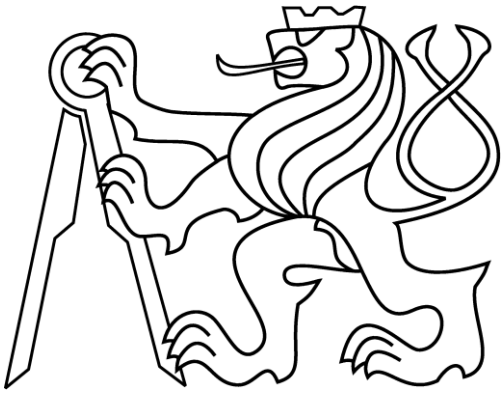
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Protikorozní ochrana pro prostředí se zvýšenou korozní agresivitou - offshore

Autor:	Dominik Ferstel
Vedoucí práce:	Ing. Petr Drašnar, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Michal Zoubek

Praha Srpen 2016

ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro Dominika FERSTELA

Program: Teoretický základ strojního inženýrství

Obor:

Název: Protikorozní ochrana pro prostředí se zvýšenou korozní agresivitou - offshore

Název anglicky: Corrosion protection for high corrosivity environment - Offshore

Zásady pro vypracování:

1. Klasifikace korozního prostředí, korozní prostředí typu offshore
2. Rozbor problematiky předúprav povrchu a protikorozní ochrany dle standardu NORSOK
3. Ověřování kvality dle stadardu NORSOK

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Drašnar, Ph.D.

Konzultant: Ing. Michal Zoubek

Datum zadání bakalářské práce: 25. 4. 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 12. 8. 2016

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádné neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou nebo bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové nebo bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne:

.....
Student

.....
Vedoucí ústavu

.....
Děkan

V Praze dne 24. 4. 2016

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Protikorozní ochrana pro prostředí se zvýšenou korozní agresivitou - offshore“ vypracoval samostatně s použitím literatury a zdrojů, které uvádím v přiloženém seznamu.

V Praze dne ....

Dominik Ferstel

Poděkování:

Děkuji Ing. Petru Drašnarovi, Ph.D. a Ing. Michalovi Zoubkovi za podporu a dobré rady při psaní této bakalářské práce.

ANOTACE

Cílem bakalářské práce je teoreticky seznámit s problematikou protikorozní ochrany v pobřežních vodách. V úvodu jsou uvedeny příčiny vzniku koroze a vlivy chemických látek a organismů na působení koroze v různých prostředích. Dále je popsána problematika předúprav povrchů a nanášení ochranných systémů dle standardu NORSOK M-501. V závěru je uvedeno porovnání cyklické zkoušky z normy NORSOK M-501 a normy TKP 19B.

KLÍČOVÁ SLOVA

koroze, korozní prostředí, nátěrový systém, Norsok M-501, cyklická zkouška, offshore

ANNOTATION

The aim of my bachelor thesis is to introduce an issue of anti-corrosion protection in offshore. The causes of formation and effects of chemical substances and organisms on action of corrosion in different environment are mentioned in introduction. Further is described problematics of surface pre-treatment and applying of protection systems according to the standard Norsok M-501 and standard TKP 19B.

KEYWORDS

corrosion, corrosion environments, coating system, Norsok M-501, cyclic test, offshore

OBSAH

1. Úvod 10
2. Koroze 11
2.1. Definice koroze kovů 11
2.2. Účinky koroze 11
2.3. Ztráty z koroze 11
2.4. Rozdělení koroze 12
3. Korozní prostředí 13
3.1. Atmosférická koroze 13
3.2. Koroze v kapalinách 16
3.2.1. Mořská voda 17
3.2.2. Mikroorganismy 19
4. Norsok standard M-501 23
4.1. Předúprava povrchu dle Norsok 23
4.1.1. Předúprava povrchu před tryskáním 23
4.1.2. Otryskávání povrchu 24
4.1.3. Konečný stav povrchu 27
4.1.4. Výpočet množství solí dle ČSN EN ISO 8502-9 27
5. Ochranné povlaky 29
5.1. Galvanické zinkování 29
5.2. Zinkování žárovým stříkáním (metalizace) 29
5.3. Žárové zinkování ponorem 30
5.4. Duplexní systém 32
5.5. Žárový nástřik kovových povlaků dle Norsok 33
5.6. Nástřik pasivní protipožární ochrany dle Norsok 34
6. Cyklická zkouška stárnutí 35
6.1. ČSN EN ISO 20340/Norsok M-501 35
6.2. CHRL II z TKP 19B 40
7. Nátěrové systémy dle Norsok 44
8. Konstrukce 50
8.1. Příklady konstrukcí chráněné standardem Norsok 50
9. Závěr 52
10. Použité zdroje a literatura 53

11. Seznam obrázků 59
12. Seznam tabulek 60
13. Seznam grafů.....61
14. Seznam použitých zkratek 62
15. Seznam použitých jednotek 63

1. ÚVOD

Vlivem klimatických podmínek a činností živých organismů ocelové konstrukce degradují různou rychlostí. Z tohoto důvodu se musí pro různá prostředí navrhnout specifická opatření k zajištění účinné protikorozní ochrany. Nejagresivnějším přirozeným prostředím je „offshore“ (oblast pobřežních vod). Pro toto prostředí existuje celá řada norem, které zajišťují protikorozní ochranu, přičemž jednou z nejvýznamnějších je mezinárodně uznávaný standard Norsok M-501.

Vzhledem k tomu, že i tuzemské firmy dodávají komponenty pro prostředí „offshore“, musí respektovat požadavky zákazníků v rámci mezinárodních standardů povrchových úprav.

2. KOROZE

2.1. DEFINICE KOROZE KOVŮ

„*Koroze kovů se definuje jako samovolné, postupné rozrušení kovů následkem jejich chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím*.“ [1]

Proces koroze je snaha kovů vrátit se do původní formy, v níž se běžně vyskytují v přírodě (oxidy, hydroxidy, uhličitany atd.). Vracejí se tudíž do původních surovin, ze kterých byly vyrobeny. Tyto suroviny jsou vzhledem k okolnímu prostředí stabilnější. [2]

2.2. ÚČINKY KOROZE

Projevují se změnami vlastností materiálů. Zhoršení se projevuje zejména u mechanických vlastností (materiál křehne, praská, mění tvar a rozměry). Na povrchu se usazují vrstvy korozních zplodin, které mají zásadně odlišné vlastnosti, než původní materiál před napadením korozí. Mimo kovů má koroze nežádoucí dopad také na nekovové organické i anorganické materiály. Mezi nekovové materiály se řadí například plasty. Výhodou plastů je odolnost proti elektrochemické korozi, ovšem jejich nevýhodou se stává podléhání ostatním druhům rozrušování (chemické reakce některých jejich složek, přerušení molekulárních řetězců, bobtnání, rozpouštění aj.).[1] [3]

2.3. ZTRÁTY Z KOROZE

V České republice koroze způsobí každoročně škody za zhruba *130 miliard Kč,* což představuje zhruba 3% HDP. Ve vyspělých zemích jsou pak škody způsobené korozí odhadovány na *3* až *5%* HDP[1]. Předpokládané roční celkové celosvětové náklady na opravu koroze v současné době činní *1 400 000 milionu* dolarů (přibližně *34 400 miliard Kč)*. [3] [4] [5]

[1] HDP – Hrubý domácí produkt je peněžním vyjádřením celkové hodnoty statků a služeb nově vytvořených v daném období na určitém území. [21]

2.4. ROZDĚLENÍ KOROZE

Korozi můžeme rozdělit podle různých hledisek do několika forem [1]:

1) Podle vnitřního mechanismu:
   a) chemická koroze
   b) elektrochemická koroze

2) Podle kombinace s vnějšími činiteli:
   a) koroze při mechanickém namáhání materiálu
   b) koroze při únavě materiálu
   c) vibrační koroze
   d) korozní praskání
   e) koroze bludnými proudy

3) Podle druhu korozního prostředí:
   a) atmosférická koroze
   b) koroze v kapalinách
   c) půdní koroze
   d) koroze různými chemickými látkami

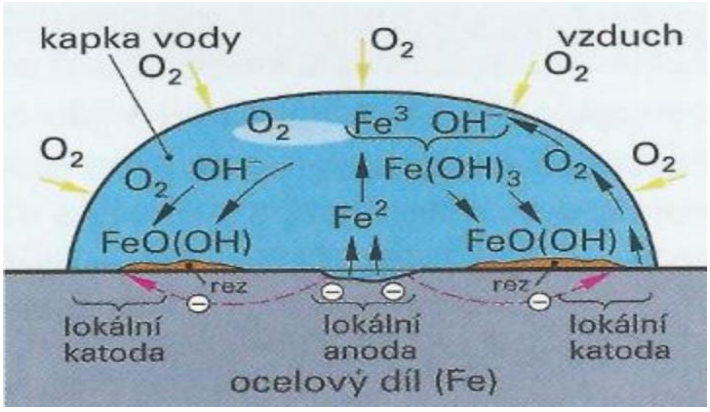
4) Podle druhu korozního napadání:
   a) rovnoměrná koroze
   b) nerovnoměrná koroze:
      - důlková
      - bodová
      - mezikrystalová
      - selektivní
      - vodíková
      - transkrystalická
      - štěrbinová
      - korozní trhlina

3. KOROZNÍ PROSTŘEDÍ

3.1. ATMOSFÉRICKÁ KOROZE

Atmosférická koroze je nejrozšířenější formou, která vzniká na rozhraní fáze kov – prostředí. Při atmosférickém korozním procesu se obvykle uplatňují elektrochemické reakce (anodická a katodická). „*Anodická reakce odpovídá oxidaci kovu (korozi) a katodická reakce odpovídá současné redukci některé z oxidujících složek prostředí*.“ [6] *„Základní katodickou reakcí při atmosférické korozi kovů je redukce kyslíku*.“ [7] Na katodické reakci se v případě železa může podílet rovněž redukce rzi FeO(OH) na magnetit, který je následně oxidován vzdušným kyslíkem zpět na rez (viz obr. 2).

Korozní proces probíhá pod tenkými vrstvami elektrolytů, což vede k tvorbě vrstev tuhých korozních produktů (viz obr. 1). [1] [6] [7]



***Obr. 1** – Průběh korozní reakce železa ve vrstvě elektrolytu [8]*

Elektrolyt se skládá z velmi tenké vrstvy vody, nasycené rozpustnými složkami atmosféry, zejména oxidem siřičitým, oxidem uhelnatým, oxidem uhličitým, amoniakem, chlorovodíkem a aerosoly. Vodní film má tloušťku 50 až 150 μm a vzniká kondenzací vodních par, které jsou obsaženy ve vzduchu, přičemž vznik vodních par je podmíněn především relativní vlhkostí vzduchu (viz tab. 1 a 2). Ke vzniku vodního filmu dochází při kritické relativní vlhkosti, která je v běžných atmosférách v rozmezí 60 – 80 % relativní vlhkosti. Hodnota kritické relativní vlhkosti se mění s teplotou, znečištěním prostředí (při vyšším znečištění prostředí SO_2 může být kritická již relativní vlhkost 40%) a s kvalitou povrchu (pro hladké vyleštěné povrchy je kritická hodnota relativní vlhkosti v rozmezí 90 až 95 %). [1] [6]

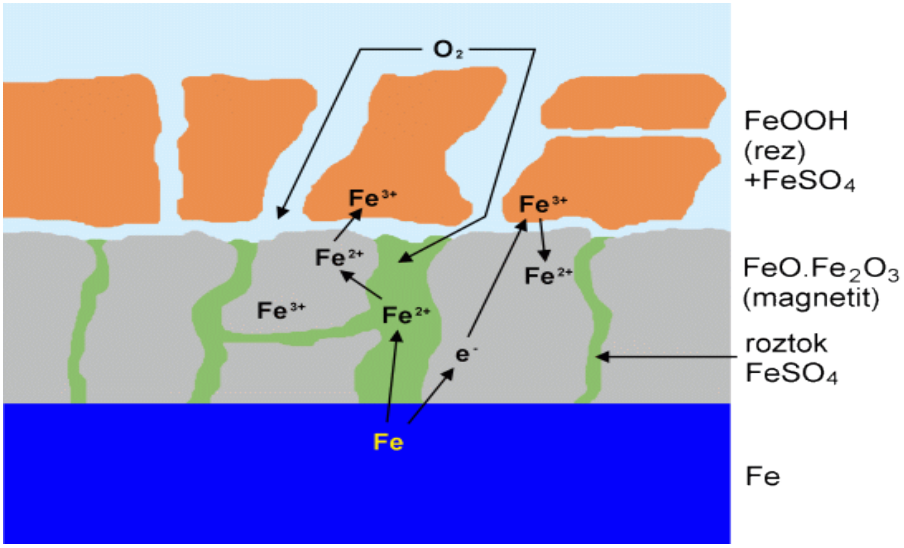
***Tab. 1** – Množství vody na povrchu kovu [6]*

Popis podmínek	Množství vody (g/m^2)
kritická vlhkost vzduchu (přibližně 60% relativní vlhkosti)	0,01
100% relativní vlhkosti vzduchu	1
povrch pokrytý rosou	10
povrch mokrý po dešti	100

***Tab. 2** – Kondenzace vlhkosti na povrchu [6]*

Relativní vlhkost vzduchu	Počet molekul vrstvy H_2O
20	1
40	1,5 – 2
60	2 – 5
80	5 - 10

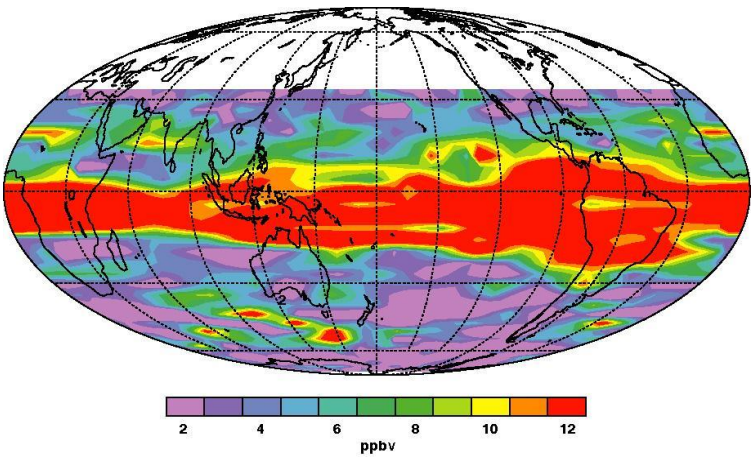
Vlivem přirozených klimatických podmínek dochází k znehodnocení materiálů a jejich povrchových úprav. Působením dalších faktorů (znečištění ovzduší, znečištění povrchu, zvýšené působení vlhkosti v důsledku nevhodného konstrukčního řešení) může dojít ke zvýšení korozní rychlosti. [6]



***Obr. 2** - Elektrochemický mechanismus atm. koroze železa s oxidem siřičitým [9]*

Nejdůležitější činitelé atmosférické koroze jsou koncentrace chloridů, oxidů siřičitého a doba ovlhčení. Z výsledku měření NADP prováděných od roku 1985 v USA je zřejmé, že hodnoty koncentrace chloridových iontů ve srážkách jsou v blízkosti „offshore“ několikanásobně vyšší, než hodnoty naměřené ve vnitrozemí, přičemž výjimku tvoří solná jezera.

