



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 VYBRANÝCH POVRCHOVÝCH ÚPRAV VE VODNÉM PROSTŘEDÍ S OBSAHEM CHLORIDŮ

CORROSION RESISTANCE OF SELECTED COATINGS IN AQUEOUS ENVIRONMENTS  
CONTAINING CHLORIDES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VERONIKA KULHANOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROMÍR TULKA, CSc.

BRNO 2010



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

## Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce: **FCH-BAK0500/2009** Akademický rok: **2009/2010**  
Ústav: Ústav fyzikální a spotřební chemie  
Student(ka): **Veronika Kulhanová**  
Studijní program: Chemie a chemické technologie (B2801)  
Studijní obor: Spotřební chemie (2806R002)  
Vedoucí práce **Ing. Jaromír Tulka, CSc.**  
Konzultanti:

### Název bakalářské práce:

Korozní odolnost vybraných povrchových úprav ve vodném prostředí s obsahem chloridů

### Zadání bakalářské práce:

Literární rozbor problematiky vzájemné interakce vybraných povrchových úprav a vodného prostředí s obsahem chloridových iontů. Laboratorní urychlené testy korozní odolnosti povrchových úprav typu fosfát – prášková nátěrová hmota. Porovnání výsledků laboratorního korozního testu při ponoru a výsledků zkoušky v solné mlze.

### Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2010

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

-----  
Veronika Kulhanová  
Student(ka)

-----  
Ing. Jaromír Tulka, CSc.  
Vedoucí práce

-----  
prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2009

-----  
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá hodnocením parametrů kvality vybraných povrchových úprav ocelového povrchu z hlediska ochrany proti korozi. K nejvýznamnějším parametrům patří tloušťka povlaku, přilnavost k podkladovému materiálu, tvrdost povlaku, výskyt defektů v povlaku a korozní odolnost v neutrálním vodném prostředí s obsahem chloridů.

## **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, the presence of defects in the coating and corrosion resistance in the neutral aqueous environments containing chlorides.

Klíčová slova:

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

Key words:

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

KULHANOVA, V. *Korozní odolnost vybraných povrchových úprav ve vodném prostředí s obsahem chloridů*. Brno: Vysoké učení technického v Brně, Fakulta chemická, 2010. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaromír Tulka, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje byly správně a úplně citovány. Bakalářská 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 bakalářské práce panu Ing. Jaromíru Tulkovi, CSc. za odborné vedení, řadu cenných rad, za jeho trpělivost, vstřícnost a čas. Chtěla bych také poděkovat vedení a zaměstnancům firem TOKOZ, a.s. a Color Brno, s.r.o. za poskytnutí materiální pomoci a experimentálního zázemí. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří se mnou sdíleli své zkušenosti a bez jejichž účasti by tato práce nemohla vzniknout.*

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>8</b>
2.1	Koroze.....	8
2.1.1	Technicko-ekonomický problém koroze .....	8
2.1.2	Terminologie (výběr).....	8
2.1.3	Jevové formy koroze .....	10
2.1.3.1	<i>Rovnoměrné formy</i> .....	10
2.1.3.2	<i>Lokální formy</i> .....	10
2.1.3.3	<i>Další formy</i> .....	10
2.1.4	Korozní proces (vnitřní mechanismus).....	11
2.1.5	Koroze ve vodném prostředí .....	11
2.1.5.1	<i>Mechanismus a kinetika procesu</i> .....	11
2.1.5.2	<i>Vliv stimulujících činitelů</i> .....	15
2.1.5.3	<i>Stimulace procesu chloridovými ionty</i> .....	15
2.2	Ochrana proti korozi .....	16
2.2.1	Systém ochrany proti korozi .....	16
2.2.1.1	<i>Předúpravy materiálů</i> .....	16
2.2.2	Protikorozní povlaky .....	17
2.2.2.1	<i>Anorganické povrchové úpravy</i> .....	17
2.2.2.2	<i>Organické povlaky (nátěrové systémy)</i> .....	18
2.3	Práškové nátěrové hmoty .....	24
2.3.1	Definice.....	24
2.3.2	Výroba .....	24
2.3.3	Nanášení.....	24
2.3.4	Druhy .....	25
2.3.5	Využití .....	25
2.3.6	Ekologie .....	25
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>26</b>
3.1	Použitý podkladový materiál.....	26
3.2	Fosfátovací proces .....	26
3.3	Práškové nátěrové hmoty (PNH).....	28
3.4	Technologie zhotovení zkušebních povlaků .....	29
3.5	Zkoušky v umělých atmosférách .....	30
3.5.1	<i>Klimatizační zkušební komora</i> .....	30
3.6	Testované znaky jakosti .....	32
3.6.1	<i>Tloušťka nátěru</i> .....	32
3.6.2	<i>Přilnavost nátěru</i> .....	33
3.6.3	<i>Tvrdość nátěru</i> .....	35
3.6.4	<i>Hodnocení korozní odolnosti</i> .....	35
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>36</b>
4.1	Výsledky tloušťky nátěrů .....	36
4.2	Výsledky přilnavosti nátěrů.....	36
4.3	Výsledky tvrdosti nátěrů .....	41
4.4	Výsledky korozní odolnosti vybraných povrchových úprav.....	42

4.5	Výsledky stékání koroze z okrajů vzorků .....	42
4.6	Ponorová zkouška v roztoku chloridu sodného .....	44
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>48</b>

# 1 ÚVOD

Ochranu kovových výrobků proti znehodnocování působením přírodních podmínek (atmosférické vlivy, působení vody a prostředí půdy) a technologických prostředí (vysoké teploty a tlaky, kyseliny, roztoky solí apod.), 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 daný materiál, zvolí se jiný, vhodnější. To se ale nemusí vyplatit po finanční stránce. Úprava korozního prostředí se používá především v oblasti dočasné ochrany výrobků při skladování a přepravě. Nejprínosnější je tedy aplikace ochranných povlaků. <sup>1,2</sup>

Požadavek na životnost výrobku včetně jeho povrchové úpravy je jedním z rozhodujících faktorů ovlivňujících výběr technologie povrchové úpravy. Vhodně zvolenou povrchovou úpravou lze docílit požadovaných vlastností, jako jsou například odolnost proti otěru, vysoká kluznost, nelepivost povrchu, izolační vlastnosti nebo naopak vodivost povrchu, vysoká chemická odolnost, odolnost proti vysokým teplotám, zdravotní nezávadnost a samozřejmě odolnost proti korozi a estetický vzhled. Řadu možností pro ochranu kovového povrchu poskytují organické povlaky. Nejrozšířenější jsou povlaky z nátěrových hmot – podíl technologií organických povlaků v celkovém objemu povrchových úprav je cca 90 %. <sup>3,4</sup>

Z hlediska ekologie se stále více používají práškové nátěrové hmoty (označované jako PNH) s obsahem minima organických rozpouštědel. S výrobky opatřenými práškovým povlakem na bázi PNH se dnes setkáváme na každém kroku. Povlakem PNH se opatřují výrobky tzv. bílého programu (pračky, ledničky, sporáky), kovový nábytek, konstrukce a bytové doplňky, trezory, zámky, kryty spotřební elektroniky a výpočetní techniky, jízdní kola, sportovní nářadí a posilovací stroje, kancelářské a studijní pomůcky, drobné předměty, se kterými se běžně setkáváme. Je běžné lakovat i díly pro automobilový průmysl, disky kol, kovové části interiéru, řada komponent na motocykl, radiátory, hasicí přístroje, dopisní schránky, osvětlovací tělesa a lampy, pouzdra na cigarety a tabák, elektrorozvodné skříně, kovové pohledy, armatury a mnoho dalších. <sup>5</sup>

Povrchové úpravy se často testují pomocí urychlené korozní zkoušky v korozních komorách, kde jsou povlaky vystaveny účinkům zvýšené teploty, vysoké relativní vlhkosti a přítomnosti stimulantů koroze (chloridy, sírany, aj.). Pro řadu povrchových úprav jsou požadavky urychlených korozních zkoušek specifikovány jak výrobci, tak v technických normách. Korozní zkoušky nátěrů v solné mlze sice nevystihují komplexní působení jednotlivých činitelů, přesto tyto zkoušky vytvářejí první názor na nátěrový systém i na to, co je možné od něj očekávat. <sup>6,7</sup>

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Koroze

#### 2.1.1 Technicko-ekonomický problém koroze

Koroze kovů je stále závažnějším národohospodářským problémem v celém světě. Ruku v ruce s technickým pokrokem, vedoucím k vývoji nových technologií a technologických prostředí, totiž jdou i korozní problémy. Výkony strojů se zvyšují uplatněním nových, většinou však agresivních médií. Stoupají požadavky na bezporuchovost a provozní spolehlivost strojírenských výrobků, protože narušení jejich funkce může mít vážné následky v národním hospodářství i občanském životě. Vzhledem k tomu, že koroze vážně postihuje různé oblasti průmyslového rozvoje a působí značné škody, věnují státní orgány značnou pozornost problémům spojeným s korozi a zejména s ochranou proti korozi.

Český termín "tunelování", který se v novém významu objevil v devadesátých letech minulého století, si všichni spojují s nežádoucí činností "lidského činitele". "Tunelovat", ve smyslu škodit národnímu hospodářství, mohou taktéž přírodní živly. Škody způsobené dvěma z nich lze ale do jisté míry snížit cílevědomými postupy uplatněnými společností v praxi. Jedním z těchto živlů je oheň a druhým, v této práci podstatným je koroze. Ta má nepříznivý vliv na funkci většiny výrobků a konstrukcí. Aby nebyla jejich funkce po dobu požadované životnosti nepřipustně zhoršována, používá se protikorozní ochrana, která může výrazně zmírnit, nebo zcela vyloučit korozní napadení materiálu. Protikorozní ochranu tvoří celý soubor technologických opatření od výběru a volby základních konstrukčních materiálů, úpravy provozních podmínek, až po povrchové úpravy, odolné klimatickým a korozním vlivům. Všechna tato technologická opatření by měla zajistit funkčnost zařízení, spolehlivost, životnost a snížení rizik havárií. Správný výběr protikorozní ochrany vyplývá ze zhodnocení všech technických, ekonomických a ekologických hledisek. Při respektování obecně platných zákonitostí o korozním chování materiálů, dodržení technologických postupů a kontroly kvality práce nebude docházet k takovému selhání protikorozní ochrany.

Požadovaná životnost protikorozní ochrany je významným hlediskem a úzce souvisí s její ekonomikou, jelikož finanční ztráty způsobené korozi materiálů se pohybují mezi 3–4 % hrubého domácího produktu. Nelze opomenout ani to, že účinnost protikorozní ochrany strojírenských výrobků se v obchodních vztazích stále častěji uplatňuje jako jeden z rozhodujících ukazatelů při hodnocení jejich jakosti. Každý nedostatek tak způsobuje našemu hospodářství těžkosti, protože snižuje prodejnost výrobků na zahraničních trzích. <sup>2,8</sup>

#### 2.1.2 Terminologie (výběr)

##### **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 prostředí**

Prostředí obsahující jedno nebo více korozních činidel.

##### **Korozní činidlo**

Látka, která ve styku s daným kovem vyvolá korozi.

**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 korozí.

**Korozní poškození**

Korozní projev, který způsobuje zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami.

**Korozní produkt**

Látka, která vznikla v důsledku koroze.

**Okuj**

Pevná vrstva korozních produktů vzniklá na kovu za vysoké teploty.

**Rez**

Viditelné korozní produkty skládající se převážně z hydratovaných oxidů železa.

**Hloubka průniku koroze**

Vzdálenost mezi bodem na povrchu kovu napadeného korozí a původním povrchem kovu.

**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.

**Korozní odolnost**

Schopnost kovu udržet provozuschopnost v daném korozním systému.

**Korozní agresivita**

Schopnost prostředí vyvolávat korozi kovu v daném korozním systému.

**Pravděpodobnost koroze**

Kvalitativní (a)nebo kvantitativní vyjádření očekávaného korozního projevu v určeném korozním systému.<sup>9</sup>

## 2.1.3 Jevové formy koroze

### 2.1.3.1 Rovnoměrné formy

#### Rovnoměrná koroze

Celková koroze probíhající téměř stejnou rychlostí na celém povrchu při působení korozního prostředí, např. atmosférických vlivů, vody, roztoků kyselin na železné i jiné kovy. Projevuje se *hmotnostním úbytkem* korodujícího kovu  $\Delta m_s$ , který se vztahuje na jednotku plochy [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$  za čas]:

$$\Delta m_s = \frac{m_0 - m_k}{S}, \quad 1)$$

kde:  $m_0$  – hmotnost kovu před korozní interakcí [g],  
 $m_k$  – hmotnost kovu po korozní interakci a odstranění korozních produktů [g],  
 $S$  – plocha povrchu korodujícího kovu [ $\text{m}^2$ ].

Rovnoměrné koroze se rozlišují především podle toho, zda vznikají rozpustné nebo nerozpustné korozní produkty.

### 2.1.3.2 Lokální formy

#### Lokální koroze

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

#### Důlková koroze

Příčinou důlkové koroze je lokální zvýšení korozní aktivity povrchu, tvořící epicentra korozního procesu. Napadána je pouze malá část povrchu, ale proniká do větší hloubky.

#### Bodová koroze

Vzniká jako důlková koroze, ale liší se od ní rozměrovými parametry. Rozlišení obou lokálních forem se provádí porovnáním hloubky průniku korozního napadení  $P$  a průměrem bodu či důlku  $D$ . Je-li  $P < D$ , je korozní forma důlková, opačně pak koroze bodová.

### 2.1.3.3 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. Na kovu bez povlaku se puchýřování může vyskytnout vlivem nadměrného tlaku vodíku obsaženého uvnitř.

#### Odlupování

Oddělení a odtržení části povrchové vrstvy.

#### Ztráta lesku

Vznik skvrn, nebo změna barvy kovového povrchu způsobená tvorbou tenké vrstvy korozních produktů. <sup>9, 10</sup>

## 2.1.4 Korozní proces (vnitřní mechanismus)

### Koroze chemická

Samovolná vzájemná interakce kovu s korozním prostředím, při které dochází jen k chemickým reakcím – oxidace kovu a zároveň redukce oxidující složky prostředí. Vyskytuje se při působení suchých plynů – elektricky nevodivých prostředí (vzduch, produkty hoření aj.) na kovové materiály, na jejichž povrchu se oxidující složky adsorbují. Adsorbovaná vrstva přechází ve vrstvičku oxidu.

