



**Návrh antikoroziční ochrany u strojů pro aplikaci
hnojiv v zemědělství**
Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Jiří Votava, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Tomáš Mareček

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci „Návrh antikorozi ochrany u strojů pro aplikaci hnojiv v zemědělství“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Jiřímu Votavovi, Ph.D. za odborné vedení, užitečné připomínky, cenné rady, konzultace a pomoc při konečném zpracování práce.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na návrh antikorozi ochrany u strojů pro aplikaci hnojiv v zemědělství. Teoretická část popisuje rozdělení strojů pro aplikaci hnojiv, problematiku koroze a její druhy. V další části je rozebrána elektrochemická koroze, její princip a rozdělení. Závěrečnou částí je vlastní experiment, který má analyzovat možnosti využití 5 druhů antikorozi ochrany vyhodnocení korozi zkoušek v laboratoři.

Klíčová slova:

zemědělství, rozmetadlo, hnojivo, koroze, elektrochemické koroze, druhy koroze, korozi zkoušky, antikorozi systém

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on proposal corrosion protection on machines for application of fertilizers in agriculture. The theoretical part describes the distribution of machines for fertilizer application, issue and species of corrosion. The next section discusses the electrochemical corrosion, its principles and distribution. The final section is an experiment that has analyzed the possibility of using five kinds of corrosion protection evaluation of corrosion tests in laboratory.

Key words:

agriculture , fertilizer spreader, manure, corrosion, electrochemical corrosion, type of corrosion, corrosion test, anti corrosion systém

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	CÍL PRÁCE	9
3	ROZDĚLENÍ STROJŮ PRO APLIKACI HNOJIV A POUŽÍVANÁ HNOJIVA V ZEMDĚĚLSTVÍ	10
3.1	Organická hnojiva	11
3.1.1	Chlévský hnůj	11
3.2	Průmyslová hnojiva.....	12
3.2.1	Dusíkatá hnojiva	13
3.3	Stroje pro aplikaci organických hnojiv	13
3.3.1	Rozmetadla hnoje a kompostů	14
3.4	Stroje pro aplikaci průmyslových hnojiv	19
4	JEDNOTLIVÉ DRUHY KOROZE OCELOVÝCH SOUČÁSTÍ.....	22
4.1	Chemická koroze.....	24
4.1.1	Koroze v oxidačně působících plynech	26
4.1.2	Koroze v redukčně působících plynech	27
4.2	Biologická koroze	29
4.3	Formy korozního napadení	29
4.3.1	Rovnoměrné korozní poškození	30
4.3.2	Nerovnoměrné korozní poškození	31
5	ELEKTROCHEMICKÁ KOROZE.....	34
5.1	Ovlivňující faktory elektrochemické koroze.....	36
5.1.1	Elektrodotový potenciál	36
5.1.2	Polarizace a depolarizace.....	38
5.1.3	Pasivita.....	39
5.1.4	Vnitřní faktory, které souvisí s korodovaným kovem	40
5.1.5	Vnější faktory, které souvisí s prostředím	41

6	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
6.1	Stanovení tloušťky pasivačního povlaku	48
6.2	Analýza hmotnosti pasivačního povlaku dle ČSN EN ISO 3892	50
6.3	Hodnocení pórovitosti antikoročních povlaků	51
6.4	Odrhová zkouška dle normy ČSN EN ISO 4624.....	52
6.5	Zkouška hloubením dle Erichsena	55
6.6	Analýza tloušťky zinkového povlaku během korozního namáhání v DAM....	57
6.7	Hodnocení korozní odolnosti cyklickou zkouškou v kapalném hnojivu DAM59	
6.8	Celkové hodnocení korozní odolnosti použitých povlaků dle ČSN EN ISO 9227 (zkouška solnou mlhou).....	60
6.9	Diskuse.....	69
7	ZÁVĚR	71
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	72
9	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	74
10	SEZNAM TABULEK	76

1 ÚVOD

V mechanizaci zemědělství se nejčastěji používají stroje, které jsou ve velké většině vyrobeny z ocelových součástí. Jedním z nejdůležitějších důsledků působících na stroj je koroze, která způsobuje velké materiální škody.

V diplomové práci jsou popsány druhy koroze ocelových součástí, které mohou působit na mechanizační techniku pro aplikaci organických a průmyslových hnojiv. Koroze je proces degradace kovu nebo slitiny kovů působením prostředí. Chemickou reakcí se složkami korozního prostředí se kov vrací do stavu sloučeniny totožné nebo podobné té, ze které byl vyroben. Vzhledem k tomu, že koroze kovu je doprovázena přenosem elektrického náboje, je nutné na korozi pohlížet jako na elektrochemický děj. Koroze kovů je již od pradávna chápána jako nežádoucí proces, a to je také obsaženo v její definici: "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". Korozi nepodléhají pouze kovové materiály, ale také materiály anorganické nekovové i polymerní. Většinou je ale pod pojmem koroze myšlena právě jen fyzikálně-chemická interakce kovu a prostředí.

Korozní poškození představuje obsáhlou skupinu poruch, vzniklých působením prostředí především na povrch kovů. Podle rozsahu poškození rozeznáváme tzv. korozi celkovou, která probíhá po celém povrchu vystaveném koroznímu prostředí víceméně rovnoměrně a korozi místní, lokalizovanou, která probíhá intenzivněji pouze v některých částech exponovaného povrchu kovu a zasahuje i do objemu kovu, kde vzniká nový korozně exponovaný povrch. Z těchto důvodů je třeba si uvědomit podstatu antikorozi ochrany a díky správné aplikaci zásadně prodloužit životnost strojního zařízení.

Cílem je protikorozi ochrana kovů s využitím dostupných racionálních postupů a logických vazeb, které vedou k vyřešení korozního problému v požadované, často velmi krátké době. Pro použití antikorozi ochrany je nezbytná znalost základních principů korozních procesů a mechanismů jednotlivých druhů koroze i technologií protikorozi ochrany.

2 CÍL PRÁCE

V zemědělské praxi je antikorozi ochrana ocelových součástí naprosto nepostradatelná. Jedná se především o stroje a zařízení pracující v prostředí se zvýšenou korozní aktivitou. Typickým příkladem jsou právě stroje pro aplikaci anorganických i organických hnojiv.

Cílem diplomové práce je analyzovat možnosti využití 5 druhů antikorozi ochrany pro aplikaci na stroje se zvýšeným korozním namáháním. Jedná se o stroje pro aplikaci organických a průmyslových hnojiv, u kterých dochází v důsledku elektrochemické koroze především k hloubkové degradaci základního materiálu. Veškeré aplikace antikorozi nátěrů budou prováděny v laboratorních prostorách za stejných podmínek.

Experiment diplomové práce je tedy možné rozdělit do dvou etap:

- etapa č.1: Jedná se o testování mechanických vlastností jednotlivých antikorozi povlaků určených pro aplikaci na rozmetací stroje do rostlinné výroby. Testována bude především přilnavost antikorozi povlaku k základnímu materiálu. Rovněž bude přesně specifikována hmotnost i tloušťka ochranného povlaku dle příslušných technických norem.
- etapa č. 2: Jednotlivé antikorozi povlaky budou testovány v prostředí solné mlhy dle normy ISO EN ČSN 9227. Rovněž bude proveden cyklický test s průmyslovým hnojivem DAM 390. Jedná se o dlouhodobou zkoušku, u které lze předpokládat značnou korelaci s reálnými podmínkami.

Na základě provedených testů bude následně doporučena antikorozi ochrana k prodloužení životnosti strojního zařízení. Jedná se především o možnost využití kombinace jednotlivých antikorozi povlaků nebo duplexních systémů.

3 ROZDĚLENÍ STROJŮ PRO APLIKACI HNOJIV A POUŽÍVANÁ HNOJIVA V ZEMDĚĚLSTVÍ

Účelem hnojení je doplnit v půdě úbytek živin, zvýšit její úrodnost a upravit v požadovaném směru fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Z technologického hlediska je hnojení půdy charakterizováno přiměřeně rovnoměrným rozdělením hnojiv po povrchu pole nebo louky, popřípadě do určité hloubky, což záleží na vlastnostech hnojiv a postupu dalšího zpracování půdy. Nejčastěji se v zemědělství používají buď hnojiva organická (chlévká mrva, kompost apod.), nebo hnojiva průmyslová, která jsou produkty chemického, důlního nebo stavebního průmyslu.

(Kumhála, 2007; Forejt, 2013)

Hnojiva mohou být aplikována:

- plošně: po aplikaci na povrchu půdy se hnojivo zpravidla zapracuje do půdy, například vláčením, zaoráváním apod.,
- do řádků: hlavně při setí, sázením a přihnojování rostlin během vegetace, přičemž mohou aplikována na povrch nebo do půdy,
- do hnízd: hlavně při sázení a přihnojování u ovocných stromů.

Stroje pro aplikaci hnojiv pro hnojení půdy rozdělujeme na:

- stroje pro aplikaci hnojiv na hnojení organickými hnojivy,
 - stroje pro aplikaci hnojiv na hnojení průmyslovými hnojivy.
- a) Stroje pro aplikaci hnojiv na hnojení organickými hnojivy rozdělujeme na:
- rozmetadlo hnoje a kompostů,
 - močůvkovače,
 - stroje na hnojení tekutými výkaly.
- b) Stroje pro aplikaci hnojiv na hnojení průmyslovými hnojivy rozdělujeme na:
- rozmetadla tuhých průmyslových hnojiv,
 - stroje na hnojení kapalnými průmyslovými hnojivy (např.: postřikovače).

(Neubauer, 1989; Forejt 2013)

3.1 Organická hnojiva

Organické látky představují z tuhé fáze půdy v průměru 2-5%, přesto však jejich význam pro zajištění úrodnosti půdy několikanásobně převyšuje jejich procentuální vyjádření. Organické látky v půdě je třeba pravidelně doplňovat, aby nedošlo ke zhoršení fyzikálně chemických vlastností půdy. Do skupiny organických hnojiv se řadí chlévský hnůj, kompost, rašelina a rostliny, které se používají jako tzv. zelené hnojivo. Zeleným hnojivem se rozumí zaorání zelených rostlin, které byly na pozemku vypěstovány s cílem zvýšit obsah organických látek a živin v půdě. Půdní mikroorganismy rozkládají během roku v půdě přítomné organické látky různého původu. Při rozkladu (mineralizaci) se uvolňují minerální látky, které jsou důležité pro výživu rostlin (dusík, draslík atd.), oxid uhličitý a energie. Oxid uhličitý se váže na vodu, čímž vzniká slabá kyselina uhličitá, která zpětně usnadňuje rozpouštění živin v půdě. Část uvolněné energie uniká ve formě tepla, které půdu prohřívá. Zbývající část energie je spotřebována při tvorbě humusu. (*Richter, Římovský, 1996; Forejt 2013*)

3.1.1 Chlévský hnůj

Chlévský hnůj je dnes nejpoužívanější hnojivo. Obvykle se používá každé čtyři roky (podle osevního postupu), na lehkých půdách se rozkládá rychleji (každé dva roky). Chlévský hnůj obsahuje směs steliva, tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat se zbytky krmiv tvoří chlévskou mrvu. Jejím zušlechtěním, které probíhá díky skladování tzv. fermentaci vzniká chlévský hnůj. Při přeměně mrvy v hnůj je nejdůležitějším úkolem zajistit uchování největšího množství organických látek, největšího množství živin a udržení a zvýšení počtu mikroorganismů. Pravidelné hnojení půdy hnojem nebo jinými statkovými hnojivy je pro udržení půdní úrodnosti nezbytné. Optimální dávka hnoje by se měla pohybovat kolem 9 t na hektar. Interval hnojení by neměl být delší než 3 roky. U okopanin se používá dávka 30 – 40 t na hektar. Pod obiloviny po horší předplodinách se na půdách lehčích doporučuje dávka nižší jak 20 t na hektar. Chlévským hnojem hnojíme plodiny, které jsou náročné na organickou hmotu. Jedná se především o okopaniny, kukuřici, košťáloviny, plodové zeleniny a olejniny. Nejpoužívanějším strojem pro aplikaci chlévského hnoje je rozmetadlo hnoje. (*Richter, Římovský, 1996*)

3.2 Průmyslová hnojiva

Průmyslová hnojiva mají svůj význam, mohou však být účinná na dobře organicky prohnojených a provápněných půdách s dostatkem humusu. Velký význam má hnojení dusíkatými látkami. Rostliny mají vysoký obsah dusičnanů. Průmyslová hnojiva působí na půdní reakci různě, podle toho, kterou část z dodaného hnojiva rostliny spotřebují a kterou ponechají v půdě. Jedná se o hnojiva, která jsou nezbytná pro růst rostlin. Obsahují hlavně vázaný dusík, draslík, vápník a fosfor. V praxi se nejčastěji používají hnojiva jednosložková a vícesložková. Vícesložková hnojiva vznikají kombinací jednosložkových hnojiv např.: Cererit. Rozdělení průmyslových hnojiv podle vlivu na půdní reakci v (Tab. 1).

Jednosložková hnojiva:

- dusíkatá hnojiva - (dusičnan sodný a draselný, síran amonný, atd), podporují hlavně tvorbu bílkovin, tím pádem i růst rostlin,
- fosforečná hnojiva - (superfosfát – kyselina sírová), fosforečná hnojiva podporují tvorbu květů, plodů,
- draselná hnojiva - (síran draselný, chlorid draselný), draselná hnojiva podporují odolnost rostlin. (Richter, Hlušek, 1996)

Tab. 1 Rozdělení průmyslových hnojiv podle vlivu na půdní reakci (Forejt, 1996)

Hnojiva	Podle vlivu na půdní reakci		
	Kyselá	Neutrální	Zásaditá
Dusíkatá	Síran amonný	Ledek amonný s vápencem, močovina, rohovinová moučka	Ledek vápenatý, dusíkaté vápno
Draselná	Kainit, síran draselný, draselná sůl		
Fosforečná	Superfosfát	Fosfáty	Kostní moučka
Vápenatá	Sádra		Pálené vápno, mletý vápenec, odpad. vápno
komplexní		Cererit, NPK	

3.2.1 Dusíkatá hnojiva

Dusík má největší vliv na dosažení vysokých výnosů. Z půdy je rychle vyplavován do nižších orničních a podorničních vrstev a je tedy potřeba ho rostlinám dodávat. Z dusíkatých hnojiv působí nejrychleji ledek. Hnojiva s amoniakálním dusíkem působí pomaleji než dusíkatá hnojiva. Organická hnojiva uvolňují dusík nejpomaleji. Dusíkatá hnojiva se používají v první polovině vegetačního období. Přehled dusíkatých hnojiv v (Tab. 2.). (Richter, Hlušek, 1996; Forejt 2013)

Tab. 2 Dusíkatá hnojiva (Forejt, 2013)

Název	Obsah N v %	ve formě	Dále obsahuje	Vhodný pro půdy	poznámka
Ledek vápenatý	15	Ledkové	20% Ca	spíše kyselé	
Síran amonný	20	Čpavkové	20% S	alkalické	
Ledek amonný s vápencem	27,5	1/2 v ledkové, 1/2 v čpavkové	7,5 % CaCO ₂	kyselé	
Ledek amonný s dolomitem	27,5	1/2 v ledkové, 1/2 v čpavkové	7,5 % CaCO ₂	kyselé	Obsahuje také hořčík
Močovina	45	organické		Nehodí se do písčitých, zamokřených půd	
Dusíkaté vápno	20			kyselé	
DAM 390	30				

3.3 Stroje pro aplikaci organických hnojiv

Stroje pro aplikaci hnojiv na hnojení organickými hnojivy rozdělujeme na:

- rozmetadla hnoje a kompostů,
- močůvkovače,
- stroje na hnojení tekutými výkaly (kejda). (Neubauer, 1989)

3.3.1 Rozmetadla hnoje a kompostů

Rozmetadla se používají k rovnoměrnému rozmetání hnoje, kompostů, rašeliny a případně vápenatých hnojiv po povrchu půdy. Pracovní postup při hnojení hnojem a kompostem je charakteristický velkým objemem prací a relativně krátkým agrotechnickým termínem. Hnojiva musí být dobře rozrušená na optimální velikost částic a rozhozena po celé ploše tak, aby rozdíly v dávkách nebyly větší než plus mínus 20 %, a to při jakémkoliv dávkování. Podélná a příčná nerovnoměrnost, vyjádřena variačním koeficientem nemá být větší než 40 %.

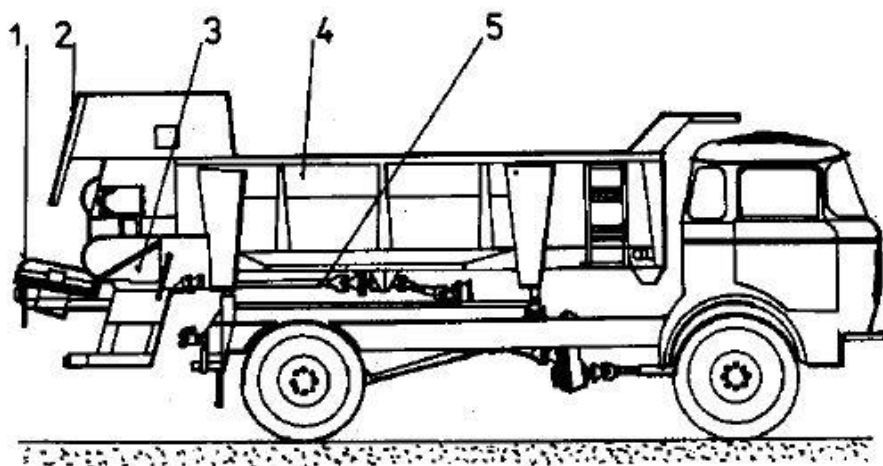
Rozmetadla by měla být konstrukčně univerzální, aby je bylo možné použít nejen k rozmetání hnoje, ale i pro dopravu jiných zemědělských materiálů. Činnost pracovních ústrojí je velmi intenzivně ovlivněna vlastnostmi hnoje, zejména pak jeho vlhkostí, složením, stupněm zralosti a objemovou hmotností.

