

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Možnosti protikorozní ochrany při sanaci ocelových
konstrukcí

Autorka práce: Bc. Sabina Štěřbová

Vedoucí práce: Ing. Jan Kubát, Ph.D.

Plzeň 2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Sabina ŠTĚRBOVÁ**
Osobní číslo: **A21N0105P**
Studijní program: **N0732P260002 Stavební inženýrství – Moderní budovy**
Specializace: **Navrhování a provádění budov**
Téma práce: **Možnosti protikorozní ochrany při sanaci ocelových konstrukcí**
Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte podrobnou rešerši:
 - druhy koroze, korozivní prostředí, korozní agresivita, protikorozní ochrana (PKO)
 - technologické postupy při rekonstrukci ocelových konstrukcí
 - možnosti mechanické abraze před prováděním protikorozní ochrany oceli.
2. Navrhněte a proveďte experiment pro stanovení účinnosti jednotlivých technologických postupů pro opakované provádění protikorozní ochrany existujících ocelových konstrukcí.
3. Zpracujte vyhodnocení experimentu a interpretaci výsledků.
4. Navrhněte technologické postupy pro provádění PKO existujících konstrukcí.

Rozsah diplomové práce: **60 – 80 stran A4**
Rozsah grafických prací: **práce se skládá z textových a obrazových částí**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

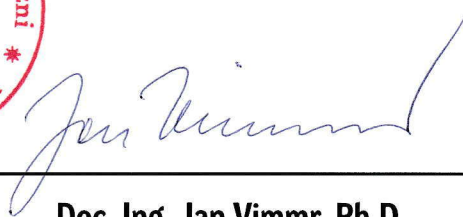
1. ČSN EN 1993-1: Navrhování ocelových konstrukcí
2. Základy degračních procesů – Lasek
3. Koroze a protikorozi ochrana kovů – Bartoníček
4. Navrhování protikorozi ochrany – Bartoníček
5. Korozi vlastnosti kovových konstrukčních materiálů – Černý
6. Poruchy, degradace, rekonstrukce – Witzany
7. Principles and Prevention of Corrosion – Jones
8. Handbook of Smart Coatings for Materials Protection – Makhoulf
9. Protikorozi ochrana kovových konstrukcí – Profesis ČKAIT – Korbelář, Greiplová
10. Koroze kovů – Novák

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Kubát, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. května 2023**



Doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.
vedoucí katedry

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Možnosti protikorozní ochrany při sanaci ocelových konstrukcích“ vypracovala samostatně pod odborným vedením Ing. Jana Kubáta, Ph.D. s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou řádně ocitovány a uvedeny v souladu s ČSN ISO 690 Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů.

V Plzni dne:

Podpis:

Bc. Sabina Štěrbová

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Janu Kubátovi, Ph.D. za odborné vedení, užitečné rady a připomínky k práci, a především čas strávený při konzultacích. Dále bych chtěla poděkovat panu Zdeňku Kalounerovi za přesné nařezání ocelových plechů pro experimentální část diplomové práce. Poděkování patří také technickému řediteli firmy HF servis, kterým je pan Michal Founě, za poskytnutí produktů pro uskutečnění experimentu. Velké poděkování patří panu Ing. Vladislavu Langovi, Ph.D., specialistovi na měření technologických tepelných procesů z výzkumného centra NTC Západočeské univerzity v Plzni, za velmi cenné rady, a hlavně přístup a ovládání profesionálního zařízení pro výzkum, kterým byla v tomto případě korozní komora. V neposlední řadě, bych chtěla poděkovat svému partnerovi, rodině a přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu mého studia.

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Plzeňské podnikatelské vouchery č. 2022.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá protikoroziční ochranou ocelových konstrukcí v oblasti stavitelství. Cílem je studie koroze ocelových konstrukcí, přípravy povrchu a metod protikoroziční ochrany. Teoretická část popisuje korozi, faktory ovlivňující korozi, korozní prostředí a typy konstrukčních materiálů včetně druhů korozního napadení. Zabývá se také navrhováním protikoroziční ochrany, životností ochrany a metodami úpravy povrchu. Experimentální část se zaměřuje na vizuální hodnocení vzorků ocelového materiálu, které byly ošetřeny produkty pro oddálení bleskové koroze. Použity byly různé metody úpravy povrchu a vzorky byly testovány v různých podmínkách. Cílem bylo stanovit časovou rezervu mezi úpravou povrchu a aplikací protikoroziční ochrany pro lepší technologické postupy při sanaci ocelových konstrukcí.

Klíčová slova

koroze, ocel, příprava povrchu, metody, protikoroziční ochrana, korozní zkoušky, monitoring, blesková koroze, vizuální vyhodnocení

Abstract

This master's thesis addresses the topic of anticorrosive protection of steel structures in the field of construction. Its objective is to study the corrosion of steel structures, surface preparation, and methods of anticorrosive protection. The theoretical part describes corrosion, factors influencing corrosion, corrosive environments, and types of construction materials. It also covers the design of anticorrosive protection, the service life of protection, and surface preparation methods. The experimental part focuses on the visual evaluation of steel samples treated with products to delay flash rusting. Various surface preparation methods are employed, and the samples are tested under different conditions. The aim of the study is to determine the time interval between surface preparation and the application of anticorrosive protection to improve the technological procedures in the rehabilitation of steel structures.

Keywords

corrosion, steel, surface preparation, methods, corrosion protection, corrosion tests, monitoring, flash corrosion, visual evaluation

Bibliografická citace VŠKP

ŠTĚRBOVÁ, Sabina. *Možnosti protikorozní ochrany při sanaci ocelových konstrukcí*. Plzeň, 2023. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra mechaniky. Vedoucí práce Ing. Jan Kubát, Ph.D.

Obsah

Úvod.....	14
Teoretická část	15
1 Koroze.....	15
1.1 Definice koroze	15
1.2 Hlavní činitelé ovlivňující korozi.....	15
1.2.1 Stav materiálu	16
1.2.2 Stav korozního prostředí.....	17
1.2.3 Konstrukce výrobku	17
1.3 Problémy a ztráty vzniklé korozí	17
2 Korozní prostředí	19
2.1 Atmosféra.....	19
2.2 Vodní prostředí.....	24
2.2.1 Vody	24
2.2.2 Půdy.....	26
3 Typy konstrukčních materiálů používaných pro ocelové konstrukce a jejich koroze	27
3.1 Nelegované, nízkolegované a středně legované oceli a slitiny	28
3.2 Nízkolegované oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi	29
4 Druhy korozního napadení.....	31
4.1 Rovnoměrná koroze	33
4.2 Nerovnoměrná a skvrnitá koroze	33
4.3 Bodová a důlková koroze.....	33
4.4 Štěřbinová koroze.....	34
4.5 Nitková koroze	34
4.6 Podpovrchová koroze.....	34
4.7 Selektivní koroze.....	34
4.8 Mezikrystalová koroze	35
4.9 Transkrystalová koroze	35
4.10 Korozní praskání	35
4.11 Korozní únava	35
4.12 Vibrační koroze	36
4.13 Napadení vodíkem	36

4.14 Bimetalická (galvanická) koroze.....	36
5 Protikorozní ochrana.....	36
5.1 Hlediska při postupu navrhování protikorozní ochrany.....	36
5.2 Životnost protikorozní ochrany.....	37
5.3 Postup navrhování protikorozní ochrany	39
5.4 Metody úpravy povrchů	41
5.4.1 Ruční a mechanizované čištění	42
5.4.2 Tryskání.....	44
5.4.2.1 Abraziva.....	47
5.4.2.2 Suché tryskání.....	49
5.4.2.3 Mokrý tryskání.....	52
5.4.3 Vysokotlaké tryskání vodou	55
5.5 Druhy protikorozní ochrany	61
5.5.1 Volba materiálu	61
5.5.2 Úprava korozního prostředí.....	62
5.5.3 Konstrukční úpravy a úprava výrobní technologie	63
5.5.4 Elektrochemické způsoby ochrany.....	64
5.5.4.1 Katodická ochrana	64
5.5.4.2 Anodická ochrana	65
5.5.4.3 Porovnání anodické a katodické ochrany	66
5.5.5 Ochranné povlaky.....	67
5.5.5.1 Organické povlaky.....	67
5.5.5.2 Anorganické (nekovové) povlaky.....	67
5.5.5.3 Kovové povlaky.....	68
5.5.6 Chytré nátěry pro ochranu proti korozi	69
5.5.7 Kombinace metod ochrany proti korozi.....	70
5.6 Korozní zkoušky a monitoring.....	70
5.7 Kontrola protikorozní ochrany	72
Praktická část.....	73
6 Experimentální materiál.....	73
7 Metody úpravy povrchu.....	76
7.1 IMPACLEAN AQUA C316	76
7.1.1 Aplikace nízkotlakým stříkáním.....	76

7.1.2 Aplikace ponorem	78
7.2 IMPASOL HCA-C	79
7.2.1 Aplikace natíráním	79
8 Použité přístroje	82
9 Popis jednotlivých zkoušek a zkušebních prostředí	84
9.1 Vnitřní prostředí	84
9.2 Vnější prostředí	85
9.3 Cyklická korozní komora	87
10 Vizuální vyhodnocení experimentu a diskuze výsledků	91
10.1 Vnitřní prostředí	91
10.2 Vnější prostředí	94
10.3 Cyklická korozní komora	100
11 Návrh dalšího rozšíření experimentu	112
12 Závěr	113
13 Seznam bibliografických odkazů	115
14 Seznam příloh	118

Seznam obrázků

Obr. 1: Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací SO ₂ v Ostravě-Porubě mezi lety 1970-2016, Zdroj: (ČHMÚ, 2018).....	18
Obr. 2: Elektrochemický mechanismus atmosférické koroze železa v atmosféře s oxidem siřičitým, Zdroj: (Novák, 2006).....	19
Obr. 3: Objemné korozní produkty na hlavním nosníku kovových plastik Sloupu nejsvětější Trojice v Oloumoci, Zdroj: (Novák, 2006).....	20
Obr. 4: Místa snadnější kondenzace vlhkosti a vzniku elektrolytu, Zdroj: (Lasek, 2013)...	21
Obr. 5: Porovnání atmosférické koroze v nepřítomnosti • a přítomnosti ○ SO ₂ , Zdroj: (Jones, 2014).....	22
Obr. 6: Pole roční průměrné koncentrace SO ₂ v roce 2021, Zdroj: (ČHMÚ, 2022).....	23
Obr. 7: Průběh korozní rychlosti nízkolegované oceli a zinku v půdě, Zdroj: (Korbelář, Geiplová, 2018).....	27
Obr. 8: Vzhled dlouhodobě exponované ocelové konstrukce z běžné uhlíkové oceli a z oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, Zdroj: (SVÚOM s.r.o., Praha (Výzkumný záměr v letech 2004-2010)).....	30
Obr. 9: Druhy korozního napadení, Zdroj: (Bartoníček, 1966).....	31
Obr. 10: Druhy korozního napadení, Zdroj: (Bartoníček, 1966).....	32
Obr. 11: Křivky únavy, Zdroj: (Kudláček, 1994).....	35
Obr. 12: Časový postup řešení protikorozní ochrany, Zdroj: (Bartoníček, 1980).....	39
Obr. 13: Stupně zarezavění, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-1, 2007).....	42
Obr. 14: Stupně přípravy povrchu dosahované ručním a mechanizovaným čištěním – St 2, Zdroj: (Nevěčný, 2012).....	43
Obr. 15: Stupně přípravy povrchu dosahované ručním a mechanizovaným čištěním – St 3, Zdroj: (Nevěčný, 2012).....	43
Obr. 16: Stupně přípravy povrchu získané tryskáním – St 1, Zdroj: (Nevěčný, 2012).....	45
Obr. 17: Stupně přípravy povrchu získané tryskáním – St 2, Zdroj: (Nevěčný, 2012).....	45
Obr. 18: Stupně přípravy povrchu získané tryskáním – St 2½, Zdroj: (Nevěčný, 2012)...	46
Obr. 19: Stupně přípravy povrchu získané tryskáním – St 3, Zdroj: (Nevěčný, 2012).....	46
Obr. 20: Počáteční stav povrchu – DC C, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021).....	57
Obr. 21: Počáteční stav povrchu a stupeň přípravy – DC C Wa 1, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021).....	57

Obr. 22: Počáteční stav povrchu a stupeň přípravy – DC C Wa 2, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021).....	57
Obr. 23: Počáteční stav povrchu a stupeň přípravy – DC C Wa 2½, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021).....	58
Obr. 24: Lehký stupeň bleskové koroze – L, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021).....	60
Obr. 25: Střední stupeň bleskové koroze – M, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021).....	60
Obr. 26: Vysoký stupeň bleskové koroze – H, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021).....	61
Obr. 27: Základní charakteristika korozního prostředí, Zdroj: (Bartoníček, 1980).....	62
Obr. 28: Katodická ochrana přiloženým proudem, Zdroj: (Jones, 2014).....	64
Obr. 29: Katodická ochrana s obětovanou anodou, Zdroj: (Jones, 2014).....	65
Obr. 30: Schématické znázornění autonomní odezvy chytrého povlaku na environmentální spouštěče, Zdroj: (Makhlouf, 2014).....	69
Obr. 31: Vzhled vzorku č. 1 před a po základní přípravě povrchu, Zdroj: (autor, 2023)....	73
Obr. 32: Vzhled vzorku č. 19 před a po základní přípravě povrchu, Zdroj: (autor, 2023)...	74
Obr. 33: Vzorky č. 4, 5 a 6 ošetřeny nízkotlakým stříkáním umístěny do vnitřního prostředí, Zdroj: (autor, 2023).....	76
Obr. 34: Vzorky č. 16, 17 a 18 ošetřeny nízkotlakým stříkáním umístěny do vnějšího prostředí, Zdroj: (autor, 2023).....	76
Obr. 35: Vzorky č. 28, 29 a 30 ošetřeny nízkotlakým stříkáním umístěny do korozní komory, Zdroj: (autor, 2023).....	77
Obr. 36: Vzorky č. 37 a 38 otryskané pouze čistou vodou, Zdroj: (autor, 2023).....	77
Obr. 37: Vzorky č. 7, 8 a 9 ponořeny do koncentrátu, umístěny do vnitřního prostředí, Zdroj: (autor, 2023).....	78
Obr. 38: Vzorky č. 19, 20 a 21 ponořeny do koncentrátu, umístěny do vnějšího prostředí, Zdroj: (autor, 2023).....	78
Obr. 39: Vzorky č. 31, 32 a 33 ponořeny do koncentrátu, umístěny do korozní komory, Zdroj: (autor, 2023).....	79
Obr. 40: Vzorky č. 10, 11 a 12 opatřeny nátěrem a umístěny do vnitřního prostředí, Zdroj: (autor, 2023).....	79
Obr. 41: Vzorky č. 22, 23 a 24 opatřeny nátěrem a umístěny do vnějšího prostředí, Zdroj: (autor, 2023).....	80
Obr. 42: Vzorky č. 34, 35 a 36 opatřeny nátěrem a umístěny do korozní komory, Zdroj: (autor, 2023).....	80

Obr. 43: Vzorky č. 39, 40 a 41 opatřeny nátěrem v několika vrstvách, umístěny do korozní komory, Zdroj: (autor, 2023).....	81
Obr. 44: Vzorky č. 42 a 43 opatřeny nátěrem v několika vrstvách, umístěny do korozní komory, Zdroj: (autor, 2023).....	81
Obr. 45: Tlaková myčka Kärcher K5 Compact, Zdroj: (karcher.cz, 2023).....	82
Obr. 46: Cyklická korozní komora Ascott o objemu 450 l s nádobou na solný roztok, Zdroj: (autor, 2017).....	83
Obr. 47: Schéma možného zapojení konstrukcí zkušební korozní komory, Zdroj: (ČSN EN ISO 9227, 2023).....	83
Obr. 48: Teplota a rosný bod za 96 hodin (tj. 26.5. – 29.5.), Zdroj: (ČHMÚ, 2023).....	85
Obr. 49: Relativní vlhkost za 96 hodin (tj. 26.5. – 29.5.), Zdroj: (ČHMÚ, 2023).....	86
Obr. 50: Hodnoty průměrné, minimální a maximální teploty za posledních 90 dní, Zdroj: (ČHMÚ, 2023).....	86
Obr. 51: Umístění vzorků s nátěrem HCA-C v různých vrstvách a poloha sběrného zařízení v korozní komoře, Zdroj: (Lang, 2023).....	88
Obr. 52: Umístění vzorků třetí sady a poloha sběrných zařízení v korozní komoře, Zdroj: (autor, 2023).....	88
Obr. 53: Vzorek č. 1 (vlevo) a vzorek č. 2 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	91
Obr. 54: Vzorek č. 3 (vlevo) a vzorek č. 4 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	91
Obr. 55: Vzorek č. 5 (vlevo) a vzorek č. 6 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	92
Obr. 56: Vzorek č. 7 (vlevo) a vzorek č. 8 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	92
Obr. 57: Vzorek č. 9 (vlevo) a vzorek č. 10 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	92
Obr. 58: Vzorek č. 11 (vlevo) a vzorek č. 12 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	93
Obr. 59: Vzorek č. 13 po jednotlivých časových intervalech, tj po 24,60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	94
Obr. 60: Vzorek č. 14 po jednotlivých časových intervalech, tj po 24,60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	94

Obr. 61: Vzorek č. 15 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	94
Obr. 62: Vzorek č. 16 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24,60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	95
Obr. 63: Vzorek č. 17 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24,60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	95
Obr. 64: Vzorek č. 18 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	95
Obr. 65: Vzorek č. 19 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	96
Obr. 66: Vzorek č. 20 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	96
Obr. 67: Vzorek č. 21 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	96
Obr. 68: Vzorek č. 22 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	97
Obr. 69: Vzorek č. 23 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	97
Obr. 70: Vzorek č. 24 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	97
Obr. 71: Vzorek č. 24 po 156 hodinách expozice, Zdroj: (autor, 2023).....	98
Obr. 72: Sada vzorků po zkoušce NSS, expozice 4 hod, Zdroj: (Lang, 2023).....	100
Obr. 73: Sada vzorků po zkoušce NSS, expozice 24 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	100
Obr. 74: Vzorek č. 25 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	101
Obr. 75: Vzorek č. 26 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	101
Obr. 76: Vzorek č. 27 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	102
Obr. 77: Vzorek č. 28 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	102

Obr. 78: Vzorek č. 29 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	103
Obr. 79: Vzorek č. 30 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	103
Obr. 80: Vzorek č. 31 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	104
Obr. 81: Vzorek č. 32 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	104
Obr. 82: Vzorek č. 33 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	105
Obr. 83: Vzorek č. 34 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	105
Obr. 84: Vzorek č. 28 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	106
Obr. 85: Vzorek č. 35 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	106
Obr. 86: Vzorky s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 2 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	108
Obr. 87: Vzorek č. 39 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	109
Obr. 88: Vzorek č. 40 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	109
Obr. 89: Vzorek č. 41 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	110
Obr. 90: Vzorek č. 42 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	110
Obr. 91: Vzorek č. 43 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod, Zdroj: (autor, 2023).....	111

Seznam tabulek

Tab. 1: Stupně korozní agresivity atmosféry, Zdroj: (ČSN EN ISO 9223, 2012).....	23
Tab. 2: Směrné rychlosti nízkolegovaných ocelí, Zdroj: (ČSN EN ISO 9224, 2012).....	29
Tab. 3: Směrné korozní rychlosti ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, Zdroj: (ČSN EN ISO 9224, 2012).....	30
Tab. 4: Informativní návrhové životnosti pozemních staveb, Zdroj: (ČSN EN 1990 ed. 2, 2021).....	38
Tab. 5: Stupně přípravy pro ruční a mechanizované čištění, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-1, 2007).....	42
Tab. 6: Stupně přípravy dosažitelné otryskáním, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-1, 2007).....	45
Tab. 7: Specifikace a označení základních tryskových materiálů, Zdroj: (ČSN EN ISO 8504-2, 2020).....	47
Tab. 8: Otryskávání za sucha, Zdroj: (ČSN EN ISO 8504-2, 2020).....	49
Tab. 9: Otryskávání za mokra, Zdroj: (ČSN EN ISO 8504-2, 2020).....	52
Tab. 10: Definice typů čištění/otryskávání, Zdroj: (Technická směrnice Hempel, 2021)...	55
Tab. 11: Stupně přípravy povrchu po vysokotlakém tryskání vodou, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021).....	56
Tab. 12: Stupně bleskové koroze, Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021).....	59
Tab. 13: Srovnání anodické a katodické ochrany, Zdroj: (Jones, 2014).....	66
Tab. 14: Označení vzorků a jejich podmínek, Zdroj: (autor, 2023).....	75
Tab. 15: Parametry prostředí, Zdroj: (ČSN EN ISO 11844-1, 2021).....	84
Tab. 16: Hmotností úbytky a přírůstky pro kategorii IC 2, Zdroj: (ČSN EN ISO 11844-1, 2021).....	85
Tab. 17: Zkušební podmínky, Zdroj: (ČSN EN ISO 9227, 2017).....	89
Tab. 18: Kontrola množství mlhy ve sběrném zařízení, Zdroj: (autor, 2023).....	89
Tab. 19: Kontrola množství mlhy ve sběrném zařízení, Zdroj: (autor, 2023).....	90

Úvod

Korozní poškození ocelových konstrukcí představuje vážný problém v oblasti stavebnictví a průmyslového inženýrství. Koroze způsobuje materiální degradaci, snižuje pevnost a stabilitu konstrukcí a zvyšuje náklady na údržbu a opravy. Proto je protikorozní ochrana důležitou součástí procesu sanace a údržby ocelových konstrukcí.

Cílem této diplomové práce je poskytnout přehled o možnostech protikorozní ochrany při sanaci ocelových konstrukcí. Práce se zaměřuje na různé metody protikorozní ochrany a jejich aplikaci v praxi. Hlavní důraz je kladen na metody přípravy povrchu, které mají klíčový vliv na účinnost protikorozní ochrany.

Teoretická část práce je složena z několika kapitol, které poskytují ucelený přehled o korozi, korozních prostředích, konstrukčních materiálech a druzích korozního napadení. Důležitou částí tohoto teoretického rozboru je kapitola věnovaná protikorozní ochraně, která se zabývá postupy navrhování ochrany, metodami úpravy povrchů a různými typy protikorozních opatření, jako jsou například elektrochemické způsoby ochrany, chytré nátěry a ochranné povlaky. Rešerše zahrnuje také popis korozních zkoušek a monitoring.

Nejdůležitější kapitolou pro tuto diplomovou práci jsou metody přípravy povrchu, konkrétně abrazivní tryskání (mokrý i suchý) a vysokotlaké tryskání vodou. U těchto typů je klíčové dosažení požadovaných stupňů čistoty povrchu v porovnání se stupni zarezavění. V praktické části práce je proveden experiment zaměřený právě na metody přípravy povrchu ocelových vzorků, konkrétně abrazivního tryskání mokrého i suchého a vysokotlakého tryskání vodou. Proces přípravy vzorků je popsán včetně použitých aplikací a produktů. Významnou částí experimentu je stanovení tří typů korozního prostředí, vnitřní a vnější atmosféry a cyklické korozní komory s využitím solné mlhy. Ocelové vzorky jsou vizuálně vyhodnoceny po uplynutí určitého časového intervalu, aby bylo možné zjistit první známky koroze a popsat vzhled vzorků po provedení korozních zkoušek.

Výsledky práce mohou být užitečné pro navrhování časového harmonogramu při sanaci ocelových konstrukcí, ale i při výstavbě nových konstrukcí. Získané poznatky o možnostech protikorozní ochrany a vyhodnocení jejich účinnosti mohou přispět ke zlepšení ochrany ocelových konstrukcí před korozi, což je zásadní z hlediska jejich životnosti a bezpečnosti.

Teoretická část

1 Koroze

1.1 Definice koroze

Pod pojmem koroze lze shrnout děje vedoucí k rozrušování materiálu, u kterých má působení chemických pochodů rozhodující význam. Korozi lze tedy definovat jako samovolně probíhající proces znehodnocování materiálu způsobené chemickým nebo fyzikálně chemickým působením prostředí. Fyzikální vlivy, které mají za příčinu rozrušování materiálu se nazývají eroze, abraze a opotřebení. Korozi nepodléhají pouze kovy, ale i plastické hmoty, silikátové stavební materiály, přírodní materiály, textil apod., a to v závislosti na korozním prostředí, které může být velice různorodé. Studium koroze, konkrétně koroze kovů, je velice komplexní záležitostí. Každý případ je jiný, a tak je nutné provést úplný rozbor systému kov vs. korozní prostředí s ohledem na faktory, které mohou děj kvalitativně nebo kvantitativně ovlivnit. Jedná se zejména o tlak, teplotu, relativní pohyb, abrazní vlivy, mechanické namáhání, ať už statické nebo dynamické anebo jiné formy energie a další faktory. Cílem analýzy každého korozního systému je určení hlavního činitele nebo jejich vzájemného spolupůsobení, což je podkladem pro další řešení jak na teoretické úrovni, tak praktické. (1)

1.2 Hlavní činitele ovlivňující korozi

Jak již bylo zmíněno výše, na vznik a průběh koroze působí řada vlivů. Ve většině případů se na korozi podílí více činitelů najednou, pouze v ojedinělých případech se v korozním procesu uplatňuje pouze jeden vliv. Z tohoto důvodu je někdy velice obtížné stanovit a správně posoudit následky působení více faktorů najednou, ale i základní znalosti významu jednotlivých vlivů jsou nezbytné pro správné úvahy o vhodnosti použití kovů pro určité korozní podmínky a prostředí. Hlavní činitele ovlivňující korozi lze rozdělit do tří základních skupin. (2)

1.2.1 Stav materiálu

Kov či slitina odpovídá svým chemickým složením příslušné normě nebo technickým podmínkám, a tak jsou známy i jisté údaje o korozní odolnosti takového materiálu. Tyto normativní údaje však nevystihují všechny vlastnosti materiálu, které o výsledné korozní odolnosti skutečně rozhodují. Mezi tyto vlastnosti patří především obsah nečistot, struktura materiálu a stav jeho povrchu. (2)

Nečistoty kovového materiálu mohou být dvojího druhu. Prvním z nich jsou složky přidané k základnímu kovu, které nelze během procesu výroby zcela odstranit. Avšak norma s jistým procentem těchto přísad počítá. Nicméně každá tato nečistota může svým způsobem ovlivnit korozní proces, a to zejména v počáteční fázi koroze, kdy mohou ovlivnit počátek celkové koroze nebo její charakter. Pokud je však celý materiál prostoupen tímto typem nečistot, nemusí korozní děj ovlivnit pouze v začáteční fázi procesu, ale mohou významně urychlit celkové znehodnocení materiálu. Druhým typem nečistot jsou látky, které vzniknou až během zpracování nebo použití daného materiálu, tzn. nacházejí se v povrchových vrstvách. Tento typ nečistot však lze celkem snadno odstranit odkorodováním prvních povrchových vrstev. (2)

Struktura kovu může také významně ovlivnit korozi, a to orientací a uspořádáním jednotlivých krystalů kovu, energetickými poměry v krystalové mřížce apod. Z hlediska koroze je klíčový vznik nebo změna charakteru a chemického složení fází na hranicích jednotlivých zrn. K tomu dochází především při tepelném zpracování, ať už při samotné výrobě nebo při zpracování a svařování materiálu. Tyto fáze mohou být korozně aktivnějšími složkami nebo mohou zhoršit korozní odolnost hlavních složek materiálu. (2)

Vlastností, která je neméně důležitá pro určení průběhu koroze, je drsnost povrchu materiálu. Drsné povrchy snáze reagují s prostředím než hladké povrchy. Vytvoří se na něm vrstva vlhkosti a drží se tam déle než na povrchu hladkém, má i celkově větší aktivní plochu. Nicméně vlastnosti hladkého povrchu počátek koroze pouze oddalují, po zkorodování vyleštěné povrchové vrstvy je další průběh koroze zcela nezávislý na tom, jakou podobu měl povrch na svém počátku. (2)