### Koroze elektrochemická

Samovolná vzájemná interakce kovu s okolním elektrolyticky vodivým prostředím (atmosféra, voda, roztoky kyselin, zásad, solí aj.), při kterém oxidace kovu (katoda) a redukce oxidační složky korozního prostředí (anoda) probíhají současně.

### Atmosférická koroze

Korozní děj probíhá pod velmi tenkou vrstvou vody, nasycené rozpustnými složkami zemské atmosféry, hlavně oxidem siřičitým, oxidem uhelnatým, amoniakem, chlorovodíkem a aerosoly, při teplotě okolí. Tento vodní film vzniká kondenzací vodních par obsažených ve vzduchu. Jeho vznik je tedy podmíněn relativní vlhkostí, teplotou a znečištěním vzduchu. <sup>11</sup>

### Mořská koroze

Hlavní složkou korozního prostředí je mořská voda, která oproti sladké vodě obsahuje mnoho solí ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  atd.). <sup>9</sup>

## 2.1.5 Koroze ve vodném prostředí

Dochází ke vzniku elektrochemických korozních článků, což má za následek rozrušení kovů. Tento elektrochemický pochod probíhá jen za přítomnosti elektrolytu – atmosféra, voda, roztoky kyselin, zásad, solí, ap.

Probíhá dvěma na sobě závislými reakcemi – anodovou a katodovou. Anodová reakce odpovídá oxidaci kovů, tj. korozi. Při ní přecházejí do elektrolytu z anody hydratované ionty kovu, tím však vzniká v kovu přebytek elektronů, které nemohou přejít do roztoku. Kov je tedy nabit záporně, roztok kladně. Toto elektrické rozvrstvení způsobuje vznik vzájemně přitažlivých sil a tím zbrzdění průběhu koroze. Takový stav se označuje jako polarizace. Aby rozpouštění mohlo dále nerušeně pokračovat takovou rychlostí, jako se děje ve skutečnosti, je třeba zrušit přitažlivé síly odstraněním elektronů na katodě – depolarizací.

Koroze je tím rychlejší, čím větší je rozdíl elektromotorických sil obou kovů. V průběhu koroze se mění i složení elektrolytu. Jeho pH se během korozního pochodu zvětšuje. To způsobí, že přebytek kovových iontů tvoří nerozpustné sloučeniny, které se pak usazují na místě styku anody s katodou na povrchu kovu. Na části povrchu se vytvoří vrstva v podobě sedlin, která má v některých případech i ochranné vlastnosti, takže zpomaluje další průběh koroze. <sup>12</sup>

### 2.1.5.1 Mechanismus a kinetika procesu

Základní příčinou koroze kovů je termodynamická nestabilita kovu v korozním prostředí při daných podmínkách. Ponoří-li se kov do vodného prostředí, stává se elektrodou. Potenciál  $E$  [V] této kovové elektrody má charakter termodynamické veličiny a je závislý na změně *Gibbsovy energie*  $\Delta G$  [ $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ ] při průběhu elektrodové reakce:

$$\Delta G = z \cdot F \cdot E, \quad 2)$$

kde:  $z$  – oxidační číslo vznikajícího kovového iontu (počet nábojů vyměněných v reakci),  
 $F$  – Faradayova konstanta, 96 494 [C·mol<sup>-1</sup>],  
 $E$  – potenciál kovové elektrody [V].

Pro každou rovnováhu elektrochemické reakce existuje její rovnovážný potenciál  $E_r$  [V]. Je-li hodnota potenciálu  $E$  rovna hodnotě potenciálu rovnovážného  $E_r$ , je reakce v rovnováze, probíhá oběma směry stejnou rychlostí.

Rovnovážený potenciál  $E_r$  kovu závisí na jeho elektrochemické (termodynamické) ušlechtilosti, vyjádřené standardním potenciálem  $E^0$  a na aktivitě iontů kovu přítomných v roztoku podle *Nernstova vztahu*:

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

kde:  $R$  – molární plynová konstanta, 8,314 [J·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup>],  
 $T$  – teplota [K],  
 $a_{Me}^{z+}$  – aktivita kovových iontů v roztoku [mol·dm<sup>-3</sup>].

Je-li potenciál elektrody  $E$  rozdílný od hodnoty rovnovážného potenciálu  $E_r$ , pak jejich rozdíl:

$$\eta = E - E_r, \quad 4)$$

kde:  $\eta$  – přepětí [V].

Směr reakce:  $\eta > 0$  – reakce probíhá ve směru oxidace.

$\eta < 0$  – reakce probíhá ve směru redukce.

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

$$E_r = E^0 + \frac{R \cdot T}{2,3 \cdot z \cdot F} \cdot \log \frac{a_{ox}}{a_{red}}, \quad 5)$$

kde v logaritmickém členu je poměr aktivit oxidované ( $a_{ox}$ ) a redukované formy ( $a_{red}$ ) reagující látky.

Kovy s elektrodovým potenciálem:

- -3,0 V až -0,4 V – neušlechtilé, se zvýšenou termodynamickou nestabilitostí.
- -0,4 V až 0 V – nestabilní.
- 0 V až 0,8 V – poloušlechtilé, se zvýšenou termodynamickou odolností.
- 0,8 V až 1,2 V – ušlechtilé, s vysokou stabilitou.
- 1,5 V < – zcela termodynamicky stabilní.

V elektrochemických úvahách odpovídá elektrický proud ve smyslu *Faradayova zákona* rychlosti reakce:

$$\frac{m}{\tau} = \frac{M \cdot I}{z \cdot F}, \quad 6)$$

kde:  $\frac{m}{\tau}$  – rychlost reakce, tj. množství zkorodovaného kovu  $m$  za jednotku času  $\tau$  [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  
 $I$  – proud [A],  
 $M$  – relativní atomová hmotnost kovu nebo molekulová hmotnost látky [g],  
 $z$  – oxidační číslo vznikajícího kovového iontu (počet nábojů vyměněných v reakci),  
 $F$  – Faradayova konstanta, 96 494 [ $\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$ ].

Proud vztážený na jednotku plochy je proudová hustota  $J$  [ $\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$ ]. Celková rychlost je pak přímo úměrná procházejícímu proudu (proudové hustotě).

Přihlédne-li se k rovnici 4), pak přepětí  $\eta$  charakterizuje hnací sílu korozního procesu, ale současně s jeho vzrůstem se urychluje i elektrodová reakce v příslušném směru, a to podle exponenciálních funkcí:

anodický děj:

$$J_A = J_0 \cdot \exp\left[\frac{\alpha \cdot z \cdot F}{2,3 \cdot R \cdot T} \cdot \eta\right], \quad (7)$$

katodický děj:

$$J_K = J_0 \cdot \exp\left[-\frac{(1-\alpha) \cdot z \cdot F}{2,3 \cdot R \cdot T} \cdot \eta\right], \quad (8)$$

kde:  $J_A, J_K$  – anodická, katodická proudová hustota [ $\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  
 $J_0$  – výměnná proudová hustota, charakterizující rychlost dílčího děje [ $\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  
 $\alpha$  – koeficient přenosu náboje,  
 $\eta$  – přepětí [V].

Oba hlavní dílčí děje korozního procesu – anodický a katodický probíhají rychlostí podle rovnic 7), 8). Přitom však musí být splněna podmínka elektroneutality tím, že součet dílčích proudových hustot je roven nule:

$$J_A + J_K = 0. \quad (9)$$

Touto podmínkou jsou rychlosti obou dílčích dějů vzájemně vázány a označují se jako „spřažené děje“. Potenciál  $E$  se samovolně ustaví na hodnotu, aby se obě rychlosti dílčích dějů vyrovnaly – smíšený, tzv. *korozní potenciál*  $E_{kor}$ .

Vyjádřením potenciálu  $E$  ve formě přepětí  $\eta$  pomocí rovnice 4) a s použitím rovnic katodického a anodického děje se získá *Butlerova-Volmerova rovnice*, popisující rychlost elektrodové reakce vyjádřenou proudovou hustotou  $J$  v závislosti na hodnotě potenciálu  $E$ :

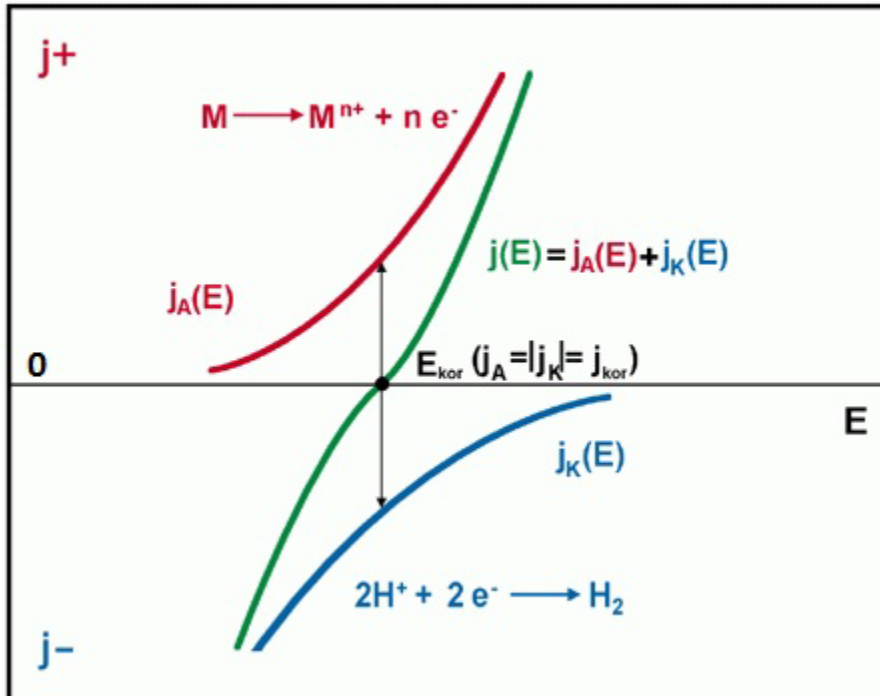
$$J = J_0 \cdot \left[ \exp\left(-\frac{\alpha \cdot z \cdot F}{2,3 \cdot R \cdot T} \cdot \eta\right) - \left(\frac{(1-\alpha) \cdot z \cdot F}{2,3 \cdot R \cdot T} \cdot \eta\right) \right]. \quad (10)$$

Grafickým vyjádřením vzájemných vztahů mezi potenciálem elektrody  $E$  a rychlostí koroze vyjádřené proudovou hustotou  $J$  je polarizační křivka. Výsledná polarizační křivka  $j$  je v souladu s touto rovnicí charakterizována vždy pro každou hodnotu potenciálu  $E$  určitou hodnotou proudové hustoty  $J$ . Korozní potenciál  $E_{kor}$  systému se ustaví na hodnotě, při které platí:

$$J_A = -J_K = J_{kor}, \quad (11)$$

tj. na hodnotě korozní proudové hustoty  $J_{kor}$  [ $A \cdot m^{-2}$ ].

V popsaném grafickém vyjádření závislosti  $E = f(J_{kor})$ , označovaném velmi často jako korozní diagram (Obr. 1), je potenciál  $E$  mírou hnací síly a korozní proudová hustota  $J_{kor}$  mírou rychlosti korozního procesu.



Obr. 1 Korozní diagram

$j_A$  – anodická proudová hustota oxidace (koroze).

$j_K$  – katodická proudová hustota redukce depolarizátoru.

$j(E)$  – anodicko-katodická polarizační křivka.

$j^+, j^-$  – proudová hustota (míra rychlosti korozního procesu).

$E$  – potenciál (míra hnací síly korozního procesu).

$M$  – kov.

$M^{n+}$  – iont kovu.

$n$  – počet nábojů.

$e^-$  – elektron.

V atmosferických podmínkách 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:

$$v_k = M \cdot \tau^n \cdot z^m, \quad (12)$$

kde:  $v_k$  – korozní rychlost oceli, vyjadřovaná jako rozměrový úbytek koroze [ $\mu m/rok$ ],

$\tau$  – doba ovlhčení, počet hodin v roce, kdy relativní vlhkost vzduchu  $\geq 80\%$  při teplotě vzduchu  $> 0^\circ C$ ,

$z$  – obsah oxidu siřičitého, vyjádřený na jednotku objemu vzduchu,

$M, m, n$  – konstanty.

Doba ovhčeni se v atmosférických podmínkách ČR pohybuje v rozmezí 3 800 h až 5 000 h za rok. Znečištění atmosféry oxidem siřičitým pak charakterizuje směrnici přímky vyjadřující ustálenou korozní rychlost. <sup>11</sup>

### **2.1.5.2 Vliv stimulačích činitelů**

Přítomnost stimulačů koroze v korozním prostředí zvyšuje korozní rychlost procesu (mění kinetiku koroze) již při velmi malých koncentracích.

#### **Stimulátory atmosféry:**

- oxid siřičitý,
- ozon a oxidy dusíku – stimulační účinek přes usnadnění oxidace SO<sub>2</sub> na sírany,
- chloridy – stimuluji aktivní rozpouštění,
- tuhé látky (prach) – usnadňují kondenzaci, vodivé částice mohou fungovat jako elektroda a urychlovat tak korozi,
- kyseliny,
- zásady,
- inertní částice.

Záleží také na teplotě, relativní vlhkosti, radiaci, množství srážek, pH a tuhých depozitech. K urychlení koroze v atmosférických podmínkách může přispívat i činnost mikroorganismů a akumulace agresivních složek atmosféry v trvale vlhkých štěrbinách.

#### **Stimulátory vodního prostředí:**

- kyslík – koroze ve vodách je řízena kyslíkovou depolarizací. Kyslík není jen stimulač, ale podporuje i tvorbu ochranných vrstev. Pokud je obsah ve vodě dostatečný, může korozi omezovat.
- oxid uhličitý, siřičitý – způsobuje pokles pH,
- ionty – chloridové, síranové, měďnaté,
- proudění vody,
- peroxid vodíku,
- roztoky solí – zvyšují vodivost, ovlivňují tvorbu vrstev na povrchu kovu.

Velmi nebezpečné stimulače ve vodním prostředí jsou síranové a chloridové ionty (halogenidové ionty), tvořící tzv. „solná hnízda“ (síranová a chloridová).