V rámci posledního měření provedeného v roce 2014 byla nejvyšší hodnota koncentrace chloridových iontů v pobřežních oblastech 2,57 mg.l^{-1} a ve vnitrozemí nepřesáhla 0,3 mg.l^{-1}. Nejvyšší hodnoty oxidu siřičitého se vyskytují v rovníkových oblastech, kde dosahují až 12 miliardtin objemu atmosféry (viz obr. 3). [10] [11]



Obr. 3 - *Celosvětová atmosférická koncentrace oxidu siřičitého (2015) [10]*

Atmosférická koroze se při nízkých hodnotách teplot zastavuje zmrznutím elektrolytu. Při nárůstu teploty roste také rychlost koroze. Z uvedeného je zřejmé, že atmosférickou korozi ovlivňuje rovněž okolní teplota. [1]

Tab. 3 *- Úbytky uhlíkové oceli a zinku v závislosti na kategorii korozní agresivity atmosféry [12]*

Klasifikace	**Korozní agresivita v atmosféře**	**EN ISO 12944-2 Uhlíková ocel [µm/rok]**	**EN ISO 14713 Zinek [µm/rok]**
C1	Velmi nízká	<= 1,3	<= 0,1
C2	Nízká	1,3 – 25	0,1 – 0,7
C3	Střední	25 – 50	0,7 – 2,1
C4	Vysoká	50 – 80	2,1 – 4,2
C5-I	Velmi vysoká	80 – 200	4,2 – 8,4
C5-M	Velmi vysoká	80 - 200	4,2 – 8,4

***Tab. 4** – Klasifikace korozní agresivity dle ČSN EN ISO 9223 [13]*

Klasifikace	Korozní agresivita v atmosféře
C1	Velmi nízká
C2	Nízká
C3	Střední
C4	Vysoká
C5	Velmi vysoká
C5X	Extrémní
Poznámky: 1. Hodnoty úbytků pro stupně korozní agresivity jsou identické s údaji EN ISO 12944-2	

Korozní úbytky uhlíkové oceli a zinku po prvním roce expozice se pro stanovení korozní agresivity vypočtou z rovnic (*dle ČSN EN ISO 9223*) [13]:

1. **uhlíková ocel**

$$r_{corr} = 1{,}77.P_d^{0{,}52}.exp(0{,}020.RH).exp(f_{St}) + 0{,}102.S_d^{0{,}62}.exp(0{,}033.RH + 0{,}040.T)$$

kde $f_{St} = 0{,}150.(T - 10)$ *je-li T ≤ 10°C, jinak* $f_{St} = -0{,}054.(T - 10)$

2. **zinek**

$$r_{corr} = 0{,}0129.P_d^{0{,}44}.exp(0{,}046.RH).exp(f_{Zn}) + 0{,}0175.S_d^{-0{,}57}.exp(0{,}008.RH + 0{,}085.T)$$

kde $f_{Zn} = 0{,}038.(T - 10)$ *je-li T ≤ 10°C, jinak* $f_{St} = -0{,}071.(T - 10)$

r_{corr} – korozní rychlost v prvním roce expozice [µm.rok^{-1}]

T – průměrná roční teplota [°C]

P_d – průměrná roční depozice SO_2 [mg.m^{-2}.d^{-1}][2]

RH – průměrná roční relativní vlhkost [%]

S_d – průměrná roční depozice chloride [mg.m^{-2}.d^{-1}]

3.2. KOROZE V KAPALINÁCH

Ve většině případů je kapalinou právě voda. Mezi stroje a zařízení, které se dostávají do přímého styku, řadíme stroje a zařízení na výrobu páry, chladicí systémy motorů, kompresorů a jiných strojů, rozvodná potrubí a armatury pitných a průmyslových vod aj. [1]

[2] Pro přepočet koncentrace SO_2 v µg.m^{-3} (P_c) na hodnoty depozice SO_2 (P_d) se dle EN ISO 9223 používá rovnice $P_d = 0{,}8.P_c$

Agresivitu vody ovlivňuje obsah kyslíku, množství a typ rozpuštěných solí, přítomnost mikroorganismů a organických látek, hodnota pH, teplota, rychlost proudění a obsah pevných částí. Kyslík má ze všech plynů rozpouštěných ve vodě největší vliv na korozi. [7]

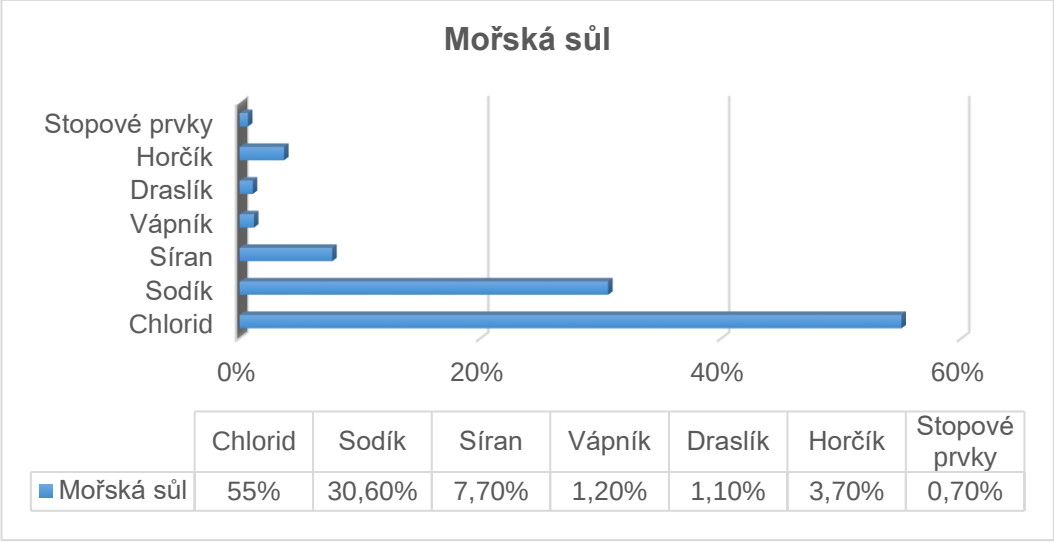
***Tab. 5** - Kategorie korozní agresivity vody a půdy [14]*

Stupeň	Prostředí	Příklady typických prostředí a konstrukcí
Im1	Sladká voda	Vodní stavby, vodní elektrárny
Im2	Mořská nebo poloslaná voda	Ocelové stavby v přístavech, např. stavidla, výpusti, plavební komory, plovoucí plošiny
Im3	Půda	V zemi uložené nádrže, ocelové piloty, ocelové potrubí

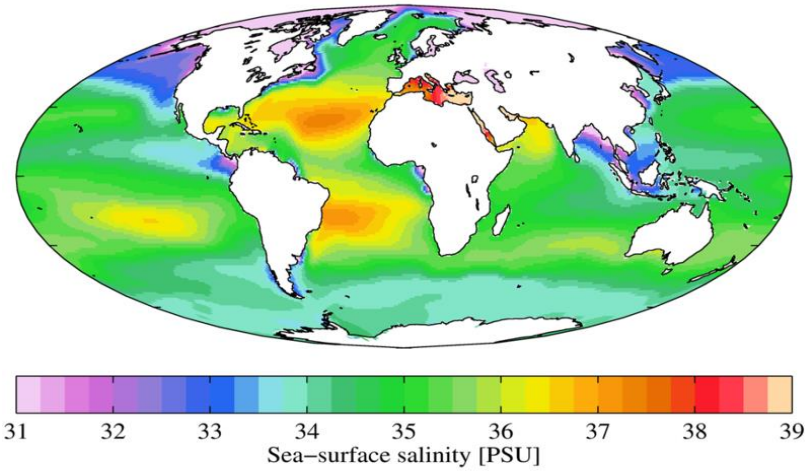
3.2.1. MOŘSKÁ VODA

Mořská voda se většinou skládá z 96,5% vody a pouze z 3,5% mořské soli. Mořská voda je slabě alkalická (pH 8) a má dobrou elektrickou vodivost, která je závislá na teplotě. Při 0°C má hodnotu přibližně 1900 $\mu S.cm^{-1}$ a při 25°C dosahuje hodnoty vodivosti 3500 $\mu S.cm^{-1}$. [15] [16] [17]

***Graf 1** - Složení mořské soli [15]*



Nejslanější místo na Zemi je Rudé moře 4,2%. Další nadprůměrně slané vody jsou v Mrtvém moři, Středozemním moři, v Atlantickém oceáně u břehů Brazílie a v oblasti mezi Afrikou a Severní Amerikou (viz obr. 4). [16]



Obr. 4 – *Salinita (slanost) v povrchové vrstvě vody světových moří (2014) [15]*

V mořském prostředí je nejvyužívanějším kovovým materiálem při výstavbě lodí, mol, ropných věží, mostů atd. uhlíková ocel, na kterou jsou aplikovány ochranné nátěry. Korozivzdorné oceli podléhají důlkové korozi, štěrbinové korozi a koroznímu praskání (viz obr. 5,6,7). Důlková koroze se projevuje úbytkem materiálu na více místech a současně vzniká na povrchu oceli charakteristické zbarvení (např. schodiště v plaveckých bazénech). Štěrbinová koroze se projevuje úbytkem materiálu v úzkých štěrbinách, tvořených stykem pasivního kovu se stejným materiálem nebo s izolačním materiálem (např. šroubový a nýtový spoj). Napadání při štěrbinové korozi lze pasivováním zpomalit. Korozní praskání je způsobené působením statického tahového napětím na kovový materiál vystavený specifickým podmínkám (za určitých teplot a koncentrací). Na povrchu materiálu vznikají a rozrůstají se trhliny, které způsobí praskání. [7] [18]

Obr. 5 *– Důlkové napadání korozivzdorné oceli [18]*

***Obr. 6** – Štěrbinová koroze korozivzdorné oceli pod těsněním [19]*

***Obr. 7** – Korozní praskání korozivzdorné oceli [18]*

Dalšími materiály, které velmi dobře odolávají korozi, jsou titan, nikl a jeho slitiny (Monel[3], Hastelloy[4]). [7]

3.2.2. MIKROORGANISMY

K rychlosti vzniku koroze přispívají mikroorganismy (bakterie, houby a řasy), které se ve vodě přichycují k povrchům pevných látek a rozrůstají se. Mikrobiologická koroze je často charakterizovaná vážným napadáním kovů a přítomností nadměrných usazenin biofilmu. V prvotní fázi vzniku biofilmu má hlavní roli stav povrchu kovu, na němž biofilm vzniká. Vhodná místa pro pevné uchycení škodlivého biofilmu nabízejí hydratované oxidy kovů (okuje, náběhové oxidy apod.). Drsnější povrchy a póry ve svarovém kovu jsou vhodným místem pro uchycení mikroorganismů.

Mikroorganismy nejprve podporují korozní proces tím, že ke své látkové přeměně využívají produkty korozních reakcí, jako je schopnost bakterií

[3] Monel je slitina Ni-Cu-Fe

[4] Hastelloy je slitina Ni-Cr-Mo

redukujících sírany využívat molekulární schopnost bakterií železitých oxidovat Fe^{2+} na Fe^{3+}, čímž mohou neustále podporovat průběh korozních reakcí, nebo vylučují pro kovy agresivní látky (vylučování sulfanu baktériemi redukujícími sírany, tvorba kyseliny sírové bakteriemi oxidujícími síru, tvorba organických kyselin aj.). Bakterie redukující sírany jsou nejvýznamnější bakterie, které způsobují značnou mikrobiologickou korozi za anaerobních podmínek (bez účasti kyslíku).