Rozmezí vlhkosti hnoje bývá od 65 do 80 %. Slamnatost se v závislosti na způsobu ustájení a druhu hnoje pohybuje do 10 %. Koeficient tření chlévského hnoje po různých materiálech (ocel, dřevo, plast, pryž) má střední hodnotu rovnou 0,5 až 1. Měrná hmotnost chlévského hnoje závisí na měrné hmotnosti jeho složek, jejich vzájemném poměru, zralosti a vlhkosti hnoje.

Čerstvý hnůj má měrnou hmotnost od 450 do 650 kg.m⁻³. Kdežto rozložený a uleželý hnůj má měrnou hmotnost od 1000 do 2000 kg.m⁻³. Měrná hmotnost kompostů závisí na jeho složení a podílu organických složek. Nejčastěji se pohybuje se v rozmezí od 1000 do 2000 kg.m⁻³. (*Kumhála, 2007; Frid, 2012*)

Rozmetadla hnoje a kompostů se dělí podle způsobu připojení k energetickému prostředku:

- traktorová - nesená, návěsná, závěsná,
- automobilová - nástavba na nákladní automobil,
- samochoďná viz.: (Obr. 1) (*Frid, 2012*)



Obr. 1 Samochodný rozmetací adaptér RAM - 8.: 1. Rozmetací zařízení, 2. Kryt rozmetacího zařízení, 3. Dopravní zařízení, 4. Ložná korba, 5. Převedy, (Frid, 2012)

Rozmetadlo na (Obr. 2) má tyto hlavní části:

- ložný prostor,
- dopravní ústrojí,
- rozmetací ústrojí, (Frid, 2012)

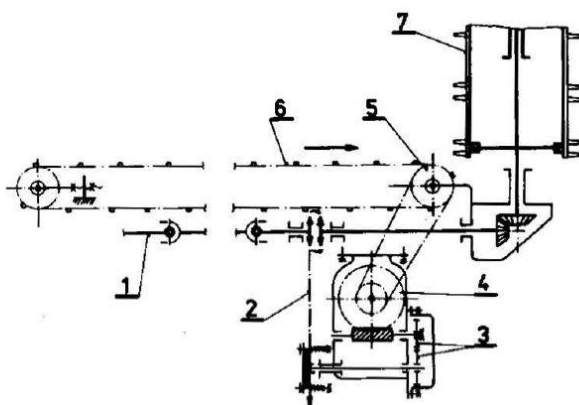


Obr. 2 Traktorové univerzální rozmetadlo hnoje a kompostů HTS (Frid, 2012)

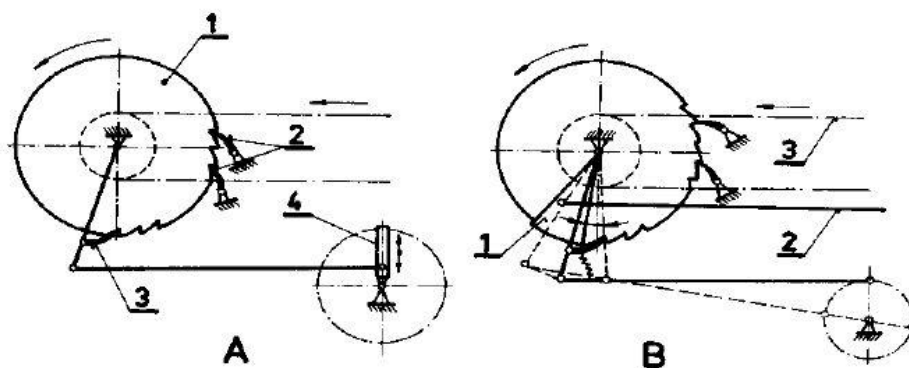
Pracovní proces rozmetání se dělí na dvě fáze: na přísun hnojiva k rozmetacímu ústrojí a na vlastní rozmetání. (Neubauer, 1989)

3.3.1.1 Dopravní ústrojí

Dopravní ústrojí má za úlohu přisun hnoje k rozmetacímu ústrojí. Základní částí dopravního ústrojí je jednoduchý nebo dvojitý řetězový hrabicový dopravník umístěný na podlaze ložné korby. Nejčastěji bývá vzdálenost lišt 300 až 400 mm. Pohyb dopravníku může být plynulý nebo přerušovaný. Plynulý převod je zajištěn pomocí šnekové převodky (Obr. 3). Převod a tím rychlost posuvu podlahového dopravníku je možné měnit výměnou ozubených kol nebo jejich řazením. Přerušovaný pohyb dopravníku je zajištěn pomocí rohatkového mechanismu se západkou (Obr. 4). (Neubauer, 1989)



Obr. 3 Dopravní ústrojí s nepřerušovaným pohonem podlahového dopravníku: 1. Hlavní hnací hřídel, 2. Řetězový převod, 3. Výměnná ozubená kola, 4. Šnekový převod, 5. Hnací hřídel podlahového dopravníku, 6. Podlahový dopravník, 7. Rozmetací buben (Frid, 2012)



Obr. 4 Rohatkové mechanismy pro pohon podlahového dopravníku rozmetadla chlěvského hnoje: **A**-mechanismus s přestavitelným excentrem: 1. Rohatkové kolo, 2. Pojistné západky, 3. Hnací západka, 4. Přestavitelný excentr, **B**-mechanismus s přestavitelnou clonou: 1. Otočná clona, 2. Seřizovací polohy clony, 3. Podlahový dopravník. (Frid, 2012)

Výkonnost podlahového dopravníku q [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$] se stanoví dle vztahu:

$$q = v_d \cdot b \cdot h \cdot \rho \cdot k$$

v_d - vyjadřuje rychlost podlahového dopravníku	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
b - šířka korby (rozmetané vrstvy)	[m],
h - výška rozmetané vrstvy	[m],
ρ - objemová hmotnost hnoje	[$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
k - součinitel zaplnění ložné korby	[0,85 ÷ 0,9].

Výkonost rozmetacího zařízení q_R [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$] se stanoví dle vztahu:

$$q_R = B_p \cdot v_P \cdot Q$$

B_p – pracovní záběr rozmetadla	[m],
v_P – pojezdová rychlost rozmetadla	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
Q – dávka hnoje na 1 m^2	[$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$].

Pokud má rozmetadlo dobře pracovat musí se výkonost rozmetacího ústrojí rovnat výkonosti podlahového dopravníku.

$$v_d \cdot b \cdot h \cdot \rho \cdot k = B_p \cdot v_P \cdot Q$$

Nejčastěji se tento vztah používá pro stanovení pojezdové rychlosti rozmetadla nebo pro stanovení rychlosti podlahového dopravníku. Na základě tohoto vztahu je zřejmé, že změnu dávky hnoje na jednotku plochy Q je možné docílit změnou rychlosti podlahového dopravníku a pojezdové rychlosti. (*Neubauer, 1989; Fríd, 2012*)

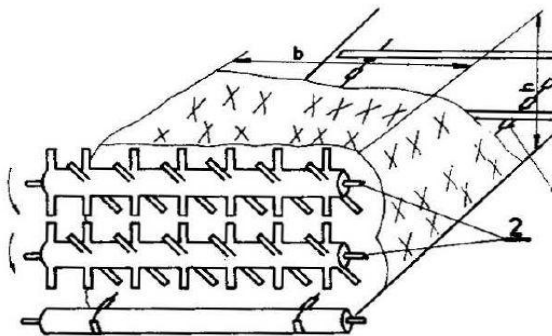
3.3.1.2 Rozmetací ústrojí

Úlohou rozmetacího ústrojí je rozdělovat vrstvu hnoje přisunovanou dopravním ústrojím na částice požadované velikosti a ty rovnoměrně rozmetat po povrchu pole. Rozmetací ústrojí má tedy trhací (oddělovací) funkci a funkci odhazovací. Podle konstrukce lze rozmetací ústrojí rozdělit na:

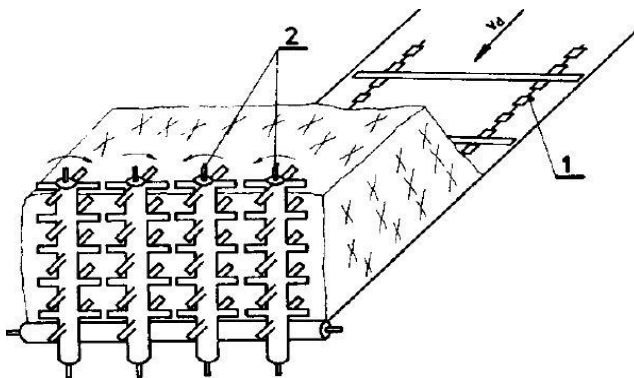
- bubnová,
- lopatková,
- cepová,
- kolová,
- dopravníková.

Nejvíce používané rozmetací ústrojí je bubnové rozmetací ústrojí. Nejčastěji bývá umístěné v zadní části rozmetadla. Hnůj je rozmetáván směrem dozadu. Bubnové rozmetací ústrojí mohou mít bubny s osou rotace:

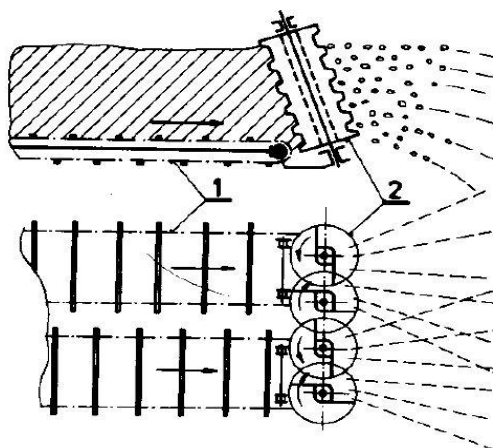
- vodorovnou
- svislou
- šikmou (*Neubauer, 1989*)



Obr. 5 Bubnové rozmetací zařízení s horizontálním uspořádáním rozmetacích bubnů: 1. Podlahový dopravník, 2. Rozmetací bubny. (*Frid, 2012*)



Obr. 6 Bubnové rozmetací zařízení se svislým uspořádáním rozmetacích bubnů: 1. Podlahový dopravník, 2. Rozmetací bubny (Fríd, 2012)



Obr. 7 Bubnové rozmetací zařízení se šikmým uspořádáním rozmetacích bubnů: 1. Podlahový dopravník, 2. Rozmetací bubny (Fríd, 2012)

3.4 Stroje pro aplikaci průmyslových hnojiv

Stroje pro aplikaci hnojiv na hnojení průmyslovými hnojivy rozdělujeme na:

- rozmetadla tuhých průmyslových hnojiv
- stroje na hnojení kapalnými průmyslovými hnojivy (např.: postřikovače).

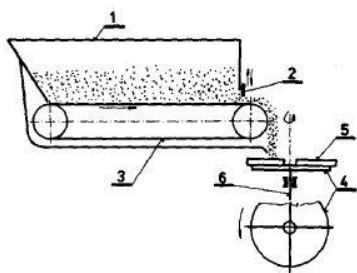
(Neubauer, 1989)

Úlohou rozmetadel tuhých minerálních hnojiv je rovnoměrné rozdělení hnojiva na povrch pole při plošné aplikaci, nebo k rostlinám při přihnojování. Hlavní částí rozmetadla na tuhá minerální hnojiva jsou zásobníky na hnojivo, čechrač, dávkovací zařízení a rozmetací ústrojí. Podle druhu hnojení a technologie práce se používají zásobníky na

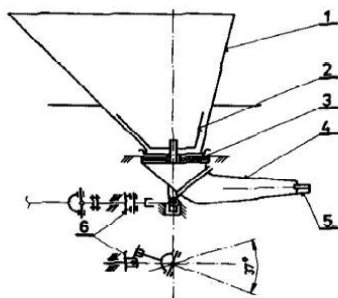
hnojivo o objemu od sta až po několik tisíc litrů. Mohou mít rozdílný tvar, nejčastěji se používají lichoběžníkové zužující se dolů. Tvar zásobníku musí umožňovat jeho bezproblémové zaplnění, bez mrtvých zón, ve kterých při vyprazdňování zůstává hnojivo a nepostupuje vlastní tíhou k podávacímu nebo rozmetacímu mechanismu, používají se čechrače. U rozmetadel minerálních hnojiv se používají dávkovací zařízení řetězová, šneková a pasová, která dopravují hnojivo k rozmetacímu mechanismu.

Podle energetických prostředků se rozmetadla rozdělují na traktorová, automobilová a samojízdná. Rozmetací mechanismus rozmetá hnojivo působením odstředivé síly, vlastní tíže nebo působením proudu vzduchu. Rozmetadla tuhých minerálních hnojiv se nejčastěji rozdělují podle principu práce rozmetacího ústrojí. Mezi nejčastější používaná rozmetadla patří: (Fríd, 2012; Kumhála 2007)

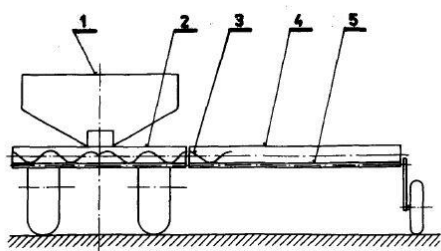
- odstředivá (kotoučová nebo s rozmetací hubicí),
- vyhrnovací (šneková nebo talířová),
- pneumatické. (Fríd, 2012)



Obr. 8 Odstředivé rozmetací ústrojí s vodorovným rozmetacím kotoučem: 1. Zásobník, 2. Regulační šoupátko, 3. Podlahový dopravník, 4. Rozmetací kotouč, 5. Rozmetací lopatky, 6. Svislé hnací hřídele. (Fríd, 2012)



Obr. 9 Nesené odstředivé rozmetadlo s kývající hubicí: 1. Zásobník, 2. Čechrač, 3. Regulační šoupátko, 4. Rozmetací hubice, 5. Rozmetací koncovka, 6. Pohon hubice (šikmý čep). (Fríd, 2102)



Obr. 10 Šnekové rozmetací ústrojí: 1. Zásobník, 2. Střední díl šnekového rozmetacího zařízení, 3. Vyhrnovací šnek, 4. Boční díl šnekového rozmetacího zařízení, 5. Výpadní otvor. (Fríd, 2012)

Do skupin kapalných hnojiv řadíme amoniakáty, čpavek a jiná kapalná průmyslová hnojiva (NP; NK+S; N,P,K; N,P,K,S; Mg roztoky atd.). Jejich předností je jednodušší výroba, vyšší koncentrace živin a rovnoměrnější aplikace na poli a jednodušší manipulace. Kapalná beztlaková nebo nízkotlaká hnojiva můžeme aplikovat na povrch půdy nebo se zapracovávají do půdy. Pro aplikaci na povrch půdy se používají nejčastěji postřikovače na ochranu rostlin s vhodnými tryskami. Pro zpracování hnojiva do půdy se používají secí stroje se speciálními secími botkami (systém hnojení pod patu). Metoda injektáže tekutých hnojiv (nejen DAM) spočívá v cílené injektáži tekutého hnojiva do prostoru obilovin a píce. Pomocí aplikačního stroje na (Obr. 11) lze hnojit jedním nebo více druhy hnojiv nejdnou. Aplikátor se vyrábí v nesené, tažené nebo v nástavbové verzi na nosiče nářadí. Základem stroje je nádrž s čerpadlem na DAM. Pracovním orgánem stroje jsou kola s injektory, které se odvalují po prostoru. Pokud je injektor zastrčen v půdě, probíhá aplikace hnojiva. Pokud je injektor mimo půdu, aplikace neprobíhá. Pracovní záběr strojů bývá z výroby od 1,5 m do 18 m. (Fríd, 2012; Kumhála, 2007)



Obr. 11 Stroj pro hnojení tekutými prům. hnojivy injektáží do půdy (Fríd, 2012)

4 JEDNOTLIVÉ DRUHY KOROZE OCELOVÝCH SOUČÁSTÍ

Koroze kovů je definována jako znehodnocení materiálu, způsobené chemickým nebo fyzikálním působením prostředí. Koroze je nežádoucí a škodlivé rozrušování tuhých látek chemickými, elektrochemickými, případně biologickými vlivy okolního prostředí. Jedná se o souhrn fyzikálních a chemických dějů, jejichž konečným výsledkem je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Při chemickém působení korozního prostředí dochází k chemické reakci materiálu s prostředím. Při fyzikálním působení dochází k fyzikálnímu působení prostředí např.: koroze roztavenými kovy – odpařování. Rozrušování fyzikálními ději se nazývají eroze, abraze a opotřebení. Korozi podléhají téměř všechny materiály, tedy nejen kovy a jejich slitiny, ale taky plastické hmoty a další materiály. Z definice koroze vyplývá, že se jedná o vzájemné působení materiálu a prostředí. Dalším faktorem ovlivňující korozi je časový průběh reakce, tj. rychlost koroze.

Ochranou proti korozi jsou základním faktorem tři parametry. Jde vlastně o volbu materiálu s požadovanou korozní odolností, vytvoření ochranné vrstvy na povrchu materiálu, které chrání základní materiál před korozi. Pro prostředí, ve kterých probíhá koroze jsou různá, nejrozšířenějším prostředím je atmosféra. Dále to mohou být voda, půda, chemické roztoky a další. Rychlost koroze je důležitá vlastnost ve srovnání s životností výrobku. Rychlost koroze lze ovlivňovat např.: přímo, využitím tzv. elektrické ochrany – katodická ochrana, anodické polarizace nebo nepřímo úpravou korozního prostředí a materiálu.