1.2.2 Stav korozního prostředí

U korozního prostředí záleží nejen na jeho chemickém složení, ale také na teplotě, tlaku a relativním pohybu ve vztahu k povrchu kovového materiálu. Zvyšováním teploty prostředí roste rychlost vlastní korozní reakce. Stejně tomu je tak i u difúzně řízených dějů, kdy při urychlení difúze dojde k akceleraci koroze. Tato teorie platí také při vzrůstajícím pohybu korozního prostředí a během zvýšeného působení tlaku v plynném prostředí na povrchu materiálu. Obecně lze říci, že tyto faktory, na kterých závisí určování stavu korozního prostředí, zvyšují podmínky pro vznik koroze při jejich vlastním nárůstu. Ovšem najdou se i případy, kdy může dojít k přesnému opaku, a je tedy důležité vždy zvážit veškeré vlastnosti korozního prostředí a jeho důsledků. (2)

1.2.3 Konstrukce výrobku

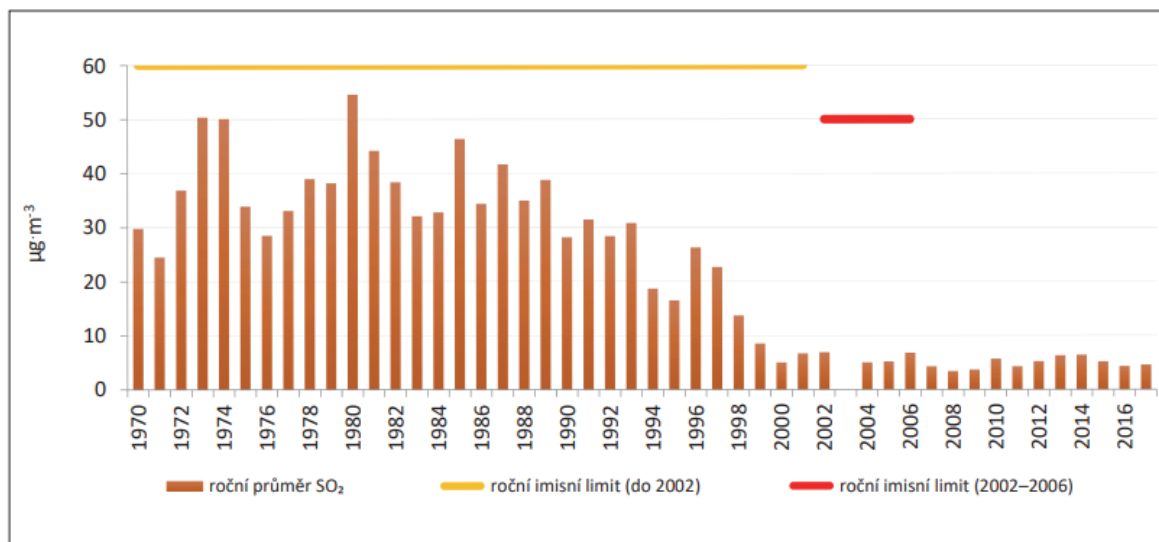
Tato skupina zahrnuje činitele ovlivňující charakter koroze, které závisí na materiálové skladbě či konstrukčním řešením výrobku. Patří sem především kontakt s jiným materiálem i nekovovým, konstrukční uspořádání některé části prvku a mechanické namáhání, které může být rozdílné po celé délce či ploše prvku. (2)

1.3 Problémy a ztráty vzniklé korozí

Jeden z druhů ztrát se označuje jako přímé korozní ztráty. Jsou tvořeny z hodnot znehodnoceného materiálu, nákladů na projekci, konstrukci a výrobu zařízení a z nákladů na jeho opravy a údržbu, tj. náklady na protikorozní ochranu. Odhadují se ve formě poměrné ztráty surového materiálu, nejčastěji oceli. *„Jejich odhadovaná výše kolísá v různých státech v rozmezí od 5 do 30 % z celkové roční produkce oceli. Značný rozptyl je dán nejen způsobem získávání této hodnoty, ale i rozdílností korozních podmínek a nestejnou úrovní protikorozní ochrany.“* Vedle položky přímých nákladů se v souvislosti se ztrátami způsobené korozí vyskytují také nepřímé náklady. Jedná se o ztráty při výrobě, která musela být z důvodů korozního poškození zařízení přerušena, a ztráty na produktech, které unikly netěsnostmi vzniklými korozí. S tím souvisí i náklady, které plynou ze sníženého výkonu zařízení. Tyto ztráty se však velice těžko odhadují a v některých případech mohou být i výrazně vyšší než náklady přímé. (3)

Podle řady starších pramenů a výzkumů USA, SSSR nebo Německa, je většina vyrobené oceli určena do atmosférických podmínek, materiál tedy podléhá převážně atmosférické korozi. Tato skutečnost platí i dnes. Složka atmosféry, která silně urychluje

korozí oceli je oxid siřičitý, který je obsažen převážně ve spalínách uhlí a topných olejů. Neustále se zvyšující potřeba energie fosilních paliv představuje zvětšující se množství oxidu siřičitého v ovzduší, a tím se zásadně zvyšuje agresivita atmosférické koroze. (3) Nicméně z dat dostupných z Českého hydrometeorologického ústavu je jasně patrné, že po roce 1998 došlo k výraznému snížení imisních koncentrací SO_2 , viz Obr. 1.



Obr. 1: Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací SO_2 v Ostravě-Porubě mezi lety 1970-2016
Zdroj: (ČHMÚ, 2018)

V další letech pokračuje tendence klesání, výjimku tvoří pouze roky 2017 a 2018, kdy byly v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek prováděny sanační práce při odstraňování staré ekologické zátěže odpadních lagun bývalého podniku OSTRAMO v Ostravě-Mariánských Horách. V porovnání s dlouhodobým 10letým průměrem (2012–2021) je hodnota SO_2 o 38 % nižší. Hodnota hodinového imisního limitu SO_2 ani hodnota 24 h imisního limitu SO_2 nebyla v roce 2022 překročena na žádné stanici. (4)

Snížení spalování fosilních paliv je jedním z cílů EU pro zlepšení klimatu, stejně jako snížení závislosti Evropy na dovozu fosilních paliv. To by mohlo mít za následek úbytek koncentrace oxidu siřičitého v ovzduší, a tím i snížení agresivity atmosférické koroze. (5) (6)

Ztráty způsobené korozi nemají pouze hospodářský, ale také ekonomický dopad. Z tohoto důvodu má protikorozi ochrana značný význam, a náklady s ní spojené je důležité řádně prozkoumat. Nejedná se pouze o náklady na ochranu proti atmosférické korozi, ale také o náklady na montáž a demontáž zařízení, režijní náklady apod. Náklady na ochranu proti korozi závisí především na náročnosti korozi podmínek a na

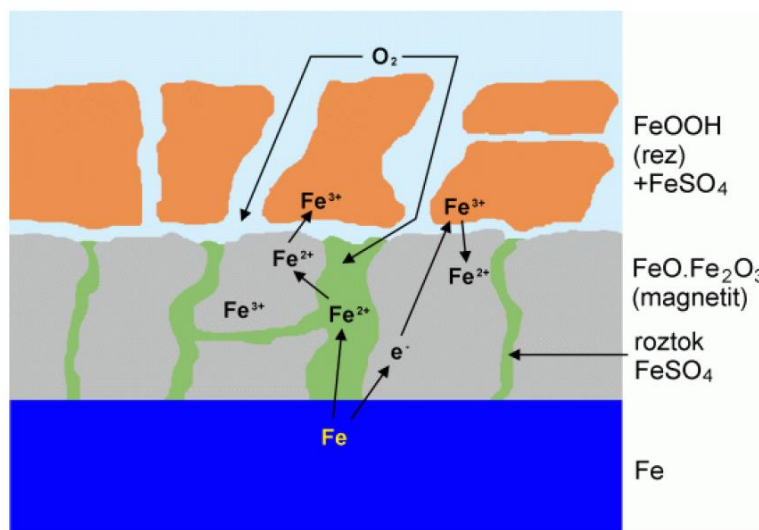
požadavcích kladených na zařízení. Pro snížení ztrát a zvýšení efektivnosti protikorozní ochrany, je důležité provádět výzkumy, ale také uplatňovat jejich výsledky pro její zlepšení. (3)

2 Korozní prostředí

2.1 Atmosféra

Atmosférickým podmínkám je vystaveno nejvíce kovových konstrukčních materiálů užívaných nejen pro stavební konstrukce, ale také pro dopravní a jiné prostředky. Atmosférická koroze se řadí mezi koroze elektrochemické, od ostatních případů tohoto typu koroze, kde je korodující kov ponořen do značného objemu agresivního elektrolytu, se však odlišuje tím, že její elektrochemické děje probíhají v tenké vrstvě elektrolytu. (1)

Elektrochemické děje, které probíhají při atmosférické korozi, jsou anodická a katodická reakce. „Anodická reakce odpovídá oxidaci kovu (rozpuštění, korozi) a katodická reakce odpovídá současné redukci některé z oxidujících složek prostředí a tvorbě korozních produktů.“ (7) „Na katodické reakci se v případě železa také může podílet redukce rzi (FeOOH) na magnetit, který je následně oxidován vzdušným kyslíkem zpět na rez, viz Obr. 2. (8).“



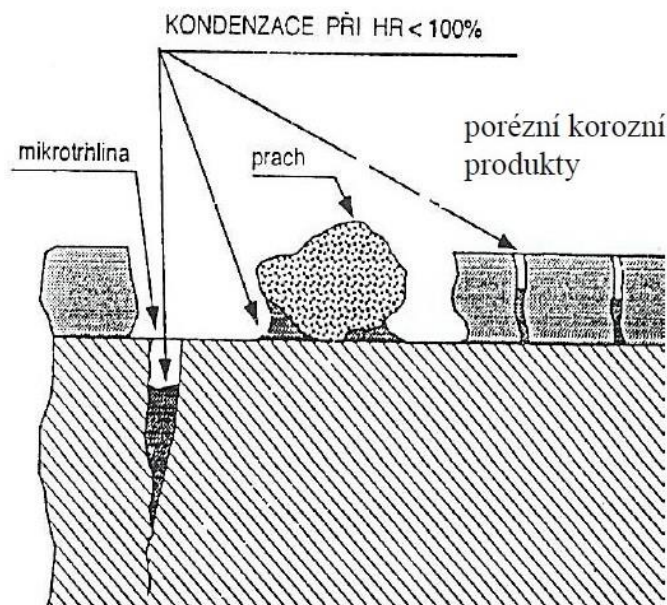
Obr. 2: Elektrochemický mechanismus atmosférické koroze železa v atmosféře s oxidem siřičitým
Zdroj: (Novák, 2006)

Rez, která vzniká na povrchu železných materiálů, nemá významný ochranný účinek a většinou předmět spíše vzhledově znehodnocuje, pokud není rez vyžadována jako dekorativní prvek u tzv. patinujících ocelí. Tyto nízkolegované oceli se používají v atmosféře i bez povlaků, ale i když mají korozní rychlost nižší než uhlíkové oceli, rez je na nich přilnavá, vzniká rovnoměrně a je i rovnoměrně zbarvená. Její charakter závisí na střídání období vysychání a ovlhčení, pokud je však železo trvale vystaveno vlhkému prostředí vzniknou objemné korozní produkty viz Obr. 3. (8)



*Obr. 3: Objemné korozní produkty na hlavním nosníku kovových plastik Sloupu nejsvětější Trojice v Olomouci
Zdroj: (Novák, 2006)*

Existence tenké vrstvy elektrolytu je naprosto klíčová pro vznik a průběh atmosférického korozního procesu. Aby tato vrstva měla charakter elektrolytu, musí být ve formě kapaliny, a nikoliv adsorbovaného plynu. Pokud by byl povrch kovové konstrukce ideálně rovný, došlo by ke vzniku elektrolytu až při nasycení atmosféry vodní parou. Nicméně skutečný povrch materiálu není nikdy dokonale hladký, obsahuje různé trhlinky, nerovnosti nebo jiné tuhé částice, jak ukazuje Obr. 4, a tak dochází ke kapilární kondenzaci. (9)

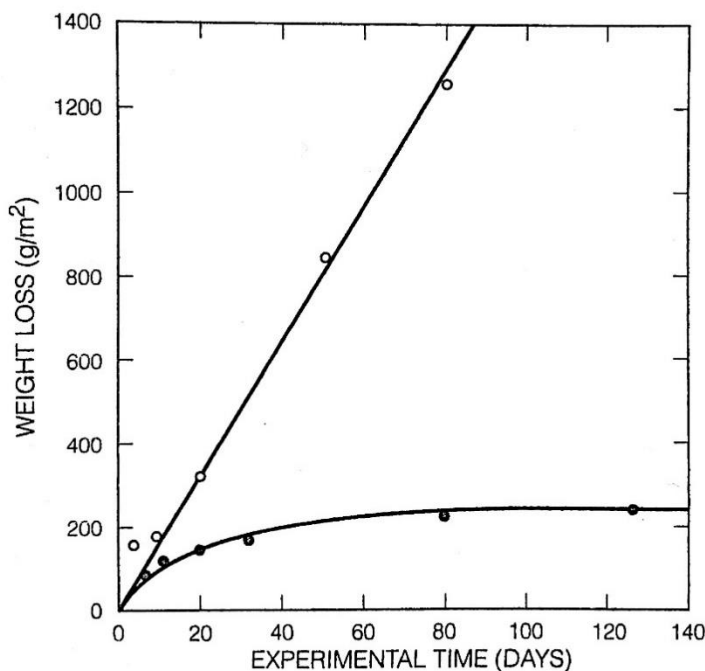


Obr. 4: Místa snadnější kondenzace vlhkosti a vzniku elektrolytu

Zdroj: (Lasek, 2013)

„Tloušťka této vrstvy se v reálných podmínkách pohybuje mezi 5–150 nm. V této vrstvě pak probíhají chemické reakce, v jejichž důsledku dochází ke korozi. Protože vrstvy povrchových elektrolytů jsou tenké a periodicky vysychají, vylučují se produkty reakcí ve formě tuhých povrchových vrstev, které se posléze podílejí na korozních reakcích a proces koroze dostává i chemickou povahu.“ (7)

Voda v kapalně podobě se může na povrchu kovu také objevit i jinak, a to např. vlivem deště, orosení, mlhy apod. Zásadní pro atmosférickou korozi je však vzdušná vlhkost, k té dochází v případě shody teploty povrchu a teploty rosného bodu. Teplota rosného bodu je závislá na množství vlhkosti vzduchu, tato závislost se také nazývá vlhkostně-teplotní komplex, který se zjišťuje pro jednotlivé reálné atmosféry. Hodnota relativní vlhkosti, při níž dochází k rozvoji atmosférické koroze, jinak také hodnota kritické vlhkosti, je 80 %. Toto procentuální množství je dále výrazně ovlivněno vlastnostmi atmosféry a znečištěním ovzduší. Právě na těchto faktorech jako je teplota, relativní vlhkost, množství a druh srážek, rychlost větru, intenzita slunečního záření, tvar, drsnost a čistota povrchu je závislá doba ovlhčení, ale také i rychlost koroze, kterou ovlivňuje především koncentrace agresivních látek v ovzduší. Nejvýznamnějšími korozními složkami atmosféry jsou především oxidy dusíku, sirovodík, chlór, amoniak a amonné soli, chloridy, saze, a především nejrozšířenější prvek oxid siřičitý. Právě tato běžná průmyslová znečišťující látka výrazně urychluje atmosférickou korozi uhlíkové oceli viz Obr. 5. (7) (9)



Obr. 5: Porovnání atmosférické koroze v nepřítomnosti ● a přítomnosti ○ SO₂ Zdroj: (Jones, 2014)

Vlastnosti a parametry působícího prostředí jsou klíčové pro správný odhad a posouzení korozní znehodnocení, které na materiálu vzniká, ale také pro vhodné zvolení účinné ochrany proti korozi. Druhem korozního napadení při atmosférické korozi je převážně rovnoměrná koroze. Každý kov se však chová trochu jinak, a proto může být i mechanismus koroze pro jednotlivé materiály rozdílný. (7)

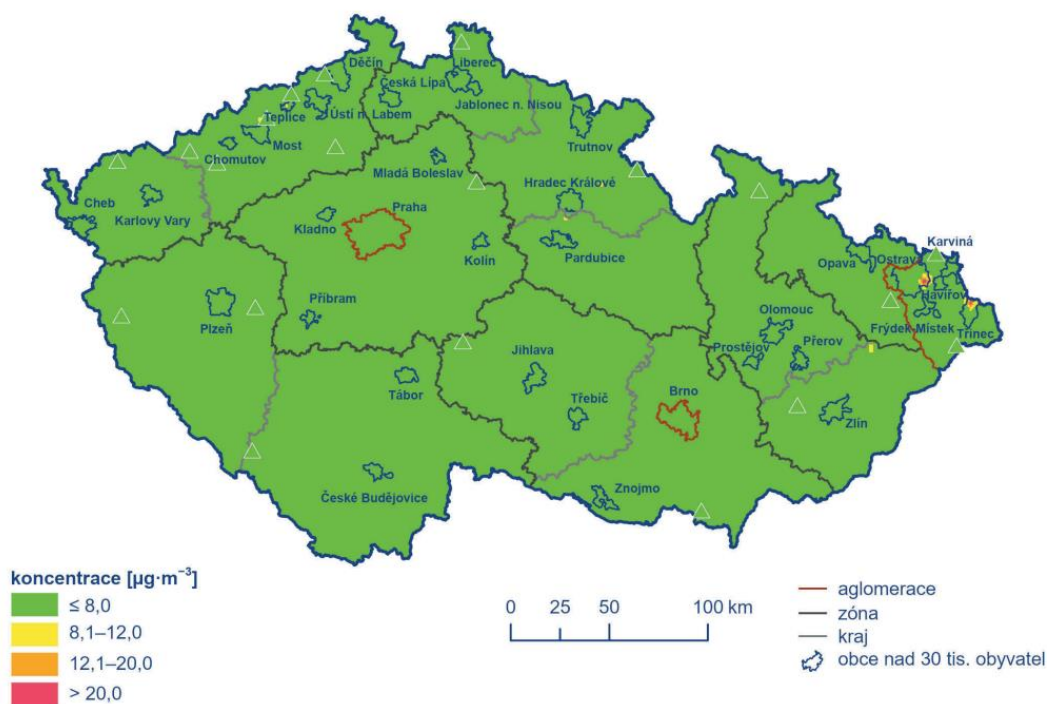
Základním technickým údajem pro určení vhodného materiálu a systému ochrany proti působení atmosféry dle místa a způsobu použití a také dle požadované životnosti produktu nebo protikorozního ochranného systému je stupeň korozní agresivity, který je definován normou ČSN EN ISO 9223, viz Tab.1. Pro správné určení tohoto stupně je důležité velmi podrobně popsat jednotlivé složky systému. „Základem pro odvození stupně korozní agresivity jsou korozní úbytky standardních vzorků čtyř základních konstrukčních kovů (uhlíková ocel, zinek, měď, hliník) po prvním roce expozice, nebo průměrné roční hodnoty nejvýznamnějších činitelů prostředí, které působí na atmosférickou korozi, tedy teploty, relativní vlhkosti, depozice oxidu siřičitého nebo chloridů. Na základě environmentálních parametrů jsou formulovány rovnice znehodnocení umožňující výpočty korozních rychlostí, respektive korozních úbytků...Pro určení stupně korozní agresivity lokality stavby je nutné detailně posoudit místní vlivy (lokální i malý zdroj znečištění ovzduší apod.) – mikroklima.“ (7)

Tab. 1: Stupně korozní agresivity atmosféry

Zdroj: (ČSN EN ISO 9223, 2012)

STUPEŇ	KOROZNÍ AGRESIVITA
C 1	Velmi nízká
C 2	Nízká
C 3	Střední
C 4	Vysoká
C 5	Velmi vysoká
C X	Extrémní

Stupeň C 2 pro ocel odpovídá přibližně 80 % území České republiky, kde je koncentrace oxidu siřičitého SO_2 nižší než $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vyšší průměrná roční koncentrace se vyskytuje na severu Čech a na Ostravsku, konkrétně stupeň C 3. Množství SO_2 je vyšší z důvodu většího zastoupení průmyslových objektů v těchto oblastech, viz Obr. 6.

Obr. 6: Pole roční průměrné koncentrace SO_2 v roce 2021

Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

Vzhledem k tomu, že je zaváděno stále více opatření na omezení znečištění vzduchu ze stacionárních zdrojů, jako jsou elektrárny, teplárny apod., jsou hlavním zdrojem znečištění ovzduší mobilní zdroje, tj. automobilová doprava. (7) I to může být do budoucna výrazně sníženo vzhledem k cílům EU, které mají docílit snížení znečištění ovzduší spalovacími motory, např. přechodem na elektrické automobily. Toto řešení má však ještě mnoho neznámých a je nutné zvážit, zda je to opravdu vhodná alternativa. (10)

Při posuzování korozního napadení jsou zásadní tyto následující faktory:

- hmotnostní úbytek kovu rovnoměrnou korozí za určitou dobu;
- nebezpečí výskytu nerovnoměrného korozního napadení a jeho druh;
- vznik korozních produktů na povrchu a jejich charakter;
- možnost protikorozní ochrany materiálu ke snížení korozního napadení. (7)

Okolní podmínky jsou klíčové pro stanovení stupně korozní agresivity, nicméně u rozměrných konstrukcí mohou působit na jednotlivé části rozdílné podmínky. Některé konstrukce se mohou nacházet v nedostatečně odvětrávaných prostorech, dutinových prostorech, povřích pod přístřeškem nebo povřích ve styku s agresivními látkami, povřích vystavené kondenzaci, abrazivním vlivům apod. Specifickou skupinou jsou konstrukce ponořené nebo částečně uložené ve vodě nebo půdě. (7)

2.2 Vodní prostředí

Určení stupně korozní v těchto prostředích je velmi obtížné, vzhledem k tomu že většinou je ve styku s tímto typem prostředí pouze část konstrukce. „Pro účely protikorozní ochrany jsou normou ČSN EN ISO 12944-2 stanoveny 4 stupně korozní agresivity. Im_1 je prostředí sladké vody, Im_2 je mořské nebo brakické prostředí bez katodické ochrany, Im_3 je uložení v půdě a Im_4 je mořské nebo brakické prostředí s katodickou ochranou.“ (7)
Brakická voda je voda, která má koncentraci solí mezi mořskou a sladkou vodou.

2.2.1 Vody

Z hlediska koroze se voda dělí na dvě skupiny:

- přírodní vody – sladké, mořské, minerální, brakické
- průmyslové vody
 - energetické (vždy upravené)
 - chladicí (upravené i neupravené)
 - technologické (vody, které jsou přidávány do technologických roztoků)
 - odpadní (11)

Čistá voda bez kyslíku, jako taková, nemá na korozi výrazný vliv. Korozní reakce ve vodě způsobují především příměsi, které přírodní i provozní vody obsahují. Hlavními faktory ovlivňující agresivitu vody jsou především obsah kyslíku, množství a typ

rozpuštěných solí, přítomnost organických látek a mikroorganismů, hodnota pH, teplota, rychlost proudění a obsah pevných částic. Největší vliv na korozní proces má kyslík, vzhledem k tomu, že koroze ve vodách je řízena rychlostí redukce kyslíku. Nezáleží pouze na množství kyslíku, ale také na rovnoměrnosti přístupu kyslíku k povrchu materiálu. (8)

„U oceli může při určité koncentraci kyslíku korozní rychlost klesat (pasivace oceli). Za nepřítomnosti kyslíku je koroze oceli nepatrná. Obsahuje-li voda kyslík, dochází ke vzniku rzi, popřípadě důlků. V uzavřeném systému dochází ke korozi pouze tak dlouho, než se všechen kyslík nespotřebuje. Jestliže se zamezí přístupu kyslíku do vody nebo se kyslík odstraní odplyněním, případně chemicky, dojde k významnému potlačení koroze oceli.“ (9)

Neméně důležitou složkou, která ovlivňuje agresivitu vody je oxid uhličitý, ten způsobuje pokles pH a v takto kyselých vodách nastávají i jiné reakce než redukce kyslíku. Podobnou úlohu, tj. pokles pH, má i oxid siřičitý, který se do vody může dostat z ovzduší. Druhem korozního napadení, které může vzniknout díky přítomnosti sulfanu a amoniaku, je korozní praskání. Soli rozpuštěné ve vodě mohou zvýšit vodivost kapaliny, a tím může vzniknout nerovnoměrné korozní napadení. Chloridy, které jsou obsaženy prakticky ve všech vodách, mohou značně urychlit rychlost koroze a působit pro kovy nepříznivě, obzvláště pro korozivzdorné oceli, kde může dojít k nežádoucí bodové či štěrbinové korozi. Vody mají běžnou hodnotu pH mezi 3 až 9, a proto na většině kovů vzniká vrstva nerozpustných korozních produktů, a právě kvalita této vrstvy rozhoduje o korozní odolnosti materiálu. Teplota jako jeden z dalších faktorů, který se podílí na určení agresivité vody, může ovlivňovat korozní děje, nejen negativně, urychlením elektrochemických reakcí, ale i pozitivně, snížením rozpustnosti kyslíku a jiných plynů. Má také výrazný vliv na rovnováhu mezi rozpuštěnými látkami a vrstvami vzniklými na kovu. (8) *„Přímo nebo nepřímo může být koroze ve vodách ovlivněna také mikroorganismy. Ty mohou ovlivňovat rychlost anodické a katodické reakce, svou látkovou výměnou mohou napadat kov anebo mohou vytvářet korozní mikroprostředí.“ (9)*

Pro stanovení korozní odolnosti materiálu, ať už se nachází v přírodních nebo průmyslových vodách, je vždy nutné provést analytický rozbor vodního prostředí.

