

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



## **Hodnocení vlivu prostředí na korozi oceli**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Diplomant: Jan Ziegelheim

PRAHA 2008

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita

Fakulta: technická

Katedra: materiálu a strojírenské technologie

Akademický rok: 2006/2007

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant: **Jan ZIEGELHEIM**

Studijní obor: Obchod a podnikání s technikou

Studijní zaměření:

Název práce: Hodnocení vlivu prostředí na korozi oceli.

### Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

- shromáždit literární poznatky o korozi oceli a o vlivu korozního prostředí na změny vlastností oceli,
- experimentálně posoudit vliv korozního prostředí na velikost a intenzitu koroze povlakem nechráněné oceli,

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Koroze oceli.
3. Vliv korozního prostředí na změny vlastností oceli.
4. Experimentální posouzení vlivu korozního prostředí na ocel.
5. Závěr.

Metodika práce:

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- cíle práce a metody jejího zpracování,
- výsledky experimentů a jejich diskuse,
- závěry a přínos práce.

Rozsah práce: 60 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

- BROŽEK, M. – NOVÁKOVÁ, A.: Korozní prostředí a mechanické vlastnosti oceli.  
Strojárstvo – Strojírenství, 8, 2004, č. 6, s. 70. ISSN 1335-2938.
- BROŽEK, M. – NOVÁKOVÁ, A.: Vliv korozního prostředí na drsnost povrchu oceli.  
MM Průmyslové spektrum, roč. *neuveden*, 2004, č. 6, s. 66. ISSN 1212-2572.
- DAVIS, J. R.: Metals Handbook. Vol. 13., Corrosion. 9. ed. Metals Park Ohio, American Society for Metals 1987. 1415 s.
- FONTANA, M. G. – GREENE, N. D.: Corrosion engineering. 2nd ed. New York, McGraw-Hill 1978. XIII, 465 s.
- Korozija i zaštita metallov. Kijev, Naukova dumka 1972. 128 s.
- NOVOTNÝ, J.: Technologie 1. Slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy. Dotisk 1. vyd. Praha, ČVUT 1999. 227 s.
- UHLIG, H. H. – SCHMIDT, W. – SEIDEL, M.: Korrosion und Korrosionsschutz. Berlin, Akademie-Verlag 1970. 383 s.
- časopisy: Koroze a ochrana materiálu, MM Průmyslové spektrum, Strojárstvo / Strojírenství, Technický týdeník, Technik.
- firemní literatura: katalogy, prospekty

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 15. 12. 2006

Termín odevzdání diplomové práce: 30. 4. 2008



prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

vedoucí katedry



prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.

děkan

V Praze dne 15. 12. 2006

# Obsah

1 Úvod .....	1
2 Koroze a její význam .....	2
3 Vliv korozního prostředí na změny vlastností oceli .....	3
3.1 Klasifikace koroze .....	3
3.2 Rozdělení dle vnitřního mechanismu .....	4
3.2.1 Chemická koroze .....	4
3.2.2 Elektrochemická koroze (fyzikálně-chemická koroze) .....	6
3.2.2.1 Galvanický článek.....	8
3.2.2.2 Korozní makročlánky a korozní reakce .....	9
3.3 Rozdělení koroze dle prostředí .....	11
3.3.1 Atmosférická koroze.....	11
3.3.2 Koroze v kapalinách .....	16
3.3.3 Půdní koroze .....	17
3.4 Druhy koroze vlivem vnějších činitelů .....	18
3.4.1 Koroze za napětí .....	18
3.4.2 Korozní únava.....	19
3.4.3 Vibrační koroze.....	20
3.4.4 Korozní praskání kovů.....	21
3.4.5 Koroze bludnými proudy .....	22
3.5 Druhy koroze podle vzhledu (napadení).....	22
3.5.1 Rovnoměrná koroze .....	23
3.5.2 Nerovnoměrná koroze.....	23
3.5.2.1 Důlková a bodová koroze .....	23
3.5.2.2 Selektivní koroze .....	24
3.5.2.3 Interkrystalická koroze .....	25
3.5.2.4 Transkrystalická koroze.....	25
3.5.2.5 Korozní trhliny a lomy.....	26
3.6 Způsoby protikorozní ochrany.....	26
3.6.1 Volba materiálu.....	27
3.6.2 Konstrukční a technologické úpravy .....	27
3.6.3 Ochrana proti korozi úpravami korozního prostředí.....	28
3.6.4 Elektrochemická ochrana.....	28
3.7 Ochranné povlaky .....	31
3.7.1 Anorganické povlaky – kovové povlaky .....	32
3.7.1.1 Zinkové povlaky .....	33
3.7.1.2 Měděné povlaky.....	33
3.7.1.3 Chromové povlaky.....	33
3.7.1.4 Niklové povlaky.....	33
3.7.1.5 Povlaky z drahých kovů.....	34
3.7.2 Anorganické povlaky – nekovové .....	34
3.7.3 Organické povlaky .....	35
4 Experimentální posouzení vlivu korozního prostředí na ocel .....	36
4.1 Parametry a vlastnosti vzorků.....	36
4.2 Zkušební korozní prostředí .....	37
4.3 Zkušební zařízení.....	38
4.4 Metodika vyhodnocování vzorků .....	39
4.5 Výsledky experimentů a jejich diskuse .....	47
4.5.1 Vyhodnocení zkouškou hloubením podle Erichsena.....	47

4.5.2 Vyhodnocení hmotnostním úbytkem.....	48
4.5.3 Vyhodnocení zkouškou stanovením odolnosti proti nitkové korozi .....	52
4.5.4 Vyhodnocení vzorků mřížkovou zkouškou .....	54
4.5.5 Vyhodnocení tvrdosti nátěru vzorků tužkami.....	55
4.5.6 Vyhodnocení vzorků statickou zkouškou tahem .....	55
5 Závěr .....	59
6 Seznam použité literatury .....	61
Seznam obrázků.....	64
Seznam použitých tabulek .....	66
Přílohy.....	67

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Hodnocení vlivu prostředí na korozi oceli“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů citovaných v přiložené bibliografii.

V Praze dne 9. dubna 2008

---

podpis diplomanta

## **Poděkování**

Děkuji panu prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a informace při zpracovávání diplomové práce.

Dále chci poděkovat paní Alexandře Novákové za odborný dohled a rady při vykonávání praktické části diplomové práce.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá zkoumáním odolnosti různých druhů materiálů vystavených dvěma prostředími různé agresivity.

Účelem experimentu bylo zjištění, zda a v jaké míře se negativně daná prostředí vůči vzorkům projeví. Pro zkoušku byla zvolena prostředí, která v praxi působí na každého z nás. Prvním z nich byla voda s pH 6,8, jež se snažila přiblížit vodu dešťovou a druhým agresivnějším byl 1% roztok NaCl, který simuloval směs vody a posypové soli vyskytující se v zimním období na vozovkách.

Cílem práce bylo porovnat výsledky vzorků v obou prostředích a zjistit, v jaké míře se od sebe liší a jaký materiál se ukázal v průběhu experimentu vůči korozi jako nejodolnější.

V první části je definován problém koroze a její význam pro společnost.

Druhá část obsahuje klasifikování koroze.

Ve třetí části se práce věnuje druhům korozních prostředí, napadením a protikorozi ochraně.

Ve čtvrté části je zpracována metodika spolu s grafy a fotografiemi.

V páté části je vyhodnocení zkoušek a materiálů.

Klíčová slova: koroze, ocel, agresivita prostředí, protikorozi ochrana, ochranné povlaky.



## Summary

This diploma project examines the immunity of different materials which are subjected in two scenes with different aggressiveness. The object of this experiment was to discover if and how much negative exteriorization could be found against the samples. For testing were chosen exteriorizations which in common life is effecting to all of us. The first was used with water with a pH of 6,8. With this, it was put like to rainwater and the second was a more aggressive 1% solution of NaCl which simulated a mix between rainwater and salt which is in winter on the roads. The aim of the project was to confront outcomes of samples in both scenes and discover how much is different between them. Secondly, the aim was to find out which materials during this experiment show resistance.

In the first part of this project the problem of corrosion and its meaning for society is defined. The second part contains classification of corrosion. In the third part the project shows the corrosion environment, the aggression of corrosion and how it is possible to defend against corrosion. The fourth part shows processes procedures with graphs and photos. In the fifth part is the evaluation of exams and materials.

Key words: corrosion, steel, aggressiveness of environment, corrosion protection, protective coatings.

# 1 Úvod

Konstrukce, projektování a vlastní provoz zařízení vyžaduje znalost vlastností materiálu a technologie, pro kterou je zařízení určeno. Jestliže má zařízení dobře plnit svoji funkci, musíme vzít v úvahu všechny významné fyzikálně chemické vlivy, kterým bude vystaveno. Významnými činiteli jsou rovněž požadovaná životnost zařízení a náklady spojené s jeho údržbou. Proto korozní problematika, která si všímá vzájemných vlivů materiálu a prostředí, úzce souvisí jak s funkční, tak i ekonomickou otázkou tohoto problému. [3]

Ochrana kovů před korozi není záležitostí jednoduchou a nelze ji řešit bez souvislosti s podmínkami, ve kterých daná konstrukce či zařízení bude užíváno. Hlavní možnosti snižování korozních ztrát jsou v důsledném uplatňování vhodných forem protikorozní ochrany ve všech stupních přípravy, výroby i použití zařízení. [4]

Aby bylo dosaženo zlepšení všeobecného stavu ochrany proti korozi na technologickou úroveň odpovídající současnému stavu vědeckých znalostí a tím vysokých celospolečenských úspor, je zapotřebí dostatečného kvalifikovaných pracovníků, kteří svou technickou činností v projekci uplatňovali moderní vědecké poznatky nauky o korozi a řešením těchto problémů ovlivňovali efektivnost prakticky ve všech oblastech národního hospodářství. [4]

Koroze je samovolně probíhající proces znehodnocování materiálu působením okolního prostředí. Samovolnost korozních reakcí může vést k názoru, že jde o nezládnutelný přírodní jev. Korozní věda a technika však musí hledat opatření, která by průběh koroze co nejvíce zpomalila. [20]

I v dnešní době se stále usiluje o účinnější ochranu proti korozi a současně se hledá co nejekonomičtější řešení.

## 2 Koroze a její význam

Definice koroze kovů: *“Koroze kovů je 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“*. Může probíhat v atmosféře nebo jiných plynech, ve vodě a jiných kapalinách, zeminách a různých chemických látkách, které jsou s kovem ve styku. Korozím podléhají téměř všechny materiály, tedy nejen kovy a jejich slitiny, ale také anorganické materiály nekovové, jako jsou například materiály keramické či silikátové (sklo, beton) i materiály organické (pryže, plasty). [1, 2, 10]

Z definice koroze vyplývá, že koroze je vlastně vzájemné působení materiálů a prostředí. K tomu ještě přistupuje časový průběh reakce tj. rychlost koroze, která je závislá na řadě vlivů korozního systému (materiál – prostředí). Při protikorozní ochraně se tedy snažíme ovlivňovat tři základní faktory korozního systému: **materiál, korozní prostředí a korozní rychlost**. [2]

Znehodnocování materiálu v důsledku těchto samovolných reakcí je znakem, který odlišuje korozi od jiných, třeba i podobných ale žádoucích reakcí, kterým jsou materiály vystavovány s určitým záměrem (např. leptání nebo rozpouštění). [2]

Znehodnocování materiálu se projevuje jeho hmotnostním úbytkem, změnou mechanických vlastností, změnou vzhledu a podobně. Při studiu korozní problematiky je však nutno věnovat pozornost nejruznějším důsledkům, které koroze může působit. V potravinářském nebo farmaceutickém průmyslu je nutné věnovat pozornost i korozním zplodinám, které mohou podstatně ovlivnit, nebo i zcela znehodnotit, finální výrobek. [3]

Důsledným využíváním současných poznatků a možností vědy a techniky je možné korozní ztráty reálně snížit o **25 %**. Náklady na odstranění koroze se dělí na přímé a nepřímé. Přímé náklady jsou například peníze vynaložené na úpravu a natření napadené plechové části soustruhu. Nepřímé náklady jsou způsobeny například ztrátami, které firmě vzniknou v souvislosti s nemožností používání soustruhu během oprav. Tyto (nepřímé) náklady jsou obvykle daleko větší než přímé. Ztráty vznikající ročně korozí se v celosvětovém měřítku odhadují asi na 3 – 5 %

hodnoty celkové roční výroby oceli. Není to jen ztráta kovu, ale často jde o vyřazení celých strojních součástí nebo i strojů. V České republice koroze způsobí každoročně škody za cca 25 miliard Kč. Kdybychom se byli schopni s korozí vypořádat, pak by se náklady na výstavbu JE Temelín vrátily asi během 4 let. [2, 4, 5]

Rozrušování (poškození) materiálu může být rozdílné. Například od **změny vzhledu** (ztráta barvy, lesku), až po jejich **úplný rozpad** (porušení celistvosti v celém jejich průřezu – *degradace*). [1]

## 3 Vliv korozního prostředí na změny vlastností oceli

Odolnost proti korozi ovlivňují v první řadě charakteristické vlastnosti materiálu. Průběh koroze ocele je však také ve značné míře ovlivněn prostředím a podmínkami, ve kterých se konkrétní součást nachází. [8]

### 3.1 Klasifikace koroze

Koroze má různé formy a rozlišuje se z různých hledisek: [1]

- Dle *vnitřního mechanismu* na korozi
  - **chemickou**
  - **elektrochemickou**
  
- Dle *druhu korozního prostředí* na korozi
  - **atmosférickou**
  - **v kapalinách**
  - **půdní**
  - různými **chemickými látkami**

- Dle *kombinace s vnějšími činiteli* na korozi
  - při **korozi za napětí**
  - při **únavě materiálu** (korozní únava)
  - **vibrační korozi**
  - **korozní praskání**
  - **korozi bludnými proudy.**
  
- Dle *druhu korozního napadení* na korozi
  - **rovnoměrnou**
  - **nerovnoměrnou**

Jednotlivé formy koroze nelze hodnotit odděleně. O korozních pochodech, napadeních i zvláštních případech koroze je nutné uvažovat komplexně. [2]

## 3.2 Rozdělení dle vnitřního mechanismu

Jedná se o rozdělení podle charakteru probíhajících dějů. [3]

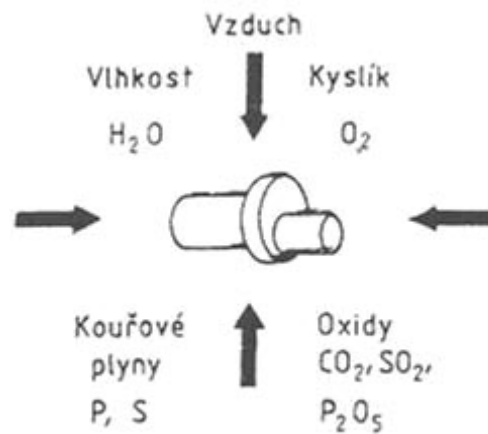
### 3.2.1 Chemická koroze

Chemicky probíhá koroze zpravidla v plynných prostředích za vyšších teplot (např. vznik okují) a v elektricky nevodivých kapalných prostředích (např. v organických kapalinách). Jsou to takové děje, při kterých dochází k chemické reakci prostředí s materiálem – obr. 1 (přesněji: atomy materiálu, které jsou v přímém sousedství s atomy obklopujícího prostředí se vzájemně ovlivňují). V případě kovů jde o přímý přestup elektronů z kovů do korozní zplodiny. [2,4]

Tyto reakce nastávají:

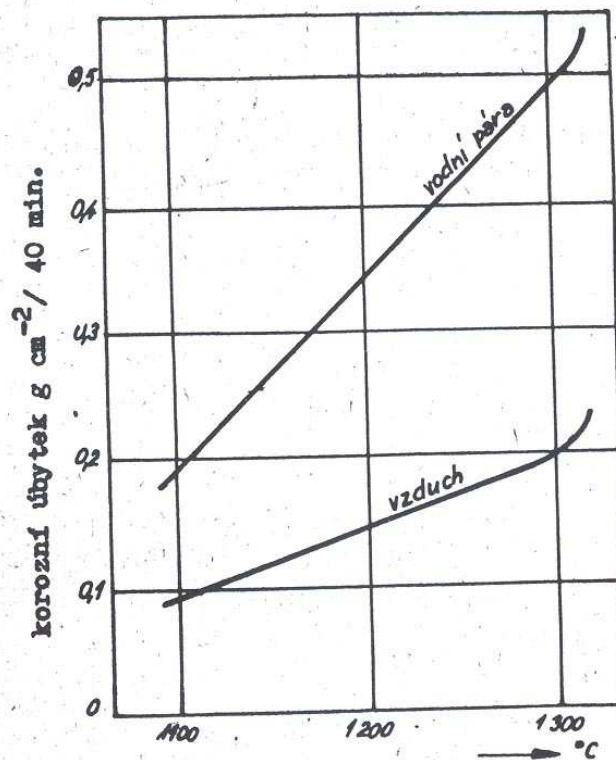
- a) při korozi elektricky nevodivých nebo velmi málo vodivých látek (sklo, sklovité smaltované povlaky, organické materiály)
- b) při korozi kovů
  - v plynných prostředích za vyšší teploty
  - v redukujících plynných prostředích
  - v nevodivých organických prostředích (organická rozpouštědla apod.) [2]

**Obr. 1** Chemické vlivy různého druhu [1]



Nejčastěji jde o oxidaci kovu, zejména oceli, v prostředí přehřáté páry a při jeho ohřevu. U některých neželezných kovů zamezuje průniku koroze do hloubky materiálu tenká vrstva oxidu, např. zelená patina u mědi, oxidační vrstva u hliníku apod. [6]

**Obr. 2** Závislost rychlosti oxidace uhlíkové oceli (0,19 C; 0,53 Mn; 0,18 Si) na teplotě ve vzduchu a vodní páře [3]



V prostředí přehřáté páry nastává:

- oxidace kovu přehřátou párou:  $\text{Me} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MeO} + \text{H}_2$
- zkřehnutí oceli vlivem difúze vodíku, který vzniká při reakci vodní páry s kovem. Dochází zde k tzv. vodíkové křehkosti, která zhoršuje mechanické vlastnosti oceli.