#### **Další stimulače:**

- kyselá prostředí, např. kyselina dusičná, fluorovodíková, chromová, fosforečná, sírová, aj.,
- alkalická prostředí, např. hydroxid draselný nebo sodný (vodný roztok) aj.,
- organické sloučeniny – methylalkohol, chlorované sloučeniny, aj.,
- potraviny,
- půda. <sup>12</sup>

### **2.1.5.3 Stimulace procesu chloridovými ionty**

Chloridové ionty stimuluji korozi, protože s primárními korozními produkty tvoří rozpustné sloučeniny. Konkurence mezi chloridovými a hydroxidovými ionty na povrchu kovu způsobuje bodovou korozi. Hydroxidové ionty vytvářejí pasivní vrstvu a chloridové ji

narušují. Fluktuace podmínek pasivace zajišťuje vznik a zánik mikrodůlek. Pokud ale vznikne stabilní důlek, probíhá korozní proces analogicky až k fázím koroze. Jakmile dosáhne koncentrace chloridů při daném pH kritickou hodnotu, pak složení roztoku už 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 autokatalytický. V místě poruchy pasivní vrstvy vzniká důlek, ve kterém migrací vzrůstá koncentrace agresivních iontů a hydrolyzou korozních produktů klesá hodnota pH. Tím se vytvářejí stále agresivnější podmínky, 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 pasivní povrch. Vznik a šíření bodové koroze jsou usnadněny zvýšenou koncentrací agresivního iontu, přítomností oxidujících látek, zvýšenou teplotou a nízkým pH. <sup>13</sup>

## **2.2 Ochrana proti korozi**

### **2.2.1 Systém ochrany proti korozi**

Povrchové úpravy jsou zařazovány jako finální operace zpracování kovových materiálů. Jsou to všechny druhy úprav, prováděné na povrchu konstrukčních materiálů za účelem zkvalitnění jejich vlastností – zvýšení korozní odolnosti, dosažení požadovaného vzhledu a zvýšení tvrdosti povrchu.

Hlavním cílem mechanických, chemických i elektrochemických předběžných úprav je dosažení požadovaných vlastností zhotovené povrchové úpravy, např. dobrá přilnavost, korozní odolnost, tvrdost. Během výrobního procesu a skladování totiž dochází na povrchu výrobků k řadě změn, vzniku nepravidelností, k znečištění povrchu provozními médii, prašným depozitem apod., což významně ovlivňuje kvalitu konečné povrchové úpravy.

Nejvýznamnější změny:

- stopy po obrábění,
- změna tvrdosti povrchové vrstvy,
- vznik trhlin, lomů, zbytkových napětí v povrchové vrstvě,
- existence vměstků (karbidy, sulfidy), oxidových vrstev a rzi.

Další z cílů technologie předúpravy povrchu je úprava mikrogeometrie a mikrostruktury povrchu. Povrch výrobku totiž většinou nemá před zhotovením povlaku vyhovující jakost. Vedle nečistot je třeba odstranit i všechny nežádoucí změny, vzniklé během výrobního procesu, a tím vytvořit předpoklady pro dosažení dostatečné přilnavosti, celistvosti a tloušťky povlaku jeho výrobního vzhledu.

#### **2.2.1.1 Předúpravy materiálů**

Při výběru metod, prostředků a technologií přípravy povrchu je třeba přihlížet k řadě činitelů:

- druh výrobku – použitý výchozí materiál a jeho chemické složení,
- stavba povrchu výrobku – technologické operace zpracování, druh a stupeň znečištění povrchu a jeho vazba ke kovovému povrchu,

- rozměry a konstrukce výrobku – kombinace materiálů, druh spoje, počet a rozměr dutin ap.,
- množství výrobků – výběr technologie, zařízení, ekonomie provádění povrchových úprav (kusové/hromadné).

K dosažení tohoto cíle se využívá tři základních skupin metod, prostředků a technologií:

#### a) Mechanické předúpravy

Zbavují povrch výrobku od rzi, nečistot, oxidových vrstev, ale také povrch zdrsňují, což výrazně zlepšuje přilnavost barvy a tím snižuje náchylnost ke korozi.

##### **Tryskání**

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

##### **Broušení**

Odstraní nepravidelnosti povrchu. Jako prostředky se používají plstěné rotační kotouče, na jejichž obvodu je nalepeno brusivo s rozdílnou zrnitostí

##### **Kartáčování**

Odstraní z povrchu hrubé nečistoty a snižuje drsnost povrchu po broušení. Provádí se rotačními kartáči z přírodních i umělých vláken s nanesenými brusnými pastami s obsahem brusiva.

##### **Leštění**

Používají se rozličně tvarované rotační kotouče z různých textilních či plastových materiálů s nanesenými leštícími tukovými pastami.

##### **Omílání**

Předúprava povrchu drobných a malých kovových součástí prováděná hromadným způsobem v omílacích zařízeních pomocí různých typů a tvarů omílacích tělísek.<sup>10</sup>

#### b) Chemické a elektrochemické předúpravy

##### **Odmašťování**

Odstranění mastnoty, prachových částic, solí a jiných chemických látek z povrchu výrobku, zbytků po tryskání, kovových částic a vody. Společně s čištěním jsou vytvořeny předpoklady pro kvalitní přilnavost povrchové úpravy na povrchu.<sup>14</sup>

## 2.2.2 Protikorozní povlaky

### 2.2.2.1 Anorganické povrchové úpravy

Kovy a slitiny mohou být upravovány vhodnými chemickými roztoky za podmínek umožňujících tvorbu vrstev a povlaků na povrchu s požadovanými vlastnostmi. Tyto povrchové úpravy se označují jak konverzní, protože kov je na povrchu měněn na sloučeninu, kterou obvykle tvoří oxid, fosforečnan, chroman, případně kombinace nebo komplexy těchto látek a sloučenin kovu se složkami použitého ke konverzi.

## Fosfátování

Používá se pro ocelové, zinkové, ale i hliníkové povrchy. Při fosfátování se využívá schopnosti některých kovů (Fe, Zn, Mn) vytvářet primární, sekundární nebo terciární fosforečnany těchto kovů ve dvojmocné formě. Trojmocný existuje pouze fosforečnan železitý, který je ze všech nejméně rozpustný. Fosfatizace probíhá působením kyseliny fosforečné na kov, kdy vznikají nerozpustné fosforečnany chemicky vázané do krystalické mřížky kovu. Chemické složení fosfatizačních lázní se liší podle kovu, který se má takto upravovat.

## Chemická a elektrochemická oxidace

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

## Silikátování

Využívá se při povrchové úpravě zinkových nebo hliníkových podkladů. Tvorba podkladu je podmíněna reaktivitou těchto kovů, především schopností vytvářet hydroxidové a oxidové sloučeniny v oblasti vysokých hodnot pH. Vznik žádoucího povlaku umožňuje anion  $(\text{SiO}_3)^{2-}$ , resp. (alkyl) silikátové sloučeniny, např. ethylsilikáty.

## Chemické barvení

Úprava, při které se interakcí chemické lázně s kovovým povrchem 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

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. Je určena pro mezioperační ochranu při přepravě a skladování před následnou úpravou. <sup>10</sup>

### 2.2.2.2 Organické povlaky (nátěrové systémy)

Patří mezi nejvýznamnější a nejrozšířenější povrchové úpravy. Zhotovují se podle typu podkladu a účelu použití aplikací nátěrových hmot a jejich vzájemných kombinací.

#### Základní pojmy:

##### Nátěrová hmota

Chemický přípravek, jehož hlavní součástí je filmotvorná látka a který po nanesení v tekuté, těstovité nebo práškové tenké vrstvě na podkladu tvoří pevný, souvislý a přilnavý povlak – **nátěr**. Nátěrové hmoty (NH) jsou složité materiálové systémy, které obsahují:

##### a) Pojidla

Roztoky či disperze filmotvorných látek.

## Filmotvorné složky

- *Vysychavé oleje* – mají v chemické struktuře nenasycené vazby, které se slučují se vzdušným kyslíkem a přeměňují v tuhý povrch s odlišnými vlastnostmi než původní olej. Na této vlastnosti je založeno zasychání fermežových, olejových a některých syntetických NH. Příkladem jsou lněný a dřevěný olej.
- *Polovysychavé oleje* – zasychají v tenkém filmu pomaleji, vzniklý nátěr je elastický a neprotvrdá. Např. sojový olej.
- *Nevysychavé oleje* – zůstávají v nátěrovém filmu stále lepivé. Např. ricinový a kokosový olej.
- *Přírodní pryskyřice* – využití v lakařské výrobě a pro výrobu některých typů lihových, olejových a nitorcelulozových NH. Nejvýznamnější je kalafuna.
- *Syntetické pryskyřice* – hlavní složka většiny NH (alkyd, epoxid aj.).
- *Asfalty a smoly* – svaňují 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* – pryskyřičná mýdla, oleáty, naftenáty a oktoáty olova, manganu a kobaltu rozpuštěné v organických rozpouštědlech. Kovy působí jako katalyzátory oxidace a urychlují zasychání NH.

## Těkavé složky

- *Rozpouštědla* – organické kapaliny používané k rozpouštění filmotvorných látek. Jsou voleny tak, aby koncová konzistence NH byla vhodná k nanášení a vytvoření souvislého, hladkého a stejnoměrného filmu bez povrchové struktury.
  - *Pravá* – rozpouštějí přímo filmotvornou látku.
  - *Nepravá* – rozpouštějí filmotvornou látku ve směsi s pravým rozpouštědlem a upravují rychlost vytěkání při zasychání nátěru.
- *Ředidla* – ředí NH před jejich použitím podle druhu jejich aplikace.

### b) 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 dokonale jemné a mít vysokou kryvost a odolnost proti UV záření.

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

### c) Plnidla

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

#### **d) 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.

#### **e) Aditiva**

Zlepšení vlastností NH, např. smáčedla, odpěňovače, aj.

#### **Nátěrový systém**

Málokdy se používá jednovrstvého nátěru, proto se zavádí tento pojem, který definuje vytvoření vzájemných kombinací jednovrstvých nátěrů, např.: základní–podkladový–vrchní.

#### **Napouštědla**

Bezbarvé kapaliny s nízkým obsahem netěkavých složek k napouštění dřeva obsahujícího i biocidní látku, která jej chrání proti dřevokazným houbám, plísním, aj.

#### **Fermeže**

Upravený lněný olej především k penetraci dřeva.

#### **Laky**

Bezbarvé NH různého složení.

#### **Základní barvy**

Pigmentové NH různého složení s vyšším obsahem netěkavých složek, většinou matné.

#### **Emaily**

Pigmentové NH různého složení s nižším obsahem pigmentu a plnidla, obvykle lesklé.

#### **Tmely**

Pastovité hmoty různého složení s vysokým podílem netěkavých složek, k vyrovnávání nerovností podkladu před zhotovením nátěru, obvykle matné.

#### **Ředidla**

Směsi organických rozpouštědel k ředění NH na konzistenci vhodnou pro příslušnou technologii nanášení NH na podklad.

#### **Tužidla a katalyzátory**

Specifické chemické přípravky, nezbytné k chemické reakci probíhající při tvorbě nátěru z dvousložkových hmot.<sup>15</sup>

#### **Rozdělení NH podle:**

##### **a) Složení základní filmotvorné složky**

- *Asfaltové (A)* – ochranné nátěry kovů.
- *Polyesterové (B)* – nábytkářský průmysl.
- *Celulózové (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)*, které se dále dělí na několik skupin:
  - Alkydové na vzduchu schnoucí – vnitřní i venkovní nátěry kovů a dřeva.
  - Alkydové vypalovací – povrchová úprava automobilů.
  - Epoxidové dvousložkové – vysoká tvrdost, odolnost proti mechanickému namáhání.
  - Epoxyesterové 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)*.

#### **b) Použitého rozpouštědla**

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

#### **c) Obsahu pigmentu a plniv**

- *Transparentní* – směs pojidel bez obsahu plniv, vytvářejí průhledný nátěrový film, který může být bezbarvý nebo obarvený rozpuštěným barvivem. Výjimku tvoří asfaltové laky, které dávají neprůhledný, v tenké vrstvě hnědě prosvítající film. Patří sem fermeže, napouštědla, laky a emulze.
- *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, emaily a plniče.

#### **d) 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.

#### **e) Pořadí nanášení jednotlivých nátěrů**

##### *Savý podklad (dřevo)*

- *Napouštěcí* – napouštění savých podkladů (dřevo, zdivo, papír, textil, beton).
- *Vyrovňovací* – vyrovnaní 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.
- *Vrchní* – poslední vrstva v nátěrových systémech.

**f) Způsobu nanášení nátěrů**

- *Nanášení* – štětcem.
- *Válečkování*.
- *Clonování*.
- *Máčení* – polévání.
- *Navalování*.
- *Elektrochemické nanášení*.
- *Stříkání*:
  - Pneumatické.
  - Vysokotlaké.
  - Elektrostatické.

**g) Způsobu zasychání nátěrů**

- *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, bezropouštědlové NH aj.
- *Fyzikální a chemické pochody* – film vzniká odpařením rozpouštědla i chemickou reakcí. Řadí se sem NH epoxidové, polyuretanové aj.

**h) Způsobu sušení a vytvrzování nátěrů**

- *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, IR, apod.).

**i) Odolnosti nátěru**

- *Vnitřní* – NH pro vytváření nátěrů v interiérech.
- *Venkovní* – NH pro venkovní použití, odolné atmosférickým vlivům.
- *Speciální* – NH pro vytváření chemicky odolných nátěrů – pro vysoké teploty, odolné vůči abrazi, elektroizolační nebo elektrovedivé, teplosměrné apod.

**j) Účelu použití**

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

### k) Stupně dosaženého lesku

- *Matné* – tmely a základní barvy.
- *Pololesklé*.
- *Lesklé* – vrchní nátěry a emaily. **10,15,16**

### Základní označení NH

Značení NH se provádí pomocí systému, který zahrnuje:

- písmenné označení NH, viz. a),
- za písmenem čtyřmístné číslo, jehož první číslice udává druh NH,
- lomítko,
- za lomítkem čtyřmístné číslo označující barevný odstín.

Druh významných NH udává čtyřmístné číslo:

- 1 000 – laky, fermeže, napouštědla,
- 2 000 – nátěrové hmoty pigmentované,
- 3 000 – pasty,
- 4 000 – nástřikové hmoty,
- 5 000 – tmely,
- 6 000 – ředidla,
- 7 000 – tužidla,
- 8 000 – pomocné přípravky.

