení atmosférickým kyslíkem a oxidujícími chemikáliemi je tedy lepší. Velké organické substituenty připojené k atomu Si, chrání Si-O-R vazby před hydrolyzou přes sterickou zábranu. Ve stejném čase, kladně nabitě atomy Si polarizují organické substituenty k nim připojené, čímž převedou organické substituenty na méně náchylné útoku.

Použití

Polysiloxany se díky svým vlastnostem používají jako tmely, kaučuky pro výrobu pružných forem, elektroizolační pasty a oleje, čisticí a leštící spreje, odpěňovače, impregnace stanů a bund, a také se z nich vyrábí např. ploutve a hračky.

Ve formě nátěrových hmot se pak pro svou odolnost klimatickým vlivům používají v kombinaci se zinkovým základním nátěrem k ochraně povrchu konstrukcí letišť, sportovních stadionů, mostů, ropných plošin, jeřábů, turbín a skladovacích nádrží pro ropné látky, alkoholy, pitnou vodu apod.

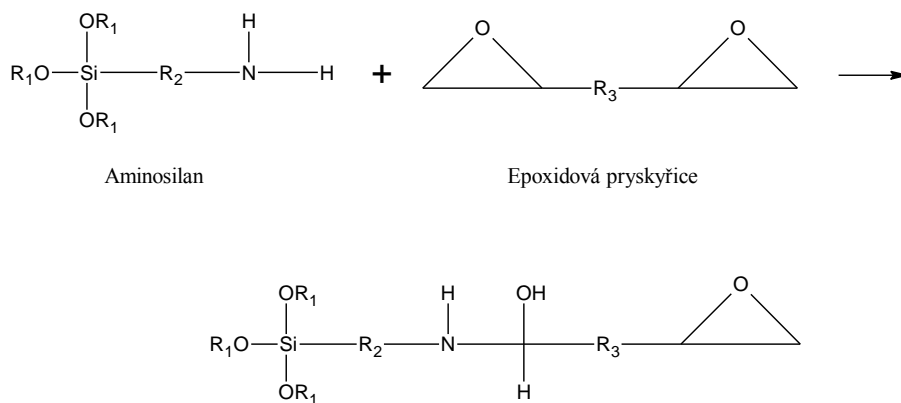
Modifikace polysiloxanů

Pro docílení vyšší úrovně specifických znaků povlaku jako je pružnost nátěru, kryvost hran, snadnost aplikace a konečný vzhled natíraného objektu je možné základní polysiloxanové vazby vhodně modifikovat pomocí malého množství organického polymeru.

Anorganická polysiloxanová pryskyřice se reakcí s organickým substituentem stává buď epoxidovou, nebo akrylovou podle rovnováhy a optimalizace vlastností jako adhezní a kohezní síla.

- **Epoxidová modifikace**

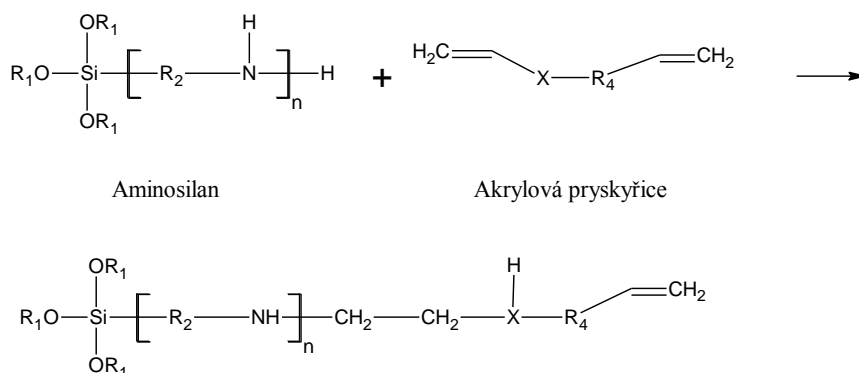
Reakce společná pro oba typy reakcí je polykondenzace silanolu. Druhá reakce pro epoxidové polysiloxany je mezi epoxidovou pryskyřicí a amino-skupinami za vzniku epoxidové polysiloxanové pryskyřice.



Obr. 16 Mechanismus přípravy epoxidové modifikace polysiloxanu

- **Akrylová modifikace**

U akrylového polysiloxanu je epoxidová pryskyřice nahrazena nenasycenou akrylovou pryskyřicí, která reaguje s aminem přes Michaelovu adiční reakci:



Obr. 17 Mechanismus přípravy akrylové modifikace polysiloxanu

Mezi akrylovými a epoxidovými polysiloxanovými povlaky je mnoho podobných rysů, jako vynikající klimatická výkonnost, vysoký obsah pevných částic (nízké VOC), rychle vytvrzovací vlastnosti, relativně dlouhá doba zpracovatelnosti a nulový obsah izokyanátů. Jsou zde také důležité rozdíly, do určité míry specifické, související s přítomností epoxidové nebo akrylové modifikace. Epoxidové polysiloxanové povlaky jsou všeobecně hodnoceny výhodněji, pokud jde o nižší obsah VOC, lepší odolnost expozici ponorem ve vodě a rychlejší vytvrzování. Akrylové polysiloxanové povlaky jsou zase odolnější klimatickému působení.^{5,35,36,37,38,39}

2.4.5 Nátěrové hmoty s obsahem zinku

V těžkém korozním prostředí, se často používají nátěrové systémy, kde základní ochrannou vrstvu tvoří antikoroziční nátěry s vysokým obsahem zinkového prachu, který zajišťuje kontakt mezi částicemi zinkového prachu a ocelovým povrchem.

V organických zinkových základních nátěrech jsou kulovité částice zinku umístěny tak těsně vedle sebe, že se téměř dotýkají jedna druhé nebo ocelového podkladu, který má být chráněn. Zinek tedy plní funkci „obětované anody“ a korozní odolnost je závislá na průchodu galvanického proudu.

Kovový zinek reaguje se složkami atmosféry (kyslík, voda, oxidem uhličitý aj.) za vzniku korozních produktů (oxid zinečnatý, hydroxid zinečnatý a uhličitan zinečnatý), které mají schopnost dokonale utěsnit všechny póry v nátěru. Vzniká velmi tvrdá, kompaktní, bariérová vrstva s velkou adhezí a výtečnou odolností k běžným atmosférickým vlivům. Pokud je nátěr s vysokým obsahem zinku

poškozený až k ocelovému podkladu, zbývající kovový zinek se stává opět aktivním a chrání svým elektrochemickým potenciálem tento podklad před korozí.

V průmyslové atmosféře vznikají působením agresivních nečistot převážně rozpustné zinečnaté soli, které jsou postupně kyselými dešti vyplavovány, a dále je obnažován kovový zinek přítomný v nátěru. Proces katodické ochrany se obnovuje do doby spotřebování kovového zinku. Ochranná funkce nátěru je tedy závislá na tloušťce povlaku a na korozní agresivitě prostředí.

Antikorozi vlastnosti byly testovány různými metodami a nejlepších výsledků dosahovaly nátěry na bázi epoxidových pryskyřic s vysokým obsahem zinku.⁴⁰

2.4.6 Vysokosušinné nátěrové hmoty

V oblasti organických povlaků není přesně definováno, jaký průměrný obsah sušiny by měly vysokosušinné nátěrové hmoty obsahovat. Vzhledem k tomu, že tento termín – vysokosušinné („high solids“) nátěrové hmoty je používán z obchodních důvodů, v různých oblastech použití se lze setkat s rozdílnými obsahy sušiny v těchto nátěrových hmotách. Jde o rozmezí 65 až 80 % obj. sušiny. Základní zinkové nátěry kombinované s vysokosušinným epoxidovým nátěrem a vrchním polyuretanovým povlakem, byly dlouhodobě příkladem povlaků s vysokou ochrannou účinností.

V posledních letech ale byly vyvinuty hybridní epoxidové polysiloxanové materiály, které mají objemovou sušinu až 94 % a poskytují tak povlaky s vynikající ochrannou účinností.⁴¹

2.5 Korozní zkoušky

2.5.1 Zkoušky v klimatizační zkušební komoře (solná komora)

Jde o laboratorní zkoušky prováděné ve vzdušném prostředí za přítomnosti činitelů zesilujících korozí kovových materiálů a slitin s trvalou nebo dočasnou protikorozi ochranou i bez ochrany. Snaží se reprodukovat korozní vlivy v provozních podmínkách. Vzorek je tedy neustále vystaven solné mlhovině a vyšší teplotě, čímž jsou vytvářeny zesílené účinky koroze. To umožňuje provádět při definovaných podmínkách zrychlené, reprodukovatelné zkoušky korozivních reakcí různých zkušebních vzorků.

Zkoušky jsou vhodné pro ověření funkčnosti protikorozi ochrany – rychlé zjištění defektů povlaků (nespojivosti, pórů atd.) a také pro kontrolu kvality při porovnání vzorků se stejným povlakem.

V rámci této práce byla používána klimatizační zkušební komora typu SC 450 od firmy WEISS.

Tabulka 7 Technická data klimatizační zkušební komory

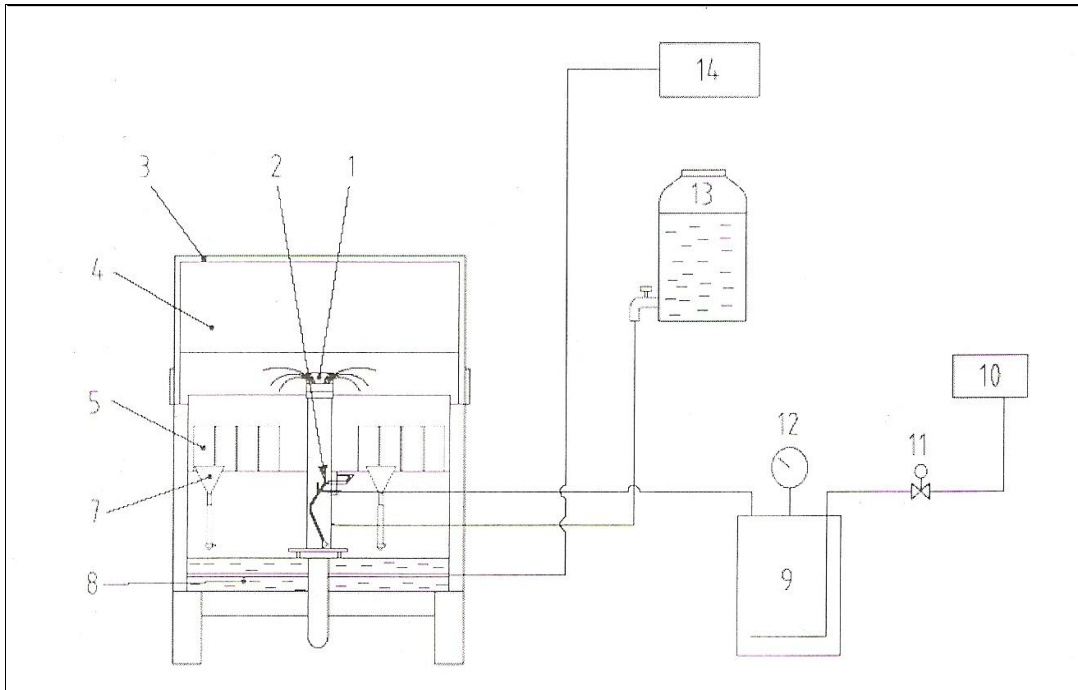
	Vnější rozměry [mm]						Objem [dm ³]		Hmotnost [kg]	
	Zkušební prostor			Vnější rozměry			Zkušební prostor	Nádoba solanky	Zkušební komora	Solanka
	Výška	Šířka	Hloubka	Výška	Šířka	Hloubka				
Bez krytu	740	850	570	920	1930	800	450	180	140	180
S krytem	1190			1370						

Zkušební komora je tvořena dvěma moduly:

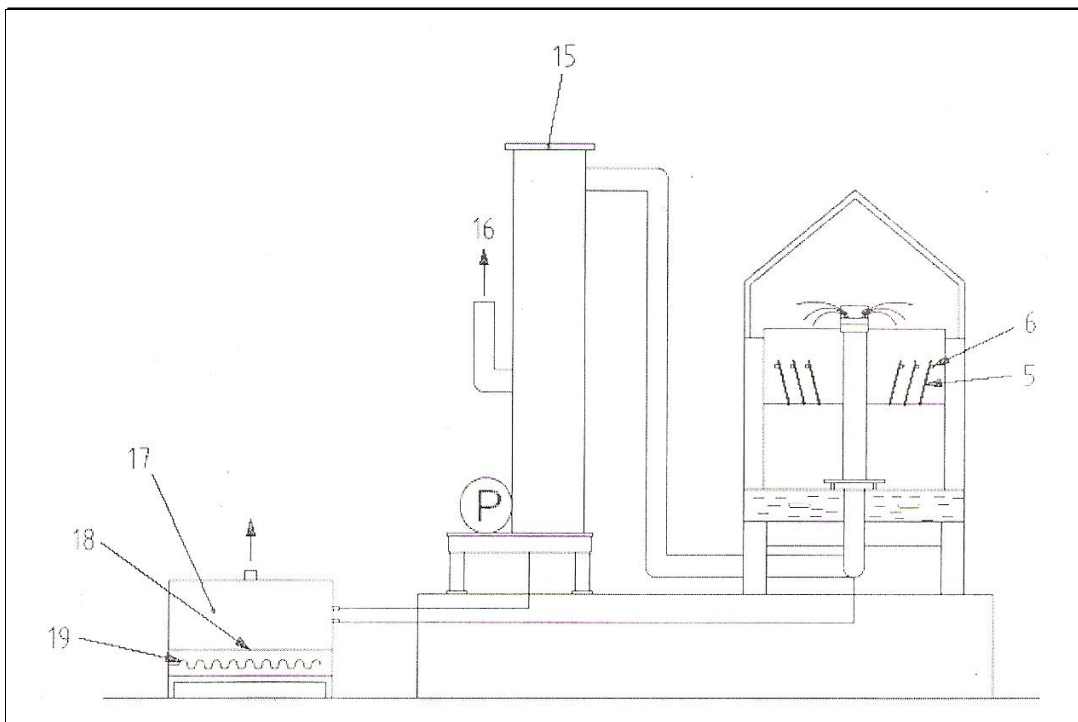
- Zkušební prostor – obsahuje trysku, kterou se solný roztok dostává do zkušebního prostoru. Působí na principu injektoru – pára z nádrže solného roztoku proudí soustavou zužujících se trubic. Tím se její tlak přemění na rychlost. Rychlostí blízkou rychlosti zvuku vnikne pára

do vodního prostoru komory. Tam předá svou rychlost vodě, v níž zkondenzuje. Prudce se pohybující voda v soustavě rozšiřujících se trubic přemění svou rychlost na tlak (vyšší než původní tlak vstupující páry) a přes zpětný ventil proniká do zkušební komory.