Nátěr na bázi epoxidu má vysokou mechanickou pevnost, dobrou přilnavost k různým podkladům a kombinace dalších vlastností, které činí tuto nátěrovou hmotu po dlouhou dobu nejvyužívanější při ochraně průmyslových, mořských a pobřežních konstrukcí. Nátěr na bázi epoxidu nemusí poskytovat pouze bariérovou ochranu pro agresivní prostředí, ale za použití antibakteriálních činidel (např. biocidu) může zpomalovat vliv bakterií redukujících sírany a tím zpomalit korozi. [20] [21]

Příklady nežádoucích vlivů způsobených mikroorganismy:

- **konstrukce v anaerobních podmínkách**

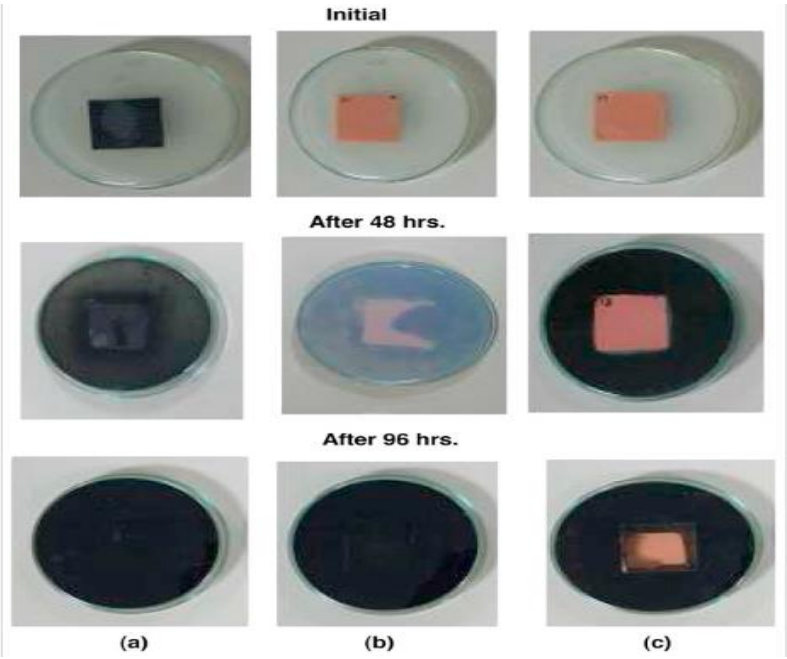
Podpovrchové konstrukce, vnitřní plochy nádrží a potrubí jsou obvykle v anaerobních podmínkách, které jsou příznivé pro růst bakterií redukujících sulfáty (sírany). Švýcarský výzkum *„Evaluation of microbial corrosion of epoxy coating by using sulphate reducing bacterie“,* publikovaný v květnu 2016, analyzuje nátěry na bázi epoxid – polyamid. Testování probíhalo v simulovaných anaerobních podmínkách. [20]

Tab. 6 - *Formulace vybrána k testování [20*]

Nátěr	Složení Pryskyřice/Pigment-popis doplnění	Biocid
Vzorek a: Epoxid - Polyamid (s uhelným dehtem)	Epoxid - Uhelný dehet – Polyamid/Stetatit	---
Vzorek b: Složení I (bez biocidu)	Epoxid – HR[5] - FL[6] - PAD[7] - PAM[8]/TiO2, Stetatit a Baryt	---
Vzorek c: Složení II (s biocidem)	Epoxid – HR - FL- PAD - PAM/TiO2, Stetatit a Baryt	Rocima 346

[5] HR - uhlíkové pryskyřice s hydroxylovým číslem: 55
[6] FL – flexibilizér
[7] PAD – polyamid s aminem vodíku ekvivalentní hmotnost: 115
[8] PAM – polyamin s aminem vodíku ekvivalentní hmotnost: 180

Epoxi – polyamidový nátěr s biocidem (viz vzorek c na obr. 8) prokázal po 96 hodinách výrazně menší černění. Tato skutečnost poukazuje na efektivitu biocidu vyplavujícího z povlaku proti bakteriím redukující sírany (viz obr. 8). Velikost plochy inhibice je závislá jak na účinnosti biocidu, tak na jeho rozpustnosti ve vodě. [20]



Obr. 8 *- Zkušební vzorky [20]*

- **změny účinnosti přílivové turbíny vlivem znečištění**

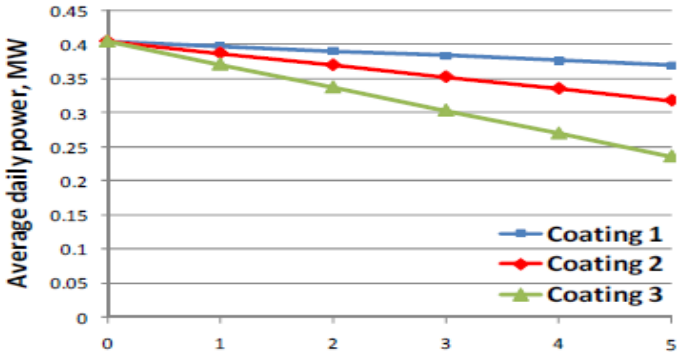
Na ,,*3rd International Conference on Ocean Energy (2010)*“ byl ve sborníku s názvem „*Marine Fouling and Corrosion Protection for Off-shore Ocean Energy Setups*“ uveřejněn odhad ztráty účinnosti turbíny v důsledku znečištění. Simulace proběhla pro 3 různé nátěry (není blíže specifikováno) nanesené na vzorky představující lopatku přílivové turbíny. U nátěru 1 je předpoklad vzniku minimální hustoty nánosu na povrchu v intervalu 5 let (viz obr. 9). U nátěru 2 je předpoklad vzniku hustého nánosu na povrchu během stejného období (viz obr. 9). U nekvalitního nátěru s biocidem je předpoklad vzniku řas přibližně 5mm dlouhých (nátěr 3). Nátěry s využitím biocidu jsou nejčastěji používány k zajištění ochrany proti znečistění. [22]

Obr. 9 *- Rozdíl znečištění povrchu lopatky (vlevo – nátěr 1, vpravo – nátěr 2) [22]*

Předpokládané podmínky:

- Rychlost nosiče lopatek je 13-15 uzlů (1 uzel = 0,514 $m.s^{-1}$)
- Jmenovitý výkon turbíny 1 MW
- Turbína běží na 90% svého jmenovitého výkonu
- Výskyt rostlin v okolí přílivové turbíny se předpokládá 90%

Na obr. 10 jsou zobrazeny změny výkonů turbíny pro jednotlivé nátěrové systémy. [22]



Obr. 10 *– Změna výkonu přílivové turbíny v čase (vodorovná osa – rok, svislá osa – průměrný denní výkon) [19]*

Pro velké přílivové farmy jsou odhadem spočítány peněžní ztráty jednotlivých nátěrů, způsobené jejich vlivem na účinnost turbíny. Ztráty se pohybují v řádech miliard korun (viz tab. 7). [22]

Tab. 7 *– Peněžní ztráta vlivem změny výkonu [22]*

	Nátěr 1	**Nátěr 2**	**Nátěr 3**
Peněžní ztráta jedné turbíny (milionu Kč)	2,052	5,103	9,963
Peněžní ztráta 600 MW farmy (miliard Kč)	1,242	3,078	5,967

Z provedeného šetření jsou zřejmé možné ztráty způsobené mikroorganismy v případě chybně zvolené ochrany povrchu.

4. NORSOK STANDARD M-501

Cílem standardu Norsok M-501 je zajištění optimální protikorozní ochrany zařízení předepsanou předúpravou povrchu a aplikací doporučeného ochranného nátěru, s následnou potřebou minimální údržby. Norsok standard M-501 je v současné době pravděpodobně nejvíce uznávaným standardem v prostředí offshore. [23]

4.1. PŘEDÚPRAVA POVRCHU DLE NORSOK

4.1.1. PŘEDÚPRAVA POVRCHU PŘED TRYSKÁNÍM

Pro splnění třídy P3, která je definována v normě ČSN EN ISO 8501-3, musí být zaobleny nebo vyhlazeny broušením ostré hrany, rohy a svary (minimální poloměr 2 mm). Broušením se také odstraňují tvrdé povrchové vrstvy (např. vzniklé z řezání plamenem). Nečistoty (olejové, tukové, aj.) ulpívající na povrchu po broušení se odstraňují v souladu s ČSN EN ISO 12944-4[9]. [23]

Způsoby odstranění nečistot dle ČSN EN ISO 12944-4 [24]:

- Čištění vodou: jestliže je při operaci čištění použit detergent, je nezbytný oplach vodou.
- Čištění parou: jestliže je k páře přidán detergent, je nezbytný oplach čistou vodou.
- Emulzní čištění: odstranění nečistot použitím emulgačních čisticích prostředků s následným oplachem čistou vodou.
- Alkalické čištění: odstranění nečistot použitím alkalických čisticích prostředků s následným oplachem čistou vodou.
- Čištění organickými rozpouštědly: odmašťování pomocí hadrů napuštěných vhodným organickým rozpouštědlem.
- Čištění pomocí chemických konverzních prostředků: čištění s využitím chemických konverzních prostředků (např. fosfátování, chromátování) je používáno pro povrchy žárově zinkované ponorem, vrstvy elektrolyticky zinkované a difuzně nanášené vrstvy k dosažení povrchu vyhovujícího pro natírání. Následovat by měl oplach čistou vodou.

[9] ČSN EN ISO 12944-4 *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 4: Typy povrchů podkladů a jejich příprava*

Jakékoliv zásadní povrchové vady (strupy, trhliny aj.) poškozující budoucí nátěrový systém, musí být odstraněny vhodným ošetřením. Pokud se během otryskávání objeví tyto vady, musí být bezodkladně opraveny.

Všechny svary musí být kontrolovány. Pokud se objeví vady, místa musí být opravena před následným finálním otryskáváním. Povrchové póry, dutiny atd. musí být opraveny vhodným ošetřením nebo opravením svaru. [23]

4.1.2. OTRYSKÁVÁNÍ POVRCHU

Tryskací abraziva musí být suchá, čistá a zbavená nečistot. Velikost abrazivních částic pro tryskání musí být taková, aby značení připraveného povrchu bylo v souladu s požadavky pro použitelnost nátěrového systému. Profil povrchu se rozlišuje v souladu s ČSN EN ISO 8503[10].

Jako tryskací abrazivum musí být použita ocelová drť. Při použití na podklady z nerezové oceli musí být abrazivum nekovové a bez chloridů, například umělý korund, keramické abrazivum, křemičitý písek atd. [23] [25]

Drsnost povrchu otryskané oceli se porovnává se vzorem uvedeným na ISO komparátoru (viz obr. 11) dle tab. 9. Volba ISO komparátoru závisí na typu materiálu a volí se ta část, která nejvíce odpovídá otryskanému povrchu. ISO komparátor poskytuje několik možností testování – vizuální zkouška bez lupy, s pomocí lupy nebo hmatovou zkoušku. [26]

***Tab. 8** - Jmenovité hodnoty a tolerance profilů povrchu segmentů ISO komparátorů profilu povrchu [27]*

ISO komparátory pro ocel otryskanou ostrohrannými otryskávacími prostředky		
Segment	**Jmenovitá hodnota* [µm]**	**Tolerance [µm]**
1	25	3
2	60	10
3	100	15
4	150	20
*Při měření profilometrem (viz ČSN EN ISO 8503-4) odpovídá R_{y5}		

[10] ČSN EN ISO 8503 *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů*

Tab. 9 *- Mezní hodnoty stupňů drsnosti [27]*

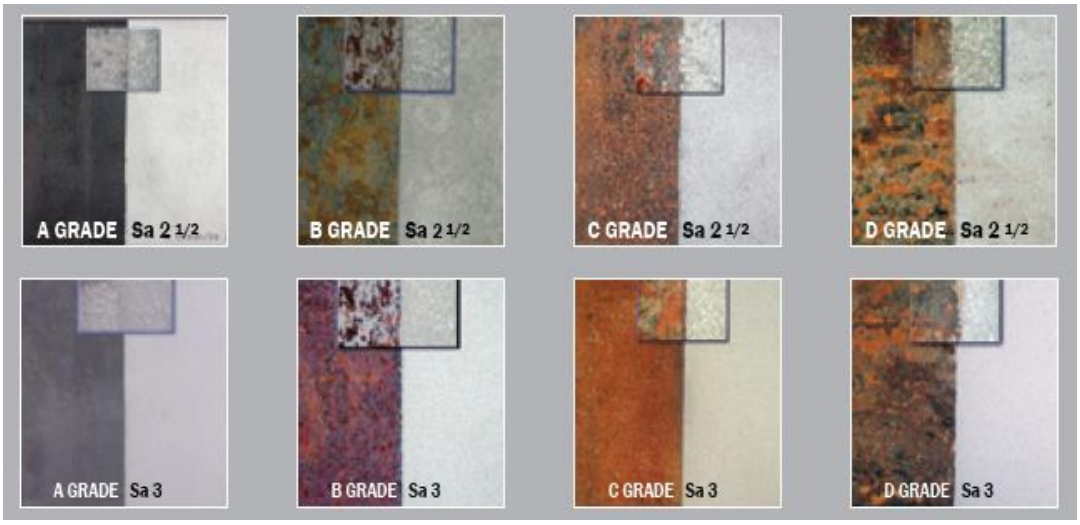
ISO komparátory pro ocel otryskanou ostrohrannými otryskávacími prostředky	
Jemný (G)	Profily jako u segmentu 1 a hrubší, ale nedosahují drsnosti segmentu 2
Střední (G)	Profily jako u segmentu 2 a hrubší, ale nedosahují drsnosti segmentu 3
Hrubý (G)	Profily jako u segmentu 3 a hrubší, ale nedosahují drsnosti segmentu 4

Obr. 11 *- ISO komparátor v souladu s ČSN EN ISO 8503 [28]*

Čistota otryskaného povrchu, uvedeného u každého nátěrového systému, musí být v souladu s normou ČSN EN ISO 8501-1[11]. [23] Norma ISO 8501-1 rozlišuje čtyři druhy výchozího stavu oceli:

Obr. 12 *- Výchozí stavy oceli před otryskáním [14]*

Na obr. 13 jsou zobrazeny jednotlivé výchozí stavy oceli a podle stupně přípravy dle ČSN EN ISO 8501-1 jsou očištěny.