Při značení barevných odstínů podle české normy udává první číslice barevný tón, další číslice sytost odstínu:

- 0 000 až 0 999 – bezbarvé,
- 1 000 až 1 999 – šedé (bílé až černé),
- 2 000 až 2 999 – hnědé,
- 3 000 až 3 999 – fialové,
- 4 000 až 4 999 – modré,
- 5 000 až 5 999 – zelené,
- 6 000 až 6 999 – žluté a okrové,
- 7 000 až 7 999 – oranžové,
- 8 000 až 8 999 – červené,
- 9 000 až 9 999 – ostatní (hlinkové).

Označování barevných odstínů podle rozšířené vzorkovnice RAL je od českého systému odlišné a představuje několikanásobně větší množství barevných odstínů než vzorkovnice podle ČSN:

- 1 000 až 1 999 – žluté, okrové,
- 2 000 až 2 999 – oranžové,
- 3 000 až 3 999 – červené,
- 4 000 až 4 999 – fialové,
- 5 000 až 5 999 – modré,
- 6 000 až 6 999 – zelené,
- 7 000 až 7 999 – šedé,
- 8 000 až 8 999 – hnědé,
- 9 000 až 9 999 – bílé, černé.

#### **Vlastnosti NH:**

- výtoková doba,
- netěkavé složky,
- hustota,
- barevný odstín,
- doba zasychání,
- roztíratelnost,
- kryvost,
- ředitelnost,
- vydatnost.

#### **Vlastnosti zhotoveného nátěru:**

- tloušťka,
- přilnavost k podkladu,
- přilnavost mezivrstvou,
- krycí schopnost,
- barevný odstín,
- stupeň lesku (matu),
- tvrdost,
- ochrana proti prostředí,
- ochrana speciální.<sup>10</sup>

## **2.3 Práškové nátěrové hmoty**

### **2.3.1 Definice**

Práškové barvy se řadí do skupiny tzv. průmyslových nátěrových hmot. Jde o filmotvornou hmotu v suché práškové formě, obsahující pryskyřice, pigmenty a další suroviny, která nanesená na podklad tvoří neprůhledný nátěr mající ochranné, dekorativní nebo specifické vlastnosti. Pro aplikaci se ničím neředí, ani se v žádné tekutině nerozpouští. Nanáší se pomocí stlačeného vzduchu, který po smísení s práškem vytváří tekutou směs.

Povlaky z práškové barvy jsou jednovrstvým nátěrovým systémem, který nevyžaduje (až na speciální případy) použití základních nátěrů. Tato vlastnost umožňuje dosahovat poměrně vysoké produktivity práce a při optimálním zvládnutí technologie aplikace i ekonomické úspory.

### **2.3.2 Výroba**

Jednotlivé složky práškových barev jsou smíchávány v tavenině. Ta je pak vytlačována výrobním zařízením na chladicí válce a po zchlazení mleta ve speciálních mlýnech na požadovanou hrubost částic práškové hmoty. Tato výsledná hmota je konečným výrobním produktem – práškovou barvou.

### **2.3.3 Nanášení**

Základním předpokladem pro úspěšné nanesení práškové nátěrové hmoty (PNH) je neznečištěný povrch podkladu. Po provedení správné předúpravy povrchu výrobku, lze nanést PNH stříkáním v elektrostatickém poli. Nanášení je prováděno ve speciálním aplikačním zařízení, v němž je tato suchá směs mísená se stlačeným vzduchem. Směs prášku a stlačeného vzduchu se chová jako tekutina.

V aplikačních pistolích se částice prášku elektricky nabíjejí třením o její vnitřní stěny, které jsou vyrobeny z teflonu, nebo získáním náboje pomocí elektrody vysokého napětí, umístěné u ústí aplikační pistole. Lakovaný předmět je uzemněn. Díky získané elektrostatické energii jsou částice prášku přitahovány k povrchu stříkaného předmětu. Následné vytvrzení ve vytvrzovací peci uzavírá celý proces aplikace. Po vytvrzení je výrobek z pece vyjmut a po zchlazení je ihned připraven k montáži, kompletaci, případně k zabalení a expedici.

### 2.3.4 Druhy

Podle nosičů dělíme PNH na tyto základní typy:

- **Epoxidové** – použití v interiéru, dobře odolávají korozi a některým chemickým látkám.
- **Epoxypolyesterové** – použití do vnitřního prostředí, ale lze je používat i na výrobky krátkodobě vystavované povětrnostním vlivům. Složení: pevné epoxidové pryskyřice, pevné karboxypolyesterové pryskyřice, aditiva, plnidla a pigmenty s velmi dobrou odolností vůči působení tepla a světla.
- **Polyesterové** – použití v exteriéru pro vysokou odolnost proti UV záření a ostatním povětrnostním vlivům.
- **Polyuretanové** – odolné vůči povětrnostním vlivům. Transparentní polyuretanové práškové laky vykazují vysokou čírost.
- **Akrylátové** – použití i do exteriéru, jejich silnou stránkou je jejich vysoká odolnost vůči chemickým látkám.

### 2.3.5 Využití

S výrobky opatřenými práškovým povlakem se dnes setkáváme téměř na každém kroku. „Práškuje“ se výrobky tzv. bílého programu (pračky, ledničky, sporáky, mikrovlnné trouby), kovový nábytek, konstrukce a bytové doplňky, trezory, zámky, věšáky, kryty spotřební elektroniky a výpočetní techniky, jízdní kola, sportovní náradí a posilovací stroje, kancelářské a studijní pomůcky, drobné předměty, se kterými se běžně setkáváme.

Je běžné lakovat i díly pro automobilový průmysl, disky kol, kovové části interiéru, řada komponentů na motocyklech – tuning, radiátory, hasicí přístroje, dopisní schránky, osvětlovací tělesa a lampy, pouzdra na cigarety a tabák, elektrorozvodné skříně, kovové podhledy, armatury a mnoho dalších.

### 2.3.6 Ekologie

Jednou z obrovských výhod povrchové úpravy práškovými barvami jsou dobré ekologické podmínky provozu a ekologické parametry vlastností konečného povlaku v porovnání s povrchovou úpravou většiny běžných tekutých nátěrových hmot. Práškové technologie nepoužívají rozpouštědla, hmota je nanášena v práškovém stavu a u technologií s možností recirkulace prášku v aplikačním zařízení je odpad z aplikace minimální. Navíc lze zbylou práškovou barvu (odpad z postřiku) za určitých podmínek regenerovat a poté opět použít.<sup>5</sup>

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

#### 3.1 Použitý podkladový materiál

##### Ocel třídy 11370

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.<sup>17</sup>

Ocelové destičky o rozměrech 150 x 100 x 3 mm se zabroušenými hranami, byly nafosfátovány dvěma druhy fosfátu, osušeny, a pak na ně v elektrostatické práškové lakovně byly nanášeny dva druhy práškových nátěrových hmot, podle tabulky (Tabulka 1).

*Tabulka 1 Kombinace fosfát – PNH*

Číslo vzorku	Podklad	Anorganická povrchová úprava	Organická povrchová úprava	Čas expozice [hod]
1 - 3	Ocel	-	-	480
4 - 6	Ocel	-	-	750
9 - 12	Ocel	Fosfát 1	PNH 1	480
13 - 16	Ocel	Fosfát 1	PNH 1	750
17 - 20	Ocel	Fosfát 1	PNH 2	480
21 - 24	Ocel	Fosfát 1	PNH 2	750
25 - 28	Ocel	Fosfát 2	PNH 1	480
29 - 32	Ocel	Fosfát 2	PNH 1	750
33 - 36	Ocel	Fosfát 2	PNH 2	480
37 - 40	Ocel	Fosfát 2	PNH 2	750

#### 3.2 Fosfátovací proces

##### FOSFÁT 1

##### DURIDINE LF 3851 IT<sup>18</sup>

Práškový fosfátizační výrobek na bázi železnatých solí, určený k ošetřování materiálu ze železa. Vytváří na ošetřeném povrchu jednolitý fosfátový povlak, složený převážně z fosforečnanů železnatých, a je znamenitým podkladem pro zakotvení laků tekutých, práškových a laků používaných elektroforeticky.

Používá se jako předúprava před lakováním dílů a příslušenství v automobilovém průmyslu, domácích elektrospotřebičů, kovového nábytku.

##### **Používá se postřikem, dle následujících pracovních podmínek:**

koncentrace: 8 g·dm<sup>-3</sup> (kg/1000 l),  
bodovitost: 8,  
pH: 5,6,  
teplota: 45 °C,  
doba úpravy: 2 minuty,  
teplota výplachu: 195 °C,

rychlost linky: 60 (2,9 m·min<sup>-1</sup>).

Příprava lázně:

- Naplnit vanu čistou vodou do tří čtvrtin jejího objemu.
- Zapnout čerpadlo a zahřát na pracovní teplotu.
- Přidat 8 kg fosfátu na 1000 dm<sup>3</sup> lázně.
- Doplnit lázeň na pracovní objem a zahřát na pracovní teplotu, čerpadlo nechat v chodu 15–20 minut.
- Kontrola pracovních podmínek lázně.

## **FOSFÁT 2**

### **GRANODINE 1080 IT <sup>19</sup>**

Tekutý jednosložkový fosfátovací výrobek pro železo a ocel s odmašťovací schopností. Vytváří na upravovaném povrchu jednolitou fosfátovou vrstvu, jejíž tloušťka závisí na podmínkách aplikace a postupu. Vrstva zajišťuje vynikající základ pro zakotvení tekutých, práškových a elektroforézních laků. Tato vrstva zajišťuje vysokou antikorozi ochranu i při nízké tloušťce.

Používá se při předúpravách před lakováním, má vyšší účinek než fosfáto-odmašťovací výrobky se střední tloušťkou vrstvy, je určený na náhradní díly a příslušenství v automobilovém průmyslu, domácí spotřebiče, kovový nábytek.

**Aplikace postříkem o dvou nebo více krocích podle následujících podmínek:**

koncentrace: 18 g·dm<sup>-3</sup>,  
bodovitost: 2,5,  
pH: 5,4,  
teplota: 45 °C,  
doba úpravy: 2 minuty,  
teplota výplachu: 195 °C,  
rychlost linky: 60 (2,9 m·min<sup>-1</sup>).

Příprava lázně:

- Naplnit vanu čistou vodou do tří čtvrtin jejího objemu.
- Zapnout čerpadlo a zahřát na pracovní teplotu.
- Přidat 18 kg fosfátu na 1000 dm<sup>3</sup> lázně.
- Doplnit lázeň na pracovní objem a zahřát na pracovní teplotu, čerpadlo nechat v chodu 15–20 minut.
- Kontrola pracovních podmínek lázně.

### 3.3 Práškové nátěrové hmoty (PNH)

#### PNH 1

##### AKZO NOBEL RAL 7035 EL B 352

##### Interpon 700 <sup>20</sup>

Je řada epoxypolyesterových práškových barev se zlepšenou barevnou, tepelnou a UV odolností. Optimálně kombinuje dekorativní a ochranné vlastnosti a pokrývá celou škálu odstínů a lesků, textur, hliníkových či jiných speciálních efektů.

Práškové barvy Interpon 700 jsou určeny k nanášení manuálními nebo automatickými elektrostatickými rozprašovacími systémy. Nepoužitá prášková barva může být znovu aplikována v případě, že je zařízení vybaveno příslušným recyklačním systémem.

##### Vlastnosti:

chemický typ:	epoxypolyester,
distribuce částic:	vhodná pro elektrostatické nanášení,
měrná hmotnost:	1,2–1,7 g·cm <sup>-3</sup> v závislosti na odstínu,
skladování:	v suchu, chladnu, pod 25 °C,
skladovatelnost	12 měsíců,
vypalovací program <sup>(a)</sup> :	20 minut při 160 °C,
(teplota objektu)	10 minut při 180 C,
	8 minut při 200 °C.

Podkladový materiál:	ocelový plech, tloušťka 0,5±0,1 mm,
předúprava:	odmaštění, popř. fosfátování,
tloušťka filmu:	60–90 μm.

<sup>(a)</sup> Pro matné prášky je nutné přičíst k výše uvedeným časům 5 minut.

#### PNH 2

##### COLOR CPC 41-5 RAL 7035 CONTEG 3 <sup>21</sup>

CPC 41 je ekonomická verze série hybridních práškových barev na bázi polyesteru, modifikovaného epoxidovou pryskyřicí. Nabízí tak velmi dobré aplikační vlastnosti a její aplikace je zamýšlena na objekty v mírných podmínkách. Jsou speciálně vyvinuty pro vnitřní aplikaci s vhodnou kombinací dekorační úpravy a funkčních vlastností, mezi které patří:

- výborné mechanické vlastnosti,
- dobrý rozliv,
- dobrá skladovatelnost,
- dobrá elasticita.

##### Vlastnosti:

chemický typ:	epoxypolyester,
distribuce částic:	vhodná pro elektrostatické nanášení,
měrná hmotnost:	1,6–1,7 g·cm <sup>-3</sup> v závislosti na odstínu,
skladování:	v suchu při 5–25 °C,
skladovatelnost:	18 měsíců,
vydatnost:	7–8 m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> při tloušťce vrstvy 80 μm,

Povrchový odstín: hladký,  
lesk: 80–85 %.

Podkladový materiál: ocelový plech, tloušťka 0,5±0,1 mm,  
předúprava: odmaštění, popř. fosfátování,  
tloušťka filmu: 60–90 μm.

### 3.4 Technologie zhotovení zkušebních povlaků

#### Elektrostatická prášková lakovna

EUROIMPIANTI s.r.l.via Cavour 44,37067 Valeggio s/M/VR/ Italy

Lakovna je řešena jako kontinuální linka s nepřetržitým dopravníkem o celkové délce 215 m. Na této délce je umístěno 269 „T“ závěsů. Linka je bezodpadová, tzn. barva, která neulpí na kovovém povrchu je přes systém dvou cyklónových odtahů vrácena zpět do zásobníku. Celkový výkon odtahového ventilátoru je 10 000 m<sup>3</sup> vzduchu/hod. Případný únik práškové barvy přes ventilátor ven z budovy zajišťuje průchod tohoto vzduchu přes vodní filtr, který zachytí prášek do vody. Za ventilátorem na „výdechu“ z budovy je umístěn absolutní filtr, který utlumí výstupní vzduch od hluku a průchodem přes výstupové rohože zachytí zbytkové částice PNH. Linka je poháněna tažným zařízením s max. silou 2 800 kg. Rychlost linky je možno frekvenčně měnit v rozmezí 0 až 3,0 m·min<sup>-1</sup>.