Při ohřevu oceli se tvoří již při teplotě 250 až 300 °C viditelná vrstva oxidů. Zvyšuje-li se teplota ohřevu, tloušťka této vrstvy narůstá a rychlost koroze se zmenšuje. [1]

### **3.2.2 Elektrochemická koroze (fyzikálně-chemická koroze)**

Definuje se jako rozrušování kovů s různými elektrickým potenciálem za vzniku elektrického proudu, který se mění v teplo. Základním předpokladem pro průběh elektrochemické koroze je nutná přítomnost elektrolytu, tj. elektricky vodivých roztoků nebo tavenin. Jde o prostředí, ve kterém je průchod proudu umožněn pohybem iontů a elektronů. Z kovu se pak mohou tyto částice přenášet na větší vzdálenost, než tu, kterou mají dva sousední atomy. Pak vzniká korozní článek, který je možno přirovnat ke galvanickému článku. [1, 2]

V tabulce 1 jsou kovy seřazeny podle velikosti jejich standardních potencionálů E. Tento potenciál určuje u každého určitého kovu napětí, které vznikne mezi elektrodou tohoto kovu a vodíkovou elektrodou (platinová elektroda pokrytá platinovou černí a nasycená vodíkem), jsou-li ponořeny do roztoku obsahujícího 1,008 g vodíkových iontů v 1 litru. Standardní potenciál E se vztahuje na teplotu 25 °C. Standardní potenciál E vodíkové elektrody je nulový a to při všech teplotách. [1]

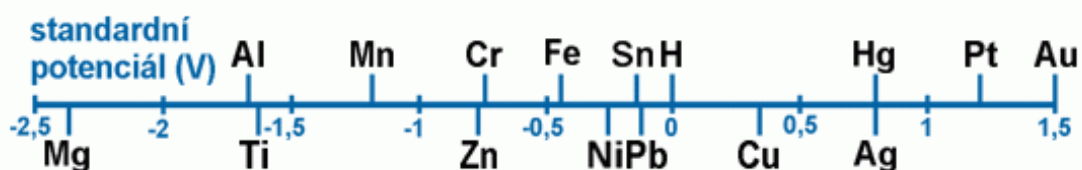
**Tab. 1** Standardní potenciály E technických kovů [1]

Chemická značka a mocenství iontů kovu		E (V)	Chemická značka a mocenství iontů kovu		E (V)
Hliník	Al <sup>3+</sup>	-1,37	Cín	Sn <sup>2+</sup>	-0,14
Hořčík	Mg <sup>2+</sup>	-1,66	Olovo	Pb <sup>2+</sup>	-0,12
Zinek	Zn <sup>2+</sup>	-0,76	<b>Vodík</b>	<b>H<sup>+</sup></b>	<b>0,00</b>
Chrom	Cr <sup>2+</sup>	-0,74	Měď	Cu <sup>2+</sup>	+0,34
Železo	Fe <sup>2+</sup>	-0,44	Měď	Cu <sup>+</sup>	+0,52
Kadmium	Cd <sup>2+</sup>	-0,40	Stříbro	Ag <sup>+</sup>	+0,8
Nikl	Ni <sup>2+</sup>	-0,25	Zlato	Au <sup>3+</sup>	+1,50

Některé kovy se rozpouštějí v elektrolytu, vysílají kladné ionty a samy se nabíjejí záporně mají, proti vodíkové elektrodě záporné napětí a nazývají se **neušlechtilé kovy** (obecné). Jiné kovy v roztoku své soli ionty na sebe přitahují, nabíjejí se kladně a mají vůči vodíkové elektrodě kladné napětí. Jsou to **ušlechtilé kovy**. Odolnost kovu proti korozi lze zhruba posuzovat dle hodnoty standardního potenciálu E tohoto kovu. [1]

Čím kladnější je potenciál kovu, tím je kov tzv. ušlechtlejší. Podle velikosti standardního potenciálu lze kovy seřadit do tzv. řady kovů. [7]

**Obr. 3** Řada kovů podle hodnoty standardního rovnovážného potenciálu (podle teoretické ušlechtilosti) [10]



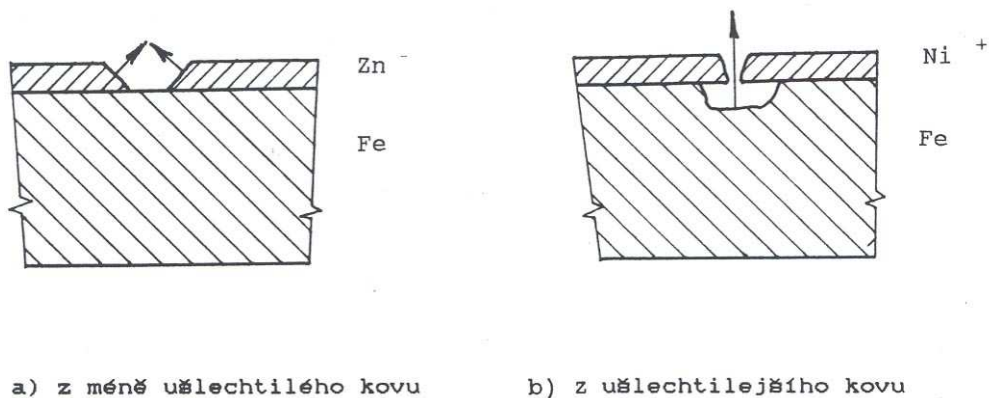
**Kovy s větším záporným potenciálem mají menší odolnost proti korozi než kovy s menším záporným nebo kladným potenciálem. [1]**

Rozdílné potenciály kovů v elektrochemické řadě vyjadřují také ochranou schopnost kovů, jsou-li použity jako ochranný povlak. Např. povlak zinku, který je negativnějším členem řady než železo, chrání jej proti korozi, protože jako anoda



koroduje zinek nejdříve. Ochrannou schopnost má proto i v případě, že je povlak pórovitý (obr. 4). [2]

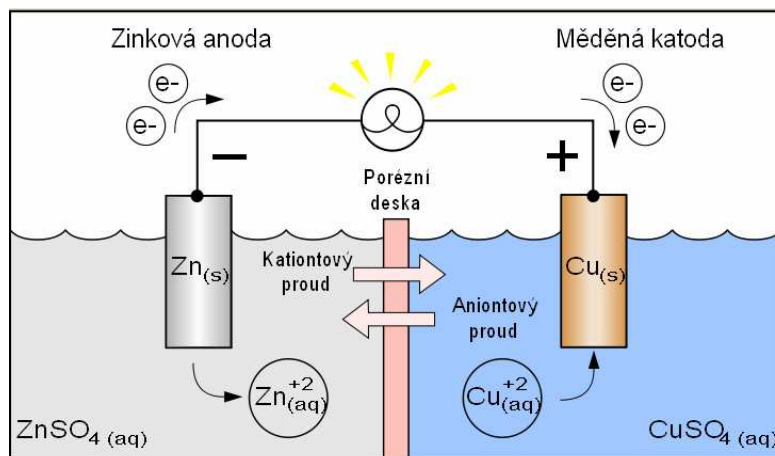
**Obr. 4** Schéma ochranné funkce povlaků na oceli [2]



### 3.2.2.1 Galvanický článek

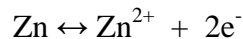
Mechanismus elektrochemické koroze lze vysvětlit i porovnáním s ději, které probíhají v **galvanickém článku**, který vzniká při ponoření dvou kovů s různými potenciály do elektrolytu. [1]

**Obr. 5** Schéma galvanického článku [22]

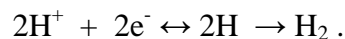


Tento článek má zinkovou elektrodu ponořenou do roztoku síranu zinečnatého a měděnou elektrodu, ponořenou do roztoku síranu měďnatého. Oba roztoky jsou oddělené porézni deskou, která dovoluje průchod elektrického proudu, avšak zabraňuje smíchání elektrolytů. [8]

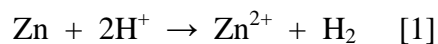
Zinková elektroda se rozpouští a uvolněnými elektrony se nabíjí záporně:



Probíhá oxidace zinku. Měděná elektroda je však stálá, protože měď je ušlechtilý kov. Oproti zinkové elektrodě, která má nadbytek elektronů, se jeví méně záporně a označuje se jako kladná. Spojí-li se vodivě obě elektrody, mohou elektrony volně procházet ze zinkové elektrody na elektrodu měděnou. Na ní se neutralizují vodíkové ionty z roztoku a redukují se na vodík:



Celkovou chemickou reakci pak vyjadřujeme rovnicí :

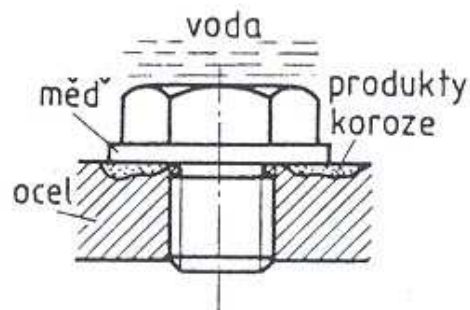


### 3.2.2.2 Korozní makročlánky a korozní reakce

Pro vznik korozního článku musí dojít v korozním prostředí ke spojení dvou rozdílných vodivých materiálů, z nichž alespoň jeden je kov nebo dvou stejných kovů v prostředí s rozdílnou koncentrací některé složky. Projevem koroze působením makročlánku je zvýšení korozní rychlosti jednoho z kovů, nejčastěji kovu méně ušlechtilého a potlačení koroze na kovu druhém. [9]

Podobný děj vznikne např. tehdy, jestliže se do ocelové nádrže naplněné vodou zašroubuje měděný šroub.

Obr. 6 Korozní makročlánek [9]



Ocel, která má záporný potenciál, se stane anodou a bude se rozpouštět. Měď šroubu, která má kladný potenciál, se stane katodou. Vznikne tzv. korozní

**makročlánek**, který je v podstatě galvanickým článkem. Rozdíl potenciálu železa a mědi je dle tabulky:

$$U = E_{Cu} - E_{Fe} = 0,34V - (-0,44)V = 0,78V.$$

Takové spojení dvou kovů je konstrukční chybou!! [1]

**Obr. 7** Příklad z praxe dvou chybně spojených materiálů



*Materiál:* litina / měď

*Předmět:* trubka rozvodu plynu spojená s domovním měděným rozvodem

*Prostředí:* půda

*Doba expozice:* neznámá [9]

**Tab. 2** Přehled vlivu spojení kovových materiálů na korozi (svisle je kov spojením ovlivňovaný, vodorovně ovlivňující)

	Uhlíková ocel, litina	Korozivzdorné oceli	Měď a slitiny	Hliník a slitiny	zinek	Olovo, cín, pájky	zlato
Uhlíková ocel, litina							
Korozivzdorné oceli							
Měď a slitiny							
Hliník a slitiny							
Zinek							
Olovo, cín, pájky							
zlato							

Zelená – korozní ovlivnění je zanedbatelné (kombinace kovů nemá vliv)

Žlutá – koroze je spojením mírně zvýšena (kombinace kovů je přijatelná)

Červená – korozní ovlivnění je velmi velké (kombinace kovů se nedoporučuje) [11]

Elektrochemická koroze probíhá vždy v elektricky vodivém prostředí elektrolytu a skládá se ze dvou dílčích dějů anodového a katodového. *Anodový děj* probíhá tak, že iont vystupuje z mřížky elektronegativnější složky, hydratuje se a vstupuje do elektrolytu. Tato reakce (děj) má oxidační charakter. K odstraňování elektronů uvolněných přechodem v iontovou formu dochází *katodickou reakcí*, a to reakcí elektronů s ionty a atomy schopnými redukce. [1]

### 3.3 Rozdělení koroze dle prostředí

Ovzduší, kapaliny a zeminy jsou obvyklá prostředí, která obklopují strojní součásti a strojní zařízení. Podle toho rozlišujeme koroze na následující: [1]

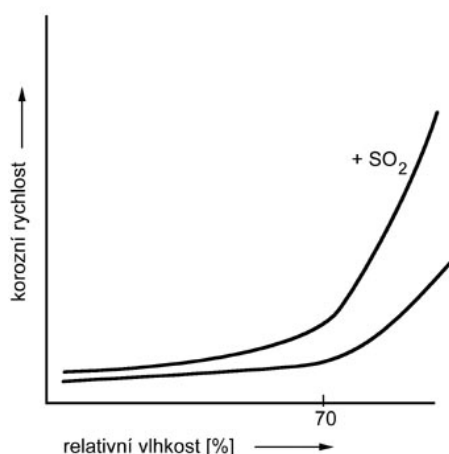
#### 3.3.1 Atmosférická koroze

Atmosférická koroze je jedním z nejrozšířenějších druhů koroze. Odhaduje se, že přibližně 60 % veškerých ztrát korozí je způsobeno právě korozí atmosférickou. Je to dáno tím, že působení atmosféry je vystaven celkově největší povrch konstrukčního materiálu, nejčastěji uhlíkové oceli. Korozním účinkům vnější atmosféry jsou vystaveny kovové stavební konstrukce, automobily a mnoho dalších kovových předmětů. V klasifikaci koroze je atmosférická koroze řazena mezi elektrochemické druhy. Elektrochemický charakter atmosférické koroze prokázal především Vernon, Schikorr a Akimov. Tito autoři zjistili, že k technicky významné atmosférické korozi může dojít pouze v dostatečně vlhkých atmosférách v nichž na povrchu kovu rozličnými mechanismy vzniká vrstvička elektrolytu. Korozní děj probíhá pod velmi tenkou vrstvou vody, nasycené rozpustnými složkami atmosféry. Tento vodní film o tloušťce 50 až 150  $\mu\text{m}$  vzniká kondenzací vodních par obsažených ve vzduchu, jeho vznik je tedy podmíněn relativní vlhkostí vzduchu. Je-li povrch kovu drsný a pokrytý prachem a nečistotami, tvoří se vodní film při nižší relativní vlhkosti, asi kolem 60 % - 80 % (to odpovídá 10 až 14 g  $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-3}$  vzduchu při 20 °C) a nazývá se **kritická relativní vlhkost**, jež je minimální vlhkostí potřebnou pro vytvoření elektrolytu na povrchu kovu a spuštění korozního procesu. Důležitý význam má i kyslík, který proniká pod tento tenký vodní film a korozi urychluje. [1, 4, 11]

Atmosférická koroze závisí především na vlhkosti, znečištění atmosféry, teplotě, srážkách, složení a stavu povrchu, slunečním záření, větru a biologických činitelích.

Agresivitu atmosféry ovlivňuje přítomnost řady látek, z nichž v našich podmínkách je nejvýznamnější stimulátor koroze kovů oxid siřičitý. Se vzrůstem jeho koncentrace ve vzduchu narůstá i rychlost depozice oxidu siřičitého a korozní rychlost kovů. [4, 11]

**Obr. 8** Vliv relativní vlhkosti a oxidu siřičitého na korozní rychlost atmosférické koroze uhlíkové oceli [11]



Při konstrukci různých strojních součástí je nutné znát rychlost koroze měřenou úbytkem materiálu za určitou dobu a volit způsob ochrany. Hlavním aspektem jsou vlastnosti prostředí. Proto norma ČSN 03 8203 rozděluje atmosféry podle korozní aktivity do pěti stupňů:

C1 – *velmi nízká*. Atmosféry uzavřených, klimatizovaných místností, v nichž nedochází ke kondenzaci vody.

C2 – *nízká*. Vztahuje se na prostory, v nichž dochází k občasné kondenzaci.

C3 – *střední*. Odpovídá suchým klimatům.

C4 – *vysoká*. Vlhké oblasti za působení atmosférických nečistot průmyslových měst.

C5 – *velmi vysoká*. Velmi vlhké oblasti se stálými atmosférickými nečistotami. Jedná se například o přímořská, průmyslová města. [1]

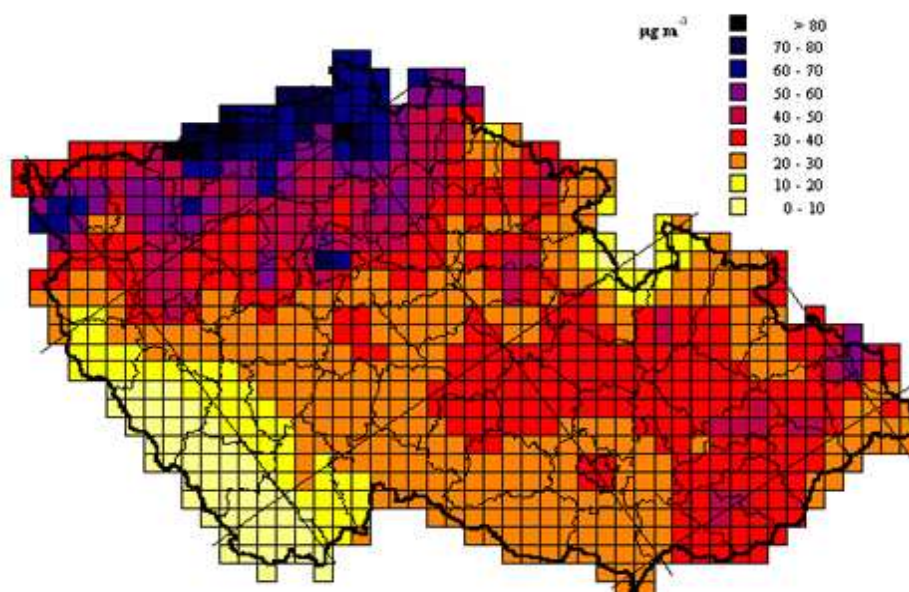
V současné době je atmosféra velice znečištěná, a proto místa s relativně čistou atmosférou téměř neexistují. Intenzivní atmosférická koroze vzniká v průmyslových a velkoměstských oblastech s vlhkou, silně znečištěnou atmosférou.

Podle znečištění rozeznáváme tyto typy vnějších atmosfér:

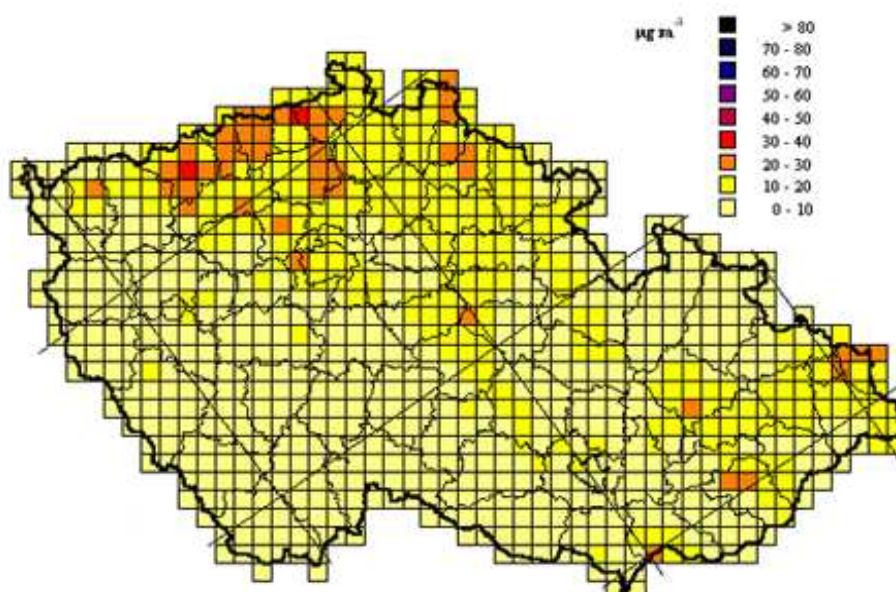
- **venkovská atmosféra** (venkovské oblasti a malá města, bez významného znečištění oxidem siřičitým, chloridy a dalšími látkami),
- **městská atmosféra** (území s hustým osídlením, ale bez velkých průmyslových objektů - střední znečištění oxidem siřičitým),
- **průmyslová atmosféra** (území se silnou průmyslovou činností - vysoké znečištění oxidem siřičitým a specifickými látkami). [11]

Vnější atmosféru v České republice lze podle nynější agresivity pokládat již za poměrně čistou, neboť koncentrace oxidu siřičitého (roční průměr 1998) je na většině území do  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (97 % území). Vzhledem k prudkému poklesu korozní agresivity naší atmosféry (srovnání koncentrace  $\text{SO}_2$  v letech 1991 s údaji roku 1998 v obr. 9 a 10), lze počítat s hodnotami korozní rychlosti oceli i do  $10 \mu\text{m}$  za rok (to odpovídá úbytku tloušťky stěny při expozici z jedné strany 1 mm za sto let). Taková hodnota by byla již někdy přijatelná z funkčního hlediska, často nikoli však z hlediska estetického. Na povrchu běžných železných materiálů vzniká rez, pórovitý precipitát hydratovaných oxidů železa, který nemá významnější ochranný účinek a vzhledově předmět většinou znehodnocuje. [11]

**Obr. 9** Roční průměrná koncentrace  $\text{SO}_2$  v  $\mu\text{g m}^{-3}$  na území České republiky v síti 10 x 10 km v roce 1991 [ 11]



**Obr. 10** Roční průměrná koncentrace  $\text{SO}_2$  v  $\mu\text{g m}^{-3}$  na území České republiky v síti 10 x 10 km v roce 1998 [11]



Novější grafické podklady nebyly k dispozici, dá se však předpokládat, že v současné době koncentrace  $\text{SO}_2$  v  $\mu\text{g m}^{-3}$  na území České republiky nepřesahuje 10 – 20  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Rychlost koroze základních technických kovů pro jednotlivé stupně korozní agresivity atmosfér uvádí tab. 3.