Obr. 13 *- Změna čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 [14]*

[11] ČSN EN ISO 8501-1 *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*

4.1.3. KONEČNÝ STAV POVRCHU

Povrch určený k nátěru musí být čistý, suchý, zbaven nečistot:

- Obsah prachu na ocelovém povrchu před natíráním je testován metodou snímání samolepící páskou. Norsok standard M-501 definuje maximální hodnoty obsahu prachu na připraveném povrchu v souladu s tabulkou 2 z normy ČSN EN ISO 8502-3[12].
- Maximální obsah rozpustných nečistot na připraveném povrchu musí být v souladu s ČSN EN ISO 8502-6
- Celkové množství solí rozpustných ve vodě (především chloridů a síranů) na připraveném ocelovém povrchu musí být změřen v souladu s ČSN EN ISO 8502-9. Nesmí se překročit obsah NaCl (neboli soli) 20$mg.m^{-2}$. [23] [29]

4.1.4. VÝPOČET MNOŽSTVÍ SOLÍ DLE ČSN EN ISO 8502-9

Obsah solí se po předúpravě ocelového povrchu určuje za pomoci Breslovy sady. Sada obsahuje konduktometr, Breslovy cely, plastový pohárek a další doplňky, např. destilovanou vodu, injekci s jehlou. [30]

Postup měření pomocí Breslovy sady [30]:

1. Vezme se 15 ml testované tekutiny a nalije se do plastového pohárku
2. Určí se konduktivita testované tekutiny
3. Přiloží se Breslova cela na testovaný povrch
4. Injekcí se stříkne testovaná tekutina do cely
5. Vyjme se tekutina a určí se opět konduktivita

Rozdíl mezi naměřenou konduktivitou v kroku 2 a v kroku 5 se vynásobí šesti a tím se vypočte hodnota množství solí na povrchu v miligramech na metr čtvereční.

[12] ČSN EN ISO 8502 *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu*

Obr. 14 *- Breslova sada [31]*

Celkové množství solí na povrchu **ρA** se vypočte podle rovnice [29]:

$$\rho_A = c.V.\Delta\gamma.A^{-1}.10^6 \ \ [mg.m^{-2}]$$

kde **m** je množství rozpuštěných solí na části povrchu pokrytého adhezní celou

A je plocha části povrchu pokrytá adhezní celou

c je empirická konstanta přibližně rovna $5kg.m^{-2}.S^{-1}$

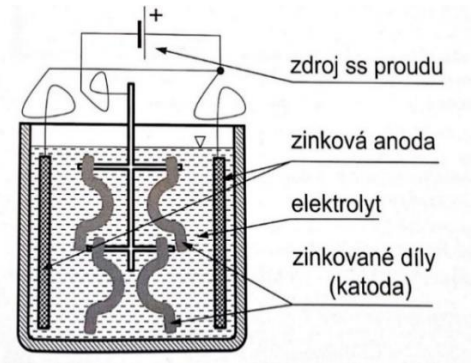
V je původní objem vody v kádince

Δ**γ** je změna vodivosti

5. OCHRANNÉ POVLAKY

5.1. GALVANICKÉ ZINKOVÁNÍ

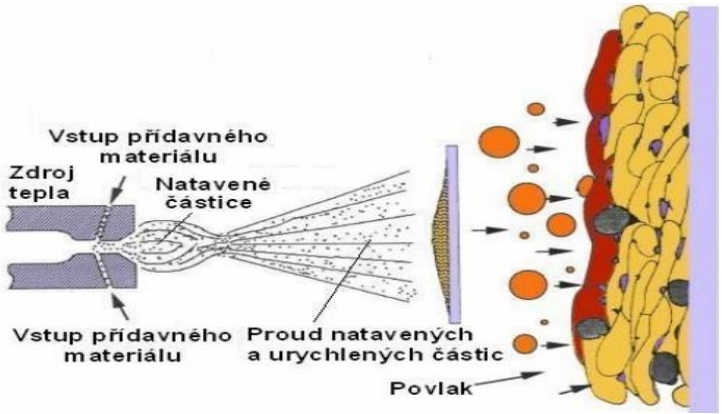
Principem procesu galvanického zinkování je elektrolýza vodných roztoků Zn solí. Zinková elektroda (anoda) je vždy připojena ke kladnému pólu zdroje stejnosměrného napětí elektrického proudu. Elektrolyt obsahuje zinkové ionty, které jsou vylučovány na záporné katodě, reprezentované pokovovaným ocelovým výrobkem, na jehož povrchu elektrokrystalizují a vytvářejí povlak zinku. [32]



***Obr. 15** – Princip galvanického pokovení [32]*

5.2. ZINKOVÁNÍ ŽÁROVÝM STŘÍKÁNÍM (METALIZACE)

Žárovým stříkáním se nanáší zinek, který se nejprve nataví plamenem nebo elektrickým obloukem a poté je nanášen na otryskaný povrch metalizované součásti. Zinek na povrchu ulpívá mechanickým zakotvením. Pro spolehlivé zakotvení povlaku nanášeného metalizací je nezbytně nutné provést předúpravu povrchu jeho otryskáním ostrohranným abrazivem. [32]



***Obr. 16** - Schéma metalizace [33]*

Pro žárový nástřik kovů se z protikorozních důvodů často používají slitiny zinku s hliníkem, které mají vyšší korozní odolnost než čistý zinek. Povlak je nanesen na povrch v tloušťce 80 až 250 μm. [32]

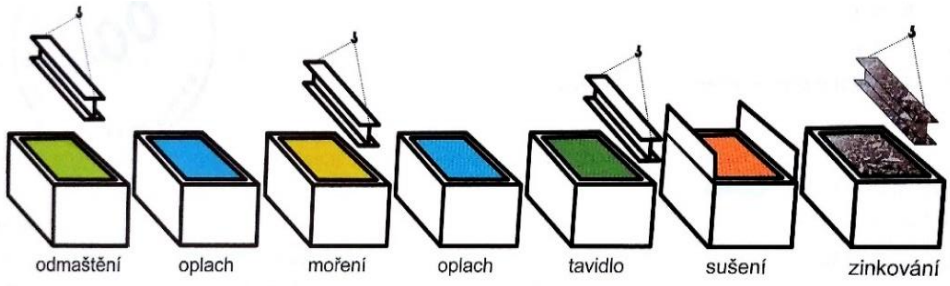
5.3. ŽÁROVÉ ZINKOVÁNÍ PONOREM

Nejprve se provádí chemická předúprava k dosažení kovově čistého povrchu. Následně se povrch aktivuje tavidlem a poté se ponoří do lázně s roztaveným zinkem. Základní porovnání jednotlivých povlaků žárového zinku podle způsobu jejich nanesení v komerčních zinkovnách je uveden v tab. 10. [32]

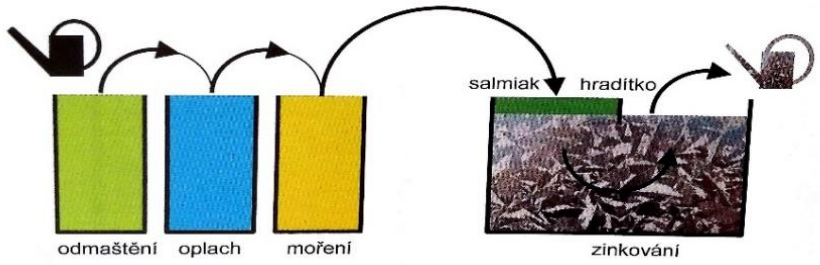
Tab. 10 *– Porovnání povlaků [32]*

Způsob nanesení		**Charakteristika**	**Použití**
kusové	suchý proces	omezená manipulace při nanášení povlaku, vysoká produktivita	součásti, které je možné jednotlivě zavěsit
	mokrý proces	dobrá manipulace při nanášení povlaku, omezená hmotnost	složité tvary vyžadující ruční manipulaci
odstředivé	nízkoteplotní	povlak má stejné vlastnosti jako při kusovém nanášení, omezená možnost řídit tloušťku povlaku	Drobné součásti vyžadující větší tloušťku povlaku
	vysokoteplotní	dobrá možnost řízení tloušťky povlaku	Drobné součásti vyžadující přesné dodržení tloušťky povlaku

U suchého procesu je součást ponořena do tavidla, poté je osušena a následně je ponořena do zinkovací lázně. U mokrého procesu je tavidlo nasypáno přímo na část hladiny zinkované lázně (oddělené hradítkem). Součást v mokrém procesu se ponoří do části zinkové lázně přes vrstvu tavidla a poté je nutno součást vynořit přes druhou, čistou část hladiny zinkové lázně (viz obr. 17 a obr. 18). [32]



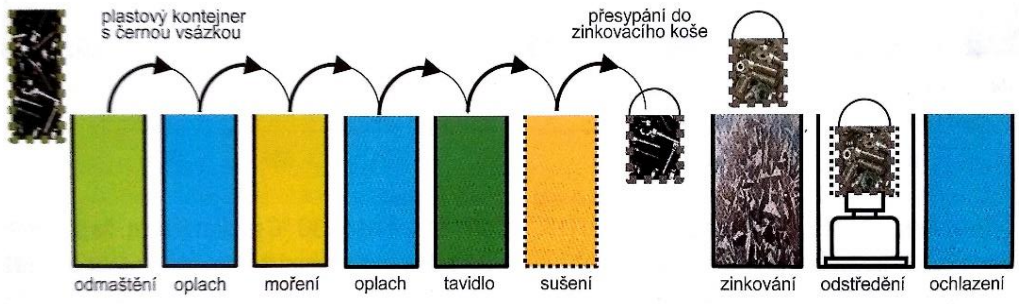
***Obr. 17** – Schématické znázornění sledu operací pro suchý proces zinkování [32]*



***Obr. 18** - Schématické znázornění sledu operací pro mokrý proces zinkování [32]*

U odstředivého zinkování se nejprve součást podrobí chemické předúpravě, zpravidla v perforovaných plastových kontejnerech odolných proti působení chemikálií. Součást se po následném odkapání a usušení přesype do cylindrického zinkovacího koše a provede se ponor do zinkovací lázně. Ihned po vynoření zinkovacího koše se přemístí součást do odstředivky, kde je provedeno odstředění přebytečného zinku z povrchu (viz obr. 19)

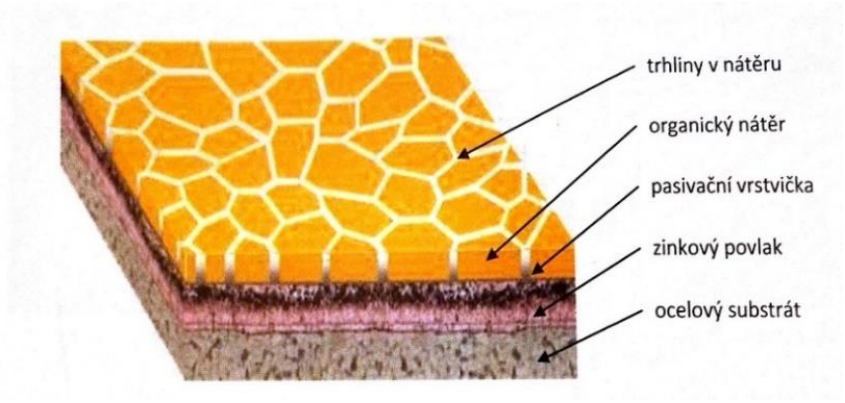
Odstředivé zinkování se rozděluje na nízkoteplotní a vysokoteplotní. Nízkoteplotní odstředivé zinkování se provádí při teplotě taveniny do 480 °C, u vysokoteplotního odstředivého zinkování musí být teplota zinkové lázně vyšší než 530°C, obvykle je však 550°C. [32]



***Obr. 19** - Schématické znázornění sledu operací pro odstředivé žárové zinkování [32]*

5.4. DUPLEXNÍ SYSTÉM

Duplexní systém se skládá ze zinkového povlaku a organického nátěru, přičemž pronikající vlhkost způsobí, že se zinek pasivuje a dál nekoroduje. [32]



***Obr. 20** – Duplexní systém [32]*

Organický nátěr chrání před úbytky zinkové patiny v místě mezi zinkovým povlakem a nátěrovou hmotou, čímž se koroze zinku uzavřená pod patinou zastavuje. Organický povlak brání erozi patiny pokrývající zinek a chrání ho proti korozi. Pasivovaný zinek nesnižuje adhezi vrstvy organického povlaku k substrátu. [32]

Oba povlaky se vzájemnou součinností podporují, proto je životnost duplexního systému přibližně 1,5 až 2,3 násobkem součtu životností obou nátěrů zvlášť a lze ji vypočítat podle vzorce [34]:

$$L_T = K(L_{Zn} + L_F)$$

L_T – životnost systému v letech

L_{Zn} – vypočtená životnost zinkového povlaku

L_F – vypočtená životnost organického povlaku, pro dané prostředí provedeného na oceli

$K = 1{,}5$, pro duplexní systém vystaven prostředí C5 nebo Im 2

Duplexní systém je intaktní vůči korozním prostředí do doby, než organická nátěrová hmota degraduje natolik, že se začne rozpadat, ale i následně je povrch stále chráněn katodickou a bariérovou ochranou žárového zinku. [32]

5.5. ŽÁROVÝ NÁSTŘIK KOVOVÝCH POVLAKŮ DLE NORSOK

Předúprava povrchu před metalizací byla popsána v kapitole 4. Materiály pro metalizaci musí být v souladu s následujícími normami [23]:

- hliník: Typ Al 99,5 z ISO 14919 nebo ekvivalentní
- hliníkové slitiny: Hliníkové slitiny s 5% hořčíku, typ AlMg5 z ISO 14919 nebo ekvivalentní
- zinek nebo slitiny zinku

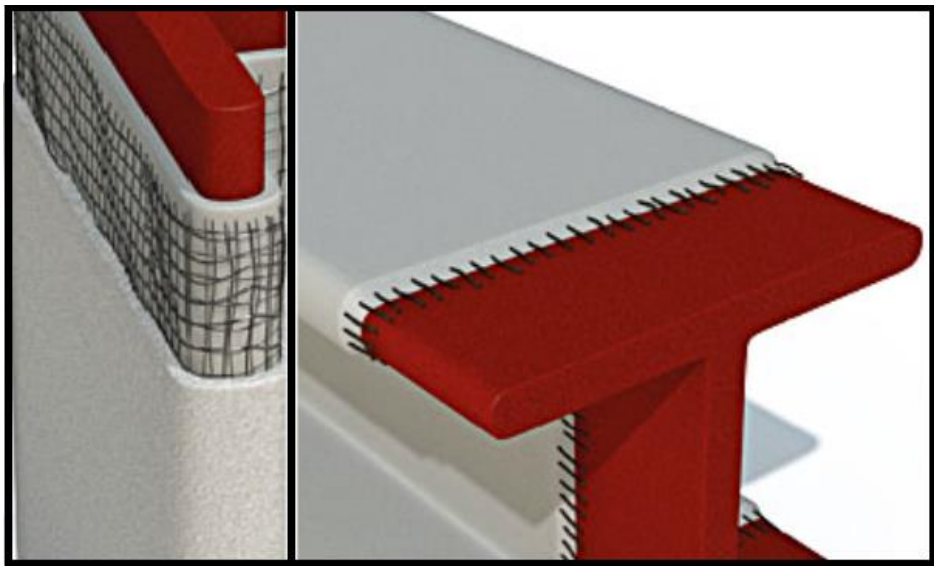
Kovové povlaky musí být utěsněny nebo překryty, jak je uvedeno v nátěrovém systému č. 2 (viz kapitola 7.). Maximální provozní teplota, při níž může být použit zinek nebo slitiny zinku pro metalizaci, je pro neizolované povrchy 120°C. Pro izolované povrchy se může použít do maximální provozní teploty 60°C. Obvykle se izolují potrubí a nádrže, ve kterých médium nesmí zmrznout nebo naopak má medium vysokou teplotu a izolace zabraňuje poklesu této teploty. Jako izolace se podle účelu používá například minerální vata, pěnová pryž. Pro venkovní rozvody se proti mechanickému poškození používají ještě plechové pláště. Pokud izolované potrubí, kterým proudí medium (např. pára nebo horká voda) není v trvalém ponoru, může docházet i pod izolací ke kondenzaci vzdušné vlhkosti. Z tohoto důvodu se před vlastní izolací doporučuje kovové potrubí opatřit základním nátěrem.