#### Popis lakovny:

##### 1) Návěs

Háčky různých velikostí z různě silného materiálu. Mohou být použita závěsová „ráhna“, závěsové stromečky nebo závěsové speciály.

##### 2) Vodní tunel

Celková délka: 20,6 m.

Dílce jsou systémem čerpadel, potrubí a trysek zbaveny nečistot a následně nafosfátovány železitým fosfátem, který zlepšuje přilnavost PNH.

- Odmaštění s následným oplachem:
  - délka: 10,35 m,
  - příkon hořáku: 275 KW,
  - teplota vody: 0–45 °C,
  - fosfatizační přípravek: podle účelu použití.
- První oplach:
  - délka: 5,6 m,
  - teplota vody: 0–20 °C.
- Druhý oplach:
  - délka: 4,6 m,
  - teplota vody: 0–20 °C.

##### 3) Sušící tunel

Celková délka: 16 m.

Vytápěn odpadním teplem z vypalovací pece. Teplota závisí na nastavení této pece.

Max. teplota: 155 °C,

Používaná teplota: 140 °C.

#### 4) Nanášená PNH

Tři stříkací kabiny:

- na tmavé odstíny,
- na světlé odstíny,
- na opravy.

PNH se nanáší pomocí lakovacího zařízení, které se skládá z:

- vysokonapěťového generátoru,
- lakovací pistole,
- propojovacích hadic.

Velikost nabití: 60–80 kV,

tlak vzduchu: 0,0 Mpa,

tlak prášku: 0,2 Mpa.

#### 5) Vypalovací pec

Délka: 55 m,

vypalovací teplota: 0–210 °C,

používaná teplota: 180–190 °C.

### 3.5 Zkoušky v umělých atmosférách

Jde o laboratorní zkoušky prováděné ve vzdušném prostředí za přítomnosti činitelů zesilujících korozi kovových materiálů a slitin s trvalou nebo dočasnou protikorozní 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 jako zkoušky protikorozních ochranných povlaků pro rychlé zjištění nespojitostí, pórů, defektů organických a anorganických povlaků a také pro kontrolu kvality při porovnání vzorků se stejným povlakem.

Pro zjištění korozní odolnosti nátěrových systémů byla použita korozní zkouška v umělých atmosférách – zkouška solnou komorou dle ČSN ISO 9227. Korozní zkouška solnou mlhou byla provedena metodou NSS – v mlze neutrálního roztoku chloridu sodného:

- expozice 480 a 750 hodin,
- v 5% roztoku NaCl,
- při teplotě  $t = 35^{\circ}\text{C}$ ,
- pH 6,5–7,2.

#### 3.5.1 Klimatizační zkušební komora

Byla používána klimatizační zkušební komora typu SC 450 od firmy WEISS (Tabulka 2)

**Tabulka 2** Tabulka technických dat klimatizační zkušební komory

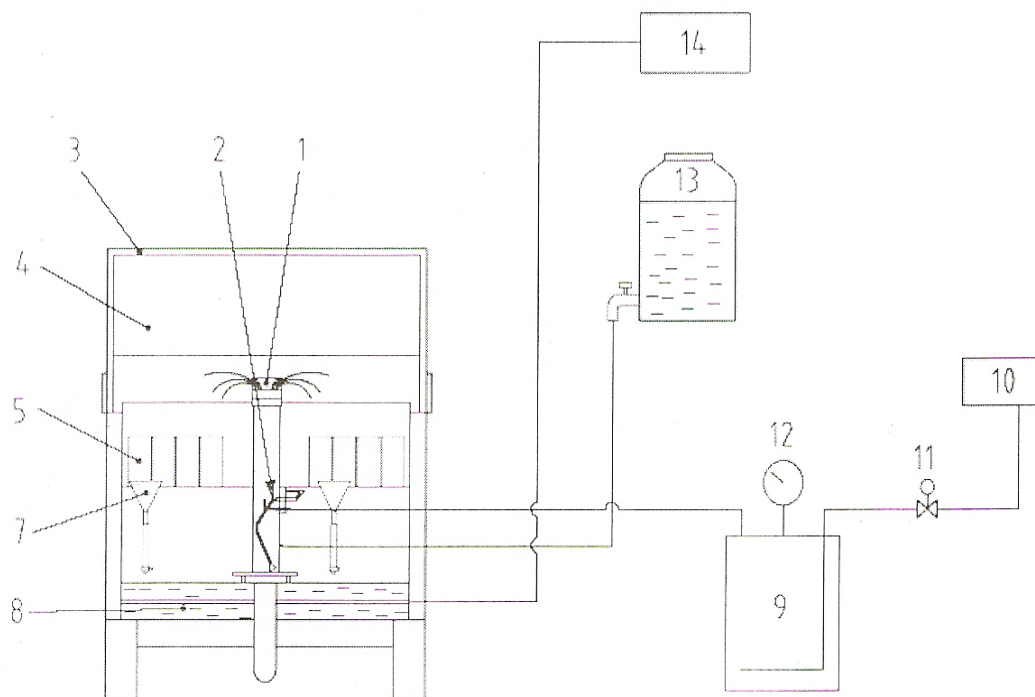
Zkušební komora	Vnější rozměry [mm]						Objem [dm <sup>3</sup> ]		Hmotnost [kg]	
	Zkušební prostor			Vnější rozměry			Zkušební prostor	Nádoba solanky	Zkušební komora	Solanka
	Výška	Šířka	Hloubka	Výška	Šířka	Hloubka				
Bez krytu	740	850	570	920	1930	800	450	180	140	180
S krytem	1190			1370						

Zkušební komora je tvořena dvěma moduly:

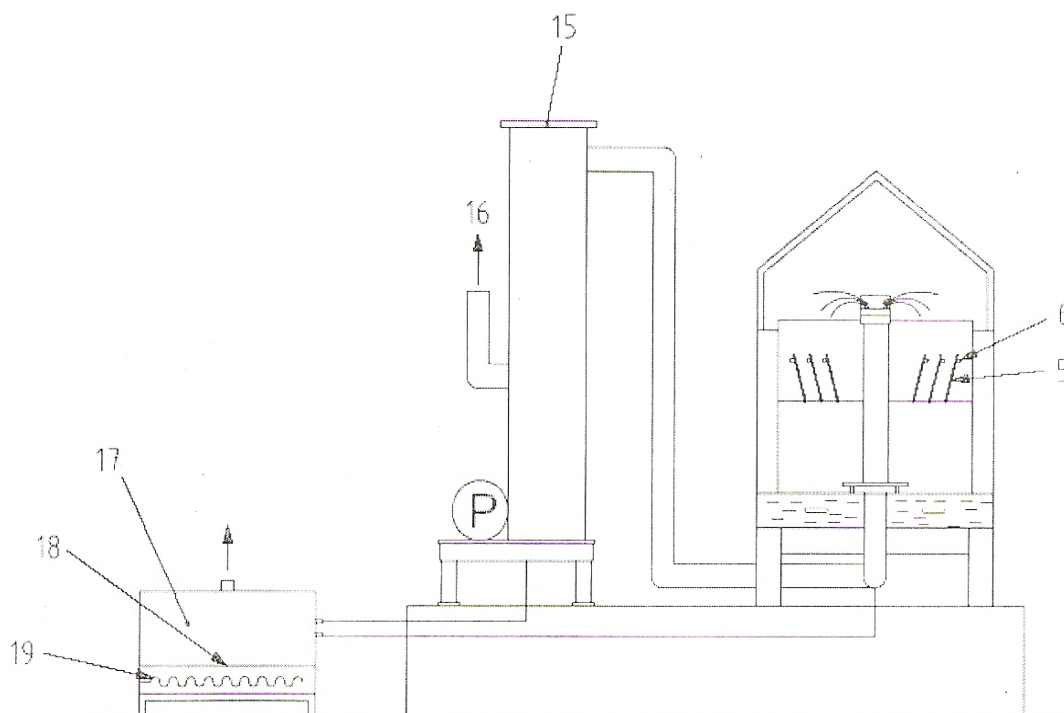
- Zkušební prostor – obsahuje trysku, kterou se solný roztok dostává do zkušebního prostoru. <sup>22</sup>

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. <sup>23</sup>

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



**Obr. 2** Solná komora – nárys



**Obr. 3** 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 <sup>22</sup>         |
| 10. Kompresor vzduchu        |                                  |

### 3.6 Testované znaky jakosti

#### 3.6.1 Tloušťka nátěru

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“. Při zasychání se tato tloušťka u nátěrových hmot obsahujících těkavé složky zmenšuje. Pro technologické vlastnosti nátěru je rozhodující tloušťka po zaschnutí. V této práci se pro stanovení tloušťky použil magnetický způsob.

Měření byla provedena podle ČSN EN ISO 2808. V současnosti se používají digitální přístroje, které přímo ukazují tloušťku zkoušeného filmu, bez destruktivních změn nátěrových

filmů. Přístroje pro tento způsob měření jsou založeny na magnetické přitažlivosti mezi trvalým magnetem a podkladem, která je ovlivněna naneseným povlakem.

Zkouška se provádí po kalibrování tak, že se přístroj položí kolmo na zkoušenou plochu s nátěrem a počká se, až se objeví hodnota na digitálním displeji, ta se odečte. Měření se provádí v různých místech nejméně šestkrát a poté se vypočítá průměr. U nekovových materiálů se vzorek podloží kouskem plechu, nesmí se však zapomenout odečíst tloušťka materiálu, na kterém je nátěr nanesen. V experimentální části řešení se použil magnetický tloušťkoměr Elcometer 626. <sup>24,25</sup>



*Obr. 4 Magnetický tloušťkoměr Elcometer 626*

### 3.6.2 Přílnavost nátěru

Povlaky poskytují chráněnému podkladu předpokládanou ochranu pouze tehdy, jestliže vykazují dostatečnou přílnavost. Ta je základním znakem jeho jakosti, je závislá nejen na druhu nátěrové hmoty, ale také na podkladovém materiálu.

Přílnavost nátěrů byla stanovena mřížkovou zkouškou podle ČSN EN ISO 2409. Měření se provádí při teplotě  $(23 \pm 2)$  °C a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5)$  %. V každém směru mřížky musí být šest řezů. Vzdálenost řezů musí být stejná ve všech směrech, závisí na tloušťce povlaku a typu podkladu uvedené v Tabulce 3.

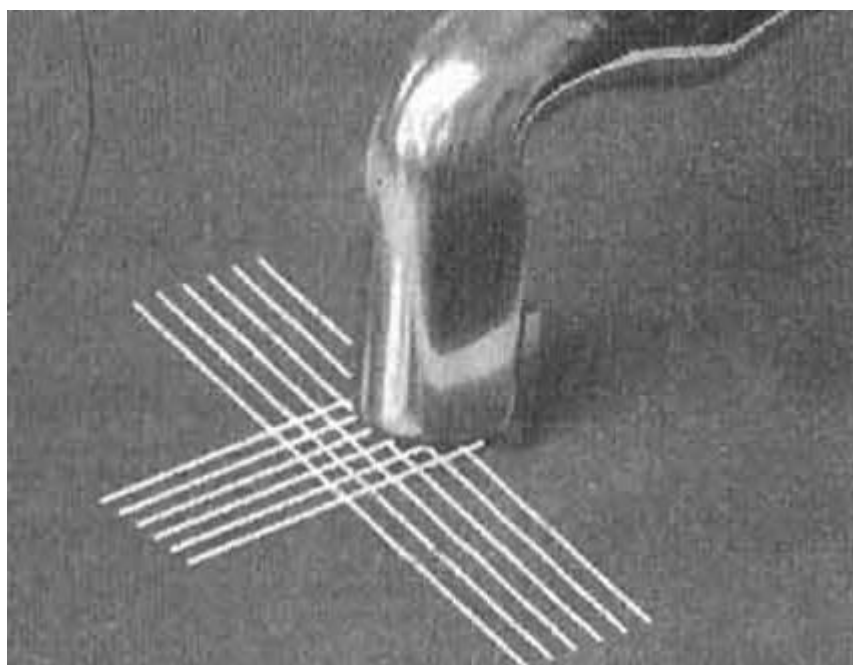
*Tabulka 3 Vzdálenost řezů*

Tloušťka nátěru [ $\mu\text{m}$ ]	Vzdálenost řezů [mm]	Druh podkladu
0 - 60	1	tvrdý
0 - 60	2	měkký
61 - 120	2	tvrdý i měkký
121 - 250	3	tvrdý i měkký

Zkouška se provádí nejméně na třech různých místech vzorku. Zkušební vzorek se umístí na pevný, rovný povrch, aby se zamezilo jakékoliv deformaci vzorku během zkoušky. Řezání se provádí ručně. Řezný nástroj se drží ostřím kolmo k povrchu vzorku a za použití šablony se stálým tlakem vytvoří mřížka s předepsaným počtem řezů do nátěru. Všechny řezy musí proniknout k povrchu podkladu. Postup se opakuje pootočením původních řezů o 90° tak, aby se vytvořila mřížka. Na mřížku rovnoběžně s jedním svazkem řezů 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° za 0,5 s až 1 s odstraní a provede se zhodnocení podle tabulky 4. V experimentální části řešení byl použit pro zhotovení řezů řezný nástroj Elcometer 107. 24, 26

**Tabulka 4** Klasifikace přilnavosti nátěru

Klasifikace	Popis
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen.
1	Malé kousky nátěru odloupnuty v místech křížení spojů. Poškození do 5 %.
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Poškození plochy 5–15 %.
3	Nátěr se odlupuje ve velkých pásech podél řezů nebo na různých místech mřížky. Poškození 15–35 %.
4	Nátěr se odlupuje po pásech na více místech. Poškození 35–65 %.
5	Poškození větší než u stupně 4.