- Strojní část – obsahuje válcový zásobník solného roztoku, naplněný demineralizovanou vodou, kterou je tlakový vzduch proháněn, a tedy zvlhčován.



Obr. 18 Solná komora – nárýs



Obr. 19 Solná komora – bokorys

Legenda:

- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1. Věž pro rozprašování mlhy | 11. Elektromagnetický ventil |
| 2. Rozprašovač | 12. Tlakoměr |
| 3. Víko | 13. Zásobník solanky |
| 4. Zkušební komora | 14. Regulace teploty |
| 5. Zkoušený vzorek | 15. Úprava vypouštěné solné mlhy |
| 6. Držák zkoušených vzorků | 16. Odtah vzduchu |
| 7. Sběrné zařízení | 17. Vypouštění odpadní vody |
| 8. Komora | 18. Nádrž solného roztoku |
| 9. Sycení vzduchu | 19. Topení ^{42,43} |
| 10. Kompresor vzduchu | |

2.5.2 Zkoušky podle metodiky OECD

OSN zavedla společně se systémem GHS také normy, které zajišťují správné postupy při provádění korozních zkoušek a kritické hodnoty, nad které se materiál považuje za nevhodný pro uchovávání a transport chemických látek a směsí. Tyto korozní normy jsou součástí norem a předepisují použití plechů s rozměry 50 x 20 x 2 mm s otvorem o průměru 3 mm vzdáleném hrany vzorku 1 mm.

Korozní zkoušky probíhají najednou pro tři vzorky, z nichž je jeden úplně ponořen do roztoku, druhý je ponořen částečně a třetí je vystaven působení výparů daného roztoku (obr. 20).

Teplota v průběhu zkoušky je $55\text{ °C} \pm 1$ a doba zkoušky musí být minimálně jeden týden. Následné vyhodnocení se dělí podle zjištěného druhu koroze. Při rovnoměrné korozi se hodnotí rychlost koroze a porovnává se s kritickou hodnotou (6,25 mm/rok). Při výskytu nerovnoměrné koroze se posuzuje hloubka průniku do materiálu za daný časový úsek metalograficky.⁴⁴



Obr. 20 OECD cela

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Podkladový materiál

Jako podkladový materiál, byla použita ocel třídy 11370, což je klasický podkladový materiál používaný pro vytváření povlaků. Třída 11 značí, že jde o ocel konstrukční, nelegovanou s předepsanými mechanickými vlastnostmi (minimální pevnost v tahu, mez kluzu, tažnost) a obsahem prvků C, P, S.⁴⁵

Ocelové destičky o rozměrech 65 x 80 x 1 mm se zabroušenými hranami, byly mořeny, osušeny, potom na ně byly nanесeny povlaky nátěrových systémů a následně testovány (tabulka 8).

Tabulka 8 Kombinace nátěrových systémů

Číslo vzorku	Pořadí nátěrového systému	Organická povrchová úprava – základní nátěr	Organická povrchová úprava – vrchní nátěr	Čas expozice [hod]
1	1	PRAGOPRIMER S 2000 STANDARD	INDUSTROL S 2013 UNIVERZÁL + INDUSTROL S 2013 UNIVERZÁL	0
2–4				240
5–7				480
8–10				0
11	2	REZISTOL ZÁKLADNÍ BARVA E-ZN	INDUSTROL S 2013 UNIVERZÁL	0
12–14				240
15–17				480
18–20				0
21	3	HEMPADUR ZINC17360	HEMPADUR MASTIC 45880 + HEMPATHANE TOPCOAT 55210	0
22–24				240
25–27				480
28–30				0
31	4	REZISTOL ZÁKLADNÍ BARVA E-ZN	POLYSILOXANOVÁ VYSOKOSUŠINOVÁ BARVA PS01	0
32–34				240
35–37				480
38–40				0

Vzorky 1, 11, 21 a 31 byly zvoleny jako standardy pro následné srovnávání s těmi testovanými, nebyly tedy vloženy do solné komory.

Vzorky 8–10, 18–20, 28–30, 38–40 také nebyly vloženy do solné komory, ale byly ponechány pro testování chemické odolnosti.

3.2 Předúprava podkladu materiálu

V rámci diplomové práce nebyla předúprava podkladu materiálu provedena otryskáním, jak doporučuje výrobce, ale chemickým čištěním – mořením, podle následujícího postupu:

- Každý ocelový vzorek (č. 1–40) byl mořen v roztoku kyseliny chlorovodíkové a vody v poměru 1:1 s přídatkem inhibitoru koroze – urotropin o koncentraci 3,5 g/l po dobu 1 minuty
- Následně byl vzorek opláchnut v 2% roztoku uhličitanu sodného zahřátého na 40 °C po dobu 1 minuty
- Potom byl vzorek pasivován v 3% roztoku dusitanu sodného zahřátého na 40 °C po dobu 1 minuty
- Na závěr byl vorek opláchnut etanolem
- A vložen do exsíkátoru na 24 hodin pro úplné zaschnutí a ustálení

3.3 Použité nátěrové systémy

Označení použitých nátěrových hmot neodpovídá přesně základnímu označování nátěrových hmot popsané v bodech 3.2.2. Je to z toho důvodu, že testované nátěrové systémy mají speciální firemní označení.

3.3.1 První nátěrový systém

Základní nátěr – PRAGOPRIMER S 2000 STANDARD

Univerzální syntetická základová barva s vynikajícími antikorozními vlastnostmi, velmi rychlým zasycháním a univerzální aplikovatelností.⁴⁶

Podkladový nátěr – INDUSTROL S 2013 UNIVERZÁL

Univerzální syntetický email s vynikající kryvostí, vysokým leskem a velmi dobrou odolností vůči povětrnosti.²⁸

Vrchní nátěr – INDUSTROL S 2013 UNIVERZÁL²⁸

3.3.2 Druhý nátěrový systém

Základní nátěr – REZISTOL ZÁKLADNÍ BARVA E-ZN

Dvousložková základní barva na bázi epoxidové pryskyřice a polyamidového tužidla s vysokým obsahem zinkového prachu (90 % v zaschlém filmu), který působí jako katodická ochrana. Má vynikající antikorozní vlastnosti i při nejnáročnějších atmosférických podmínkách (přímořské oblasti) a rychle zasychá.³⁰

Vrchní nátěr – INDUSTROL S 2013 UNIVERZÁL²⁸

3.3.3 Třetí nátěrový systém

Základní nátěr – HEMPADUR ZINC 17360

Dvousložková epoxidová barva s vysokým obsahem zinku, který poskytuje katodickou ochranu v místech mechanického poškození. Je vysoce odolná vůči povětrnostním vlivům ve středně až silně korozním prostředí. ^{47,48}

Podkladový nátěr – HEMPADUR MASTIC 45880

Dvousložková vysokosušinná epoxidová barva vysoce odolná průmyslovým a přímořským atmosférám. ^{49,50}

Vrchní nátěr – HEMPATHANE TOPCOAT 55210

Dvousložková polyuretanová barva s dobrou stálostí lesku a barevného odstínu i v silně korozním prostředí.³⁴

3.3.4 Čtvrtý nátěrový systém

Základní nátěr – REZISTOL ZÁKLADNÍ BARVA E-ZN

Dvousložková základní barva na bázi epoxidové pryskyřice a polyamidového tužidla s vysokým obsahem zinkového prachu (90 % v zaschlém filmu), který působí jako katodická ochrana. Má vynikající antikorozi vlastnosti i při nejnáročnějších atmosférických podmínkách (přímořské oblasti) a rychle zasychá.³⁰

Vrchní nátěr – 2K-POLYSILOXANOVÁ BARVA VYSOKOSUŠINOVÁ PS01

Dvousložková vysokosušinná barva na bázi polysiloxanů s vynikající přilnavostí, tvrdostí, odolností povětrnostním vlivům, chemickou odolností a barevnou stálostí.³⁹

Veškeré podrobnější informace jsou uvedeny v příslušném technickém listě, na který je každá nátěrová hmota odkazována.

3.4 Technologie zhotovení povlaků

- NH byla po otevření obalu (plechovky) dokonale rozmíchána hladkou dřevěnou špachtlí, aby u dna nezůstala žádná usazenina
- Potom se NH nechala alespoň 2 hodiny odstát
- Po této době bylo naváženo předem vypočítané množství NH do plastového kelímku umístěného na váze s přesností na jedno desetinné místo
- Pokud šlo o dvousložkovou NH, navázilo se (za stálého míchání) do stejného plastového kelímku předem vypočítané množství tužidla
- Dále se do tohoto plastového kelímku s barvou a popř. tužidlem navázilo (za stálého míchání) předem vypočítané množství ředidla
- Takto připravená NH se nechala cca 30 minut odpočinout
- Následně byla NH nanesena ponorem celého vzorku zavěšeného na silonové niti
- Vzorek s vytvořeným povlakem byl pomocí silonové nitě zavěšen na sušák
- A poté vytvrzován požadovanou dobu (tabulka 9)
- Po vytvrzení byly stejným postupem vytvořeny podkladové i vrchní povlaky

Tabulka 9 Údaje pro nanášení povlaků

Nátěrová hmota	Naředění (%)	Tloušťka vrstvy (μm)	Doba vytvrzování
PRAGOPROMER S 2000 STANDARD	25	25 – 30	3 hod
INDUSTROL S 2013 UNIVERZÁL	6	30 – 35	48 hod
REZISTOL ZÁKLADNÍ BARVA E-ZN	5	60	7 dní
POLYSILOXANOVÁ VYSOKOSUŠINOVÁ BARVA PS01	3	65	6 hod
HEMPADUR ZINC 17360	3	60	7 dní
HEMPADUR MASTIC 45880	5	130	7 dní
HEMPATHANE TOPCOAT 55210	18	50	7 dní

3.5 Hodnocení znaků jakosti povlaků

3.5.1 Hodnocení tloušťky povlaku

Tloušťka nátěru má značný vliv na jeho vlastnosti, a proto je její určení základem všech zkoušek. Tloušťka čerstvě nanesené vrstvy se běžně označuje jako „mokrý“ a při zasychání se u nátěrových hmot obsahujících těkavé složky zmenšuje. Pro technologické vlastnosti nátěru je rozhodující tloušťka po zaschnutí, která byla v této práci měřena magnetickým způsobem podle ČSN EN ISO 2808.

Zkouška se provádí položením přístroje kolmo na zkoušenou plochu s nátěrem a počká se, až se na digitálním displeji objeví hodnota, která se odečte. Měření se provádí v různých místech vzorku minimálně šestkrát, a poté se vypočítá průměr. Pro účely tohoto měření byl využit tloušťkoměr Elcometer 626 (obr. 21).^{51,52}



Obr. 21 Magnetický tloušťkoměr Elcometer 626

3.5.2 Hodnocení přilnavost povlaku

Přilnavost povlaku k povrchu, je dána nejen druhem a jakostí nátěrové hmoty, ale i podkladovým materiálem. Přilnavost nátěrů se stanovovala mřížkovou zkouškou podle ČSN EN ISO 2409.

Měření se provádí při teplotě (23 ± 2) °C a relativní vlhkosti (50 ± 5) %. V každém směru mřížky musí být šest řezů, jejichž vzdálenost musí být stejná ve všech směrech a závisí na tloušťce povlaku a typu podkladu (tabulka 10).

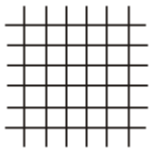
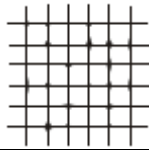
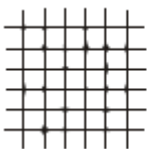
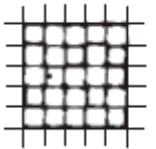

Tabulka 10 Vzdálenost řezů mřížky

Tloušťka povlaku [μm]	Vzdálenost řezů [mm]	Druh podkladu
0 – 60	1	Tvrký
0 – 60	2	Měkký
61 – 120	2	Tvrký i měkký
121 – 250	3	Tvrký i měkký

Zkušební vzorek se umístí na pevný, rovný povrch, aby se zamezilo jakékoliv jeho deformaci během zkoušky. Řezání se provádí ručně. Řezný nástroj se drží ostřím kolmo k povrchu vzorku a za použití šablony se stálým tlakem vytvoří do nátěru mřížka s předepsaným počtem řezů, které musí proniknout k povrchu podkladu. Postup se opakuje pootočením původních řezů o 90° za účelem vytvoření

mřížky. Na vzniklou mřížku se umístí samolepící páska, která se prstem uhladí tak, aby mřížku překrývala nejméně o 20 mm. Potom se páska uchopí za volný konec a pod úhlem 60° se za 0,5–1 s odstraní a provede se vyhodnocení (tabulka 11). Pro tuto zkoušku byl použit řezný nástroj Elcometer 107 (obr. 22).^{51,53}

Tabulka 11 Klasifikace přilnavosti

Vzhled vzniklé mřížky	Popis porušení	Stupeň poškození
	Hrany řezů jsou zcela hladké, žádný ze čtverců není poškozen.	0
	Malé kousky povlaku jsou odloupnuty v místech křížení řezů. Celková poškozená plocha je menší než 5 %.	1
	Povlak je odloupnut podél řezů nebo v místech jejich křížení, poškození na 5 – 15 % povrchu.	2
	Povlak je odloupnut v částečně, nebo zcela souvislých pásech podél řezů a/nebo ve velkých kusech v libovolném místě. Poškození 15 – 35 % povrchu.	3
	Povlak je odloupnut v souvislých pásech podél řezů a/nebo ve velkých kusech na více místech. Poškození 35 – 65 % povrchu.	4
	Poškození větší než popsatelné kategorií 4.	5



Obr. 22 Řezná sada Elcometer 107

3.5.3 Hodnocení tvrdosti povlaku

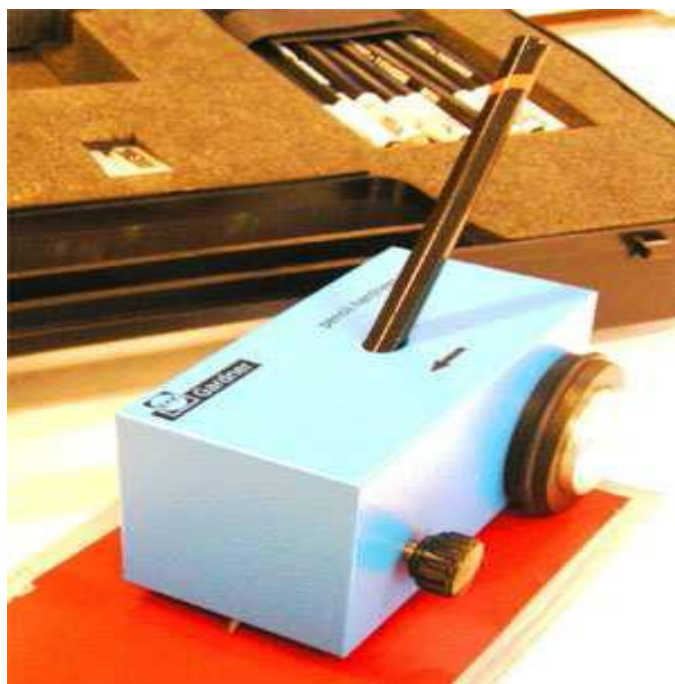
Odolnost povlaku proti mechanickému poškození je dána druhem a kvalitou nátěrové hmoty, podmínkami při zasychání, resp. vytvrzování povlaku, jeho tloušťkou i stářím.