**Tab. 3** Rychlost koroze základních technických kovů pro jednotlivé stupně korozní agresivity [4]

Rychlost koroze ( $\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$ )					
Stupeň agresivity atmosféry	C1	C2	C3	C4	C5
Uhlíková ocel	0 – 0,01	0,01 – 0,1	0,1 – 25	25 – 50	>50
Měď	0	0 – 0,1	0,1 – 3	3 – 5	>5
Hliník	0	0	0 – 0,1	0,1 – 1	>1
Zinek	0 – 0,01	0,01 – 0,1	0,1 – 5	5 – 10	>10

Uvedené korozní rychlosti jsou orientační a udávají přibližně mezní hodnoty dlouhodobé korozní rychlosti v prostředí o daném stupni korozní agresivity. [4]

Důležitý je i vliv teploty. Při nízkých teplotách se atmosférická koroze zastavuje zmrznutím elektrolytu. Při vzrůstající teplotě vzrůstá i rychlost koroze. Často však zvýšení teploty může mít za následek snížení vlhkosti až pod kritickou hodnotu a tím zpomalit a postupně zastavit korozní pochod [1, 12]

Dešťové srážky nelze považovat za rozhodující činitele atmosférické koroze. Příčina je v tom, že déšť sice zajišťuje vrstvičku elektrolytu na povrchu kovu, ale smývá z něj usazené korozní zplodiny a nečistoty (kyseliny, soli), které mají stimulační účinek na atmosférickou korozi. Praktické zkušenosti a výsledky zkoušek potvrzují, že povrchy omývané deštěm jsou napadány podstatně slaběji korozi než ty, jež za jinak stejných korozních podmínek jsou před deštěm chráněny. Rosa patří ke korozně významným vlivům, ve znečištěných atmosférách je koncentrace agresivních složek (oxid siřičitý) v rose zvláště vysoká. Sníh a další srážkové formy vody v tuhém skupenství nejsou z hlediska atmosférické koroze příliš významné. [12]



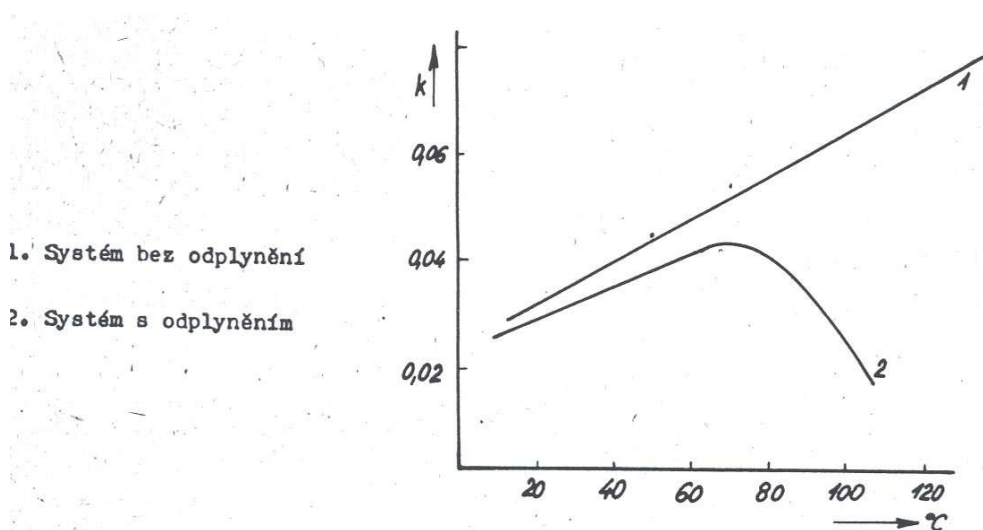
**Obr. 11** Typické napadení atmosferickozu korozí [23]



### 3.3.2 Koroze v kapalinách

Z oblasti koroze v kapalinách má největší význam koroze ve vodách. Do styku s vodou přicházejí vodní stroje, stroje a zařízení na výrobu páry nebo potrubí a armatury. Agresivita vody z hlediska koroze je kromě tvrdosti závislá i na hodnotě pH, na množství plynů rozpuštěných ve vodě a proudění vody. Nejzásadnější význam pro korozi ve vodách má přítomnost kyslíku. Koroze v bezkyslíkaté vodě probíhá u většiny kovů za běžných teplot v malé míře. Kyslík se v průběhu elektrochemické koroze uplatňuje jako depolarizátor. Vody pro průmyslové účely se změkčují, chemicky upravují a odplyňují. [6]

**Obr. 12** Závislost korozní rychlosti  $k$  pro ocel na teplotě vody [3]



Zvláštním případem erozně – korozního prostředí je kavitace, s níž se setkáváme u některých zařízení (vodní turbíny apod.). Při velkých rychlostech proudění vody. [4]

**Obr. 13** Měděný rotor napadený korozí ve vodě. [10]



### 3.3.3 Půdní koroze

Půda je tvořena fází tuhou, plynnou a kapalnou. Z korozního hlediska má základní význam kapalná fáze, představovaná vodným roztokem elektrolytů s různým množstvím rozpuštěných plynů. Proto koroze půdní patří mezi zvláštní případy koroze v roztocích elektrolytů. Na charakter půdní vlhkosti má samozřejmě vliv složení půdy a plynné atmosféry. Kyslík obsažený v půdě působí jako katodický depolizátor (urychluje rozpouštění kovu) a rychlost katodického pochodu je proto přímo závislá na provzdušnění půdy. [4, 13]

Plynnou fází tvoří půdní atmosféra, která se v důsledku mikrobiální činnosti a často ztíženého styku s normální atmosférou poněkud liší od jejího složení. Obsah kyslíku bývá nižší (10 – 20 %), zatímco obsah dusíku (78 – 80 %) a oxidu uhličitého (0,1 – 10 %) bývá zvýšen. [13]

Sama půda má různé chemické složení, čímž je ovlivněn i charakter vody v půdě obsažené. Významnou roli hraje rovněž struktura půdy, protože na ní je v podstatné míře závislá vzájemná výměna plynné fáze mezi půdou a atmosférou. [3]

Procesy koroze v půdě patří k nejsložitějším korozním procesům. Vedle základních faktorů, jako je struktura půdy, její chemické složení, pH a vlhkost ovlivňují korozi v půdě též elektrická vodivost, teplota a mikrobiální činnost. [4]

**Obr.14** Součást napadená korozí v půdě [13]



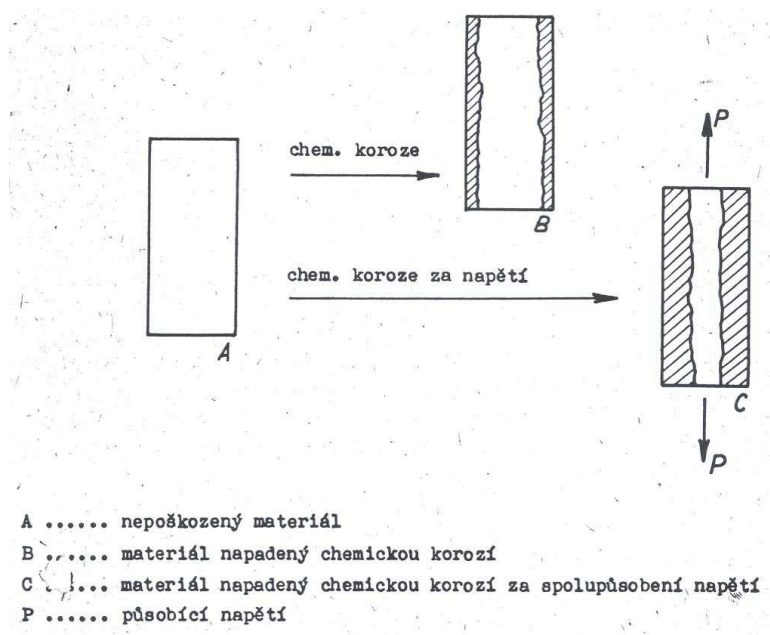
### **3.4 Druhy koroze vlivem vnějších činitelů**

Strojní zařízení pracující v korozním prostředí podléhají často zvýšenému koroznímu rozrušení, působí-li současně i jiné vlivy, hlavně různé formy mechanického namáhání. [1]

#### **3.4.1 Koroze za napětí**

Je to kombinovaný vliv koroze a napětí na rychlost rozpouštění materiálu. Koroze je v tomto případě urychlována vlivem pnutí v materiálu, ale probíhá i bez jeho přítomnosti, avšak nižší rychlostí. Napětí se soustřeďuje ve vrubech nebo na hranicích zrn, kde se tím zmenšuje elektroodový potenciál. Napadení proniká do značné hloubky materiálu, pevnost rychle klesá bez pozorovatelné změny na povrchu kovu. Praktickým příkladem je rychlá koroze v ohybech kotlových trubek. [1,3]

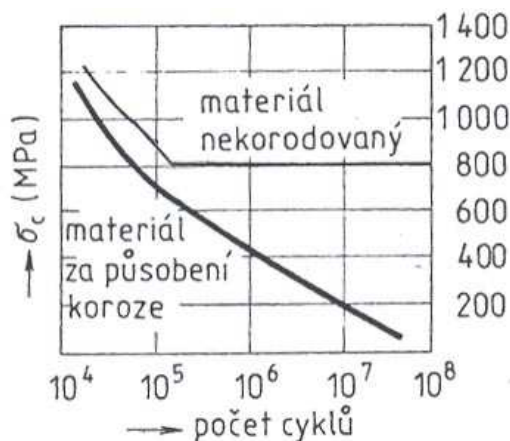
**Obr. 15** Koroze za napětí [3]



### 3.4.2 Korozní únava

Je-li materiál namáhán na únavu za koroze, mluvíme o korozní únavě. Vzniká tehdy, je-li materiál namáhán jakýmkoli druhem proměnlivého namáhání za současného vlivu korozního prostředí. Materiál se porušuje již při menším napětí, než odpovídá mezi únavy. Čím menší je napětí, tím větší počet cyklů je potřeba pro narušení materiálu. Wöhlerova křivka se výrazně mění, chybí jí vodorovná část (obr. 16). Charakter lomu korozní únavou je velmi charakteristickým frézovitým tvarem v důsledku vysokého počtu ohnisek únavy, vzniklých v rovině maximálního napětí. Korozní únavou velmi trpí hřídele a písty čerpadel, pružiny železničních vozů apod. [1,3,4]

**Obr. 16** Vliv korozní únavy na průběh Wöhlerovy křivky [1]



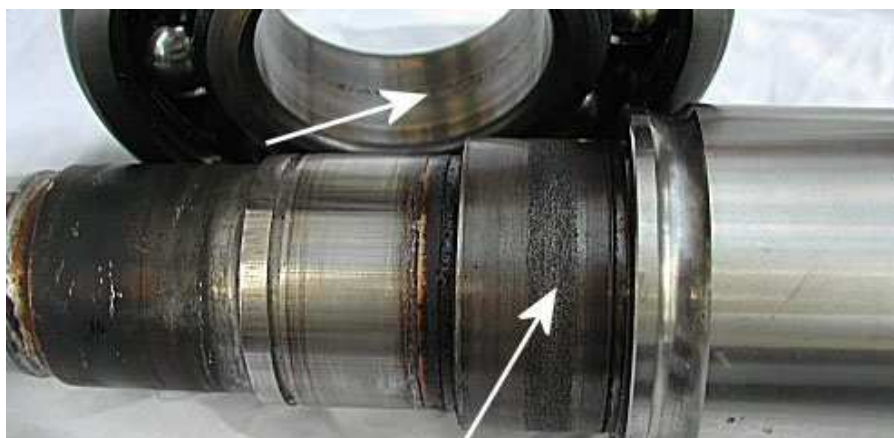
**Obr.17** Korozní únava mosazné trubky [24]



### 3.4.3 Vibrační koroze

Tento druh koroze vzniká, jestliže se po sobě tře ocel s jakýmkoli materiálem za současného vibračního pohybu při mezních hodnotách součinitele tření a malou amplitudou. K vibrační korozi dochází i za podmínek nízké relativní vlhkosti atmosféry, kdy je korozní vliv atmosféry zanedbatelný. Může se projevovat nejen na zařízení, které tento druh koroze způsobuje, ale rovněž na zařízení, které je vystaveno vibraci z jiného zdroje. Protože korozní zplodiny oceli mají červenou barvu (hydratovaný  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), mluví se někdy o “krvácení kovu“. Vyskytuje se nejčastěji u ložisek vodních turbín, textilních nebo tiskařských strojů a dalších strojních částí s vibracemi. Vibrační koroze může vést na tahově namáhaných součástech k lomům. Této korozi se čelí mazáním tuhými mazivy nebo je možné i zvětšit jejich amplitudu. [1, 3, 14]

**Obr. 18** Součást napadená vibrační korozí [25]



### 3.4.4 Korozní praskání kovů

Vzniká při současném působení korozního prostředí a mechanického namáhání tahem. Projevuje se vznikem trhlin, které se rozkládají kolmo na směr působení tahových pnutí a mají interkrystalový, transkrystalový nebo smíšený charakter a je závislý na vlastnostech materiálu a prostředí. Mechanismus korozního praskání mnoha technicky důležitých materiálů se vysvětluje aktivním rozpouštěním na čele trhliny, která zároveň působí jako koncentrátor napětí (obr. 19). Rychlost napadení a následné praskání je značně intenzivnější, nežli u běžného chemického napadení. [1, 3]

**Obr. 19** Korozní praskání kovů [38]



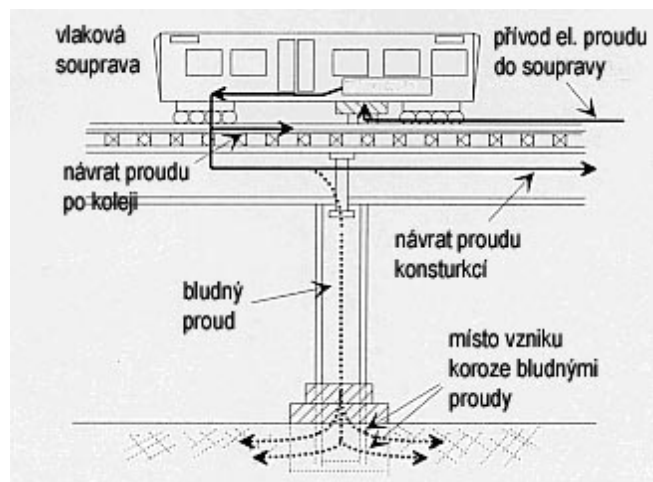
**Obr. 20** Mosazná trubka o délce 80 mm, průměru 100 mm a tloušťce stěny 3 mm. Doba expozice 1 rok. [37]



### 3.4.5 Koroze bludnými proudy

Často označována také jako elektrokorozie. Vzniká všude, kde vniká nekontrolovaný (bludný) proud z kladného pólu do zařízení a v jiném místě je opět opouští. Místo, kde proud vystupuje, je anodou a nastává na něm značné rozpouštění kovu. Tento druh koroze je spojován především s korozí v půdě. Vnějšími zdroji stejnosměrného proudu mohou být například rozvody kolejových vozidel. Při průtoku proudu 1 A rozruší se přibližně ročně 10 Kg Fe, 11 Kg Cu nebo 37 Kg Pb. Poškození se projevuje zejména na potrubích, olověných pláštích kabelů, ocelobetonových kostrách budov apod. Této korozi se čelí například dokonalou izolací všech vodičů a potrubí uložených v zemi. [1, 3]

**Obr. 21** Příklad vzniku bludných proudů [27]



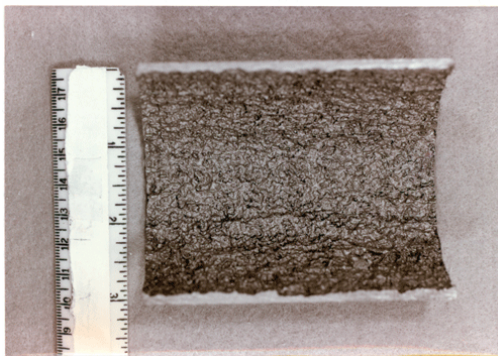
### 3.5 Druhy koroze podle vzhladu (napadení)

Koroze se projevují různým vzhladem (napadením). Jsou rozlišovány podle intenzity a charakteru pronikání prostředí do kovu a porušování jeho struktury. Nejspolehlivějším hodnocením korozního napadení je hodnocení metalografické (strukturní), které určuje norma. Provádí se na vzorcích z místa napadení tak, že plocha výbrusu je kolmá ke korodovanému povrchu. Hlavní druhy napadení jsou: [1, 4]

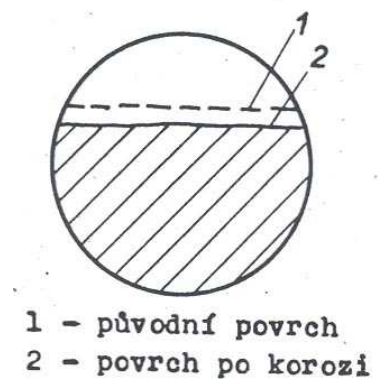
### 3.5.1 Rovnoměrná koroze

Rovnoměrnou korozi se rozumí rovnoměrné napadení se stejnou korozní rychlostí na celém povrchu, který je ve styku s korozním prostředím. V jednotlivých místech se sice může projevovat koroze různou intenzitou, ta se však mění s časem a celkový výsledek je prakticky rovnoměrné napadení korozi. [3, 5]

**Obr. 22** Ukázka rovnoměrné koroze [28]  
[4]



**Obr. 23** Rovnoměrné napadení



### 3.5.2 Nerovnoměrná koroze

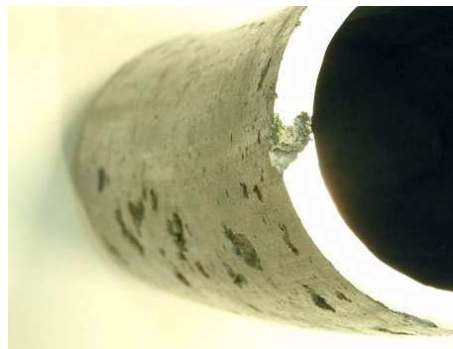
Napadá jen určitá místa materiálu. Je typická pro podmínky, za kterých se místně mění vlastnosti materiálu, případně prostředí. Vznikají tak různé korozní zplodiny v různé míře a mohou pak následně působit další nerovnoměrnou korozi. Proto se s nerovnoměrnou korozi setkáváme nejčastěji v místech, kde materiál obsahuje nečistoty z výroby nebo na rozhraní fází (např. při korozi v půdě na rozhraní suché a vlhké půdy). Nerovnoměrná koroze má tyto podoby: [3]

#### 3.5.2.1 Důlková a bodová koroze (pitting)

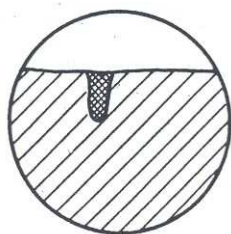
Místní zvýšení aktivity kovového povrchu nebo korozních zplodin se projevují bodovým nebo důlkovým napadením. Konečným výsledkem tohoto napadení je proděravění kovového materiálu, např. stěn potrubí. Pro vznik koroze tohoto typu jsou významné strukturní nestejnorodosti povrchu kovu nebo jeho ochranných vrstev a vlastnosti korozního prostředí. Hloubka důlkového napadení je obvykle menší než největší průměr důlku. Zvětšuje-li se další korozi podstatně hloubka korozního napadení oproti zvětšování šířky, označuje se tato koroze jako bodová. [4]



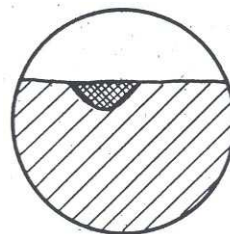
**Obr. 24** Bodová koroze hliníku ve vodě s obsahem chloridu [29]



**Obr. 25** Bodové napadení [4]



**Obr. 26** Důlkové napadení [4]



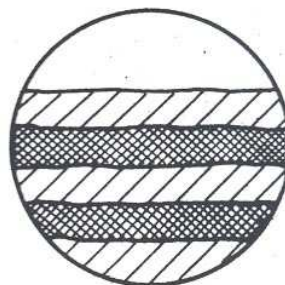
### 3.5.2.2 Selektivní koroze

Slitiny se dvou a vícefázovou strukturou korodují v některém prostředí tím způsobem, že korozní napadení se soustřeďuje jen na jednu fázi. Selektivní korozi jen některé fáze slitiny vzniká napadení tvaru obr. 27 způsobené odlišným složením fáze a tím odlišnou odolností vůči koroznímu prostředí. Vrstvené materiály nebo ochranné povlaky kombinované z různých kovů mohou korodovat po korozně méně odolných vrstvách obr. 28. U kovů s jednofázovou strukturou může vzniknout selektivní korozní napadení v místech mechanického porušení povrchu s oblastmi plasticky deformovaných zrn. [4]

**Obr 27** Selektivní napadení [4]



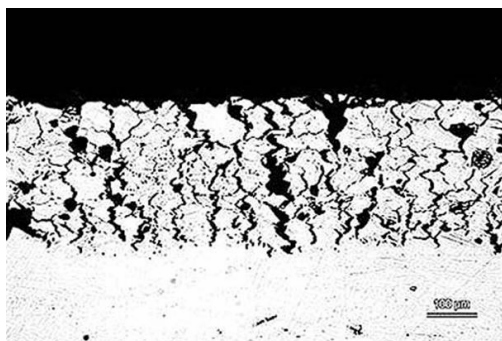
**Obr. 28** Postupné selektivní napadení [4]



### 3.5.2.3 Interkrystalická koroze

Postupuje po hranicích zrn do hloubky bez hmotnostního úbytku při úplné ztrátě mechanických vlastností materiálu. Je to dáno tím, že za určitých podmínek přednostně koroduje materiál v úzkém pásmu na hranici zrn, která pak vzájemně ztrácejí soudržnost. (obr. 30). Korodované pásmo podél hranic zrn má různou šířku od submikroskopické velikosti (nižší než  $2 \cdot 10^{-4}$  mm) až do šířky řádově  $10^{-3}$  mm. Hloubka korozního napadení není závislá tak velkou měrou na šířce korodovaného pásma jako na rozdílu vlastností pásma podél hranice zrna a vlastní plochy zrna. [1, 4, 15]

**Obr. 29** Interkrystalická koroze [15]



**Obr. 30** Schéma interkrystalické koroze [4]



### 3.5.2.4 Transkrystalická koroze

Podobně jako vzniká na hranicích zrn interkrystalická koroze, může vznikat síť značně rozvětvených trhlinek procházejících napříč zrny, tj. transkrystalové korozní napadení obr. 31. Vzniká při současném působení elektrochemických vlivů při současném mechanickém namáhání materiálu vnějšími silami nebo vnitřním pnutím. Jak interkrystalová, tak i transkrystalová koroze jsou velmi nebezpečné, protože probíhají bez hmotnostního úbytku, při úplné ztrátě mechanických vlastností materiálu. Obě jsou příčinou porušení hřídelů, potrubí, tlakových nádob atd. [3, 4]

**Obr. 31** Transkrystalická koroze[4]



#### **3.5.2.5 Korozní trhliny a lomy**

Mají několik forem podle mechanického namáhání. Probíhají transkrystalově, interkrystalově nebo spojitě buď na povrchu, nebo do hloubky. Vznik lomů v korozním prostředí se připisuje současnému působení prostředí a různému druhu mechanického namáhání (tah, smyk, krut, ohyb apod.) a případným spolupůsobením vnitřního pnutí. [3]

### **3.6 Způsoby protikorozi ochrany**

Ochranou proti korozi rozumíme soubor opatření, která směřují ke snížení ztrát způsobených korozi, přičemž základním požadavkem na ochranu je její adekvátnost. To znamená, že stupeň ochrany musí být adekvátní korozní agresivitě prostředí. Rozlišujeme ochranu proti korozi dlouhodobou a krátkodobou. Dlouhodobá ochrana splňuje funkční a vzhledové požadavky na výrobek a jeho součásti. Již při konstrukci se volí takové materiály a povrchové úpravy, které zajistí že výrobek nebude předčasně znehodnocen korozním napadením. [16]

Při volbě protikorozi ochrany je nutné uvažovat dva základní činitele a to hledisko technické a ekonomické. Tyto dva činitele jsou spolu nerozlučně spjaty, protože volba protikorozi ochrany musí uvažovat jak funkční vlastnosti, tak i životnost chráněného zařízení, s ohledem na předpokládanou dobu jeho použití a s ohledem na náklady, které jsou se zavedením a údržbou ochrany spojeny. Proto každý projekt a konstrukce musí obsahovat komplexní řešení protikorozi ochrany. [3]

Rychlost koroze výrobků či zařízení lze omezit několika způsoby již při jejich navrhování. Jsou to: *volba materiálu, technologické a povrchové úpravy, úprava prostředí, elektrochemická ochrana, konstrukční volba a ochrana výrobků povlaky*. [1]

### 3.6.1 Volba materiálu

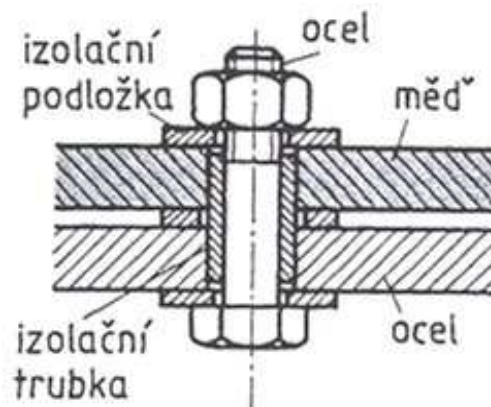
Různé kovové materiály korodují za stejných podmínek různou rychlostí. Proto volba materiálu poskytuje konstruktérovi první možnost omezení rychlosti koroze. Využívá se specifických vlastností kovů a jejich slitin, a to jejich stálosti v různých prostředích. Pokud korozně odolný materiál nevyhovuje z pevnostních důvodů nebo je cenově nevyhovující, má konstruktér možnost použít např. konstrukčních ocelí plátovaných korozivzdornými ocelmi. Tento postup je běžný při konstrukci tlakových chemických nádob.