Kovové povlaky se nanesou rovnoměrně po celé ploše povrchu v několika vrstvách a za pomoci metalizační pistole. Povlak musí být pevně přilnavý a výsledný povrch musí být bez nečistot a defektů. Metalizace se neprovádí 5 – 10 cm od místa budoucího svaru. Následující nátěr se neaplikuje v oblasti vzdálené 30 – 40 cm od místa budoucího svaru. Svarová oblast se otryskává dle specifikace pro nátěrový systém č. 2 (viz kapitola 7). [23] [35]

5.6. NÁSTŘIK PASIVNÍ PROTIPOŽÁRNÍ OCHRANY DLE NORSOK

Protipožární ochranný povlak se aplikuje s vyztuženým drátěným pletivem nebo síťovinou. Pletivo se vkládá do protipožárního ochranného povlaku, kde je mechanicky ukotveno k ocelové konstrukci.

Drátěné pletivo se potahuje plastem pro všechny typy protipožární ochrany, s výjimkou nátěrů na bázi epoxidu, pro které je galvanicky zinkováno nebo musí být použito pletivo z nerezové oceli. Protipožární ochrana na bázi cementu (viz tab. 22) musí být z vnějšku chráněna materiálem, který zpomaluje migraci oxidu uhličitého a vlhkosti. [23]

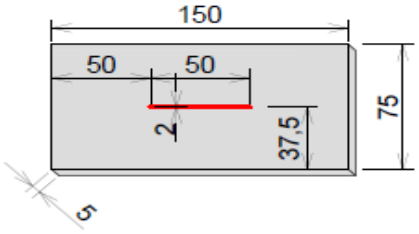


***Obr. 21** – Protipožární ochranný povlak se síťovinou [36]*

6. CYKLICKÁ ZKOUŠKA STÁRNUTÍ

6.1. ČSN EN ISO 20340/NORSOK M-501

Cyklická zkouška je prováděna na 4-6 vzorcích o doporučených rozměrech 150 x 75 mm a předepsané tloušťce 5 mm. Vzorky musí být vyrobeny z konstrukční uhlíkové oceli a jejich povrch musí být očištěn tryskáním na stupeň Sa $2^1/_2$. Následně nanesený nátěrový systém je opatřen umělým defektem o délce 50 mm a šířce 2 mm (viz obr. 22). [37]



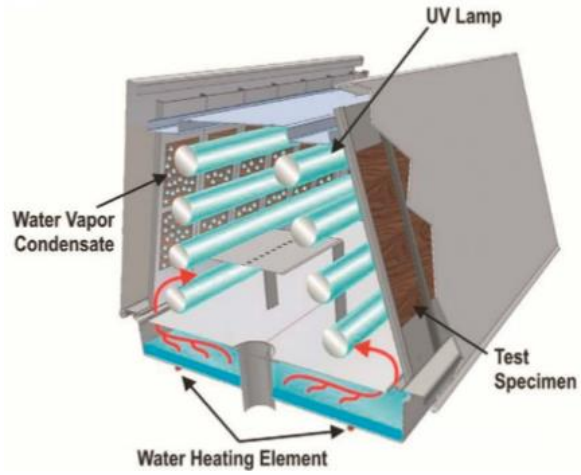
***Obr. 22** – Zkušební vzorek dle ČSN EN ISO 20340*

***Tab. 11** – Postup cyklické zkoušky dle ČSN EN ISO 20340 [37]*

Fáze	Čas [h]	Teplota [°C]	Podmínka	Poznámky
1	4	60 ± 3	UV záření	• při okolní vlhkosti vzduchu • intenzita záření 0,83 $W.m^{-2}.nm^{-1}$ při vlnové délce 340 nm
2	4	50 ± 3	Kondenzace	100% RV
3	4	60 ± 3	UV záření	
4	4	50 ± 3	Kondenzace	
5	4	60 ± 3	UV záření	
6	4	50 ± 3	Kondenzace	
7	4	60 ± 3	UV záření	
8	4	50 ± 3	Kondenzace	
9	4	60 ± 3	UV záření	
10	4	50 ± 3	Kondenzace	
11	4	60 ± 3	UV záření	
12	4	50 ± 3	Kondenzace	
13	4	60 ± 3	UV záření	
14	4	50 ± 3	Kondenzace	
15	4	60 ± 3	UV záření	
16	4	50 ± 3	Kondenzace	
17	4	60 ± 3	UV záření	
18	4	50 ± 3	Kondenzace	
19	72	35 ± 2	Neutrální solná mlha	Průměrná rychlost hromadění rozprašované mlhy z vodorovné sběrné plochy 80 cm^2: 1,5 $ml.h^{-1}$± 0,5 $ml.h^{-1}$. Koncentrace zkušebního roztoku NaCl: 50 g.l^{-1} ± 5 g.l^{-1}.
20	24	-20 ± 3	Mrazící box	
Jeden cyklus trvá 168 hodin a celkem se provádí 25 cyklů což je 4200 hodin.				

I. UV záření a kondenzace (ČSN EN ISO 16474-1)

Testovací zařízení se skládá z UV lamp, kondenzátoru vodní páry, zdroje ohřevu vody a ze zkušebních vzorků (viz obr. 23). Jako náhradu za UV lampy lze použít xenoxové lampy nebo fluorescenční UV lampy. [38]



***Obr. 23** – Zkušební komora pro UV záření a kondenzaci [39]*

II. Neutrální solná mlha (ČSN EN ISO 9227)

U zkoušky v NSS musí být hodnota pH rozprašovaného roztoku ve zkušební komoře v rozmezí 6,5 až 7,2 (neutrální) při teplotě 25°C ± 2°C. Změnu pH lze ovlivnit zahřátím roztoku na 35°C před přivedením roztoku do solné komory nebo snížením oxidu uhličitého přípravou roztoku z převařené vody. Kontrola hodnoty pH probíhá s přesností 0,3 nebo nižší.

Zkušební vzorky jsou vkládány a uzavírány do zkušební komory, ve které jsou vystaveny urychleným korozním podmínkám. Zkušební komora obsahuje trysku, která rozprašuje roztok demineralizované vody a chloridu sodného. [40] [41]

***Obr. 24** – Zkušební komora pro zkoušku v NSS [41]*

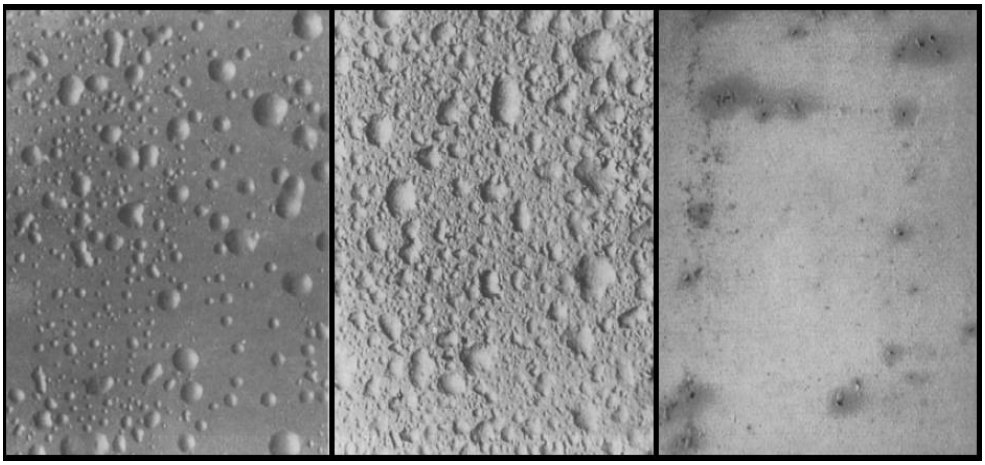
***Tab. 12** – Parametry hodnocení systému PKO po zkoušce ČSN EN ISO 20340 [37]*

Metoda hodnocení	**Parametry na stav po zkoušce**
	Vzorek
ČSN EN ISO 4628 – 2 (Puchýřování)	0 (S0)
ČSN EN ISO 4628 – 3 (Prorezavění)	Ri 0
ČSN EN ISO 4628 – 4 (Praskání)	0 (S0)
ČSN EN ISO 4628 – 5 (Odlupování)	0 (S0)
ČSN EN ISO 4628 – 6 (Křídování)	Max. 2
Korozní tečení v okolí řezu podle ISO 4628-8	c ≤ 3 mm, pokud je základní nátěrová hmota na bázi zinku c ≤ 8 mm, pokud základní nátěr není na bázi zinku
Odtrhová zkouška přilnavosti ČSN EN ISO 4624	průměr 9 měření po celém řezu.
	• Nesmí nastat adhezní odtržení prvního nátěru/povlaku od ocelového podkladu, pokud se nedosáhne 5 MPa. Jedna hodnota z měření může dosáhnout minimálně 50% původní hodnoty. • Odtrhová zkouška pro nátěrový systém č. 5A a č. 5B: minimálně 2MPa pro produkty na bázi cementu a minimálně 3 MPa pro produkty na bázi epoxidu.

První dva foto etalony zleva na obr. 25 prezentují **praskání** a třetí foto etalon prezentuje **odlupování**.

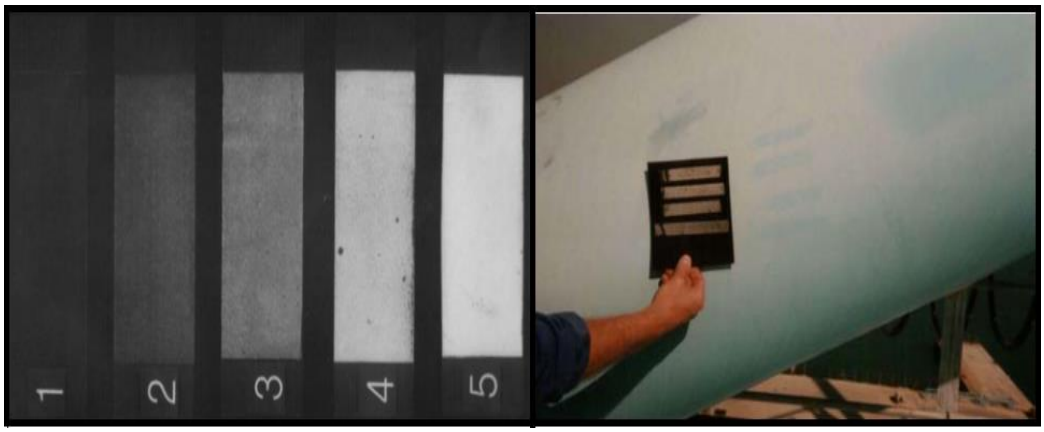
***Obr. 25** - praskání a odlupování [42]*

První dva foto etalony zleva na obr. 26 prezentují **puchýřky** a třetí foto etalon prezentuje **prorezavění**.