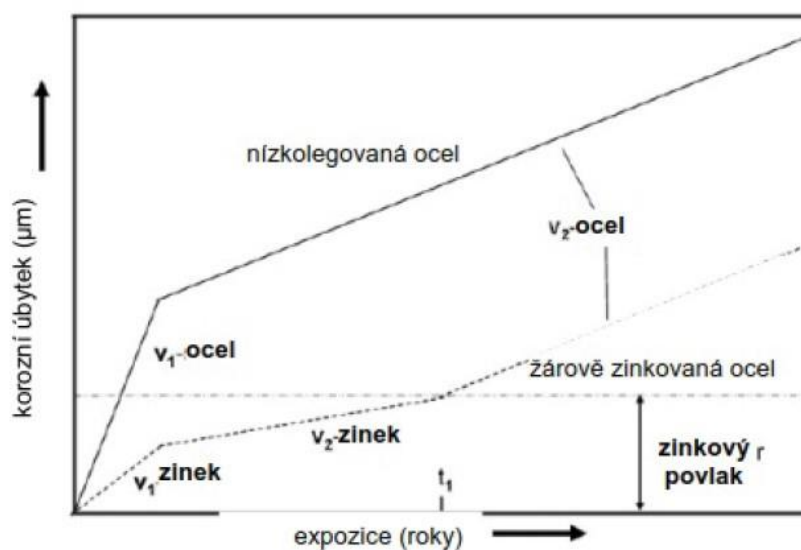
2.2.2 Půdy

Půdní prostředí je tvořeno několika fázemi, konkrétně tuhou, kapalnou a plynnou fází. Největší význam má však kapalná složka, kterou představuje roztok elektrolytu s různým množstvím rozpuštěných plynů. Půdní atmosféra, která tvoří plynnou fázi prostředí, je velice odlišná od složení ovzduší, má omezený styk s vnějším ovzduším a je tvořena mikrobiální činností. Obsah kyslíku je zpravidla nižší, a naopak je více zastoupen podíl dusíku a oxidu uhličitého. Vyšší zastoupení těchto plynů je způsobeno právě činností mikroorganismů a rostlin. Vzhledem k nižší propustnosti půdy se obsah těchto plynů se vzrůstající půdní hloubkou snižuje. Právě tato schopnost půdy je velice důležitá pro průběh koroze. Písčité půdy s velkou propustností vody nejsou tak agresivní jako půdy, které vodu zadržují, tj. jílovité půdy. Obsah výše zmíněných plynů v půdním elektrolytu závisí tedy nejen na druhu půdy, ale také na hloubce, ročním období, množství atmosférických srážek, složení povrchových vod, činnosti mikroorganismů a na teplotě. Faktorem, který na korozi nemá tak významný vliv, ale je třeba ho zohlednit, je pH půdní vlhkosti. Tento činitel, bude mít na průběh korozního procesu vliv pouze v případě výrazně alkalických nebo kyselých vod, které mohou do půdy pronikat ze stok, odpadních jímek, kyselých dešťů apod. Hodnota pH, která je určující pro agresivitu půdy je hodnota 6,5. Půdy pod touto hranicí se považují za agresivní naopak půdy, jejichž hodnota pH je nad 8,5 se pro ocel považují za neagresivní. Korozní agresivita je závislá na typu a soudržnosti půdy, homogenitě a vlhkosti půdy, chemickém složení půdního elektrolytu, pH, redoxním potenciálu, tlumivé kapacitě a kolísání spodní vody. Při hodnocení korozní agresivity půdy se využívá tzv. hodnoty rezistivity půdy. Při vysoké rezistivitě se půdy považují za málo agresivní. Posouzení a určení agresivity půdy je velice obtížné a je nutné zvážit veškeré působící faktory a jejich kombinace, a to především v případě protáhlých zařízení, kde se může korozní agresivita měnit po délce potrubí. (8) (11)

Korozi v půdách lze rozdělit na prostou půdní korozi, mikrobiální korozi a korozi bludnými proudy. Korozní proces bludnými proudy je úzce spjat s provozem elektrizovaných drah, tj. stejnosměrně elektrizované železnice, městské dráhy, metro apod. Bludné proudy se dostanou do půdy vlivem nedostatečného odizolování vodiče nebo zařízení od země, které využívá zem jako zpětný vodič. Jejich tok není možné zcela přesně stanovit a svým působením mohou elektrochemickou korozi úložného zařízení výrazně zrychlit. (12)

Konstrukce, které přicházejí do kontaktu s půdním prostředím, jsou nejčastěji technická zařízení z oceli, např. potrubí pro dopravu plynů, ropy nebo vody, ale také úložná zařízení, zde se jedná především o kotvení staveb. Většinou jsou tato zařízení chráněna povlaky na bázi dehtu, asfaltu, smoly nebo polymerními povlaky, někdy bývají tyto typy ochrany doplněny i katodickou ochranou. (8)

Korozní zkoušky provedené pro nízkolegovanou ocel a zinek v půdě, ukazují nárůst korozní rychlosti v prvních 2–4 letech a následné zpomalené korozní rychlosti v dalších letech, viz Obr. 7. (7)



Obr. 7: Průběh korozní rychlosti nízkolegované oceli a zinku v půdě Zdroj: (Korbelář, Geiplová, 2018)

3 Typy konstrukčních materiálů používaných pro ocelové konstrukce a jejich koroze

Ocel je slitina železa s uhlíkem, ale také i s dalšími prvky, které se do oceli dostanou při její výrobě nebo jsou do oceli úmyslně přidány za účelem zlepšení vlastností materiálu. Díky tomu se ocele dělí na ocele uhlíkové a ocele slitinové. Vliv na korozní vlastnosti oceli má nejen její složení, ale také její tepelné zpracování a stav povrchu. Podle korozní odolnosti ocelí vůči atmosférickým podmínkám jsou ocele děleny do tří hlavních skupin, a to na ocele uhlíkové a nízkolegované, nízkolegované ocele se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi a vysokolegované korozivzdorné oceli. (7)

Následující směrné hodnoty korozních rychlostí, viz Tab. 2 a Tab. 3, které jsou uvedené v normě ČSN EN ISO 9224 jsou stanoveny pro standartní plochy kovových materiálů, které jsou vystaveny působení atmosféře a předpokládá se rovnoměrné korozní napadení. Na ocelových konstrukcích však mohou vznikat i jiné typy korozního napadení, které mohou mít také značný vliv na korozi konstrukčního materiálu, ale i na životnost ochranného protikorozního povlaku. (7)

3.1 Nelegované, nízkolegované a středně legované oceli a slitiny

Tento typ ocelí je nejrozšířenějším kovovým konstrukčním materiálem, a to hlavně díky své dostupnosti, výhodným mechanickým vlastnostem, dobré zpracovatelnosti, a to jak při výrobě, tak při sváření apod. (2) Z hlediska korozní odolnosti se však jedná o málo odolný materiál a bez protikorozní ochrany má jen omezená použití. Při atmosférické korozi vzniká na povrchu rez, která znehodnocuje nejen vzhled konstrukce, ale má i negativní vliv na elektrický odpor a tepelnou vodivost materiálu, povrch ztrácí svou hladkost a svým způsobem rez ztěžuje rozebíratelnost spojů konstrukce. Rez je obvykle po povrchu rozložena rovnoměrně, ale v některých místech může dojít i k jinému koroznímu napadení než rovnoměrnému, které působí výrazně vyšší rychlostí. K těmto typům napadení může dojít z konstrukčních důvodů nebo kvůli velkému znečištění ovzduší. Složení oceli může výrazně ovlivnit korozní rychlost, např. vyšší obsah síry může zvýšit korozní rychlost, naopak zvýšení obsahu uhlíku může korozi zpomalit. Přidáním legujících prvků k oceli nám vznikají slitiny, ty bývají zpravidla odolnější než konstrukční oceli, a také se u nich méně vyskytuje důlková koroze, může však u těchto slitin docházet ke koroznímu praskání. Slitiny jsou tvrdé, křehké materiály s hrubým a pórovitým povrchem a díky obsahu grafitu je napadení rovnoměrnější než u uhlíkových ocelí. Pro využití v chemickém průmyslu se některé slitiny legují, nejčastěji chromem, křemíkem, hliníkem, niklem, molybdenem aj. (7)

Tab. 2: Směrné rychlosti nízkolegovaných ocelí

Zdroj: (ČSN EN ISO 9224, 2012)

STUPEŇ KOROZNÍ AGRESIVITY	KOROZNÍ RYCHLOST ($\mu\text{m}/\text{rok}$)	
	Prvních 10 let	Další roky
C 1	<0,4	<0,3
C 2	0,4 – 8,3	0,3 – 4,9
C 3	8,3 – 17	4,9 – 10
C 4	17–27	10–16
C 5	27–67	16–39
C X	67–233	39–138

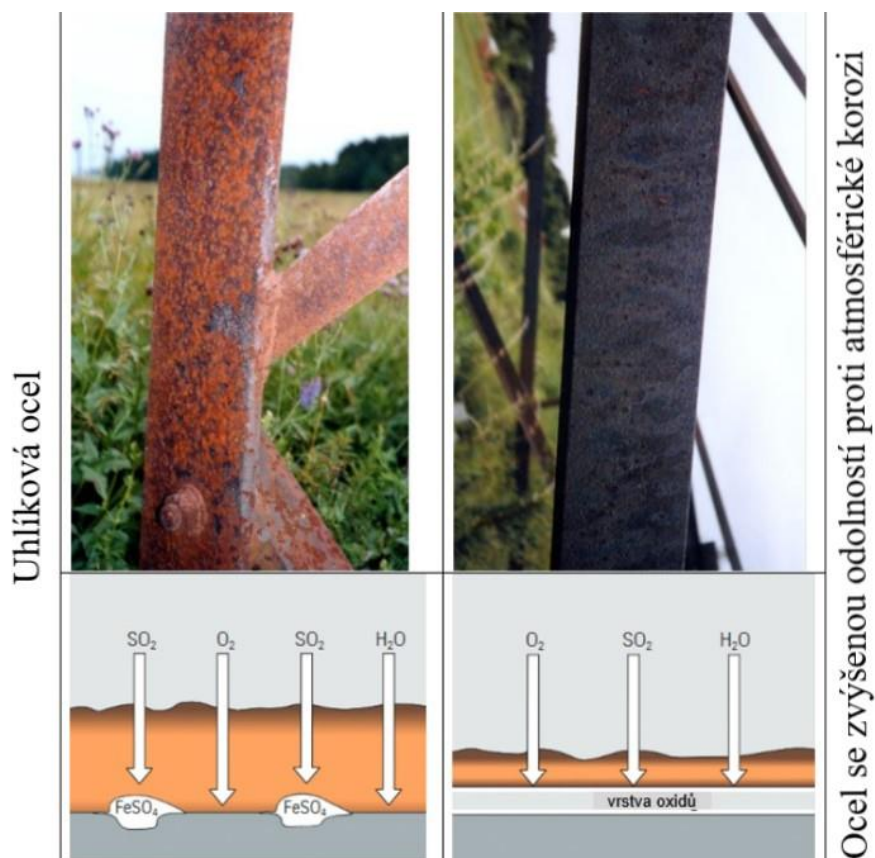
3.2 Nízkolegované oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi

Tyto oceli se také nazývají patinující nízkolegované oceli nebo se označují výrobním názvem, např. americká patinující ocel Corten nebo československá, dnes už česká varianta Atmofix. „Patinující oceli jsou nízkolegované oceli obsahující malé množství Cr, Cu, Ni, P a dalších legujících prvků (Mo). Obsah legujících prvků běžně nepřesahuje 2 %, některé nově vyvíjené patinující oceli však mají obsah legujících prvků vyšší (např. japonské oceli s obsahem niklu až 3 %). V současné době se vyrábí ve světě více než 30 typů patinujících ocelí. Důležitá je vyváženost jednotlivých legujících prvků – kombinace Cu-P-Cr.“ (13) Vyznačují se především schopností postupného vytváření vrstvy oxidů neboli patiny (Obr. 8) na svém povrchu za vhodných atmosférických podmínek. Tato vrstva účinně zpomaluje až zastavuje korozní proces oceli, a navíc působí esteticky, vyvíjí se však postupně a ustálených vlastností dosahuje v horizontu 3 až 5 let. Pro její vznik je naprosto klíčové opakované střídání doby ovlhčení a vysušení povrchu, na trvale vlhkých místech k patině nedochází. „Struktura, barva i ochranná funkce patiny závisí na vlastnostech prostředí a konstrukčním uspořádání. Základními vlastnostmi patiny jsou především vyšší kompaktnost a nižší poréznost ve srovnání s běžnou korozní vrstvou, více amorfních podílů, místní nahromadění sloučenin legujících prvků apod. Tloušťka vrstvy patiny dosahuje max. 200 μm , průměrné tloušťky jsou cca 100 μm .“ (13) Nejčastěji se tento typ materiálu používá ve vnějším prostředí s mírnou až střední koncentrací oxidu siřičitého, konkrétně pro mostní konstrukce a stožáry v přenosových soustavách vysokého napětí. Při větším množství SO_2 ztrácí patina svou funkci ochranné vrstvy a působí spíše jako rez na uhlíkových ocelích. (7)

Tab. 3: Směrné korozní rychlosti oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi

Zdroj: (ČSN EN ISO 9224, 2012)

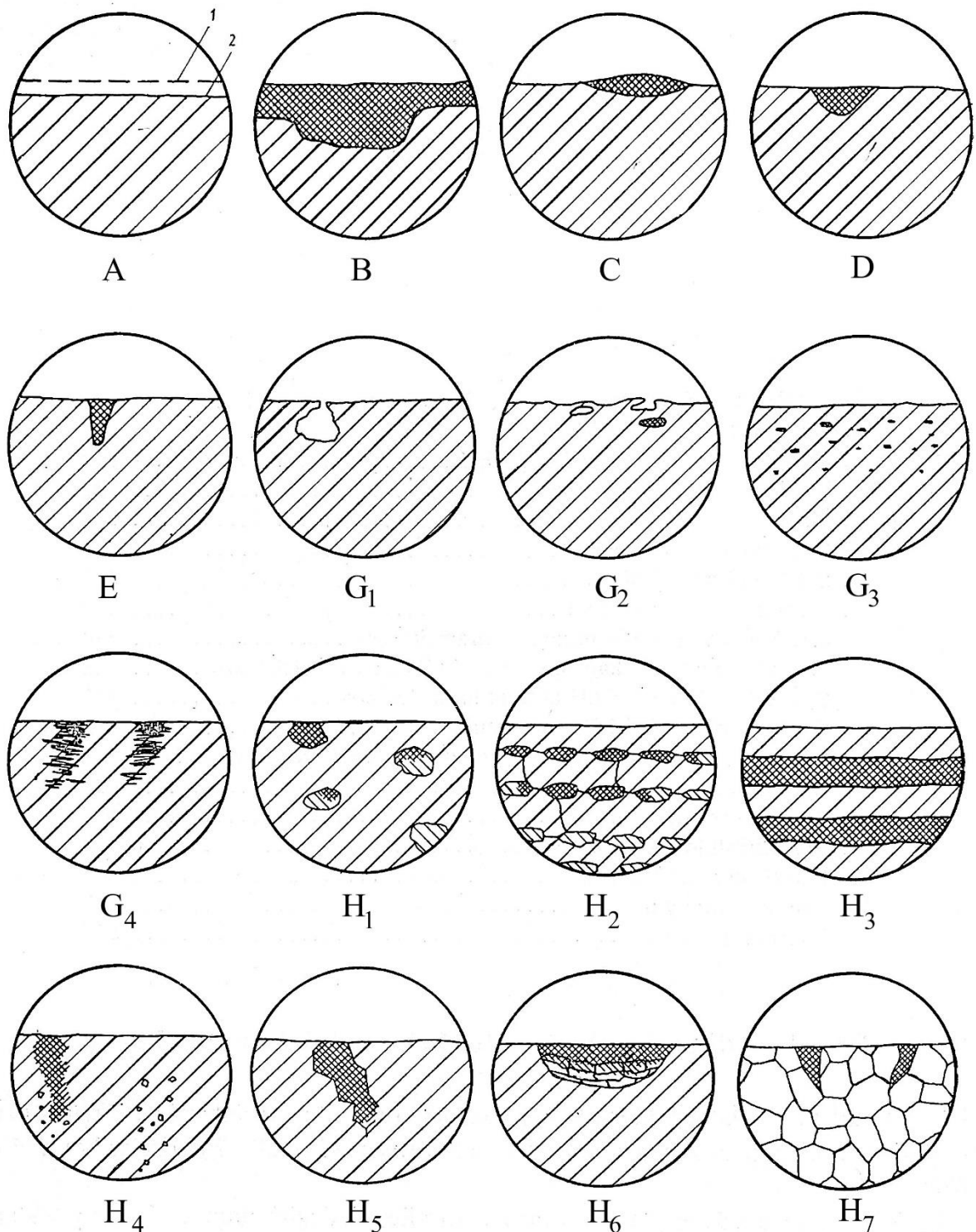
STUPEŇ KOROZNÍ AGRESIVITY	KOROZNÍ RYCHLOST ($\mu\text{m}/\text{rok}$)	
	Prvních 10 let	Další roky
C 1	< 0,12	< 0,05
C 2	0,12 – 2,3	0,05 – 1,0
C 3	2,3 – 4,6	1,0 – 2,0
C 4	4,6 – 7,3	2,0 – 3,2
C 5	7,3 – 18,2	3,2 – 8,1
C X	18,2 – 63,5	8,1 – 28,2



Obr. 8: Vzhled dlouhodobě exponované ocelové konstrukce z běžné uhlíkové oceli a z oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi

Zdroj: (SVÚOM s.r.o., Praha (Výzkumný záměr v letech 2004-2010))

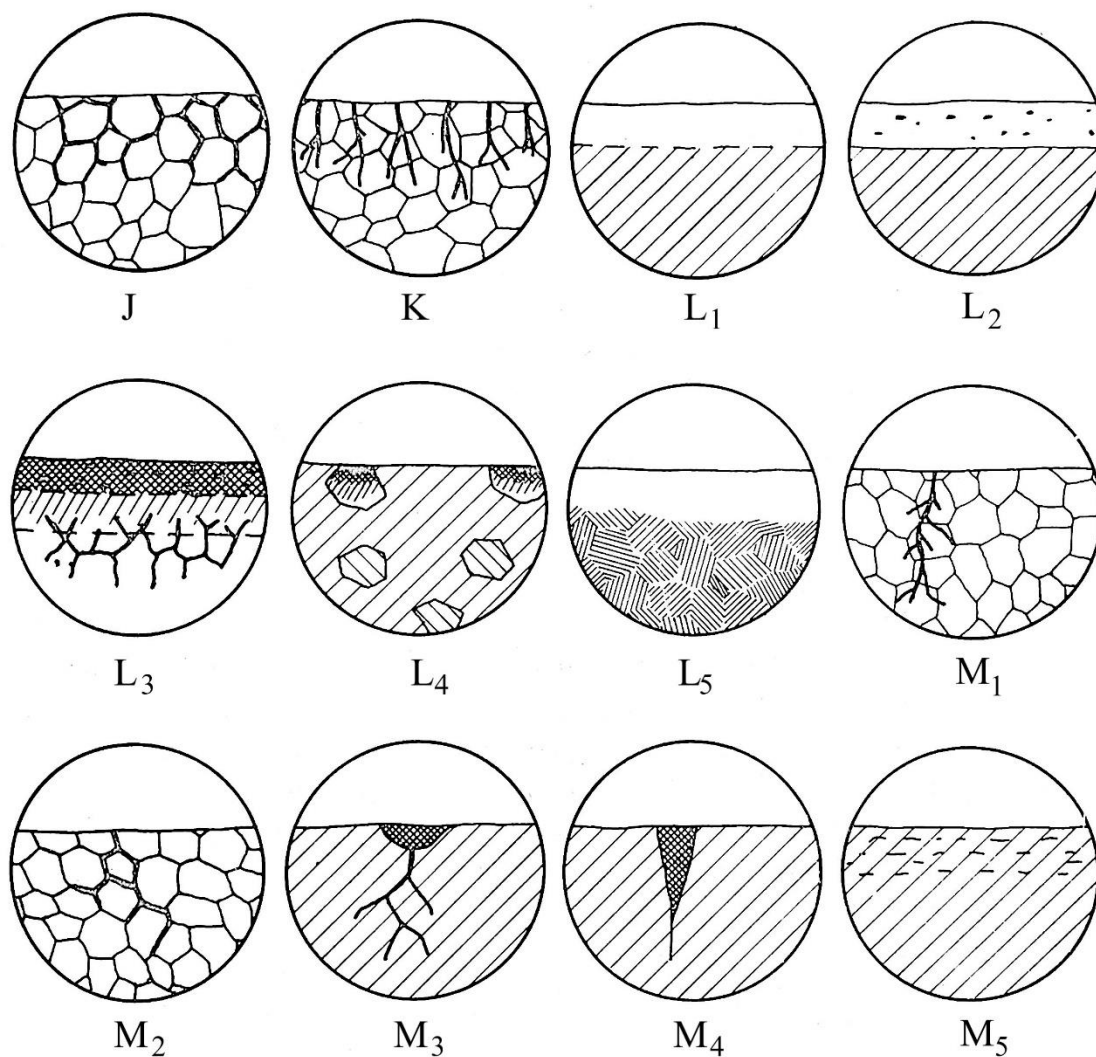
4 Druhy korozního napadení



Obr. 9: Druhy korozního napadení

Zdroj: (Bartoniček, 1966)

A – rovnoměrné napadení (1 – původní povrch, 2 – povrchu po korozi); B – nerovnoměrné napadení; C – skvrnité napadení; D – důlkové napadení; E – bodové napadení; G – podpovrchové napadení; H – selektivní napadení



Obr. 10: Druhy korozního napadení

Zdroj: (Bartoniček, 1966)

J – mezikrystalové napadení; K – transkrystalové napadení; L – extrakční napadení;
M – korozní trhliny a lomy

Jednotlivé typy koroze, uvedené na Obr. 9 a Obr. 10, jsou podrobně popsány v následujících podkapitolách.

4.1 Rovnoměrná koroze

Jedná se o nejběžnější a nejpriznivější druh korozního napadení. Koroze začíná na místech, tzv. aktivních korozních centrech, jejichž počet závisí na aktivitě korozního prostředí. Zvyšující počet těchto center, tj. zvětšování plochy zasažené části, má za následek rovnoměrné napadení materiálu. Z rychlosti koroze, která je vyjádřena rozměrovým úbytkem materiálu za jednotku času lze snadno vypočítat životnost konstrukce, která podléhá rovnoměrné korozi. (9) (11)

4.2 Nerovnoměrná a skvrnitá koroze

Tento typ koroze vzniká opět v korozních centrech, těch je však podstatně méně než v případě rovnoměrného napadení. Pokud se tato místa z povrchu materiálu odstraní nebo se na nich koroze zpomalí, rozšíří se korozní napadení do stran a vznikne skvrnitá koroze, která se může blížit charakteru rovnoměrné koroze při spojení jednotlivých skvrn. Skvrnité napadení přechází v nerovnoměrné, a to vlivem rozdílných vlastností kovu, korozního prostředí a korozních zplodin. Příčinou nerovnoměrné koroze mohou být i teplotní rozdíly a styk kovů s odlišnými korozními vlastnostmi. (9)

4.3 Bodová a důlková koroze

Bodová nebo důlková koroze patří mezi nebezpečné typy korozního napadení. Průměr důlků na povrchu může být výrazně menší, než je jejich hloubka, což může vést až k proděravění materiálu, aniž by byla zasažena výrazná plocha. Dalším úskalím tohoto druhu koroze je její obtížné odhalení, jelikož důlky bývají ve většině případů zakryty protikorozními ochrannými prvky. V důlkách se koncentruje napětí, které může vést ke vzniku trhlin a následnému oslabení průřezu. Toto napadení vzniká kvůli nestejnorožnému povrchu kovu, nečistotám na povrchu nebo porušení ochranné vrstvy. K této korozi dochází především v roztocích, které obsahují chlór, brom nebo jód. Obzvláště nebezpečný je tento typ napadení pro hliník a jeho slitiny a také korozivzdorné oceli. (9) (11) Hliník a jeho slitiny jsou velice reaktivní a náchylné na korozi, a to obzvláště ve velmi kyselém nebo zásaditém prostředí. *„Oblast minimální koroze je pro hliník v rozmezí pH 5,5 – 8,5 s minimem okolo pH 6,5. U slitin s podstatným množstvím hořčíku, zinku, mědi nebo železa mohou rovněž nastat jiné druhy místní koroze, například korozní praskání, koroze po vrstvách a mezikystalová koroze.“* (7)

4.4 Štěrbinová koroze

K tomuto druhu napadení dochází především u šroubových spojů, styků stejných kovů, závitových spojů, v pórech svarů, pod těsníci plochami u spojů a ucpávek a v jiných konstrukčních štěrbinách. Působí stejně negativně jako bodová koroze a může ji doprovázet také další typy korozního napadení jako je korozní praskání, únava a mezikrystalová koroze. Ochranu před štěrbinovou korozí lze zajistit konstrukčními úpravami pro zabránění vzniku štěrbin a omezení styků kovového materiálu s materiály vylučující agresivní složky. (8)

4.5 Nitková koroze

U nitkové koroze se uplatňuje stejný mechanismus jako u koroze štěrbinové, tj. koroze probíhá v jemných kapilárách, kde se koncentrují články urychlující korozi. K nitkovému napadení dochází především pod vrstvou nátěru nebo jiných povlaků. Pokud do mikroskopických kanálek, které vzniknou mezi povlakem a povrchem oceli, pronikne elektrolyt, začne se koroze šířit ve tvaru tenkých nitek. (2)

4.6 Podpvrchová koroze

Porušení materiálu je u tohoto druhu napadení znatelně vyšší a rozlehlejší uvnitř kovu než na jeho povrchu. Korozní napadení vzniká v místech s nejmenší odolností, odkud se rozšiřuje a vytváří prostorovou dutinu. Dalším typem znehodnocení je vznik tzv. puchýřků pod povrchem materiálu, ty mohou proniknout až k vnějšímu prostředí a koroze pak probíhá na povrchu. Podpvrchová koroze se vyskytuje nejčastěji u hliníku, hořčíku a jejich slitin ve vodě za vysoké teploty. (9)

4.7 Selektivní koroze

Vyskytuje se u vícefázových slitin, jejichž fázová aktivita je velice rozdílná. Pokud je fáze, která podléhá korozi většinou zastoupená, může docházet k rovnoměrnému napadení, jestliže je však ve struktuře kovu malé množství korodující fáze, vzniká selektivní napadení. Nejčastěji je napadena jen jedna strukturní nebo chemická složka s nižší ušlechtilostí, která se korozními procesy odstraní. Materiál křehne a ztrácí pevnost. Obdobou tohoto napadení je extrakční koroze, jejíž typickým případem je odzinkování mosazi. (8) (9) (11)

4.8 Mezikrystalová koroze

Příčinou tohoto typu koroze je nestejnorodé uspořádání a chemické složení na hranicích zrn. Probíhá pouze podél těchto hranic a proniká do velké hloubky. Kov pak ztrácí svou mechanickou pevnost, houževnatost a kovový zvuk při úderu. Toto napadení postihuje nejčastěji korozivzdorné ocele a vzniká především při svařování. Při vhodném složení slitiny je možné jí předejít. (8) (9)

4.9 Transkrystalová koroze

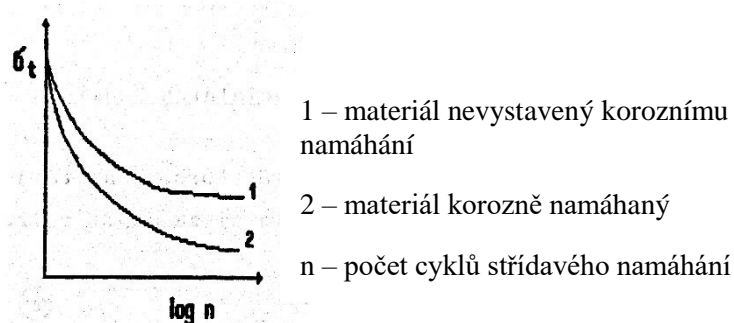
V tomto případě probíhá koroze v samotných zrnech, a nikoliv na jejich hranicích jako v předchozím případě. Pro vznik tohoto napadení je určující vnitřní pnutí a korozní prostředí. Většinou jsou k této korozi náchylné korozivzdorné oceli za působení chloridů a mosazi v prostředí par amoniaku. Stejně jako mezikrystalová koroze i tento druh je nebezpečný, protože se neprojevuje žádným vizuálním porušením, vše probíhá uvnitř materiálu, a proto jsou tyto koroze hůře zjištělné. (9)

4.10 Korozní praskání

Tento typ koroze se vyskytuje především u uhlíkových ocelí a slitin mědi, které jsou vystaveny mechanickému namáhání, nejčastěji tahovému napětí a koroznímu prostředí. V některých případech stačí ke vzniku korozního praskání vnitřní pnutí bez vnějšího mechanického namáhání. Předcházet tomuto typu napadení lze snížením tahového namáhání materiálu nebo vhodným výběrem materiálu, pokud není možné použít jiný materiál, je nutné riziko této koroze snížit náležitým tepelným opracováním. (8) (9)

4.11 Korozní únava

Rozdíl od předchozího druhu koroze spočívá v tom, že tahové napětí působí na materiál střídavě, cyklicky. U materiálu, který je korozně namáhán vznikají trhliny i pod mezí únavy, viz Obr. 11. Trhliny, které vzniknou, mají transkrystalický charakter. (9)



Obr. 11: Křivky únavy

Zdroj: (Kudláček, 1994)

4.12 Vibrační koroze

Vibrační koroze se nejčastěji vyskytuje ve spojích nebo ve styčných dvou ploch. Vznikne v případě, kdy jsou tyto dva prvky vystaveny kmitání, tato styková místa se se začnou zahřívat a dojde k oxidaci kovu. Jedná se tedy o chemický i mechanický průběh korozního procesu. Značný vliv má na tuto korozi také vlhkost, která zpravidla zpomaluje vibrační poškození vznikem mazací vrstvy adsorbovanou vodou. (9)