Koroze kovů vzniká v prvních okamžicích přímého styku kovů s kyslíkem, kdy vznikne monomolekulární vrstva sloučenin obou prvků. Kdyby tato vrstva oddělovala nepropustně kov od prostředí, zastavila by další slučování a vytvořila by tak pasivní povrch, netečný k dalšímu působení daného prostředí. Ve skutečnosti se však další průběh koroze nezastaví, nýbrž pokračuje se zmenšující se rychlostí dále. Zplodiny koroze, tj. sloučeniny kovů s korozním činidlem prostředí vytvářejí na povrchu tzv. ochrannou vrstvu, která působí jako brzda dalšího korozního pochodu. Tato vrstva je jistou měrou nepropustná, a to nejen pro korozní prostředí, ale i pro kov. Korozní reakce probíhá při protisměrném pohybu v celé vrstvě a její těsné blízkosti, přičemž vrstva narůstá z obou stran kovu i ze strany prostředí. (Mohyla, 1981; Ščerbejová, 1993)

Korozní poškození může z technického hlediska způsobit zejména:

- změny mechanických vlastností (pevnost, pružnost),
- změny fyzikálních vlastností (magnetismus, elektrické, tepelné),
- změny geometrie povrchu. (*Ščerbejová, 1993*)

Z hlediska mechanismu korozních dějů rozdělujeme korozi na:

- chemickou,
- elektrochemickou,
- biologickou.

Chemická koroze probíhá zpravidla v plynných prostředích za vyšších teplot a v elektricky nevodivých kapalných prostředích (v organických kapalinách).

Elektrochemická koroze probíhá v elektricky vodivém prostředí. Rozdíl mezi korozi chemickou a elektrochemickou není zásadní s skutečné případy koroze leží mezi těmito krajními typy.

Biologická koroze probíhá ze přítomnosti bakterií, plísní a hub, které způsobují chemické a elektrochemické změny na povrchu kovu. (*Ščerbejová, 1993*)

Rozdělení koroze – Výsledkem vzájemného působení faktorů koroze (materiál, prostředí, fyzikální podmínky) je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Podle toho, který z faktorů je dominující, se koroze rozděluje na jednotlivé druhy koroze.

Nejpoužívanější dělení koroze:

1. podle mechanismu korozních dějů:
 - koroze chemická,
 - koroze elektrochemická,
 - koroze biologická

2. podle formy (druhu) korozního napadení:
 - koroze rovnoměrná,
 - koroze nerovnoměrná.

3. podle prostředí, ve kterém koroze působí:
 - atmosférická,
 - ve vodě,
 - v plynech,
 - v půdě.

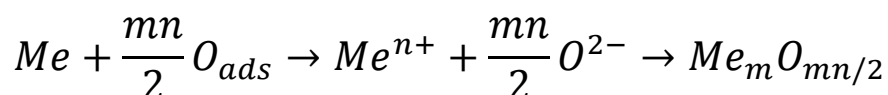
4. podle rozhodujícího korozního činitele:
 - koroze při napětí,
 - z únavy materiálu. (*Ščerbejová, 1993; Mohyla, 1981*)

4.1 Chemická koroze

Chemická koroze je rozrušování kovů chemickými vlivy a nastává převážně v plynných prostředích za vyšších teplot nebo v prostředí nevodivých kapalin. Jedná se o samovolnou vzájemnou interakci kovu s korozním prostředím, při které oxidace kovu a redukce oxidující složky probíhají současně. Vzniká působením vzdušného kyslíku (oxidací), ale také kyselin, louhů a solí. U mnohých kovů zamezí tenká vnější vrstva oxidů průnik koroze do hloubky materiálu, např.: zelená patina u mědi nebo oxidační vrstva u hliníku. Proti tomu u železných slitin postupuje koroze velkou rychlostí neza-
držitelně směrem dovnitř.

Prvním stadiem chemické koroze je adsorpce oxidující složky na povrchu, kdy vzniká iontová vazba mezi kyslíkem a povrchovými atomy kovu. Kov předává atomu kyslí-

ku dva elektrony a vznikající vazba je odlišná od vazby kyslíku s kovem v oxidu. Adsorpce molekul je při tvorbě vazby s kovem vyjádřena prostřednictvím atomu kyslíku. Dochází k výměně elektronů v opačném směru, kdy atom kyslíku předává elektrony kovu. Vnější povrch vzniklé vrstvy má kladný náboj, vnitřní povrch záporný. Absorbovaná vrstva přechází ve vrstvičku oxidu podle chemické reakce:



Kde Me je libovolný kov, Me^{n+} je iont kovu, O_{ads} je adsorbovaná forma kyslíku, O^{2-} je iontová forma kyslíku, a , m , n je počet. (Stodola, 2008; Ščerbejová, 1993)

Reakce probíhá za současné přestavby atomů kovu a kyslíku, která odpovídá jejich prostorovému rozdělení v oxidu. Vlastnosti vznikajících vrstev oxidu jsou určovány různými vlivy, např.: tloušťkou vrstvy (tenké v nanometrech – neviditelné, střední – barevné zbarvení, tlusté – tlusté např.: okuje na oceli). Některé rovnoměrné vrstvy mohou mít ochranné vlastnosti, kdy platí, že pokud je molární objem vznikající vrstvy menší než molární obsah kovu, nestačí vrstva pokrýt povrch kovu a reagující plynná složka má k povrchu přístup a taková vrstva potom nemá ochranné vlastnosti. Toto pravidlo neplatí absolutně a je ovlivněno řadou dalších činitelů (čas, druh oxidu, teplo, tlak aj.)

(Stodola, 2008)

Chemická koroze kovů v plynech probíhá při styku kovu s plynem. Tato reakce se rozděluje podle charakteru prostředí na:

- korozi v oxidačně působících plynech (O_2 , CO_2 , SO , SO_2 ...),
- korozi v redukčně působících plynech (H_2 , CH_4 , NH_3 , ...).

(Ščerbejová, 1993)

4.1.1 Koroze v oxidačně působících plynech

Rysem koroze v oxidačně působících plynech je tvorba oxidických vrstev na povrchu kovu, na rozhraní mezi kovem a prostředím. Oxidická vrstva narůstá zpočátku rychle, podle lineárního zákona další průběh koroze závisí na kompaktnosti vzniklé vrstvy. Podle Pilling-Bedworthova pravidla ovlivňuje kompaktnost vrstvy poměr molárního objemu oxidace vrstvy V_{MeO} a molárního objemu V_{Me} .

$$\frac{V_{MeO}}{V_{Me}} > 1$$

Při tomto vztahu může mít vzniklá vrstva ochranný charakter a koroze se zpomaluje. Probíhá podle parabolického zákona.

$$y^2 = k \cdot t$$

Kde je:

y – množství oxidovaného kovu

k – rychlostní konstanta

t – čas

Tento případ je charakteristický pro většinu kovů např.: Al, Pb, Zn, Cu, Fe, Cr.

$$\frac{V_{MeO}}{V_{Me}} < 1$$

Při tomto vztahu má vzniklá vrstva malé ochranné vlastnosti, kov je stále ve styku s prostředím a rychlost oxidace je značná. Koroze probíhá podle lineárního zákona.

$$y = k \cdot t$$

Tento případ je charakteristický pro kovy: Li, Na, Ca, K, Mg.

Příkladem chemické koroze v oxidačním prostředí je vznik okují při tepelném zpracování Fe. Obecně mohou na Fe při tepelném zpracování vznikat tři vrstvy: FeO, Fe₃O₄, Fe₂O₃. Nejdříve vzniká vrstva Fe₃O₄, magnetit. Tvoří se v rozmezí teplot 20 – 200 °C. Při dalším zvyšování teploty do 500 °C přibývá vrstva Fe₂O₃, hematit, na vnější straně vrstvy, a při teplotě 575 °C vzniká FeO, který je nejchudší na kyslík a tvoří se na povrchu kovu.

Odolnost oceli proti oxidaci je možné zvýšit legováním vhodnými přísadami. Z běžně dostupných přísad se nejvíce osvědčil chrom, hliník a křemík. Odstraňování oxidických vrstev se provádí měřením v kyselinách.

(Mohyla, 1981; Ščerbejová, 1993).

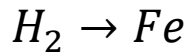
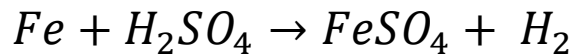
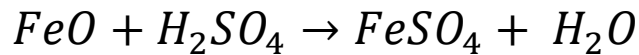
4.1.2 Koroze v redukčně působících plynech

Charakteristickým rysem koroze v redukčně působících plynech je rozrušování kovu difuzí plynu do kovu a jeho následnými reakcemi. Poškození způsob nejčastěji vodík a může být dočasné (vodíková křehkost) nebo trvalé (vodíková koroze, vodíková nemoc).

Vodíková křehkost

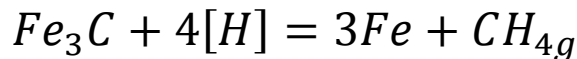
Vodík reaguje s řadou kovů při zvýšené teplotě za vzniku hydridů, které se v základním kovu dobře rozpouštějí. I malá množství hydridů vedou k vážným mechanickým poškozením materiálů, tzv. vodíkové křehnutí, které je pokládáno za strukturní formu koroze. Vodíková křehkost souvisí s difuzí a tzv. rozpouštěním vodíku v železe. Vodík difunduje transkrystalicky v ionizované nebo atomární formě do mřížky železa a má snahu vytvořit molekulární vodík. Za následek křehnutí až praskání je hromadění molekulárního vodíku na hranici zrn. Kov lze zotavit žiháním, pokud však není křehnutí doprovázeno trhlinami. Při ohřevu difunduje vodík ven a je možné dosáhnout téměř původních vlastností kovu.

S termínem vodíková křehkost je spojeno odstraňování okují mořením v kyselinách. Kyselina působí na rozhraní Fe a FeO, rozrušuje kov a vznikající vodík způsobuje vodíkovou křehkost. Proti negativnímu působení kyseliny se používá vhodných inhibitorů.
(Stodola, 2008; Ščerbejová, 1993)

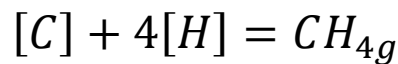


Vodíková koroze

Hlavní příčina zhoubného (korozního) rozrušování vysokotlakým vodíkem spočívá v chemické reakci s uhlíkem a v destruktivních vlivech vyplývajících z této reakce, tj. oduhličení a vysoké vnitřní tlaky při tvorbě metanu, vznikajícího především rozkladem karbidu železa:



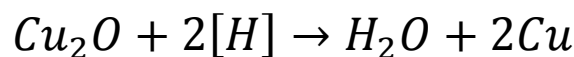
Nebo reakcí vodíku s uhlíkem rozpuštěným v železe:



Plynný metan není schopný difuze a soustřeďuje se na rozhraní zrn, kde vytváří vysoká pnutí a trhliny. Ocel se stává křehkou, ztrácí pevnost a tažnost. Odolnost oceli proti vodíkové korozi se zvýší přísadami karbidotvorných prvků Cr, Mo, W, V. Při poklesu intenzity difúze vodíku se mechanické vlastnosti zotavují. Zotavení se dá urychlit ohřevem, při kterém vodík difunduje ven z kovu a nezanechává po sobě strukturní změny, které jsou naopak charakteristické pro vodíkovou korozi. (*Bartoníček, 1966*)

Vodíková nemoc

Vodíková nemoc je typickým jevem pro slitiny Cu a Ni, kdy dochází k rozrušování těchto slitin vodíkem. Při ohřevu slitin ve vodíkové atmosféře difunduje vodík do slitiny a reaguje s kyslíkem z oxidů, vzniká vodní pára, která způsobuje charakteristické trhliny kovu:



4.2 Biologická koroze

Koroze kovů může být ovlivněna nebo způsobena mikrobiologickou činností přímo nebo nepřímo, jako důsledek metabolické činnosti mikroorganismů. Mikroorganismy mohou:

- mít přímý vliv na rychlost anodické nebo katodické reakce,
- měnit odolnost kovu vlivem pochodů během látkové výměny,
- vytvářet korozní prostředí tím, že tvoří při svém růstu a množení bariéry, díky tomu vznikají koncentrační články na povrchu kovu.

Největší význam mají bakterie redukující sírany. Vegetují v anaerobních podmínkách, bahně, vodním prostředí. Vyžadují mírně alkalické prostředí (pH 7-8). Využívají vodík z katodické korozní reakce k redukci síranu na siřník a tím urychlují katodickou depolarizaci a korozi. Uvedené bakterie napadají především ocel a slitinu, ale obdobně i jiné kovy jako bronz, hořčík, zinek a hliník. Kromě uvedených bakterií je další řada organismů, hub, řas, podporuje korozi kovů tím, že vytváří na povrchu kovu celé vrstvy. Koncentrace kyslíku pod těmito vrstvami klesá na hodnoty, které dovolují vývin anaerobních bakterií, které mohou např. redukovat síran. (*Ščerbejová, 1993*)

4.3 Formy korozního napadení

Koroze materiálu se může projevovat různými formami (rovnoměrné, nerovnoměrné, skvrnité, důlkové, bodové atd...), některé z nich nemusí být spojeny s úbytkem materiálu. Při celkové korozi koroduje povrch oceli rovnoměrně a rozsah korozního poškození lze obvykle předpovídat. Korozní rychlost závisí na čistotě korozního prostředí. Vysoké korozní odolnosti lze dosáhnout zvýšením obsahu chromu, niklu a molybdenu.

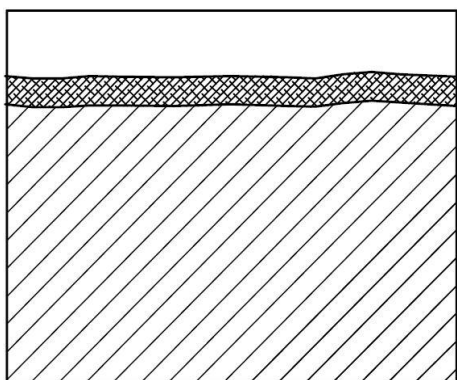
(*Stodola, 2008*)

Podle způsobu napadení dělíme korozi na:

- rovnoměrné korozní poškození,
- nerovnoměrné korozní poškození, které má další typy napadení:
 - důlkové
 - bodové
 - mezikrystalové
 - transkrystalické
 - nitkové
 - selektivní
 - extrakční
 - podpovrchové

4.3.1 Rovnoměrné korozní poškození

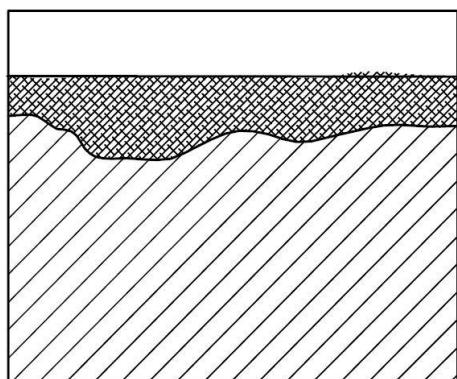
Rovnoměrné napadení (Obr. 12), při něm nastává rovnoměrné poškození kovu stejně po celém povrchu. Obvykle tento proces pozorujeme u homogenního kovu, kdy se produkty koroze ihned po vzniku z povrchu odstraňují. Běžně má tato forma koroze konstantní rychlost, je velmi nápadná, ale přitom nejméně nebezpečná. Množství zkorodovaného povrchu, tj. rychlost koroze, lze vyjádřit množstvím látky, která zkoroduje za jednotku času a plochy ($\text{g} \cdot \text{mm}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$), popř. tloušťku vrstvy, která se za určitý čas koroze rozpustí ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$). Korozní rychlost se obvykle mění s časem, kdy počáteční rychlost je větší než konečná, proto se obvykle udává její střední hodnota. Rovnoměrné napadení je takové, u něhož je korodovaná plocha kovu celá stejně napadena korozi.