Tvrdot testovaných povlaků byla stanovena tužkovou metodou podle ČSN 67 3075, která hodnotí schopnost nátěru odolávat vtlačení hrotu tužky určité tvrdosti do povrchu nátěrového filmu. Pro tuto zkoušku byla použita sada 13 tužek Hardthmuth KOH-I-NOOR podle ČSN 90 1111 s různými stupni tvrdosti (tabulka 12).

Pro měření se používá speciální držák tužek (obr. 23), který se položí na zhotovený nátěr na tvrdém podkladu a do něhož se upne řádně ořezaná a obroušená tužka. Tento držák zaručuje úhel tužky vůči podkladu 30° a tlak tužky na nátěr 300 ± 15 g. Zjišťuje se tak, která z tužek odstupňované tvrdosti poruší viditelně povrch nátěru jako první.^{51,54}

Tabulka 12 Tvrdot nátěru

Stupeň tvrdosti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tvrdot tužky	3B	2B	B	HB	F	H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H



Obr. 23 Držák tužek

3.5.4 Hodnocení barevného odstínu povlaku

Barevný odstín je jednou z optických vlastností povlaku, která záleží na obsahu pigmentů a barviv. Dlouhodobým působením klimatických vlivů může docházet ke změně vzhledu povlaku – postupné degradaci, projevující se odchylkami od původního barevného odstínu.

Barevný odstín byl měřen pomocí přístroje ColorCatch 2 (obr. 24), který po přiložení na povrch vzorku zobrazil na displeji hodnotu dvou nejbližších barev nalezených v nastaveném rozsahu stupnice RAL, s níž byly následně údaje vizuálně porovnávány.⁵¹



Obr. 24 Kolorimetr ColorCatch2

3.5.5 Hodnocení lesku povlaku

Lesk je další z optických vlastností povlaku. Jde o schopnost odrazu dopadajícího světla. Hodnocení lesklých povrchů je závislé na blízkosti úhlu pohledu vůči úhlu dopadajícího světla, přičemž matné povrchy se jeví rovnoměrně jasné při jakémkoli úhlu pozorování. Dlouhodobým působením klimatických vlivů (UV záření, deště atd.) může docházet ke změně vzhledu povlaku – postupné degradaci, projevující se v tomto případě ztrátou lesku.

Změna lesku byla hodnocena vizuálně podle ČSN ISO 4628-1 (tabulka 13).^{51,55}

Tabulka 13 Klasifikace intenzity změny lesku

Stupeň změny	Intenzita změny
0	Beze změn, tj. žádná zřetelná změna
1	Velmi malá změna, tj. právě rozpoznatelná změna
2	Malá, tj. zřetelně rozpoznatelná změna
3	Mírná, tj. velmi zřetelně rozpoznatelná změna
4	Zřetelná, tj. výrazná změna
5	Velmi zřetelná změna

3.5.6 Hodnocení korozní odolnosti povlaku

3.5.6.1 Korozní zkouška v solné komoře

Zkouška byla provedena dle normy ČSN ISO 9227. Označené vzorky č. 2–7, 12–17, 22–27 a 32–37 s čtyřmi typy povlakových systémů (tabulka 8), byly pomocí silonové nitě zavěšeny na tyče solné komory na 240 a 480 hodin tak, aby nepřišly do styku s vnitřním povrchem komory, ale byly vystaveny volnému proudění solné mlhy (5% roztok chloridu sodného) o teplotě 35 °C a pH 6,5–7,2. Schopnost povlaku chránit podkladový kov proti korozi se vyhodnocuje na základě vzniku korozních kráterků, důlků, korozních zplodin, puchýřků a jakékoliv jiné vady způsobující korozi podkladového kovu. Pro případy této diplomové práce bylo použito hodnocení degradace nátěrů podle ČSN ISO 4628-1.^{42,55}

Tabulka 14 Klasifikace množství defektů

Stupeň změny	Množství defektů
0	Žádné, tj. žádné zjistitelné defekty
1	Velmi málo, tj. malý, téměř nevýznamný počet defektů
2	Málo, tj. malý, ale důležitý počet defektů
3	Mírný počet defektů
4	Značný počet defektů
5	Povrch hustě pokrytý defekty

Tabulka 15 Klasifikace velikosti defektů

Stupeň změny	Velikost defektu
0	Neviditelný bez desetinásobného zvětšení
1	Viditelný pouze při zvětšení do desetinásobku
2	Právě viditelný prostým okem nebo korekcí zrakových vad
3	Zřetelně viditelný prostým okem nebo korekcí zrakových vad (do 0,5 mm)
4	V rozmezí 0,5 mm – 5 mm
5	Větší než 5 mm

3.5.6.2 Korozní zkouška podle metodiky OECD

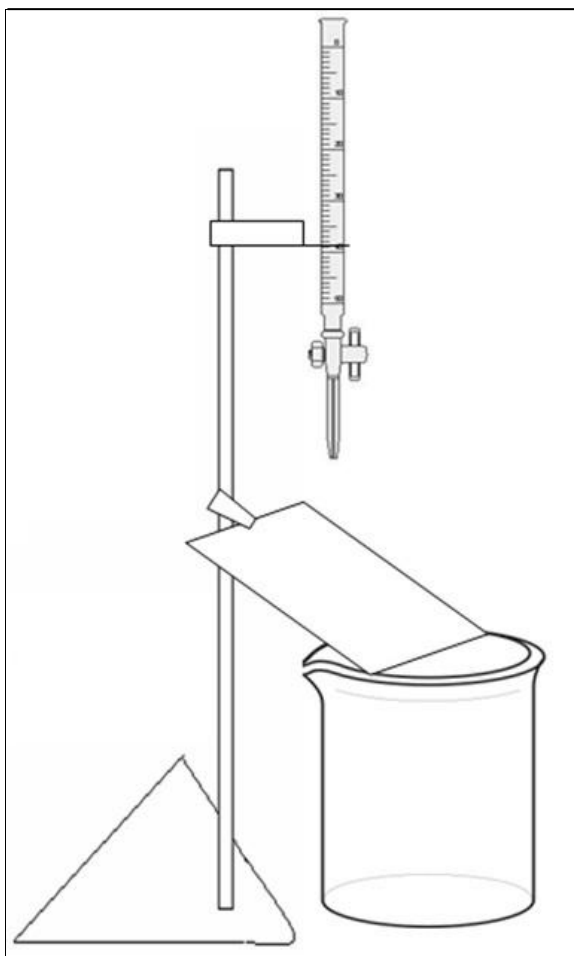
Pro zkoušení korozní odolnosti podle metodiky OECD byly použity čtyři ocelové vzorky třídy 11 o rozměrech 50 x 20 x 1 mm, které byly apretovány brusným papírem o zrnitosti č. 120, omyty etanolem a vysušeny proudem stlačeného vzduchu. Na 24 hodin se pak vzorky umístily do exsikátoru pro ustálení, poté se zvážily na analytických vahách (hmotnost m_0) a vzorek č. 1 byl vložen zpět do exsikátoru pro následné srovnání. Vzorky 2–4 se zavěsily pomocí silonové nitě do zkušební cely. Jako zkušební cela byla použita skleněná kádinka o objemu 1000 ml, uzavíratelná polyamidovým víkem, které má na vnitřní straně tři šrouby k zavěšení vzorků na silonové nitě. Zkušební cela byla do poloviny svého objemu naplněna 5% roztokem chloridu sodného a vzorky byly zavěšeny tak, že vzorek č. 2 byl nad hladinou roztoku – testován v parách, vzorek č. 3 byl do poloviny své délky ponořen v roztoku – testován v poloponoru a vzorek č. 4 byl celý ponořen v roztoku – testován v ponoru. Testování bylo prováděno nepřetržitě 7 dní při teplotě 55 ± 1 °C.⁴⁴

3.5.7 Hodnocení chemické odolnosti

Chemická odolnost materiálů umožňuje rychle zjistit, které materiály je možné kombinovat s různými chemikáliemi. Čím přesněji budeme vědět, v jakých podmínkách prostředí předměty budou, tím cíleněji je můžeme přizpůsobit těmto podmínkám. Tak je zabráněno jejich předčasnému selhání. Reakce materiálu je závislá na dalších faktorech, např. době trvání kontaktu a koncentraci agresivních substancí, rovněž i vlhkosti vzduchu a teplotě.

Zkouška byla provedena kapkovou metodou podle ČSN EN ISO 2812-4. Vzorky č. 8–10, 18–20, 28–30 a 38–40 s různými druhy povlakových systémů (tabulka 8), byly postupně upevňovány pomocí svorky na stojan pod úhlem 30° vzhledem k horizontální poloze. Nad vzorkem byla pomocí držáku upevněna dělená byreta tak, aby použitá chemická látka (směs) kapala na prostřední a spodní část

vzorku minimálně 2 cm od okraje v intervalu 1 kapka za 2 sekundy, a potom byla sbírána do kádinky (obr. 25). Po 1, 3, 5, 10, 20 a 30 minutách byl pokus přerušen, vzorek opláchnut vodou, osušen filtračním papírem a následně byly hodnoceny vizuální změny na povrchu povlaku pouhým okem, popř. pomocí lupy.⁵⁶



Obr. 25 Aparatura pro nakloněnou kapkovou metodu

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

U připravených povlaků nátěrových systémů byly provedeny zkoušky tloušťky, přilnavosti, tvrdosti, barevného odstínu, lesku, korozní a chemické odolnosti metodikou uvedenou v předchozí části. Zjištěné výsledky byly zpracovány a diskutovány vzhledem k teoretickým předpokladům.

4.1 Výsledky hodnocení tloušťky povlaků

Tloušťka povlaků byla měřena na jednom vzorku – standardu každého typu nátěrového systému vždy na šesti různých místech. Z těchto hodnot byl vypočítán aritmetický průměr, směrodatná odchylka a interval spolehlivosti na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (tabulka 16).

Tabulka 16 Naměřené tloušťky povlaků

Číslo vzorku	Tloušťka povlaku [μm]							Směrodatná odchylka [μm]	Interval spolehlivosti [μm]
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	Průměr		
1	69	93	108	74	96	111	92	16	79 – 104
11	97	106	80	77	107	96	94	12	85 – 103
21	188	247	248	273	194	274	238	34	210 – 265
31	145	125	94	135	99	121	120	18	105 – 134

	1. nátěrový systém
	2. nátěrový systém

	3. nátěrový systém
	4. nátěrový systém

4.2 Výsledky hodnocení stupně přilnavosti povlaků

Výsledky zkoušek přilnavosti povlaků, provedené mřížkovou metodou a vyhodnocené na základě dané stupnice (tabulka 11), jsou shrnuty v následujících tabulkách.

Stupeň přilnavosti povlaků byl měřen

- Před vložením do solné komory na standardu každého nátěrového systému

Tabulka 17 Stupně přilnavosti povlaků před expozicí

Číslo vzorku	1	11	21	31
Stupeň přilnavosti	0	0	0	0

- Po 240 hodinách expozice na 1. polovině vzorků

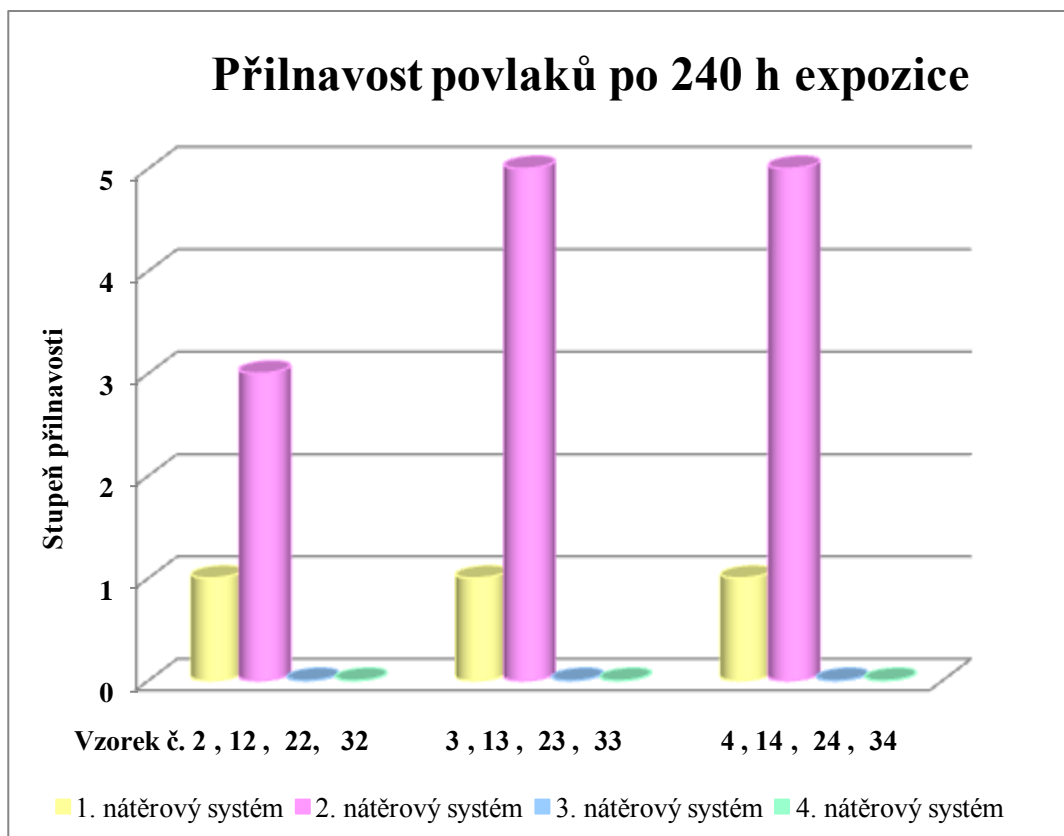
Tabulka 18 Stupně přilnavosti povlaků po 240 h expozice