**Obr. 5** Mřížka vytvořená řezem

### 3.6.3 Tvrdost nátěru

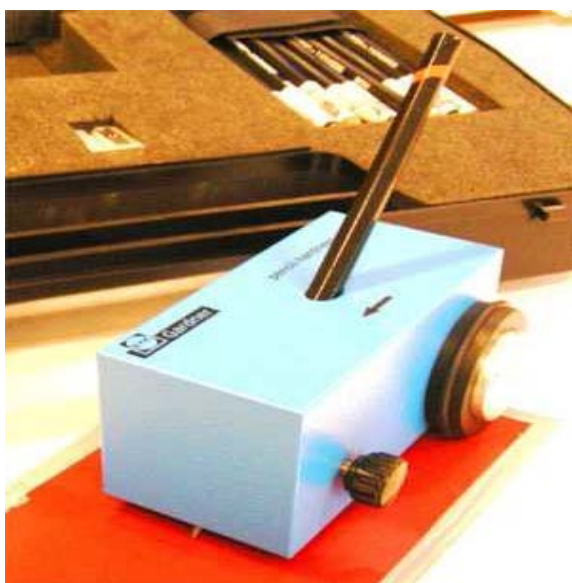
Tvrdost nátěru je jeho odolnost proti místnímu porušení cizím tělesem. Je ovlivněna druhem nátěrové hmoty, kvalitou podkladu, podmínkami při zasychání, tloušťkou a stářím nátěru.

Tvrdost povlaků byla stanovena tužkovou metoda podle ČSN 673075. Sada obsahuje 13 tužek Hartmuth Koh-i-noor 1500 podle ČSN 90 1111.

Pro měření se používá speciální držák tužek. Na zhotovený nátěr, který je na tvrdém podkladu, se položí držák tužek, kde je vsazena tužka, která je ořezána a obroušena na papíře za současného otáčení pod úhlem 40°. Držák tužky zaručuje, že tužka je vedena pod úhlem 30° a tlak tužky na nátěr je 300 g. Začíná se s tužkami měkčími, které po nátěru jen píší a lze je setřít rukou. Zkouška je ukončena pokud tužka poprvé viditelně poruší povrch nátěru a vniká do něj. <sup>24, 27</sup>

**Tabulka 5** Tvrdost nátěru

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



**Obr. 6** Držák tužek

### 3.6.4 Hodnocení korozní odolnosti

Experimentální činnost, vedoucí k získávání informací o korozi, ať už v laboratorních nebo provozních podmínkách, lze shrnout pod pojem korozní zkouška.

Zkouška byla provedena dle normy ČSN ISO 9227, vzorky byly umístěny do korozní komory po dobu 480 a 750 hodin tak, aby nepřišly do styku s vnitřním povrchem komory a zároveň, aby byly vystaveny volnému proudění mlhy, nikoli však přímému postřiku mlhou z rozprašovače. Označení bylo provedeno přímo na vzorcích.

Schopnost povlaku chránit podkladový kov proti korozi – stupeň ochrany – se vyhodnocuje na základě vzniku korozních kráterků, důlků, korozních zplodin, puchýřků a jakékoli jiné vady způsobující korozi podkladového kovu.<sup>6</sup>

## 4 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 4.1 Výsledky tloušťky nátěrů

Tloušťka nátěru byla měřena vždy na jednom vzorku z kombinací fosfátů a PNH. Měření bylo prováděno vždy na šesti různých místech vzorku. Naměřené tloušťky nátěrů jsou uvedeny v Tabulce 6.

**Tabulka 6** Tloušťky nátěrů

Číslo vzorku	Tloušťka nátěru [ $\mu\text{m}$ ]						Průměr
	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>5</sub>	d <sub>6</sub>	
9	94	100	72	100	108	98	95
17	110	108	94	105	104	75	99
25	98	104	94	110	98	102	101
33	96	70	108	82	104	96	93

### 4.2 Výsledky přilnavosti nátěrů

Přilnavost nátěrů byla měřena:

- Před vložením do solné komory na jednom vzorku z každé kombinace fosfátů a PNH.

**Tabulka 7** Přilnavost nátěrů před expozicí

Číslo vzorku	9	17	25	33
Přilnavost	0	0	0	1

- Po 480 hodinách expozice na 1. polovině vzorků z každé kombinace fosfátů a PNH.

**Tabulka 8** Přilnavost nátěrů po 480 h expozice

Číslo vzorku	10	11	12	18	19	20	26	27	28	34	35	36
Přilnavost	0	0	3	0	1	1	0	0	0	3	0	1

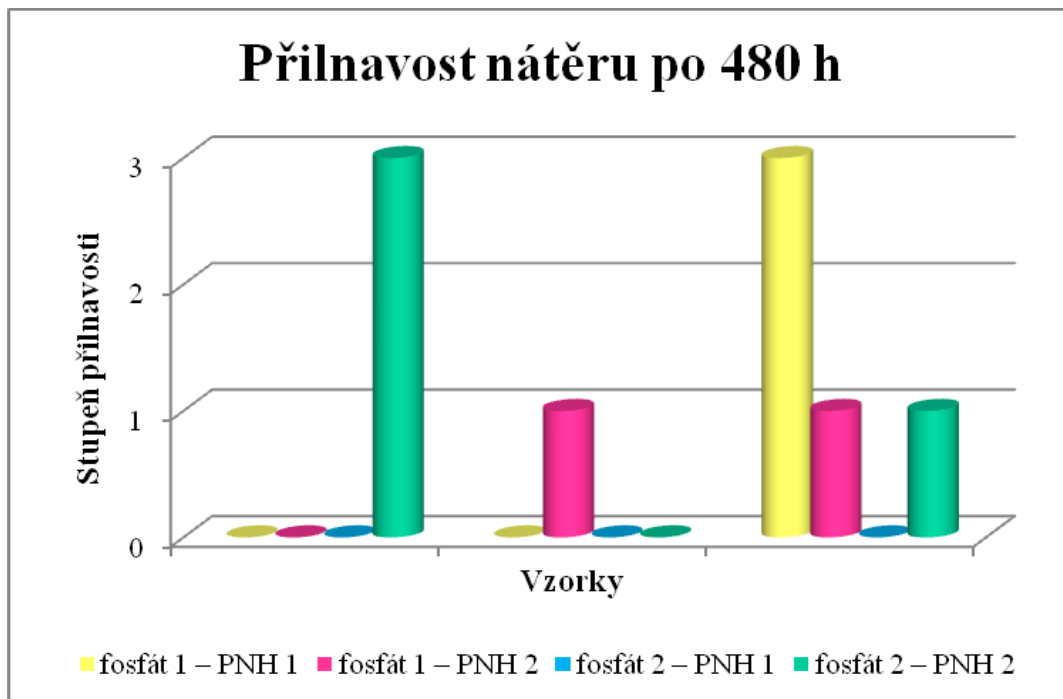
- Po 750 hodinách expozice na 2. polovině vzorků z každé kombinace fosfátů a PNH.

**Tabulka 9** Přilnavost nátěrů po 750 h expozice

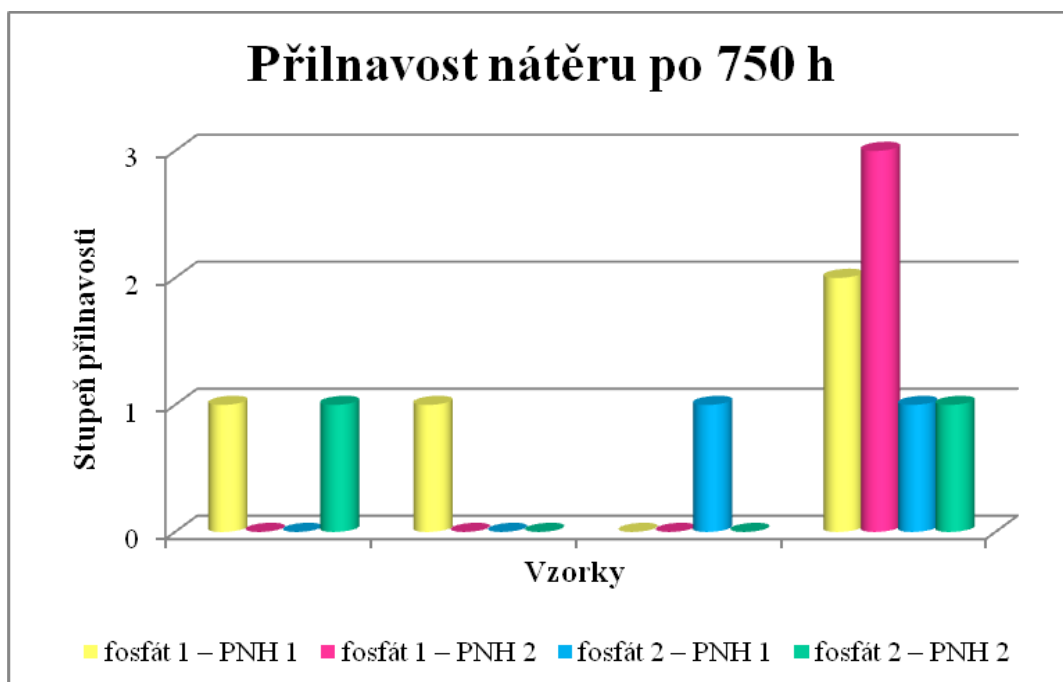
Číslo vzorku	13	14	15	16	21	22	23	24	29	30	31	32	37	38	39	40
Přilnavost	1	1	0	2	0	0	0	3	0	0	1	1	1	0	0	1

	Fosfát 1 – PNH 1
	Fosfát 1 – PNH 2

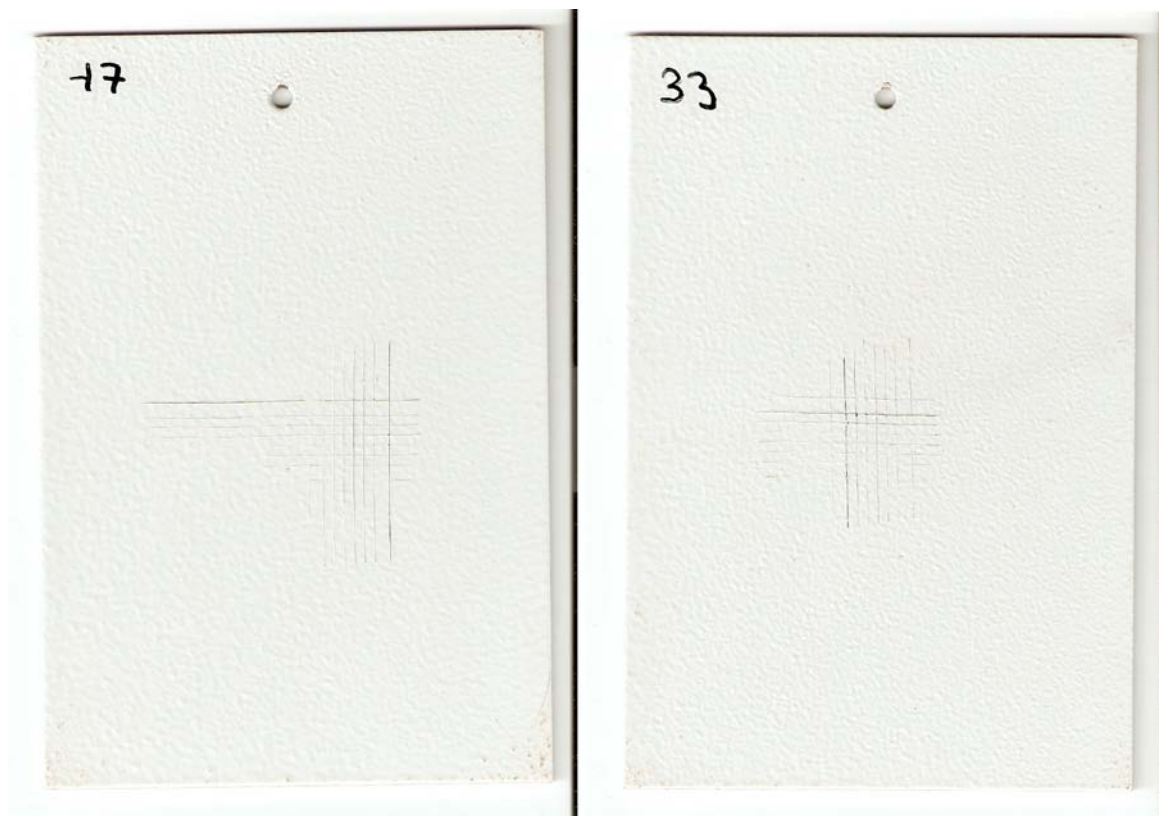
	Fosfát 2 – PNH 1
	Fosfát 2 – PNH 2



Obr. 7 Graf přilnavosi nátěrů po 480h expozice



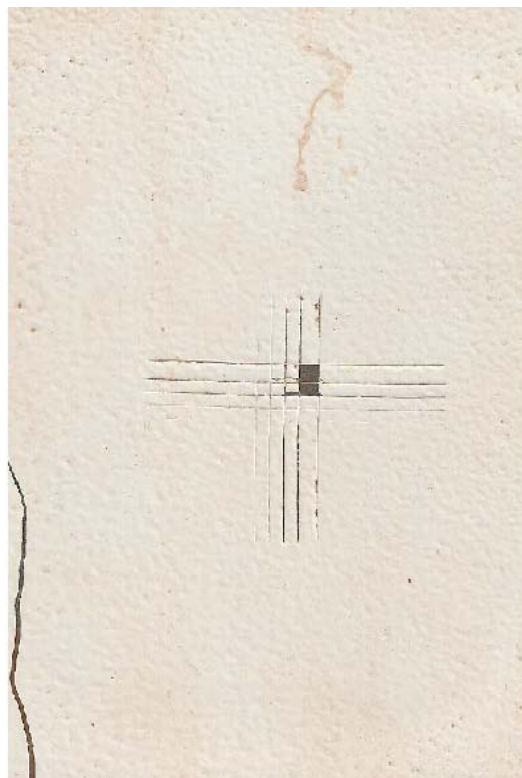
Obr. 8 Graf přilnavosi nátěrů po 750h expozice



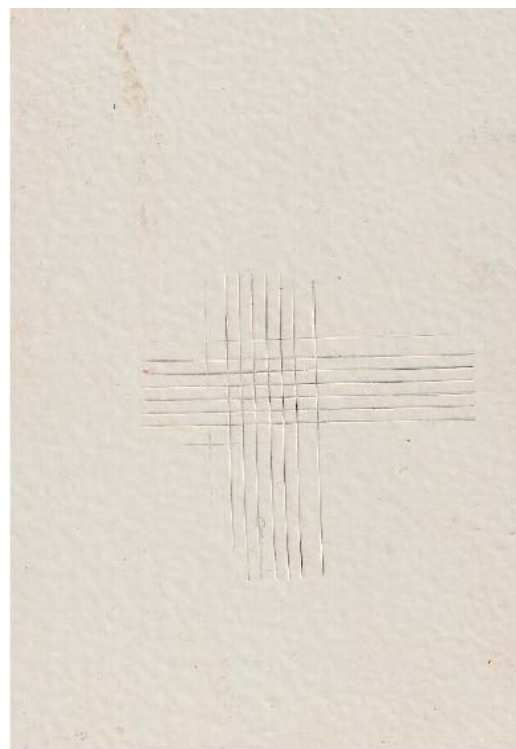
**Obr. 9** Fosfát 1 – PNH 1 před expozicí (vlevo), Fosfát 2 – PNH 1 před expozicí (vpravo)