4.13 Napadení vodíkem

K poškození materiálu vodíkem dochází spíše v průmyslových podmínkách. Vodík se zachytí v místech kovu, označovaných jako vodíkové pasti, a poté materiál začne ztrácet svou pevnost. Někdy bývá tato vodíková křehkost označována za korozní praskání. Vliv na degradaci kovu má vznik jiných složek v materiálu jako je titan, což je příčinou rozpadu materiálu, hlavně korozivzdorných kovů, které jsou v těchto podmínkách používány. (8)

4.14 Bimetalická (galvanická) koroze

Při těsném kontaktu dvou rozdílných kovů a za vlhkých podmínek, kdy méně ušlechtilý kov začne korodovat, vzniká galvanický článek. Faktorů, který mají vliv na bimetalickou korozi je celá řada. Jedním z nich je rozdíl potenciálů mezi kovy, je-li tato hodnota malá, je i koroze minimální. Dalším působícím faktorem je velikost vystavené, stykové plochy, pokud je plocha méně ušlechtilého kovu malá v porovnání s druhým materiálem, je korozní úbytek materiálu značný. Posledním, ale neméně důležitým faktorem, je tenká vrstva vlhkosti mezi materiály. (9)

5 Protikorozní ochrana

5.1 Hlediska při postupu navrhování protikorozní ochrany

Návrh protikorozní ochrany je založen na poznání příčin koroze, jednotlivých faktorů ovlivňující korozi a různých typů protikorozní ochrany. (3) Právě volba správné protikorozní ochrany je klíčová pro zajištění požadované životnosti, pevnosti a funkčnosti konstrukce. Tato volba závisí nejen na typu, tvaru a rozměrech ocelové konstrukce, na účelu jejího použití a způsobu namáhání a na technologických možnostech provedení protikorozní ochrany, ale také na provedené kvalitě protikorozní ochrany, ekonomické efektivnosti a ekologické zátěže. Konstrukční hledisko spočívá převážně ve vhodném

návrhu konstrukce, a to tak aby bylo zabráněno vzniku koroze. Toto protikorozi opatření bude popsáno v dalších kapitolách. Dalším hlediskem, které je při návrhu nutné zohlednit, je ekonomika. Ekonomický rozbor je proveden vždy pro každou stavbu individuálně v souvislosti s požadovanou životností konstrukce, ale také životností protikorozi ochrany. Z ekonomického hlediska je zbytečné, aby životnost protikorozi ochrany byla větší než životnost samotné konstrukce. Rozbor by měl obsahovat všechny potenciální varianty technického řešení, tak aby bylo možné zvolit optimální typ protikorozi ochrany, která bude minimalizovat náklady, jak na pořízení, tak na provoz a údržbu a zároveň splní požadavek životnosti. Nízké náklady na protikorozi opatření však nemusí zajistit jeho potřebnou kvalitu a následné opravy mohou přinést mnohem vyšší výdaje než jiný typ ochrany s vyšší pořizovací cenou. Samozřejmě platí i to, že nejdražší opatření nemusí být vždy to nejlepší, a právě špatně zvolený typ protikorozi ochrany, jindy velice kvalitní a nákladnější, nemusí danému typu konstrukce vyhovovat, a opět tak může dojít k nárůstu nákladů na její opravu. Při obnově protikorozi ochrany je důležité počítat s možnými odstávkami nebo přerušáním výroby a s nimi spojené náklady. Z ekologického hlediska je při navrhování protikorozi ochrany klíčová ochrana životního prostředí, a to konkrétně ochrana ovzduší při používání nátěrových systémů, které své okolí znečišťují těkavými látkami. Vždy je tedy důležité navrhnout protikorozi opatření tak, aby co nejméně kontaminovala okolní prostředí, ale zároveň splňovala požadovanou kvalitu a životnost. (7)

5.2 Životnost protikorozi ochrany

„Plánovaná životnost je základním činitelem v postupu volby způsobu ochrany konstrukčních prvků. Životnost prvku či výrobku se odvozuje ve vztahu k jeho nejdůležitější funkční vlastnosti, tedy tloušťce prvku, požadavku na plochy nezasážené korozi, změny barvy či lesku.“ (7)

V nejideálnějším případě by se životnost protikorozi opatření měla rovnat návrhové životnosti konstrukce. Ve většině případů je však životnost ochrany výrazně nižší, a tak je nutné v odpovídajících intervalech zajistit její obnovu. V souladu s ČSN EN 1993-1-1 ed.2 musí být ocelová konstrukce navržena s ohledem na korozi s uplatněním vhodné povrchové ochrany dle ČSN EN ISO 12944 nebo s použitím patinující či korozivzdorné oceli. Určení intervalů obnovy protikorozi ochrany neboli tzv. programu údržby, souvisí s návrhovou životností pozemních staveb (Tab. 4), kde je ocelová konstrukce použita. (14) Velmi často je tento program zvolen tak, aby odpovídal termínům generálních oprav

konstrukce. Pokud se některé konstrukce po montáži stanou nepřijatelné, je nutné zajistit protikorozní ochranu, která bude účinná po celou dobu životnosti konstrukce nebo zaručit, aby tyto části byly vyměnitelné či vyrobené z korozivzdorných materiálů. (7)

Tab. 4: Informativní návrhové životnosti pozemních staveb

Zdroj: (ČSN EN 1990 ed. 2, 2021)

KATEGORIE NÁVRHOVÉ ŽIVOTNOSTI	INFORMATIVNÍ NÁVRHOVÁ ŽIVOTNOST (V LETECH)	PŘÍKLADY
1	10	Dočasné konstrukce (1)
2	10 až 25	Vyměnitelné konstrukční části, např. jeřábové nosníky, ložiska
3	15 až 30	Zemědělské a obdobné stavby
4	50	Budovy a další běžné stavby
5	100	Monumentální stavby, mosty a jiné inženýrské konstrukce

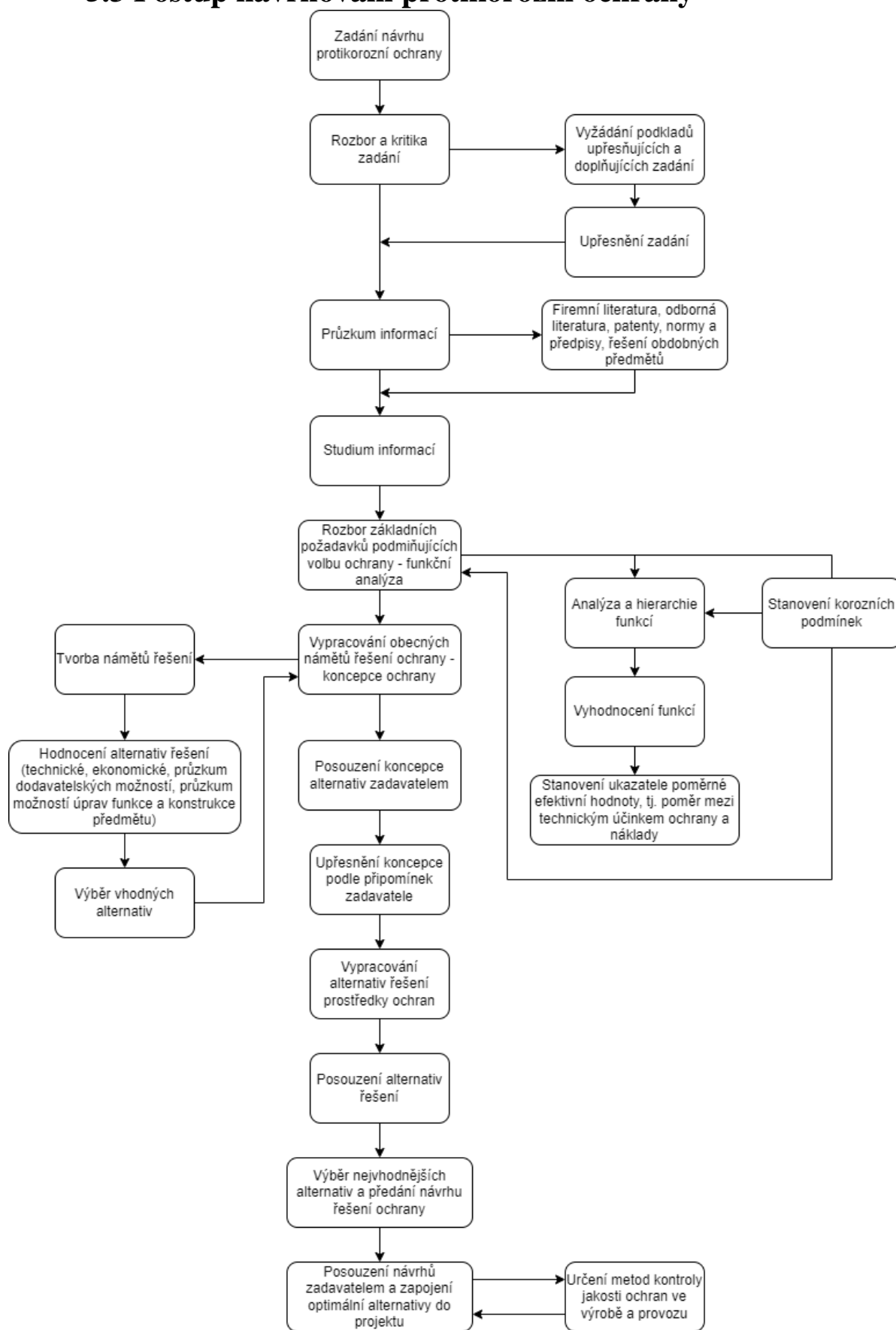
(1) Konstrukce nebo jejich části, které mohou být demontovány s předpokladem dalšího použití, se nemají považovat za dočasné

Dle ČSN EN ISO 12944-1 je návrhová životnost, tj. očekávaná doba do první obnovy, nátěrových systémů rozdělena do čtyř mezí:

- nízká (L – low) do 7 let;
- střední (M – medium) od 7 do 15 let;
- vysoká (H – high) od 15 do 25 let;
- velmi vysoká (VH – very high) přes 25 let. (7)

„Po uplynutí předpokládané životnosti protikorozní ochrany je vhodné provést vyhodnocení stavu konstrukce a podle stavu nátěrového systému (prokorodování, podkorodování, přilnavosti vrstev) se provede celková nebo jen částečná obnova protikorozní ochrany nátěrovým systémem, vždy s ohledem na další předpokládanou životnost. V případě částečné obnovy protikorozní ochrany je nutné použít nátěrovou hmotu na stejné pojivové bázi nebo ověřit kompatibilitu stávající a nové nátěrové hmoty.“
(7)

5.3 Postup navrhování protikorozní ochrany



Obr. 12: Časový postup řešení protikorozní ochrany

Zdroj: (Bartoniček, 1980)

Pro provedení funkční analýzy, viz Obr. 12 a určení požadavků a kritérií protikorozní ochrany je důležité vytvořit zadání, které bude obsahovat především tyto informace:

- cíl a hloubku řešení;
- termín řešení;
- popis funkce zařízení – včetně charakteristiky chemického složení prostředí, teplot, tlaků, proudění a dalších parametrů, a jeho umístění (klimatické podmínky, zařazení ve výrobní jednotce apod.);
- popis konstrukce – náčrt předmětu, jeho velikost, hmotnost, způsob obsluhy a údržby;
- technologii výroby, dopravu a montáž, počet předmětů, termín výroby;
- materiál – předpokládané materiálové řešení, dostupnost materiálu;
- další, netechnické požadavky – sociologické, ergonomické, estetické;
- podmínky omezující řešení nebo upřesňující požadavky – předpisy a normy;
- požadavky na účinnost protikorozní ochrany – přípustná míra korozního napadení, požadovaná životnost nebo provozní spolehlivost;
- ekonomické požadavky – ekonomická životnost, předpokládané výrobní a provozní náklady. (3)

Nedílnou součástí celého návrhu protikorozní ochrany je také kontrolní a zkušební plán, který by měl obsahovat:

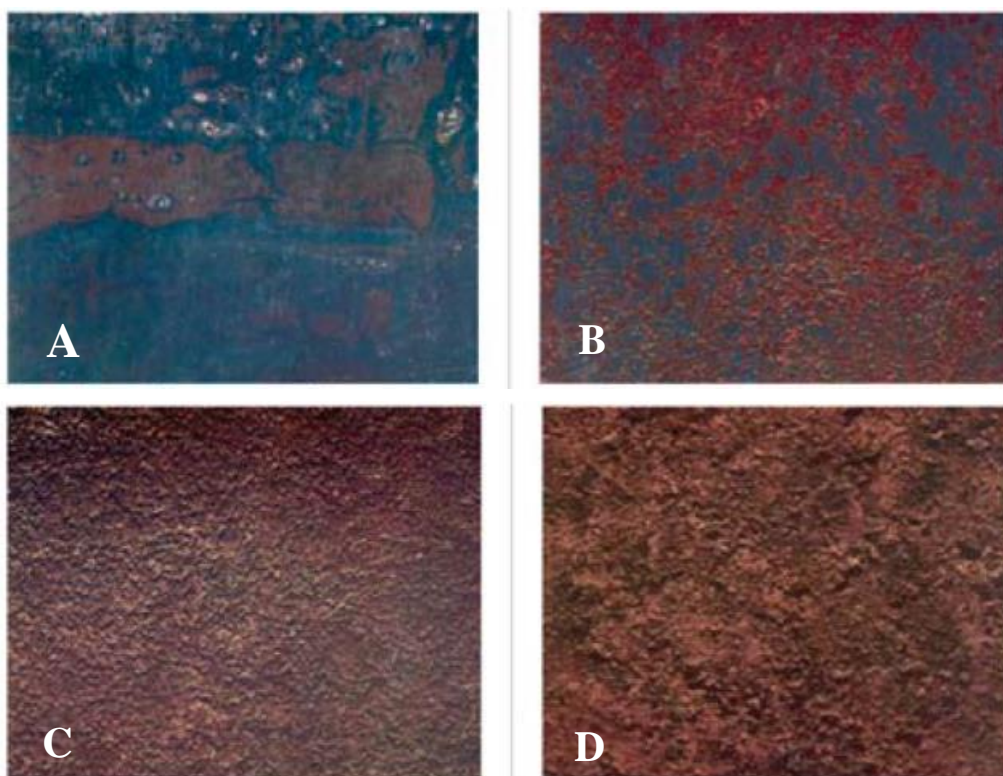
- průkaz kvality jednotlivých používaných nátěrových hmot a materiálu pro protikorozní ochranu, patří sem např. atesty či shody s technickými listy,
- sjednané kontrolní metody včetně způsobů vyhodnocení výsledků a rozhodovacích kritérií,
- postup inspekce,
- specifikace kontrolních ploch. (7)

5.4 Metody úpravy povrchů

Příprava povrchu se nepovažuje za protikorozní ochranu jako takovou, ale je naprosto klíčová pro zajištění potřebné přilnavosti mezi podkladem a povlakovým systémem. Při válcování ocele vzniká na jejím povrchu černý, přilnavý, tvrdý ale křehký plášť, jinak také nazývaný okuje. Tento plášť vzniká v důsledku zahřívání ocele pod bod tavení, kdy se kyslík z ovzduší slučuje s horkým kovovým materiálem, a tím tak vznikají kysličníky železa a legujících kovů, které při chladnutí vytváří okuje. Těmito trhlinami pak často proniká voda a materiál podléhá korozi. Při samotném korozním procesu se pak okuje postupně odlupují, což má za následek nejednotný povrch, nevhodný pro aplikaci protikorozního nátěru bez patřičného očištění. Na povrchu se mohou také vyskytovat jiné nečistoty, jako jsou zbytky oleje, mastnoty, značkovací inkousty apod. Pro takové nečistoty se nejčastěji používají organická rozpouštědla či emulzní odmašťovací roztoky. Podrobný popis odstraňování těchto cizích látek je uveden v příloze C ČSN EN ISO 12944-4, jedná se především o čištění vodou, párou, emulzí nebo alkalické čištění. Všechny tyto předběžné úpravy se používají před použitím jiných metod čištění, uvedených níže. (15)

Pro správné zvolení metody očištění či úpravy povrchu je důležité správné určení tzv. „stupně zarezavění“ ocelové konstrukce. Vzhledem k tomu, že množství rzi na ocelovém povrchu závisí na době jeho vystavení vlhkému prostředí, rozlišuje norma ČSN EN ISO 8501-1 čtyři kategorie, viz Obr. 13:

- A** – povrch oceli je téměř úplně pokryt pevně ulpívající vrstvou okují, ale v podstatě bez viditelných stop rzi;
- B** – povrch oceli s počínající vrstvou rzi a odlupujícími se okujemi;
- C** – povrch oceli, ze kterého již okuje odkorodovaly nebo jsou odstranitelné kartáčováním, který však vykazuje pouze ojedinělou důlkovou korozi při prohlídce bez zvětšení;
- D** – povrch oceli, ze kterého již okuje odkorodovaly a který vykazuje důlkovou korozi při prohlídce bez zvětšení. (16)



Obr. 13: Stupně zarezávání

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-1, 2007)

5.4.1 Ruční a mechanizované čištění

Tyto mechanické úpravy povrchu se velmi často používají jako úpravy před vytvářením povlaku nebo jako konečné úpravy. (17) Před použitím ručních nebo mechanických nástrojů musí být z povrchu odstraněny silné vrstvy rzi štípáním, včetně odstranění olejů, mastnot a jiných nečistot. Po provedení je třeba povrch očistit od uvolněného prachu a nečistot vzniklých při odstraňování rzi. Příprava povrchu ručním a mechanizovaným čištěním se označuje písmeny „St“ v souladu s ČSN EN ISO 8501-1, viz Tab. 5. (18)

Tab. 5: Stupně přípravy pro ruční a mechanizované čištění

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-1, 2007)

OZNAČENÍ	POPIS
St 2– Důkladné ruční a mechanizované čištění	Při prohlídce bez zvětšení se nezjistí přítomnost olejů, mastnot a nečistot včetně nepřilnavých vrstev okují, rzi, nátěrů a cizích látek, viz Obr. 14.
St 3 – Velmi důkladné ruční a mechanizované čištění	Odpovídá stupni St 2, ale čištění musí být mnohem důkladnější a povrch musí vykazovat kovový odstín daný podkladem, viz Obr. 15.
Pozn.: Stupeň přípravy St 1 není zahrnut, protože by odpovídal povrchu nevhodnému pro nátěr.	



Obr. 14: Stupně přípravy povrchu dosahované ručním a mechanizovaným čištěním – St 2
Zdroj: (Nevěčný, 2012)



Obr. 15: Stupně přípravy povrchu dosahované ručním a mechanizovaným čištěním – St 3
Zdroj: (Nevěčný, 2012)

Pozn.: Pro hypotetický stupeň přípravy A St 2/St 3 neexistuje fotografický vzor. Tento stupeň je ve skutečnosti nedosažitelný nebo naprosto nevyhovující pro aplikaci nátěrů či povlaků. (16)

Mezi materiály a ruční nástroje používané pro ruční čištění patří zejména:

- nože, škrabky, dláta a sekací kladiva – tyto nástroje se používají především k odstraňování strusky, odštípnutí starého laku, uvolnění rzi apod.,
- ruční drátěné kartáče, brusný papír pro konečnou ruční přípravu včetně lemování okrajů jakéhokoli pevně přilnavého nátěrového systému.

V oblastech s nebezpečím požáru či výbuchu je uvažovat nad použitím „nejiskřícího“ nářadí. Nejvhodnějšími nástroji jsou tak nástroje se štětinami z plastových materiálů s vloženým brusivem. (19)

Mezi nářadí používané pro mechanizované čištění patří zejména nástroje poháněné stlačeným vzduchem nebo elektřinou, jedná se především o:

- sekací kladiva a rotační odstraňovače okují pro odstranění převážně hrubých okují včetně těžkých vrstvených okují,

- jehlové pistole pro použití na svary, zapuštěné práce a spojovací prvky,
- brusky, brusné kotouče, rotační drátěné kartáče, rotační papírová kola s brusným povlakem, rotační dokončovací kartáče s vlákny impregnovanými brusným pískem apod.,
- brusky k vyhlazení svarů a hran. (19)

Při mechanizovaném čištění je nutné dbát na opatrnost, aby nedošlo k nadměrnému zdrsnění povrchu oceli. Přílišná drsnost povrch může znehodnotit následně aplikovaný ochranný nátěr, a to z důvodu narušení jeho tloušťky. Nesmí také dojít k poškození či deformaci konstrukčních prvků. Při použití drátěných kartáčů je třeba zajistit, aby rez a nečistoty nebyly pouze vyleštěny. Leštěná rez a okuje mohou vytvořit lesk, který vypadá jako čistý kov, ale může značně zhoršit přilnavost nanášeného nátěru. Čištění elektrickým nářadím je efektivnější než ruční čištění v závislosti na pokryté ploše a požadovaném stupni čistoty. Nicméně účinnější metodou čištění je tryskání. (20)

5.4.2 Tryskání

Otryskávání je způsob mechanické úpravy kovového povrchu, při kterém se tryskací materiál vrhá velikou rychlostí proti povrchu ocelové konstrukce. (17) Před otryskáním je třeba odstranit silné vrstvy rzi oštípáním, včetně viditelných olejů, mastnot a jiných nečistot. Po suchém otryskání musí být povrch očištěn od uvolněného prachu a nečistot vzniklých během tohoto procesu např. odsáváním, kartáčováním nebo použitím stlačeného vzduchu bez oleje a vlhkosti. Po mokřém tryskání se povrch omyje čistou vodou, která může obsahovat inhibitor koroze dle potřeby a stlačený vzduch se pak použije k osušení povrchu. Před aplikací nátěrových nebo jiných systémů je nutné, aby byl otryskaný povrch osušen. Může však dojít ke vzniku tzv. bleskové koroze, která může působit nepříznivě pro následnou aplikaci nátěrů, a bude tak nutné tuto tenkou vrstvu oxidu železa odstranit. (21)

Příprava povrchu tryskáním se označuje písmeny „Sa“ v souladu s ČSN EN ISO 8501-1, viz Tab.6. (18)

Jednotlivé metody tryskání, uvedené níže, jsou podrobně popsány v ČSN EN ISO 8504-2. Abrasiva používána pro tryskání jsou specifikována v evropských normách, konkrétně se jedná o ČSN EN ISO 11124 pro kovové otryskávací prostředky a ČSN EN ISO 11126 pro nekovové otryskávací prostředky. (20)

Tab. 6: Stupně přípravy dosažitelné otryskáním

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-1, 2007)

OZNAČENÍ	POPIS
Sa 1 – Lehké otryskání	Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot a od špatně přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek, viz Obr. 16.
Sa 2 – Důkladné otryskání	Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot a téměř žádné okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbytky nečistot musí být pevně přilnavé, viz Obr. 17.
Sa 2½ – Velmi důkladné otryskání	Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okuje, rez, zbytky nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze ve formě skvrn nebo pásů, viz Obr. 18.
Sa 3 – Vizuálně čistý ocelový povrch	Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okuje, rez, zbytky nátěrů a cizích látek. Povrch musí vykazovat jednotný kovový vzhled, viz Obr. 19.



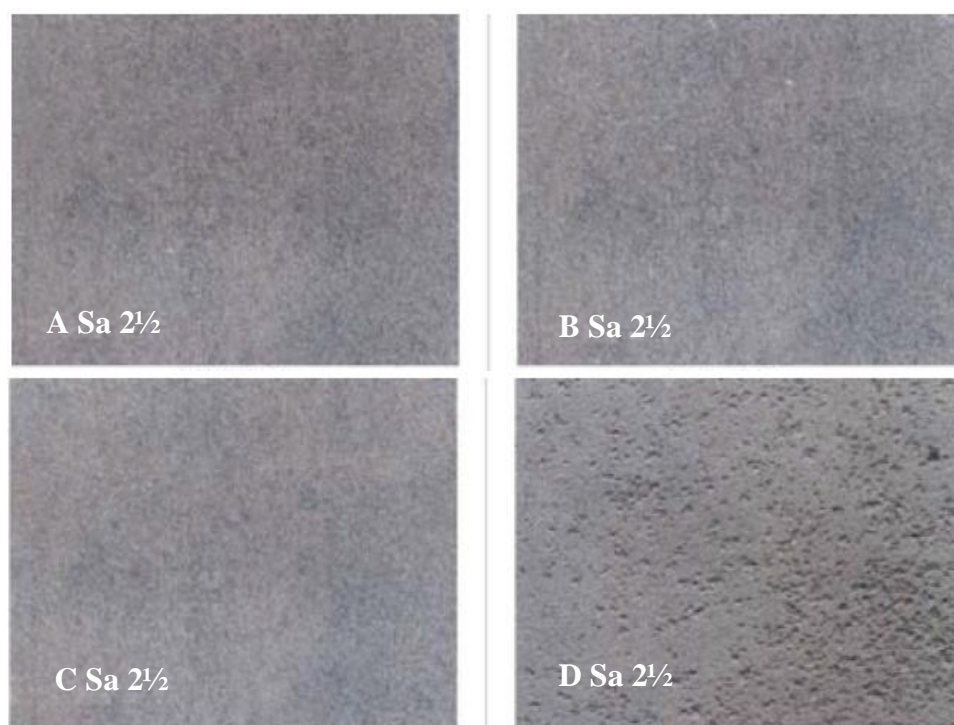
Obr. 16: Stupně přípravy povrchu získané tryskáním – St 1

Zdroj: (Nevěčný, 2012)

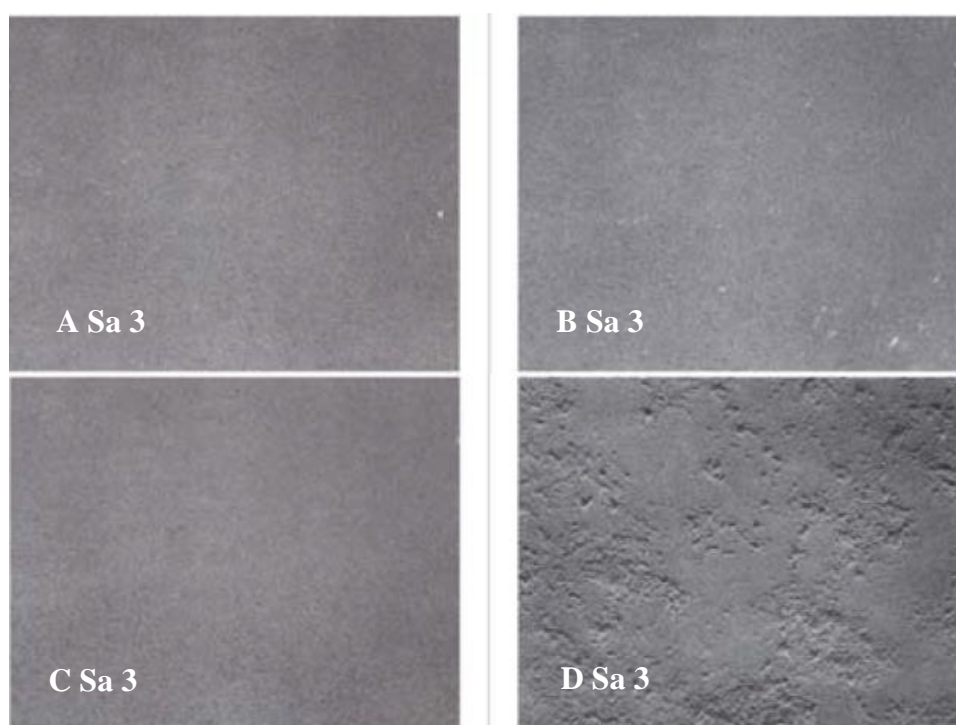


Obr. 17: Stupně přípravy povrchu získané tryskáním – St 2

Zdroj: (Nevěčný, 2012)



Obr. 18: Stupně přípravy povrchu získané tryskáním – St 2 $\frac{1}{2}$ Zdroj: (Nevěčný, 2012)



Obr. 19: Stupně přípravy povrchu získané tryskáním – St 3 Zdroj: (Nevěčný, 2012)

Pozn.: Pro hypotetický stupeň přípravy A Sa 1/Sa 2 neexistuje fotografický vzor. Tento stupeň je ve skutečnosti nedosažitelný nebo naprosto nevyhovující pro aplikaci nátěrů či povlaků. (16)

5.4.2.1 Abraziva

Výběr vhodného abraziva včetně vhodné metody tryskání je nezbytný pro dosažení požadovaného standardu přípravy povrchu, tj. čistoty povrchu, rychlosti čištění a výsledného profilu otryskaného povrchu materiálu. (21) Tenkostěnné prvky nebo konstrukce z měkkých materiálů se otryskávají nižším tlakem a jemnějšími zrny, aby nedošlo k deformaci konstrukce či jejího profilu. Pro těžké konstrukce se používá hrubozrnná drť. (17) Označení jednotlivých typů abraziv je popsáno v Tab. 7.