Číslo vzorku	2	3	4	12	13	14	22	23	24	32	33	34
Stupeň přilnavosti	1	1	1	3	5	5	0	0	0	0	0	0

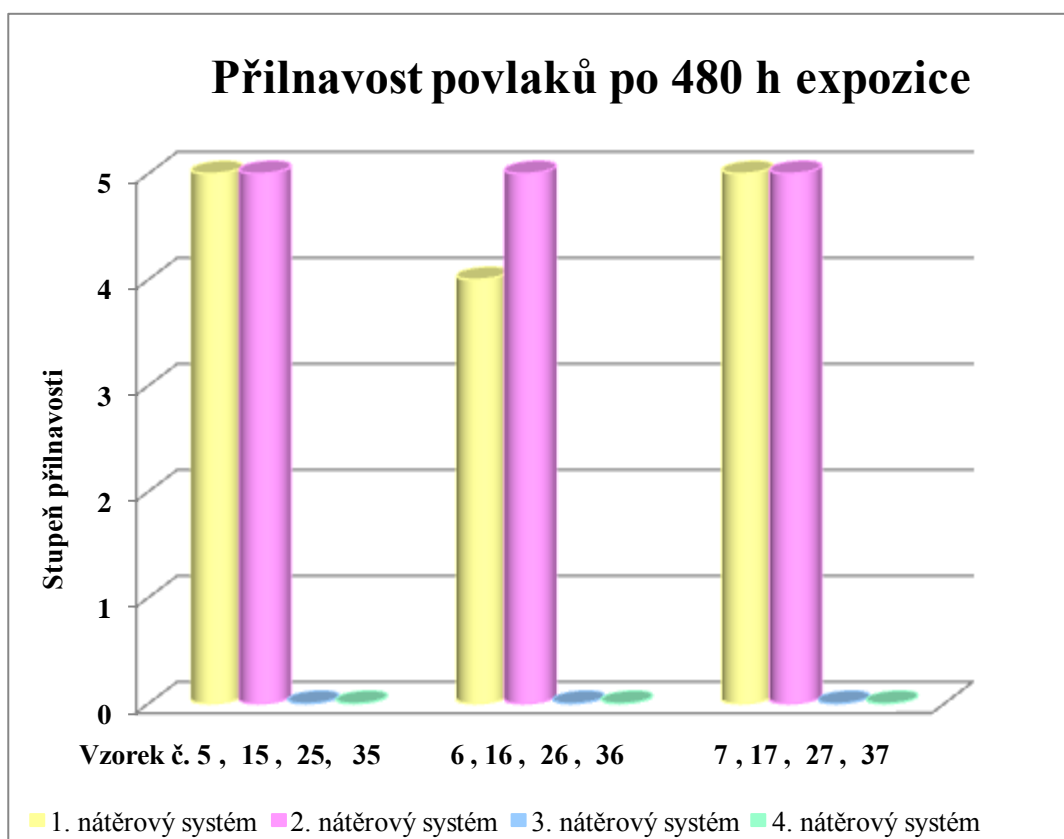
- Po 480 hodinách expozice na 2. polovině vzorků

Tabulka 19 Stupně přilnavosti povlaků po 480 h expozice

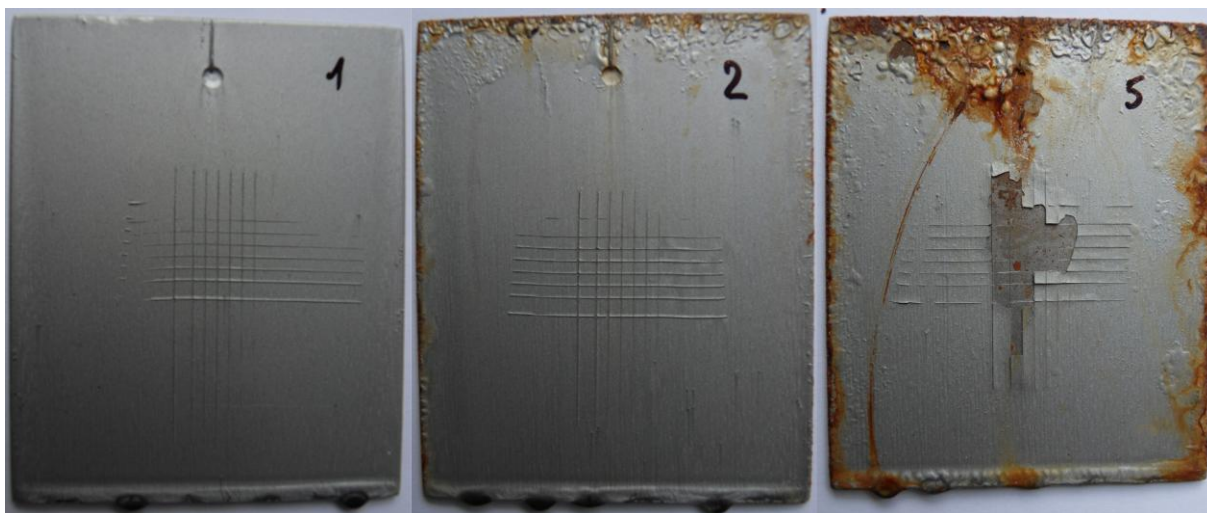
Číslo vzorku	5	6	7	15	16	17	25	26	27	35	36	37
Stupeň přilnavosti	5	4	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0



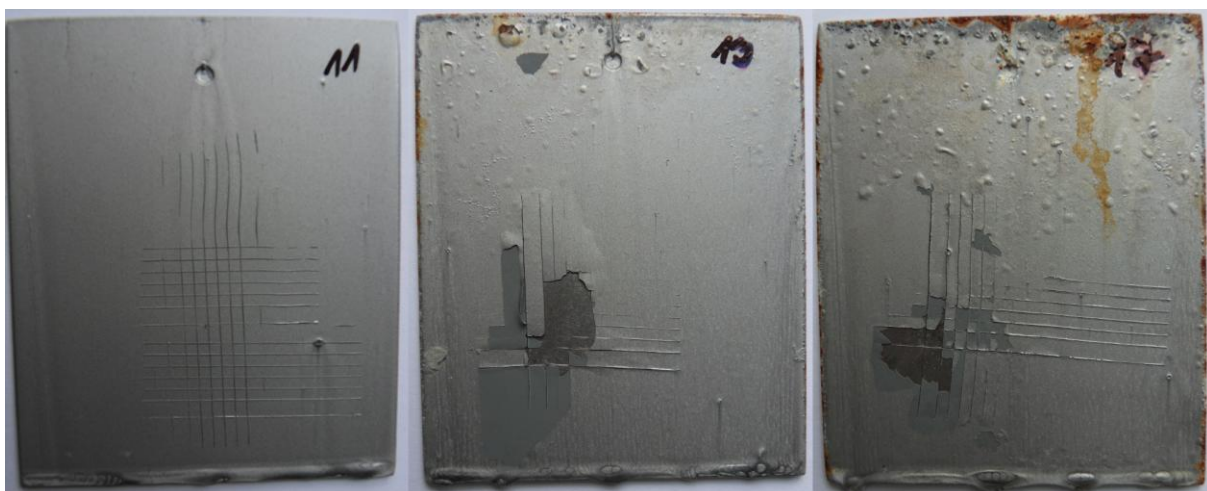
Obr. 26 Graf přilnavosti povlaků po 240 h expozice



Obr. 27 Graf přilnavosti povlaků po 480 h expozice



Obr. 28 Nátěrový systém č. 1: vzorky v pořadí – standard, po 240 h a po 480 h expozice



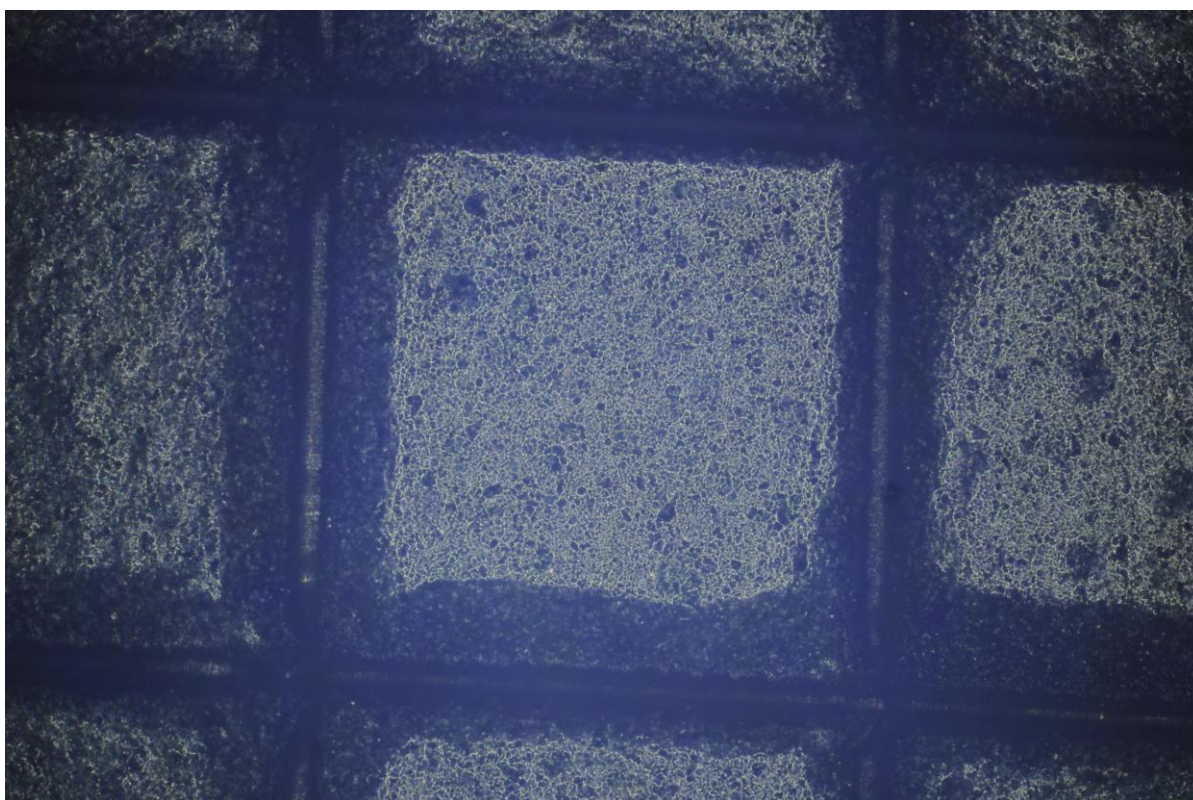
Obr. 29 Nátěrový systém č. 2: vzorky v pořadí – standard, po 240 h a po 480 h expozice



Obr. 30 Nátěrový systém č. 3: vzorky v pořadí – standard, po 240 h a po 480 h expozice



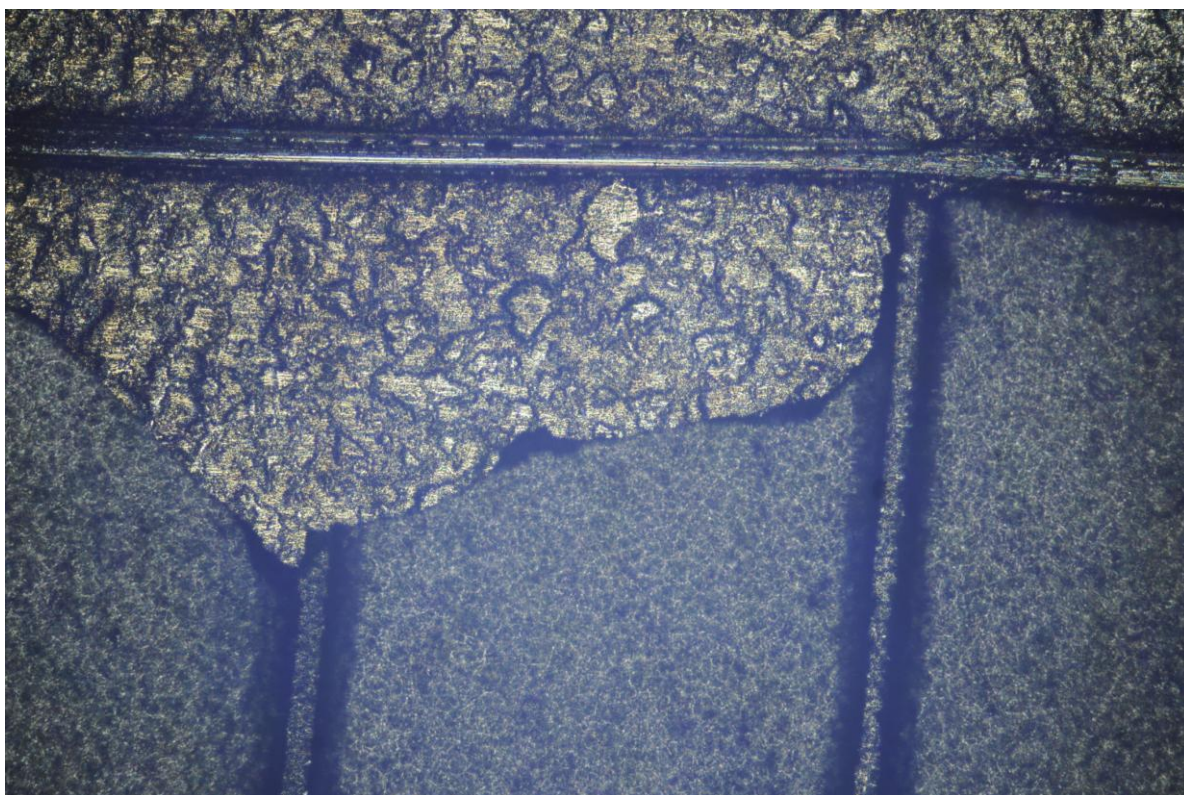
Obr. 31 Nátěrový systém č. 4: vzorky v pořadí – standard, po 240 h a po 480 h expozice



Obr. 32 Detail vytvořené mřížky zvětšené 4×



Obr. 33 Detail mřížky obtisknuté na lepicí pásce zvětšené 4×



Obr. 34 Detail odloupeného povlaku u vzorku č. 14 zvětšeného 4×

Z výše uvedených grafů a tabulek je patrné, že přilnavost povlaků 1. a 2. nátěrového systému, byla působením solné mlhy ovlivněna již po 240 hodinách expozice. Po 480 hodinách expozice pak došlo ještě k dalšímu zhoršení přilnavosti, a to na nejvyšší a tedy i nejhorší možný stupeň klasifikace – 5, kdy docházelo k odlupování celé plochy vytvořené mřížky.