Jestliže nelze zjistit nejvhodnější materiál, provádějí se korozní zkoušky v umělých atmosférách, při kterých jsou modelovány podmínky, ve kterých drahý výrobek či zařízení pracuje. Podmínky jsou určeny normou. [1]

### 3.6.2 Konstrukční a technologické úpravy

V praxi se běžně vyskytují výrobky, jejichž konstrukční nebo technologické provedení způsobuje nebo urychluje korozi. Nejčastěji jsou to tyto chyby: *Místní přehřívání materiálu, vytváření korozního makročlánku, soustředování usazenin, nevhodné tvary z hlediska předpokládané ochrany povlaky, nevhodné provedení svarů a nevhodná kombinace korozních a mechanických namáhání.* [1]

**Obr. 32** Příklad správného řešení spoje oceli s mědí [1]



Tam, kde vlivem koroze dochází k úbytkům průřezu materiálu (nádoby, potrubí, mostní a jiné konstrukce), zvětšuje konstruktér průřezy o tzv. **přídavek na korozi**, který odpovídá znehodnocení materiálu během předpokládané životnosti výrobku. [1]

### 3.6.3 Ochrana proti korozi úpravami korozního prostředí

Zvýšení korozní odolnosti kovů lze dosáhnout i tím, že se korozní prostředí přizpůsobuje korozním vlastnostem kovu. Upravují se tak kapalná i plynná prostředí a to:

- snížením koncentrace korozně aktivních látek nebo jejich odstraněním,
- přidáním látek, tzv. **inhibitorů**, která snižují rychlost koroze.

V plynných prostředích je intenzivní koroze podmíněna určitým obsahem vlhkosti. Proto se vlhkost v atmosféře snižuje pod hodnotu kritické relativní vlhkosti. Obsah vody lze snižovat jejím vázáním na hygroskopické látky (vysoušedla). Toho se používá k ochraně skladovaných nebo přepravovaných výrobků. Vysoušedlo udržuje v prostoru nízkou relativní vlhkost. Nejpoužívanějším vysoušedlem je silikagel, oxid hlinitý nebo oxid vápenatý. [1]

Rychlost koroze v kapalinách ovlivňuje rozhodným způsobem kyslík, proto je odstraňování kyslíku z napájecích vod důležité. Předchází se tím korozi energetických systémů a rozvodů vody. Kyslík se odstraňuje fyzikálně i chemicky. Fyzikálně odplyňováním za varu v tlakových nebo vakuových odplyňovačích, chemicky pak přidáváním různých látek, např. siřičitanu sodného a pomocí měničů iontů. [1]

Druhý způsob, přidání inhibitorů, se provádí hlavně u chladicích systémů. Inhibitory koroze jsou látky, které přidány v malém množství do korozního prostředí snižují významným způsobem rychlost koroze. Mohou to být jak látky anorganické, tak i organické. Používají se inhibitory chromové, dusitan sodný nebo borax. [3]

### 3.6.4. Elektrochemická ochrana

Elektrochemická protikorozní ochrana je založena na účincích stejnosměrného proudu procházejícího chráněným kovovým povrchem, které vedou ke snížení korozní rychlosti. Při průchodu stejnosměrného proudu dochází jak ke změně elektrodového potenciálu kovu, tak ke změnám složení korozního prostředí, přiléhajícího k chráněnému povrchu. [17]

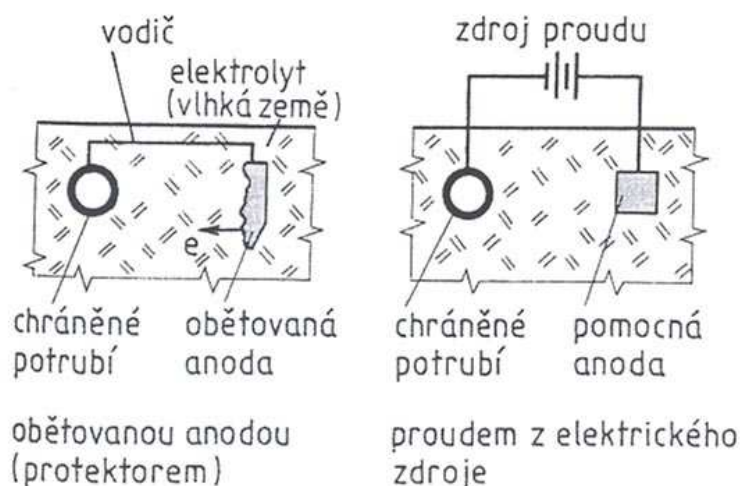
Známe dva způsoby této ochrany:

- **katodická ochrana** – v důsledku katodické polarizace je chráněný kov převeden do *stavu imunity* (stav ve kterém koroze neprobíhá),
- **anodická ochrana** – v důsledku anodické polarizace je chráněný kov převeden do *stavu pasivity* (stav, ve kterém je kov proti korozi odolný).

*Katodická ochrana* je nejznámější a nejrozšířenější způsob elektrochemické ochrany. Lze ji dosáhnout dvěma způsoby.

První způsob spočívá v umělém vytvoření stejnosměrného okruhu proti směru korozního proudu.

**Obr. 33** Katodická ochrana kovů [1]

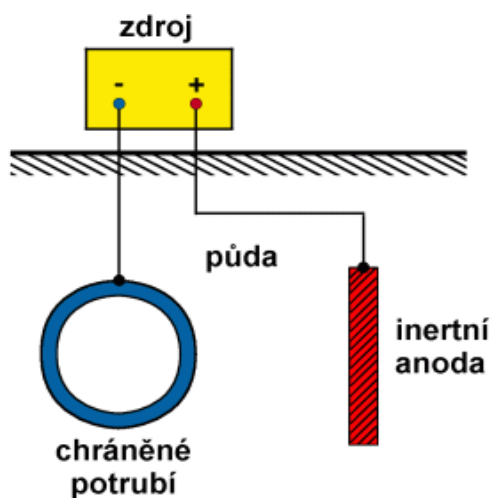


Zdrojem elektrického stejnosměrného proudu je uměle vytvořený galvanický článek. Katodu tvoří chráněný kov, anodu kov s dostatečně vysokým záporným potenciálem. Tato anoda zvaná **protektor** nebo **obětovaná anoda**, je vodivě připojena izolovaným vodičem na chráněný povrch, který se účinkem proudu stane katodou a nekoroduje. Anoda se pozvolna rozpouští. [1]

Jako obětované anody se používají kovy, které mají v daném prostředí dostatečně vysoký záporný korozní potenciál než chráněný kov a jsou v něm *aktivní* (stav, ve kterém dochází ke korozi). Nejčastěji je to zinek, hořčík, hliník nebo jejich slitiny. [1]

Druhý způsob používá jako zdroj stejnosměrného proudu, nejčastěji selenové, germaniové nebo křemíkové usměrňovače s volitelnými parametry. Chráněný předmět se zapojí opět jako katoda, kladný pól se spojí vodivě s pomocnou anodou. Pro ochranu zařízení uložených v zemi, především dálkových potrubí, postačí jako pomocná anoda odpadová nelegovaná ocel nebo kolejnice. Při ochraně vodních systémů se používá méně rozpustných anod z křemíkové litiny nebo titanových anod pokovených platinou.

**Obr. 34** Schéma systému katodické ochrany vnějším zdrojem proudu [17]



Katodická ochrana stejnosměrným elektrickým proudem se používá také jako ochrana před bludnými proudy. [1]

Prvý způsob je podstatně starší (pochází z 19. století) než druhý, technicky se nyní využívají oba. [17]

*Anodická ochrana* se používá u materiálů, u nichž se v daném prostředí koroze porušovaná pasivní vrstva obnovuje polarizací. Chráněný kov se vodivě zapojí jako anoda na kladný pól vnějšího zdroje a potenciál chráněného kovu je tak převeden do oblasti pasivity (vznik tenké vrstvičky, povlaku málo rozpustného oxidu nebo hydroxidu. Povlak je tak tenký, že ani nezbavuje kov lesku.). Anodická ochrana umožňuje používat materiály, které by samy svými oxidačními vlastnostmi nemohly zajistit dostatečně stabilní a trvalou pasivitu, popř. umožňuje nahradit dražší snadno pasivitelné materiály levnějšími (s nižším obsahem legur) [1]

## 3.7 Ochranné povlaky

Ochrana kovů různými povlaky je jedním z nejdůležitějších způsobů ochrany. Ochrana povrchu konstrukčního materiálu povrchovými úpravami z protikorozních důvodů spočívá v několika různých mechanismech:

- 1) Povlak poskytuje podkladovému kovu katodickou ochranu (zinkové povlaky na oceli),
- 2) Povlak izoluje chráněný povrch od korozního prostředí (povlaky z plastů a pryží, povlaky z niklu na oceli, obklady, nátěry apod.),
- 3) Slitina vytvořená obohacením povrchu kovu legujícím prvkem, má v souladu s principem antikorozního legování lepší odolnost než chráněný kov (difúzní chromování, hliníkování apod.),
- 4) Vytvořené sloučeniny chráněného kovu mají lepší ochranné vlastnosti (fosfátové vrstvy na oceli, oxidické vrstvy na hliníku nebo na oceli),
- 5) Použité látky mají na chráněný kov inhibiční účinek (inhibované základové nátěry). [4]

S dobrými ochrannými protikorozními účinky vytvořených povrchových vrstev je nutno počítat ve všech případech, aby nebyla narušena základní funkce součásti. Mají-li povlaky dobře chránit daný materiál, musí mít nejen požadovanou odolnost pro dané prostředí, ale technologie povrchových úprav musí zajistit i další důležité vlastnosti jako je celistvost a dobrá přilnavost. [2, 18]

Cílem úpravy povrchu je obecně dosažení a zlepšení těchto vlastností:

- tribologických (zvýšení kluzných vlastností, zvýšení odolnosti vůči opotřebení),
- mechanických povrchů (tvrdost, houževnatost, odolnost únavě),
- chemických (korozní odolnost, katalytická schopnost, difúzní bariery),
- magnetických,
- vodivostních,
- optických,
- estetických. [18]



Pro volbu ochranného povlaku je rovněž důležitá otázka vzhledu, protože některé materiály sice výborně chrání základní kov, ale nevyhovují po stránce vzhledové. To je zvláště důležité pro povrchové úpravy spotřebního zboží, ale nemá to význam v technologických procesech, kde je důležitá pouze funkce a nikoli vzhled. [3]

### **3.7.1 Anorganické povlaky – kovové povlaky**

Základním ochranným mechanismem kovových povlaků je bariérový účinek. K uplatnění různých ochranných mechanismů dochází na nedokonalých povlacích. Povlak vyrobený bez poruch má základní ochranný účinek bariérový. Existence poruchy v povlaku a expozice tohoto místa koroznímu prostředí umožňuje uplatnění rozdílné elektrochemické povahy obou materiálů. Pokud povlakovaný kov je vzhledem k povlaku katodou, dochází ke korozi povlaku a ochraně základního kovu (povlak je obětovanou anodou). Přítomnost pórů v povlacích tohoto kovu zásadně neovlivňuje jeho životnost (v určitých mezích). Je-li povlakovaný kov anodou vzhledem k povlaku, je ochranná funkce tohoto povlaku pouze bariérová. Pokud je povlak porušen již z výroby nebo dojde k jeho porušení během aplikace, ustaví se po expozici poruchy v korozním prostředí článek, v němž anodou (tj. korodujícím místem) je odhalený základní kov a katodou povrch povlakového kovu. Koroze základního kovu vede často až k odprýsknutí povlakujícího materiálu. Dosažení bezporuchových povlaků je velmi obtížné, proto se vytvářejí systémy s několika vrstvami povlakových kovů. [18]

Velmi rozšířené a účinné jsou *termochemické difúzní úpravy* jako chromování nebo hliníkování. Takto vzniklé vrstvy mají funkci povrchově legovaného materiálu a jejich předností je stejnoměrná tloušťka i u tvarově složitých výrobků. Kromě toho se výrazně mohou projevit i mechanické vlastnosti takové povrchové vrstvy, jako je tvrdost. [3]

#### **3.7.1.1 Hliníkové povlaky**

Používají se jako ochranné povlaky oceli a vysoce pevných hliníkových slitin a jako dekorativní povlak na kovových i nekovových površích (dosažení vhodných optických vlastností). Hliníkové povlaky jsou používány k ochraně konstrukcí v atmosférických podmínkách (nástřik slitinou Al-Zn, možnost realizace na místě). Velmi vhodné jsou nástřiky hliníkem v kombinaci s nátěrem. [18]

### **3.7.1.2 Zinkové povlaky**

Téměř polovina světové produkce zinku je spotřebována na výrobu Zn (Zn-Al) povlaků na ocelích. Je to dáno zejména poměrně dobrými ochrannými vlastnostmi vzniklých povlaků, snadnou realizovatelností a poměrně nízkou cenou zinku. Zinkové povlaky jsou nejčastěji využívány pro ochranu ocelových součástí před atmosférickou korozí, ve stavebnictví ochrana konstrukcí, střešní krytiny, ventilační kanály, zásobní nádrže na vodu, trubky apod. Nejsou vhodné do klimatu s výskytem kyselých dešťů. [18]

### **3.7.1.3 Měděné povlaky**

Měděné povlaky se téměř výhradně připravují nanášením z elektrolytů, méně často plátováním nebo navařováním. Pokud jsou použity jako vrchní povlak, musí být chráněny průhledným lakem, aby nedocházelo k jejich vzhledovým změnám. Nejčastěji jsou používány jako podklad pro jiné kovy Ni-Cr, Zn nebo na nevodičích, jako základ pro další galvanicky vylučovaný povlak. [18]

### **3.7.1.4 Chromové povlaky**

Chrom vyniká vysokou korozní odolností v mnoha kapalných prostředích, poměrně dobrou odolností proti oxidaci za vysokých teplot a též odolností k otěru, která vyplývá z jeho tvrdosti. Povlaky chromu mohou být buď dekorativní, ochranné a technické (zajišťují i jiné funkční vlastnosti - odolnost proti opotřebení apod.). Ozdobně ochranné povlaky se používají jako kombinované v systému Ni-Cr nebo Cu-Ni-Cr, kde tloušťka chromu je vždy velmi nízká (pod 1  $\mu\text{m}$ ). Chrom zajišťuje převážně dekorativní vlastnosti svým trvalým leskem, odolností proti tmavnutí a dalším povrchovým změnám. Povlaky se připravují galvanicky nebo termickým nástřikem. [18]

### **3.7.1.5 Niklové povlaky**

Niklové povlaky jsou používány zejména jako ochrana oceli, zinku a ostatních kovů před korozí, abrazí a erozí. Většina niklu je používána pro vytváření dekorativních povlaků 5 - 40  $\mu\text{m}$ , s pokrytím obvykle 0,5  $\mu\text{m}$  chromu - nedojde k tzv. matování povlaku. Niklové povlaky se připravují především galvanickými postupy, navařováním a plátováním. Povlaky niklu jsou používány buď jako dekorativní (automobilový

průmysl, jízdní kola, sanitární zboží, nástroje apod.) nebo technické; tyto povlaky mají tloušťku 25 - 500  $\mu\text{m}$  a jsou vhodné pro zlepšení odolnosti proti opotřebením. [18]

### **3.7.1.6 Povlaky z drahých kovů**

Povlaky drahých kovů Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Ir, Os jsou připravovány nejčastěji galvanicky nebo plátováním. Vzhledem k tomu, že tyto kovy jsou značně kujné, je možné získat poměrně tenké povlaky 25 - 600  $\mu\text{m}$ . Všechny kovy se vyznačují značnou korozní odolností. Povlaky zlata a stříbra mají kromě dekorativních použití i využití k úpravám povrchů zařízení pracujících v chemického průmyslu, elektronice apod. Povlaky mohou získat až 20x vyšší tvrdost než je tvrdost masivního kovu. [18]

### **3.7.2 Anorganické povlaky – nekovové**

Anorganické povlaky mohou být kovové nebo nekovové.

Příklad často aplikovaných anorganických povlaků:

- 1) Konverzní vrstvy: vytvářejí se na povrchu jeho reakcí s některou ze složek prostředí. Nejvýznamnější jsou vrstvy oxidů a fosforečnanů. [19]
- 2) Keramické povlaky: jde o tepelnou úpravu, při které vytváříme hustou sklovitou vrstvu na tepelném podkladu. Technologií nanášení těchto nátěrů označujeme jako smaltování. Smalt je speciální technické sklo, obsahující nejčastěji NiO a CoO a další prvky. Na styčné ploše dochází k oxidaci železa za současné redukce oxidu kobaltu a niklu. Nanášení smaltu se pak uskutečňuje máčením, stříkáním či v elektrickém poli vysokého napětí. [20]
- 3) Povlaky vytvrzované za studena: jedná se o nátěry na bázi cementu. Jsou nanášeny ve vrstvách 2 – 5 mm a chrání zvláště ocelové konstrukce proti kapalně nebo atmosférické korozi. [19]
- 4) Nitridace: povrch se nasycuje atomárním dusíkem, získaným např. rozkladem čpavku, na vodík a dusík, při teplotě přibližně 500 - 550 °C, po dobu až 90 hodin. V povrchové vrstvě oceli (do 0,1 mm)

vznikají velmi tvrdé nitridy, které zvyšují její tvrdost. Po nitridování není třeba součást dále tepelně zpracovávat. [21]

### 3.7.3 Organické povlaky

Organické povlaky jsou tvořeny organickými látkami nejrůznějšího složení a často obsahují anorganické účinné složky. 70 % chráněných kovových ploch je ošetřeno nátěry. Dělí se na základní a povrchové. Základní mají vedle ochranného účinku umožnit i lepší spojování kovu s vrchní ochranou vrstvou a vyrovnání rozdílné tepelné roztažnosti, které by mohlo mít za následek oprýskání vrchní vrstvy. Povrchové povlaky (krycí) obsahují pigmenty a další složky, účinné proti atmosférickým a ostatním vlivům a zastávají rovněž funkci estetickou. Po nanesení nátěrové hmoty na chráněný povrch následuje fáze, během níž z vrstvy mechanicky málo soudržné vzniká relativně kompaktní a soudržný film, vykazující měřitelnou soudržnost ve směru rovnoběžném i kolmém k povrchu a měřitelnou přilnavost k povrchu nebo předchozí vrstvě nátěru. Etapa vzniku filmu se nazývá schnutí nebo vytvrzování nátěru a dochází zde ke vzniku filmu buď fyzikálně (odpařením rozpouštědel) nebo chemickou reakcí. Ochranné vlastnosti vzniklého filmu závisí na pórovitosti, prostupnosti pro složky korozního prostředí a jeho přilnavosti k podkladu. Nátěrové hmoty chrání povrch kovu proti korozi zejména těmito účinky: bariérovým, elektrochemickým, inhibičním. [3, 18]

Mezi materiály organické povahy, které jsou využívány v protikorozi ochraně patří kromě nejčastěji používaných nátěrů i pryžové a plastové povlaky. Jsou to například různé pryskyřice, polyvinylchlorid, teflon, silikony, latex, syntetické kaučuky apod. Rovněž konzervační prostředky, jako oleje a vazelínu, můžeme počítat k ochranným povlakům. [3]

Koroze může nastat i pod nátěrem v důsledku špatné ochranné funkce povlaku nebo v důsledku špatného stavu kovu před nátěrem. V důsledku atmosférických vlivů je povrch kovu vždy do jisté míry pokryt korozními zplodinami, které se mohou projevit po nanášení nátěru jak příznivě, tak i nepříznivě. Pokud korozní zplodiny vznikly v čistém prostředí (např. kyslíku), neurychlují korozi pod nátěrem. Tento případ však je spíše výjimečný a většinou se jedná o znečištěné prostředí běžné atmosféry. [3]

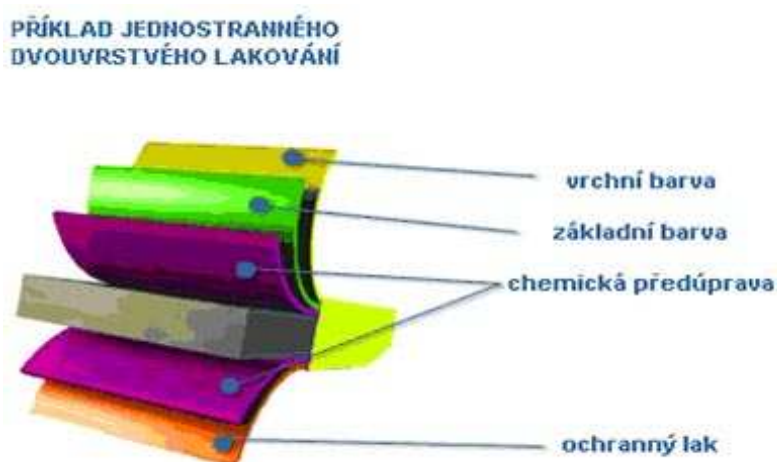
## 4 Experimentální posouzení vlivu korozního prostředí na ocel

Cílem praktické části diplomové práce bylo posouzení odolnosti vybraných materiálů vystavených ve dvou prostředích s různou agresivitou.