Tab. 7: Specifikace a označení základních tryskacích materiálů

Zdroj: (ČSN EN ISO 8504-2, 2020)

OZNAČENÍ	SYMBOL	TVAR ČÁSTIC	POUŽÍVANÝ MATERIÁL
Broky	S	Kulovitý, bez ostrých hran a lomených ploch	Nízkouhlíková ocel, staurolit
Drť	G	Hranatý, ostrohranný s lomenou plochou	Vysokouhlíková litá ocel (i v podobě broků), tvrzená šedá litina, garnet, strusky (vysokopecní, měděná, niklová), tavený oxid hlinitý
Válcovité	C	Ostrohranný, sekaný na pravý úhel svírající s osou drátu	Sekáný drát

Pozn.: Velikost a tvar částic brusiva se může během použití nebo opětovného použití změnit a tato změna může ovlivnit výslednou povrchovou strukturu otryskané oceli.

Nejčastěji používanými otryskávacími materiály jsou:

- křemičitý písek
 - má ostrohranná zrna, používá se tříděný písek, méně hodnotný je pak sklářský písek, používá se výhradně pro pneumtické tryskání do tlaku max 0,3 MPa, při vyšším tlaku dochází k nadměrnému tříštění, prašnosti, hrozí nebezpečí silikózy pro obsluhu,
- litinová drť
 - dražší než předchozí typ abraziva, nicméně mnohonásobně trvanlivější, zrnitost a jakost je rovnoměrnější, i přes vyšší cenu je použití litinové drti hospodárnější a hygieničtější, není vhodné pro otryskávání barevných kovů či korozivzdorných ocelí,

- brusiva, např. karbid křemíku, umělý korund
 - ostřejší zrno, vzniká méně prašnosti než při použití křemičitého písku, je také trvanlivější a stejnoměrnější, nejčastěji se používá kysličník hlinitý,
 - sekáný drát
 - z těchto materiálu má největší pevnost, používá se patentovaný drát s vysokou pevností 160 MPa nasekaný na válečky, dražší než litinová drť, ale má značné výhody, např. se dále neštěpí, nedrtí a neopotřebovává tryskačí zařízení,
 - balotina
 - skleněné kuličky vyrobené granulací skla, používá se pro vyhlazování a leštění po použití brusiva, snižuje drsnost povrchu až o polovinu, povrch je tak odolnější proti poškození a korozi.
- (17)

Otryskaný povrch je ihned po aplikaci zaktivizován, a tak by měl být neprodleně nanesen ochranný povlak. Vzhledem k tomu, že tryskání je jednou z nejefektivnějších metod předúpravy povrchu, je důležité zmírnit efekt bleskové koroze např. přidáním fosfátových primerů nebo odrezovačů. Další možností může být opláštění celé stavby ihned po otryskání, suchém i mokřím, to je však časově a finančně náročné. (22)

Kromě stupně čistoty povrchu je také nutné vzít v úvahu drsnost povrchu před aplikací ochranného protikorozního systému. Ocelovou drť je vhodné použít pro tenké povlaky jako jsou např. základní nátěry, křemenná drť je pak vhodná spíše pro nátěrové systémy o větší tloušťce nebo pro žárově stříkané povlaky, jelikož vytváří velice hrubou ostrohrannou vrstvu na povrchu materiálu. (15)

5.4.2.2 Suché tryskání

Jednotlivé metody otryskávání za sucha jsou popsány v Tab. 8.

Tab. 8: Otryskávání za sucha

Zdroj: (ČSN EN ISO 8504-2, 2020)

ODSTŘEDIVÉ OTRYSKÁVÁNÍ		
METODY OTRYSKÁVÁNÍ ZA SUCHA	PRINCIP	Odstředivé tryskání abrazivem se provádí v pevných instalacích nebo mobilních jednotkách, ve kterých je abrazivo přiváděno na rotující kola nebo oběžná kola umístěná tak, aby vrhala abrazivo rovnoměrně a vysokou rychlostí na čištěný povrch.
	OBLAST POUŽITÍ	Metoda je vhodná pro nepřetržitý provoz na obráběných předmětech, tzv. obrobcích, s přístupnými povrchy. Je také použitelný pro obrobky s různými stupni rzi (viz ISO 8501-1). Většina zařízení pro odstředivé tryskání abraziva je stacionární a abrazivo cirkuluje v uzavřeném systému. Obrobky jsou v zařízení buď přiváděny nebo otáčeny. V určitých případech může být zařízení mobilní, a proto užitečné pro čištění velkých nepřerušovaných ploch, jako jsou trupy lodí a nádrže na skladování ropy.
	ÚČINNOST	Touto metodou lze dosáhnout stupně přípravy Sa 3 na oceli všech stupňů koroze definovaných v ČSN EN ISO 8501-1.
	OMEZENÍ	Zařízení pro odstředivé abrazivní tryskání musí být pečlivě nastaveno pro každou aplikaci, a proto je tato metoda obecně omezena na opakující se práce spojené s velkoobjemovou propustností nebo kontinuální výrobou. Obecně platí, že chemikálie kontaminující ocelový povrch nelze zcela odstranit odstředivým tryskáním. Je-li tedy nutné úplné odstranění, je nutné další ošetření.

Tab. 8 (pokračování)

OTRYSKÁVÁNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM		
METODY OTRYSKÁVÁNÍ ZA SUCHA	PRINCIP	<p>Abrazivní otryskání stlačeným vzduchem se provádí přiváděním abraziva do proudu vzduchu a směrováním směsi vzduch/abrazivo vysokou rychlostí z trysky na čištěný povrch.</p> <p>Brusivo může být vstříkováno do proudu vzduchu z tlakové nádoby nebo může být nasáváno do proudu vzduchu sáním z nádoby bez tlaku.</p>
	OBLAST POUŽITÍ	<p>Metoda je vhodná pro čištění obrobků (včetně velkých konstrukcí) všech typů. Je také použitelný pro obrobky s různými stupni rzi (viz ISO 8501-1). Může být použit buď kontinuálně nebo přerušovaně a může být použit, když odstředivé abrazivní tryskání není vhodné.</p> <p>Tento systém čištění lze použít v továrnách, místnostech, skříních nebo na místě.</p>
	ÚČINNOST	<p>Tato metoda je všestranná a lze s ní dosáhnout stupně přípravy Sa 3 na oceli všech stupňů koroze definovaných v ČSN EN ISO 8501-1.</p>
	OMEZENÍ	<p>Tato metoda vede ke vzniku volného prachu a její použití může být omezeno v aplikacích, kde zařízení na potlačení prachu nebo odsávání nejsou schopna splnit přípustné úrovně znečištění životního prostředí.</p> <p>Obecně platí, že chemikálie kontaminující ocelový povrch nelze zcela odstranit abrazivním otryskáním stlačeným vzduchem. Je-li tedy nutné úplné odstranění, je nutné další ošetření.</p>

Tab. 8 (pokračování)

VAKUOVÉ NEBO ODSÁVACÍ TRYSKÁNÍ		
METODY OTRYSKÁVÁNÍ ZA SUCHA	PRINCIP	Tato metoda je podobná abrazivnímu čištění stlačeným vzduchem, ale s tryskací tryskou uzavřenou v sací hlavě utěsněné k povrchu oceli, která shromažďuje použité abrazivo a nečistoty. Alternativně může být proud vzduchu/abraziva nasáván na povrch sníženým tlakem na sací hlavě.
	OBLAST POUŽITÍ	Metoda je vhodná zejména pro místní čištění tam, kde je prach a úlomky pocházející z jiných technik tryskání nepřijatelné a kde lze splnit technické požadavky (např. těsné utěsnění sací hlavy k povrchu).
	ÚČINNOST	Tato metoda je čistá, s malým množstvím prachu v oblasti a může dosáhnout stupně přípravy Sa 2½ podle definice v ISO 8501-1. Po delší době čištění touto metodou lze získat stupeň přípravy Sa 3.
	OMEZENÍ	Tato metoda je časově náročnější než jiné metody tryskání. Není vhodná pro čištění silně zkorodované oceli (třídy rzi D podle normy ISO 8501-1) a není použitelná pro nepravidelné tvary kvůli nutnosti utěsnit sací hlavu těsně k povrchu a obtížím při manipulaci se zařízením. Obecně platí, že chemikálie kontaminující ocelový povrch nelze zcela odstranit vakuovým čištěním nebo abrazivním otryskáním na sací hlavě. Je-li tedy nutné úplné odstranění, je nutné další ošetření.

5.4.2.3 Mokrý tryskání

Jednotlivé metody otryskávání za mokra jsou popsány v Tab. 9.

Tab. 9: Otryskávání za mokra

Zdroj: (ČSN EN ISO 8504-2, 2020)

VLHKÉ OTRYSKÁVÁNÍ (ABRAZIVNÍ OTRYSKÁVÁNÍ VLHKÝM STLAČENÝM VZDUCHEM)		
METODY OTRYSKÁVÁNÍ ZA MOKRA	PRINCIP	Tato metoda je podobná abrazivnímu otryskání stlačeným vzduchem, ale s přidáním velmi malého množství kapaliny (obvykle čisté, čerstvé vody) před tryskou do proudu vzduchu/abraziva, což má za následek proces otryskání, který je bezprašný v rozsahu velikostí suspendovaných částic menší než 50 µm. Spotřebu vody lze regulovat a je obvykle 15 l/h až 25 l/h. Do vody lze přidat vhodný inhibitor koroze.
	OBLAST POUŽITÍ	Tato metoda je vhodná pro čištění obrobků (včetně velkých konstrukcí) všech typů. Je také použitelná pro obrobky, které mají různé stupně rzi, protože přidávání kapaliny lze řídit tak, aby odpovídalo intenzitě produkovaného prachu. Lze jej použít ve většině případů, kdy je třeba se vyhnout vysoké prašnosti a velkému množství vody. Přidávání kapaliny, která váže prach, je řízeno tak, aby z trysky normálně žádná kapalina nekapala. To znamená, že jednotlivé abrazivní částice jsou obaleny extrémně tenkým tekutým filmem, který při prasknutí částic zabraňuje tvorbě prachu kolem ošetřovaného povrchu.
	ÚČINNOST	Tato metoda je všestranná a lze s ní dosáhnout stupně přípravy Sa 3 na oceli všech stupňů koroze definovaných v ČSN EN ISO 8501-1.
	OMEZENÍ	Kvalita přípravy povrchu dosažená touto metodou se liší od kvality dosažené abrazivním otryskáním stlačeným vzduchem pouze tím, že upravený povrch je zpočátku vlhký. Vlhkost zmizí během několika minut, čas závisí na okolních podmínkách, a může způsobit lehké, zanedbatelné stopy rzi na zdrsňeném povrchu. V případech, kdy dochází k „bleskové korozi“, jsou nutné vhodné nátěrové systémy. Je-li použit inhibitor koroze, musí být kompatibilní s následným nátěrem. Použití inhibitoru koroze ve vodě může vyžadovat speciální postupy likvidace odpadu, aby byly v souladu s místními ekologickými předpisy.

Tab. 9 (pokračování)

OTRYSKÁVÁNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM ZA MOKRA		
METODY OTRYSKÁVÁNÍ ZA MOKRA	PRINCIP	<p>Tato metoda je podobná abrazivnímu otryskání stlačeným vzduchem, ale s přidáním kapaliny (obvykle čisté, čerstvé vody) za tryskou, aby se vytvořil proud vzduchu, vody a abraziva.</p> <p>Do vody lze přidat vhodný inhibitor koroze.</p>
	OBLAST POUŽITÍ	<p>Tato metoda je vhodná pro čištění obrobků (včetně velkých konstrukcí) všech typů. Je také použitelný pro obrobky s různými stupni rzi a zejména pro důlkovou a chemicky kontaminovanou ocel za předpokladu, že je povolena přítomnost vody. Může být použit v kontinuálních i přerušovaných provozech, zejména tam, kde je požadováno, aby vyčištěné povrchy měly nízké hladiny zbytkových rozpustných solí.</p> <p>Pro přípravu povrchu při údržbě je možné částečně nebo selektivně odstranit stávající nátěry úpravou tlaku a poměrů vzduchu, vody a abraziva ve směsi.</p>
	ÚČINNOST	<p>Touto metodou lze dosáhnout stupně přípravy Sa 3, jak je definován v ISO 8501-1. Metoda je vhodná zejména pro snížení množství ve vodě rozpustných nečistot a minimalizaci tvorby prachu během čištění. Protože se voda přidává za tryskou, je chemické čištění méně účinné.</p>
	OMEZENÍ	<p>Tryskaný povrch je obvykle pokryt suspenzí, která zhoršuje vizuální kontrolu operátorem. Tato suspenze musí být, proto odstraněna suchým otryskáním nebo vodním paprskem. Před nanesením barvy může být nutné povrch nechat vyschnout, a tak může dojít k „bleskové korozi“. Tento tenký film oxidu železa bude nutné odstranit, pokud to bude považováno za škodlivé pro následný nátěr.</p> <p>Mokrý tryskání se nesmí používat tam, kde může být přítomnost vody škodlivá. Používaná brusiva jsou obecně omezena na spotřební neželezné materiály.</p> <p>Je-li použit inhibitor koroze, musí být kompatibilní s následným nátěrem. Použití inhibitoru koroze ve vodě může vyžadovat speciální postupy likvidace odpadu, aby byly v souladu s místními ekologickými předpisy.</p>

Tab. 9 (pokračování)

METODY OTRYSKÁVÁNÍ ZA MOKRA	SUSPENZNÍ OTRYSKÁVÁNÍ	
	PRINCIP	<p>Disperze jemného abraziva ve vodě nebo jiné kapalině je nasměrována pomocí čerpadel nebo stlačeného vzduchu na čištěný povrch.</p> <p>Může být přidán vhodný inhibitor koroze.</p>
	OBLAST POUŽITÍ	Tato metoda je vhodná pro vytvoření jemného profilu povrchu na površích vyžadujících malý nebo žádný sekundární profil, který je často potřebný pro malé obrobky.
	ÚČINNOST	Tento způsob vede k obzvláště jemné a rovnoměrné struktuře povrchu a je zvláště vhodný pro snížení množství rozpustných solí.
	OTRYSKÁVÁNÍ TLAKOVOU KAPALINOU	
	PRINCIP	<p>Brusivo (nebo směs abraziv) se zavádí do proudu kapaliny (obvykle čistá, čerstvá voda) a proud směřuje tryskou na čištěný povrch. Proud je převážně stlačená kapalina a přídavky pevných abraziv jsou obvykle menší než u mokrého abrazivního tryskání stlačeného vzduchu.</p> <p>Brusivo může být zavedeno buď za sucha (se vzduchem nebo bez něj) nebo jako vlhká suspenze.</p> <p>Do vody lze přidat vhodný inhibitor koroze.</p>
	OBLAST POUŽITÍ	Stejně jako pro mokré abrazivní tryskání stlačeným vzduchem.
	ÚČINNOST	Touto metodou lze dosáhnout stupně přípravy Sa 3 na oceli stupně koroze A, B a C a Sa 2½ na oceli stupně koroze D, jak je definováno v ISO 8501-1. Je zvláště vhodné pro snížení množství ve vodě rozpustných kontaminantů, ale je hůře ovladatelné než mokré abrazivní tryskání stlačeným vzduchem pro odstranění rozpustných solí a vysoký tlak vody představuje potenciální nebezpečí.
	OMEZENÍ	Stejně jako pro mokré abrazivní tryskání stlačeným vzduchem.

5.4.3 Vysokotlaké tryskání vodou

Tato metoda čištění povrchu spočívá v nasměrování proudu čisté vody na povrch pod určitým tlakem. Tlak vody je nastaven v závislosti na odstraňovaných nečistotách, jako jsou ve vodě rozpustné látky, uvolněná rez a špatně přilnavé nátěry, viz Tab. 10. (20) Otryskávání vodou však nevytváří na povrchu drsný profil, ale pouze mírně zaobluje stávající povrch. Tento typ předúpravy povrchu efektivně odstraní stávající povlak, tak aby byl kompletně obnažen původní profil konstrukce. (23) Vysokotlaké a ultravysoké otryskávání je definováno v ČSN EN ISO 8501-4, viz Tab. 11.

Tab. 10: Definice typů čištění/otryskávání

Zdroj: (Technická směrnice Hempel, 2021)

METODA	TLAK VODY	OBLAST POUŽITÍ
Nízkotlaké čištění vodou (LPWC)	pod 34 MPa	Pro průmyslové a domácí použití
Vysokotlaké čištění vodou (HPWC)	34–70 MPa	Odstranění mořského porostu
Vysokotlaké otryskávání vodou (HPWJ)	70–210 MPa	Odstranění nátěrů a částečně i rzi
Ultra vysokotlakové otryskávání vodou (UHPWJ)	nad 210 MPa	Odstranění nátěrů a rzi

Norma ČSN EN ISO 8501-4 definuje pět počátečních povrchových podmínek:

- DC A, DC B – povrch, na kterém došlo k degradaci nátěrového systému,
- DC C – povrch, který mohl být natřen a který do značné míry degradoval, degradoval úplně nebo ochranným nátěrem nebyl opatřený vůbec, pak se jedná o stupeň zarezavění C dle ČSN EN ISO 8501-1,
- DP I – povrch epoxidového prefabrikovaného (dílenkého) základního nátěru s oxidem železa, který degradoval,
- DP Z – povrch zinksilikátového prefabrikovaného (dílenkého) základního nátěru, který degradoval. (24)

Tab. 11: Stupně přípravy povrchu po vysokotlakém tryskání vodou

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021)

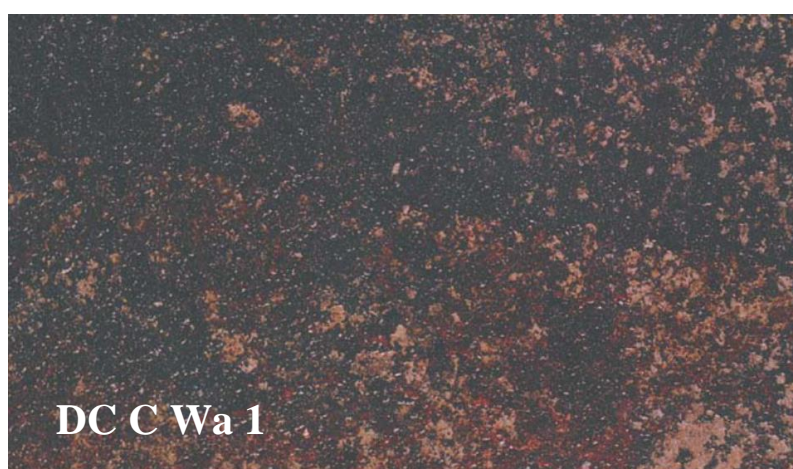
OZNAČENÍ	POPIS
<p>Wa 1 – Lehké otryskání paprskem o vysokém tlaku</p>	<p>Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje a mastnoty, nepřilnavých nebo poškozených nátěrů, nepřilnavé rzi nebo ostatních cizích látek. Všechny zbytky znečištění musí být rozptýleny náhodně a musí být pevně přilnavé, viz Obr. 21.</p>
<p>Wa 2 – Důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku</p>	<p>Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje, mastnoty a nečistot a většiny rzi, předchozích nátěrů a ostatních cizích látek. Všechny zbytky znečištění musí být rozptýleny náhodně a mohou obsahovat pevně přilnavé povlaky, pevně přilnavé cizí látky a stíny po dřívě se vyskytující rzi, viz Obr. 22.</p>
<p>Wa 2½ – Velmi důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku</p>	<p>Při prohlídce bez zvětšení musí být povrch bez všech viditelných stop koroze, oleje, mastnoty, nečistot, předchozích nátěrů, a kromě lehkých stop, bez všech cizích látek. Pokud byl původní nátěr neporušen, může povrch vykazovat barevné změny. Šedé nebo hnědočerné zbarvení v místech důlkové koroze nebo zkorodované oceli nelze dalším otryskáním vodou odstranit, viz Obr. 23.</p>

Pozn.: Obr. 20 zobrazuje stav povrchu před jakoukoli úpravou.



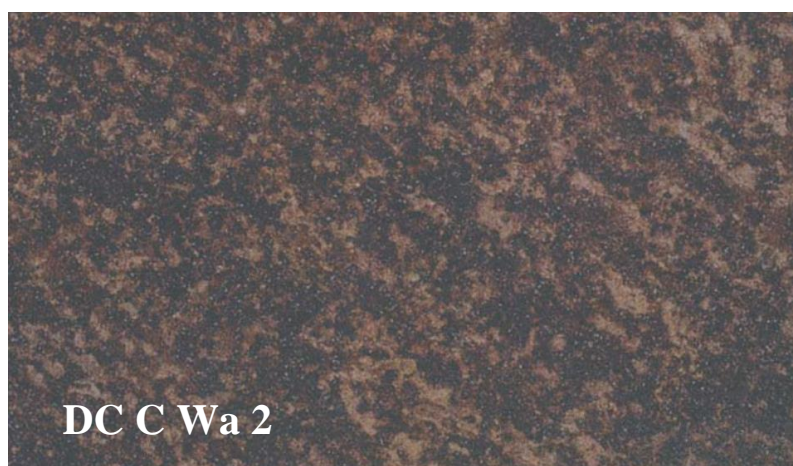
Obr. 20: Počáteční stav povrchu – DC C

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021)



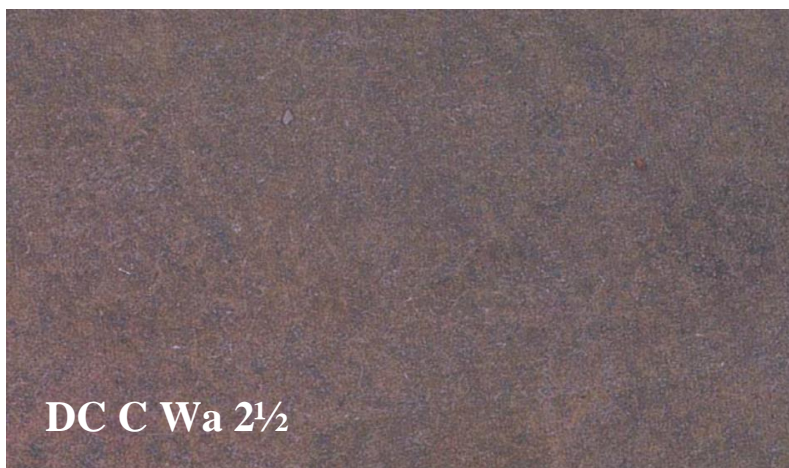
Obr. 21: Počáteční stav povrchu a stupeň přípravy – DC C Wa 1

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021)



Obr. 22: Počáteční stav povrchu a stupeň přípravy – DC C Wa 2

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021)



Obr. 23: Počáteční stav povrchu a stupeň přípravy – DC C Wa 2½ Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021)

Pozn.: Každá z těchto porovnávacích fotografií kombinuje počáteční stav povrchu a stupeň přípravy, a to konkrétně pro stav DC C.

S vysokotlakým tryskáním vodou, ale i s mokřým abrazivním tryskáním, souvisí termín blesková koroze. Přesná definice je stanovena v normě ČSN EN ISO 4618 Nátěrové hmoty – Termíny a definice z roku 2018 a zní takto:

„2.119 – Blesková koroze = Rychlá tvorba velmi tenké vrstvy rzi na železných podkladech po otryskání nebo skvrn od rzi po aplikaci nátěrové hmoty na vodní bázi na železný podklad.“ (25)

Rychlost postupu bleskové koroze je závislá převážně na době ovlhčení a teplotě podkladu, ale také na relativní vlhkosti podkladu. Vysokotlaké vodní paprsky ohřívají povrch materiálu, což má za následek rychlejší odpařování vody, čímž je výrazně omezena doba vlhkosti a bleskové koroze. Obecně se jedná o velmi rychlý proces, který může v některých případech vyžadovat následné tlakové očištění pro zajištění požadované přilnavosti s nátěrovým systémem či jiným typem protikorozní ochrany. Na rozdíl od staré neošetřené rzi je blesková rez relativně bez chloridů a jiných znečišťujících látek, díky čemuž je méně hygroskopická. V souladu s tím může být blesková rez bez omezení potažena a nátěrový systém tak může nadále poskytovat dobrý a dlouhodobý výkon. (23) Jednotlivé stupně bleskové koroze jsou uvedeny v Tab. 12.

Tomuto typu koroze lze zabránit použitím vhodných inhibitorů. Několik společností na českém trhu uvádí přípravky pro mokré tryskání, jak abrazivní, tak vysokotlaké, pro potlačení bleskové koroze. (23)

Jsou specifikované tři stupně bleskové koroze, viz Tab. 12, které popisují vzhled povrchu nepotažených ocelových ploch po otryskání a před následným opatřením nátěrovým systémem. (24)

Tab. 12: Stupně bleskové koroze

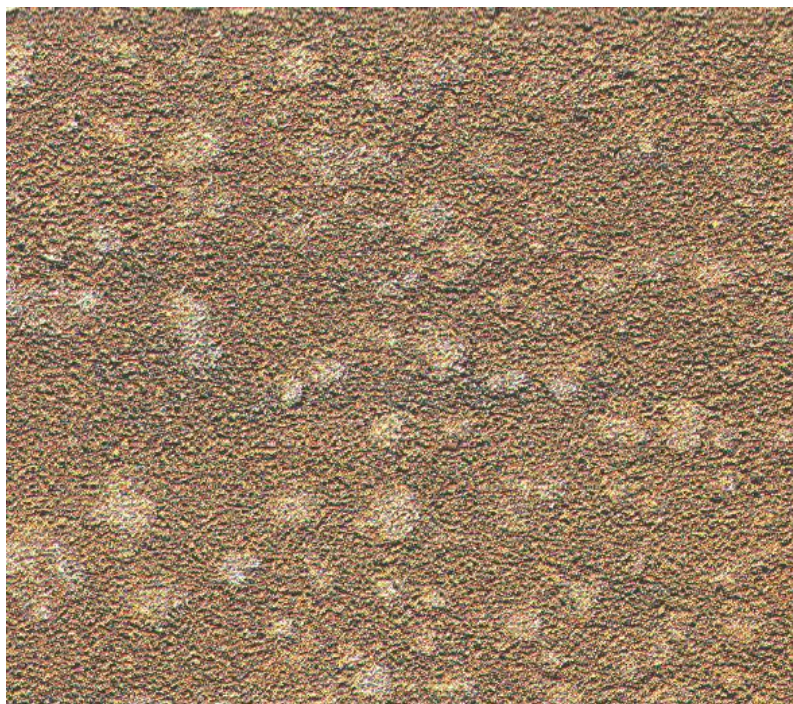
Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021)

OZNAČENÍ	POPIS
L – Lehký stupeň bleskové koroze	Při prohlížení bez zvětšení se na povrchu vyskytuje malé množství žlutohnědé rzi, přes kterou je viditelný ocelový podklad. Koroze, projevující se jako změna barvy, může být rozložena rovnoměrně nebo se může vyskytovat ve formě skvrn, ale bude plně přilnavá a obtížně odstranitelná jemným otíráním tkaninou, viz Obr. 24.
M – Střední stupeň bleskové koroze	Při prohlížení bez zvětšení se na povrchu vyskytuje vrstva žlutohnědé rzi, která zakrývá původní ocelový povrch. Vrstva rzi může být rozložena rovnoměrně nebo se může vyskytovat ve formě skvrn, ale je dobře přilnavá a lehce ulpívá na tkanině, kterou bude povrch jemně otírán, viz Obr. 25
H – Vysoký stupeň bleskové koroze	Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu vyskytuje vrstva žlutočervené až hnědé rzi, která zakrývá původní ocelový povrch a je nepřilnavá. Vrstva rzi může být rozložena rovnoměrně nebo se může vyskytovat ve formě skvrn a snadno ulpívá na tkanině, kterou bude povrch jemně otírán, viz Obr. 26.