Obr. 12 Rovnoměrná koroze (Šulc, 2008)

4.3.2 Nerovnoměrné korozní poškození

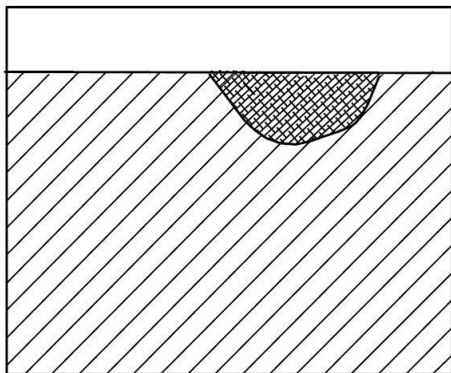
Nerovnoměrná koroze (Obr. 13) se vyskytuje na různých místech materiálu, proniká do různé šíře a hloubky materiálu. Některá místa materiálu mohou zůstat zcela bez napadení. Z pohledu pevnosti konstrukcí z korozivzdorných ocelí jsou nejnebezpečnějšími tzv. strukturní koroze hlavně u materiálů odolných proti celkové korozi v jejich pasivním stavu. (Stodola, 2008)



Obr. 13 Nerovnoměrná koroze (Šulc, 2008)

Důlková koroze

Důlková koroze je vlastně nerovnoměrná koroze vznikající na malých částech povrchu a pronikající značně do hloubky. Nejčastěji se vyskytuje u snadno pasivovatelných kovů (železo, hliník, nerezové oceli aj.). Také většina ocelových zařízení chráněných nátěry je při porušení nátěru napadána důlkovou korozí. Hloubka důlkového napadení je obvykle menší než největší průměr důlku. Důlková koroze nastává nejčastěji v případech, kdy je povrch materiálu pokryt ochranou vrstvou, která má póry a defekty, jimž např. proniká agresivní činidlo. Často také nastává u nerezových ocelí, které jsou opatřeny oxidickou ochrannou vrstvou. Touto vrstvou pronikají chloridové ionty jiných halogenidů. Tento druh koroze se často označuje jako pitting. Charakteristické je to, že vzniká až po určité inkubační době nutné k tomu, aby ionty pronikly ochrannou vrstvou. Pitting má charakteristické rysy, které ho odlišují od ostatních druhů důlkové koroze. Je to hlavně tvar důlků, kde průměr důlku bývá mnohem menší než jeho hloubka, tak, jako by byl vyvrtán. (Stodola, 2008; Mohyla, 1981)



Obr. 14 Důlková koroze (Šulc, 2008)

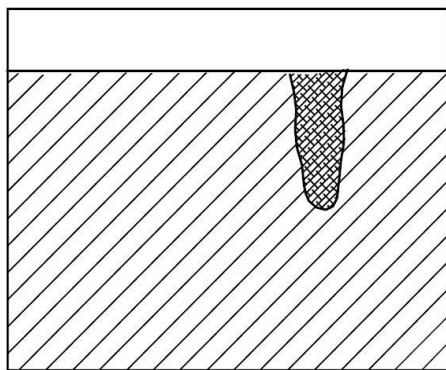
Bodová koroze

Bodová koroze má menší nebo větší počet ojedinělých bodů, během korozního napadení se podstatně zvětšuje jejich hloubka, je typická pro nerezové oceli, hliník. Bodové napadení působí více do hloubky než důlkové napadení. Určujícím činitelem z hlediska odolnosti materiálu proti iniciaci bodové koroze jsou vedle složení kovové matrice i složení, tvar, počet a rozložení vměstků popř. dalších nehomogenit. Zůstane-li však součást dostatečně dlouho dobu v klidu a vznikne zárodek bodu, začne tento bod růst. Body jsou často pokryty membránou korozních produktů, jež mohou, pokud odpadnou, iniciovat další body v místě v místě jejich zachycení na povrchu.

Mechanismus bodové koroze lze rozdělit na dvě stádia:

- nukleární – spočívající v místním narušení pasivního filmu po určité inkubační době a v iniciaci aktivního korozního centra,
- vývojové – kdy aktivní korozní centra rostou ve formě bodů.

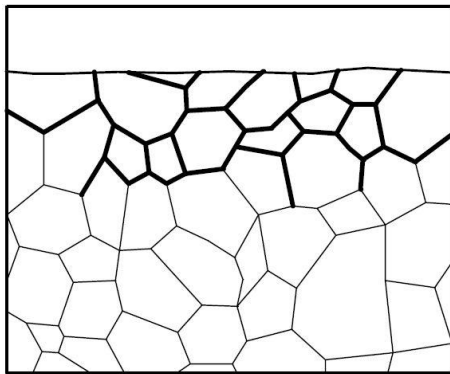
(Stodola, 2008; Mohyla, 1981)



Obr. 15 Bodová koroze (Šulc, 2008)

Mezikrystalická koroze

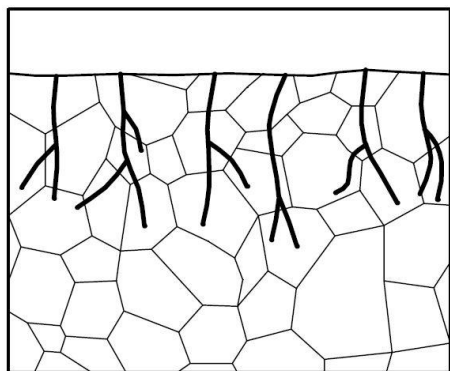
Jedná se o nerovnoměrnou korozi, která probíhá na hranicích zrn. Vzniká při podstatně rychlejší korozi hranic zrn než vlastního zrna. Projevuje se změnou mechanických vlastností. Z nejdůležitějších slitin, které mají sklon k mezikrystalické korozi, jsou duraly a antikorozi nestabilizované oceli Cr-Ni. Mezikrystalická koroze může probíhat také u jednofázových materiálů působením napětím vnějších sil. Obvykle se projevuje praskáním a později rozpadem. Nejčastěji se vyskytuje v okolí sváru. Jedna z hlavních příčin je existence dendritických karbidů titanu na rozhraní zrn po přehřátí a jejich koroze v kyselinách. Snížení obsahu uhlíku (0,03%) snižuje náchylnost korozivzdorných celů k nožové korozi. (Mohyla, 1981)



Obr. 16 Mezikrystalická koroze (Šulc, 2008)

Transkrystalická koroze

Nerovnoměrná koroze projevující se trhlinami probíhajícími napříč krystaly do hloubky materiálu. Tento druh koroze se vyskytuje zřídka. Důsledkem je praskání, přičemž velmi významnou složku je pnutí, tj. současné namáhání, nejčastějším místem napadení je svár. (Mohyla, 1981)



Obr. 17 Transkrystalická koroze (Šulc, 2008)

5 ELEKTROCHEMICKÁ KOROZE

Elektrochemická koroze kovů je samovolný proces vzájemné interakce kovu s okolním elektricky vodivým prostředím, při kterém ionizace atomu kovu a redukce oxidační složky korozního prostředí probíhají současně a jejich rychlosti závisejí na hodnotě elektrodového potenciálu. Elektrochemická koroze probíhá při elektrochemických reakcích, jejichž podmínkou je elektricky vodivé prostředí. Elektricky vodivé prostředí tvoří elektrolyt a anodická a katodická místa tzv. elektrody.

(Hrubý, 1997; Ščerbejová, 1993)

Elektrochemie se zabývá chováním iontů v roztoku a na fázovém rozhraní. Týká se to jak rovnováhy v soustavě elektroda-elektrolyt, tak procesů v této soustavě, tj. při přenosu náboje z jedné fáze do druhé, kdy dochází ke změně nosiče náboje z elektronu na iont a naopak. K tomu, aby mezi elektrodou a elektrolytem procházel vnější proud, jsou nutné alespoň dvě elektrody, které tvoří elektrochemický článek. Pokud proud mezi elektrodami prochází v důsledku samovolných procesů na elektrodách, pak se jedná o galvanický článek. Pokud proud mezi elektrodami prochází v důsledku připojení elektrod na póly zdroje stejnosměrného proudu, jedná se o vynucený děj a ten probíhá v elektrolytickém článku v elektrolyzáru. Elektrodou může být každá pevná nebo kapalná fáze, která je alespoň částečně elektronově vodivá kde proud vedou elektrony. Elektrolytem může být každá kapalná nebo pevná fáze, která je iontově vodivá. Na přenosu náboje v elektrolytu se podílí jak anionty (-), tak kationty (+) a při průchodu proudu elektrolytem dochází ke změnám jeho složení jak u elektrod, tak v objemu. Transport v elektrolytu může být zprostředkován difúzí (pohyb vyvolaný gradientem koncentrace resp. aktivity daného iontu), migrací (pohyb iontů vyvolaný gradientem potenciálu v elektrolytu) a konvekcí (pohyb vyvolaný prouděním elektrolytu).

(Hrubý, 1997; Novák, 2002)

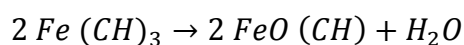
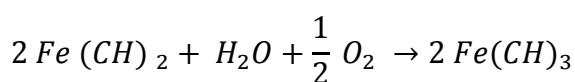
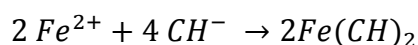
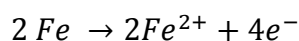
Každá korozní reakce v sobě zahrnuje dvě dílčí reakce tj. anodickou a katodickou, neboť jde o reakci oxidačně redukční. Anodická koroze odpovídá oxidaci kovů a tedy vlastní korozi. Katodická reakce odpovídá současně redukci některé oxidující složky obsažené v roztoku. Tato reakce se nazývá reakcí depolarizační. Oxidace je obecně reakce, při které dochází k uvolnění elektronu, redukce je reakce, při které naopak dochází k přijetí elektronu. Bez ohledu na to, probíhá-li v elektrochemickém článku samovolný

nebo proudem vynucený děj, anoda je elektroda, na které převládá oxidace a katoda je elektroda, na které převládá redukce. Obě reakce jsou na sebe vázány a nemohou samostatně probíhat. Při transportu iontů musí být v každém objemu elektrolytu splněna podmínka stejného počtu kladných a záporných nábojů. Vzájemná závislost je dána zachováním elektroneutality. Jestliže anodická reakce je zdrojem elektronů, pak katodická reakce musí stejné množství elektronů spotřebovat.

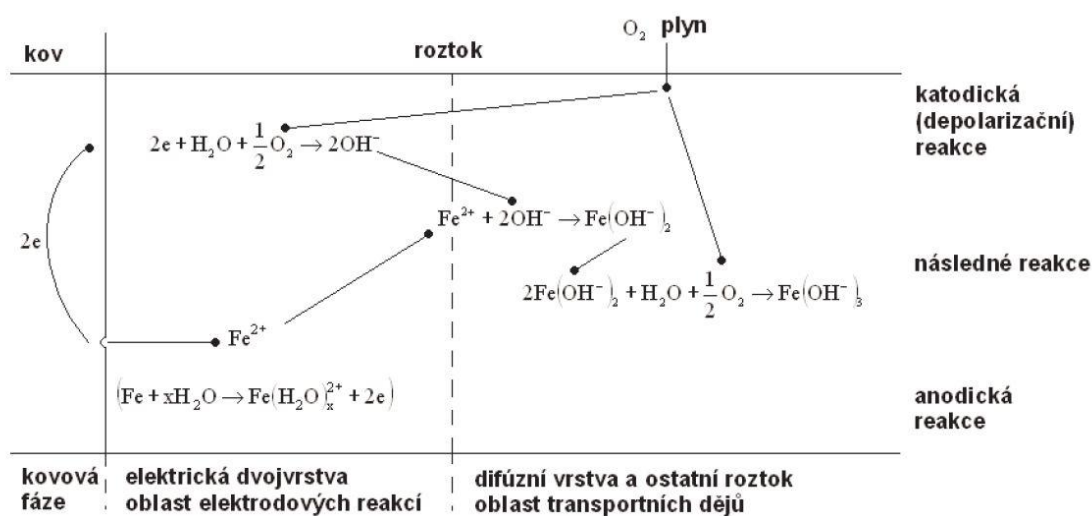
(Hrubý, 1997; Ščerbejová, 1993)

Anodická a katodická reakce při oxidaci Fe:

Procesy na anodě:



Procesy na katodě:



Obr. 18 Schematické znázornění dějů při korozi železa (Bartoniček, 1966)

Na (Obr. 18) je znázorněn průběh základních dějů probíhajících při korozi železa v neutrálním prostředí. Je zde znázorněna elektrická dvojvrstva u povrchu kovu, ve které probíhají dílčí elektrodové reakce (anodická a katodická) a difúzní vrstva, která je významná zejména z hlediska přísunu reagujících látek z roztoku a odvodu reakčních produktů od povrchu kovu, zajišťující tak trvalý korozní průběh. Důležité jsou i následné reakce primárních produktů mezi sebou nebo s látkami obsaženými v roztoku, které mohou vést k vzniku tuhých korozních zplodin. (*Bartoníček, 1966*)

5.1 Ovlivňující faktory elektrochemické koroze

Elektrochemickou korozi a její průběh ovlivňují tyto faktory:

- elektrodový potenciál,
- polarizace a depolarizace,
- pasivita,
- vnitřní faktory, které souvisejí s korodovaným kovem,
- vnější faktory, které souvisejí s prostředím. (*Ščerbejová, 1993*)

5.1.1 Elektroodový potenciál

V rovnováze se na elektrodě ustavuje rovnovážný potenciál E_r , který je závislý na koncentraci elektroaktivních složek podle Nernstovy rovnice. Pro rovnovážné potenciály kovů podle rovnice $M \leftrightarrow M^{z+} + ze^-$ je ve tvaru:

$$E_r = E_r^0 - \frac{RT}{zF} \ln \frac{1}{[M^{z+}]}$$

Kde je R molární plynová konstanta, T absolutní teplota, z počet vyměněných elektronů při elektrochemické přeměně, F Faradayova konstanta, $[M^{z+}]$ je koncentrace (aktivita) iontu kovu v roztoku. Potenciál elektrody (elektrodový potenciál) E je měřitelná veličina proti srovnávací (referenční) elektrodě. Standardní rovnovážné potenciály (E_r^0) elektrochemických reakcí jsou tabelovány proti tzv. vodíkové elektrodě, pro kterou byla hodnota jejího rovnovážného potenciálu smluvně prohlášena za nulovou při všech teplotách.

Za standardních podmínek je logaritmický člen roven nule a rovnovážný potenciál elektrody E_r , je roven standardnímu potenciálu E^0 ; ten charakterizuje elektrochemickou ušlechtilost kovu, tj. snahu uvolňovat elektrony a přecházet do iontového (oxidovaného) stavu.

Tuto tendenci mají ušlechtilé kovy nižší a hodnoty jejich standardních potenciálů jsou pozitivnější, naopak hodnota standardních potenciálů neušlechtilých kovů je negativnější, ve srovnání s hodnotou standardního potenciálu vodíku, stanoveného konvencí jako nulový. Celková stupnice korozní odolnosti ovšem neodpovídá pořadí elektrochemické ušlechtilosti kovů dle standardního potenciálu (Obr. 19). Je nutné uvažovat i rychlost kinetiku korozních reakcí, která je dána jednak hodnotou standardního potenciálu kovu, přepětím, ale zejména schopností kovu přecházet do pasivovaného stavu.

(Hrubý, 1997; Ščerbejová, 1993, Bartoníček 1966)

Elektrochemická ušlechtilost	Korozní odolnost
Pt	Pt
Au	Au
Ag	Zr
Cu	Ti
Pb	Ag
Sn	Cr
Ni	Cu
Cd	Ni
Fe	Pb
Cr	Al
Zn	Sn
Mn	Fe
Zr	Cd
Ti	Zn
Al	Mg
Mg	Mn

Obr. 19 Tabulka srovnání elektrochemické ušlechtilosti a průměrné korozní odolnosti kovů (Hrubý, 1997)

Kdyby koroze záležela jen na elektrochemické ušlechtilosti kovu, dalo by říci, že čím má kov vyšší standardní potenciál, tím je odolnější proti korozi. Korozi ale ovlivňují i další činitele, např. schopnost některých kovů vytvářet pasivní vrstvu oxidu, která může být elektrochemicky ušlechtilejší než kov, proto se stupnice korozní odolnosti od elektrolytické řady napětí liší. V roztoku je schopen každý kov vytěšňovat ionty kovu ušlechtilejšího a sám přecházet do roztoku. (Hrubý, 1997)

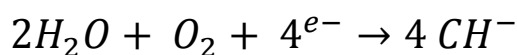
Spojí-li se dvě elektrody různých kovů, vzniká korozní článek. V článku ta elektroda, která má zápornější potenciál, se stává anodou a probíhají na ní oxidační děje (koroze) a ta elektroda, která má kladnější potenciál, se stává katodou. Spojením obou elektrod dochází k porušení dané rovnováhy a odčerpání nahromaděných iontů a elektronů. Z anody jsou odčerpávány elektrony ke katodě a na povrchu katody se vybíjejí. Na katodě vznikající ionty CH^- jsou v roztoku urychlovány k anodě, kde dochází k reakci s ionty kovu Me^{z+} . Reakcí iontů kovu se porušuje rovnováha a pod silou elektrického pole mezi kovem a roztokem přechází do roztoku další ionty kovu. Podle velikosti elektrod se koroze rozděluje na články:

- korozní makročlánky,
- korozní mikročlánky. (*Ščerbejová, 1993*)

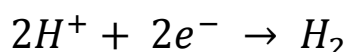
5.1.2 Polarizace a depolarizace

Vodivým spojením dvou elektrod dochází k elektrochemickým reakcím a potenciál elektrod se mění. Počáteční rozdíl potenciálů mezi katodou a anodou se zmenšuje v důsledku usazování produktů rozkladu a má za následek snižování proudu a zmenšování koroze. Děj, který způsobuje rozdíl mezi elektrodovým potenciálem v bezproudém stavu a při průchodu proudu, se nazývá polarizace. Opačně působící děje se nazývají depolarizací. Depolarizace ruší polarizaci a umožňuje pokračování korozních dějů. Depolarizaci způsobuje např. pohyb elektrolytu, přítomnost kyslíku nebo vodíkových iontů.

Depolarizace kyslíková:



Přítomnost kyslíku v elektrolytu korozní děje urychluje. V kyselém prostředí, kde je vyšší koncentrace H^+ rozlišujeme depolarizaci vodíkovou:



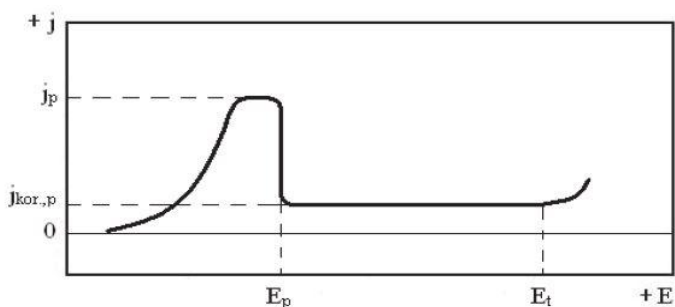
Depolarizace je katodická reakce, která umožňuje trvalý průběh korozního děje. Některé korozní děje se dají zpomalit, zabrání-li se vstupu látek působících depolarizačně do korozního prostředí. (Šřerbejová, 1993; Bartoníček, 1966)

5.1.3 Pasivita

Pasivita kovu je pozitivní jev, kdy dojde na povrchu kovu k vytvoření tenké vrstvičky elektrochemicky ušlechtilých vlastností. Tato vrstvička má za následek posun anodické rychlosti koroze kovu k velmi nízkým hodnotám. Teorie popisující mechanismus vzniku pasivní vrstvy se mohou u různých kovů lišit. U některých kovů je předpokládána tzv. adsorpčně bariérová teorie, popisující blokování aktivních center koroze tenkými filmy kyslíku. U řady kovů však byla dokázána tvorba oxidických vrstev amfoterního charakteru, tzv. teorií bariérově pasivačních vrstev, které budou dále popsány z důvodů zaměření této práce na atmosférická prostředí s vysokým obsahem kyslíku.