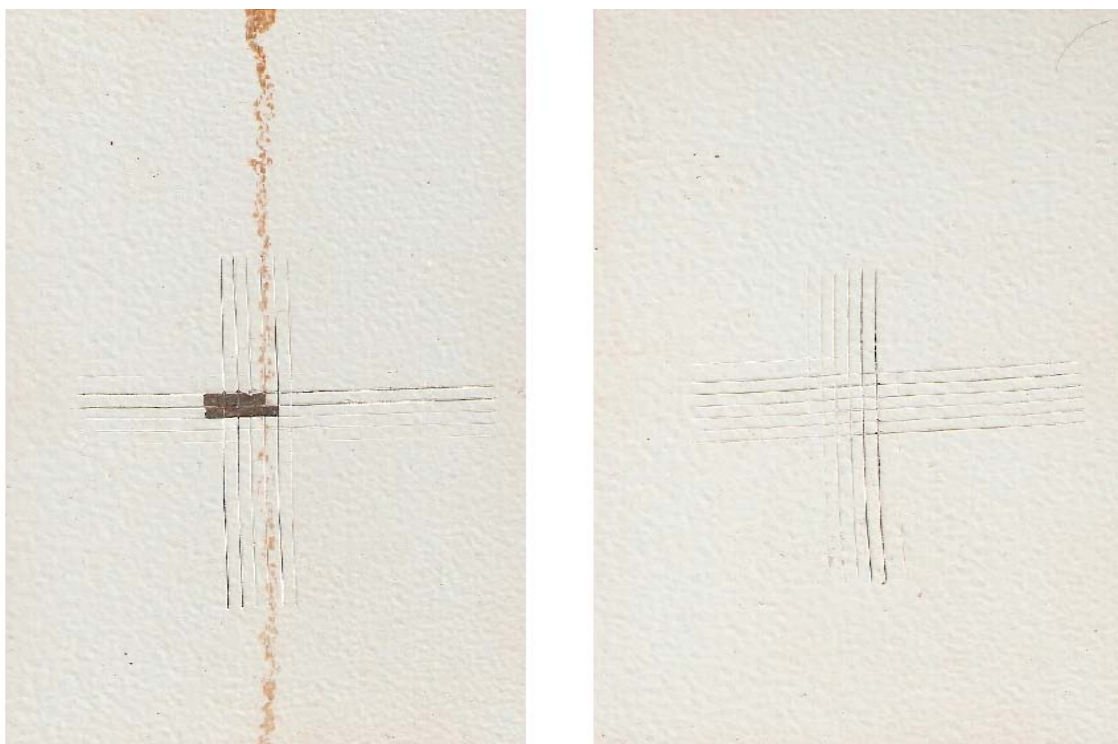
**Obr. 10** Fosfát 1 – PNH 1 po 480 hod expozice (vlevo – vzorek č. 12 ) a po 750 hod (vpravo – vzorek č. 16)



*Obr. 11 Fosfát 1 – PNH 2 po 480 hod expozice (vlevo – vzorek č.19) a po 750 hod (vpravo – vzorek č. 24 )*



*Obr. 12 Fosfát 2 – PNH 1 po 480 hod expozice (vlevo – vzorek č. 26) a po 750 hod (vpravo – vzorek č. 30)*



*Obr. 13 Fosfát 2 – PNH 2 po 480 hod expozice (vlevo – vzorek č. 34) a po 750 hod (vpravo – vzorek č. 40)*



*Obr. 14 Vzorek č. 3 po 480 hod expozice*

Z tabulek, grafů i fotek je patrné, že nejlepší přilnavost nátěru má kombinace fosfát 2 – PNH 1, kde se mřížka vůbec neodlupuje a řezy jsou zcela hladké.

### 4.3 Výsledky tvrdosti nátěrů

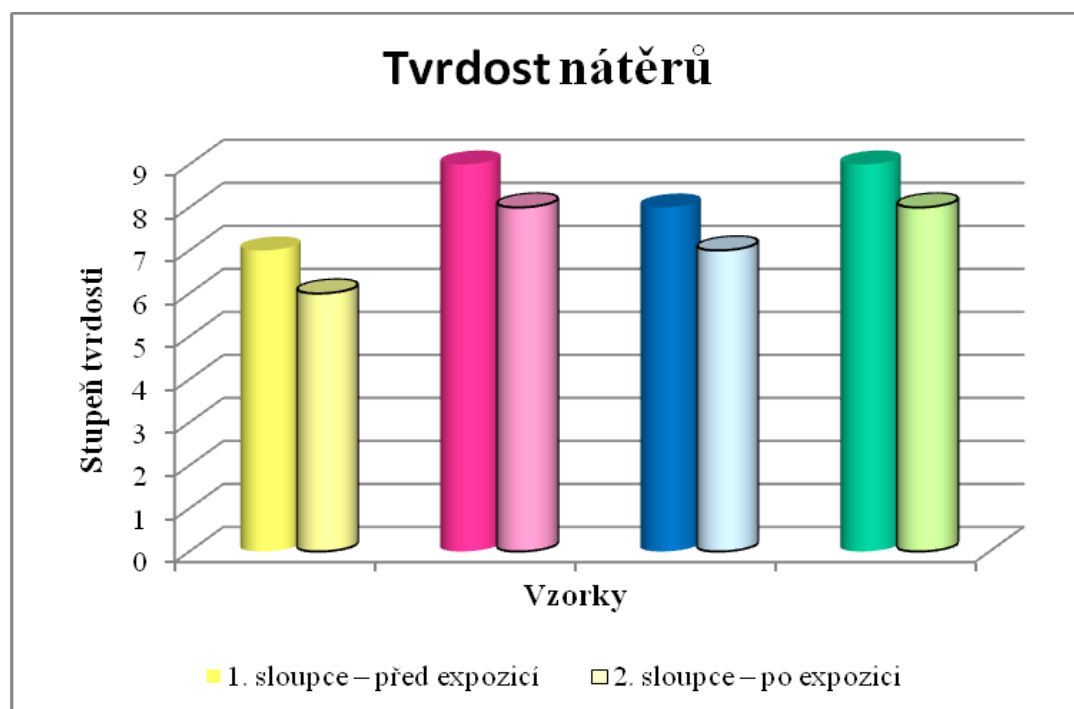
Tvrdotu nátěru byla měřena u jednoho vzorku s nejmenší přilnavostí nátěrů z každé kombinace fosfátů a PNH a pro srovnání také u vzorků, které nebyly exponovány solnou mlhou. Z výsledků je patrné, že nátěry jsou dost tvrdé, a to i po exponování solnou mlhou, kdy tvrdost nátěru klesla jen o jeden stupeň. Nejtvrdší jsou nátěry kombinací fosfát 1 – PNH 2 a fosfát 2 – PNH 2, z čehož plyne že PNH 2 je tvrdší než PNH 1.

*Tabulka 10 Tvrdotu nátěrů před expozicí*

Číslo vzorku	9	17	25	33
Tvrdotu	7	9	8	9

*Tabulka 11 Tvrdotu nátěrů po expozici*

Číslo vzorku	12	24	32	34
Tvrdotu	6	8	7	8



*Obr. 15 Graf tvrdosti nátěrů před a po expozici*

#### 4.4 Výsledky korozní odolnosti vybraných povrchových úprav

Povrch, na kterém došlo ke korozi, je vizuálně hodnocen jak s korozními produkty, tak po jejich odstranění. Nerovnoměrné napadení (trhliny, body) je možno zviditelnit barevným nebo fluorescenčními látkami, magnetickými prášky, otisky. V některých případech lze tímto způsobem určit i kvantitativně rozsah a četnost korozního napadení. Hodnotí se buď prostým okem nebo při zvětšení pod lupou či mikroskopem. Pro nepřístupná místa se využívají různé optické systémy (zrcátka, skleněná vlákna, endoskopy). Pro dokumentaci lze využít fotografický záznam, náčrtky nebo videozáznam. <sup>28</sup>

**Tabulka 12** Záznamy o průběhu korodování vzorků č. 10 až 40

Počet hodin	Vizuální hodnocení
24	Výskyt koroze na hranách některých vzorků.
168	Výskyt koroze na hranách všech vzorků, stékání koroze.
216	Stékání koroze na plochu vzorků.
336	Stékání koroze > 5 % plochy vzorků.
720	Stékání koroze > 10 % plochy vzorků.

**Tabulka 13** Záznamy o průběhu korodování vzorků č. 1 až 6

Počet hodin	Vizuální hodnocení
72	Koroze > 50 % plochy vzorků, stékání koroze a nanášení se na další vzorky.
96	Koroze > 70 % plochy vzorků.
240	Koroze 100 % plochy vzorků.

Vzorky č. 10 až 40 byly po vytažení ze solné komory omyty destilovanou vodou, pokud koroze nešla umýt tak i 5% roztokem kyseliny šťavelové a usušeny. Potom byl vizuálně hodnocen stupeň koroze. Z výše uvedených obrázků – obr. 10, obr. 11, obr. 12 a obr. 13 je vidět, že ke korozi, s ohledem na hodnocení plochy vzorků (bez okrajů), u žádného ze vzorků nedošlo.

U všech vzorků je tedy stupeň koroze 5 – žádné známky koroze. Korozní odolnost daných povrchových úprav je velmi dobrá. Proto byl informativně hodnocen stupeň stékání koroze z okrajů vzorků.

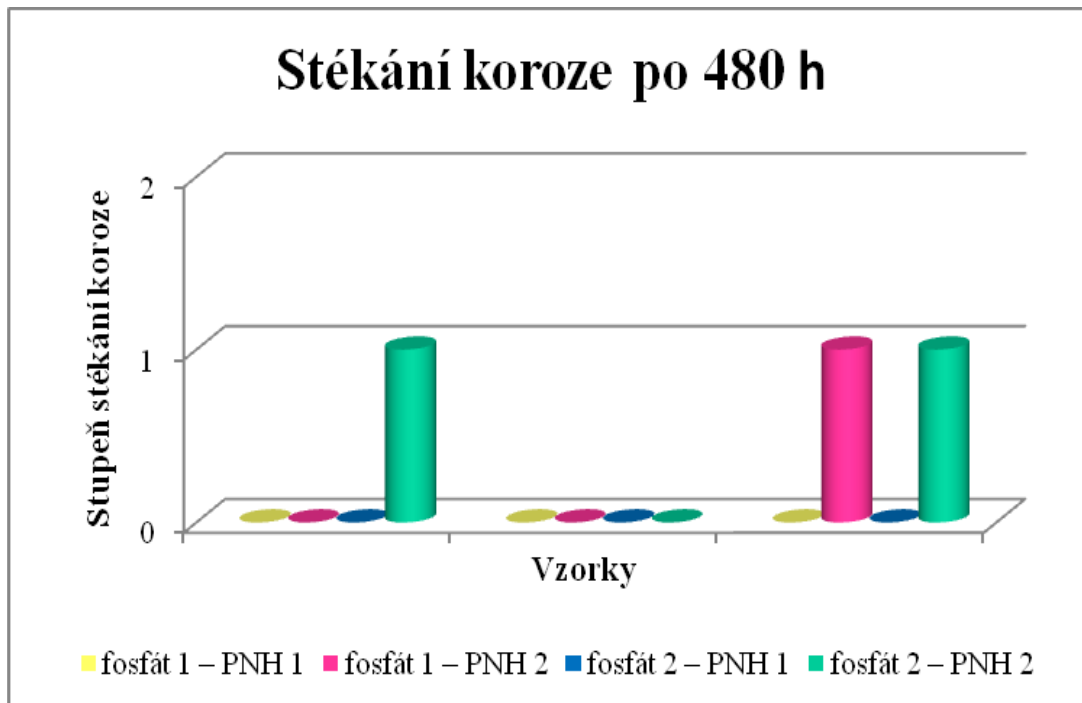
#### 4.5 Výsledky stékání koroze z okrajů vzorků

**Tabulka 14** Vizuální hodnocení stékání koroze po 480 h

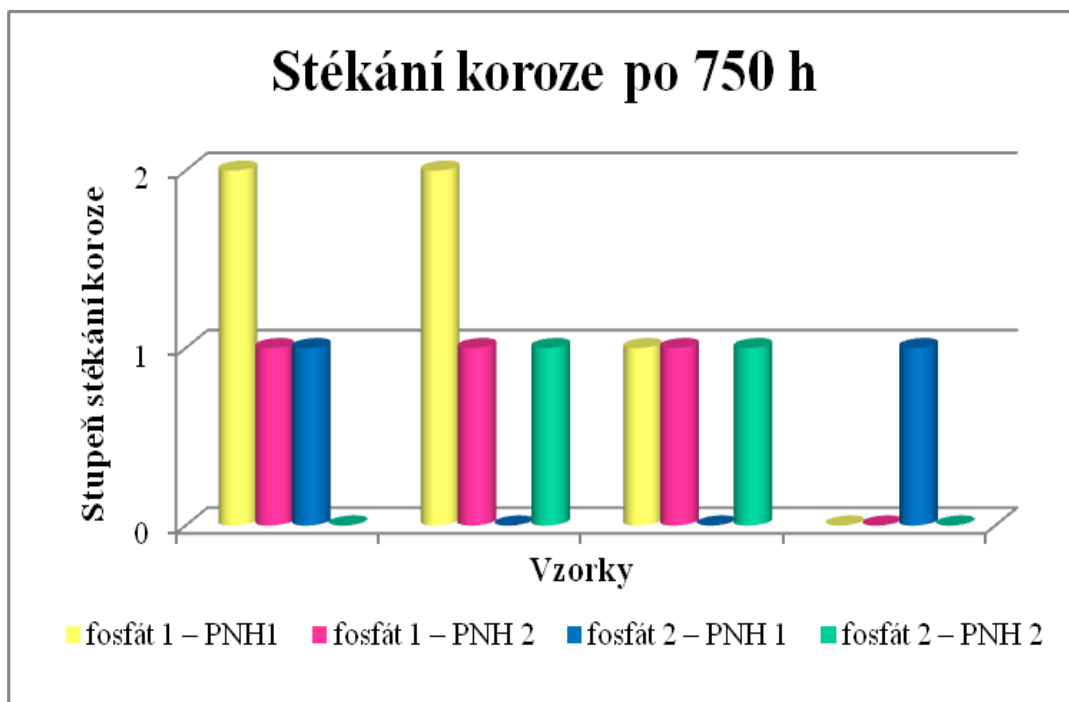
Číslo vzorku	10	11	12	18	19	20	26	27	28	34	35	36
Stékání	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1