Z přiložených obrázků nafocených vytvořených mřížek je vidět, že u 2. nátěrového systému, docházelo nejdříve k odlupování vrchní vrstvy a teprve potom i základní vrstvy povlaku, na rozdíl od 1. nátěrového systému, kde se všechny tři vytvořené vrstvy odlupovaly zároveň. Je zde vidět skvělý účinek základní barvy s obsahem zinkových částic, použité právě u 2. nátěrového systému. Základní barva obsahující zinkové částice má nejen vyšší přilnavost, oproti obyčejné syntetické základní barvě použité u 1. nátěrového systému, ale také lépe chrání samotný podkladový kov, což je vidět na obrázku 28 a 29. Na povrchu oceli, pokryté 2. nátěrovým systémem obsahující zinek, totiž nedošlo ke koroznímu napadení, které je vidět pouze na povrchu oceli pokryté 1. nátěrovým systémem. Zinkové částice na tomto případě předvedly svou funkci „obětované anody“.

U povlaků 3. a 4. nátěrového systému nedošlo k žádným změnám přilnavosti povlaku oproti standardům ani po 480 h expozice. Polyuretanové a polysiloxanové povlaky mají tedy v tomto směru vynikající odolnost proti simulovanému působení klimatických vlivů.

4.3 Výsledky hodnocení stupně tvrdosti povlaku

Tvrdost povlaků byla testována vždy u jednoho vzorku s nejmenší přilnavostí povlaku z každého nátěrového systému a pro srovnání samozřejmě i u standardů.

Výsledky zkoušek tvrdosti povlaků, provedené tužkovou metodou a vyhodnocené na základě stupnice (tabulka 12), jsou shrnuty v následujících tabulkách.

Stupeň tvrdosti povlaku byl měřen

- Před vložením do solné komory na standardu každého nátěrového systému

Tabulka 20 Stupně tvrdosti povlaků před expozicí

Číslo vzorku	1	11	21	31
Stupeň tvrdosti	4	4	5	7

- Po 240 hodinách expozice

Tabulka 21 Stupně tvrdosti povlaků po 240 h expozice

Číslo vzorku	3	13	22	32
Stupeň tvrdosti	4	4	5	7

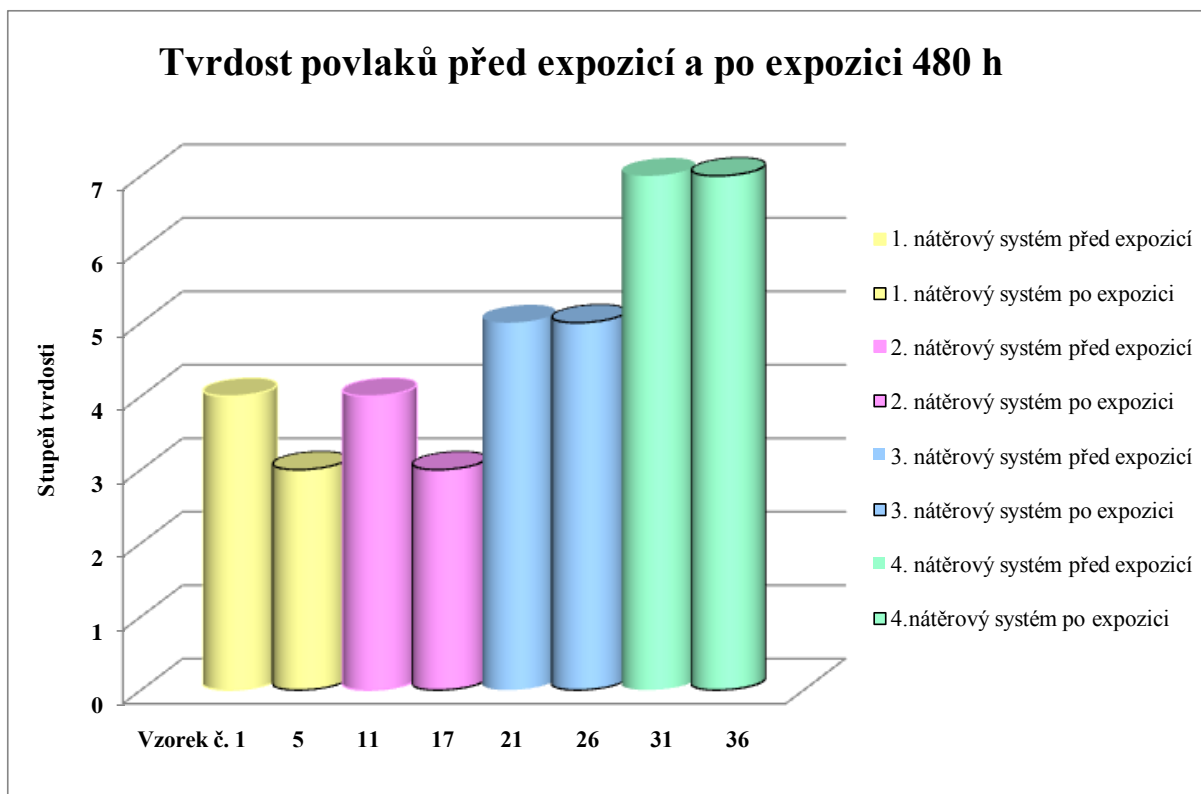
- Po 480 hodinách expozice

Tabulka 22 Stupně tvrdosti povlaků po 480 h expozice

Číslo vzorku	5	17	26	36
Stupeň tvrdosti	3	3	5	7

	1. nátěrový systém
	2. nátěrový systém

	3. nátěrový systém
	4. nátěrový systém



Obr. 35 Graf srovnání tvrdosti povlaků před a po expozici 480 h

Z naměřené tvrdosti povlaků vzorků standardů si lze všimnout, že 1. a 2. nátěrový systém nemají tak tvrdé povlaky jako 4. nátěrový systém, zastoupený vrchním polysiloxanovým nátěrem.

Po 240 hodinách expozice nedošlo ke změně tvrdosti u žádného nátěrového systému. K porušení povlaků vzorků hrotem tužky docházelo po 480 hodinách expozice pouze u 1. a 2. nátěrového systému (alkydové). Při testování 3. a 4. nátěrového systému nedošlo k žádnému poškození, což svědčí o jejich vysoké odolnosti vůči mechanickým vlivům.

4.4 Výsledky hodnocení stálosti barevného odstínu povlaku

Hodnoty barevného odstínu zjištěné přístrojem ColorCatch 2 ve výchozím stavu povlaků nekorespondovaly s údaji výrobce. Důvodem bylo, že výrobce buď neuvedl danou hodnotu v technickém listě, nebo bylo uvedeno firemní označení, které se neshoduje se stupnicí RAL.

RAL hodnoty zobrazené na displeji přístroje ColorCatch 2, po přiložení na jeden vzorek každého nátěrového systému před i po testování, byly porovnány s RAL vzorníkem a na základě toho, byla vybrána vždy jen jedna hodnota pro každý nátěrový systém.

Barevný odstín povlaku byl měřen

- Před vložením do solné komory na standardu každého nátěrového systému

Tabulka 23 Barevný odstín povlaků před expozicí

Číslo vzorku	1	11	21	31
Barevný odstín	7004	9006	9003	7037

- Po 240 hodinách expozice na 1. polovině vzorků

Tabulka 24 Barevný odstín povlaků po 240 h expozice

Číslo vzorku	3	13	22	32
Barevný odstín	7004	9006	9003	7037

- Po 480 hodinách expozice na 2. polovině vzorků

Tabulka 25 Barevný odstín povlaků po 480 h expozice

Číslo vzorku	5	17	26	36
Barevný odstín	7004	9006	9003	7037

	1. nátěrový systém		3. nátěrová systém
	2. nátěrový systém		4. nátěrový systém

Všechny hodnocené nátěrové systémy mají velmi dobrou stálost barevného odstínu, protože během expozice v 5% roztoku chloridu sodného nedošlo k žádné změně barevného odstínu.

4.5 Výsledky hodnocení stálosti lesku povlaku

Stálost lesku povlaku po expozici v solné komoře byla hodnocena vizuálně, přiložením jednoho exponovaného vzorku z každého nátěrového systému k danému standardu nátěrového systému a přiřazením stupně změny lesku (tabulka 13).

Stálost lesku povlaku byla měřena

- Po 240 hodinách expozice

Tabulka 26 Klasifikace intenzity změny lesku

Číslo vzorku	4	14	23	32
Stupeň změny	2	2	0	0

- Po 480 hodinách expozice

Tabulka 27 Klasifikace intenzity změny lesku

Číslo vzorku	6	16	27	35
Stupeň změny	5	5	0	0

	1. nátěrový systém		3. nátěrová systém
	2. nátěrový systém		4. nátěrový systém

Z testovaných nátěrových systémů došlo po 240 hodinách expozice ke změně stupně lesku u 1. a 2. systému, které jsou oba pokryty vrchním syntetickým alkydovým nátěrem. Po 480 hodinách expozice pak ztratily svůj lesk úplně. Stupeň lesku 3. a 4. nátěrového systému, tedy polyuretanových a polysiloxanových povlaků, zůstaly beze změn po celou dobu expozice a jejich stálost lesku je tedy velmi vysoká.

4.6 Výsledky hodnocení korozní odolnosti

4.6.1 Výsledky hodnocení korozní odolnosti po expozici v solné komoře

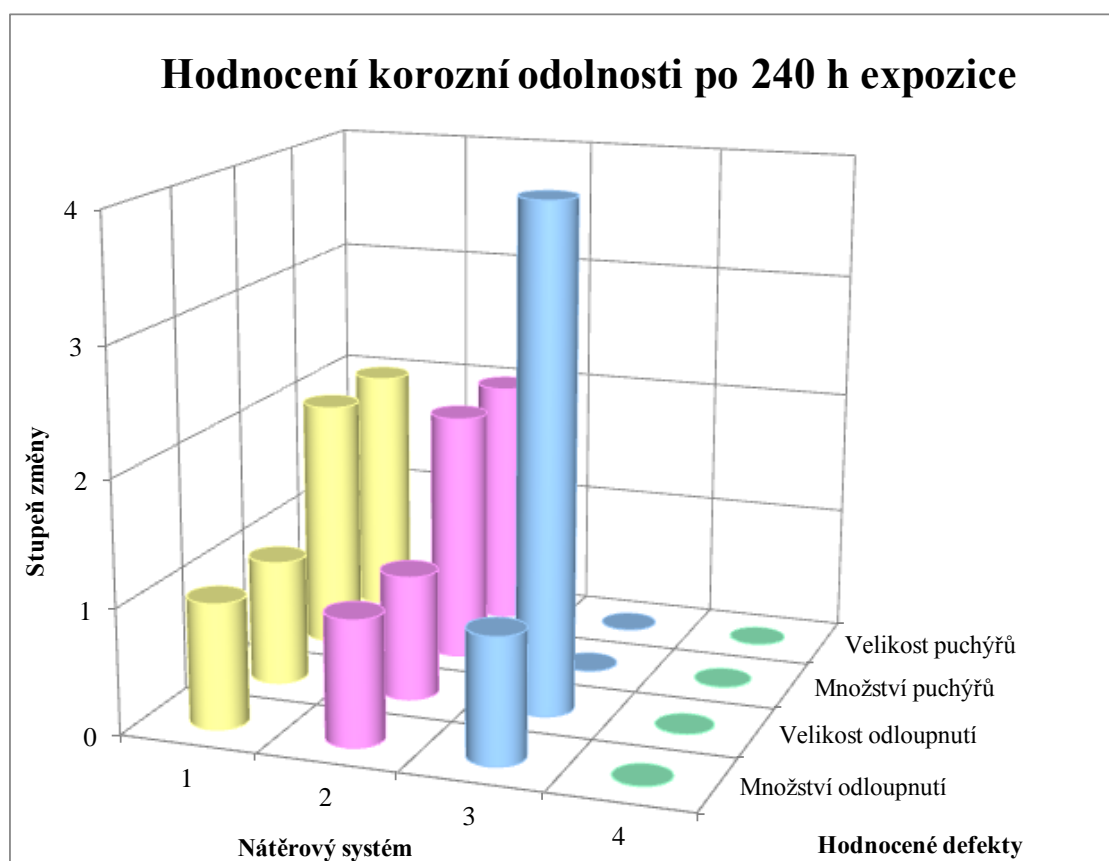
Vzorky byly po vyndání ze solné komory ponechány 1 hodinu ležet na filtračním papíře, aby se snížilo nebezpečí odstranění korozních zplodin, potom byly omyty destilovanou vodou, usušeny proudem stlačeného vzduchu a vizuálně hodnoceny na vznik různých defektů jako odlupování a puchýřování (tabulka 14 a 15). Hodnocení se provádělo prostým okem a jeho výsledky jsou zaznamenány níže.