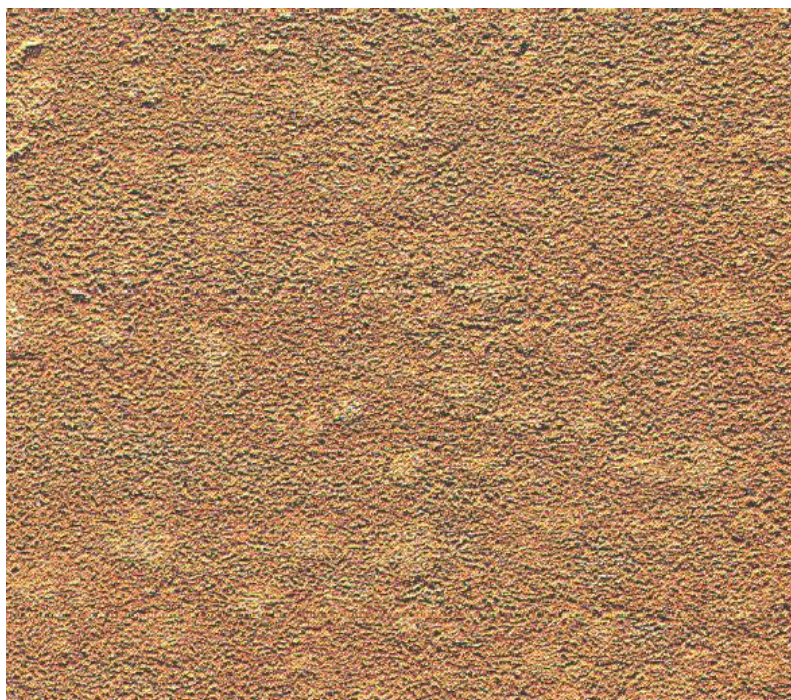
Obr. 24: Lehký stupeň bleskové koroze – L

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021)



Obr. 25: Střední stupeň bleskové koroze – M

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021)



Obr. 26: Vysoký stupeň bleskové koroze – H

Zdroj: (ČSN EN ISO 8501-4, 2021)

5.5 Druhy protikorozní ochrany

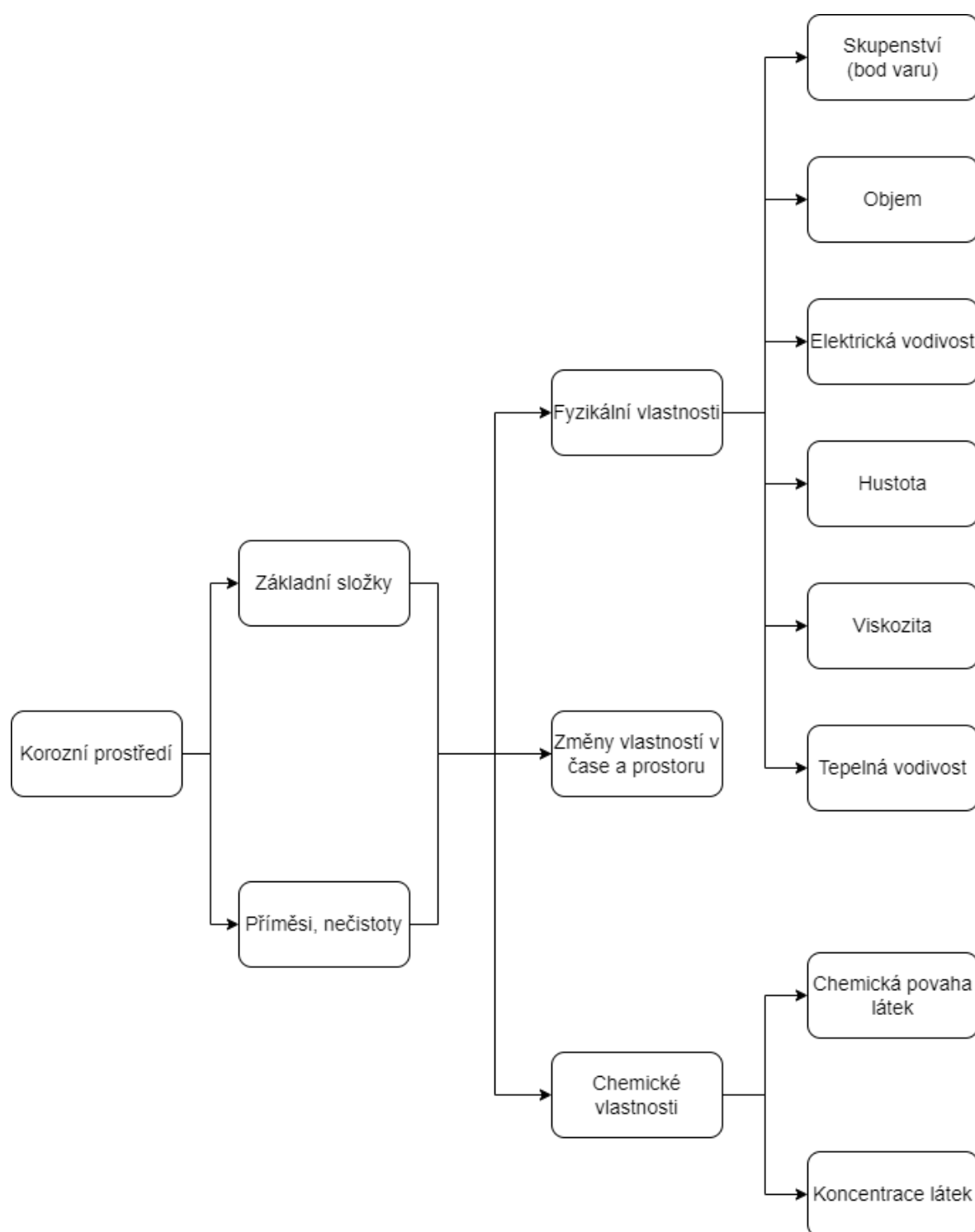
5.5.1 Volba materiálu

Klíčové pro správnou volbu materiálu je znalost chování kovu za různých podmínek. Zvolením vhodného materiálu lze pro předem známé provozní podmínky a parametry korozního prostředí vznik koroze téměř eliminovat nebo výrazně omezit. (11) Nejdůležitějším materiálem vyvinutým pro protikorozní ochranu jsou korozivzdorné oceli. Z korozního hlediska jsou tři základní skupiny korozivzdorných ocelí:

- chromové (feritické a martenzitické),
- chromniklové austenitické,
- dvoufázové (duplexní).

Nejčastěji užívaným typem jsou austenitické oceli typu $FeCr_{18}Ni_{10}$, tvoří až 70 % celé produkce korozivzdorných ocelí. (8)

5.5.2 Úprava korozního prostředí



Obr. 27: Základní charakteristika korozního prostředí

Zdroj: (Bartoniček, 1980)

Korozní procesy mohou být sníženy třemi základními způsoby: úpravou fyzikálních parametrů prostředí, odstraněním příčin korozního napadení a použitím inhibičních látek. Úprava teploty a rychlosti proudění korozního prostředí obvykle snižuje jeho agresivitu. Odstranění agresivních složek a snížení vlhkosti také přispívá k omezení korozního procesu. Inhibitory jsou chemické látky, které snižují korozní rychlost a mohou blokovat anodické a katodické děje. Existují tři skupiny inhibitorů: oxidační látky, látky brzdící anodický proces a látky usnadňující redukci složek prostředí. Vhodnou kombinací inhibitorů lze efektivně omezit korozní děje. (8) (11) Pro správné navržení úpravy prostředí je nutné znát základní charakteristiku prostředí, jak uvádí Obr. 27.

5.5.3 Konstrukční úpravy a úprava výrobní technologie

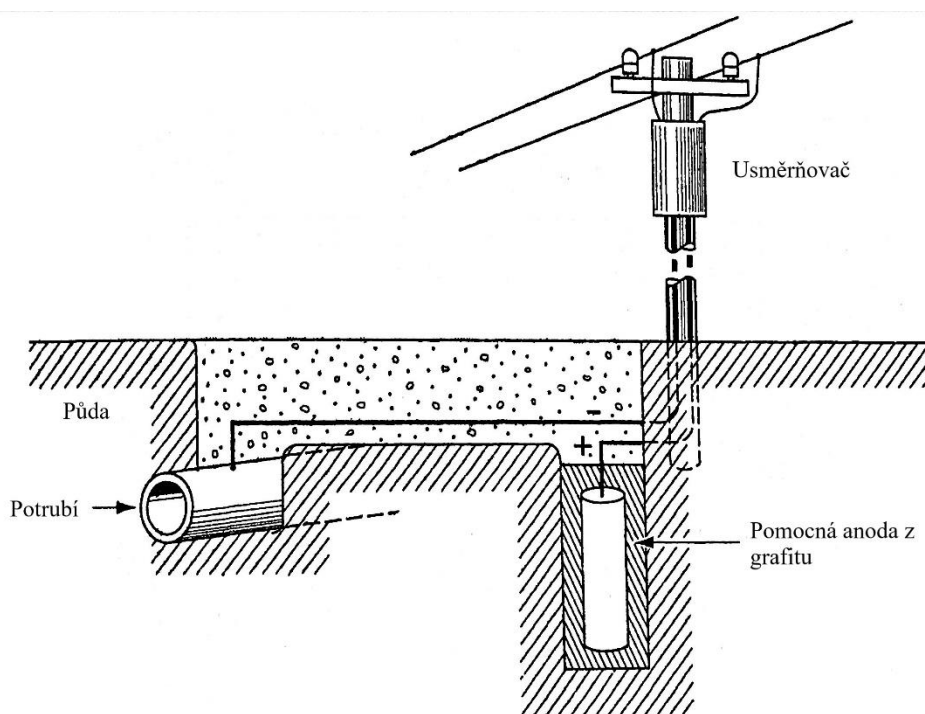
Konstrukce vystavená agresivnímu prostředí by měla být navržena tak, aby respektovala požadavky účinné protikorozní ochrany. Úpravy konstrukce, jako jsou změny rozměrů, tvary předmětů nebo postupy při strojírenských operacích, ovlivňují korozní odolnost zařízení a dobu styku s elektrolytem. Svařování, pájení, tváření a obrábění mohou snížit odolnost proti korozi. Kvalita těchto svarových spojů pak výrazně ovlivňuje vznik makročlánků a kvalitu povlaku. Volba správné kombinace kovů a technologie svařování je klíčová při řešení korozních problémů. Výroba se svarovými spoji, tvářením za studena a obráběním vytváří vnitřní pnutí, které může způsobit korozní praskání. Toto vnitřní pnutí lze odstranit tepelným zpracováním a také vibracemi. Obrábění má také vliv na drsnost povrchu, a proto je vhodné používat technologie, které vytvářejí povrch s nejmenší možnou drsností, protože hladké povrchy mají obvykle vyšší korozní odolnost. Pro protikorozní systémy, jako jsou povlaky, se požaduje čistý povrch bez mastnoty a vlhkosti. Svarové a pájené spoje jsou však preferovány před šroubovými, nýtovými nebo lemovými spoji. Zaoblení hran a rohů povrchu umožňuje rovnoměrné nanesení povlaku. Konstrukce musí umožňovat údržbu povlaků, a to obzvlášť u těch, které mají kratší životnost, než má samotná konstrukce. Dalším důležitým faktorem je dostatečná přístupnost pro opětovné nanesení nátěrů. Spojení různých kovů může vést k nestejnorodosti povrchu, jako jsou štěrbin. Tyto mezery zadržují vlhkost a koncentrují agresivní složky, které tak zvyšují rychlost koroze. (8)

5.5.4 Elektrochemické způsoby ochrany

5.5.4.1 Katodická ochrana

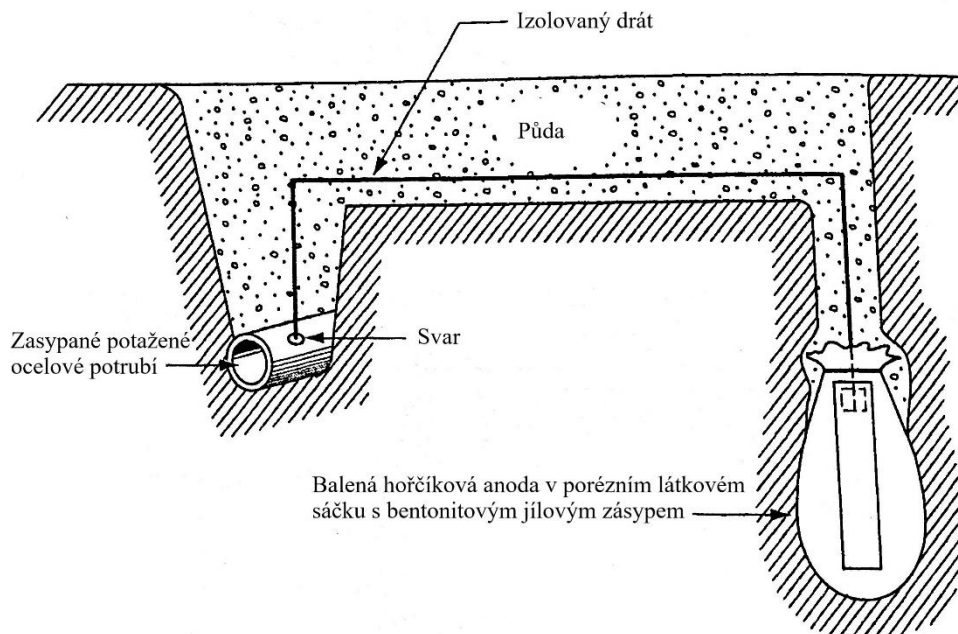
Jedná se o jednu z nejpoužívanějších metod prevence koroze, spolu s ochrannými povlaky. Ve své podstatě dokáže snížit či kompletně zabránit korozi jakéhokoli kovu nebo slitiny a při správném udržování celého systému může zajistit ochranu po neomezenou dobu. (26)

Princip katodické ochrany spočívá ve vytvoření elektrického okruhu, ve kterém je chráněné zařízení katodou. Jednou možností je připojení vnějšího zdroje proudu polarizovaného tak, aby zařízení bylo katodou, viz Obr. 28. Pomocná anoda se rozpouští a korozní zplodiny pak mohou znečistit prostředí ve kterém je umístěna. (11) Pro podzemní konstrukce se jako pomocná anoda používá inertní grafit, u konstrukcí ponořených do mořské vody je pak vhodný titan potažený platinou nebo litina s velkým obsahem křemíku. (26) Druhým způsobem je vytvoření tzv. umělého galvanického článku. Chráněný kov (katoda) je vodivě spojen s jiným kovem (anodou), který má v daném prostředí negativnější potenciál než chráněný kov, viz Obr. 29. Korozně aktivnější kov, který se nazývá také „obětovaná anoda“, protože proud potřebný k ochraně vzniká v důsledku jejího rozpouštění. (11)



Obr. 28: Katodická ochrana přiloženým proudem

Zdroj: (Jones, 2014)



Obr. 29: Katodická ochrana s obětovanou anodou

Zdroj: (Jones, 2014)

Tento typ ochrany nachází největší využití u uhlíkových ocelí opatřených ochranným povlakem, kde tato kombinace protikorozních opatření dokáže výrazně prodloužit životnost nespočetně množství ocelových potrubí, plášťů ropných a plynových vrtů, konstrukcí pro těžbu ropy na moři, trupů námořních lodí, pilířů, vodních nádrží apod. (26)

5.5.4.2 Anodická ochrana

Tento způsob ochrany není tak všestranný jako jiné typy protikorozních opatření. V tomto případě je chráněný objekt anodou, který je připojen na kladný pól stejnosměrného proudu. Princip spočívá ve vyvolání posunu potenciálu povrchu kovu do stabilní pasivní oblasti. Ochranný potenciál je vybrán tak, aby nedošlo k nerovnoměrné korozi. Anodická ochrana je využívána výhradně v silně agresivních průmyslových elektrolytech, jako je např. kyselina sírová. V běžných korozních prostředí jako je atmosféra, voda nebo beton je tento typ ochrany nemožný. (8)

Rozdíly těchto dvou metod jsou uvedeny přehledně v Tab. 13 v následující kapitole.

5.5.4.3 Porovnání anodické a katodické ochrany

Tab. 13: Srovnání anodické a katodické ochrany

Zdroj: (Jones, 2014)

		ANODICKÁ OCHRANA	KATODICKÁ OCHRANA
Použitelnost	Kovy	Pouze aktivní pasivní kovy a slitiny	Všechny kovy a slitiny
	Korozivita roztoku	Střední až agresivní	Slabé až střední pro praktické systémy
Srovnávací náklady	Instalace	Vysoká	Nižší
	Údržba	Vysoká	Nižší
	Obsluha	Velmi nízká	Vyšší
	Vrhací síla	Velmi vysoká	Nízká
Usměřovače		Řízený potenciál	Konstantní proud nebo řízený potenciál
Aplikovaný proud		Velmi nízký – Často přímé měření rychlosti koroze během ochrany	Vyšší – Závisí na katodovém redukčním proudu. Není přesným měřítkem rychlosti koroze, ale s rychlostí koroze se zvyšuje.
Operační podmínky		Lze přesně určit elektrochemickým měřením.	Obvykle se určuje empirickým testováním nebo zkušenostmi.

5.5.5 Ochranné povlaky

5.5.5.1 Organické povlaky

Tyto nátěrové povlaky jsou klíčovou metodou ochrany ocelových konstrukcí proti korozi. Existuje široká škála nátěrů s různými vlastnostmi a omezeními. Nátěry obsahují pigmenty, které dodávají barvu a inhibují korozi, pojiva, která spojují pigmenty s povrchem, a rozpouštědla, která umožňují aplikaci nátěru. Nátěry se skládají z různých vrstev, včetně základního, středního a vrchního nátěru. Základní nátěr chrání povrch, střední vrstva pak slouží jako těsnící nebo zvyšující protikorozní ochranu, a vrchní nátěr pak dodává barvu, lesk a odolnost povrchu. Při výběru nátěrového systému je důležité zohlednit přípravu povrchu, volbu vhodného materiálu, stanovení tloušťky filmu a podmínky aplikace. Důležité je také stanovit očekávanou životnost nátěrového systému vzhledem k úrovni korozní agresivity prostředí. (7) (15)

5.5.5.2 Anorganické (nekovové) povlaky

Anorganické povlaky jsou jedním z typů povlakových systémů používaných k ochraně proti korozi. Tyto povlaky se skládají z anorganických materiálů, jako jsou keramika, sklo nebo kovy, a jsou aplikovány na povrch kovových materiálů. Mají významnou roli v průmyslových aplikacích, zejména v oblastech s vysokými nároky na odolnost vůči agresivním prostředím. Anorganické povlaky poskytují ochranu proti korozi různými mechanismy. Jedním z hlavních mechanismů je bariérová ochrana, kdy povlak vytváří fyzickou překážku mezi kovem a korozivním prostředím, brání pronikání vlhkosti a chemikálií. Dalším mechanismem je inhibiční ochrana, při které anorganické složky povlaku působí jako inhibitory koroze a zabraňují reakcím mezi kovem a korozivním prostředím. (27)

Nejčastěji používané anorganické povlaky jsou:

- silikátové povlaky, konkrétně keramické a skelné povlaky – mají dobrou tepelnou odolnost, ale také působí esteticky,
 - fosfátové povlaky – zabraňují korozi a zlepšují adhezi nátěrů,
 - chromátové povlaky – vytváří bariéru proti korozním látkám,
 - anorganické vrstvy na bázi oxidů, tzv. eloxování, nejčastěji u hliníku.
- (28)

5.5.5.3 Kovové povlaky

Dle způsobu zhotovení se metalické povlaky dělí na:

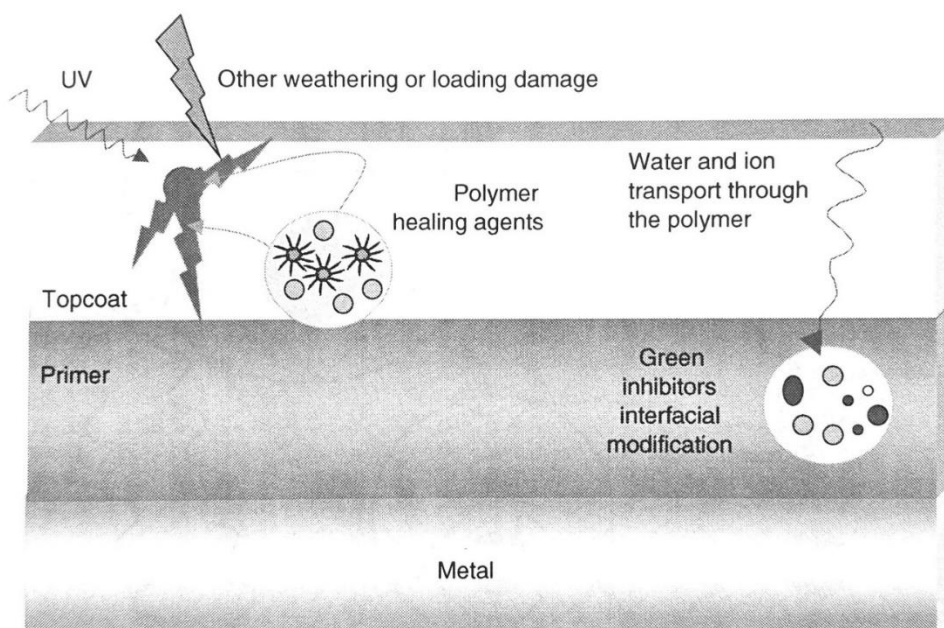
- žárově nanášené povlaky kovu ponorem,
- žárově nanášené povlaky kovu nástřikem.

Při žárovém pokovení ponorem do taveniny zinku, jejíž teplota se pohybuje v rozmezí 450 až 470 °C, vzniká povlak slitiny železa a zinku na ocelových dílech. Tento povlak vzniká difúzí atomů obou kovů a vytváří intermetalické vazby. Tloušťka, struktura, vzhled a vlastnosti povlaku závisí na chemickém složení podkladového kovu, hmotnosti součástí, podmínkách zinkování, ale také na stavu podkladního materiálu jako je například drsnost upraveného materiálu. Vzhled zinkového povlaku se může lišit od lesklých povrchů se zinkovým květem po matné tmavě šedé povlaky. Důležitá je především funkčnost povlaku a jeho dlouhodobá životnost. (7)

Žárové stříkání roztavených kovů, nejčastěji zinek a hliník, na podkladní materiál se používá v případě nutné dlouhodobé ochrany ocelových konstrukcí, kde se požaduje životnost nad 25 let. Tato metoda se omezuje na konstrukce s tloušťkou větší než 3 mm. Princip spočívá v mechanickém přilnutí roztavených částic stříkaného kovu na otryskaný ocelový povrch a následným vrstvením pro dosažení požadované tloušťky povlaku. Pro tento typ žárového zinkování je nutné připravit povrch materiálu otryskáním s ostrohranným abrazivem na stupeň čistoty Sa3. Pokud je na kovovém povlaku plánována aplikace nátěrového systému, je nezbytné co nejdříve po aplikaci žárového povlaku provést utěsnění pomocí speciálního těsnícího nátěru, ideálně do čtyř hodin od dokončení žárového pokovení. Tyto kombinované povlaky se nejčastěji využívají pro hlavní nosné prvky ocelových konstrukcí. (7)

5.5.6 Chytré nátěry pro ochranu proti korozi

Termín „chytré nátěry“ představuje povlaky, které jsou schopny reagovat na životní prostředí. Tato reakce obecně vyžaduje spouštěč z vnějšího prostředí, tím může být např. přítomnost vlhkosti, pH, koncentrace chloridových iontů, mechanické poškození, teplota a redoxní aktivita. Tyto inteligentní nátěrové systémy mohou výrazně prodloužit životnost konstrukce, ale také přidat těmto systémům další funkce. Spíše, než aby tyto nátěry působily jako bariéra mezi povrchem materiálu a korozním prostředím, byly navrženy tak, aby po reakci s prostředím prodloužila životnost a funkčnost nátěru. (29)



Obr. 30: Schématické znázornění autonomní odezvy chytrého povlaku na environmentální spouštěče
Zdroj: (Makhlouf, 2014)

Na Obr. 30 je znázorněno schéma chytrého nátěru založeného na automatické odezvě sestávající se ze základního (Primer) a vrchního nátěru (Topcoat). Obrázek ukazuje, že UV záření by mohlo degradovat jak vrchní nátěr, tak působit jako spouštěč, který podporuje uvolňování léčivého činidla z kapslí (Polymer healing agents) ve vrchním nátěru, aby se opravilo jakékoliv poškození této vrstvy. Obdobně jako UV záření může působit voda a ionty (Water and ion transport through the polymer), které se mohou dostat až k základnímu nátěru a způsobit korozi materiálu (Metal). Nicméně v této vrstvě se právě díky transportu vody a iontů aktivují činidla (Green inhibitors interfacial modification) zapouzdřená v tomto základním nátěru, které mohou opravit jakoukoli následnou korozi. (29) Tento typ protikorozní ochrany je komplikovaný a stále se vyvíjí.

5.5.7 Kombinace metod ochrany proti korozi

Kombinace různých metod protikorozní ochrany je přínosná pro mnohé korozní systémy. V technické praxi se jedná o běžný přístup, přičemž nejčastěji se kombinují vhodný materiál a ochranný povlak. Důvody pro tuto kombinaci jsou často spojené s obtížností vytvořit ochrannou vrstvu na některých součástech z důvodu rozměrů a tvarů. Další možností je úprava konstrukce, výběr materiálů a povrchových úprav. Je důležité zajistit, aby nevhodné konstrukční řešení neohrozilo korozní odolnost materiálu. Kombinací elektrochemické ochrany s volbou odolného materiálu nebo ochrannými vrstvami se dosahuje dobrých výsledků. Kromě toho je výhodná kombinace inhibitorů s jinými metodami ochrany. Perspektivní kombinací je využití inhibitorů spolu s elektrochemickou ochranou, kdy se optimalizuje účinnost inhibitorů pomocí elektrochemické polarizace. (1)

5.6 Korozní zkoušky a monitoring

I přes velké množství informací o korozní odolnosti a chování materiálů, je stále nutné další získávání nových informací experimentálně. K tomu slouží tzv. korozní zkoušky, které lze provádět laboratorně nebo v provozních podmínkách. Druh zkoušky se vždy odvíjí od typu korozního systému, tj. materiál, typ konstrukce a prostředí, a od druhu koroze, který zapříčiňuje možné či skutečné selhání. Většina postupů korozních zkoušek je popsána v příslušných normách. Základní principy zkoušek jsou obecně založeny na vzhledovém posouzení, rozměrových a hmotnostních změnách, metalografickém zhodnocení a na změnách mechanických vlastností kovu. Posuzuje se také složení korozních produktů, které se na povrchu materiálu vytvoří a parametry korozního prostředí. (8)

Laboratorní zkoušky mají simulovat vnější prostředí a ve většině případů se jedná o zkoušky urychlené za přísně kontrolovaných podmínek. Pro přesnější stanovení korozní odolnosti materiálu je klíčové, aby testy bylo možné zopakovat za stále stejných podmínek. (28) Tyto zkoušky nemohou zcela nahradit reálné podmínky, a tak je vhodné při stanovení životnosti protikorozní ochrany provést také zkoušky v atmosférických podmínkách, které jsou mnohem přesnější. Tento typ zkoušek je však velice náročný z časového hlediska, jelikož se jedná o dlouhodobé expozice materiálu v korozním prostředí. (7) Testování v terénu má velkou hodnotu, a to hlavně při přípravě programu údržby a stanovení bilance nákladů spojené s počáteční investicí a provozními výdaji.