### 4.1 Parametry a vlastnosti vzorků

Pro experiment bylo vyhotoveno celkem 179 vzorků ze čtyř různých materiálů. Tyto vzorky byly dále rozděleny do čtyř sad podle tvaru a druhu použité zkoušky. Pro dva druhy vzorků bylo použito lakované oceli žárově pozinkované s odlišným odstínem povrchového laku. Jednalo se o jednostranné dvouvrstvé lakování (viz obr. 35).

**Obr. 35** Schéma jednostranného dvouvrstvého lakování [31]



Tyto plechy jsou určeny k vnějšímu i vnitřnímu použití. Využívají se například k opláštění budov, výrobu střešní krytiny, chladírenských boxů, nadzemních bazénů, aj. Třetím materiálem byl nelakovaný, ocelový, žárově pozinkovaný plech. Tyto plechy (tab. 3) pro experiment poskytla spol. Metal Trade Comax a.s. Jako poslední byl zvolen plech z oceli 11 373 s kódováním “Fe“.

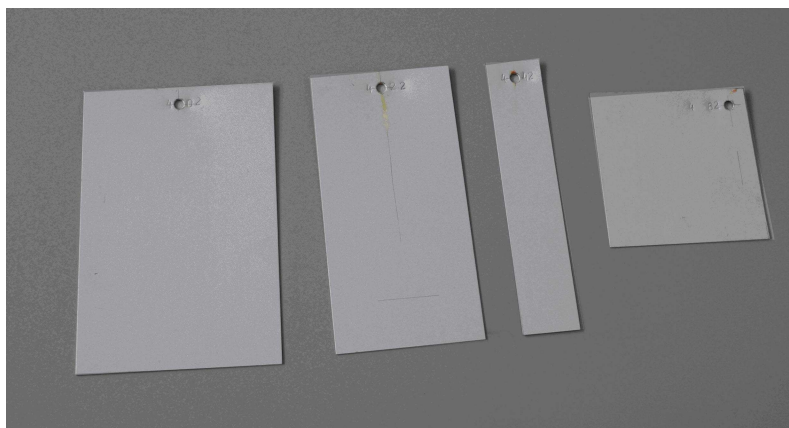
**Tab. 3** Druhy použitých materiálů

Kód vzorku	Materiál	Barva	Jakost	Zn (g . m <sup>-2</sup> )
4	FeZn 0,6x1250 mm	PES 7016PM J	DX51 D	200
12	FeZn 0,6x1058 mm	PVDF 9002 J	S 280 GD	200
17	FeZn 0,6	nelakovaný	Dx51 D	200

Rozměry vzorků byly dle příslušných norem stanoveny na (obr. 36 zleva) 150 x 100 mm (mřížková zkouška, stanovení povrchové tvrdosti nátěru tužkami); 150 x 75 mm (stanovení odolnosti proti nitkové korozi); 150 x 30 mm (stanovení hmotnostního úbytku, statická zkouška tahem) a 90 x 90 mm (stanovení hmotnostního úbytku, zkouška hloubením podle Erichsena). Vzorky 4, 12 a 17 byly tloušťky 0,6 mm a vzorky Fe o tloušťce 1 mm. Každý vzorek byl opatřen otvorem pro zavěšení a identifikačním kódem (viz tab. 3). Tyto otvory byly děrovány vždy v polovině kratší strany a 10 mm od horního okraje. Výjimku tvořily vzorky o rozměru 90 x 90 mm, kde vzhledem ke způsobu provádění zkoušky bylo jako vhodnější shledáno umístění otvoru do rohu vzorku 10 mm od obou okrajů.

Před aplikací vzorků do korozního prostředí byl každý vzorek důkladně odmaštěn perchlorethylenem.

**Obr. 36** Sada vzorků připravená pro experiment



## 4.2 Zkušební korozní prostředí

Pro experiment byla zvolena dvě prostředí s různou agresivitou. Každé z nich simulovalo prostředí venkovních podmínek, se kterými přijdou do styku například automobily na vozovce. Prvním byla voda z vodovodu o pH 6,8, kterou byla simulována voda dešťová. Pro druhé, agresivnější prostředí, byl zvolen 1% roztok chloridu sodného. Ten simuloval zimní prostředí chemicky ošetřených silnic.

Pro přípravu roztoku chloridu sodného bylo použito posypové soli s minimálním obsahem NaCl 98% vyráběné společností Anorga s. r. o.

### 4.3 Zkušební zařízení

Zkouška byla provedena v šesti zkušebních nádobách. Vzorky byly zavěšeny pomocí vázacích drátů na tyči a ponořeny celým svým objemem v korozním prostředí (obr. 37). Zkušební nádoba byla umístěna v laboratořích katedry s téměř konstantní teplotou 22 °C a chráněna před slunečním zářením. Každý týden byla kontrolována hladina v nádobách, zda jsou všechny vzorky ponořené celým objemem a dostatečně doplněna.

**Obr. 37** Vystavení vzorů koroznímu prostředí

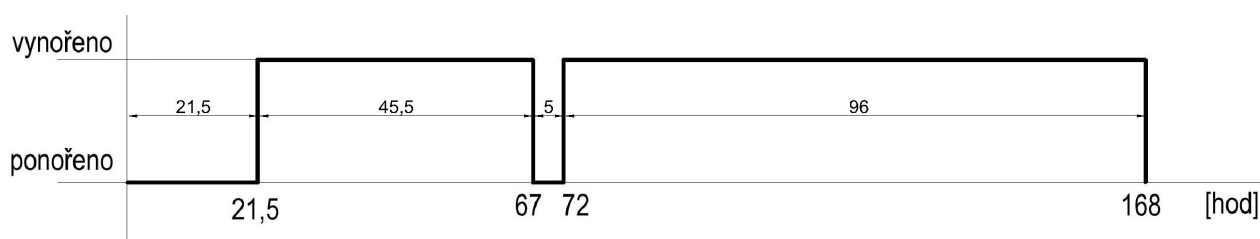


Vzorky musely být ve zkušebních nádržích rozmístěny tak, aby vzájemně nepřišly do kontaktu a nedošlo tak k ovlivnění experimentu. Vzorky byly založeny od okamžiku zhotovení korozního prostředí a od této chvíle byla sledována doba, po kterou byly vzorky exponovány.

## 4.4. Metodika vyhodnocování vzorků

Odběr vzorků byl stanoven na sedm cyklů po 168, 336, 504, 672, 840, 1008 a 1176 hodinách. Během každého cyklu docházelo k nepravidelným vymořením a ponořením, aby bylo dosaženo simulace dešťových přeháněk. Následovně: vymoření po 21,5 hodinách, ponoření po 45,5 hodinách, vymoření po 5 hodinách a ponoření po 96 hodinách (obr. 38).

**Obr. 38** Časový diagram jednoho cyklu



Vyjmuté vzorky při každém odběru byly opláchnuty čistou vodou a nechány k oschnutí. Vzorky z ocelových plechů byly ještě před opláchnutím zbaveny povrchové koroze pomocí odrezovače.

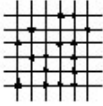
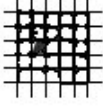
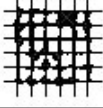

Vyhodnocování vzorků bylo prováděno následujícími zkouškami:

- mřížkovou zkouškou (stanovení přilnavosti nátěru),
- stanovení odolnosti proti nitkové korozi,
- stanovení hmotnostního úbytku,
- zkouškou hloubením podle Erichsena,
- statickou zkouškou tahem,
- stanovení povrchové tvrdosti nátěru tužkami.

**ad a)** Vyhodnocení vzorků pomocí mřížkové zkoušky dle ČSN ISO 2409. Podstatou zkoušky je určení stupně přilnavosti nátěru k podkladu dle klasifikačního měřítká.



Tab. 4 Klasifikace výsledků zkoušky [32]

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem, na které se vyskytlo odlupování (Příklad pro šest rovnoběžných řezů)
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není poškozen	-
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5 %	
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5 %, ale menší než 15 %	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech částečně nebo zcela, a/nebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15 %, ale menší než 35 %	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35 %, ale menší než 65 %	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	-

Zkouška se provádí při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Na vzorku o rozměru 150 x 100 mm se vytvoří tři mřížky. Vzdálenost řezů musí být stejná ve všech směrech a závisí na tloušťce povlaku a typu podkladu takto:

- do 60  $\mu\text{m}$ : vzdálenost řezů 1 mm, pro tvrdé podklady (např. kov),
- do 60  $\mu\text{m}$ : vzdálenost řezů 2 mm, pro měkké podklady (např. dřevo a plast),
- 61  $\mu\text{m}$  až 120  $\mu\text{m}$ : vzdálenost řezů 2 mm, pro tvrdé i měkké podklady,
- 121  $\mu\text{m}$  až 250  $\mu\text{m}$ : vzdálenost řezu 3 mm, pro tvrdé i měkké podklady.

Vzdálenost řezů se musí přizpůsobit tvrdosti podkladu i povlaku.

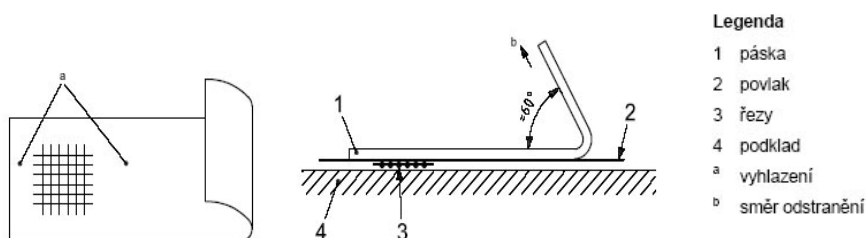
Tloušťka laku se zjišťuje pomocí magnetického tloušťkoměru List magnetik obr. 39. Ten pracuje na principu, že magnet přitahuje feromagnetické materiály. Čím je magnet od feromagnetického předmětu více vzdálen, tím je přitažlivá síla menší.

**Obr. 39** Magnetický tloušťkoměr List magnetik



Mřížky se zhotoví pomocí řezného nástroje (jednoduchý řezný nástroj s jedním ostřím). V každém směru mřížky musí být 6 řezů. Skalpel se položí kolmo na zkoušený nátěr a stálým tlakem za použití pravítka pro udržení směru se zhotoví 6 řezů. Po otočení vzorku o 90° se zhotoví dalších 6 řezů, čímž vznikne mřížka. Všechny řezy musí mít stejné rozestupy a musí proniknout až na lakovaný materiál. Mřížkové řezy se provádějí nejméně 10 mm od hran a 5 mm od jiné mřížky. Měkkým štětcem se mřížka očistí. Průhlednou samolepicí páskou o šířce 25 mm se mřížka přelepí rovnoběžně s jedním ze svazků řezů tak, aby na obou koncích páska mřížku překrývala nejméně o 20 mm. Páska se v místě nad mřížkou prstem uhladí pro důkladné přilepení a vytlačení přebytečného vzduchu. Během pěti minut po aplikaci se páska trhnutím za volný konec a tažením pod úhlem co možná nejbližším 60° za 0,5 až 1 s odstraní.

**Obr. 40** Umístění samolepicí pásky vzhledem k mřížce a těsně před odstraněním [32]



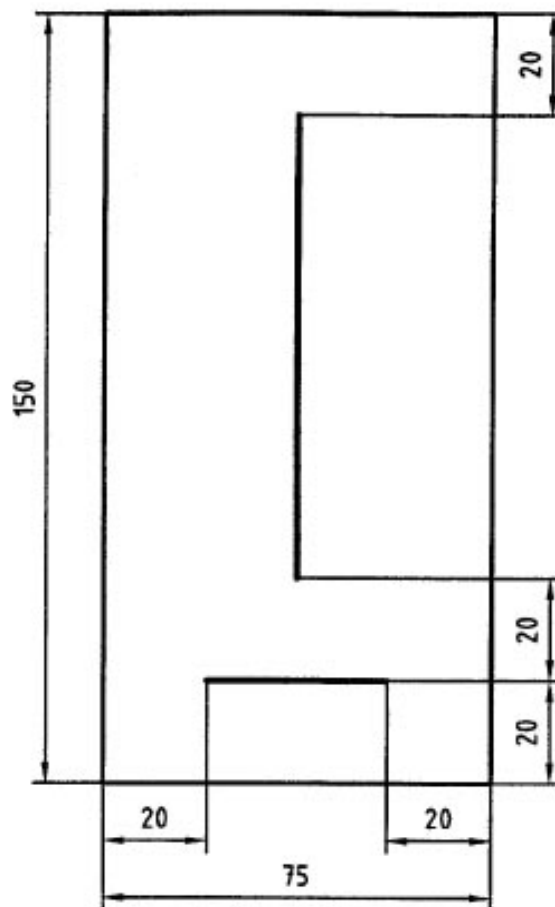
Páska musí mít přilnavost podle IEC 454-2 ( $10\pm 1$ ) N na 25 mm šířky.

Řezný nástroj musí mít úhel ostří od  $20^\circ$  do  $30^\circ$ .

Pro vícevrstvé povlaky se doporučuje, aby aplikace a odstranění pásky bylo provedeno alespoň jedenkrát v každém směru.

**ad b)** Vyhodnocení vzorků pomocí stanovení odolnosti proti nitkové korozi dle ČSN ISO 4623-1. Na zkušebním vzorku o rozměru 150 x 75 mm se provedou dva řezy nejméně 30 mm dlouhé. Provedené řezy musí být na sebe kolmé a umístěny tak, aby jejich vzájemná vzdálenost nebo vzdálenost od hran byla větší než 20 mm (viz obr. 41). Je nutno zajistit, aby ostří řezného nástroje proniklo celým povlakem. Z řezů se odstraní otřepy povlaku. Po korozní zkoušce je provedeno hodnocení stupně nitkové koroze. Hodnocení se obvykle provádí subjektivně a popisuje se obecnými pojmy jako „malá“, „střední“, nebo „značná“ podle ISO 4628-10.

**Obr. 41** Uspořádání řezů na zkušebním vzorku [33]

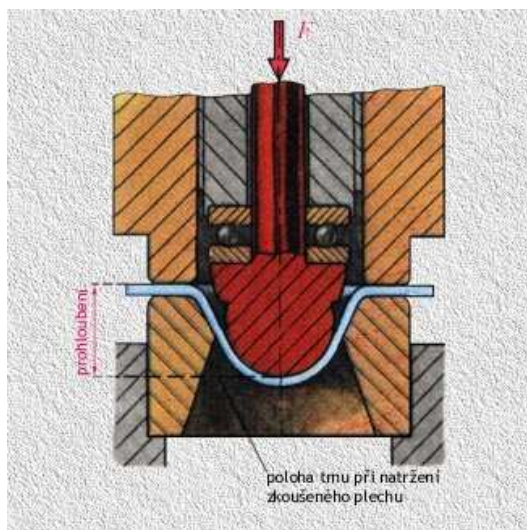


**ad c)** Vyhodnocení vzorků sledováním úbytku hmotnosti. Tato zkouška byla aplikována na vzorky o rozměrech 150 x 30 mm (použitých také ke statické zkoušce tahem) a 90 x 90 mm (použitých také ke zkoušce hloubením podle Erichsena). Každý posuzovaný vzorek byl před vložením do korozního prostředí zvážen na analytických vahách na 0,00001 g. Po korozní zkoušce byly vzorky důkladně očištěny, osušeny a znovu převáženy. Posuzuje se rozdíl hmotností vzorku před zkouškou a po zkoušce.

Po druhém cyklu odběrů došlo k poruše na používaných vahách. Vzhledem k této skutečnosti bylo nutné experiment dokončit na vahách méně přesných a to digitálních typu METTLER PJ 300, vážících na 0,001 g.

**ad d)** Vyhodnocování vzorků zkouškou hloubením podle Erichsena dle EN ISO 1520. Výsledkem této zkoušky je velikost prohloubení do zkoušeného vzorku o rozměrech 90 x 90 mm. Prohloubení je dráha, kterou vykoná trn s kulovitým zakončením ve zkušebním přístroji z nulové polohy do polohy, v níž začíná natržení plechu ( obr. 42 ).

**Obr. 42** Zkouška hloubením [34]

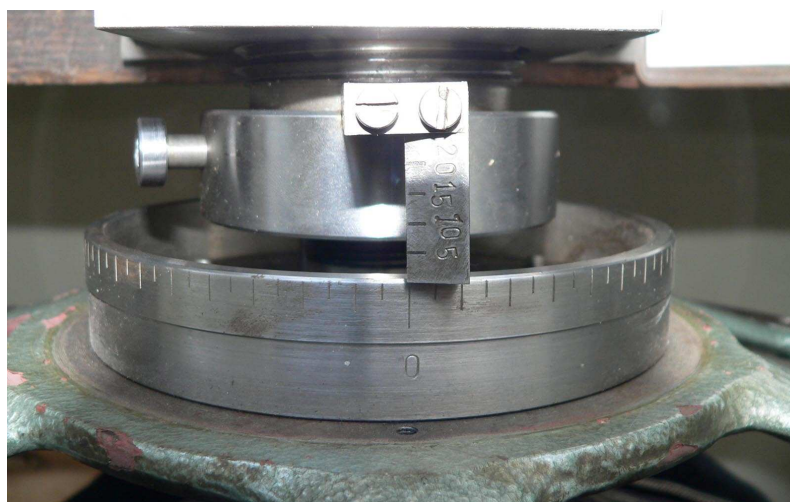


Po vložení a upevnění vzorku v přístroji se pomalu otáčí kolem, na jehož stupnici odečítáme velikost prohloubení v mm (obr. 44). V nasvíceném zrcátku během otáčení kola sledujeme pomalé prohlubování trnu s kulovým zakončením. Otáčíme tak dlouho, dokud v zrcátku nevidíme první trhlinu ve vzorku. Hodnota odečtená na stupnici ve chvíli vzniku první trhliny v plechu je hodnotou výslednou.

**Obr. 43** Zkušební zařízení pro zkoušku hloubením



**Obr. 44** Stupnice pro odečítání hodnot

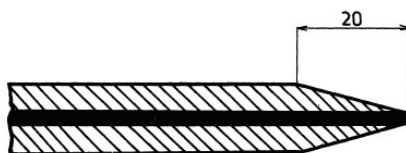


**ad e)** Vyhodnocení vzorků tahovou zkouškou. Zkouška byla prováděna na univerzálním trhacím stroji typu ZDM 5. Spočívá v deformaci zkušebního vzorku tahovým zatížením do lomu, za účelem stanovení síly potřebné k přetržení. Z té se následně počítá pevnost  $R_m$  (Mpa). Před upnutím vzorku, o rozměru 150 x 30 mm, do trhacího stroje se na každém vzorku zhotoví 15 rysek rýsovací jehlou. První ryska je ve středu delší strany vzorku a od ní je rýsováno sedm na každou stranu po 5 mm. Takto připravený zkušební vzorek se upne do čelistí trhacího stroje a zatěžuje se předepsanou rychlostí, za použití vhodných závaží. Po přetržení vzorku z ciferníku

odečteme maximální sílu, jež byla potřebná k přetržení. Následně, přiložíme obě části přetrženého vzorku k sobě a vzorek upneme do přístroje na odměřování rysek s mikroskopem, na kterém lze s vysokou přesností změřit vzdálenost rysek po přetržení. Měříme vždy pět rysek na každou stranu od místa, kde u vzorku došlo k lomu.