Tabulka 28 Hodnocení korozní odolnosti

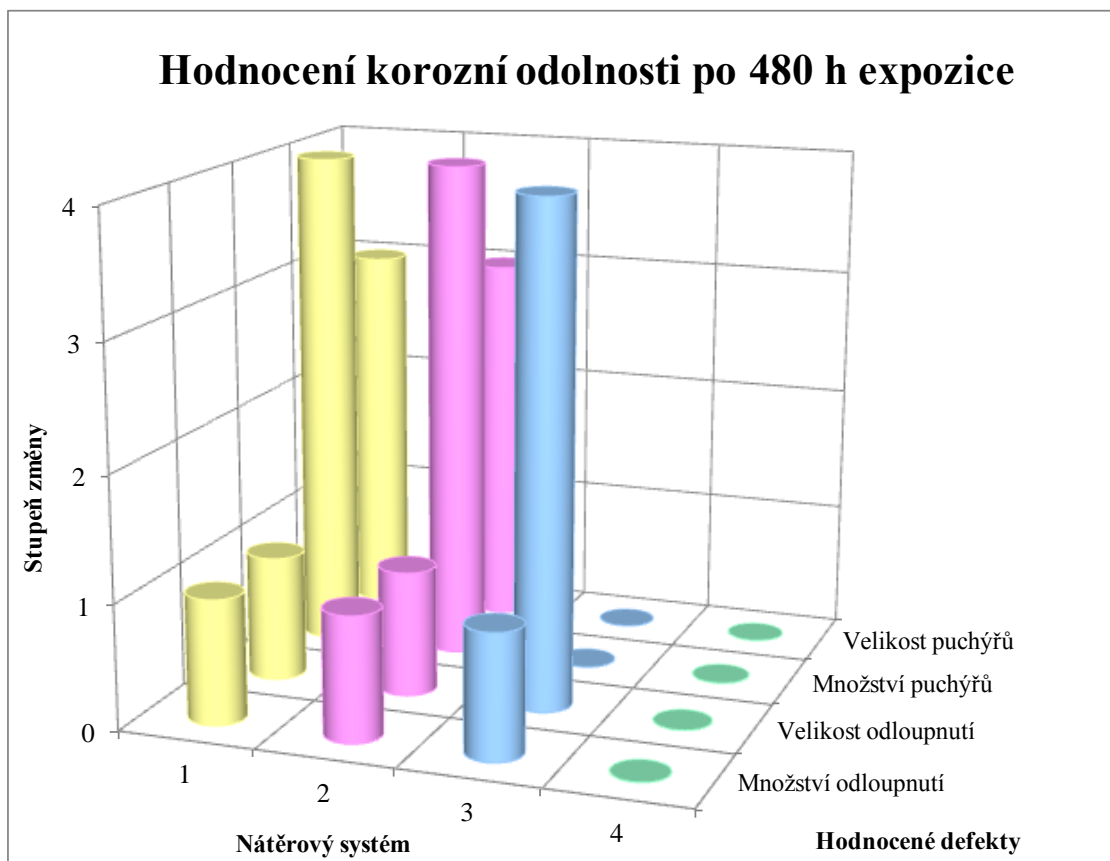
		Stupeň změny po expozici 240 h (1. hodnota) a 480 h (2. hodnota)							
Množství defektů	Puchýře	2	4	2	4	0	0	0	0
	Odlupování	1	1	1	1	1	1	0	0
Velikost defektu	Puchýře	2	3	2	3	0	0	0	0
	Odlupování	1	1	1	1	4	4	0	0

1. nátěrový systém
 2. nátěrový systém

3. nátěrový systém
 4. nátěrový systém



Obr. 36 Graf hodnocení korozní odolnosti po 240 h expozice



Obr. 37 Graf korozní odolnosti po 240 h expozice



Obr. 38 Ukázka puchýřování vzorku č. 12 a odlupování povlaku 3. nátěrového systému na hranách

Z hodnot uvedených v tabulce 29 je jasné, že nejlepší korozní odolnost má 4. nátěrový systém (polysiloxanový), na němž nedocházelo ke vzniku žádných defektů. U 1. a 2. nátěrového systému (alkydový) docházelo po 240 hodinách expozice ke vzniku puchýřků, ale pouze v okolí hran vzorků, kdežto po 480 hodinách expozice se puchýřky rozšířily i mimo hrany vzorků. Tím se zvýšilo množství jejich výskytu i velikosti a vzniklé puchýřky se potom začaly odlupovat. K odlupování povlaku v okolí hran, ne však zapříčiněné vznikem puchýřků, docházelo i u vzorků 3. nátěrového systému (polyuretanového).

4.6.2 Výsledky hodnocení korozní odolnosti podle metodiky OECD

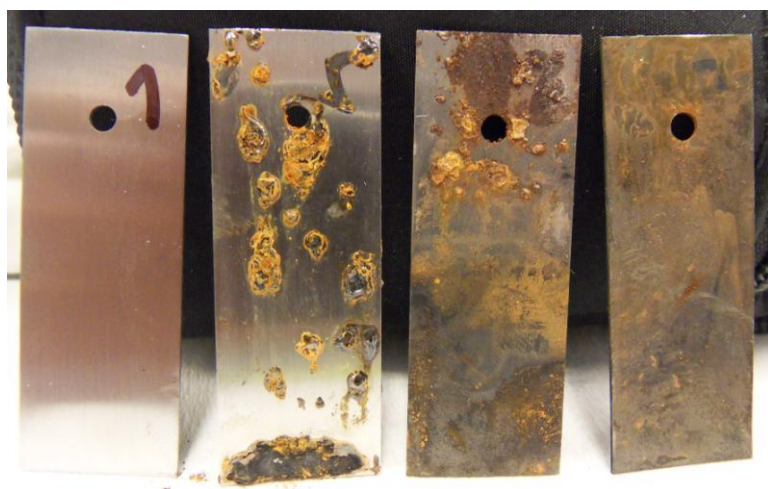
Vzorky byly po 7 dnech testování vyndány ze zkušební OECD cely a i se vzorkem č. 1 chemicky očištěny (mořeny) silikonovým kartáčkem v roztoku kyseliny chlorovodíkové a vody v poměru 1:1 s přidavkem inhibitoru koroze – urotropin o koncentraci 3,5 g/l po dobu 1 minuty. Po následujícím oplachu destilovanou vodou a etanolem byly usušeny proudem stlačeného vzduchu a vloženy na 24 hodin do exsikátoru pro ustálení. Po vytažení z exsikátoru byly zváženy na analytických vahách (hmotnost m_K) a potom byl vypočítán korozní úbytek oceli.

Tabulka 29 Hodnocení korozního úbytku oceli

Číslo vzorku	Hmotnost m_0 [g]	Hmotnost m_K [g]	Úbytek hmotnosti G [g]	Úbytek hmotnosti na plochu K [g/m ²]	Korozní úbytek slepého vzorku U_0 [μm]	Korozní úbytek U [μm/den]
1	3,583	3,581	0,002	1	0,127	0
2	3,469	3,433	0,036	18	2,292	0,309
3	3,488	3,406	0,082	41	5,223	0,728
4	3,461	3,419	0,042	21	2,675	0,364

Vzorce použité pro výpočet

- Úbytek hmotnosti: $G = m_0 - m_K$
- Úbytek hmotnosti na plochu: $K = \frac{G}{S}$,
kde P je plocha vzorku $S = 2 \cdot a \cdot b = 2 \cdot 0,05 \cdot 0,02 = 0,002 \text{ m}^2$
- Korozní úbytek slepého vzorku: $U = \frac{K}{\rho}$, kde ρ je hustota oceli ($= 7,85 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$)
- Korozní úbytek: $U = \frac{U_{0x} - U_{01}}{n}$, kde n je délka testování – počet dní



Obr. 39 Vzorky po 7 dnech testování podle OECD



Na základě vypočítaných korozních úbytků oceli se dá vyvodit, že nejvíce byl korozi poškozován vzorek testovaný v poloponoru, tedy vzorek č. 3, jehož korozní úbytek byl jednou takový jako korozní úbytek vzorku č. 4, který byl v roztoku chloridu sodného ponořen celý. Nejlepších výsledků, tedy nejmenšího korozního napadení, vykazoval vzorek č. 2, testovaný v parách roztoku.



4.7 Výsledky hodnocení chemické odolnosti povlaků

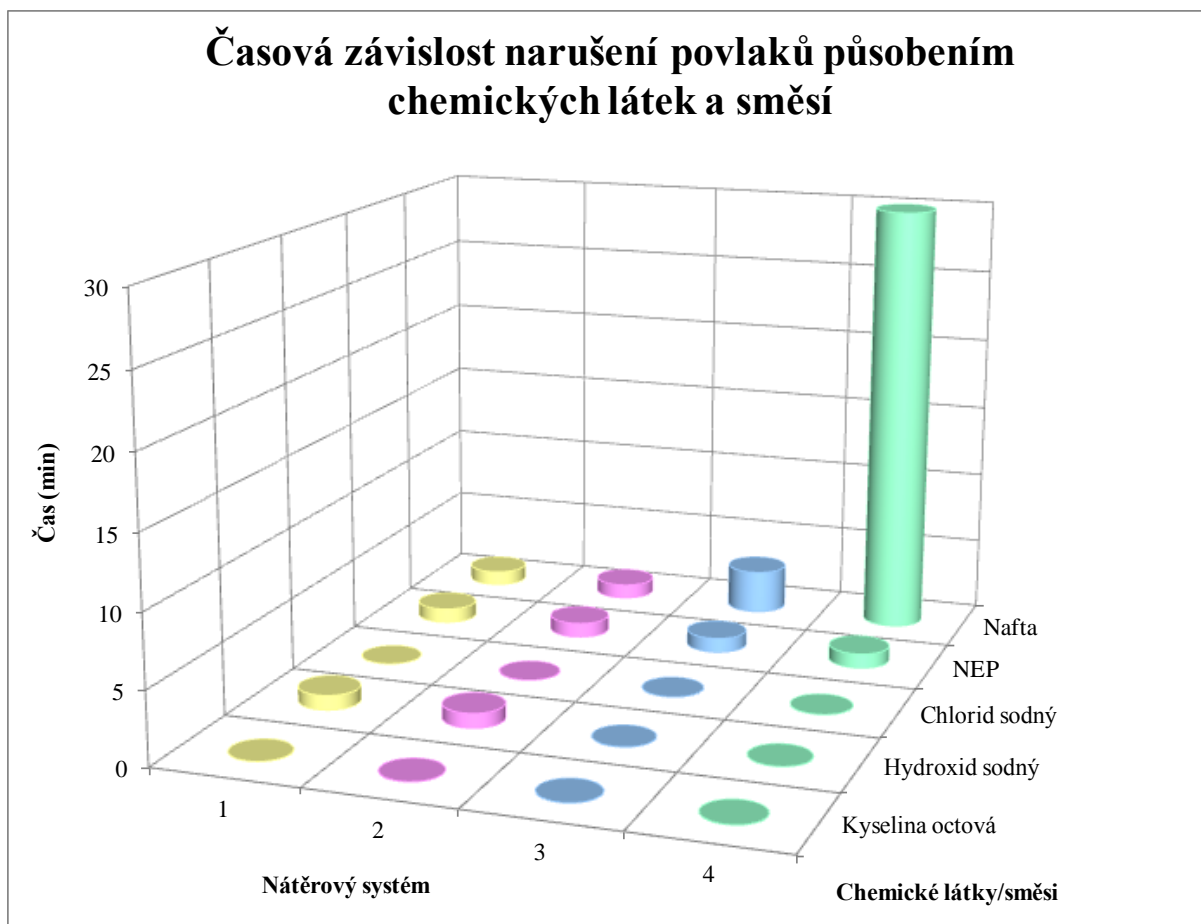
Způsobem popsaným v bodě 1.5.7 byly na vzorky č. 8–10, 18–20, 28–30 a 38–40 kapány následující chemické látky a směsi, a po stanoveném čase byl kontrolován případný vliv těchto chemikálií na nátěrové systémy. Symbol křížku značí čas, při němž došlo k narušení povlaku.

Tabulka 30 Hodnocení chemické odolnosti povlakových systémů

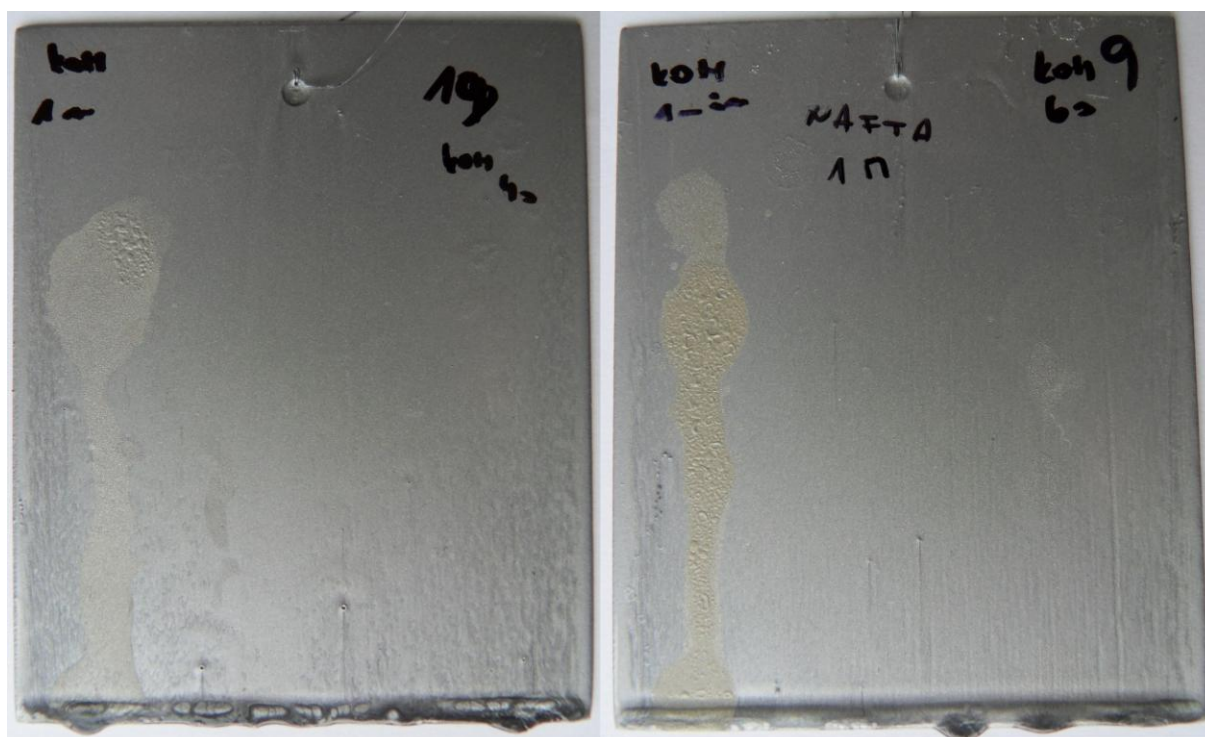
Použité medium	Časový interval (min)					
	1	3	5	10	20	30
Kyselina octová (10%)	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Hydroxid sodný (10%)	X					
	X					
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Chlorid sodný (5%)	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
N-ethyl-2-pyrrolidon (NEP)	X					
	X					
	X					
	X					
Solventní nafta	X					
	X					
	-	X				
	-	-	-	-	-	X