Anodická polarizační křivka pasivovatelných kovů má zpravidla tvar dle (Obr. 20). S rostoucím potenciálem přechází kov z aktivního stavu spojeného se vzrůstem dílčí anodické proudové hustoty až do stavu pasivity, charakterizované *pasivačním potenciálem* E_p ; překročením tohoto potenciálu dílčí anodická proudová hustota klesá až o několik řádů a ustavuje se na hodnotě korozní proudové hustoty odpovídající pasivovanému stavu $j_{kor,p}$. Dalším zvýšením potenciálu se proudová hustota opět zvětšuje a kov může přejít do oblasti transpasivity, charakterizované hodnotou *transpasivačního potenciálu* E_t , anebo dříve dosáhne potenciálu vylučování kyslíku a kov se reakce nezúčastní. Stav pasivity kovu je tedy omezen pouze na určitou oblast, závislou na povaze kovu a prostředí. Tato oblast má svou spodní hranici (E_p) a často i horní hranici (E_t).

(Novák, 2002)



Obr. 20 Polarizační křivka kovu přecházejícího do pasivačního a transpasivačního stavu (Novák, 2002)

5.1.4 Vnitřní faktory, které souvisí s korodovaným kovem

K vnitřním faktorům patří především charakter, chemické složení a struktura korodovaného kovu, stav povrchu a napětí.

Struktura kovů a slitin

Strukturu může ovlivnit vznik korozních mikročlánků. Dobře odolávají účinkům koroze jednofázové kovy nebo slitiny jejichž jednotlivé fáze mají podobnou elektrochemickou aktivitu. Při legování ušlechtiljším kovem se obvykle zvýší korozní odolnost zvýšením elektrodového potenciálu, ale v některých případech může legující prvek sloužit jako mikrokatody. Příkladem koroze je extrakční koroze mosazi. Zinek vytváří mikroanody a rozpouští se, měď mikroanody. Dochází k odzinkování mosazi, což má za následek zhoršení mechanických vlastností, snížení pevnosti a tažnosti.

Stav povrchu

Stav povrchu nejvíce ovlivňuje jeho drsnost, mechanické poškození, poškození povrchové ochrany. Na drsném povrchu se usazují nečistoty a vzniká zde vlhkost. Díky všem těmto faktorům se vytváří vhodné prostředí pro elektrochemickou korozi.

Mechanická deformace a napětí

Zvyšují energetický obsah kovového materiálu a urychlují korozi. V důsledku koncentrace napětí na určitých strukturních součástech se jedná většinou o napadení mezi-krytalové nebo transkrytalové.

Chemická odolnost

Chemická odolnost kovů se nedá jednoznačně charakterizovat. Přibližně ji lze posoudit z postavení kovů v periodické soustavě prvků. Kovy se dělí nebo rozlišují na:

- ušlechtilé, termodynamické stálé: Pb, Ag, Au,
- odolné, které se snadno pasivují: Al, Mo, Cr,
- méně odolné, které se méně pasivují: Fe, Mg, Zn, Mn, Ni,
- neodolné, alkalické: Na, Ca, K. (*Bartoniček, 1966; Ščerbejová, 1993*)

5.1.5 Vnější faktory, které souvisí s prostředím

Rychlost koroze nejvíce ovlivňují koncentrace solí a pH elektrolytu, inhibitory koroze a teplota.

Teplota

Teplota elektrolytu zvyšuje rychlost reakcí a tím i rychlost koroze.

Koncentrace solí

Zvyšuje chemickou aktivitu a elektrickou vodivost elektrolytu a tím i rychlost koroze. Ionty solí mohou zvýšit rozpustnost korozních zplodin a tím ovlivnit další pokračování koroze.

Inhibitory

Inhibitor je chemická látka, jejíž přítomnost v korozním prostředí ve vhodné (obvykle malé) koncentraci snižuje výrazně korozní rychlost, aniž podstatně mění koncentraci kterékoli agresivní složky (stimulátoru koroze). Účinná koncentrace těchto látek se obvykle pohybuje v mezích od 0,1 do 10 g.l⁻¹. Mechanismus inhibice je založen buď na blokování dílčího anodického či katodického děje, nebo spočívá v současném ovlivnění obou. Inhibiční účinek řady látek spočívá v zajištění podmínek pro pasivaci kovu. Tyto látky lze rozdělit do tří skupin:

- oxidační látky, které svojí redukcí zvyšují rychlost katodického děje,
- látky brzdící anodický proces,
- látky umožňující snadnější redukcí složek prostředí.

Dále dělíme inhibitory na:

- difuzní inhibitory, které změnou vlastností snižují difuzi, jsou to látky koloidní (želatina, křemičitan sodný),
- povrchové inhibitory, které mění vlastnosti povrchu kovu adsorbicí nebo vznikem chemické sloučeniny. (Ščerbejová, 1993; Novák 2002; Bartoníček, 1966)

6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část diplomové práce je zaměřena na vyhodnocení antikorozi odolnosti organických o anorganických povlaků určených do prostředí se zvýšenou korozní agresivitou.

Typickým příkladem jsou právě stroje pro aplikaci statkových nebo průmyslových hnojiv. Jelikož se jedná o dusíkaté látky se značným množstvím solí, je elektrochemická koroze díky vzdušné vlhkosti v tomto prostředí značně urychlena. Na základě vyhodnocení provedených testů lze následně doporučit vhodnou antikorozi ochranu k prodloužení životnosti strojního zařízení.

Pro stanovení mechanické a korozní odolnosti byly provedeny tyto testy:

1. Stanovení tloušťky pasivačního povlaku, (měření bylo provedeno na metalografických preparátech i pomocí měřicí sondy Elcometr).
2. Analýza hmotnosti pasivačního povlaku dle ČSN EN ISO 3892.
3. Hodnocení pórovitosti antikorozi systému.
4. Odrhová zkouška dle normy ČSN EN ISO 4624.
5. Zkouška hloubením dle Erichsena ČSN EN ISO 1520
6. Sledování úbytků zinkového povlaku na základě působení kapalného hnojiva DAM
7. Hodnocení korozní odolnosti cyklickou zkouškou v kapalném hnojivu DAM.
8. Celkové hodnocení antikorozi povlaků dle ČSN ISO 9227 (zkouška solnou mlhou).

Charakteristické hodnocení testovaných antikorozních systémů

Nátěrový systém Ferro Color U2066: Technické listy výrobce

Popis:

Disperze pigmentů a plnidel v roztoku alkydové a alkyduretanové živice s přidáním aditiv.

Použití:

Používá se jako samozákladující (základ i vrch v jednom) pololesklá barva (2 v 1) na kovové povrchy. Ocel, železo, hliník, zoxidovaný pozink. Konečný nátěr zkrásluje ale i chrání před korozi. Nátěr se vyznačuje vysokou elasticitou, pevností a odolností vůči povětrnostním vlivům. Nepoužívat na nátěry přicházející do kontaktu s potravinami, krmivou, pitnou vodou, natírání dětského nábytku a hraček.

Fyzikální a technická charakteristika:

VOC	0,420 kg/kg
TOC	0,31 kg/kg
Objemová sušina	40 - 42 % obj.
Kategorie	OR A.i
Hraniční hodnota	VOC: 500 g/l

Tab. 3 Fyzikální a technická charakteristika

Technické údaje:

Vlastnosti v dodávaném stavu	
hustota	1,20 – 1,30 g/cm ³
výtokový čas	nejmíň 200 s
obsah neprchavých látek	nejmíň 65 % hm.
teoretická vydatnost	9 – 11 m ² /l při tloušťce 40 μm

Zasychání	
stupeň 1	nejvíce 4 h
stupeň 4	nejvíce 7 h

Vlastnosti hotového nátěru	
vzhled	hladký, slitý
přílnavost	st. 0 - 1
lesk	st. 2
tvrdost kyvadlem	nejmíň 8 %
kryvost	nejvíc st. 1 - 2

Doporučený stav podkladu
předcházející nátěr: suchý, čistý
minimální teplota při aplikaci: + 5 °C
teplota podkladu musí být nejméně: + 3 °C nad rosným bodem
relativní vlhkost vzduchu v rozmezí: 30 – 70 %

Pokyny k aplikaci	
<u>vzduchové stříkání:</u>	
doporučené ředidlo	S 6001
otvor trysky	1,8 mm
tlak vzduchu	0,3 - 0,4 MPa
objem ředidla	10 – 20 %
<u>štětec:</u>	
doporučené ředidlo	S 6006
objem ředidla	3 – 5 %

Nanášení, ředění, čištění náradí:

Nátěr zasychá na vzduchu. Před aplikací se musí dokonale promíchat ode dna obalu. Ředí se ředidlem S 6001 pro stříkání a nebo S 6006 pro natírání štětcem. Vysoká vlhkost vzduchu a nízká teplota prostředí a podkladu prodlužuje dobu zasychání. Náradí se čistí ředidlem S 6006, S 6001, C 6000 nebo přípravkem P 8500.

Stupeň hořlavosti:

Hořlavá kapalina II. třídy nebezpečnosti.

Nátěrový systém Hostagrund: Technické listy výrobce

Základní i vrchní syntetický nátěr na železo určen pro zhotovení jednovrstvých venkovních nátěrů ocelových konstrukcí, např. stožárů, mostů, podvozků, plotů, vystavených přímým povětrnostním vlivům. Barvu lze použít i pro ochranné nátěry nekovových podkladů, např. beton, dřevo. Barva má tixotropní charakter, který spolu se speciálním složením umožňuje dosažení silné vrstvy a ochranných vlastností jedním nátěrem. Nanáší se přímo na podklad, zbavený mechanických nečistot a rzi.

Složení a charakteristika výrobku:

Disperze pigmentů, plniv a antikoročních látek v roztoku modifikovaných pryskyřic v organických rozpouštědlech s přídavkem sušidel a aditiv. Výrobek má vynikající přilnavost na ocelové povrchy, velmi rychlé zasychání i v silných vrstvách. Je vhodný také k nátěrům lehkých kovů, např. pozinkovaných plechů. Tixotropní charakter umožňuje nanášení ve velmi silných vrstvách, vysokotlakým stříkáním lze najednou nanést až 300 µm mokrého filmu. Nátěrový film má hedvábný matný povrch. Vyrábí se v široké škále odstínů (pro velkoodběratele i v odstínech RAL). Barva není určena k nátěrům, které přicházejí do přímého styku s potravinami, krmivý a pitnou vodou a k nátěrům dětského nábytku a hraček.

Použití:

Podklad: ocel, litina, dřevo, beton, pozinkovaná ocel

Prostředí: exteriér, interiér se středním korozním namáháním (prádelny, sklepy, průmyslové prostory, dílny)

Příklady: podvozky železničních vagónů, přepravní kontejnery, kovové konstrukce, mosty, stožáry, potrubí, kovová svodidla, oplocení, plechové garáže, vrata, betonové stěny.

Parametry nátěrové hmoty:	
Konzistence	tixotropní
Obsah netěkavých látek / % hmotn. /	min. 62% hmotn.
Obsah netěkavých látek / % obj. /	44 - 45 % objem.
Hustota / kg/m ³ /	1300 - 1370 kg/m ³

Vlastnosti zaschlého nátěru:	
Lesk	stupeň 4 - 5
Kryvost	stupeň 1
Přilnavost mřížkovým řezem	stupeň 0

Zasychání:	
Teplota podkladu	23 °C
Zaschlý proti prachu	do 2,5 hodiny
Proschlý	do 24 hodin
Tloušťka suché vrstvy DFT	100 µm

Nátěrový systém Balakryl UNI 0440 MAT: Technický listy výrobce

Balakryl Uni mat je univerzální vodou ředitelná barva pro venkovní i vnitřní použití. Balakryl univerzální je vodou ředitelná matná barva pro venkovní i vnitřní použití na dřevo, kovy (i pozinkované plechy, hliník), beton a další.

Použití:

Vodou ředitelná akrylátová vrchní barva pro venkovní i vnitřní použití na dřevo a kov, určená k novým i renovačním vrchním nátěrům zejména pozinkovaného nebo ocelového plechu, hliníku, mědi, ale i betonu, omítek, neglazované keramiky, dřeva, dřevotřískových desek, vláknocementových materiálu, cihel, lepenky, papíru a dalších. Balakryl UNI lze použít pro základní i vrchní nátěr a po zředění vodou i jako napouštědlo na porézní stavební materiály. Barva je vhodná k nátěrům těles ústředního topení, okeních rámců, dveří, zárubní, zábradlí, střeš, nábytku apod. Ekologická receptura je vhod-

ná i na nátěry hraček, dětského nábytku a podkladu, které přicházejí do přímého kontaktu se suchými potravinami.

Technické údaje	
Kryvost:	1 (výborná)
Hustota produktu:	1,201,40 g.cm ³
Obsah netěkavých látek – sušiny:	max. 54% obj.
Obsah organických rozpouštědel:	max. 0,03 kg/kg produktu
Obsah VOC:	A/d, maximální prahová hodnota obsahu VOC je: 130g/l (2010); tento výrobek obsahuje maximálně 130 g/l VOC ve stavu připraveném k použití.

Duplexní systém

Pro porovnání rychlosti korozního napadení byl na zinkový povlak nanesen nátěrový systém „Ferro“. Aplikace byla provedena na základní materiál vzduchovým stříkáním při teplotě prostředí 22 °C ve dvou vrstvách s přestávkou mezi aplikací druhého nátěru min 4 hod. Hlavní výhodou je utěsnění pórů zinkové vrstvy a rovněž izolace samotného kovového povlaku od vnějšího prostředí.

Povlak vytvořený žárovým zinkováním

Podkladový materiál pro všechny systémy ochrany byl zvolen ocelový plech 11 373 o rozměrech 160 × 65 × 1 mm. Zinkování proběhlo v podmínkách laboratorní zinkovny. Doba ponoru vzorků byla stanovena na 120 s. Po vyjmutí ze zinkové lázně následovalo pozvolné ochlazení na vzduchu. Tloušťka naneseného zinkového substrátu je značně závislá na setrvání součásti v zinkové lázni. Dle experimentálního měření odpovídá doba 120-ti s u daného vzorku tloušťce povlaku cca 65 μm.

Veškeré aplikace organických antikoročních systémů byly provedeny nízkotlakým stříkáním v proudu vzduchu. Byly aplikovány tři-čtyři vrstvy pro dosažení minimální tloušťky povlaku 75 μm dle doporučení výrobce.

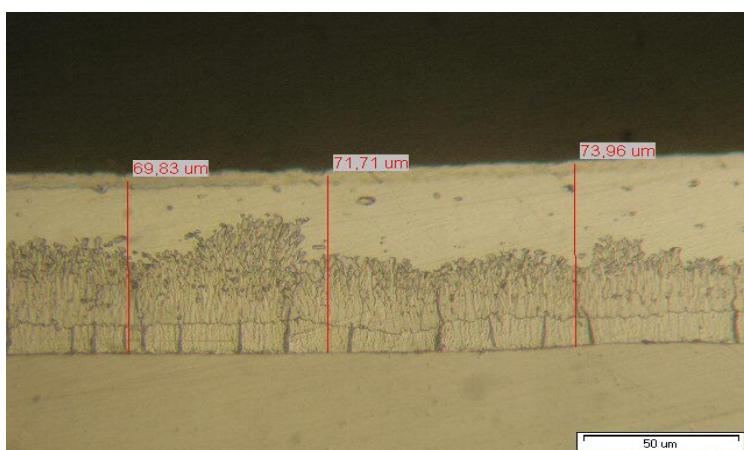
6.1 Stanovení tloušťky pasivačního povlaku

Testované antikorozní systémy byly aplikovány na ocelový i pozinkovaný podklad celkem ve třech- čtyřech vrstvách. První i následné vrstvy byly tvořeny stejným podkladovým substrátem (u zvolených antikorozních substrátů není třeba používat základní nátěr). Tloušťka první vrstvy povlaku činila $30\pm 5\mu\text{m}$. Následovala aplikace vrchního povlaku vždy s rozmezím tloušťky $25\pm 5\mu\text{m}$. Celkové hodnoty tloušťky antikorozního systému jsou tedy cca $90\mu\text{m}$ viz (Tab. 4). Měření tloušťky povlaku bylo prováděno na zaschlém filmu magnetoindukční metodou. Jedná se o nedestruktivní test, který lze aplikovat u feromagnetických podkladů.