**ad f)** Vyhodnocení vzorků pomocí stanovení povrchové tvrdosti nátěru tužkami dle ČSN 673075. Při zkoušce se zjišťuje, která tužka ze sady odstupňované tvrdosti jako první poruší povrch nátěru vzorku o rozměru 150 x 100 mm. Pracovními pomůckami jsou tužky sady Hardthmuth KOH-I-NOOR podle ČSN 90 1111 o tvrdosti uvedené v tabulce 5. Tužky jsou ořezány a obroušeny do tvaru podle obrázku 45.

**Obr. 45** Tvar hrotu tužky [35]

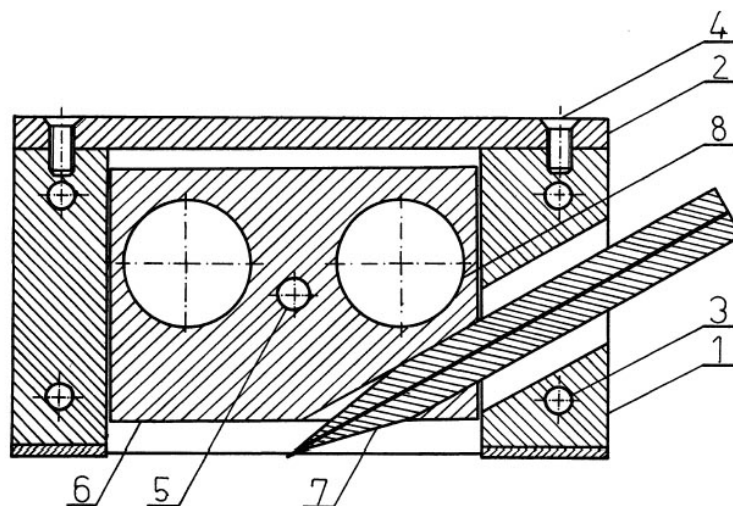


**Tab. 5** Označení tužek ve zkušební sadě

Číslo tužky	Tvrдость tužky
1	3B
2	2B
3	B
4	HB
5	F
6	H
7	3H
8	4H
9	5H
10	6H
11	7H
12	8H
13	9H

Do přípravku (viz obr. 46) se upne zkušební tužka tak, aby její hrot byl zatížen  $(300 \pm 15)$  g. Pak se přípravek položí na nátěr a nakreslí se vlnovka délky asi 50 mm. Začíná se tužkou nejnižší tvrdosti (č. 1) a postupně se zkouší tvrdšími tužkami, až se získá první nepřetržitý vryp – rýha na povrchu nátěru, kterou nelze setřít prstem. Zkouška tvrdosti se provede ještě jednou na jiném místě nátěru.

**Obr. 46** Přípravek pro upnutí zkušební tužky [35]



- 1 ... vnější kryt
- 2 ... víko
- 3 ... šrouby upevňující vnější kryt
- 4 ... šrouby upevňující víko
- 5 ... vodící kolík
- 6 ... přitlačné těleso
- 7 ... zkušební tužka
- 8 ... vyvrtané otvory

Jako výsledek zkoušky se uvede číslo tužky, která jako prvá porušila povrch nátěru. Pokud není tvrdost nátěrového filmu při opakovaném měření stejná, uvede se jako výsledek zkoušky nižší číslo tužky. Výsledek měření na dvou místech nátěru se nesmí lišit o víc než jedno číslo tužky.

**Obr. 47** Sada tužek použitých ke zkoušce



## 4.5 Výsledky experimentů a jejich diskuse

Vyhodnocení probíhalo při teplotě  $(22 \pm 2)$  °C. Při vyhodnocování bylo hlavním cílem zaměřeni se především na sledování odolnosti jednotlivých vzorků v agresivním prostředí. U lakovaných vzorků se navíc vyhodnocovalo, jaký vliv agresivní prostředí má na použité barvy.

Každý vzorek byl v den odběru očištěn od kalů z lázně a případně usazené soli kusem látky pod tekoucí vodou. Vzorky Fe bylo vždy zapotřebí odrezit v lázni roztoku urotropinu, kyseliny chlorovodíkové a destilované vody. Vzorky byly v lázni ponechány cca 7 minut a po té také opláchnuty tekoucí vodou.

Snahou bylo vyhodnotit všechny vzorky v den jejich odběru. Vzhledem k časové náročnosti experimentu, však někdy došlo k vyhodnocení následující den. Mezi tím byly vzorky uloženy ve vzduchotěsné nádobě se silikagelem.

### 4.5.1 Vyhodnocení zkouškou hloubením podle Erichsena

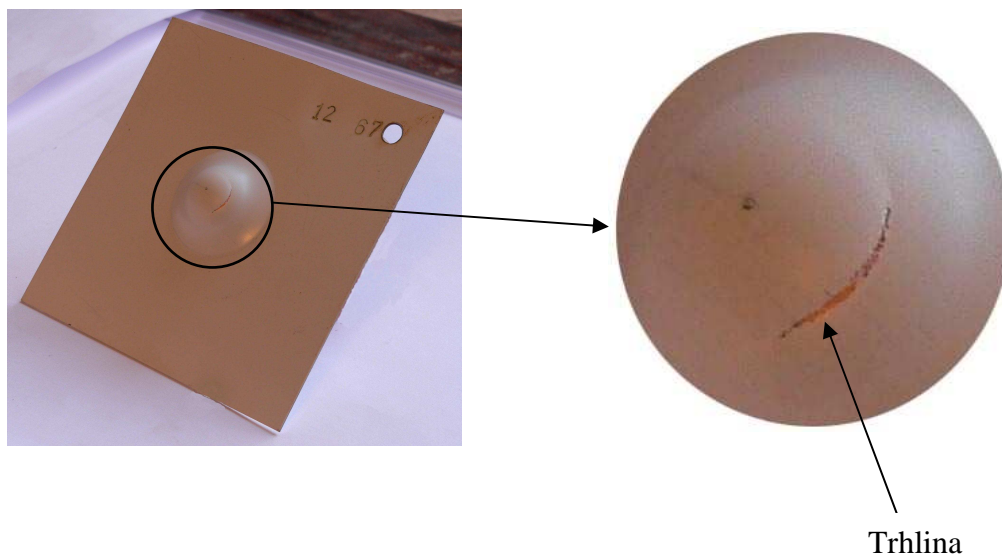
Touto zkouškou bylo testováno celkem 41 vzorků. Z toho 18 bylo exponováno v prostředí  $H_2O$ , 17 v roztoku NaCl a 4 etalony exponovány nebyly. U všech vzorků (s výjimkou Fe) došlo k tomu, že velikost prohlubitelnosti klesala stále méně s postupem experimentu. Během prvních tří odběrů byla zaznamenána největší prohlubitelnost s tendencí prudkého poklesu. Následovalo mírné ustálení, avšak stále patrné snižování hodnot. To se vyhnulo vzorkům Fe, které si udržovaly téměř konstantní hodnoty po celou dobu experimentu. U vzorků 4 a 12 se potvrdilo očekávání, že v roztoku NaCl prohloubení bude klesat více a rychleji než u vzorků exponovaných v  $H_2O$ . U vzorků číslo 12 bylo téměř vždy naměřeno velmi podobných hodnot z prostředí  $H_2O$  i NaCl s klesající tendencí. Vzorky Fe měly u obou prostředí téměř konstantní průběh již od počátku experimentu. Oproti ostatním vzorkům, vzorky Fe vykazovaly největší hodnotu prohlubitelnosti především kvůli jejich tloušťce 1 mm oproti ostatním, jež činila 0,6 mm.

Největších rozdílů během experimentu dosáhly vzorky číslo 4 exponované v roztoku NaCl, kdy maximální hodnota 10,4 mm činí oproti minimální hodnotě 8,5 mm rozdíl 1,9 mm. Naopak, nejodolnější se ukázaly vzorky Fe v obou prostředích,



jejichž hodnoty se změnilo pouze z hodnoty 10,88 mm o 0,18 mm po 1008 hodinách v H<sub>2</sub>O (u vzorku NaCl došlo ke změně po 1008 hodinách o 0,13 mm). Nejmenší hodnotu prohloubení ze všech 37 vzorků prokázal vzorek 12 exponovaný v NaCl po 672 hodinách (obr. 48 s detailem praskliny v hodnotě 8,4 mm), naopak největší hodnoty bylo dosaženo u vzorku Fe bez exponování.

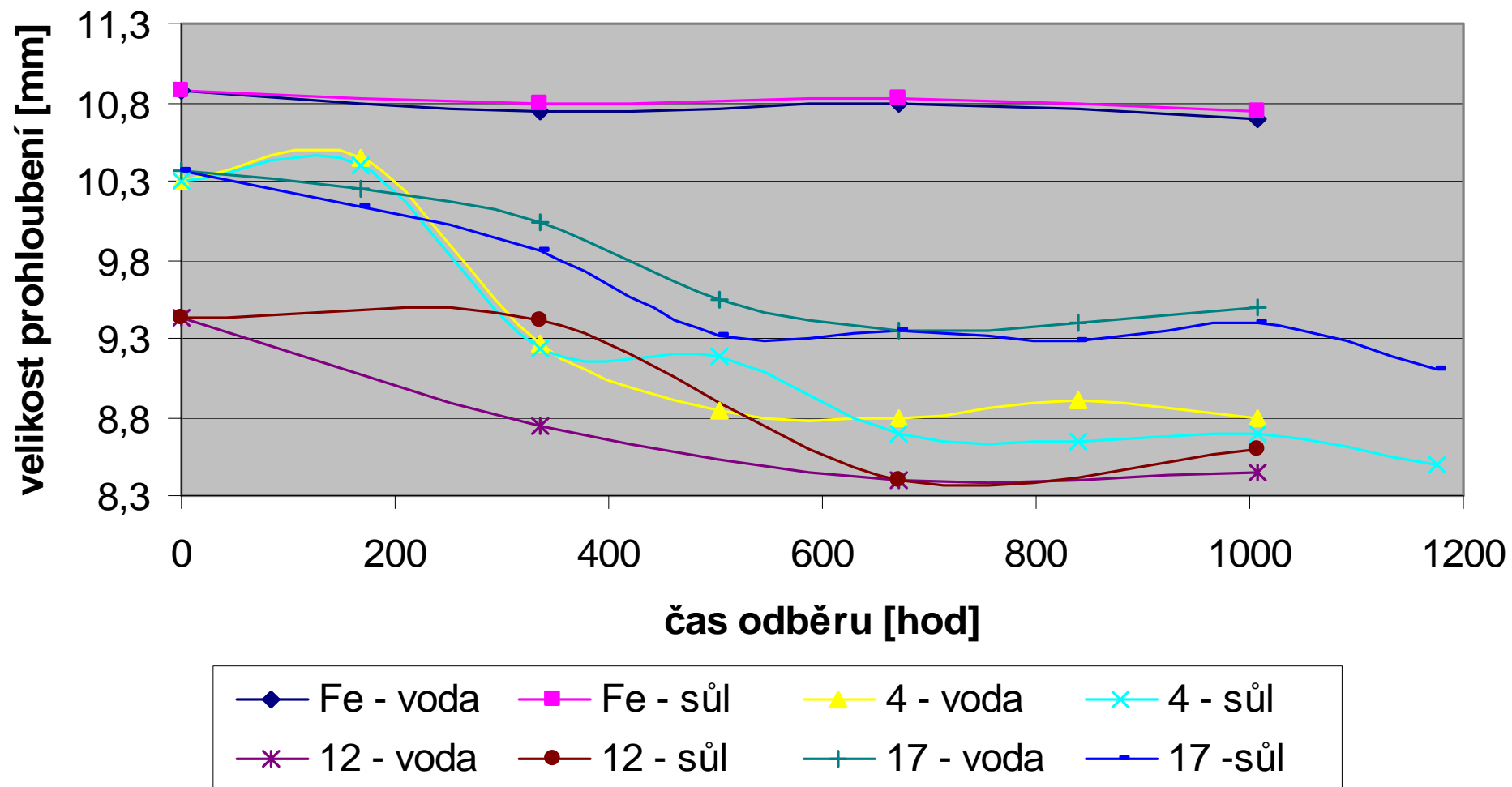
**Obr. 48** Vzorek po zkoušce hloubením



#### **4.5.2 Vyhodnocení hmotnostním úbytkem**

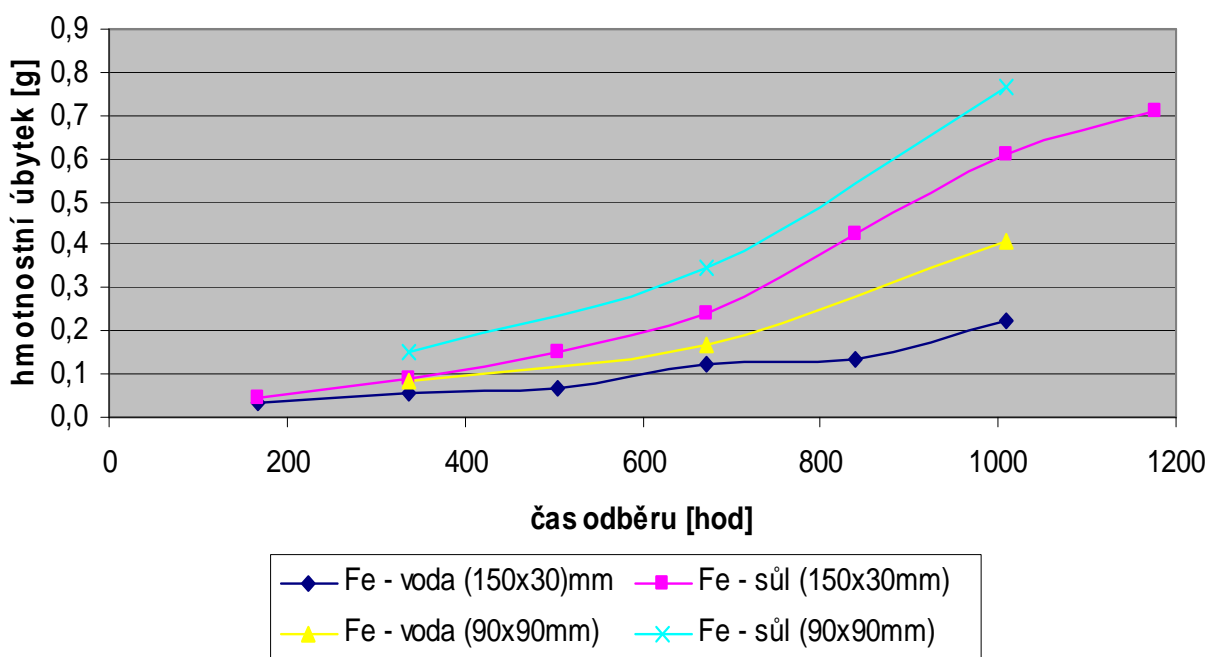
K výsledkům této zkoušky bylo použito 93 vzorků. Z toho 42 bylo exponováno v H<sub>2</sub>O, 47 v roztoku NaCl a 4 exponovány nebyly. Podle očekávání největší hmotnostní úbytek nastal u vzorků Fe. Oproti zbylým sadám byla ztráta na hmotnosti ke konci experimentu téměř desetkrát větší. U těchto vzorků je také nejpatrnější, zda byly exponovány v H<sub>2</sub>O nebo roztoku soli, kdy je vidět, že NaCl působí na ocel daleko agresivněji než H<sub>2</sub>O. U ostatních materiálů výsledky ukazují velmi podobný průběh rozměru 90 x 90 mm s rozměrem 150 x 30 mm. U vzorků 4 exponovaných H<sub>2</sub>O je patrné, že s přibývajícím časem se hmotnostní úbytek snižuje, naopak v NaCl se s postupem času zvyšuje. Zajímavé je, že u vzorků 17 se během prvních dvou odběrů

Obr. 49 Vliv počtu hodin v korozním prostředí na prohloubení

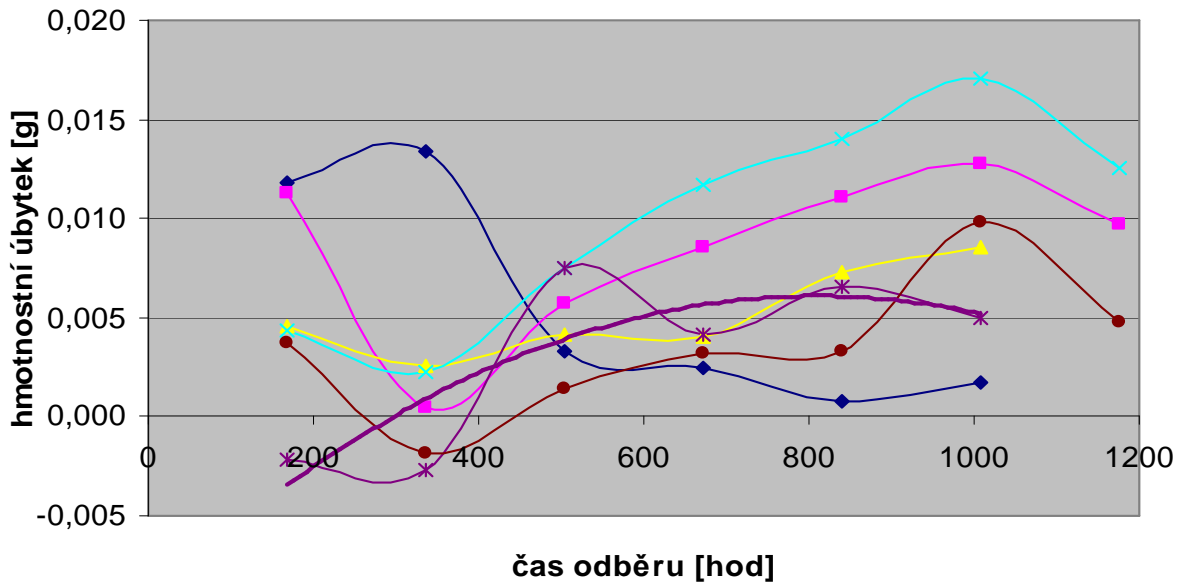


dostaly hodnoty dokonce do mínusu. To vychází pravděpodobně z toho, že se jedná o vysoce kvalitní materiál odolný korozi, současně s nutností změny vah, jež vážily pouze na 0,001 g oproti předešlým, vážícím na 0,00001 g a mohlo tak v těchto velmi nízkých hodnotách dojít k jejich zkreslení. U všech vzorků se v průběhu experimentu prokázal hmotnostní úbytek, nejlepší výsledek mají vzorky 17, u kterých se z počátku neprojevoval hmotnostní úbytek žádný.