 1. nátěrový systém
 2. nátěrový systém

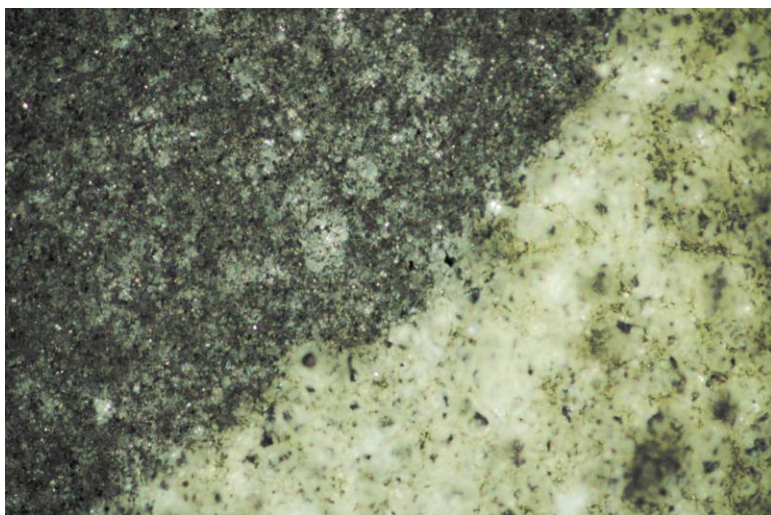
 3. nátěrová systém
 4. nátěrový systém



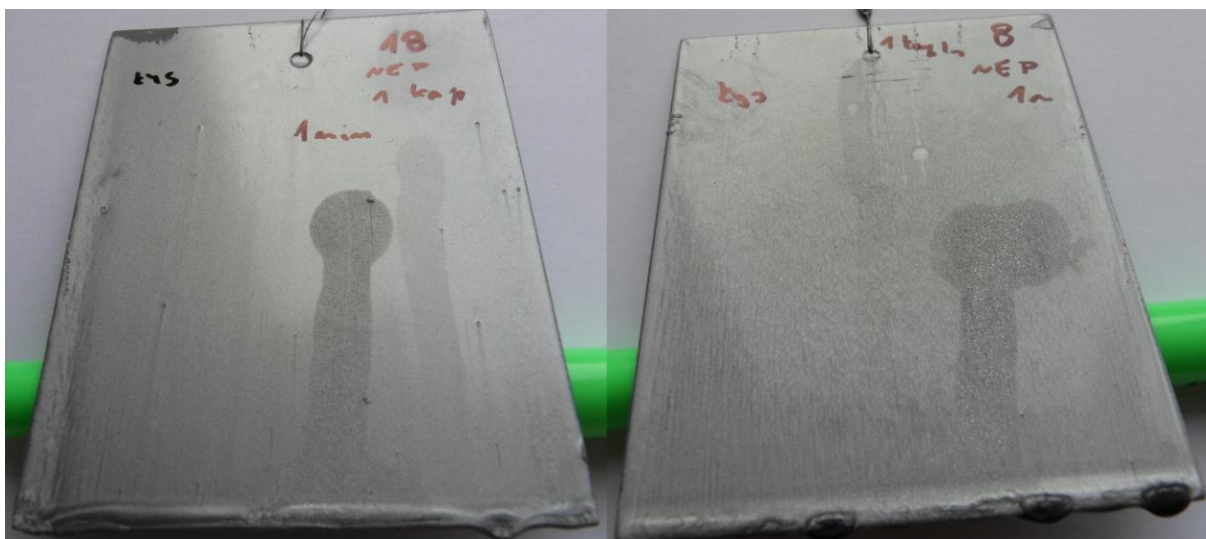
Obr. 40 Graf časové závislosti narušení povlaků působením chemických látek a směsí



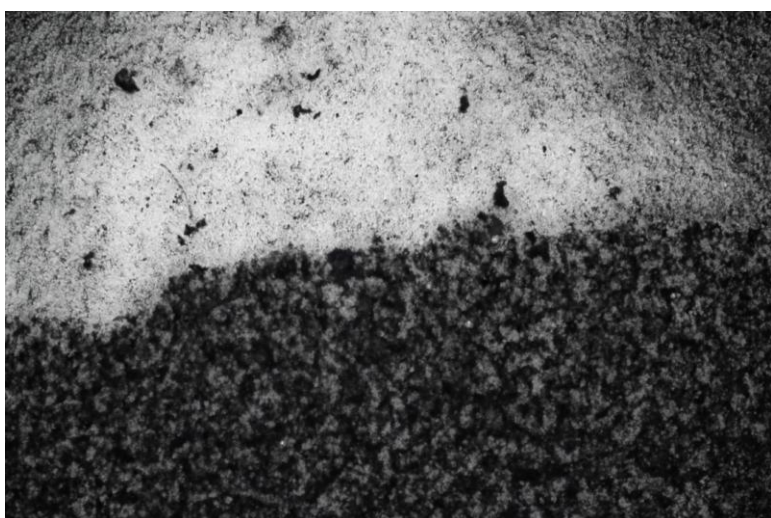
Obr. 41 Poškození alkydových nátěrů vzorku č. 9 (1. nátěrový systém) a vzorku č. 19 (2. nátěrový systém) roztokem 10% KOH po 1 minutě



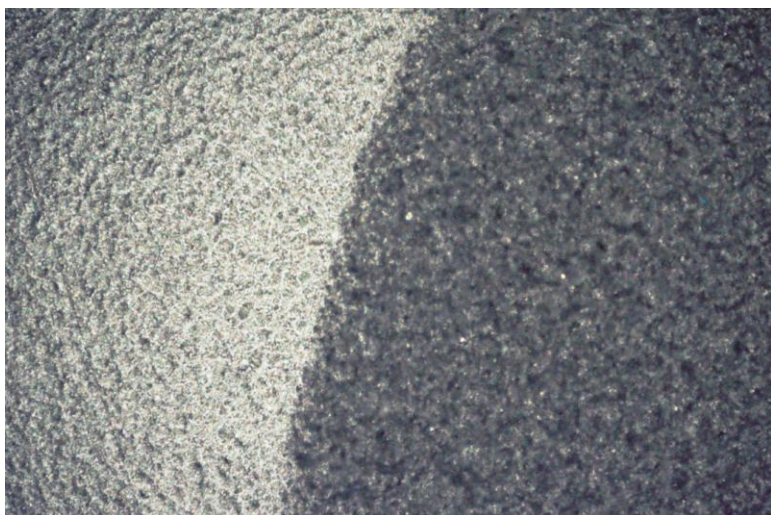
Obr. 42 Vliv 10% KOH na vzorek č. 19 po 1 minutě působení při zvětšení 10×



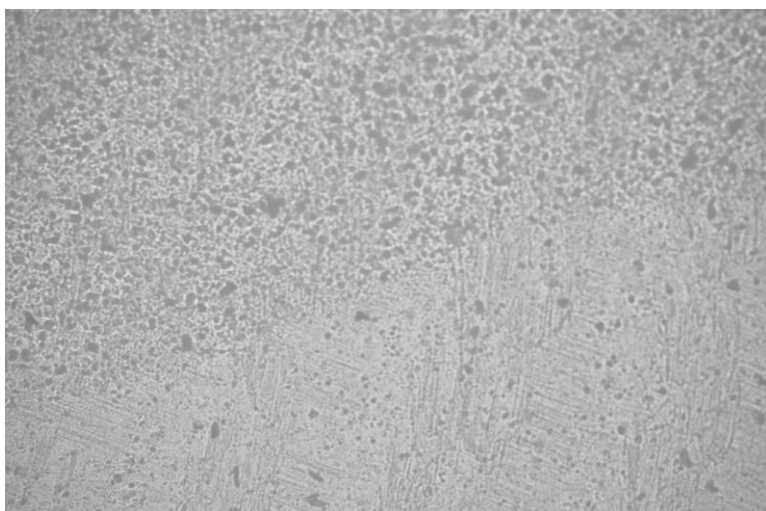
Obr. 43 Poškození alkydových nátěrů vzorku č. 8 (1. nátěrový systém) a vzorku č. 18 (2. nátěrový systém) roztokem NEP po 1 minutě



Obr. 44 Vliv NEP na vzorek č. 8 po 1 minutě působení při zvětšení 4×



Obr. 45 Vliv NEP na vzorek č. 18 po 1 minutě působení při zvětšení 4×



Obr. 46 Působení NEP na vzorku č. 28 (3. nátěrový systém) po 1 minutě při zvětšení 10×

Z tohoto hodnocení je vidět, že 10% roztok kyseliny octové, stejně jako 5% roztok chloridu sodného, nijak nenarušily povlakové systémy ani po 30 minutách testování.

To se už nedá říct o 10% roztoku hydroxidu sodného, který již po jedné minutě narušil povrch 1. a 2. nátěrového systému (obr. 41). Na povlacích 3. a 4. nátěrového systému ale na druhou stranu nezanechal žádnou známku poškození ani po 30 minutách.

Negativní vliv na všechny typy nátěrových systémů již po jedné minutě měl NEP, který u všech čtyř nátěrových systémů způsobil úplnou ztrátu lesku povlaků (obr. 43–46). Poslední působící chemikálií byla solventní nafta, která v různých časových intervalech poškodila všechny čtyři typy nátěrových systémů.

5 ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce byla nejdříve podrobně přiblížena problematika koroze kovů, následně hlavní používané způsoby ochrany proti jejímu znehodnocujícímu působení s důrazem na organické povlaky a posléze nejdůležitější část – nátěrové systémy se zaměřením na polysiloxanové povlaky ve srovnání s povlaky alkydovými, epoxidovými a polyuretanovými.

Cílem experimentální části bylo ověření korozní odolnosti uvedených čtyř nátěrových systémů po 240 a 480 hodinách expozice v neutrální solné mlze, a také vlivem působení vybraných chemikálií.

Před zahájením korozních zkoušek byla testována tloušťka a tvrdost povlaků, jejich přilnavost k podkladovému materiálu, a také barevný odstín. Tloušťka alkydových nátěrových systémů (1. a 2. nátěrového systému) byla 90–100 μm se stupněm tvrdosti 4, polyuretanového nátěrového systému (3. nátěrový systém) 230–240 μm se stupněm tvrdosti 5 a polysiloxanového nátěrového systému (4. nátěrový systém) 120 μm se stupněm tvrdosti 7. Přilnavost všech čtyř nátěrových systémů byla velmi dobrá – stupeň 0, neodcházelo k žádnému poškození čtverců vytvořených mřížek.

Po 240 hodinách expozice v solné mlze vykazoval nejvyšší korozní odolnost sledovaný polysiloxanový nátěrový systém, u nějž nedocházelo ke vzniku žádných defektů. U alkydových nátěrových systémů se v okolí hran vzorku objevovaly puchýřky a polyuretanový nátěrový systém se na hranách vzorku začal odlupovat.

Po 480 hodinách expozice v solné mlze vykazoval nejvyšší korozní odolnost opět polysiloxanový nátěrový systém – bez vzniku jakýchkoliv defektů. Puchýřky u alkydových nátěrových systémů se po delší době expozice rozšířily po celém prostoru vzorků a ještě se zvětšily. Odlupování povlaků z hran vzorků polyuretanových nátěrových systémů se po delší době expozice také zvětšilo.

Součástí hodnocení nátěrových systémů po expozici solnou mlhou bylo ověření změn přilnavosti a tvrdosti povlaků a stálosti barevného odstínu a lesku.

Po 240 hodinách expozice klesl stupeň přilnavosti alkydového nátěrového systému s univerzálním základním nátěrem (1. nátěrový systém) o 1 stupeň, kdežto u alkydového nátěrového systému se základním nátěrem obsahujícím zinkové částice (2. nátěrový systém) o 4 stupně – odlupování celé vytvořené mřížky. Je ale nutné zmínit, že docházelo nejdříve k odlupování vrchního alkydového nátěru a teprve potom základního nátěru obsahujícího zinkové částice, na rozdíl od nátěrového systému s univerzálním základním nátěrem (1. nátěrový systém), kde se všechny tři vytvořené vrstvy odlupovaly zároveň. Stupeň přilnavosti polyuretanového nátěrového systému nebyl vznikem defektů nijak ovlivněn a polysiloxanový nátěrový systém také nezaznamenal žádnou změnu v přilnavosti. Tvrdost povlaků a barevné odstíny všech čtyř nátěrových systémů se po 240 hodinách nezměnily. V případě alkydových nátěrových systémů došlo pouze k mírné ztrátě lesku, a to o 2 stupně.

Po 480 hodinách expozice se přilnavost alkydových nátěrových systémů k podkladu ještě snížila na stupeň 5, u polyuretanových i polysiloxanových nátěrových systémů zůstala přilnavost beze změn. Tvrdost alkydových nátěrových systémů se snížila o 1 stupeň, u ostatních nátěrových systémů zůstala stejná. Barevné odstíny všech čtyř nátěrových systémů byly stále tytéž a alkydové nátěrové systémy ztratily veškerý zbylý lesk.

Korozní odolnost nátěrových systémů proti působení roztoku kyseliny octové (10 %) a chloridu sodného (5 %) byla, vzhledem k tomu, že nedocházelo k žádnému narušení povlaků, vynikající. Na rozdíl od účinků hydroxidu sodného (10 %), který již po jedné minutě způsobil změnu barevného odstínu a vznik puchýřků alkydových nátěrových systémů. Polyuretanový a polysiloxanový nátěrový systém nebyl působením 10% roztoku NaOH nijak ovlivněn. Největší vliv na všechny nátěrové systémy měl N-ethyl-2-pyrrolidon, který u povlaků zapříčinil ztrátu lesku. Solventní nafta způsobovala v různých intervalech vznik skvrn u všech nátěrových systémů. U polysiloxanového nátěrového systému to bylo po nejdélejší expozici – až po 30 minutách.