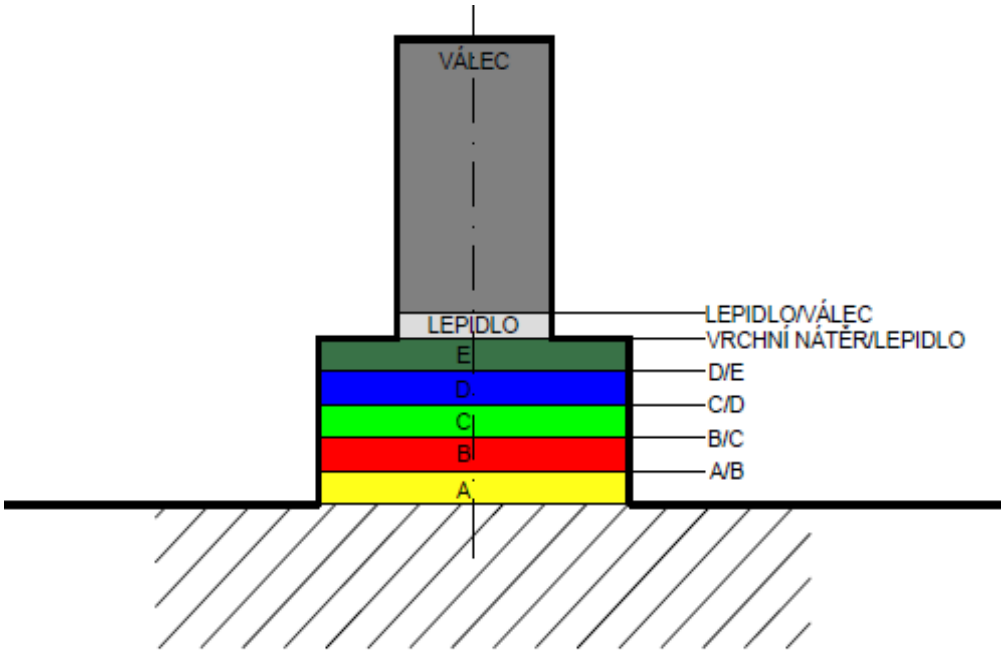
***Obr. 26**- Puchýřky a prorezavění [42]*

***Obr. 27** – Puchýřky a korozní tečení v okolí uměle vytvořeného řezu [42]*



***Obr. 28** – Kontrola stupně křídování [42]*

Odtrhová zkouška přilnavosti se provádí pro zjištění maximálního tahového napětí, které musí být vynaloženo k roztržení nejslabší mezifáze (adhezní lom) nebo nejslabší složky (kohezní lom) v kvalifikovaném nátěrovém systému. [43]



***Obr. 29** – Grafické znázornění zkoušky odtrhu*

***Tab. 13** – Místa odtržení v souladu s ČSN EN ISO 4624[13] (viz obr. 29) [44]*

A	poškození v základním materiálu
A/B	porušení přilnavost mezi první vrstvou filmu a základním materiálem
B	poškození v prvním nátěru
B/C	porušení přilnavosti mezi první vrstvou filmu a druhou vrstvou filmu
C/D	porušení přilnavosti mezi druhou vrstvou filmu a třetí vrstvou filmu
D/E	porušení přilnavosti mezi třetí vrstvou filmu a čtvrtou vrstvou filmu
-/Y	porušení přilnavosti mezi vrstva filmu/ lepidlo
Y/Z	porušení přilnavosti mezi lepidlo/zkušební válce

[13] ČSN EN ISO 4624 *Nátěrové hmoty – Odtrhová zkouška přilnavosti*

6.2. CHRL II z TKP 19B

TKP 19B (Technické kvalitativní podmínky Ministerstva dopravy, Kapitola 19 - Ocelové mosty a konstrukce, Část B – Protikorozní ochrana ocelových mostů a konstrukcí) platí pro pasivní protikorozní ochranu všech typů ocelových konstrukcí (s výjimkou předpínacích systémů). V dokumentu je především uvedena technická dokumentace, která předepisuje veškeré obecné technické parametry na předúpravu povrchu, aplikace nátěrových hmot, průkazní a kontrolní zkoušky, požadavky na životnost a údržbu atd. Tento dokument je povinnou součástí zadávací dokumentace stavby.

Zkouška CHRL I vycházející ze standardu ČSN EN ISO 11130 se zabývá korozí kovů a slitin, není tedy prioritně určená na zkoušení organických povlaků. Zkouška má dva zásadní nedostatky neboď předpokládá, že rychlejší ponořování, vynořování vzorků do/z roztoků soli způsobí větší poškození povlaku a druhým nedostatek je trvalá úprava pH na určenou hodnotu.

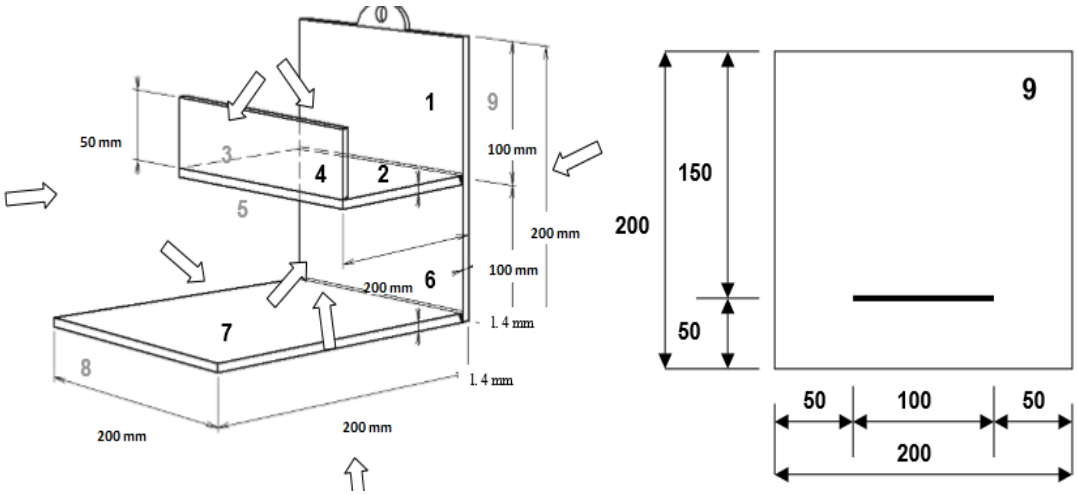
Korozní zkouška CHRL II všechny časy vzorků v jednotlivých korozních prostředích prodloužila oproti zkoušce CHRL I, často na celých 24 hodin. Celková doba zkoušky se také prodloužila na 4200 hodin, tj. 25 cyklů po 168 hodinách. Druhou důležitou změnou ve zkoušce oproti CHRL I je odstranění trvalé úpravy hodnoty pH. Důvodem této změny je skutečnost, že v reálných podmínkách není korozní prostředí nikdy konstantní a korozní rychlost se často mění. V místě umělého defektu se korozní produkty hromadí a vytvářejí v defektu zcela specifické prostředí se zcela odlišným pH než je uvedeno v předpisu zkoušky.

Ve zkoušce CHRL II je minimální počet vzorků sestaven z jednoho vzorku A (vždy), z jednoho vzorku B (pouze pro šroubové a nýtové spoje) ,a z jednoho vzorku 3 (vždy). Vzorky jsou vyrobeny pro všechny nátěrové a kovové povlaky z konstrukční uhlíkové oceli. [45] [46] [47]

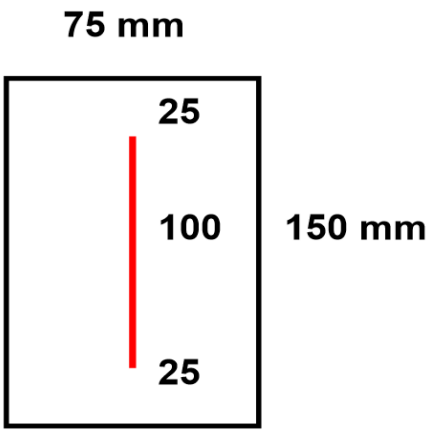
Zkušební vzorky [47]:

- Vzorek A:
  - svařenec
  - umělý defekt je 0,2 mm hluboký, 2 mm široký a dlouhý 100 mm.
  - rozměry vzorku (viz obr. 30)

- Vzorek 3:
  - destička 150 mm x 75 mm (viz obr. 32)
  - umělý defekt je 0,2 mm hluboký, 2 mm široký a dlouhý 100mm



***Obr. 30** – Zkušební vzorek A [47]*



***Obr. 31** – Zkušební vzorek 3 [47]*

***Tab. 14** – Průběh zkoušky CHRL II (1 cyklus) [47]*

Fáze	Čas [h]	Teplota	Podmínka	Poznámka
1	8	50±2	Vlhko: (95±3)%RH	
2	10 minut	-5±1	ponor do chladící lázně roztok I	Uvedená teplota je teplota povrchu vzorku, která musí být dosažena na konci 10 minuty.
3	50 minut	-35±2	mrazící box (přechlazený vzduch)	Teplota povrchu vzorku na konci 50. minuty má - 18±°C.
4	3	0+5	ponor do roztoku I	Nutno dodržet uvedenou teplotu roztoku.
5	20	-25±2	mrazící box	
6	24	50±2	Horké sucho	
7	24	35±2	Ponor do roztoku II	
8	24	50±2	Horké sucho	
9	8	35±2	Ponor do roztoku II	
10	8	50±2	Horké sucho	
11	8	50±2	Vlhko: (95±3)%RH	
12	8	50±2	Horké sucho	
13	8	50±2	Vlhko: (95±3)%RH	
14	8	50±2	Horké sucho	
15	8	50±2	Vlhko: (95±3)%RH	
16	8	50±2	Horké sucho	
Jeden cyklus trvá 168 hodin a celkem se provádí 25 cyklů, což je 4200 hodin.				

***Tab. 15** – Zkušební roztok I a II [47]*

Zkušební roztok I (bez krystalické vody)		Zkušební roztok II	
Chlorid sodný NaCl	100 g ± 5 g	Chlorid sodný NaCl	50 g ± 5 g
Chlorid vápenatý	100 g ± 5 g		
Destilovaná voda, pH > 5,5	1000 ml	Destilovaná voda, pH > 5,5	1000 ml

Hodnocení zkoušky se provádí v souladu s tab. 16 a porovnává se soulad mezi výsledky vzorku 3 a vzorku A. Každý vzorek se opatřuje vlastní fotodokumentací počátečních a konečných výsledků zkoušky, která se stane součástí protokolu.[47]

***Tab. 16** – Parametry hodnocení systému PKO po zkoušce CHRL II [47]*

Metoda hodnocení	**Parametry na stav po zkoušce**	
	Vzorek 3	**Vzorek A**
ČSN EN ISO 4628 – 2 (Puchýřování)	0 (S0)	0 (S0)
ČSN EN ISO 4628 – 3 (Prorezavění)	Ri 0	Ri 0
ČSN EN ISO 4628 – 4 (Praskání)	0 (S0)	0 (S0)
ČSN EN ISO 4628 – 5 (Odlupování)	0 (S0)	0 (S0)
Korozní tečení v okolí řezu podle ISO 4628-8	c ≤ 6 mm	-
Odtrhová zkouška ČSN EN ISO 4624	3 místa náhodně zvolená	3 místa náhodně zvolená na jednotlivých plochách 1-9
	1) Nesmí nastat adhezní odtržení prvního nátěru/povlaku od ocelového podkladu (v případě zinkování ponorem od zinku), dokud se nedosáhne tahového napětí 5 MPa. 2) Jedna hodnota ze 6-ti měření může dosáhnout minimálně 50% původní hodnoty, minimálně však 3 MPa.	

7. NÁTĚROVÉ SYSTÉMY DLE NORSOK

Následující nátěrové systémy jsou předepsány ve standardu Norsok a definují klíčové kvalitativní vlastnosti povlaku, skladbu povlaku, včetně předúpravy a zejména určení materiálu nebo typu zařízení či konstrukce, pro který je předepsána PKO dle Norsok určená.

Tab. 17 - *Nátěrový Systém č. 1 [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	**Předúprava povrchu**	**Nátěrový systém**	**Minimální tloušťka [µm]**
Uhlíková ocel s max. pracovní teplotou < 120 °C. -ocelové konstrukce -venkovní vybavení, nádrže, potrubí a ventily (neizolované)	Čistota: ISO 8501-1 Sa 2 $^1/_2$ [14] Drsnost: ISO 8503 Střední jakost G[15] (50 µm až 85 µm, R_{y5})	1 základní nátěr s vysokým obsahem zinku: Minimální počet nátěru: 3 Minimální tloušťka celkového nátěrového systému:	60 280

[14] Sa 2 $^1/_2$ – vemi důkladné otryskání: Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okují, rzi, zbytků nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze stíny ve formě skvrn.

[15] Střední jakost G – viz kapitola 4.1.2

***Tab. 18** – Nátěrový systém č. 2 [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	**Předúprava povrchu**	**Nátěrový systém**	**Minimální tloušťka [µm]**
Nátěrový systém č. 2A musí být použit pro všechny povrchy z uhlíkové oceli vystavené provozní teplotě vyšší než 120°C Nátěrový systém č. 2A nebo č. 2B musí být použit pro níže uvedené objekty z uhlíkové oceli: - všechny izolované povrchy nádrží, zásobníků a rozvodů - signalizační stožáry a jeřábová ramena Spodní části paluby zahrnuje rozvody potrubí, plášť nad „splash zone[16]“, bezpečnostní záchranné kabiny (místa, která se v každém projektu musí rozhodnout zvlášť)	Čistota: ISO 8501-1 Sa$2^{1}/_{2}$ Drsnost: ISO 8503 Střední jakost G (50 µm až 85 µm, R_{y5}).	Systém č. 2A: žárový nástřik hliníku nebo slitin hliníku: Těsnění:	200 Pozn.: Dvousložkový epoxidový nátěr pro provozní teploty < 120°C. Nemělo by dojít k měřitelnému překrytí.
		Systém č. 2B: žárový nástřik zinku nebo slitin zinku: Spojovací povlak, který zvyšuje přilnavost mezi vrstvami: Mezivrstva: Vrchní nátěr:	100 Pozn.: Musí být v souladu s požadavky výrobce. 125 75

[16] „Splash zone“ je oblast mezi maximální výškou hladiny moře a maximální výškou dostřiku vody na konstrukci.

Tab. 19 *– Nátěrový systém č. 3 [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	Předúprava povrchu	Nátěrový systém
Vnitřní povrch nádrží z uhlíkové oceli Nátěrový systém č. 3A Tanky pitné vody Nátěrový systém č. 3B Balastní nádrže na vodu Nátěrový systém č. 3C Nádrže pro stabilizovanou naftu, motorovou naftu a kondenzát. Nátěrový systém č. 3D Procesní nádoby < 0,3 MPa < 75°C Nátěrový systém č. 3E Procesní nádoby < 7,0 MPa < 80°C Náterový systém č. 3F Procesní nádoby < 3,0 MPa < 130°C Nátěrový systém č. 3G Nádoby pro skladování metanolu, mono ethyl glycolu atd.	Nátěrový systém č. 3A: čistota: ISO 8501-1 Sa $2^1/_2$ Drsnost: ISO 8503 Střední jakost G (50µm až 85µm, R_{y5}). Nátěrový systém č. 3B: podle předkvalifikace. Jiné nátěrové systémy: jako pro nátěrový systém č. 3A nebo podle doporučení výrobce nátěru.	Obkladové materiály pro nádrže z uhlíkové oceli jsou předmětem speciálního hodnocení, a musí vždy být schválen kupujícím. Co všechno musí být následně hodnoceno: ➢ médium, ➢ pracovní teplota, ➢ pracovní tlak, ➢ zkušenost s výrobkem, ➢ vlastnosti s ohledem na explosivní dekomprese.