Pozn.: Přesný postup některých zkoušek bude důkladněji popsán v praktické části této diplomové práce.

Korozi monitoring umožňuje získávat informace a data o korozi v reálném čase, a to především díky pokroku v softwarových a hardwarových nástrojích. Aktuální informace mohou zajistit rychlou odezvu a případné úpravy korozi prostředí nebo protikorozi ochrany tak, aby koroze dosahovala přípustné hodnoty. (8)

Monitorování koroze je velice složitý proces, náročnější než sledování jiných procesů, a to hned z několika důvodů:

- současně se mohou vyskytovat různé druhy koroze,
- koroze může být rovnoměrná po celé ploše nebo koncentrovaná ve velmi malých oblastech, např. důlková koroze,
- rychlost koroze se může podstatně lišit v různých úsecích konstrukce,
- žádná technika nedokáže odhalit všechny tyto stavy najednou, z toho důvodu je doporučeno použít několik sledovacích technik než se spoléhat pouze na jeden způsob kontroly. (28)

Korozi monitoring se využívá jak pro průmyslová zařízení s chemickými látkami, tak pro sledování parametrů a agresivity atmosféry, vod, půdy a betonu. (8) Využití sledování pro průmyslové provozy a inženýrské stavby je významné, ale poněkud nákladné. Nicméně výhody, které může pozorování korozi procesu v reálném čase přinést je hned několik:

- vylepšení bezpečnosti,
- snížení prostojů při obnově protikorozi ochrany,
- včasné varování před nákladným a vážným poškozením konstrukce,
- snížené náklady na údržbu,
- zmírnění rizika znečištění a kontaminace,
- možnost delších intervalů mezi plánovanou údržbou,
- redukce provozních nákladů,
- prodloužení životnosti, jak protikorozi systému, tak samotné konstrukce. (28)

5.7 Kontrola protikorozní ochrany

Při provádění protikorozní ochrany je důležité realizovat kontroly v každé fázi procesu. Kontroly může provádět pouze kvalifikovaná a zkušená osoba. Nejčastěji se jedná o kontroly:

- nátěrového systému, především ověření hodnot deklarovaných výrobcem,
- přípravy povrchu,
- atmosférických podmínek při zhotovení protikorozní ochrany,
- technologie nanášení, tj. použití příslušných nástrojů, způsob míchání, ředění apod.,
- ověření vlastností zhotovených povlaků. (7)

Pokud se jedná o konstrukce velkých rozměrů, je doporučeno stanovení a zhotovení kontrolních ploch a současně také vymezení způsobu a kritérií vyhodnocení. Mezi hodnotící kritéria patří zejména tloušťka nátěru v závislosti na metodě úpravy povrchu, přilnavost a pórovitost povlaků a vzhledové hodnocení. Řadí se sem hlavně hodnocení barvy včetně barevných odchylek, lesk, rovnoměrnost nanesení na plochu, překrytí hran a koutů, výskyt nečistot ve zhotoveném protikorozním systému a v neposlední řadě vyloučení vad jako jsou trhliny, puchýřky, prorezavění, odlupování a nespojitost povlaku. (7)

Praktická část

6 Experimentální materiál

Vzorky pro navržené zkoušky byly zhotoveny ze svařitelné nelegované konstrukční oceli 11 373 (S235JR dle EN 10027-1). Z tohoto materiálu byly vyrobeny vzorky o rozměrech 180 x 100 x 3 mm s minimální odchylkou. Rozměry splňují požadavky na minimální velikosti stanovené v odst. 5.1.1 ČSN EN ISO 12944-6. Tyto ocelové kupóny byly obroušeny brusným papírem o zrnitosti 240 a následně byly očištěny a odmaštěny technickým benzínem značky Severochema, který slouží k čištění kovových materiálů. Vzorky byly vyfoceny před a po obroušení a odmaštění, viz Obr. 31 a 32.



Obr. 31: Vzhled vzorku č. 1 před a po základní přípravě povrchu

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 32: Vzhled vzorku č. 19 před a po základní přípravě povrchu

Zdroj: (autor, 2023)

Vzorky byly původně rozděleny do 3 sad po 12 kusech, každá sada odpovídala jednomu zkušebnímu prostředí. Každá sada má následující složení:

- 3 referenční vzorky, pouze odmaštěné bez jakéhokoli ošetření,
- 3 vzorky ošetřeny nízkotlakým stříkáním s koncentrátem IMPACLEAN AQUA C316,
- 3 vzorky ponořeny do koncentrátu IMPACLEAN AQUA C316,
- 3 vzorky natřené neředěným produktem IMPASOL HCA-C.

Nicméně v průběhu experimentu byly přidány do posouzení další vzorky:

- 1 vzorek ošetřený pouze nízkotlakým stříkáním vodou bez jakékoli přísady do vnitřního prostředí a 1 vzorek ošetřený pouze nízkotlakým stříkáním vodou bez jakékoli přísady do vnějšího prostředí,
- 5 vzorků natřených produktem IMPASOL HCA-C v několika vrstvách určených pro zkoušku v cyklické korozní komoře.

Přehledné rozdělení těchto vzorků je uvedeno v Tab. 14.

Tab. 14: Označení vzorků a jejich podmínek

Zdroj: (autor, 2023)

VZOREK Č.	ÚPRAVA POVRCHU	PROSTŘEDÍ
1	bez ošetření	vnitřní
2	bez ošetření	vnitřní
3	bez ošetření	vnitřní
4	nízkotlaké stříkání C316	vnitřní
5	nízkotlaké stříkání C316	vnitřní
6	nízkotlaké stříkání C316	vnitřní
7	ponor C316	vnitřní
8	ponor C316	vnitřní
9	ponor C316	vnitřní
10	nátěr HCA-C	vnitřní
11	nátěr HCA-C	vnitřní
12	nátěr HCA-C	vnitřní
13	bez ošetření	vnější
14	bez ošetření	vnější
15	bez ošetření	vnější
16	nízkotlaké stříkání C316	vnější
17	nízkotlaké stříkání C316	vnější
18	nízkotlaké stříkání C316	vnější
19	ponor C316	vnější
20	ponor C316	vnější
21	ponor C316	vnější
22	nátěr HCA-C	vnější
23	nátěr HCA-C	vnější
24	nátěr HCA-C	vnější
25	bez ošetření	cyklická korozní komora
26	bez ošetření	cyklická korozní komora
27	bez ošetření	cyklická korozní komora
28	nízkotlaké stříkání C316	cyklická korozní komora
29	nízkotlaké stříkání C316	cyklická korozní komora
30	nízkotlaké stříkání C316	cyklická korozní komora
31	ponor C316	cyklická korozní komora
32	ponor C316	cyklická korozní komora
33	ponor C316	cyklická korozní komora
34	nátěr HCA-C	cyklická korozní komora
35	nátěr HCA-C	cyklická korozní komora
36	nátěr HCA-C	cyklická korozní komora
37	nízkotlaké stříkání vodou	vnitřní
38	nízkotlaké stříkání vodou	vnější
39	nátěr HCA-C ve vrstvách	cyklická korozní komora
40	nátěr HCA-C ve vrstvách	cyklická korozní komora
41	nátěr HCA-C ve vrstvách	cyklická korozní komora
42	nátěr HCA-C ve vrstvách	cyklická korozní komora
43	nátěr HCA-C ve vrstvách	cyklická korozní komora

7 Metody úpravy povrchu

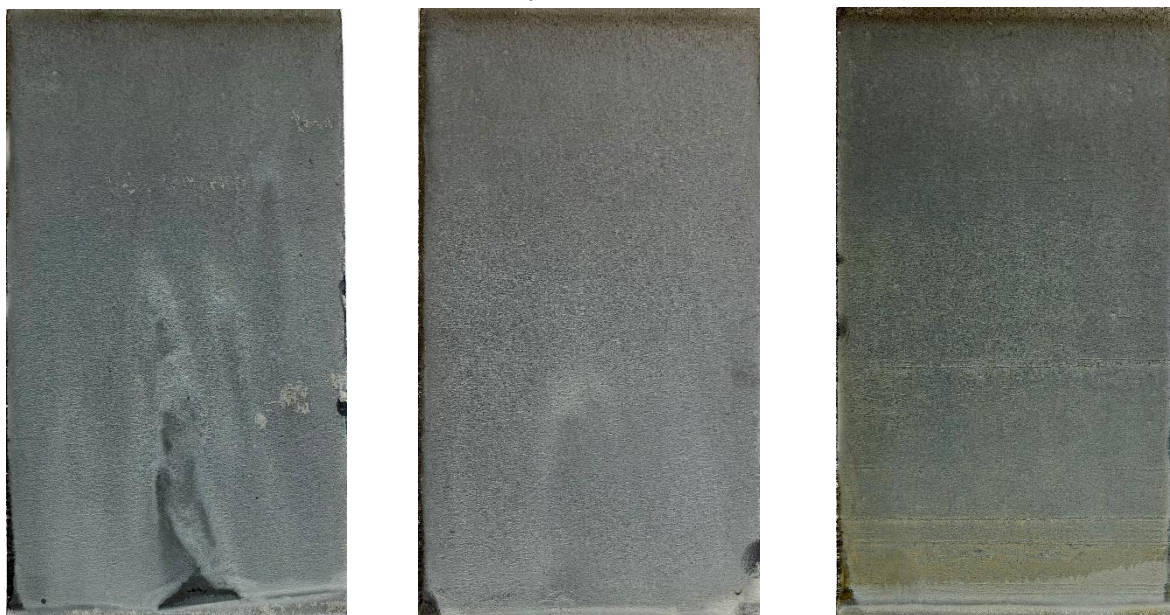
7.1 IMPACLEAN AQUA C316

7.1.1 Aplikace nízkotlakým stříkáním

Produkt byl naředěn v poměru 1:5 se studenou vodou, v tomto případě byly smíchány 2 litry produktu s 10 litry vody. Takto připravený koncentrát byl pomocí sací hadice hnán do tlakové myčky. Stříkání na ocelové destičky pomocí vysokotlaké hadice bylo provedeno z velké blízkosti. Vzhled vzorků po aplikaci je znázorněn na Obr. 33, 34 a 35. Vzorky ošetřené pouze tlakovým stříkáním vodou je zobrazeno na Obr. 36.



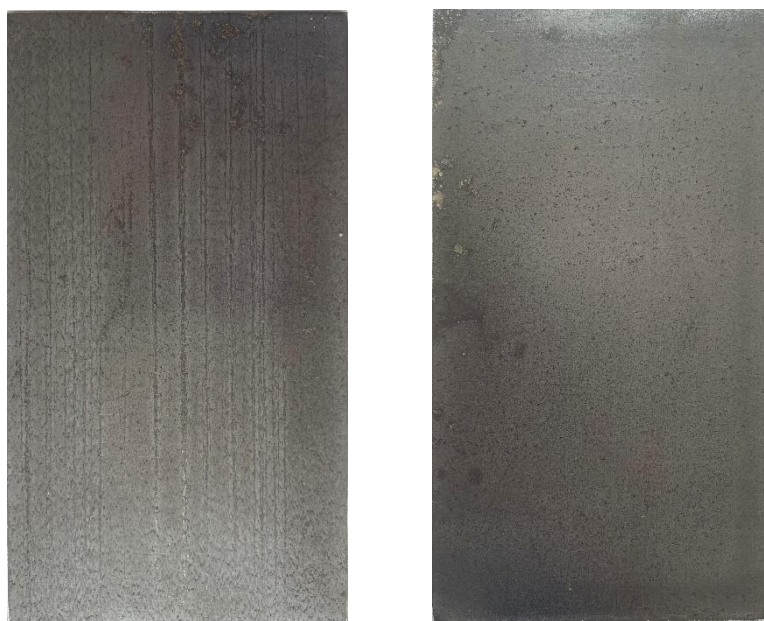
Obr. 33: Vzorky č. 4, 5 a 6 ošetřeny nízkotlakým stříkáním umístěny do vnitřního prostředí
Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 34: Vzorky č. 16, 17 a 18 ošetřeny nízkotlakým stříkáním umístěny do vnějšího prostředí
Zdroj: (autor, 2023)



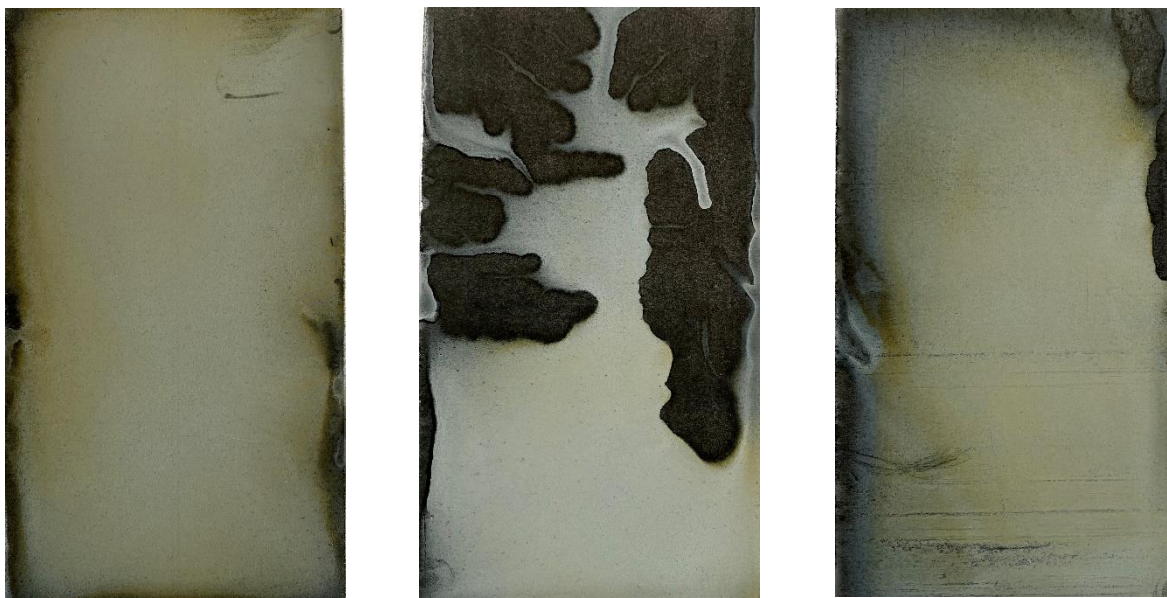
*Obr. 35: Vzorky č. 28, 29 a 30 ošetřeny nízkotlakým stříkáním umístěny do korozní komory
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 36: Vzorky č. 37 a 38 otryskané pouze čistou vodou
Zdroj: (autor, 2023)*

7.1.2 Aplikace ponorem

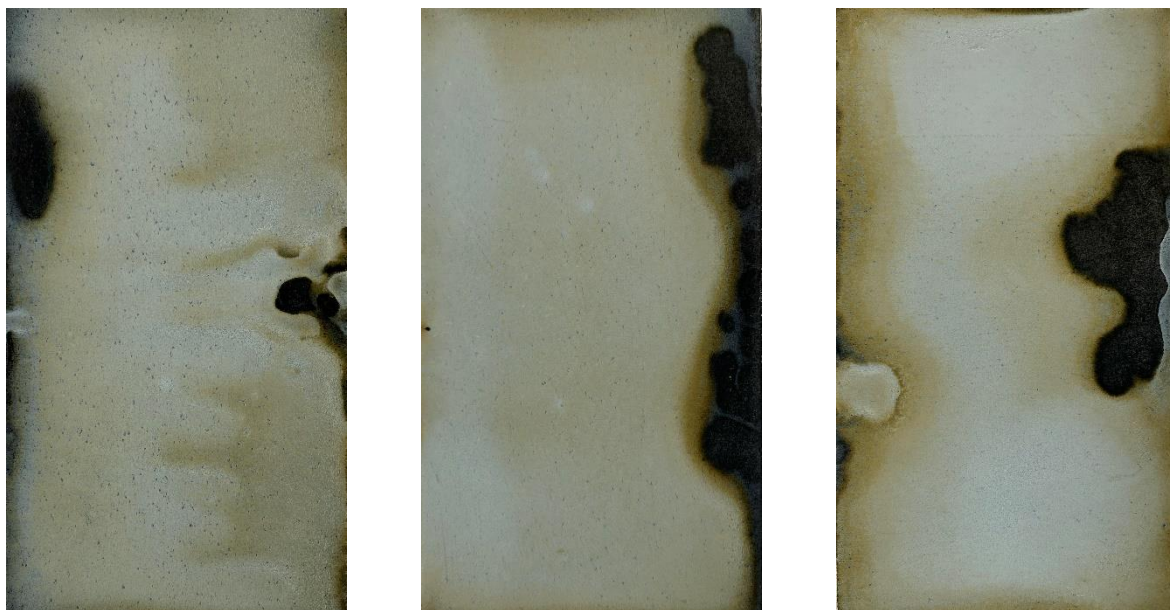
Při této metodě byl koncentrát namíchan ve stejném poměru, tj. 1:5, ale v menším množství, konkrétně bylo využito 1 litru produktu a 5 litrů vody o teplotě 70 °C. Vzorky byly do takto vytvořeného koncentrátu ponořeny na 15 minut. Po vyjmutí vzorků a jejich oschnutí se na povrchu vytvořil jemný film nažloutlé barvy, viz Obr. 37, 38 a 39. Toto zbarvení má s velkou pravděpodobností za příčinu neobroušená, neodmaštěná, zrezlá zadní strana vzorku. Nehomogenita pasivační vrstvy může spočívat rozdílném zasychání produktu.



*Obr. 37: Vzorky č. 7, 8 a 9 ponořeny do koncentrátu, umístěny do vnitřního prostředí
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 38: Vzorky č. 19, 20 a 21 ponořeny do koncentrátu, umístěny do vnějšího prostředí
Zdroj: (autor, 2023)*

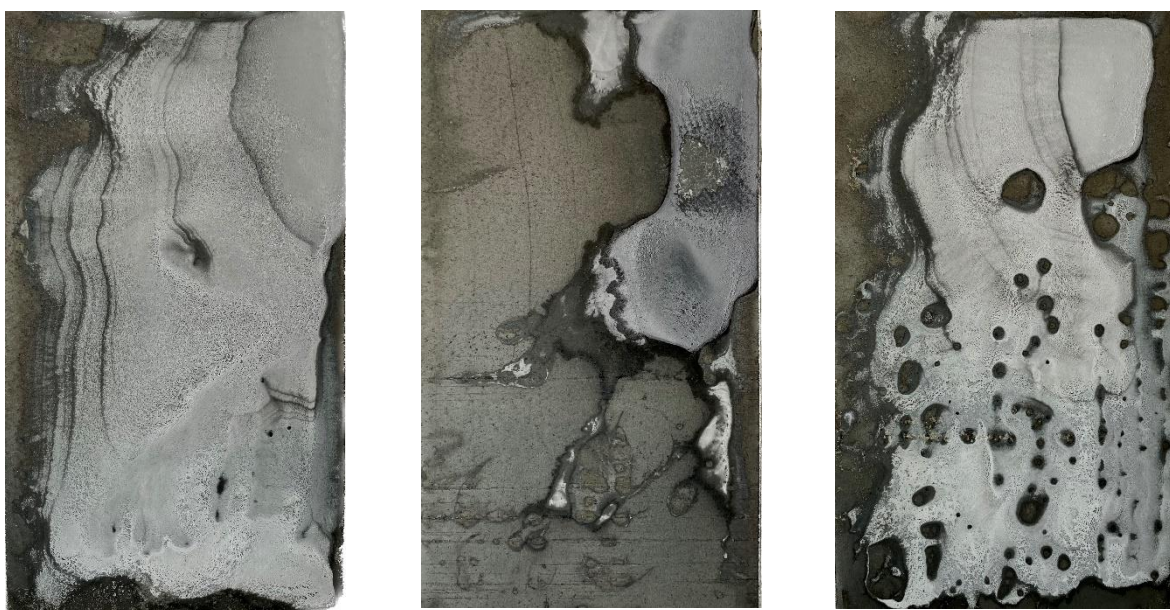


Obr. 39: Vzorky č. 31, 32 a 33 ponořeny do koncentrátu, umístěny do korozní komory
Zdroj: (autor, 2023)

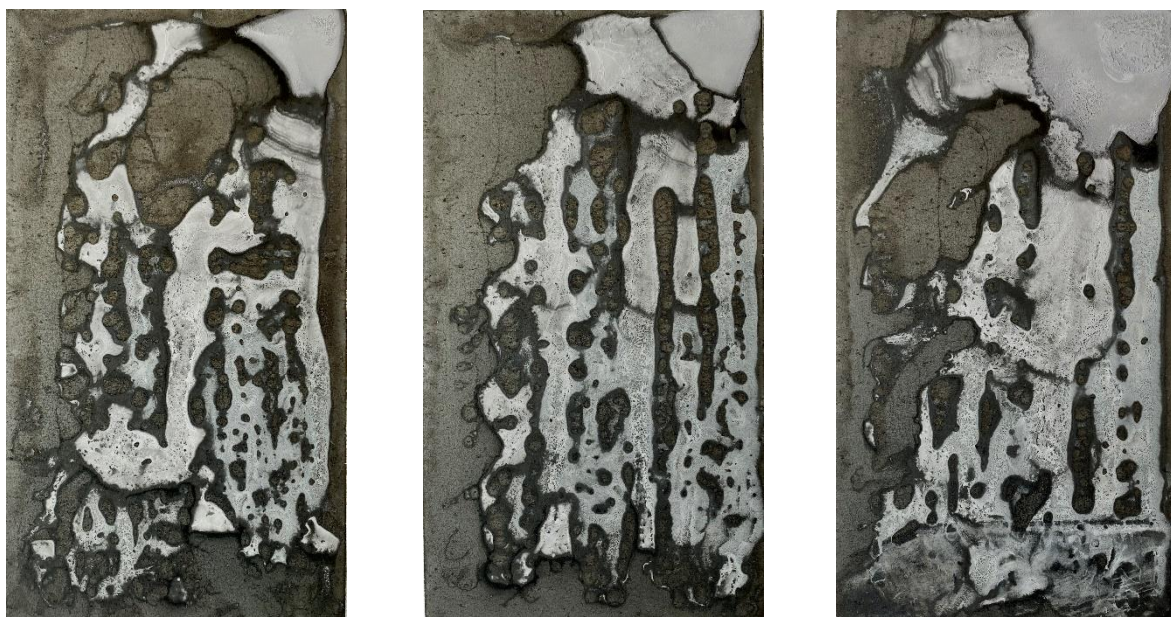
7.2 IMPASOL HCA-C

7.2.1 Aplikace natíráním

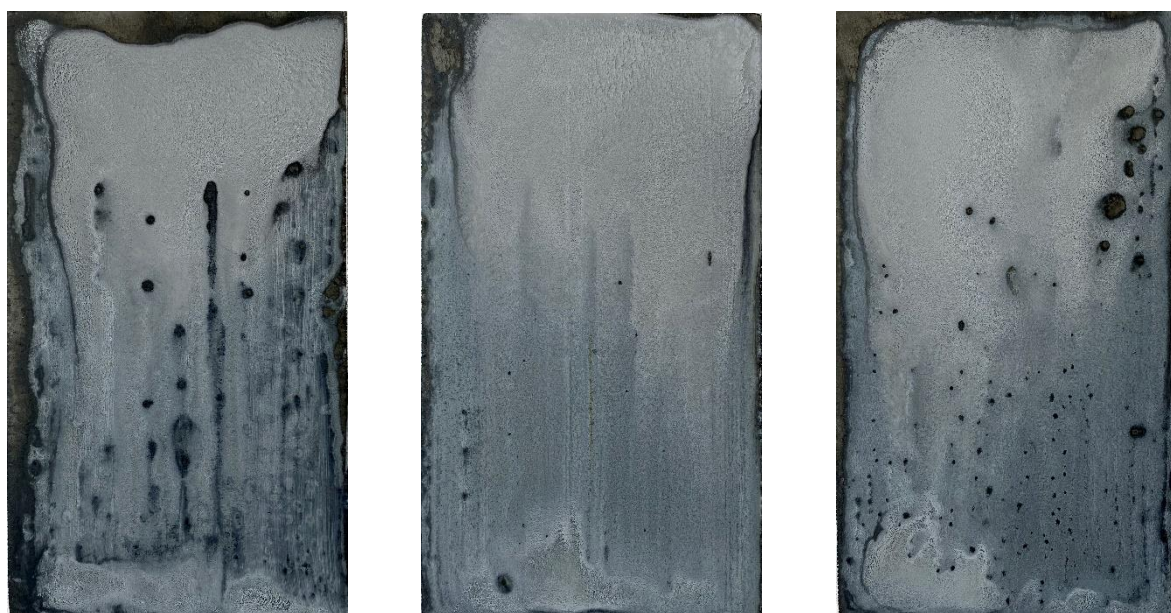
Tímto přípravkem byly vzorky natřeny plochým štětcem. Po zaschnutí se na povrchu vytvořil nehomogenní bílý film. Skvrny vytvořené na povrchu materiálu mohly zapříčinit nečistoty usazující se na vzorku během zasychání a možný náklon plochy, který mohlo způsobit nerovnoměrné zaschnutí nátěru, viz Obr. 40, 41 a 42. Při aplikaci více vrstev byl povrch vzorku více sjednocený, viz Obr. 43 a 44.



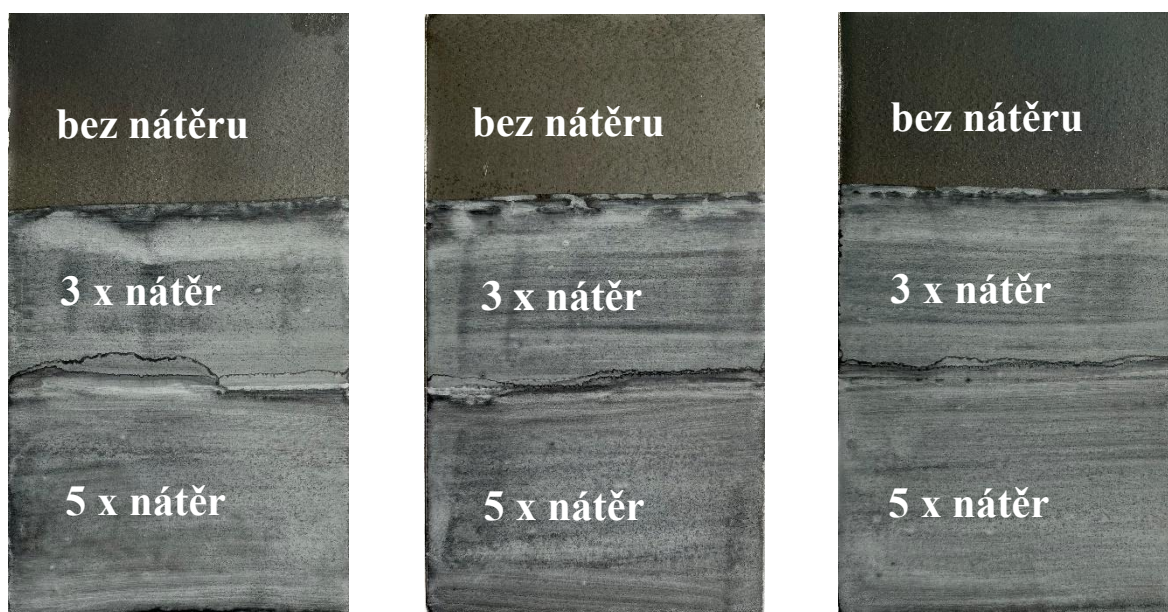
Obr. 40: Vzorky č. 10, 11 a 12 opatřeny nátěrem a umístěny do vnitřního prostředí
Zdroj: (autor, 2023)



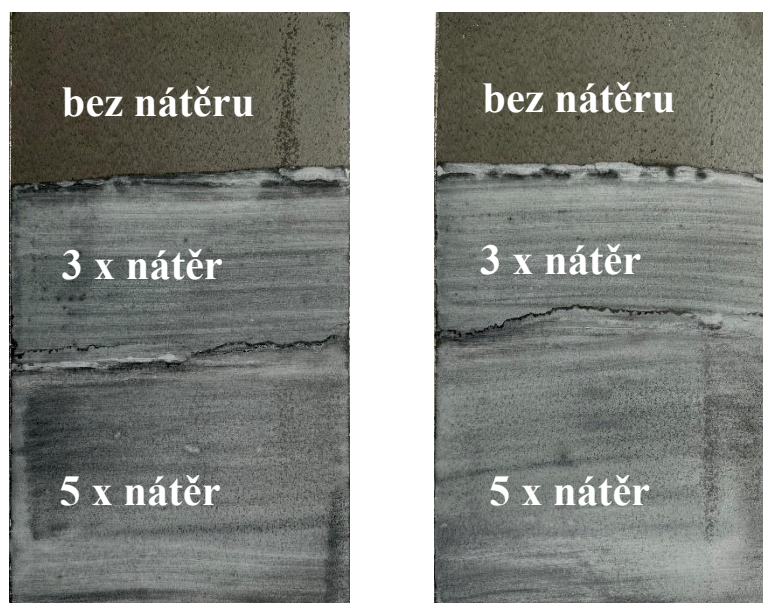
*Obr. 41: Vzorky č. 22, 23 a 24 opatřeny nátěrem a umístěny do vnějšího prostředí
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 42: Vzorky č. 34, 35 a 36 opatřeny nátěrem a umístěny do korozní komory
Zdroj: (autor, 2023)*



Obr. 43: Vzorky č. 39, 40 a 41 opatřeny nátěrem v několika vrstvách, umístěny do korozní komory
Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 44: Vzorky č. 42 a 43 opatřeny nátěrem v několika vrstvách, umístěny do korozní komory
Zdroj: (autor, 2023)

8 Použité přístroje

Pro přípravu vzorků s koncentrátem IMPACLEAN AQUA C316 pro tryskání vodou pod tlakem byla použita tlaková myčka Kärcher K5 Compact (Obr. 45), která je schopna vyvinout tlak až 14,5 MPa. Jedná se tak o nízkotlaké čištění vodou dle Tab. 10.