Pokud je tedy polysiloxanový povlak kombinován se správným antikoročním základním povlakem s obsahem zinku, vykazuje, i přes to, že byl nanášen na povrch chemicky očištěný, a ne otryskaný jak doporučuje výrobce, nejlepší výsledky:

- Největší odolnost proti působení použitých chemikálií
- Nejlepší korozní odolnost v prostředí neutrální solné mlhy
- Nejvyšší tvrdost a přilnavost beze změn i po 480 hodinách expozice
- Žádné změny barevného odstínu a lesku v celém průběhu zkušebních testů

Výsledky diplomové práce jsou tedy v souladu s informacemi o polysiloxanových povlacích, které o nich dodavatelé ve svých propagačních materiálech tvrdí – že jde v dnešní době o nejodolnější nátěrovou hmotu vhodnou pro používání ve velmi agresivních podmínkách a to i přesto, že nebyla v rámci diplomové práce použita metoda očištění povrchu kovového podkladu otryskáním, ale chemickým mořením.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1 FRIDRICH, Rudolf. *Vodíková koroze a křehkost kovů*. 1. vyd. Praha: STNL, 1963, 79 s.
- 2 HRUBÝ, Vojtěch a Jaromír TULKA. *Koroze a ochrana materiálů*. 1. vyd. Brno: Vojenská akademie, 1997, 140 s.
- 3 MARTINEC, Jiří. Problematika koroze a korozivzdorných materiálů. *KONSTRUKCE: ODBORNÝ ČASOPIS PRO STAVEBNICTVÍ A STROJÍRENSTVÍ* [online]. 2009-07-06 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/problematika-koroze-a-korozivzdorny-ch-materialu/>
- 4 Ochrana kovů proti korozi. *MM: Průmyslové spektrum* [online]. 2001-05-09, roč. 2001, č. 5 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ochrana-kovu-protikorozi.html>
- 5 INTERNATIONAL PROTECTIVE COATINGS. *Polysiloxany*. 7 s. Dostupné z: http://www.perge.cz/web/_pdf/Polysiloxany-pdf.pdf
- 6 GROYSMAN, Alec. *Corrosion for everybody*. 1. vyd. New York: Springer, 2010, 368 s. ISBN 978-90-481-3476-2.
- 7 KALOUSKOVÁ, Hana a Kateřina KREISLOVÁ. Ekonomická a ekologická hlediska volby protikorozi ochrany. *KONSTRUKCE: ODBORNÝ ČASOPIS PRO STAVEBNICTVÍ A STROJÍRENSTVÍ* [online]. 2006-01-03, roč. 2005, č. 6, 2008-12-25 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/ekonomicka-a-ekologicka-hlediska-volby-protikorozi-ochrany/>
- 8 ČSN EN ISO 8044. *Koroze kovů a slitin – Základní termíny a definice*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 44 s.
- 9 BARTONÍČEK, Robert et al. *Koroze a protikorozi ochrana kovů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1966, 720 s.
- 10 TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005, 135 s. ISBN 80-214-3062-1.
- 11 Properties of Internal Pipe Corrosion. *SPER: Chemical Corporation* [online]. [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: http://www.sperchemical.com/html/corrosion_inhibition.html
- 12 NOVÁK, Pavel. *Korozní inženýrství* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, 2002, 130 s. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/s_iproje.htm
- 13 ROBERGE, Pierre R. *Handbook of corrosion engineering*. New York: McGraw-Hill, 2000, 1139 s. ISBN 00-707-6516-2.
- 14 MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Strojní fakulta, 2000, 150 s. ISBN 80-707-8953-0.
- 15 ČERNÝ, Miroslav et al. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. 1. vyd. Praha: STNL, 1984, 266 s.

-
- 16 ŠULC, Radek. *Koroze* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2008 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/CH_predn13-Ko.pdf
 - 17 ČSN ISO 9223. *Koroze kovů a slitin – Korozivní agresivita atmosféry*. Praha: Český normalizační institut, 1994, 16 s.
 - 18 TULKA, Jaromír a Milan RŮŽIČKA. *Koroze a stárnutí materiálu*. 1. vyd. Bno: Vojenská akademie, 1986, 84 s.
 - 19 HRSTKA, Jan a Bohumil MÍŠEK. *Koroze a povrchová úprava kovů*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1973, 208 s.
 - 20 CHOVANCOVÁ, Marta, Pavel FELLNER a Eugen ŠPIRK. *Základy korózie a povrchovej úpravy korózných materiálův*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2002, 269 s.
 - 21 KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 216 s. ISBN 80-708-2668-1.
 - 22 PICHLER, Jiří. *Užitá chemie*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1999, 254 s. ISBN 80-210-2016-4.
 - 23 HRUBÝ, V., TULKA, J., KADLEC, J. *Povrchové technologie*. 1. vyd. Brno: Vojenská akademie, 1995. 120 s.
 - 24 DORAZIL, Eduard a Jan HRSTKA. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1985, 330 s.
 - 25 LUKAVSKÝ, Ladislav. *Nátěrové hmoty a přípravky pro povrchové úpravy*. 1. vyd. Praha: Merkur, 1985, 272 s.
 - 26 KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. *Technologie nátěrových hmot I: pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004, 328 s. ISBN 80-719-4691-5.
 - 27 Syntetické nátěrové hmoty. In: [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.chem-bar.cz/naterove-hmoty/synteticke-naterove-hmoty/>
 - 28 BARVY A LAKY TELURIA s.r.o. *INDUSTROL S 2013 UNIVERZÁL: Katalogový list*. 2009-12-14. Dostupné z: <http://www.bal.cz/zbozi/ww-industrol-univerzal/1q>
 - 29 Epoxidová pryskyřice. In: [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Epoxidová_pryskyřice
 - 30 CHEDO s.r.o. *REZISTOL ZÁKLADNÍ BARVA E-ZN: Katalogový list*. 2002-03-03. Dostupné z: <http://www.chedo.cz/kat/34-REZISTOL-ZAKLADNI-BARVA-E-ZN-215/?PHPSESSID=46020678a7bb855eed4f9e8fbf8b6e15>
 - 31 DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
 - 32 MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.

-
- 33 JARUŠEK, Jaroslav. *Technologie nátěrových hmot*. 1. vyd. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1987, 189 s.
- 34 HEMPEL (CZECH REPUBLIC) s.r.o. *HEMPATHANE TOPCOAT 55210: Katalogový list*. Duben 2010. Dostupné z: [http://www.hempel.cz/internet/inecz_datasheet.nsf/vALLBYDOCID2/B717B14984FD169FC1256C6700559347/\\$file/PDS_55210_CZ.pdf](http://www.hempel.cz/internet/inecz_datasheet.nsf/vALLBYDOCID2/B717B14984FD169FC1256C6700559347/$file/PDS_55210_CZ.pdf)
- 35 BARIKANI, Mehdi, Azam RAHIMI a AIAZI. Polysiloxanes: Sythesis and Purification of Silicon Obtained from Irans Domestic Micronized Sand. *IRANIAN POLYMER JOURNAL* [online]. 1998-01-12 [cit. 2012-05-06]. ipjE98070206. Dostupné z: <http://journal.ippi.ac.ir/search.php>
- 36 MOWRER, Norman R. POLYSILOXANE COATINGS INNOVATIONS. [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <https://www.corrdefense.org/Academia Government and Industry/T-63.pdf>
- 37 Polysiloxany (silikony). In: [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://procesniinzenyrstvi.wz.cz/2_rocnik/polymery_II/Polysiloxany.pdf
- 38 GRAVERSEN, Erik. Comparison between epoxy polysiloxane and acrylic polysiloxane finishes. In: *NACE INTERNATIONAL: CORROSION CONFERENCE & EXPO* [online]. 2007. vyd. [cit. 2012-04-21]. 07008. Dostupné z: [http://www.hempel.dk/internet/ineusc.nsf/bfd5238dc94cb75c0c256c0e000bf934/f3ae502f4f10f43ac1257330005dc0e7/\\$FILE/Comparison between epoxy polysiloxane and acrylic polysiloxane finishes.pdf](http://www.hempel.dk/internet/ineusc.nsf/bfd5238dc94cb75c0c256c0e000bf934/f3ae502f4f10f43ac1257330005dc0e7/$FILE/Comparison between epoxy polysiloxane and acrylic polysiloxane finishes.pdf)
- 39 COLOR WEST s.r.o. *2K-Polysiloxanová barva vysokosušinnová PS01: Katalogový list*. Dostupné z: <http://www.colorwest.cz/wp-content/uploads/2011/10/PS01-technick%C3%BD-list.pdf>
- 40 HOCHMANNOVÁ, Libuše. Antikoroziční nátěrové hmoty plněné listkovým zinkem. *KONSTRUKCE: ODBORNÝ ČASOPIS PRO STAVEBNICTVÍ A STROJÍRENSTVÍ* [online]. 2008-03-11, roč. 2008, č. 1, 2009-01-12 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/antikorozni-naterove-hmoty-plnene-listkovym-zinkem/>
- 41 SVOBODA, Miroslav. Nátěry z vysokosušinných a bezrozpuštědlových nátěrových hmot. *Povrcháři* [online]. roč. 2011, č. 2 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201102_povrchari.pdf
- 42 ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 24 s.
- 43 Injektor. In: *WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Injektor>
- 44 Classification procedures, test methods and criteria relating to substances of class 8. In: [online]. [cit. 2012-04-21]. Section 37. Dostupné z: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev4/English/04E_part3.pdf
- 45 KONSTRUKČNÍ OCELI K TVÁŘENÍ. In: [online]. 2006-07-27 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://referaty-seminarky.cz/konstrukcni-oceli-k-tvareni/>
- 46 BARVY A LAKY TELURIA s.r.o. *PRAGOPRIMER S 2000 STANDARD: Katalogový list*. 2009-11-05. Dostupné z: <http://www.barvy.cz/zbozi/891-pragoprimer-standard/>

-
- 47 HEMPEL (CZECH REPUBLIC) s.r.o. *HEMPADUR ZINC 17360: Údajový list*. Duben 2012. Dostupné z: [http://www.hempel.cz/internet/inecz_datasheet.nsf/vALLBYDOCID2/D88D909DAB4FF0C3C1256C6700559333/\\$file/PDS_17360_CZ.pdf](http://www.hempel.cz/internet/inecz_datasheet.nsf/vALLBYDOCID2/D88D909DAB4FF0C3C1256C6700559333/$file/PDS_17360_CZ.pdf)
- 48 HEMPEL (CZECH REPUBLIC) S.R.O. *HEMPADUR ZINC 17360: Product information*. Listopad 2010. Dostupné z: [http://www.hempel.cz/Internet/IneCZC.nsf/8fef8e51f0b0712a0c256bf8007082b8/21802237fb23361dc12577e5003b6451/\\$FILE/PIS_17360_CZ.pdf](http://www.hempel.cz/Internet/IneCZC.nsf/8fef8e51f0b0712a0c256bf8007082b8/21802237fb23361dc12577e5003b6451/$FILE/PIS_17360_CZ.pdf)
- 49 HEMPEL (CZECH REPUBLIC) S.R.O. *HEMPADUR MASTIC 45880: Údajový list*. Březen 2011. Dostupné z: http://www.eshop-barvy.cz/soubory/HEMPADUR_MASTIC.pdf
- 50 HEMPEL (CZECH REPUBLIC) S.R.O. *HEMPADUR MASTIC 45880: Product information*. Listopad 2010. Dostupné z: [http://www.hempel.co.uk/internet/ineukc.nsf/8fef8e51f0b0712a0c256bf8007082b8/db2a8a54364449f8c12577d50058b9ae/\\$FILE/PIS_45880_GB.pdf](http://www.hempel.co.uk/internet/ineukc.nsf/8fef8e51f0b0712a0c256bf8007082b8/db2a8a54364449f8c12577d50058b9ae/$FILE/PIS_45880_GB.pdf)
- 51 MALEK, Miroslav a Jiří TRNKA. *Zkoušení nátěrových hmot a nátěrů*. 1. vyd. Praha: STNL, 1959, 114 s.
- 52 ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 13 s.
- 53 ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 16 s.
- 54 ČSN 673075. *Stanovení povrchové tvrdosti tužkami*. Praha: Český normalizační institut, 1991, 8 s.
- 55 ČSN ISO 4628-1. *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu: Část 1: Obecný úvod a systém klasifikace*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 8 s.
- 56 ČSN EN ISO 2812-4. *Nátěrové hmoty – Stanovení odolnosti kapalinám: Část 4: Kapková metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 7 s.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

HDP	Hrubý domácí produkt	-
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj	-
ΔG	změna Gibbsova energie	J
Me	kov	-
O_{ads}	adsorbovaný kyslík	-
z	mocenství kovu (oxidační číslo)	-
P-B	Pilling-Bedworthův poměr	-
ρ	hustota	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
D	depolarizátor	-
F	Faradayova konstanta (96 494)	$\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$
E	elektroodový potenciál	V
E_r	rovnovážný potenciál	V
E^0	standardní potenciál	V
E_{kor}	smíšený potenciál	V
T	termodynamická teplota	K
a	aktivita iontů	$\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$
η	přepětí	V
τ	doba ovlhčení	hod/rok
$\frac{m}{\tau}$	množství zkorodovaného kovu za čas	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
I	proud	A
j	proudová hustota	$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$
j_A	anodická proudová hustota	$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$
j_K	katodická proudová hustota	$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$
j_0	výměnná proudová hustota	$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$
j_{kor}	korozní proudová hustota	$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$
α	koeficient přenosu náboje	-
R	univerzální plynová konstanta (8,314)	$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
v_K	rychlost koroze	$\mu\text{m}/\text{rok}$
Δm_s	hmotnostní úbytek	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ za čas
m_0	hmotnost před korozní reakcí	g
m_K	hmotnost po korozní reakci	g
S	plocha povrchu kovu	m^2
d	šířka bodu (důlku) vzniklého korozi	μm
L	hloubka boku (důlku) vzniklého korozi	μm
NH	nátěrová hmota	-
1-K	jednosložková NH	-
2-K	dvousložková NH	-
GHS	Globálně harmonizovaný systém klasifikace a označování chemikálií	-
PUR	polyuretanová nátěrová hmota	-
VOC	těkavé organické sloučeniny	-
RAL	říšský výbor pro dodací podmínky	-
UV	ultrafialové záření	nm
NEP	N-ethyl-2-pyrrolidon	-
G	úbytek hmotnosti	g
K	úbytek hmotnosti vztažený na plochu	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$
U	korozní úbytek	μm