Tab. 4 Tloušťka povlaku měřena nedestruktivní metodou Elcometr 456

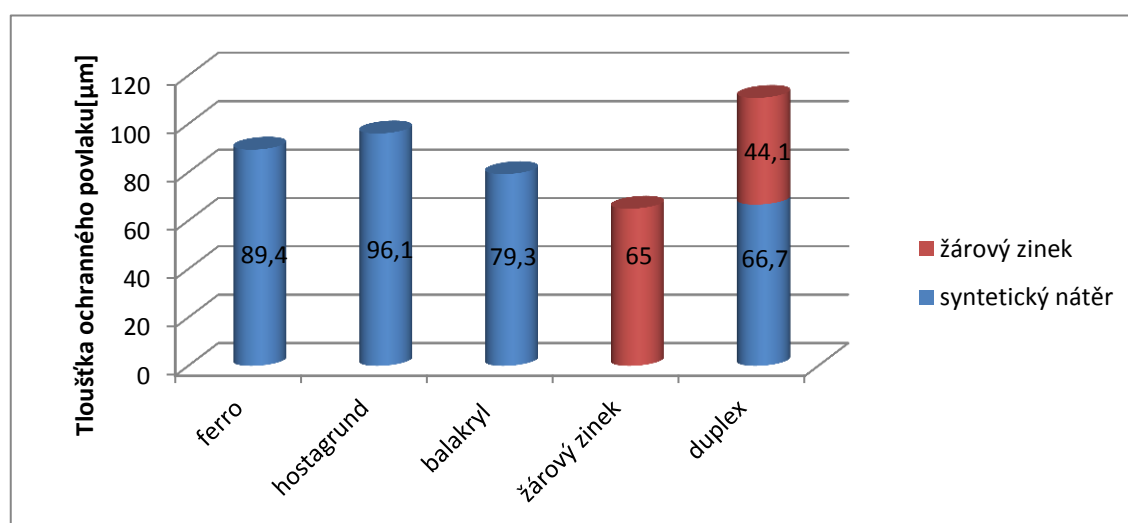
Antikorozní systém	Hodnota antikorozního filmu					Průměrná hodnota [μm]
	Měření č. 1 [μm]	Měření č. 2 [μm]	Měření č. 3 [μm]	Měření č. 4 [μm]	Měření č. 5 [μm]	
Ferro	85,3	87,3	90,6	88,4	86,5	87,6
Hostagrund	92,5	89,5	94,6	93,7	96,8	93,4
Balakryl	82,3	84,6	81,2	79,4	84,2	82,3
Žárové zinkování	67,9	68,9	66,5	65,8	68,2	67,46
Duplexní systém	112,6	110,5	111,3	114,6	112,9	112,3

Pro měření tloušťky pasivačního povlaku byly připraveny rovněž metalografické preparáty. Pomocí programu analySIS byla následně odečtena hodnota naneseného povlaku s přesností 1 μm . Z důvodu objektivity měření byly zvoleny od každého povlaku vždy 3 vzorky, přičemž z každého z nich bylo odečteno 5 naměřených hodnot. Tloušťka zinkového povlaku je znázorněna na (Obr. 21).



Obr. 21 Antikorozní povlak vytvořený žárovým zinkováním

Analýza tloušťky antikoročních povlaků na základě metalografických výbrusů je zpracována na (Obr. 22). Jak je patrné z grafického znázornění u magnetoinдуктивní metody se průměrné hodnoty se liší pouze o 5-7 μm , což může být způsobeno nerovností podkladového materiálu.



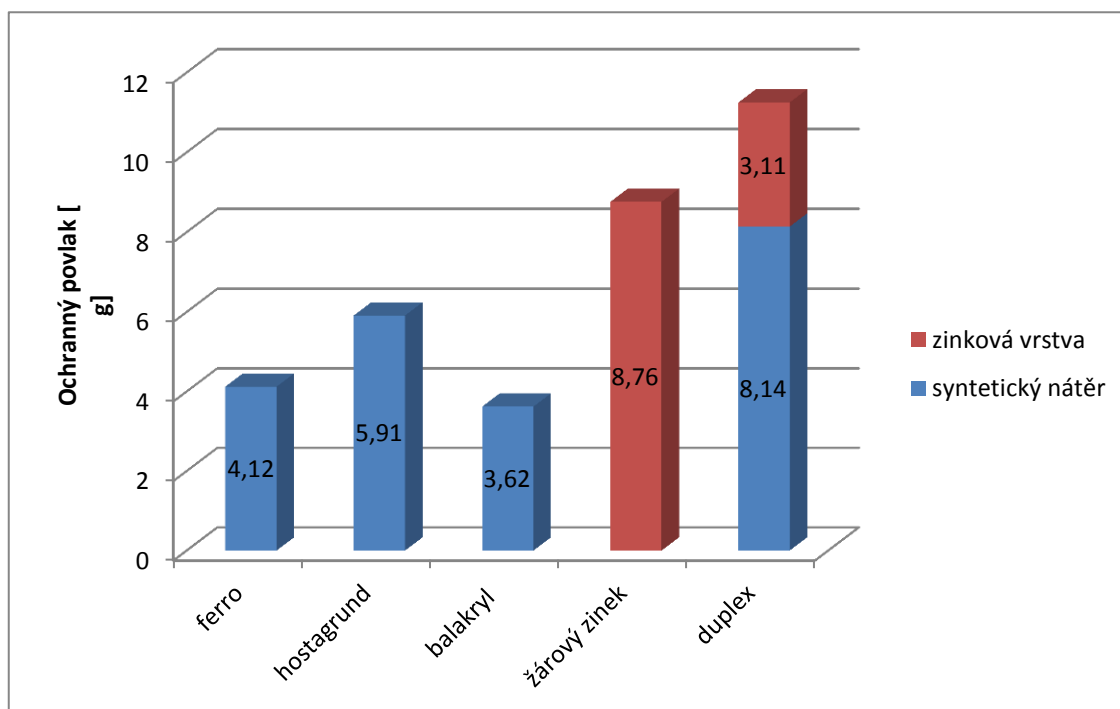
Obr. 22 Graf: tloušťka povlaku odečtena s metalografického preparátu

6.2 Analýza hmotnosti pasivačního povlaku dle ČSN EN ISO 3892

Stanovení hmotnosti zinkového povlaku bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 3892. Výsledná hodnota byla stanovena jako průměr ze třech měření. Vybrané vzorky byly zváženy na laboratorních vahách s přesností 1 mg a následně odleptány. Interval leptání byl stanoven na 5 min. při laboratorní teplotě. Následovalo očištění vzorků a opětovné zvážení. Tento proces se opakoval až do ustálení a dosažení konstantního úbytku.

- Použitý roztok pro odleptání pasivační vrstvy: jedná se o vodný roztok obsahující v jednom litru destilované vody 200 g CrO_3 a 10 g BaCO_3 .

Pro stanovení hmotnosti naneseného organického povlaku byl stanovený postup s opačnou technologií. Ocelové vzorky byly nejdříve zváženy (před samotnou aplikací pasivační vrstvy) a poté po každém nástřiku byl zaznamenán přírůstek hmotnosti. Celková hmotnost jednotlivých povlaků je znázorněna na (Obr 23).



Obr. 23 Graf: hmotnost antikorozičního povlaku

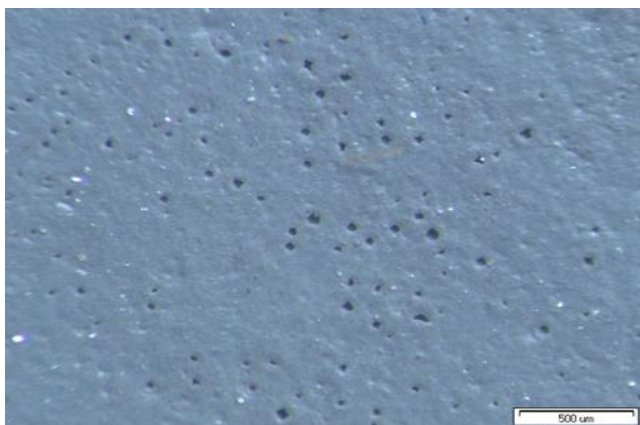
6.3 Hodnocení pórovitosti antikoročních povlaků

Pórovitost antikoročního povlaku, která může být spojena se základním materiálem, vede k předčasnému vzniku červené koroze. Z tohoto důvodu byla po každé aplikaci antikoročního systému provedena detekční zkouška na přítomnost pórů a trhlin v naneseném povlaku. Pro tuto analýzu byl použit přístroj Elcometr 270 viz (Obr. 24). Nízkonapěťový porozimetr (pinhole detektor) pracuje na principu uzavření elektrického obvodu. Toto nastane v případě, že vlhkost pronikne vadou v nátěru ke kovovému podkladu.



Obr. 24 Detektor pórů Elcometr 270

Nejvyšší přítomnost pórů byla zaznamenána u první antikoroční vrstvy, viz (Obr. 25). Syntetické nátěry ovšem vykazovaly mnohem menší četnost vad oproti vodouředitelnému nátěru.



Obr. 25 Póry u antikoročního systému základní nátěr

U vrchních nátěrů byly póry v prvním překrytí výrazně eliminovány. Ale i zde byl u všech antikoročních systémů detekován styk se základním materiálem. Ve druhém vrchním antikoročním povlaku (celkově 3. nástřik) byly póry částečně identifikovány pouze u vzorků s antikoročním povlakem Balakryl. V ostatních vrstvách již kontakt se základním materiálem nebyl.

Tab. 5 Analýza pórovitosti

Testované povlaky		Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
antikoroční systém Ferro	Vrstva 1	×	×	o	×
	Vrstva 2	o	×	×	×
	Vrstva 3	o	×	×	×
antikoroční systém Hostagrung	Vrstva 1	o	o	×	×
	Vrstva 2	o	o	×	o
	Vrstva 3	o	o	×	×
antikoroční systém Balakryl	Vrstva 1	o	o	o	o
	Vrstva 2	o	o	o	o
	Vrstva 3	×	o	×	×
	Vrstva 4	×	×	×	×

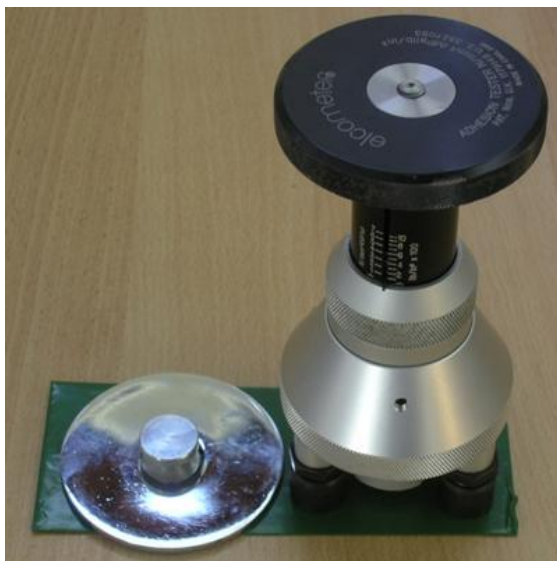
o: výskyt dutiny v ploše vzorku,

×: v ploše vzorku již nebyly zaznamenány žádné póry a dutiny

6.4 Odtrhová zkouška dle normy ČSN EN ISO 4624

Schopnost antikoročního systému odolávat dynamickému i statickému zatížení je jedním z kritérií hodnocení kvality ochranných povlaků. Jedná se především o přilnavost mezi kotvicím profilem základního materiálu a nanášeným substrátem.

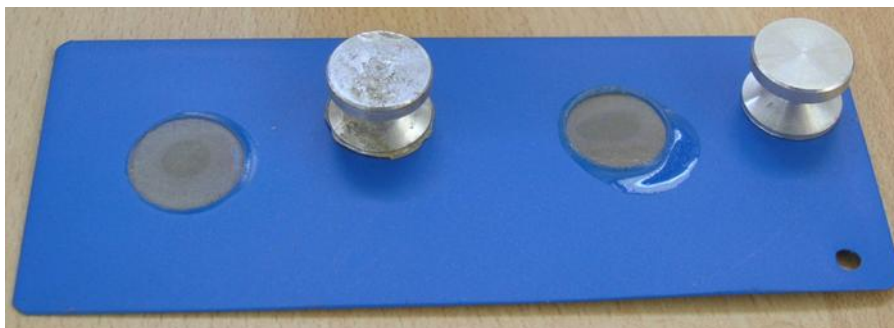
Pro stanovení přilnavosti antikoročního systému byla zvolena norma ČSN EN ISO 4624. Tato norma stanoví postup provedení odtrhové zkoušky na jednovrstvém nebo vícevrstevném nátěrovém systému. Výsledkem zkoušky je napětí v tahu, nutné k poškození nejslabšího rozhraní (adhezní porušení) nebo nejslabší složky (kohezní porušení) zkušební sestavy. Analýza přilnavosti jednotlivých antikoročních systémů byla provedena bezprostředně po dokonalém zaschnutí antikoročního povlaku.



Obr. 26 6 Odtahový testr pro analýzu přilnavosti antikoročních systémů

Postup přípravy zkušebních těles:

- odmaštění zkušebních vzorků přípravkem „Perchlor“,
- aplikace normalizovaného zkušebního válečku na odtrhovou zkoušku Ø 20 mm,
- aplikace dvousložkového lepidla „Araldite“,
- analýza odtahové síly – odtrhoměr Elcometr (měřicí rozsah 0–7 MPa).



Obr. 27 Testovaný vzorek s odtahovými tělisky

Jak je patrné z (Tab. 6), nejvyšších hodnot přilnavosti dosahuje antikorozní systém II. Tento jev je zapříčiněn nižší hustotou a vyšším podílem sušiny. U žárového zinku ovšem ve všech případech došlo k delaminaci mezi zinkem a lepidlem. Nebyl zaznamenán odlup zinkového povlaku.

Tab. 6 Hodnoty přilnavosti jednotlivých antikorozních systémů

Aplikace	Antikorozní ochrana	Odtřhová síla [MPa]					Aritmetický průměr [MPa]
		1	2	3	4	5	
Ocelový plech + antikorozní systém	Antikorozní systém Ferro	5,2	5,8	5,3	5,3	5,6	5,4
	Antikorozní systém Hostagrund	6,1	5,9	6,3	6	5,8	6,02
	Antikorozní systém Balakryl	3	3,5	3,2	3,1	3,4	3,2
Žárový zinek + antikorozní systém	Žárový zinek	Dochází k delaminaci pouze u lepidla					
	Duplexní systém	4,9	5,1	5,2	5,5	5,2	5,1

U žádného z antikorozních systémů nebyla sledována nedostatečná vzájemná přilnavost mezi jednotlivými vrstvami. Tento jev svědčí o dobré vzájemné adhezi nanášených povlaků.

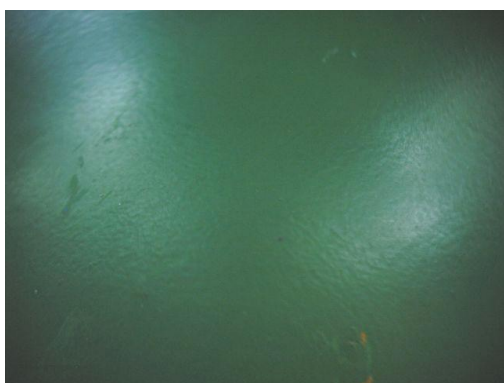
6.5 Zkouška hloubením dle Erichsena

Mezinárodní norma ČSN EN ISO 1520 specifikuje standardní zkušební metodu stanovení schopnosti antikoročních povlaků, o tloušťce od 0,1 mm do 2 mm, se plasticky deformovat při tváření hloubením. Zařízení pro testování plasticity antikoročních ochranných povlaků je znázorněno na obr. 8. Přesnost tohoto zařízení zaručuje digitální úchylkoměr, jehož stykové plochy jsou přesně kalibrovány s dvouramennou pákou pro přenos pohybu.



Obr. 28 Zkušební zařízení dle normy ČSN EN ISO 1520

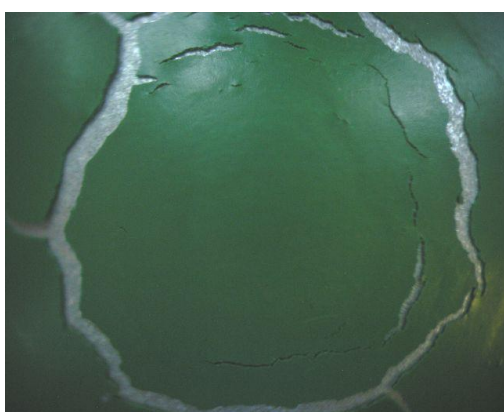
Razník s kulovým zakončením se zatlačuje do zkušebního tělesa upnutého mezi přídržovačem a raznicí a vytváří prohloubení až do vzniku průchozí trhliny. Sledování jednotlivých mechanických změn antikoročního povlaku je při desetinásobném zvětšení. Hodnoty tažnosti jednotlivých testovaných antikoročních systémů jsou uvedeny v (Tab. 7). Jelikož se jedná o značně houževnaté antikoroční systémy, bylo použito zvětšení 50× na metalografickém mikroskopu Neophot 21. Tyto preparáty byly snímány digitální zrcadlovkou Canon EOS 1100 D. Na základě metalografického pozorování byly identifikovány krátké nitkovité trhliny, jejichž původ se zřejmě odvíjí z primární trhliny vzniklé v důsledku působení kulového vrchlíku na zkušební vzorek. Viz (Obr. 29).



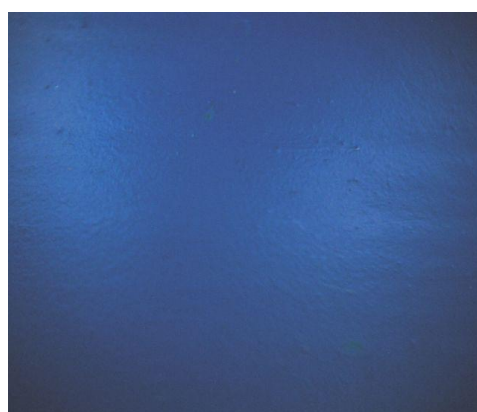
Antikoroziční systém Ferro



Antikoroziční systém Hostagrund



Antikoroziční systém Ferro + žárový zinek



Antikoroziční systém Balakryl

Obr. 29 Vtisk po kulovém vrchlíku dle normy ČSN EN ISO 1520

U kombinovaných povlaků se projevuje synergický účinek jednotlivých vrstev ochranného systému. Jelikož testované systémy mají rozdílný stupeň delaminace povlaku, narušuje zborcený zinkový podklad vrchní antikoroziční povlak, viz (Obr. 29). Delaminační hodnota ovšem činila víc než 3 mm, což je asi 1,5× více než u běžných syntetických nátěrů na ocelovém podkladu.