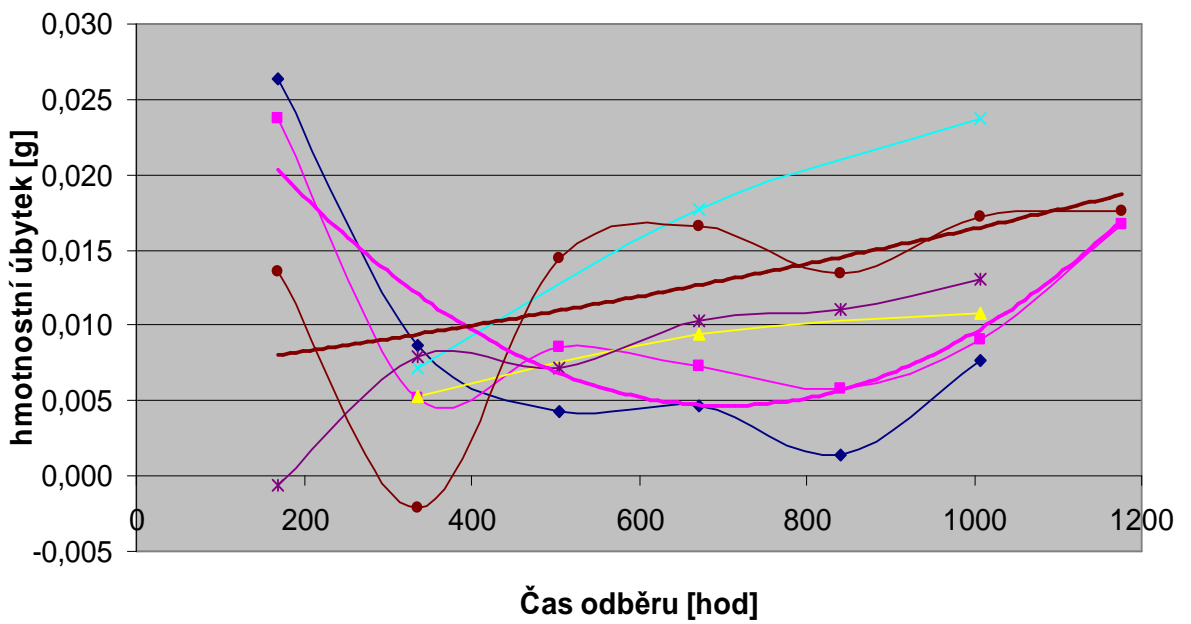
**Obr. 50** Závislost hmotnostního úbytku vzorků Fe na čase



**Obr. 51** Závislost hmotnostního úbytku vzorků 4, 12, 17 rozměru 150 x 30 mm na čase



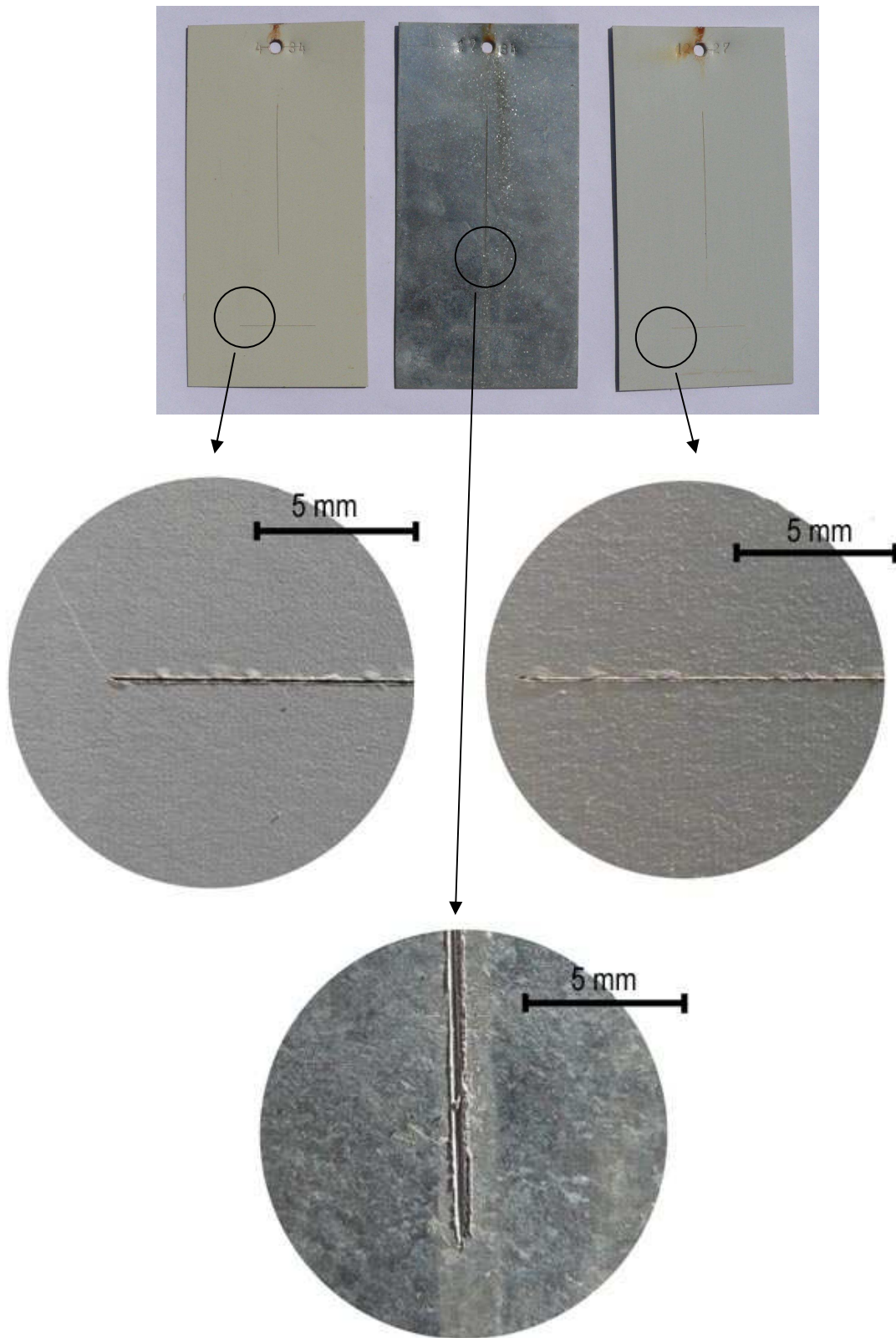
**Obr. 52** Závislost hmotnostního úbytku vzorků 4, 12, 17 rozměru 90 x 90 mm na čase



### **4.5.3 Vyhodnocení zkouškou stanovením odolnosti proti nitkové korozi**

Pro tuto zkoušku byly použity celkem 32 vzorky. Z toho 15 bylo exponováno v H<sub>2</sub>O a 17 v roztoku NaCl. Tato zkouška byla provedena pouze na vzorcích bez lakování. S očekáváním nulových výsledků byla též aplikována na vzorky 17. Zde překvapivě na vzorcích exponovaných v roztoku NaCl došlo po 672 hodinách (čtvrtý odběr) v oblasti svislého řezu ke změně odstínu povrchu. Tato oblast se směrem od řezu pozvolna zvětšovala až do posledního odběru po 1176 hodinách (obr. 53). Pravděpodobně se jedná o prvopočátek oxidace, která by se po delším čase projevila zřetelněji. Vzorky 17 exponované v H<sub>2</sub>O byly zcela bez zřetelného poškození. Též u vzorků 4 a 12 po 840 hodinách je patrné po detailnějším prozkoumání, že roztok NaCl působí mnohem agresivněji oproti H<sub>2</sub>O. Na vzorku 4 je z bližšího pohledu patrné, že lak v místě řezů začíná mít tendenci k odlupování (obr. 53). Na vzorcích 12 je tento jev ještě o něco markantnější (obr. 53). Dá se tedy předpokládat, že u všech tří typů vzorků by se tento druh koroze postupem času projevoval stále zřetelněji. Na vzorcích 4 a 12 exponovaných v H<sub>2</sub>O nebylo ani po posledním šestém odběru (1008 hod.) zpozorováno žádné korozní napadení.

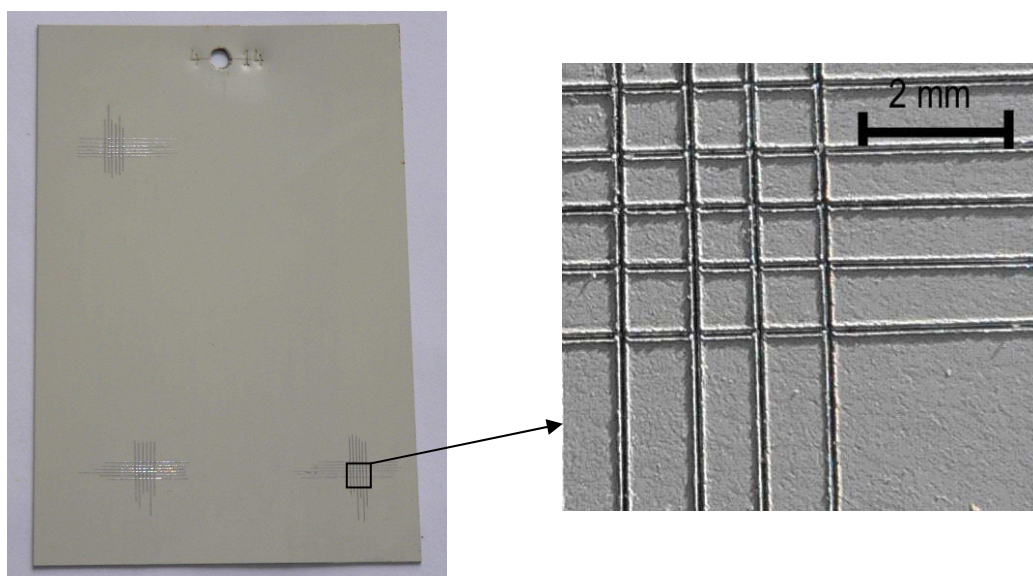
**Obr. 53** Výsledek zkoušky po 1176 hodinách (vzorky z leva 4, 12, 17)



#### 4.5.4 Vyhodnocení vzorků mřížkovou zkouškou

Touto zkouškou byly testovány pouze lakované vzorky 4 a 12. Celkem se experimentovalo s 21 vzorky. Z toho 9 bylo exponováno v H<sub>2</sub>O, 10 v roztoku NaCl a dva exponovány nebyly. Pomocí sondy byla u vzorků 4 naměřena maximální tloušťka 34,8 μm a u vzorků 12 tloušťka 49,8 μm. Vzhledem k tomu, že nebyla překročena hranice tloušťky 60 μm byly řezy stanoveny na vzájemnou vzdálenost 1 mm. Protože se jedná o vzorky s dvouvrstvým lakováním, průhledná lepenka byla aplikována vždy v obou směrech svazků řezu a čas působení lepenky byl maximální, tedy 5 minut. Ani po posledním, sedmém, odběru po provedení zkoušky nebylo na vzorcích pod lupou zřetelné sebemenší odlupování laku (obr. 54). Stopy počínající koroze jsou vidět pouze u závěsného otvoru, kde při děrování došlo k poškození nátěrového systému a tím snížení korozní odolnosti materiálu. Z pohledu této zkoušky je možné laky a jejich aplikaci na povrch ohodnotit jako výborné, protože i po maximálním vystavení v korozním prostředí byla přilnavost laku perfektní.

**Obr. 54** Výsledek zkoušky po 1176 hodinách



#### **4.5.5 Vyhodnocení tvrdosti nátěru vzorků tužkami**

I tato zkouška se vztahovala pouze na lakované materiály, tedy vzorky 4 a 12. Jednalo se o stejné vzorky jako o vzorky použité k mřížkové zkoušce. Tedy celkem o 21 vzorků, z toho exponovaných 9 v H<sub>2</sub>O, 10 v NaCl a 2 nebyly koroznímu prostředí vystaveny. Také v této zkoušce laky výborně obstály. Ani zde po posledním, sedmém, odběru nebyly laky poškozeny žádnou z tužek. I tato zkouška tedy potvrzuje výborné vlastnosti testovaných laků.

#### **4.5.6 Vyhodnocení vzorků statickou zkouškou tahem**

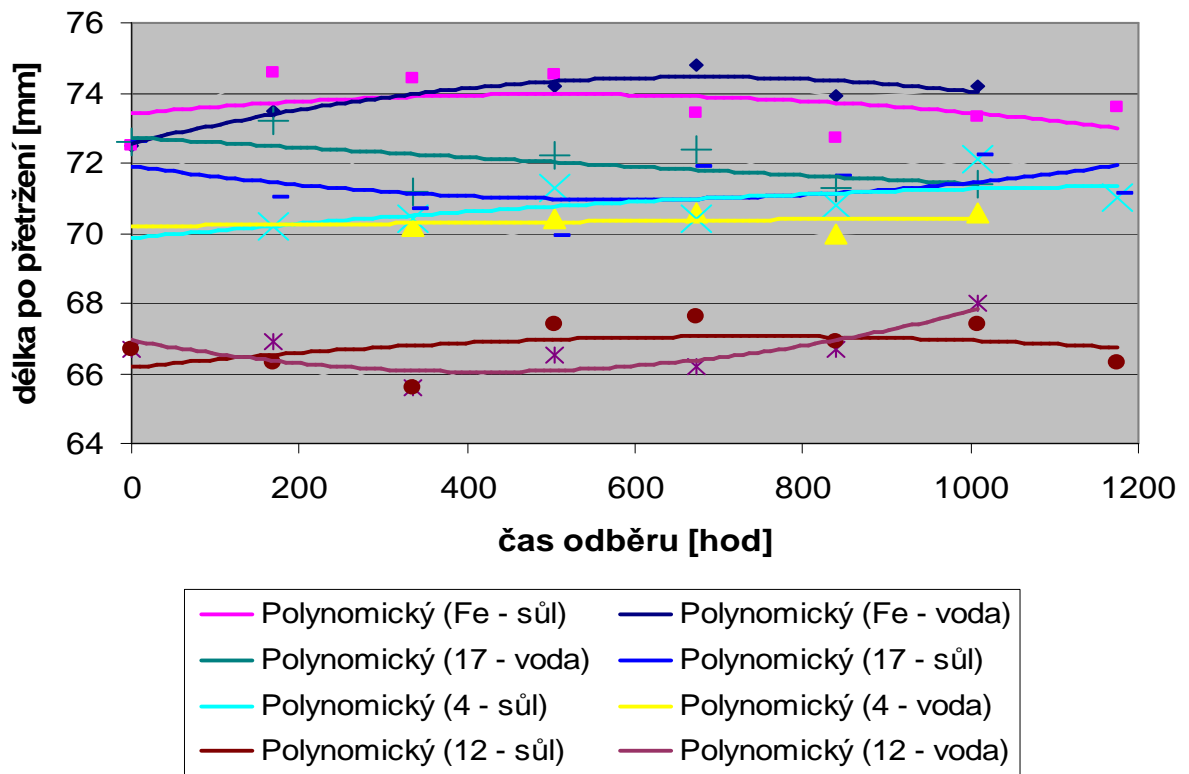
Statickou zkouškou tahem bylo testováno celkem 56 vzorků. 24 vzorků exponováno v H<sub>2</sub>O, 28 v NaCl a 4 vzorky exponovány nebyly. Z grafů je zřejmé, že zde je rozdíl vzorků vystavených koroznímu prostředí v H<sub>2</sub>O a NaCl velmi zřetelný. U všech čtyřech materiálů je vždy nižší pevnost u vzorků exponovaných v roztoku NaCl. Překvapivé je pouze to, že vzorky 12 téměř po celou dobu experimentu vykazovaly vyšší pevnost v H<sub>2</sub>O a až v závěru vzorky vystavené roztoku NaCl pevnost v tahu výrazně klesá. Jako vzorky s největší pevností se ukázaly vzorky 12, kdy u vzorku exponovaného v NaCl byla po 504 hodinách zjištěna pevnost 419 MPa. Naproti tomu vzorek s pevností nejmenší, byl vzorek Fe exponovaný v roztoku NaCl po 1176 hodinách. U vzorků Fe byl také zaznamenán největší pokles pevnosti z 342 MPa na 320 MPa (pokles o 22 MPa). Vzorek s tímto rozdílem byl exponován v roztoku NaCl po dobu 1176 hodin. Nejmenší rozdíl pak byl zaznamenán, u vzorků 17, kdy maximální pokles od neexponovaného vzorku s pevností 354 MPa byl 7 MPa v H<sub>2</sub>O po 1176 hodinách. Průběh velikosti síly působící na jednotlivé vzorky je také možné sledovat na grafu, jenž trhací stroj zaznamenal (obr. 56).

Při sledování velikosti prodloužení výsledky ukazovaly, že větší prodloužení nastává s výjimkou vzorků 12 vždy u vzorků exponovaných v H<sub>2</sub>O. U vzorků 12 docházelo ke kolísání hodnot, ale povětšinou k většímu prodloužení docházelo u vzorků exponovaných v korozním prostředí roztoku NaCl. Největší prodloužení bylo vysledováno u vzorků Fe, kdy maximální prodloužení činilo 24,8 mm po 672 hodinách exponování v H<sub>2</sub>O na měřených 50 mm. Nejmenší pak u vzorků 12 po 672 hodinách exponování v H<sub>2</sub>O 16,2 mm. U tohoto materiálu však bylo měřeno velmi podobných

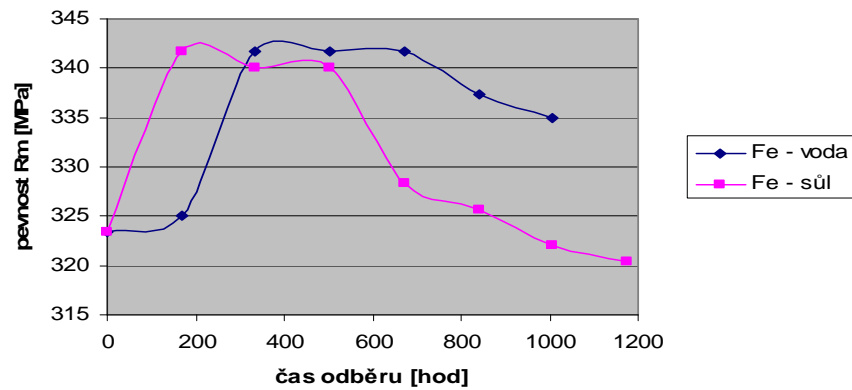




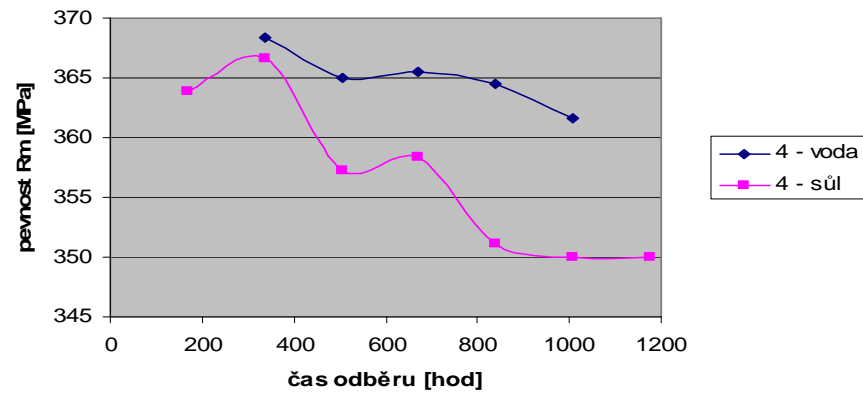
Obr. 57 Závislost prodloužení vzorku po přetržení v závislosti na čase



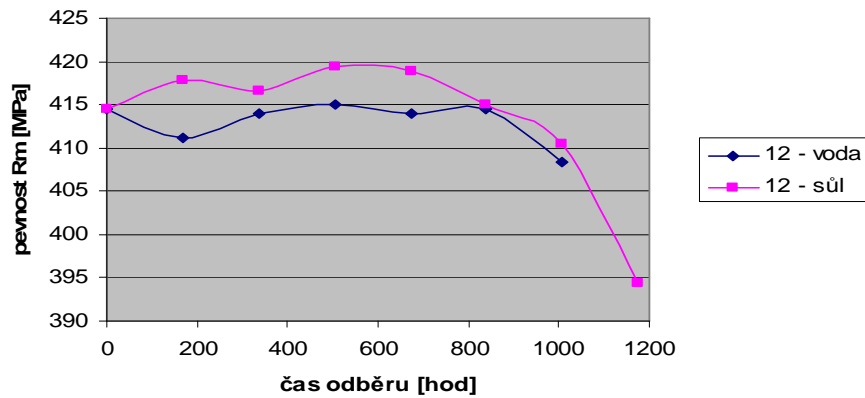
**Obr. 58** Závislost pevnosti vzorku Fe v závislosti na době expozice



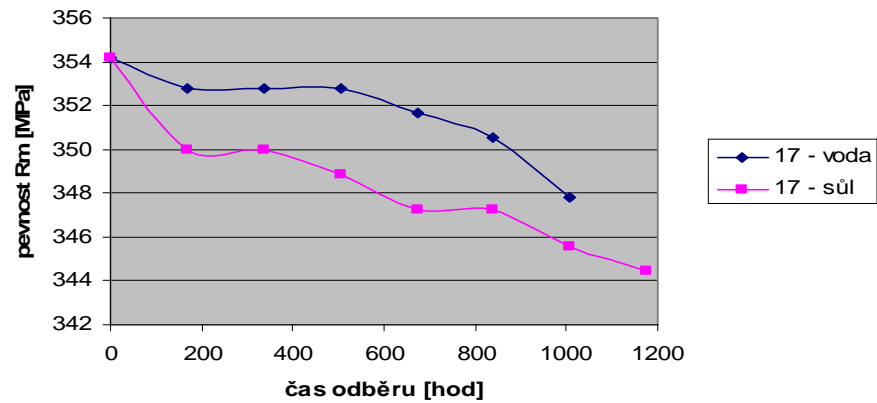
**Obr. 59** Závislost pevnosti vzorku 4 v závislosti na době expozice



**Obr. 60** Závislost pevnosti vzorku 12 v závislosti na době expozice



**Obr. 61** Závislost pevnosti vzorku 17 v závislosti na době expozice



## 5 Závěr

V předchozích kapitolách byly shrnuty základy problematiky koroze z pohledu jednoho ze základních technických problémů.

V první části práce bylo snahou vysvětlit problematiku koroze jakožto jevu samotného a klasifikovat ji do základních skupin, které popisují konkrétní problémy tohoto jevu ať už v závislosti na prostředí, ve kterém se poškozované součásti vyskytují, tak podle ostatních, avšak neméně závažných činitelů. Práce se také věnovala základům protikorozi ochrany, jež je v současné době využívána. Zde bylo snahou vysvětlit její základní principy a definovat prostředí, ve kterých se můžeme s jednotlivými typy setkat.

Druhá část byla zaměřena na testování čtyř druhů materiálů šesti různými zkouškami. Tři druhy těchto vzorků byly poskytnuty výrobcem Metal Trade Comax a.s., jež patří mezi přední společnosti v oblasti lakování plechů. Společností byly poskytnuty dva druhy lakovaných plechů a jeden nelakovaný. Všechny tři plechy byly zároveň pozinkované FeZn. Čtvrtý druh vzorků byl poskytnut vedoucím práce a jednalo se o ocel značky 11 373.