Tabulka 15 Vizuelní hodnocení stékání koroze po 750 h

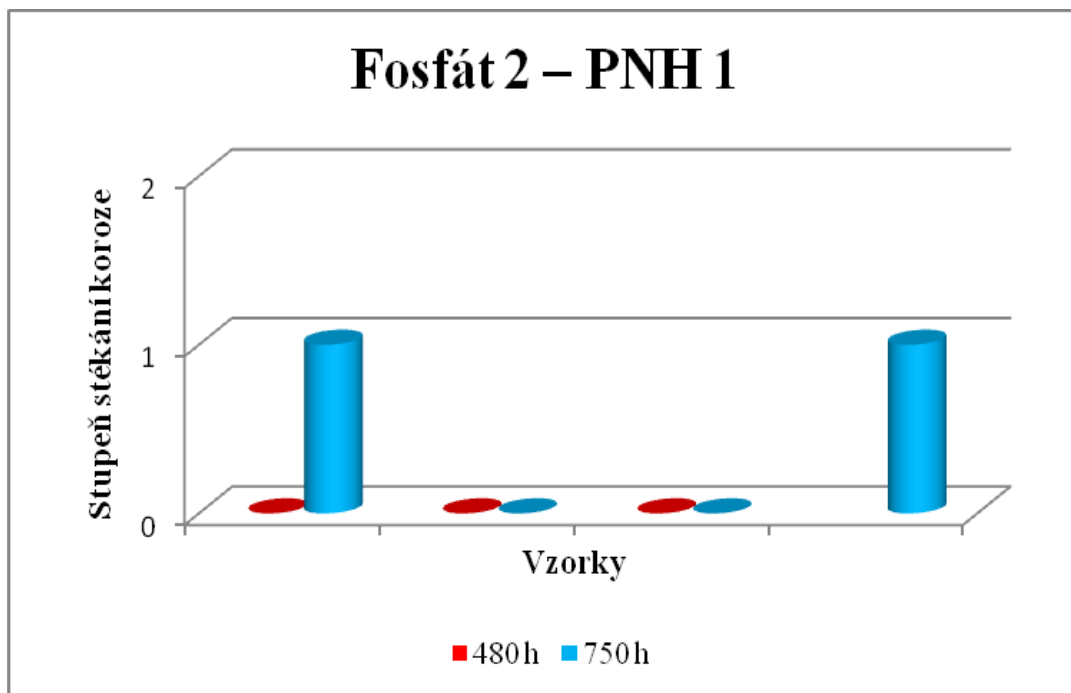
Číslo vzorku	13	14	15	16	21	22	23	24	29	30	31	32	37	38	39	40
Stékání	2	2	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0



Obr. 16 Graf vizuelního hodnocení stékání koroze po 480 h



Obr. 17 Graf vizuelního hodnocení stékání koroze po 480 h



**Obr. 18** Graf vizuálního hodnocení stékání koroze kombinace fosfát 2 – PNH 1

Ze zpracovaných hodnot vyplývá, že nejlepší hodnocení stékání koroze z okrajů vzorků má kombinace povrchových úprav fosfát 2 – PNH 1.

#### 4.6 Ponorová zkouška v roztoku chloridu sodného

I když těžištěm práce bylo stanovení korozní odolnosti systémů fosfát – PNH normovanou a mezinárodně uznávanou zkouškou v neutrální solné mlze, byla pro systém fosfát 2 – PNH 1, zjištěný v experimentální části jako nejlepší, provedena porovnávací zkouška při ponoru v 0,01 % roztoku chloridu sodného.

Zkouška byla provedena v souladu s metodikou ČSN 03 8135. <sup>29</sup>

Po 30 dnech expozice při laboratorní teplotě nebylo u povrchové úpravy zjištěno žádné korozní napadení plochy, ani žádná změna přilnavosti. Pouze byla zjištěna mírná změna barevného odstínu.

Tím byla potvrzena i jinou metodikou vysoká kvalita studované kombinace předúpravy povrchu fosfatizačním prostředkem Granodine 1080 IT a povlaku typu Interpon 700.

## ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší problematiku vzájemné interakce vybraných povrchových úprav a neutrálního vodního prostředí s obsahem chloridů. Byla vypracována literární rešerše na základě dostupných informací a experimentální část zabývající se především urychlenými laboratorními testy korozní odolnosti povrchových úprav typu fosfát – prášková nátěrová hmota.

Na začátku experimentální práce byla mřížkovou metodou ověřena přilnavost nátěrů, tloušťka a tvrdost nátěrů. Přilnavost všech čtyř testovaných variant byla velmi dobrá, nedocházelo k odlupování nátěrů a řezy byly hladké. Tloušťka nátěrů byla v rozmezí 90 až 100  $\mu\text{m}$  a tvrdost nátěru byla cca 8.

Po 480 hodinách expozice neutrální solnou mlhou došlo ke snížení přilnavosti nátěru u všech kombinací mimo fosfát 2 – PNH 1, o 1-3 stupně. Tvrdost nátěru se zmenšila jen o 1 stupeň. Korozní odolnost nátěrů byla u všech vzorků velmi dobrá, protože nedocházelo ke vzniku koroze na plochách vzorků, pouze k jejímu stékání z hran vzorků. Při hodnocení stékání na tom byly vzorky podobně jako při hodnocení korozní odolnosti, tudíž stékání koroze z hran vzorků bylo minimální.

Po 750 hodinách expozice solnou mlhou nedocházelo k příliš velkým změnám přilnavosti nátěrů, nejlépe na tom však byla kombinace fosfát 2 – PNH 1, která z největší přilnavosti 0 (po 480 hodinách) klesla jen o jeden stupeň. Tvrdost nátěrů se dále neměnila. Korozní odolnost nátěrů byla opět výborná – bez vzniku koroze.

Souhrnně lze na základě dosažených výsledků říci, že nejlepší korozní odolnost a přilnavost k podkladu vykazuje z hodnocených variant kombinace fosfát 2 – PNH 1. Toto bylo potvrzeno i doplňkovou ponorovou zkouškou v roztoku chloridu sodného.

Provedené experimentální práce a výsledky naznačují, že zadání práce bylo aktuální, protože povrchové úpravy jako ochrana proti korozi se používají v širokém měřítku a pouze dostatečné znalosti o korozní odolnosti mohou umožnit jejich optimalizaci.

Tato optimalizace je především významná u nových typů netradičních práškových nátěrových hmot, jejichž rozsah aplikace se u výrobků průmyslového i spotřebního charakteru neustále pro jejich atraktivnost zvyšuje. Jedná se především o práškové nátěrové hmoty s obsahem kovů, tzv. „kovové metalízy“ a dále práškové nátěrové hmoty imitující vzhled povlaků lesklého chromu.

Z tohoto pohledu se doporučuje pokračovat v řešení této problematiky i v dalším období s důrazem na studium vlastností výše uvedených moderních variant práškových nátěrových hmot.

## 6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

---

- <sup>1</sup> Studium vlivu solícího prostředku na korozní odolnost nátěrového systému. *KONSTRUKCE* [online]. 2009, 7, [cit. 2010-02-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/>>.
- <sup>2</sup> Ochrana kovů proti korozi. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, 5, [cit. 2010-02-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/>>.
- <sup>3</sup> Povrchové úpravy kovů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 5, [cit. 2010-02-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/>>.
- <sup>4</sup> Povrchová úprava moderními materiály. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, 6, [cit. 2010-02-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/>>.
- <sup>5</sup> [Http://www.okcolor.cz/](http://www.okcolor.cz/) [online]. 2004-2010 [cit. 2010-03-02]. Práškové barvy. Dostupné z WWW: <<http://www.okcolor.cz/cz/praskove-barvy/>>.
- <sup>6</sup> KREISLOVÁ, K; BENEŠOVÁ, J. Porovnávání režimů korozních zkoušek používaných v automobilovém průmyslu. *Povrchová úprava* [online]. 2008, 5, [cit. 2010-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.povrchovauprava.cz/>>.
- <sup>7</sup> Požadavky na kvalitu povrchových úprav organickými povlaky. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 6, [cit. 2010-03-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/>>.
- <sup>8</sup> Ekonomická a ekologická hlediska volby protikorozní ochrany. *KONSTRUKCE* [online]. 2005, 6, [cit. 2010-02-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/>>.
- <sup>9</sup> ČSN EN ISO 8044. *Koroze kovů a slitin – Základní termíny a definice*. Praha: Český normalizační institut. 2000. 44 s.
- <sup>10</sup> TULKA, J. *Povrchové úpravy materiálů*. 1. vyd. Brno: VUT, 2005. 136 s. ISBN 978-214-3062-1
- <sup>11</sup> TULKA, J; HRUBÝ, V. *Koroze a ochrana materiálů*. Brno: Vojenská akademie Brno, 1997. 140 s.
- <sup>12</sup> ČERNÝ, M. aj. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. Praha: SNTL. 1984. 264 s.
- <sup>13</sup> [Http://www.vscht.cz/](http://www.vscht.cz/) [online]. [cit. 2009-12-29]. Bodová koroze. Dostupné z WWW: <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/d\\_bodova.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_bodova.htm)>.
- <sup>14</sup> [Http://www.salum.cz/](http://www.salum.cz/) [online]. 2007 [cit. 2009-29-12]. Předúprava povrchu před lakováním. Dostupné z WWW: <[http://www.salum.cz/cz\\_press\\_povrchova\\_uprava.htm](http://www.salum.cz/cz_press_povrchova_uprava.htm)>.
- <sup>15</sup> LUKAVSKÝ, L. *Nátěrové hmoty a přípravky pro povrchové úpravy*. 1. vyd. Praha: Merkur, 1985. 272 s.
- <sup>16</sup> KALEDOVÁ, A; KALENDA, P. *Technologie nátěrových hmot: Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. 328 s. ISBN 80-7194-691-5.

- 
- 17 [Http://referaty-seminarky.cz/](http://referaty-seminarky.cz/) [online]. 2006 [cit. 2010-03-21]. Konstrukční oceli k tváření. Dostupné z WWW: <<http://referaty-seminarky.cz/konstrukcni-oceli-k-tvareni/>>.
- 18 Technický list DURIDINE LF 3851 IT. Praha: Henkel, s.r.o., 2005
- 19 Technický list GRANODINE HMF 1080 IT, Praha: Henkel, s.r.o., 2003
- 20 Technický list Interpon 700. Opava: Akzo Nobel Coatings CZ, a.s., 2007
- 21 Technický list CPC-41. Praha: SAVA TRADE, s.r.o., 2009
- 22 ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut. 2007. 24 s.
- 23 [Http://cs.wikipedia.org/](http://cs.wikipedia.org/) [online]. [cit. 2010-05-13]. Injektor. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Injektor>>.
- 24 MALEK, M; TRNKA, J. *Zkoušení nátěrových hmot a nátěrů*. 1. vyd. Praha: STNL, 1959. 114-148 s. ISBN 05-113.
- 25 ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut. 2007. 13 s.
- 26 ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha: Český normalizační institut. 2007. 16 s.
- 27 ČSN 673075. *Stanovení povrchové tvrdosti tužkami*. Praha: Český normalizační institut. 1991. 8 s.
- 28 [Http://www.vscht.cz/](http://www.vscht.cz/) [online]. [cit. 2010-05-03]. Zkoušení a monitoring koroze. Dostupné z WWW: <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/o\\_monit.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_monit.htm)>.
- 29 ČSN 03 8135. *Ochrana proti korozi. Kovy, slitiny a kovové povlaky. Korozní zkoušky v kapalinách a parách. Všeobecné požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 1991. 8 s.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

PNH	prášková nátěrová hmota	-
NH	nátěrová hmota	-
$\Delta m_s$	hmotnostní úbytek korodujícího kovu	$g \cdot m^{-2}/čas$
$m_0$	hmotnost kovu před korozní interakcí	g
$m_k$	hmotnost kovu po ukončení korozní interakce	g
S	plocha povrchu korodujícího kovu	$m^2$
P	hloubka průniku korozního napadení	$\mu m$
D	průměr bodu (důlku) vzniklého korozi	$\mu m$
E	potenciál kovové elektrody	V
$\Delta G$	změna Gibbsovy energie	$J \cdot mol^{-1}$
z	oxidační číslo vznikajícího kovového iontu	-
F	Faradayova konstanta (96 494)	$C \cdot mol^{-1}$
$E_r$	rovnovážný potenciál kovové elektrody	V
$E^0$	standardní potenciál kovové elektrody	V
$a_{Me}^{z+}$	aktivita kovových iontů v roztoku	$mol \cdot dm^{-3}$
T	termodynamická teplota	K
R	molární plynová konstanta (8,314)	$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
$\eta$	přepětí	V
log	dekadický logaritmus	-
$a_{ox}$	aktivita oxidované formy reagující látky	-
$a_{red}$	aktivita redukované formy reagující látky	-
$\frac{m}{\tau}$	množství zkorodovaného kovu m za jednotku času $\tau$	$kg \cdot s^{-1}$
I	elektrický proud	A
M	relativní atomová (molekulová) hmotnost látky	$kg \cdot mol^{-1}$
J	proudová hustota	$A \cdot m^{-2}$
$J_A$	anodická proudová hustota	$A \cdot m^{-2}$
$J_K$	katodická proudová hustota	$A \cdot m^{-2}$
$J_0$	výměnná proudová hustota	$A \cdot m^{-2}$
$\alpha$	koeficient přenosu náboje	-
$J_{kor}$	korozní proudová hustota	$A \cdot m^{-2}$
$E_{kor}$	korozní potenciál kovové elektrody	V
$v_k$	korozní rychlost	$\mu m/rok$
$\tau$	doba ovlhčení	hod