Tab. 7 Hodnoty hloubení dle normy ČSN EN ISO 1520

Aplikace	Antikorozní ochrana	Měření			Průměr [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Variační koeficient [%]
		Č. 1 [mm]	Č. 2 [mm]	Č. 3 [mm]			
Ocelový plech + antikorozní systém	Antikorozní systém ferro	7,2	*	7,1	7,30	0,22	2,96
	Antikorozní systém Hostagrund	3,1	3,8	3,7	3,53	0,31	9,5
	Antikorozní systém Balakryl	*	*	*	*	*	*
Žárový zinek + antikorozní systém	Žárový zinek	1,9	2,3	2,0	2,06	1,6	2,89
	Duplex	4,2	4,5	4,1	4,26	1,6	2,89

6.6 Analýza tloušťky zinkového povlaku během korozního namáhání v DAM

Jedním z rozhodujících faktorů, ovlivňujícím trvanlivost antikorozní ochrany zinkového povlaku, je jeho tloušťka. Asociace českých a slovenských zinkoven na základě svých výzkumů udává korozní úbytek v závislosti na prostředí od 0,64–1,57 μm za rok. Tyto hodnoty jsou ovšem značně překročeny při kontaktu zinkového povlaku s dusíkatými látkami (čpavek) nebo obecně s látkami určenými pro doplnění živin v zemědělské výrobě.

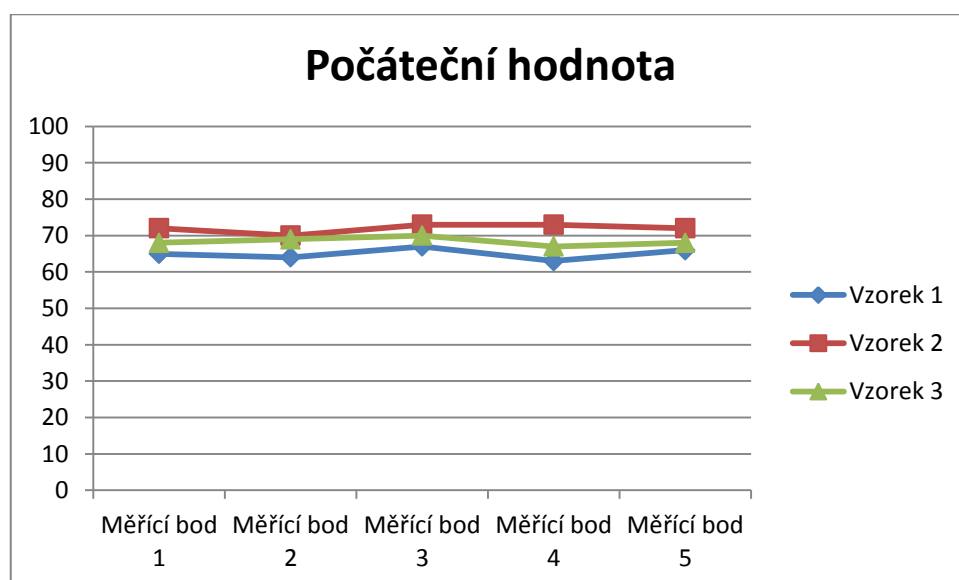


Obr. 30 Testovací sonda na úbytek zinkového povlaku

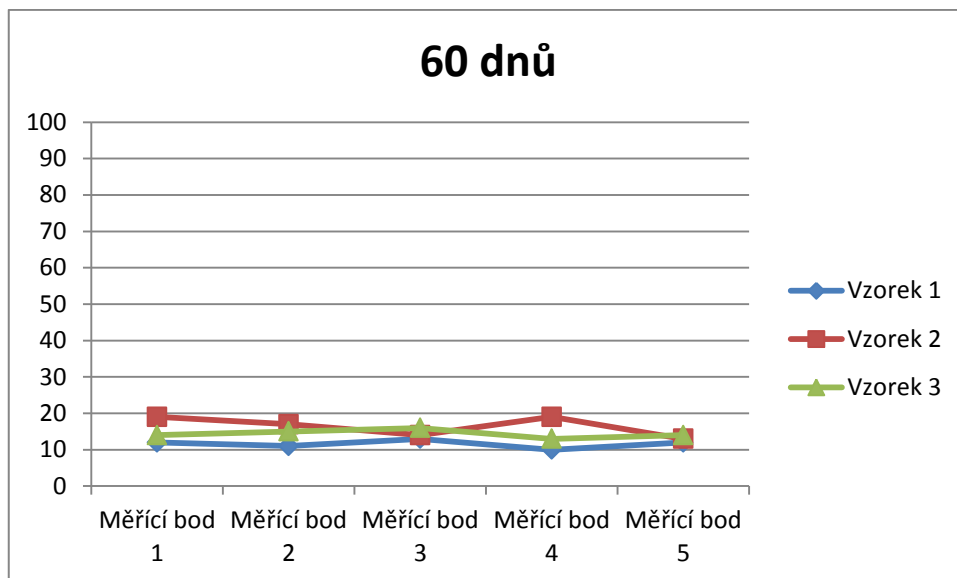
Zinkové povlaky byly testovány při cyklické zkoušce na úbytek ochranného substrátu. Jedná se o měření změny tloušťky povlaku u jednotlivých vzorků. Stále stejné místo měření zajišťuje matrice, na které je stanoveno 5 měřících bodů viz (Obr 30). Jelikož během zkoušky vznikaly na vzorku korozní zplodiny (které musely být z důvodu měření odstraněny), byly rovněž porovnávány vzorky s odstraněnou korozní vrstvou až po ukončení zkoušky.

		Měřící bod 1	Měřící bod 2	Měřící bod 3	Měřící bod 4	Měřící bod 5
Počáteční hodnota	Vzorek 1	65	64	67	63	66
	Vzorek 2	72	70	73	73	72
	Vzorek 3	68	69	70	67	68
20 dnů aplikace	Vzorek 1	51	50	52	49	51
	Vzorek 2	55	53	54	55	53
	Vzorek 3	49	50	51	47	48
40 dnů	Vzorek 1	41	40	42	39	41
	Vzorek 2	35	33	31	35	32
	Vzorek 3	34	35	36	33	34
60 dnů	Vzorek 1	12	11	13	10	12
	Vzorek 2	19	17	14	19	13
	Vzorek 3	14	15	16	13	14

Tab. 8 Změna tloušťky povlaku



Obr. 31 Graf: Změna tloušťky povlaku v počátečním stavu



Obr. 32 Graf: Změna tloušťky povlaku na konci měření po 60 dnech

6.7 Hodnocení korozní odolnosti cyklickou zkouškou v kapalném hnojivu DAM

Pro korozní cyklickou zkoušku bylo použito kapalně hnojivo DAM 390 neředěné. Jedná se dusíkaté hnojivo, obsahující 30 % dusíku, z toho jednu čtvrtinu ve formě amonné, jednu čtvrtinu ve formě dusičnanové a jednu polovinu ve formě amidické. Tvoří jej roztok dusičnanu amonného a močoviny. Ve 100 litrech obsahuje 39 kg, při 25°C má hustotu 1300 kg/m³, vysolovací teplota je -10°C.

Cyklická zkouška probíhala na všech antikoročních systémech v laboratorních podmínkách viz obr 11. Připravené vzorky byly máčeny po dobu 60 s a posléze umístěny na odkapávací stojany s prodlevou 48 hod. Tento cyklus se pravidelně opakoval po celou délku zkoušky, která trvala 60 dnů.



Obr. 33 Cyklická zkouška v kapalném hnojivu DAM 390

Korozní procesy byly vizuálně hodnoceny na základě procentuálního napadení plochy červenou korozí. Jedná se tedy již o selhání ochranného antikorozičního povlaku s následkem napadení podkladového materiálu. Rychlost korozní degradace je uvedena v (Tab. 9).

Tab. 9 Hodnocení korozní degradace v [%]

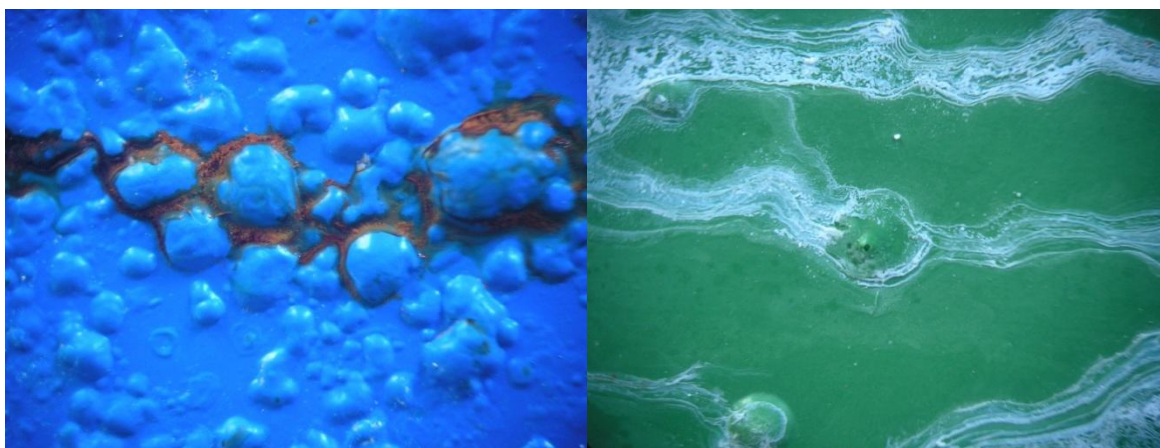
Antikoroziční systém	Délka zkoušky dny					
	10	20	30	40	50	60
Ferro	0	1	1,5	1,5	2	3
Hostagrund	0	0	0	1	2	2,5
Balakryl	0	2	5	12	18	27
Žárový zinek	0	15	20	42	63	75
Duplex	0	0	0	0	Méně než 0,5	

6.8 Celkové hodnocení korozní odolnosti použitých povlaků dle ČSN EN ISO 9227 (zkouška solnou mlhou)

Zkouška korozní odolnosti jednotlivých antikorozičních povlaků byla provedena standardní metodou dle postupu ČSN EN ISO 9227 – *Zkouška solnou mlhou*. Jelikož vodou použité nátěrové systémy mají vyšší korozní odolnost, je tato metoda vhodná především z důvodu analýzy pórů a nehomogenit daného antikorozičního systému. Pro daný experiment byla použita komora Liebisch, typ S400M-TR.

Parametry zkoušek:

- teplota v prostředí zkušebních vzorků 35 ± 2 °C,
- koncentrace chloridu sodného v rozprašovaném médiu 50 ± 5 g/l,
- hodnota pH solného roztoku 6,5–7,2,
- doba zkoušky byla stanovena v následujících intervalech 1,2, 3, 5, 10,15 20 a 30 dnů. Na základě každodenního vizuálního pozorování se v závislosti na korozní rychlosti mohou dané intervaly lišit.

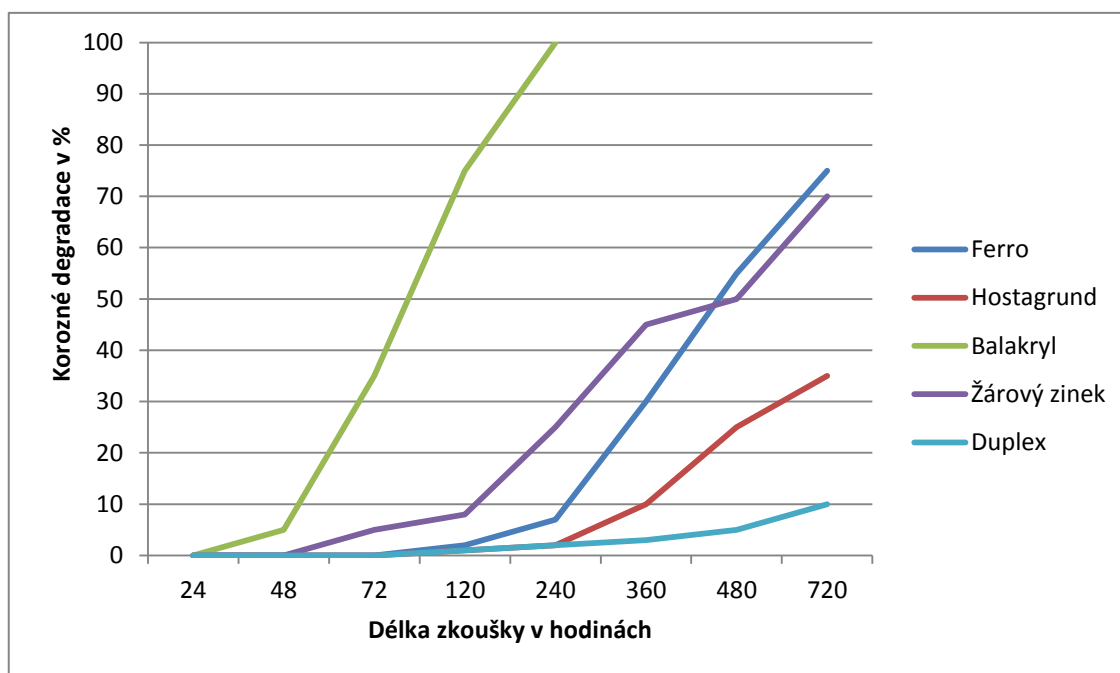


Obr. 34 Puchýře u vzorků po expozici solné mlže – Balakryl (vlevo) Ferro+ pozink (vpravo)

Vznik puchýřů na ochranném povlaku svědčí o znehodnocení bariérového efektu antikorozičního systému. Puchýře indikují místa, kde nátěr ztratil přilnavost k podkladu, nebo došlo ke ztrátě přilnavosti mezi jednotlivými vrstvami. Množství puchýřů u testovaných vzorků poukazuje na celkovou kvalitu antikorozičního filmu. Výskyt puchýřů u vodouředitelného antikorozičního systému Balakryl se projevil již druhý den po expozici v prostředí solné mlhy. U duplexního antikorozičního systému byl tento stav zaznamenán až po 15 dnech expozice v NaCl.

Tab. 10 Průběh korozní degradace testovaných vzorků v daných intervalech

Antikorozní systém	Délka zkoušky hod							
	24	48	72	120	240	360	480	720
Ferro	0	0	0	2	7	30	55	75%
Hostagrund	0	0	0	1	2	10	25	35%
Balakryl	0	5	35	75	100	100	100	100%
Žárový zinek	0	0	5	8	25	45	50	70%
Duplex	0	0	0	1	2	3	5	10%







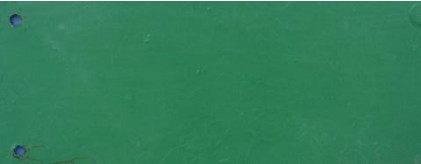







Obr. 35 Graf: Průběh korozní degradace testovaných vzorků v daných intervalech

Celkový průběh korozní degradace je znázorněn na (Obr. 35). Jelikož organické povlaky absorbují vodu, dochází u vodou ředitelných nátěrových systémů ke zvýšené tvorbě puchýřů. Tento negativní vliv jednoznačně přispívá ke snížení antikorozní schopnosti daného systému.