Pro experiment byla zvolena dvě korozní prostředí. Prvním bylo  $H_2O$  s pH 6,8 a druhým 1 % roztok NaCl. Snahou bylo pokusit se simulovat venkovní podmínky, kdy  $H_2O$  představovala vodu dešťovou a 1 % roztok NaCl měl přiblížit zimní prostředí chemicky ošetřených silnic, kde se vyskytuje roztátý sníh spolu s posypovou solí. Vzhledem k tomu, že koroze je jevem, jež se neprojeví v krátké době, experiment trval celkem 1176 hodin. V průběhu této doby byly vzorky s pravidelnými intervaly během jednoho cyklu, který trval 168 hodin ponořovány a odebírány do obou prostředí. 1176 (7 týdnů) hodin bylo rozděleno na sedm cyklů po 168 (1 týden) hodinách, kdy v každém cyklu došlo k odběru jedné sady vzorků z obou prostředí a pomocí zkoušek bylo sledováno, k jakým změnám došlo u jednotlivých kusů po určité době a zda a o kolik se negativněji projevují vzorky exponované v roztoku NaCl..

Podle očekávání se ve výsledcích jednotlivých zkoušek negativněji projevíly vzorky, jež byly exponovány v roztoku NaCl. Pouze u zkoušek mřížkové a pomocí

tužek, jež testovaly přilnavost laku k povrchu, ani vzorky exponované v NaCl po 1176 hodinách neprokazovaly sebemenší poškození. Pro prokázání změn je u tohoto druhu testu potřeba mnohem delší čas exponování. Další zkouškou, která zkoušela kvalitu lakovaných vzorků, byla zkouška na stanovení odolnosti vůči nitkové korozi. Zde byl velmi znatelný rozdíl, zda se jednalo o vzorky exponované v H<sub>2</sub>O nebo NaCl. Vzorky z H<sub>2</sub>O neprokazovaly sebemenší změnu, kdežto vzorky z agresivnějšího prostředí začaly podléhat asi ve dvou třtinách celkové doby experimentu malému puchýřování v oblasti řezů. Vzhledem k tomu, že v praxi se testované materiály dostanou s velmi malou pravděpodobností do prostředí s takovou agresivitou v takové intenzitě, je stále možné laky těchto vzorků označit za laky s výbornými vlastnostmi a doporučit je jako velmi kvalitní materiály. U zkoušky založené na sledování hmotnostního úbytku byl nejmarkantnější rozdíl mezi vzorky s povrchovou úpravou a bez ní. Během 1176 hodin exponování, u vzorků z oceli 11 373 bez povrchové úpravy došlo ke snížení jejich hmotnosti v roztoku NaCl téměř o 1 g, zatímco u zbylých materiálů rozdíl nepřesáhl 0,025 g. Z toho tedy vyplývá, že ocele bez povrchové úpravy ubývá asi 40 x rychleji než zbylé testované materiály. Naopak, u zkoušek hloubením podle Erichsena a zkoušky tahové, vzorky z oceli 11 373 vykazovaly velmi dobré vlastnosti. Po celou dobu experimentu si udržovaly konstantní průběh vyhodnocení a ke snižování vlastností docházelo v minimální míře.

Závěrem nelze říci, jaký materiál je nejlepší. Každý druh vzorků se u jednotlivých zkoušek oproti ostatním jevil jinak a pro jejich použití v praxi je velmi důležité pečlivě zvážit, pro jaký účel budou které z nich používány. Zcela jistě se vyplatí investovat do kvalitních laků, protože i v agresivnějších prostředích materiál velmi dobře chrání.

## 6 Seznam použité literatury

1. HLUCHÝ, M., HANĚK V.: *Strojírenská technologie 2*, Praha: Scientia, spol. s.r.o. , 2001 176 s. ISBN 80-7183-245-6
2. NOVOTNÝ, J., ŠANOVEC J., BEDNÁŘ B., KREIBICH V.: *Technologie I*. Praha: ČVUT 1996. 227 s.
3. HAVELKA, K.: *Základy korozních dějů* Praha: ČVUT 1968. 127 s.
4. MÍŠEK, B., HRSTKA, J.: *Strojírenské materiály a povrchové úpravy*, Brno: VUT 1982, 208 s.
5. *Význam koroze* [online] wikipedia.cz [cit. 21. února 2008]. Dostupné na <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze>>
6. *Koroze* [online] circuit.eu [cit. 21. února 2008]. Dostupné na <[http://www.circuit.eu/koroze\\_cs.html](http://www.circuit.eu/koroze_cs.html)>
7. *Termodynamické předpoklady koroze kovů* [online] vscht.cz [cit. 21. února 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/t\\_elchem.htm#obr5](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/t_elchem.htm#obr5)>
8. PRIMUS, F.: *Koroze kovových materiálů*, České vysoké učení technické v Praze 1963, 2008, 60s.
9. *Korozní působení makročlánku* [online] vscht.cz [cit. 23. února 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze\\_makroclanky/index.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze_makroclanky/index.htm)>
10. *Kovy a koroze* [online] vscht.cz [cit. 24. února 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/uvo d.htm#obr5](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/uvo d.htm#obr5)>
11. *Atmosférická koroze* [online] vscht.cz [cit. 25. února 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/p\\_a tmos.htm#obr1](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/p_a tmos.htm#obr1)>
12. HOLÁTOVÁ, M.: *Ochrana zemědělských strojů proti korozi*. Praha: 1963. 170 s.
13. *Koroze v půdách* [online] eksler.wz.cz/ [cit. 27. listopadu 2007]. Dostupné na <<http://www.eksler.wz.cz/seminar.pdf>>

14. *Erozivní koroze* [online] vscht.cz [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/d\\_e\\_roze.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_e_roze.htm)>
15. *Mezikrystalická koroze* [online] vscht.cz [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze\\_mezikrystalova\\_koroze/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze_mezikrystalova_koroze/teorie.htm)>
16. BARTONÍČEK, R.: *Volba materiálu a protikorozní ochrana* Praha SNTL: 1980. 432 s.
17. *Elektrochemická protikorozní ochrana* [online] vscht.cz [cit. 1. března 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/o\\_elchem.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_elchem.htm)>
18. *Protikorozní ochrana povlaky* [online] vscht.cz [cit. 15. března 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/o\\_povlak.htm#obr3](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_povlak.htm#obr3)>
19. *Zásady protikorozej prevencie a ochrany* [online] tlakinfo.cz [cit. 15. března 2008]. Dostupné na <<http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1092&h=121>>
20. KUBÁTOVÁ, H.: *Nátěry kovů*, Praha, GRADA 2000, 140s.
21. *Nitridování* [online] cs.wikipedia.org [cit. 15. března 2008]. Dostupné na <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Nitridov%C3%A1n%C3%AD>>
22. *Galvanický článek* [online] cs.wikipedia.org [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Galvanick%C3%BD\\_%C4%8DI%C3%A1nek](http://cs.wikipedia.org/wiki/Galvanick%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek)>
23. *Atmosferické napadení* [online] xtreme.hawaii.edu [cit. 9. dubna 2008]. Dostupné na <[http://www.xtreme.hawaii.edu/researchprojects/corrosion/parts/corrosion2\\_big.jpg](http://www.xtreme.hawaii.edu/researchprojects/corrosion/parts/corrosion2_big.jpg)>
24. *Koroze mosazné trubky* [online] hghouston.com [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <[http://www.hghouston.com/images/photos/corrosion%20fatigue%20in%20brass\\_large.jpg](http://www.hghouston.com/images/photos/corrosion%20fatigue%20in%20brass_large.jpg)>  
<[http://www.hghouston.com/images/photos/corrosion%20fatigue%20in%20brass\\_large.jpg](http://www.hghouston.com/images/photos/corrosion%20fatigue%20in%20brass_large.jpg)>
25. *Vibrační koroze* [online] oleje.cz [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <[http://www.oleje.cz/tmp\\_images/case8.jpg](http://www.oleje.cz/tmp_images/case8.jpg)>

26. BROŽEK, M., NOVÁKOVÁ, A.: *Korozní prostředí a mechanické vlastnosti oceli*. Strojárstvo – Strojírenství, 8, 2004, č. 6, s. 66. ISSN 1212-2572
27. *Příklad vzniku bludných proudů* [online] iti.northwestern.edu [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <[http://www.iti.northwestern.edu/projects/stray2\\_f3.gif](http://www.iti.northwestern.edu/projects/stray2_f3.gif)>
28. *Rovnoměrná koroze* [online] octane.nmt.edu [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <<http://octane.nmt.edu/waterquality/corrosion/image/uniform%20corrosion.GIF>>
29. *Bodová koroze* [online] vscht.cz [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/d\\_bodova.htm#obr12](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_bodova.htm#obr12)>
30. *Korozní trhlina* [online] svarak.cz [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <[http://www.svarak.cz/f/svarak/o/stanek\\_pozink/Stanek\\_46.jpg](http://www.svarak.cz/f/svarak/o/stanek_pozink/Stanek_46.jpg)>
31. *Typy lakování* [online] mtcomax.cz [cit. 9. dubna 2008]. Dostupné na <<http://www.mtcomax.cz/cs/coilCoating/typyLakovani.html>>
32. ČSN ISO 2409 – Nátěrové hmoty- mřížková zkouška str. 14
33. ČSN ISO 4623-1 – Nátěrové hmoty- stanovení odolnosti proti nitkové korozi str. 13
34. *Technologické vlastnosti* [online] mujweb.atlas.cz [cit. 9. dubna 2008]. Dostupné na <<http://mujweb.atlas.cz/www/pk80/pub/st/data/st1/zk4.htm>>
35. ČSN 67 3075 Stanovení povrchové tvrdosti nátěru tužkami str. 5
36. EN ISO 1520 Paints and varnishes – Cupping test str. 4
37. *Korozní praskání* [online] vscht.cz [cit. 9. dubna 2008]. Dostupné na <<http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/koratlas/07.html>>
38. *Korozní praskání kovů* [online] vscht.cz [cit. 28. února 2008]. Dostupné na <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/obr/O033.gif](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/obr/O033.gif)>



## Seznam obrázků

- obr. 1 Chemické vlivy různého druhu
- obr. 2 Závislost rychlosti oxidace uhlíkové oceli (0,19 C; 0,53 Mn; 0,18 Si) na teplotě ve  
vzduchu a vodní páře
- obr. 3 Řada kovů podle hodnoty standardního rovnovážného potenciálu (podle teoretické ušlechtilosti)
- obr. 4 Schéma ochranné funkce povlaků na oceli
- obr. 5 Schéma galvanického článku
- obr. 6 Korozní makročlánek
- obr. 7 Příklad z praxe dvou chybně spojených materiálů
- obr. 8 Vliv relativní vlhkosti a oxidu siřičitého na korozní rychlost atmosférické koroze uhlíkové oceli
- obr. 9 Roční průměrná koncentrace SO<sub>2</sub> v μg m<sup>-3</sup> na území České republiky v síti 10 x 10 km v roce 1991
- obr. 10 Roční průměrná koncentrace SO<sub>2</sub> v μg m<sup>-3</sup> na území České republiky v síti 10 x 10 km v roce 1998
- obr. 11 Typické napadení atmosferickozu korozi
- obr. 12 Závislost korozní rychlosti k pro ocel na teplotě vody
- obr. 13 Měděný rotor napadený korozi ve vodě
- obr. 14 Součást napadená korozi v půdě
- obr. 15 Koroze za napětí
- obr. 16 Vliv korozní únavy na průběh Wöhlerovy křivky
- obr. 17 Korozní únava mosazné trubky
- obr. 18 Součást napadená vibrační korozi
- obr. 19 Korozní praskání kovů
- obr. 20 Mosazná trubka o délce 80 mm, průměru 100 mm a tloušťce stěny 3 mm.
- obr. 21 Příklad vzniku bludných proudů
- obr. 22 Ukázka rovnoměrné koroze
- obr. 23 Rovnoměrné napadení
- obr. 24 Bodová koroze hliníku ve vodě s obsahem chloridu
- obr. 25 Bodové napadení
- obr. 26 Důlkové napadení

- obr. 27 Selektivní napadení
- obr. 28 Postupné selektivní napadení
- obr. 29 Interkrystalická koroze
- obr. 30 Schéma interkrystalické koroze
- obr. 31 Transkrystalická koroze
- obr. 32 Příklad správného řešení spoje oceli s mědí
- obr. 33 Katodická ochrana kovů
- obr. 34 Schéma systému katodické ochrany vnějším zdrojem proudu
- obr. 35 Schéma jednostranného dvouvrstvého lakování
- obr. 36 Sada vzorků připravená pro experiment
- obr. 37 Vystavení vzorů koroznímu prostředí
- obr. 38 Časový diagram jednoho cyklu
- obr. 39 Magnetický tloušťkoměr List magnetik
- obr. 40 Umístění samolepicí pásky vzhledem k mřížce a těsně před odstraněním
- obr. 41 Uspořádání řezů na zkušebním vzorku
- obr. 42 Zkouška hloubením
- obr. 43 Zkušební zařízení pro zkoušku hloubením
- obr. 44 Stupnice pro odečítání hodnot
- obr. 45 Tvar hrotu tužky
- obr. 46 Přípravek pro upnutí zkušební tužky
- obr. 47 Sada tužek použitých ke zkoušce
- obr. 48 Vzorek po zkoušce hloubením
- obr. 49 Vliv počtu hodin v korozním prostředí na prohloubení
- obr. 50 Závislost hmotnostního úbytku vzorků Fe na čase
- obr. 51 Závislost hmotnostního úbytku vzorků 4, 12, 17 rozměru 150 x 30 mm na čase
- obr. 52 Závislost hmotnostního úbytku vzorků 4, 12, 17 rozměru 90 x 90 mm na čase
- obr. 53 Výsledek zkoušky po 1176 hodinách (vzorky zleva 4, 12, 17)
- obr. 54 Výsledek zkoušky po 1176 hodinách
- obr. 55 Ukázka vzorků po přetržení
- obr. 56 Graf zaznamenaný trhacím strojem ZDM5
- obr. 57 Závislost prodloužení vzorku po přetržení v závislosti na čase
- obr. 58 Závislost pevnosti vzorku Fe v závislosti na době expozice
- obr. 59 Závislost pevnosti vzorku 4 v závislosti na době expozice
- obr. 60 Závislost pevnosti vzorku 12 v závislosti na době expozice

obr. 61 Závislost pevnosti vzorku 17 v závislosti na době expozice

## **Seznam použitých tabulek**

tab. 1 Standardní potenciály E technických kovů

tab. 2 Přehled vlivu spojení kovových materiálů na korozi

tab. 3 Rychlost koroze základních technických kovů pro jednotlivé stupně  
korozní agresivity

tab. 4 Druhy použitých materiálů

tab. 5 Klasifikace výsledků zkoušky

tab. 6 Označení tužek ve zkušební sadě

## **Přílohy**

**Tab. 6** Závislost prohloubení na počtu hodin – FE

Počet hodin v lázni	Velikost prohloubení [mm]	
	voda	sůl
0	10,88	10,88
336	10,75	10,8
672	10,8	10,82
1008	10,7	10,75

**Tab. 7** Závislost prohloubení na počtu hodin - 4

Počet hodin v lázni	Velikost prohloubení [mm]	
	voda	sůl
0	10,3	10,3
168	10,45	10,4
336	9,26	9,23
504	8,84	9,18
672	8,8	8,7
840	8,9	8,65
1008	8,8	8,7
1176		8,5

**Tab. 8** Závislost prohloubení na počtu hodin - 12

Počet hodin v lázni	Velikost prohloubení [mm]	
	voda	sůl
0	9,43	9,43
336	8,75	9,42
672	8,4	8,4
1008	8,45	8,6

**Tab. 9** Závislost prohloubení na počtu hodin - 17

Počet hodin v lázni	Velikost prohloubení [mm]	
	voda	sůl
0	10,37	10,37
168	10,25	10,13
336	10,04	9,85
504	9,55	9,31
672	9,35	9,35
840	9,4	9,28
1008	9,5	9,4
1176		9,1

**Tab. 10** Závislost prodloužení na počtu hodin – Fe

Počet hodin v lázni	Délka po přetržení [mm]	
	voda	sůl
0	72,5	72,5
168	73,5	74,6
336	neuvažujeme	74,4
504	74,2	74,5
672	74,8	73,4
840	73,9	72,7
1008	74,2	73,3
1176		73,6

**Tab. 11** Závislost prodloužení na počtu hodin - 4

Počet hodin v lázni	Délka po přetržení [mm]	
	voda	sůl
0	neuvažujeme	
168	neuvažujeme	70,2
336	70,2	70,4
504	70,4	71,3
672	70,6	70,4
840	70	70,8
1008	70,6	72,1
1176		71

**Tab. 12** Závislost prodloužení na počtu hodin - 12

Počet hodin v lázni	Délka po přetržení [mm]	
	voda	sůl
0	66,7	66,7
168	66,9	66,3
336	65,6	65,6
504	66,5	67,4
672	66,2	67,6
840	66,7	66,9
1008	68	67,4
1176		66,3

**Tab. 13** Závislost prodloužení na počtu hodin - 17

Počet hodin v lázni	Délka po přetržení [mm]	
	voda	sůl
0	72,6	72,6
168	73,2	71
336	71,2	70,7
504	72,2	69,9
672	72,4	71,9
840	71,3	71,6
1008	71,4	72,2
1176		71,1

**Tab. 14** Závislost pevnosti Rm na počtu hodin - Fe

Počet hodin v lázni	Pevnost Rm [MPa]	
	voda	sůl
0	323	323
168	325	342
336	neuvažujeme	340
504	342	340
672	342	328
840	337	326
1008	335	322
1176		320

**Tab. 15** Závislost pevnosti Rm na počtu hodin - 4

Počet hodin v lázni	Pevnost Rm [MPa]	
	voda	sůl
0	neuvažujeme	
168	neuvažujeme	364
336	368	367
504	365	357
672	366	358
840	364	351
1008	362	350
1176		350

**Tab. 16** Závislost pevnosti Rm na počtu hodin - 12

Počet hodin v lázni	Pevnost Rm [MPa]	
	voda	sůl
0	414	414
168	411	418
336	414	417
504	415	419
672	414	419
840	414	415
1008	408	411
1176		394

**Tab. 17** Závislost pevnosti Rm na počtu hodin - 17

Počet hodin v lázni	Pevnost Rm [MPa]	
	voda	sůl
0	354	354
168	353	350
336	353	350
504	353	349
672	352	347
840	351	347
1008	348	346
1176		344



**Tab. 18** Závislost hmotnostního úbytku na počtu hodin

( vzorky o rozměru 150 x 30 mm) – Fe

Počet hodin v lázni	Hmotnostní úbytek [g]	
	voda	sůl
168	0,03333	0,04453
336	0,05323	0,08952
504	0,06563	0,14818
672	0,12053	0,24003
840	0,13259	0,42278
1008	0,22424	0,60746
1176		0,71094

**Tab. 19** Závislost hmotnostního úbytku na počtu hodin

( vzorky o rozměru 90 x 90 mm) – Fe

Počet hodin v lázni	hmotnostní úbytek [g]	
	voda	sůl
336	0,08320	0,15105
672	0,16754	0,34818
1008	0,40592	0,76583

**Tab. 20** Závislost hmotnostního úbytku na počtu hodin

( vzorky o rozměru 150 x 30 mm) – 4

Počet hodin v lázni	Hmotnostní úbytek [g]	
	voda	sůl
168	0,01177	0,00460
336	0,01339	0,00416
504	0,00328	0,00571
672	0,00244	0,00852
840	0,00082	0,01103
1008	0,00175	0,01274
1176		0,00969

**Tab. 21** Závislost hmotnostního úbytku na počtu hodin

( vzorky o rozměru 90 x 90 mm) – 4

Počet hodin v lázni	Hmotnostní úbytek [g]	
	voda	sůl
168	0,02638	0,02376
336	0,00866	0,00517
504	0,00424	0,00857
672	0,00465	0,00730
840	0,00135	0,00580
1008	0,00762	0,00910
1176		0,01675

**Tab. 22** Závislost hmotnostního úbytku na počtu hodin

( vzorky o rozměru 150 x 30 mm) – 12

Počet hodin v lázni	Hmotnostní úbytek [g]	
	voda	sůl
168	0,00460	0,00440
336	0,00256	0,00221
504	0,00410	0,00745
672	0,00406	0,01166
840	0,00725	0,01404
1008	0,00851	0,01708
1176		0,01256

**Tab. 23** Závislost hmotnostního úbytku na počtu hodin

( vzorky o rozměru 90 x 90 mm) – 12

Počet hodin v lázni	hmotnostní úbytek [g]	
	voda	sůl
336	0,00524	0,00717
672	0,00947	0,01774
1008	0,01084	0,02370

**Tab. 24** Závislost hmotnostního úbytku na počtu hodin

( vzorky o rozměru 150 x 30 mm) – 17

Počet hodin v lázni	Hmotnostní úbytek [g]	
	voda	sůl
168	-0,00221	0,00372
336	-0,00270	-0,00181
504	0,00750	0,00139
672	0,00413	0,00324
840	0,00656	0,00326
1008	0,00499	0,00986
1176		0,00473

**Tab. 25** Závislost hmotnostního úbytku na počtu hodin

( vzorky o rozměru 90 x 90 mm) – 17

Počet hodin v lázni	Hmotnostní úbytek [g]	
	voda	sůl
168	-0,00066	0,01360
336	0,00796	-0,00213
504	0,00713	0,01449
672	0,01024	0,01654
840	0,01105	0,01343
1008	0,01309	0,01725
1176		0,01760