Tab. 20 *– Nátěrový systém č. 4 [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	Předúprava povrchu	Nátěrový systém (například)	Tloušťka [µm]
Pochůzné lávky, únikové cesty a stanovené oblasti. Nátěrový systém č. 1 může být použit na jiných částech paluby.	Čistota ISO 8501-1 Sa$2^1/_2$ Drsnost ISO 8503 Střední jakost G (50 µm až 85 µm, R_{y5}).	Protiskluzový epoxidový nátěr:	3000

***Tab. 21** – Nátěrový systém č. 5A [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	Předúprava povrchu	Nátěrový systém (například)	Minimální tloušťka [µm]
Protipožární ochrana na bázi epoxidu.	Čistota ISO 8501-1 Sa $2^1/_2$ Drsnost: ISO 8503 Střední jakost G (50 µm až 85 µm, R_{y5}).	1 základní epoxidový nátěr: nebo 1 epoxidový nátěr s vysokým obsahem zinku: 1x epoxidový spojovací povlak: Minimální tloušťka kompletního nátěrového systému: Následuje: protipožární nátěr na bázi epoxidu.	50 60 25 85

***Tab. 22** – Nátěrový systém č. 5B [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	Předúprava povrchu	Nátěrový systém (například)	Minimální tloušťka [µm]
Protipožární ochrana na bázi cementu.	Čistota ISO 8501-1 Sa $2^1/_2$ Drsnost: ISO 8503 Střední jakost G (50 µm až 85 µm, R_{y5}).	1 epoxidový nátěr s vysokým obsahem zinku 1 nátěr dvousložkového epoxidu: Minimální tloušťka kompletního nátěrového systému: Následuje: protipožární nátěr na bázi epoxidu.	60 200 260

***Tab. 23** – Nátěrový systém č. 6 [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	Předúprava povrchu	Nátěrový systém (například)	Minimální tloušťka [µm]
Nátěrový systém č. 6A: neizolované nerezové oceli, kdy je potřebný nátěr. Hliník, když je požadovaný nátěr.	Lehké tryskání s nekovovým abrazivem neobsahující chloridy pro získání ukotveného profilu přibližně od 25 µm do 85 µm.	1 základní epoxidový nátěr: 1 nátěr dvousložkového epoxidu: <u>1 vrchní nátěr:</u> Minimální tloušťka kompletního nátěrového systému:	50 100 <u>200</u> 225
Nátěrový systém č. 6B: žárově pozinkované oceli, když je potřebný nátěr.	Čištění alkalickým čisticím prostředkem následováno postříkání čistou vodou.		
Nátěrový systém č. 6C: izolované nerezové ocelové potrubí a nádrže při teplotách <150°C.	Lehké tryskání s nekovovým abrazivem neobsahující chloridy pro získání ukotveného profilu přibližně od 25 µm do 85 µm	2 nátěry epoxi - fenolového: Minimální tloušťka kompletního nátěrového systému:	<u>2x125</u> 250

***Tab. 24** – Nátěrový systém č. 7 [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	Předúprava povrchu	Nátěrový systém (například)	Minimální tloušťka [µm]
Nátěrový systém č. 7A: uhlíkové a nerezové oceli v „splash zone[17]“.	Čistota ISO 8501-1 Sa $2^1/_2$ Drsnost: ISO 8503 Střední jakost G (50 µm až 85µm, R_{y5}).	Dvousložkový epoxidový nátěr nebo na nátěr na bázi polyesteru. Minimální počet nátěru: 2 Kompletní nátěrový systém:	600
Nátěrový systém č. 7B: ponořené uhlíkové a nerezové oceli ≤ 50°C		Dvousložkový epoxidový nátěr Minimální počet nátěru: 2 Kompletní nátěrový systém:	350
Nátěrový systém č. 7C: ponořené uhlíkové a nerezové oceli > 50°C		Dvousložkový epoxidový nátěr Minimální počet nátěru: 2 Kompletní nátěrový systém:	350

[17] „Splash zone“ je oblast mezi maximální výškou hladiny moře a maximální výškou dostřiku vody na konstrukci.

***Tab. 25** – Nátěrový systém č. 8 [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	Předúprava povrchu	Nátěrový systém (například)	Minimální tloušťka [µm]
Konstrukční uhlíková ocel s maximální pracovní teplotou ≤ 50°C ve vnitřních, zcela suchých a větraných prostorách. .	Čistota ISO 8501-1 Sa $2^1/_2$	1 nátěr dvousložkového epoxidu: Epoxidový nátěr s vysokým obsahem zinku + epoxidový spojovací nátěr:	150 60+25

***Tab. 26** – Nátěrový systém č. 9 [23]*

Aplikace (pokud není specifikováno jinak)	Předúprava povrchu	Nátěrový systém (například)	Minimální tloušťka [µm]
Velkokapacitní zásobníky z uhlíkové oceli s maximální provozní teplotou do 150°C.	Čistota ISO 8501-1 Sa $2^1/_2$ Drsnost: ISO 8503 Střední jakost G (50 µm až 85 µm,R_{y5}).	2 nátěry epoxidové fenolové: Minimální tloušťka kompletního nátěrového systému:	2x150 300

Nátěrový systém č. 1 (aplikován na uhlíkovou ocel) a nátěrové systémy č. 3B, 4, 7 musí být překvalifikovány dle požadavků uvedených v tab. 27. Překvalifikace musí být provedena také pro nátěrové systémy č. 4 a 5, jestliže součástí kompletního systému je dílenská základní nátěrová hmota. [23]

***Tab. 27** – Překvalifikační testy pro nátěrové materiály [37]*

Zkoušky v souladu s ISO 20340
Ponoření do mořské vody - 4200h (ČSN EN ISO 2812-2) Pro nátěrový systém č. 1,3B,4, 5A, 5B, 7A
Cyklická zkouška stárnutí- 4200h Pro nátěrový systém č. 1,3B, 4, 5A, 5B, 7A
Katodické rozpouštění – 6 měsíců (ČSN EN ISO 15711) Pro nátěrový systém č. 3B, 7A,7B,7C, 1 když se používá ve „splash zone[18]“ nebo „tidal zone[19]“

[18] „Splash zone“ je oblast mezi maximální výškou hladiny moře a maximální výškou dostřiku vody na konstrukci.

[19] „Tidal zone“ je oblast mezi minimální polohou hladiny moře a její maximální polohou.

8. KONSTRUKCE

8.1. PŘÍKLADY KONSTRUKCÍ CHRÁNĚNÉ STANDARDEM NORSOK

***Obr. 32** – Windpark Utgrunden 2000, (Švédsko) [42]*

Windpark Utgrunden [42]

venkovní ochranný systém:		vnitřní ochranný systém:	
Zn-Epoxidová nátěr. hmota	75 µm	*Zn-Epoxidová nátěr. hmota*	70 µm
Epoxidový nátěr	2 x 100 µm	*Epoxidový nátěr*	150 µm
Polyuretanový nátěr	50 µm	*Kompletní nátěrový systém*	220 µm
Kompletní nátěrový systém	325 µm		

***Obr. 33** – Windpark Horns Rev 2003, (Dánsko) [42]*

Hons Rev [42]

venkovní ochranný systém:		vnitřní ochranný systém:	
Metalizace	100 µm	*Metalizace*	80 µm
Epoxidový nátěr	120 µm	*Epoxidový nátěr*	100 µm
Epoxidový nátěr	100 µm	*Epoxidový nátěr*	100 µm
Polyuretanový nátěr	50 µm	Kompletní nátěrový systém	280 µm
Kompletní nátěrový systém	370 µm		

***Obr. 34** – West Alliance 2002, „offshore“ plošina (Singapur) [42]*

***Obr. 35**- Stena Don 2001, „offshore“ plošina (Germany) [42]*

West Alliance a Stena Don [42]

<u>ochranný systém nad hladinou</u>

Zn-Epoxidová nátěr. hmota

Epoxidový nátěr

Polyuretanový nátěr

<u>Ochranný systém pod hladinou</u>

Epoxidový nátěr

9. ZÁVĚR

Jak bylo v rešerši uvedeno, nelze vznik a působení koroze v běžném prostředí zcela eliminovat. Z tohoto důvodu musí všechny firmy (i tuzemské, které dodávají součásti pro prostředí offshore) před započetím výstavby věnovat pozornost volbě materiálu a protikorozní ochraně, která spočívá v posouzení vlivů prostředí (klimatické podmínky, vliv organismů, obsah chloridů a oxidu siřičitého atd.). Důslednou předúpravou povrchu, zvolením vhodných ochranných povlaků/nátěrů a technologických postupů, zajistit dlouhodobý efekt ochrany (životnost) a minimalizovat související náklady.

Tato práce byla zaměřena na standardy protikorozní ochrany Norsok a jsou zde detailně popsány používané typy povlaků, povlakových systémů dle zmíněného standardu. Současně zde byly popsány příčiny vzniku koroze, důsledky působení korozního prostředí, způsoby předúpravy, aplikace a kontrola ochranných systémů k zajištění vyšší životnosti.

V bakalářské práci byla porovnána cyklická zkouška standardu ČSN EN ISO 20340/Norsok se standardem TKP 19B, která urychluje vznik atmosférické koroze. Z tohoto porovnání vyplývá, že obě zkoušky mají sice stejný počet cyklů, tj. 25 i délku zkoušky, tj. 4200 hodin, ale jednotlivé procesy a parametry se liší. Z výsledků je zřejmé, že oba standardy v rámci zkoušky porovnávají identické vlivy, avšak k ověření využívají jiné metody, v jiném sledu (UV záření, kondenzace, působení chloridů a působení chladu) v rámci různých časových intervalů působení a jejich četností. Hodnocení obou standardů vychází ze stejných norem a poskytují výsledná zjištění, včetně doporučení tykajících se účinné ochrany.

10. POUŽITÉ ZDROJE A LITERATURA

[1] HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Stojírenská technologie 2*. 2.díl. Praha: Scientia, spol s r.o., - pedagogické nakladatelství, 2001. ISBN 80-7183-245-6.

[2] Jak vznikne koroze. *REPROF* [online]. Horní Bradlo: REPROF.EU, 2016 [cit. 2016-08-13]. Dostupné z: http://www.reprof.eu/jak-vznikne-koroze-a111

[3] KUDĚLKA, Vladimír, Stanislav KREJČÍ a František DOLÁK. *Povrchové úpravy materiálů, jejich účel a provádění.* In: *Tlakinfo* [online]. Praha: © Copyright DEKRA CZ, a.s., 2016 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=2158

[4] Hempel's coatings for downstream. *HEMPEL* [online]. Lyngby: Hempel A/S, 2015 [cit. 2016-07-26]. [video]. Dostupné z: http://www.hempel.com/en/products/segments/protective/markets/oil-and-gas/downstream

[5] Investice. *KURZYCZ* [online]. Praha: Kurzy.cz, 2016 [cit. 2016-08-11]. Dostupné z: http://www.kurzy.cz

[6] KNOTKOVÁ, Dagmar a Kateřina KREISLOVÁ. *Korozní agresivita atmosfér a metody predikce atmosférické koroze*. Praha: SVÚOM, ©2010. Metody sledování životnosti. ISBN 978-80-87444-03-0.

[7] PAVEL, Novák. *Korozní účinky prostředí na kovy* [online]. Praha, 2009 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_3.pdf. VŠCHT.

[8] JANÍČKOVÁ, Petra. Ochrana proti korozi. In: *Učíme v prostoru* [online]. ČR: Učíme v prostoru, 2007 [cit. 2016-08-16]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2652

[9] Atmosférická koroze. In: *Korozní inženýrství* [online]. Praha: VŠCHT, 2008 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/p_atmos.htm

[10] KAMIS, E. James. Geological Forces Trump Man-Made Global Warming. In: *Plate climatology* [online]. USA: Plate climatology, 2015 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://www.plateclimatology.com/geological-forces-trump-man-made-global-warming-1/

[11] Annual NTN Maps by Year. *National Atmospheric Deposition Program* [online]. Illinois State (USA): NADP Program Office, 2014 [cit. 2016-08-13]. Dostupné z: http://nadp.isws.illinois.edu/ntn/annualmapsByYear.aspx#2014

[12] External treatment. *Convett* [online]. Italy: Convett, 2016 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://convett.com/radiators/tratment/

[13] ČSN EN ISO 9223. *Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosfér – Klasifikace, stanovení a odhad.* ICS 77.060. vyd. Praha: SVÚOM, září 2012.

[14] HEMPEL [online]. *Jak vybrat správný nátěrový systém.* © 2014. [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://www.hempel.cz/

[15] KOLÁŘ, Jan. Proč je voda v moři slaná? In: *Přírodovědci.cz* [online]. Praha: Přírodovědecká fakulta UK, 2014 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: https://www.prirodovedci.cz/zeptejte-se-prirodovedcu/806

[16] SUPÍK Adam. *Výuka na gymnáziu podporovaná ICT* [online]. ČR: OPVK (2013). CZ.1.07/1.5.00/34.0794, [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://slideplayer.cz/slide/2752928/

[17] Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids. *Fundamentals of environmental measurements* [online]. Fairborn (Ohio): FONDRIEST ENVIRONMENTAL, 2016 [cit. 2016-08-11]. Dostupné z: http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/#cond16

[18] KNOTKOVÁ, Dagmar a Kateřina KREISLOVÁ. *Korozní chování kovů a kovových povlaků v atmosférickém prostředí*. Praha: SVÚOM, © 2010. Metody sledování životnosti. ISBN 978-80-87444-01-6.