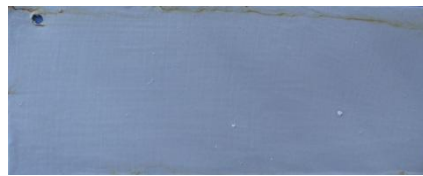










Obr. 36 Zkušební komora se solnou mlhou





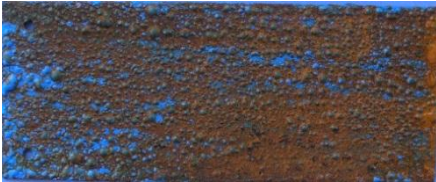



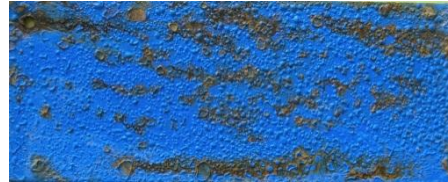
Tab. 11 Testované vzorky pro antikorozní systém Ferro

Antikorozní systém Ferro			
Vzorky ze zkušební komory se solnou mlhou NaCl		Vzorky podrobené cyklickou zkouškou v kapalném hnojivu DAM 390	
			
Etalon	120 hod	Etalon	15 dnů
			
240 hod	360 hod	30 dnů	40 dnů
			
480 hod	720 hod	50 dnů	60 dnů





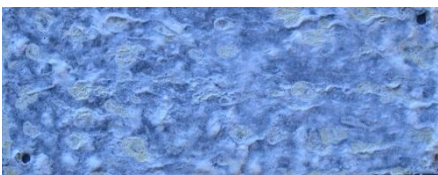
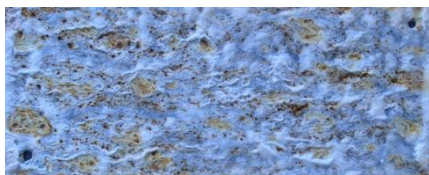


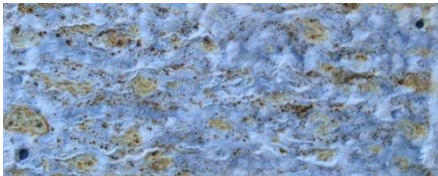



Tab. 12 Testované vzorky pro antikorozi systém Hostagrund

Antikorozi systém Hostagrund			
Vzorky ze zkušební komory se solnou mlhou NaCl		Vzorky podrobené cyklickou zkouškou v kapalném hnojivu DAM 390	
			
Etalon	120 hod	Etalon	15 dnů
			
240 hod	360 hod	30 dnů	40 dnů
			
480 hod	720 hod	50 dnů	60 dnů

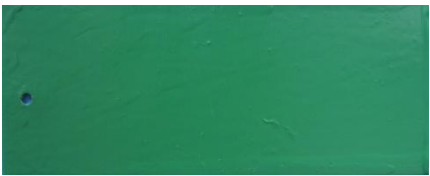


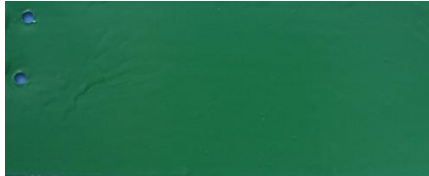








Tab. 13 Testované vzorky pro antikorozní systém Balakryl

Antikorozní systém Balakryl			
Vzorky ze zkušební komory se solnou mlhou NaCl		Vzorky podrobené cyklickou zkouškou v kapalném hnojivu DAM 390	
			
Etalon	120 hod	Etalon	15 dnů
			
240 hod	360 hod	30 dnů	40 dnů
			
480 hod	720 hod	50 dnů	60 dnů

Tab. 14 Testované vzorky pro antikorozní systém žárového zinkování

Antikorozní systém Žárový zinek			
Vzorky ze zkušební komory se solnou mlhou NaCl		Vzorky podrobené cyklickou zkouškou v kapalném hnojivu DAM 390	
			
Etalon	120 hod	Etalon	15 dnů
			
240 hod	360 hod	30 dnů	40 dnů
			
480 hod	720 hod	50 dnů	60 dnů

Tab. 15 Testované vzorky pro antikorozní systém Duplex

Antikorozní systém Duplex			
Vzorky ze zkušební komory se solnou mlhou NaCl		Vzorky podrobené cyklickou zkouškou v kapalném hnojivu DAM 390	
			
Etalon	120 hod	Etalon	15 dnů
			
240 hod	360 hod	30 dnů	40 dnů
			
480 hod	720 hod	50 dnů	60 dnů

6.9 Diskuse

Experimentální část diplomové práce analyzuje možnosti využití 5 druhů antikoročních ochranných systémů pro aplikaci na stroje se zvýšeným korozním namáháním. Jedná se o postřikovače, zamlžovače nebo rozmetadla hnojiv. První antikorozní systém byl zvolen na bázi alkyduretanové barvy vhodné do prostředí se zvýšeným korozním namáháním „Ferro“. Tento systém lze aplikovat i na částečně zkorodované podklady, jelikož se vyznačuje lamelovou pasivační bariérou. Je vhodný rovněž pro aplikace na hliníkové nebo zinkované části. Následoval syntetický nátěr „Hostagrund“. Výrobce u tohoto nátěru zaručuje zvýšenou odolnost proti chloridům soli i produktům technického znečištění (S_2O). Tento antikorozní systém je vhodný pro aplikace na ocelové konstrukce svodidel, mostů, stožárů, ale i na podvozky vozidel nebo součásti s přímým stykem se solankou v silničním provozu. Další antikorozní ochrana byla zvolena na bázi vodouředitelných nátěrových systémů. Jedná se o ekologické nátěrové systémy, u nichž by neměl přesahovat podíl organických rozpouštědel více jak 300 g/l. Zástupcem těchto nátěrových hmot byl zvolen antikorozní systém „Balakryl“. Tyto organické nátěrové systémy byly porovnávány s anorganickým kovovým povlakem vytvořeným žárovým zinkováním. Antikorozní kovové povlaky na bázi Zn a Al jsou v současné době značně využívány především pro svoje výborné pasivační a „samohojivé“ účinky. Poslední antikorozní povlak, který byl připraven pro jednotlivé analýzy, byl složen ze dvou pasivačních substrátů. Jedná se o žárově zinkované vzorky, které byly následně ošetřeny alkyduretanovým nátěrovým systémem „Ferro“. Tato aplikace je v provozu běžně nazývána duplexním systémem. Částečnou nevýhodou tohoto antikorozního systému může být zvýšené riziko eliminace adhezních sil mezi kotvicím profilem zinkového podkladu a samotného antikorozního nátěru.

Veškeré aplikace antikoročních nátěrů byly prováděny v laboratorních prostorách za stejných podmínek. Tloušťka antikoročních povlaků byla stanovena do 100 μm . Duplexní systém, který tvoří žárový zinek + alkyduretanový povlak, vykazoval průměrné hodnoty 65 μm zinkového substrátu + 45 μm nátěru. Vliv na délku antikorozní ochrany jednotlivých systémů lze rovněž částečně odvodit z hodnot hmotnosti naneseného antikorozního povlaku. Jednotlivé substráty vykazovaly tyto průměrné hodnoty: Ferro 4,12, Hostagrund 5,91, Balakryl 3,62, Žárový zinek 8,76, duplex 8,14+3,1. Problematikou organických antikoročních systémů může být ovšem porózita daného substrátu. Tento

jev byl jednoznačně zaznamenán u vodouředitelných povlaků. Na základě dutin a pórů v antikoročním systému klesá rovněž soudržnost mezi kotvícím profilem. Tento aspekt byl zaznamenán rovněž u vodouředitelného nátěrového systému, kdy hodnoty odtahové zkoušky byly cca 3 MPa. Ostatní systémy vykazovaly hodnoty cca o 1,9× vyšší. Dle testů hloubení byla ovšem prokázána vysoká houževnatost (více než 7 mm) a pružnost právě vodouředitelných i alkyduretanových antikoročních systémů.

Hlavní specifikací pro aplikaci těchto antikoročních systémů do prostředí průmyslových i statkových hnojiv jsou výsledky korozních testů. V cyklické zkoušce v kapalném hnojivu DAM 390 vykazoval nejlepší výsledky duplexní systém. Korozní napadení testovaných vzorků nepřesáhlo po 60 dnech zkoušky více než 1 % plochy vzorku. U samotného žárového zinkování ovšem docházelo k razantnímu úbytku antikoročního povlaku. Průběh zkoušky je popsán v kapitole VI. V testovacím zařízení se solnou mlhou vykazoval duplexní systém rovněž nejmenší korozní napadení. U samotného alkyduretanového povlaku na ocelovém podkladu docházelo ke koroznímu napadení již po 10 dnech expozice v prostředí solné mlhy. Jedná se především o vznik puchýřů od okraje vzorku. Velice dobrých výsledků vykazoval syntetický nátěr „Hostagrund“, u kterého byly během testu zaznamenány pouze lokální místa bodové koroze. Laboratorní zkouška rovněž potvrdila nevhodnost vodouředitelných nátěrových systémů do prostředí s chemickým namáháním.

7 ZÁVĚR

Veškerá mechanizace v zemědělství je vyrobena z drtivé většiny pomocí ocelových částí-součástí. Z tohoto důvodu je třeba si uvědomit podstatu antikorozi ochrany a díky správné aplikaci zásadně prodloužit životnost strojního zařízení. Klasickým příkladem jsou stroje pro aplikaci statkových nebo průmyslových hnojiv.

Degradační procesy veškerých antikorozi systémů lze rozdělit do dvou kategorií. Jedná se o mechanickou degradaci, kdy se u daných povlaků mění pružnost, přilnavost, elasticita atd., a o degradaci samotného naneseného substrátu, který již není schopen vytvořit 100% bariéru mezi podkladovým materiálem a okolním prostředím.

Testy jednoznačně potvrdily vliv tloušťky a především chemické složení ochranného povlaku na antikorozi schopnost daného systému. Na základě provedených mechanických i korozi testů lze jednoznačně konstatovat vhodnost duplexních systémů do prostředí s vysokou korozi aktivitou. Jedná se o adekvátní kombinaci antikorozi ochrany, která je tvořena jak bariérovou, tak pasivační vrstvou. Na základě cyklické i konstantní korozi zkoušky lze doporučit pro duplexní systém antikorozi nátěr „Hos-tagrung“. Je nutné si ovšem uvědomit zvýšené riziko delaminace povlaku, které potvrdily testy hloubením dle Erichsena. Vyšší pořizovací cena duplexního antikorozi systému je jednoznačně vyvážena prodloužením životnosti celého stroje.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BARTONÍČEK, Robert. *Koroze a protikoroziční ochrana kovů*. 1. vyd. Praha: ČSAV, 1966, 719 s.

FOREJT, Václav. *ZEMĚDĚLSKÉ STROJE: STROJE PRO OCHRANU A HNOJENÍ ROSTLIN*. II. díl. České Budějovice, 2013, 80 s.

FRÍD, Milan a Václav VÁVRA. *Stroje pro hnojení*. Jihočeská univerzita v Č. Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky. [online]. 2012, s. 40 [cit. 2015-01-04].

Dostupné z: http://kzt.zf.jcu.cz/wpcontent/uploads/2013/11/stroje_pro_hnojeni.pdf

HRUBÝ, Vojtěch; TULKA, Jaromír. *Koroze a ochrana materiálů*. Brno: Vojenská akademie, 1997. 140 s.

KUMHÁLA, František. *Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007, 426 s. ISBN 978-80-213-1701-7

MOHYLA, Miroslav. *Koroze a povrchové úpravy kovů ve strojírenství*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1981, 214 s.

NEUBAUER, K. a kol. *Stroje pro rostlinnou výrobu*. 1. vyd. Praha: SZN, 1989. 716 s. ISBN 80-209-0075-6.

NOVÁK, Pavel a Milan KOUŘIL. *Elektrochemická koroze: Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství*. [online]. 2002 [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_1.pdf

RICHTER, R. -- HLUŠEK, J. *Průmyslová hnojiva, jejich vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, 1996. 50 s. ISBN 80-7105-121-7.

RICHTER Rostislav, ŘÍMOVSKÝ Karel. *Organická hnojiva, jejich výroba a použití*. Vyd. 1. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1996, 40 s. ISBN 80-7105-117-9

STODOLA, Jiří, Františka PEŠLOVÁ a Jan KRMELA. *Opotřebení strojních součástí: monografie*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 195 s. ISBN 978-80-7231-552-9.

ŠČERBEJOVÁ, M. *Strojírenská technologie*. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně, 1993. 132 s. ISBN 80-7157-083-4.

ŠULC, Radek. VIII. Koroze: Ústav procesní a zpracovatelské techniky FS ČVUT v Praze. [online]. 2008 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_pr edn13-Ko.pdf

ČSN EN ISO 3892 - Konverzní povlaky na kovových materiálech - Stanovení plošné hmotnosti povlaku - Vážkové metody, Český normalizační institut, 1992

ČSN EN ISO 4624 - Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti, Český normalizační institut, 2004

ČSN EN ISO 1520 - Nátěrové hmoty - Zkouška hloubením, Český normalizační institut, 2008

ČSN EN ISO 9227 - Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou, Český normalizační institut, 2013

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Samochodný rozmetací adaptér RAM - 8.: 1. Rozmetací zařízení, 2. Kryt rozmetacího zařízení, 3. Dopravní zařízení, 4. Ložná korba, 5. Převody, (Fríd, 2012).</i>	15
<i>Obr. 2 Traktorové univerzální rozmetadlo hnoje a kompostů HTS (Fríd, 2012)</i>	15
<i>Obr. 3 Dopravní ústrojí s nepřerušovaným pohonem podlahového dopravníku: 1. Hlavní hnací hřídel, 2. Řetězový převod, 3. Výměnná ozubená kola, 4. Šnekový převod, 5. Hnací hřídel podlahového dopravníku, 6. Podlahový dopravník, 7. Rozmetací buben (Fríd, 2012).....</i>	16
<i>Obr. 4 Rohatkové mechanizmy pro pohon podlahového dopravníku rozmetadla chlívského hnoje: A-mechanismus s přestavitelným excentrem: 1. Rohatkové kolo, 2. Pojistné západky, 3. Hnací západka, 4. Přestavitelný excentr, B-mechanismus s přestavitelnou clonou: 1. Otočná clona, 2. Seřizovací polohy clony, 3. Podlahový dopravník. (Fríd, 2012)</i>	16
<i>Obr. 5 Bubnové rozmetací zařízení s horizontálním uspořádáním rozmetacích bubnů: 1. Podlahový dopravník, 2. Rozmetací bubny. (Fríd, 2012)</i>	18
<i>Obr. 6 Bubnové rozmetací zařízení se svislým uspořádáním rozmetacích bubnů: 1. Podlahový dopravník, 2. Rozmetací bubny (Fríd, 2012).....</i>	19
<i>Obr. 7 Bubnové rozmetací zařízení se šikmým uspořádáním rozmetacích bubnů: 1. Podlahový dopravník, 2. Rozmetací bubny (Fríd, 2012)</i>	19
<i>Obr. 8 Odstředivé rozmetací ústrojí s vodorovným rozmetacím kotoučem: 1. Zásobník, 2. Regulační šoupátko, 3. Podlahový dopravník, 4. Rozmetací kotouč, 5. Rozmetací lopatky, 6. Svislé hnací hřídele. (Fríd, 2012)</i>	20
<i>Obr. 9 Nesené odstředivé rozmetadlo s kývající hubicí: 1. Zásobník, 2. Čechrač, 3. Regulační šoupátko, 4. Rozmetací hubice, 5. Rozmetací koncovka, 6. Pohon hubice (šikmý čep). (Fríd, 2102)</i>	20
<i>Obr. 10 Šnekové rozmetací ústrojí: 1. Zásobník, 2. Střední díl šnekového rozmetacího zařízení, 3. Vyhrnovací šnek, 4. Boční díl šnekového rozmetacího zařízení, 5. Výpadní otvor. (Fríd, 2012)</i>	21
<i>Obr. 11 Stroj pro hnojení tekutými prům. hnojivy injektáží do půdy Fríd, 2012)</i>	21
<i>Obr. 12 Rovnoměrná koroze (Šulc, 2008)</i>	30
<i>Obr. 13 Nerovnoměrná koroze (Šulc, 2008).....</i>	31
<i>Obr. 14 Důlková koroze (Šulc, 2008)</i>	32

<i>Obr. 15 Bodová koroze (Šulc, 2008)</i>	32
<i>Obr. 16 Mezikrystalická koroze (Šulc, 2008)</i>	33
<i>Obr. 17 Transkrystalická koroze (Šulc, 2008)</i>	33
<i>Obr. 18 Schematické znázornění dějů při korozi železa (Bartoniček, 1966)</i>	35
<i>Obr. 19 Tabulka srovnání elektrochemické ušlechtilosti a průměrné korozní odolnosti kovů (Hrubý, 1997)</i>	37
<i>Obr. 20 Polarizační křivka kovu přecházejícího do pasivačního a transpasivačního stavu (Novák, 2002)</i>	39
<i>Obr. 21 Antikorozní povlak vytvořený žárovým zinkováním</i>	49
<i>Obr. 22 Graf: tloušťka povlaku odečtena s metalografického preparátu</i>	49
<i>Obr. 23 Graf: hmotnost antikorozního povlaku</i>	50
<i>Obr. 24 Detektor pórů Elcometr 270</i>	51
<i>Obr. 25 Póry u antikorozního systému základní nátěr</i>	51
<i>Obr. 26 6 Odrhový testr pro analýzu přilnavosti antikorozních systémů</i>	53
<i>Obr. 27 Testovaný vzorek s odtahovými tělisky</i>	53
<i>Obr. 28 Zkušební zařízení dle normy ČSN EN ISO 1520</i>	55
<i>Obr. 29 Vtisk po kulovém vrchlíku dle normy ČSN EN ISO 1520</i>	56
<i>Obr. 30 Testovací sonda na úbytek zinkového povlaku</i>	57
<i>Obr. 31 Graf: Změna tloušťky povlaku v počátečním stavu</i>	58
<i>Obr. 32 Graf: Změna tloušťky povlaku na konci měření po 60 dnech</i>	59
<i>Obr. 33 Cyklická zkouška v kapalném hnojivu DAM 390</i>	60
<i>Obr. 34 Puchýře u vzorků po expozici solné mlže – Balakryl (vlevo) Ferro+ pozink (vpravo)</i>	61
<i>Obr. 35 Graf: Průběh korozní degradace testovaných vzorků v daných intervalech</i>	62
<i>Obr. 36 Zkušební komora se solnou mlhou</i>	63

10 SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Rozdělení průmyslových hnojiv podle vlivu na půdní reakci (Forejt, 1996)</i>	12
<i>Tab. 2 Dusíkatá hnojiva (Forejt, 2013)</i>	13
<i>Tab. 3 Fyzikální a technická charakteristika</i>	43
<i>Tab. 4 Tloušťka povlaku měřena nedestruktivní metodou Elcometr 456</i>	48
<i>Tab. 5 Analýza pórovitosti</i>	52
<i>Tab. 6 Hodnoty přilnavosti jednotlivých antikoročních systémů</i>	54
<i>Tab. 7 Hodnoty hloubení dle normy ČSN EN ISO 1520.....</i>	57
<i>Tab. 8 Změna tloušťky povlaku</i>	58
<i>Tab. 9 Hodnocení korozní degradace v [%].....</i>	60
<i>Tab. 10 Průběh korozní degradace testovaných vzorků v daných intervalech.....</i>	62
<i>Tab. 11 Testované vzorky pro antikoroční systém Ferro</i>	64
<i>Tab. 12 Testované vzorky pro antikoroční systém Hostagrund</i>	65
<i>Tab. 13 Testované vzorky pro antikoroční systém Balakryl</i>	66
<i>Tab. 14 Testované vzorky pro antikoroční systém žárového zinkování</i>	67
<i>Tab. 15 Testované vzorky pro antikoroční systém Duplex.....</i>	68