[19] PETR, Novák. *Druhy koroze kovů* [online]. Praha, 2009 [cit. 2016-08-16]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_2.pdf.

[20] TAMBE S. P., JAGTAP S. D., CHAURASIYA A. K., JOSHI Kishor Kumar. *Evaluation of microbial corrosion of epoxy coating by using sulphate reducing bacteria*. India: Asian Paints Ltd., Prog. Org. Coat 94, 49-55 (2016). doi:10.1016/j.porgcoat.2016.01.009

[21] Mikrobiální koroze. In: *Korozní inženýrství* [online]. Praha: VŠCHT, 2008 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/p_mikrob.htm

[22] YEBRA, Meseguer, D., Byborg, S. RASMUSSEN, C. WEINELL a Thorslund L. PEDERSEN. Marine Fouling and Corrosion for Off-Shore Ocean Energy Setups. In: *ICOE* [online]. Dánsko: ICOE, 2010 [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: https://www.icoe-conference.com/publication/marine_fouling_and_corrosion_protection_for_off_shore_ocean_energy_setups/

[23] *NORSOK STANDARD M-501 - Surface preparation and protective coating*. IMO MSC215(82) Ed.6, únor 2012.Standartds Norway.

[24] ČSN EN ISO 12944-4. *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 4: Typy povrchů podkladů a jejich příprava.* ICS 87.020. Oprava N1. ČR. Praha: ÚNMZ, prosinec 1998

[25] *Povrcháři* [online]. Jaroměř, 2010, **3**(10) [cit. 2016-08-14]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201010_povrchari.pdf

[26] Inšpekčné prístroje. *Proinex* [online]. Ostrava: Proinex Instruments, 2016 [cit. 2016-08-14]. Dostupné z: http://www.proinex.cz/sk/iso-komparator-etalon-drsnosti.html

[27] ČSN EN ISO 8503-1. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů – Část 1: Specifikace a definice pro hodnocení otryskaných povrchů s pomocí ISO komparátorů profilu povrchu.* ICS 25.220.10. 2. vyd. Praha: SVÚOM, srpen 2012.

[28] Elcometr 125 ISO komparátor. *Gamin* [online]. Ostrava: Gamin, 2008 [cit. 2016-08-13]. Dostupné z: http://www.gamin.cz/katalog/merici-a-laboratorni-pristroje/priprava-povrchu---drsnost/elcometer-125--iso-komparator

[29] ČSN EN ISO 8502-9. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 9: Provozní metoda pro konduktometrické stanovení solí rozpustných ve vodě.* ICS 87.020; 25.220.10. 1. vyd. Praha SVÚOM, květen 2001

[30] Breslova sada. *Proinex Instruments* [online]. Ostrava: Proinex Instruments, 2016 [cit. 2016-08-16]. Dostupné z: http://www.proinex.cz/PDF/%C4%8Cistota%20podkladu/%C4%8Cistota%20povrchu%20-%20Breslova%20sada.pdf

[31] Elacometr 138 Breslova sada. Gamin [online]. Ostrava: Gamin, 2016 [cit. 2016-08-16]. Dostupné z: http://www.gamin.cz/katalog/merici-a-laboratorni-pristroje/priprava-povrchu---cistota/elcometer-138-breslova-sada-pro-mereni-obsahu-soli

[32] KUKLÍK, Vlastimil a Jan KUDLÁČEK. *Žárové zinkování*. Havlíčkův Brod: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014. ISBN 978-80-905298-2-3.

[33] ŠILDBERGER, RADEK. *Optimalizace parametrů nástřiku elektrickým obloukem* [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-08-01]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=7516

[34] HANS, Eriksson a Annikki HIRNOVÁ. Příručka žárového zinkování. In: *MEA* [online]. Stockholm: AČSZ, 2005 [cit. 2016-08-01]. Dostupné z: http://zarova-zinkovna.mea.cz/upload/ck/files/prirucka-zaroveho-zinkovani.pdf

[35] VONDRA, Svatopluk. *ČVUT Praha.* [elektronická pošta]. Message to: dom.fer@seznam.cz. 12 Aug 2016, 10:14:40 AM [cit. 2016-08-13]. Osobní komunikace.

[36] Jotachar JF750. *JOTUN* [online]. Dely Ibrahim (Alžírsko): Jotun Algerie SARL, 2015 [cit. 2016-08-13]. Dostupné z: http://www.jotun.com/ru/en/b2b/paintsandcoatings/products/Jotachar-JF750.aspx?q=Mesh-free

[37] ČSN EN ISO 20340. *Nátěrové hmoty – Požadavky na odolnost nátěrových systémů konstrukcí vystavených přímořským a obdobným podmínkám.* ICS 87.040. Praha: SVÚOM, prosinec 2009.

[38] ČSN EN ISO 16474-1. *Nátěrové hmoty – Metody vystavení laboratorním zdrojům světla – Část 1: Obecný návod.* ICS 87.040. Praha: SVÚOM, říjen 2014.

[39] SUTTER F., FERNANDEZ-GARCÍA A., WETTE J., HELLER P. *Comparison and evaluation of accelerated aging tests for reflectors.* Španělsko: Energy Procedia 49 (2014) 1718 – 1727. doi: 10.1016/j.egypro.2014.03.18.

[40] ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky soulnou mlhou.* ICS 77.060. SVÚOM, červenec 2006.

[41] GAJDOŠÍK, Miroslav. *Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů*. Brno, 2015. Mendelova univerita v Brně.

[42] Hempel. *Corrosion protection for wildmills onshore and offshore*. 2004. [cit. 2016-08-03].

[43] Zkušební metody pro hodnocení přilnavosti organických povlaků. *Tribotechnika* [online]. Žilina (Slovensko): TechPark, Copyright©2008-2016 [cit. 2016-08-14]. Dostupné z: http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-52013/zkusebni-metody-pro-hodnoceni-prilnavosti-organickych-povlaku.html

[44] ČSN EN ISO 4624. *Nátěrové hmoty – Odtrhová zkouška přilnavost.* ICS 87.040. SVÚOM, prosinec 2003.

[45] PLATNÁ LEGISLATIVA SYSTÉMŮ PROTIKOROZNÍ OCHRANY OCELOVÝCH VÝROBKŮ PRO STAVBY POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ. *Povrchová úprava* [online]. Praha: Mott MacDonald, Copyright©1998-2010 [cit. 2016-08-16]. Dostupné z: http://galvanovny.cz/clanek/47/platna-legislativa-systemu-protikorozni-ochrany-ocelovych-vyrobku-pro-stavby-pozemnich-komunikaci

[46] *Povrcháři* [online]. Jaroměř, 2013, **6**(2) [cit. 2016-08-14]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201302_povrchari.pdf

[47] *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací – Protikorozní ochrana ocelových mostů a konstrukcí*. In: Praha: Ministerstvo dopravy - odbor pozemních komunikací, 2013, ročník 5, číslo 19.

11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 *– Průběh korozní reakce železa ve vrstvě elektrolytu [8]* 13
Obr. 2 *- Elektrochemický mechanismus atm. koroze železa s oxidem siřičitým [9]* 14
Obr. 3 - *Celosvětová atmosférická koncentrace oxidu siřičitého (2015) [10]* 15
Obr. 4 – *Salinita (slanost) v povrchové vrstvě vody světových moří (2014) [15]* 18
Obr. 5 *– Důlkové napadání korozivzdorné oceli [18]* 18
Obr. 6 *– Štěrbinová koroze korozivzdorné oceli pod těsněním [19]* 19
Obr. 7 *– Korozní praskání korozivzdorné oceli [18]* 19
Obr. 8 *- Zkušební vzorky [20]* 21
Obr. 9 *- Rozdíl znečištění povrchu lopatky (vlevo – nátěr 1, vpravo – nátěr 2) [22]* 22
Obr. 10 *– Změna výkonu přílivové turbíny v čase (vodorovná osa – rok, svislá osa – průměrný denní výkon) [19]* 22
Obr. 11 *- ISO komparátor v souladu s ČSN EN ISO 8503 [28]* 25
Obr. 12 *- Výchozí stavy oceli před otryskáním [14]* 26
Obr. 13 *- Změna čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 [14]* 26
Obr. 14 *- Breslova sada [31]* 28
Obr. 15 *– Princip galvanického pokovení [32]* 29
Obr. 16 *- Schéma metalizace [33]* 29
Obr. 17 *– Schématické znázornění sledu operací pro suchý proces zinkování [32]* 31
Obr. 18 *- Schématické znázornění sledu operací pro mokrý proces zinkování [32]* 31
Obr. 19 *- Schématické znázornění sledu operací pro odstředivé žárové zinkování [32]* 31
Obr. 20 *– Duplexní systém [32]* 32
Obr. 21 *– Protipožární ochranný povlak se síťovinou [36]* 34
Obr. 22 *– Zkušební vzorek dle ČSN EN ISO 20340* 35
Obr. 23 *– Zkušební komora pro UV záření a kondenzaci [39]* 36
Obr. 24 *– Zkušební komora pro zkoušku v NSS [41]* 36
Obr. 25 *- praskání a odlupování [42]* 37
Obr. 26 *- Puchýřky a prorezavění [42]* 38
Obr. 27 *– Puchýřky a korozní tečení v okolí uměle vytvořeného řezu [42]* 38
Obr. 28 *– Kontrola stupně křídování [42]* 38
Obr. 29 *– Grafické znázornění zkoušky odtrhu* 39
Obr. 30 *– Zkušební vzorek A [41]* 41
Obr. 31 *– Zkušební vzorek 3 [41]* 41
Obr. 32 *– Windpark Utgrunden 2000, (Švédsko) [42]* 50
Obr. 33 *– Windpark Horns Rev 2003, (Dánsko) [42]* 50
Obr. 34 *– West Alliance 2002, „offshore“ plošina (Singapur) [42]* 51
Obr. 35 *- Stena Don 2001, „offshore“ plošina (Germany) [42]* 51

12. SEZNAM TABULEK

Tab. 1 *– Množství vody na povrchu kovu [6]* 14
Tab. 2 *– Kondenzace vlhkosti na povrchu [6]* 14
Tab. 3 *- Úbytky uhlíkové oceli a zinku v závislosti na kategorii korozní agresivity atmosféry [12]* 15
Tab. 4 *– Klasifikace korozní agresivity dle ČSN EN ISO 9223 [13]* 16
Tab. 5 *- Kategorie korozní agresivity vody a půdy [14]* 17
Tab. 6 *- Formulace vybrána k testování [20*] 20
Tab. 7 *– Peněžní ztráta vlivem změny výkonu [22]* 22
Tab. 8 *- Jmenovité hodnoty a tolerance profilů povrchu segmentů ISO komparátorů profilu povrchu [27]* 24
Tab. 9 *- Mezní hodnoty stupňů drsnosti [27]* 25
Tab. 10 *– Porovnání povlaků [32]* 30
Tab. 11 *– Postup cyklické zkoušky dle ČSN EN ISO 20340 [37]* 35
Tab. 12 *– Parametry hodnocení systému PKO po zkoušce ČSN EN ISO 20340 [37]* 37
Tab. 13 *– Místa odtržení v souladu s ČSN EN ISO 4624 (viz obr. 29) [44]* 39
Tab. 14 *– Průběh zkoušky CHRL II (1 cyklus) [41]* 42
Tab. 15 *– Zkušební roztok I a II [41]* 42
Tab. 16 *– Parametry hodnocení systému PKO po zkoušce CHRL II [41]* 43
Tab. 17 *- Nátěrový Systém č.1 [20]* 44
Tab. 18 *– Nátěrový systém č. 2 [20]* 45
Tab. 19 *– Nátěrový systém č. 3 [20]* 46
Tab. 20 *– Nátěrový systém č. 4 [20]* 46
Tab. 21 *– Nátěrový systém č. 5A [20]* 47
Tab. 22 *– Nátěrový systém č. 5B [20]* 47
Tab. 23 *– Nátěrový systém č. 6 [20]* 48
Tab. 24 *– Nátěrový systém č. 7 [20]* 48
Tab. 25 *– Nátěrový systém č. 8 [20]* 49
Tab. 26 *– Nátěrový systém č. 9 [20]* 49
Tab. 27 *– Překvalifikační testy pro nátěrové materiály [32]* 49

13. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - *Složení mořské soli [10]* 17

14. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

HDP – hrubý domácí produkt

KČ – Česká koruna

RH – (relative humidity) relativní vlhkost

ppb – (part per bilion) miliardtina

FeOOH – oxid železitý

pH – (potential hydrogen) potenciál vodíku

Fe – železo

Ni – nikl

Cu – měď

Mo – molybden

Cr - chrom

NaCl – chlorid sodný

Zn - zinek

Al – hliník

AlMg5 – slitina hliníku a hořčíku

CHRL – chemicky rozmrazovací látky

ČSN – Česká státní norma

ISO – (International Organization for Standardization) Mezinárodní organizace pro normalizaci

EN - Evropská norma

TKP – Technické kvalitativní podmínky staveb

NSS – (Neutral Salt Spray) Neutrální solná mlha

PKO – Protikorozní ochrana

15. SEZNAM POUŽITÝCH JEDNOTEK

μm – mikrometr (jednotka délky)

g – gram (jednotka hmotnosti)

m^2 – metr čtvereční (jednotka obsahu)

l – litr (jednotka objemu)

d – (day) den (jednotka času)

mg – miligram (jednotka hmotnosti)

μS – mikrosiemens (jednotka vodivosti)

cm – centimetr (jednotka délky)

mm – milimetr (jednotka délky)

MW – megawatt (jednotka výkonu)

cm – centimetr (jednotka délka)

°C – Celsiův stupeň (jednotka teploty)

kg – kilogram (jednotka hmotnosti)

MPa – megapascal (jednotka tlaku)

h – hodina (jednotka času)

ml – mililitry (jednotka objemu)

cm^2 – centimetr čtvereční (jednotka obsahu)

mm/min – milimetr za minutu (jednotka rychlosti)

nm – nanometr (jednotka vlnové délky)