Obr. 45: Tlaková myčka Kärcher K5 Compact
Zdroj: (karcher.cz, 2023)

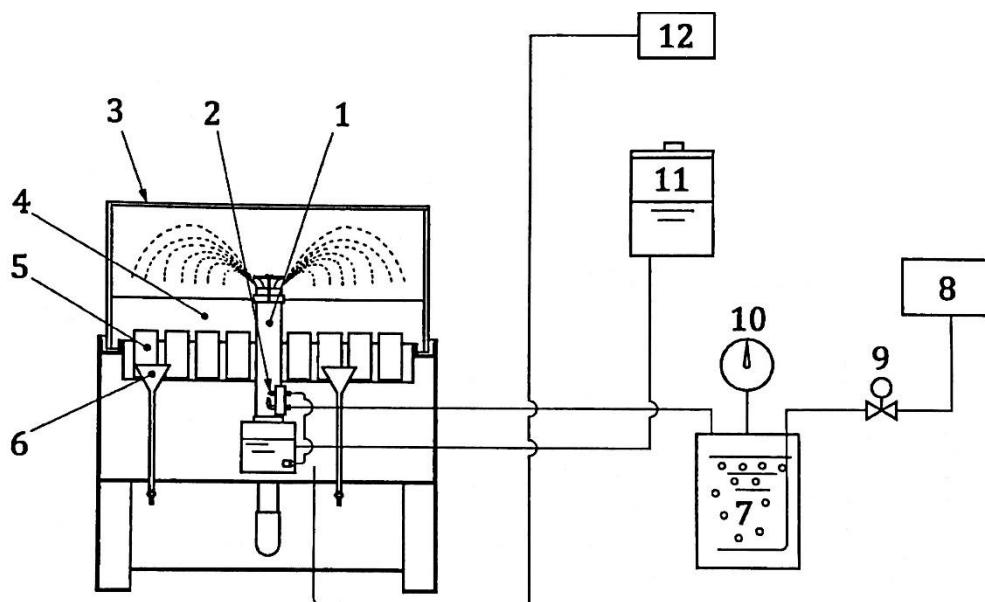
Parametry vnějšího prostředí atmosférické zkoušky byly měřeny dataloggerem, ze kterého byla exportována data. Tento přístroj byl použit pro zjištění přesných podmínek, kterým byly zkoušené vzorky vystaveny.

Pozn.: Data z tohoto přístroje nebyla stažena z důvodu poruchy zařízení.

Zařízením pro provedení zkoušky v umělé atmosféře, v tomto případě zkoušky solnou mlhou, byla cyklická korozní komora od firmy Ascott. Konkrétně se jedná o typ CC450iP, viz Obr. 46. Tato cyklická korozní komora o objemu 450 l umístěna na podlaze je vybavena pneumatickým víkem pro snadnější otevírání a automatickým odsáváním par z komory před jejím otevřením. Součástí výbavy této komory je také nádrž na solný roztok o objemu 80 l a vyjímatelné podstavce na vzorky, které umožňují umístit prvky pod předepsaným sklonem. Pro namíchání solného roztoku byl použit chlorid sodný NaCl od firmy Penta Chemicals Unlimited o molární hmotnosti 58,44 g/mol v čistotě určené pro analýzu. Schéma možného zapojení konstrukcí zkušební komory je znázorněno na Obr. 47.



Obr. 46: Cyklická korozní komora Ascott o objemu 450 l s nádobou na solný roztok Zdroj: (autor, 2023)



Legenda

- 1 věž pro rozprašování mlhy
- 2 rozprašovač
- 3 víko
- 4 zkušební komora
- 5 zkušební vzorek
- 6 sběrací zařízení

- 7 sytící věž
- 8 stlačený vzduch
- 9 solenoidový ventil
- 10 tlakoměr
- 11 nádrž na zkušební roztok
- 12 regulace teploty

Obr. 47: Schéma možného zapojení konstrukcí zkušební korozní komory Zdroj: (ČSN EN ISO 9227, 2017)

9 Popis jednotlivých zkoušek a zkušebních prostředí

9.1 Vnitřní prostředí

Zkoušky ve vnitřních atmosférách jsou stejně jako zkoušky v exteriéru dlouhodobou záležitostí, především z důvodu zaznamenání jednotlivých sezónních změn. V případě této zkoušky byla používána norma ČSN EN ISO 11844–1. Podle tohoto předpisu bylo stanoveno několik základních charakteristik prostředí, do kterého byly vzorky umístěny, uvedených v Tab. 15. Chování oceli v tomto prostředí je velice podobné koroznímu procesu ve vnější atmosféře, tj. citlivé na změny relativní vlhkosti a na přítomnost oxidu siřičitého, pouze s nižší rychlostí koroze. Na povrchu se samovolně tvoří oxidy a jiné korozní produkty s omezenou ochrannou schopností.

Tab. 15: Parametry prostředí

Zdroj: (ČSN EN ISO 11844-1, 2021)

ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY PROSTŘEDÍ				SKUTEČNÉ PARAMETRY	
1	Kategorie korozivity	IC 2	vnitřní – nízká	vytápěné prostory – s nízkou relativní vlhkostí (< 50 %), určitými výkyvy relativní vlhkosti bez rizika kondenzace, nízkou úrovní znečištění, bez specifických škodlivin	kancelář
2	Úroveň průměrné teploty	mezi II a III		$15 \leq T < 20$ $25 \leq T < 30$	22 °C
3	Úroveň vlhkosti	II		$40 \leq RH < 50$	50 %
4	Doba ovlhčení	2	10 až 250 h/a [hodin za rok]	0,1 až 3 %	kancelář

Pozn.: T – teplota, RH – relativní vlhkost

Výše zmíněná norma také definuje rychlost koroze uhlíkové oceli, která je měřena ze ztráty hmotnosti po expozici po dobu jednoho roku, a také nárůst hmotnosti za stejnou jednotku času, viz Tab. 16.

Tab. 16: Hmotnostní úbytky a přírůstky pro kategorii IC 2

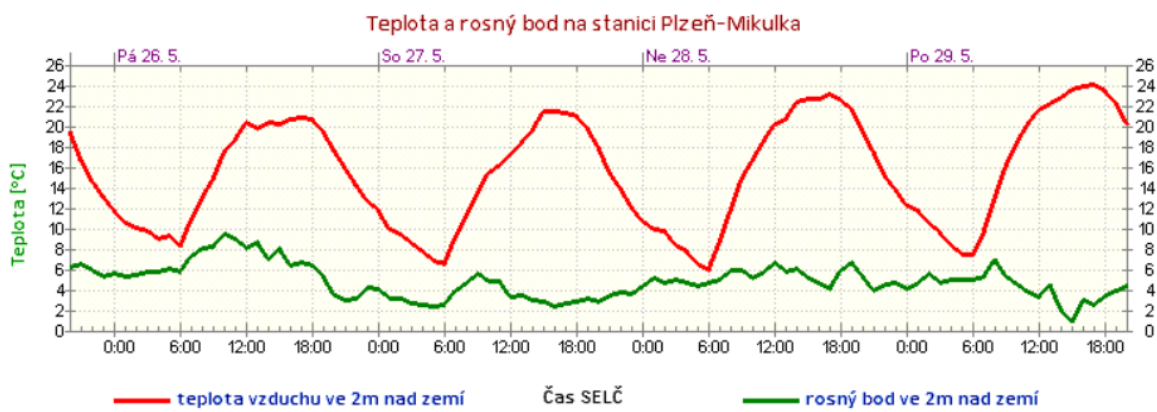
Zdroj: (ČSN EN ISO 11844-1, 2021)

KATEGORIE KOROZIVITY	MATERIÁL	RYCHLOST KOROZE	RYCHLOST NÁRŮSTU
		ZTRÁTOU HMOTNOSTI r_{corr} [mg/m ² a]	HMOTNOSTI r_{mi} [mg/m ² a]
IC 2	Uhlíková ocel	$70 < r_{corr} \leq 1000$	$70 < r_{mi} \leq 700$

9.2 Vnější prostředí

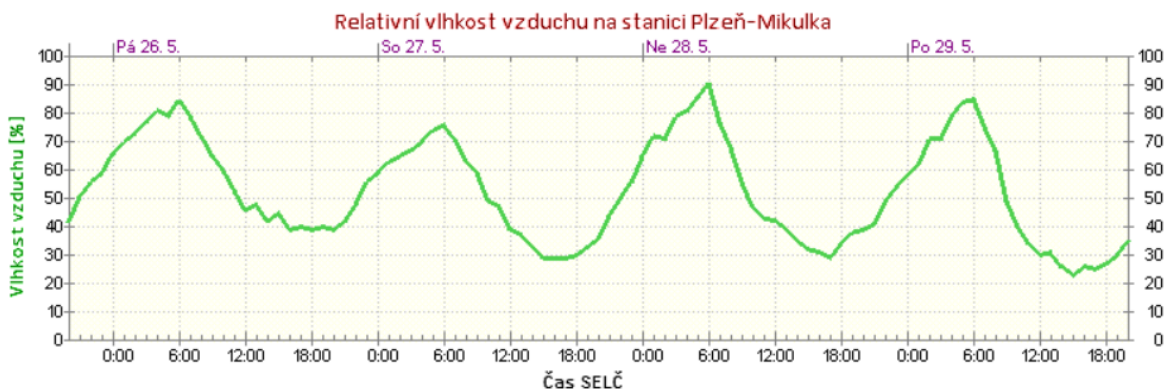
Při návrhu této zkoušky bylo postupováno podle základních požadavků ČSN EN ISO 8565, tj. vzorky byly řádně odmaštěny a mechanicky očištěny od okují, dále byly řádně označeny příslušným číslem pro lepší přehlednost. Počet vzorků by měl být podle uvedené normy minimálně 3, což bylo splněno, avšak pro komplexnější výsledky by bylo lepší mít vzorků více.

Vzorky byly umístěny do trávy pro zajištění větší relativní vlhkosti na pozemku Fakulty aplikovaných věd. K ocelovým destičkám byl umístěn datalogger pro zaznamenání přesných parametrů vnějšího prostředí, nicméně naměřená data se nepovedlo stáhnout. Z toho důvodu jsou pro popis teploty a relativní vlhkosti prostředí využita data z Českého hydrometeorologického ústavu, konkrétně z profesionální stanice Plzeň-Mikulka, viz Obr. 48, 49 a 50. Sada vzorků byla následně kontrolována v jednotlivých časových intervalech pro zaznamenání jakékoli změny vzhledu.



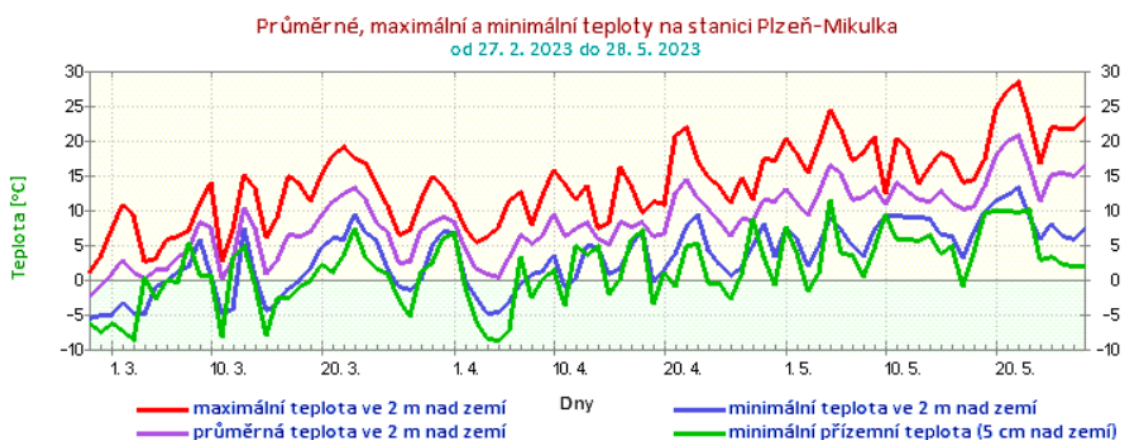
Obr. 46: Teplota a rosný bod za 96 hodin (tj. 26.5. – 29.5.)

Zdroj: (ČHMÚ, 2023)



Obr. 47: Relativní vlhkost za 96 hodin (tj. 26.5. – 29.5.)

Zdroj: (ČHMÚ, 2023)



Obr. 48: Hodnoty průměrné, minimální a maximální teploty za posledních 90 dní

Zdroj: (ČHMÚ, 2023)

Podle tabulky 1 v ČSN EN ISO 12944-2 a údajů Českého hydrometeorologického ústavu je kategorie korozní agresivity prostředí nízká, úroveň C 2. Pro tento typ prostředí a nízkouhlikovou ocel jsou stanoveny úbytky hmotnosti a tloušťky po jednom roce expozice. I tak se jedná o velice nízké hodnoty a z tohoto důvodu byla tato sada posuzována pouze vizuálně na případnou bleskovou korozi.

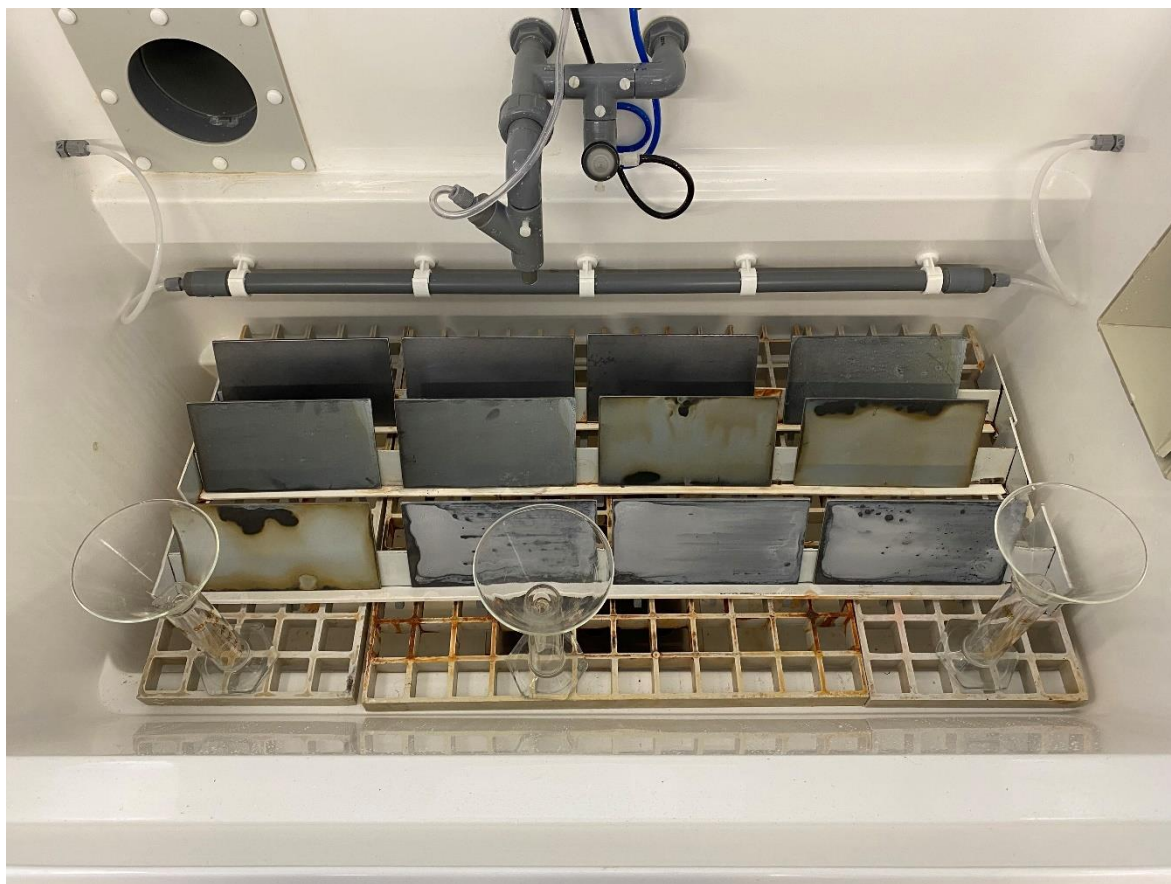
9.3 Cyklická korozní komora

Nejdůležitějším zkušebním prostředím tohoto experimentu byla cyklická korozní komora, kde probíhala zkouška neutrální solnou mlhou, ve zkratce NSS. Jedná se o nejstarší a nejrozšířenější metodu pro urychlené laboratorní testování koroze. Tento typ zkoušky je vhodné použít pro kontrolu zachování srovnatelné kvality kovového materiálu s aplikovanou protikorozní ochranou i bez ní. Nejsou vhodné pro srovnání a vzájemné hodnocení různých materiálů. Tyto testy jsou velmi užitečné pro detekci nespojitostí, pórů a jiných defektů v organických, anorganických i kovových nátěrech. (30)

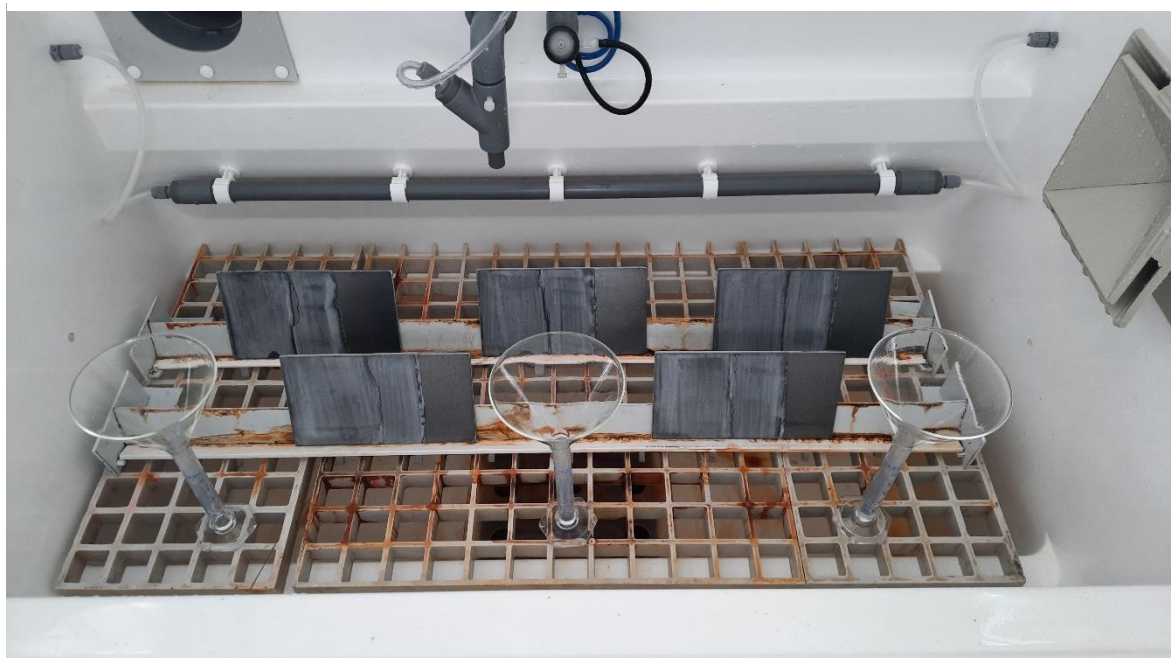
Podstata zkoušky neutrální solnou mlhou spočívá v rozprašování 5% roztoku chloridu sodného v řízeném prostředí. Nejdříve je nutné připravit solný roztok, ze kterého se následně vytvoří v komoře solná mlha. Příprava je založena na rozpuštění chloridu sodného o koncentraci $50 \text{ g/l} \pm 5 \text{ g/l}$ v destilované nebo deionizované vodě. Chlorid sodný musí být v určitém stupni čistoty vzhledem k tomu, že jakékoli prostředky proti spékání a zbytky kovů mohou působit jako inhibitory či akcelerátory koroze. Roztok na vzorky nesmí stříkat přímo, ale musí být rozptýlen v komoře tak, aby na ně přirozeně dopadal shora. Z důvodu kontroly homogenity je nezbytné umístit do komory sběrná zařízení z chemicky inertního materiálu pro kontrolu spádu mlhy. (31) V tomto případě byly jako sběrná zařízení použity skleněné odměrné válce se stupnicí, ve kterých byly umístěny nálevky o průměru 100 mm. Tyto válce byly v komoře umístěny 3, vždy ve vzdálenosti 10 cm od vnitřního okraje komory, viz Obr. 51 a 52. Množství nashromážděné mlhy bylo odečteno ze stupnice při každém otevření korozní komory.

Zkušební vzorky musí být umístěny tak, aby nebyly ve směru proudění mlhy z rozprašovací trysky. Při uspořádání prvků je klíčový úhel, pod kterým jsou vzorky v komoře nastaveny. (31) Prvky z oceli byly při této zkoušce umístěny na plastové podstavce (inertní materiál), díky kterým byly vzorky pod normou stanoveným sklonem, tj. 20° .

Doba expozice vzorků byla stanovena předem, a bude dále podrobně rozepsána níže. Přerušení cyklu je však nutné omezit na minimum. Komoru je možné otevřít pouze ke krátké vizuální kontrole a toto přerušení nesmí překročit hodnotu jedné hodiny za den. (31) Tento požadavek byl při všech zkouškách dodržen.



*Obr. 50: Umístění vzorků třetí sady a poloha sběrných zařízení v korozní komoře
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 49: Umístění vzorků s nátěrem HCA-C v různých vrstvách a poloha sběrného zařízení v korozní komoře
Zdroj: (Lang, 2023)*

Zkušební podmínky, které byly nastaveny v korozní komoře, jsou uvedeny v následující Tab. 17.

Tab. 17: Zkušební podmínky

Zdroj: (ČSN EN ISO 9227, 2017)

PARAMETR ZKUŠEBNÍ METODY	NEUTRÁLNÍ SOLNÁ MLHA (NSS)
Teplota	35 °C ± 2 °C
Průměrná rychlost shromažďování mlhy z vodorovné sběrné plochy 80 cm²	1,5 ml/h ± 0,5 ml/h
Obsah chloridu sodného v nashromážděném roztoku	50 g/l ± 5 g/l
pH nashromážděného roztoku	6,5 až 7,2

V první provedené zkoušce byla do korozní komory umístěna celá sada 12 vzorků, viz Obr. 36. Po přibližně 4 hodinách byl proces pozastaven z důvodu vizuální kontroly a ověření homogenity spádu mlhy, viz Tab. 18. Po upravení osazení prvků byl proces opět obnoven a další přerušení nastalo až po 24 hodinách. I po tomto zastavení byla provedena kontrola vzhledu a spádu mlhy. Ukončení zkoušky nastalo po 48 hodinách. Tato hodnota byla stanovena vzhledem k údajům uvedených v normě, jakožto měřítko pro případné posuzování hmotnostních úbytků. Norma stanovuje přípustné hodnoty hmotnostních úbytků právě po 48 hod, při zkoušce NSS.

Tab. 18: Kontrola množství mlhy ve sběrném zařízení

Zdroj: (autor, 2023)

DEN	ČAS	STAV ZKOUŠKY	MNOŽSTVÍ NASHROMÁŽDĚNÉ MLHY [ml]			POVOLENÉ MNOŽSTVÍ [ml]
			1. válec	2. válec	3. válec	
1	13:07	Start	-	-	-	-
	17:23	Pauza	4,8	6	6	4,16-8,32
	17:43	Restart	-	-	-	-
2	13:10	Pauza	40	44	38	24,03-48,03
	13:53	Restart	-	-	-	-
3	13:54	Konec	39	44	43	24-48

Další zkouškou, která byla realizována, bylo porovnání 5 ocelových vzorků, kdy každý z nich byl rozdělen na tři části:

- 1. část natřena žádným produktem,
- 2. část natřena produktem IMPASOL HCA-C ve třech vrstvách,
- 3. část natřena produktem IMPASOL HCA-C v pěti vrstvách.

Doba expozice prvků u této zkoušky byla stanovena na 4 hodiny, s kontrolou v polovině času. Stejně jako v předchozím případě bylo po 2 hodinách provedeno vizuální zhodnocení a kontrola homogenity spádu solné mlhy (Tab. 19). Ukončení zkoušky proběhlo po 4 hodinách z důvodu porovnání vzhledu s prvky první sady.

Tab. 19: Kontrola množství mlhy ve sběrném zařízení

Zdroj: (autor, 2023)

ČAS	STAV ZKOUŠKY	MNOŽSTVÍ NASHROMÁŽDĚNÉ MLHY [ml]			POVOLENÉ MNOŽSTVÍ [ml]
		1. válec	2. válec	3. válec	
10:08	Start	-	-	-	-
12:08	Pauza	1,6*	2,4	2,6	2-4
12:20	Restart	-	-	-	-
14:20	Konec	3,5*	4,6	4,2	4-8

* Nižší hodnota z důvodu časové prodlevy od zahřívání zařízení a sání roztoku. I přes to je zkouška považována za vyhovující.

Po uplynutí zkoušky byly vzorky vyjmuty z komory a odloženy do vodorovné polohy pro oschnutí po dobu 30 až 60 minut. Potřeba osychání vzorků před následným opláchnutím je nutné pro snížení rizika odstranění korozních zplodin. Opláchnutí vzorků bylo uskutečněno pod tekoucí vodou nepřesahující teplotu 40 °C a jejich následné osušení bylo provedeno fénem v kolmé vzdálenosti 300 mm od povrchu vzorků v souladu s normou ČSN EN ISO 9227. Před hodnocením byl ze vzorků odstraněn zbytek rozprášeného roztoku.

10 Vizuální vyhodnocení experimentu a diskuze výsledků

Posouzení výsledků jednotlivých studijních zkoušek bylo provedeno pouze na vizuální úrovni, a to konkrétně z hlediska:

- doby uplynutí do objevení první známky koroze,
- vzhledu po uplynutí jednotlivých intervalů zkoušek.

10.1 Vnitřní prostředí



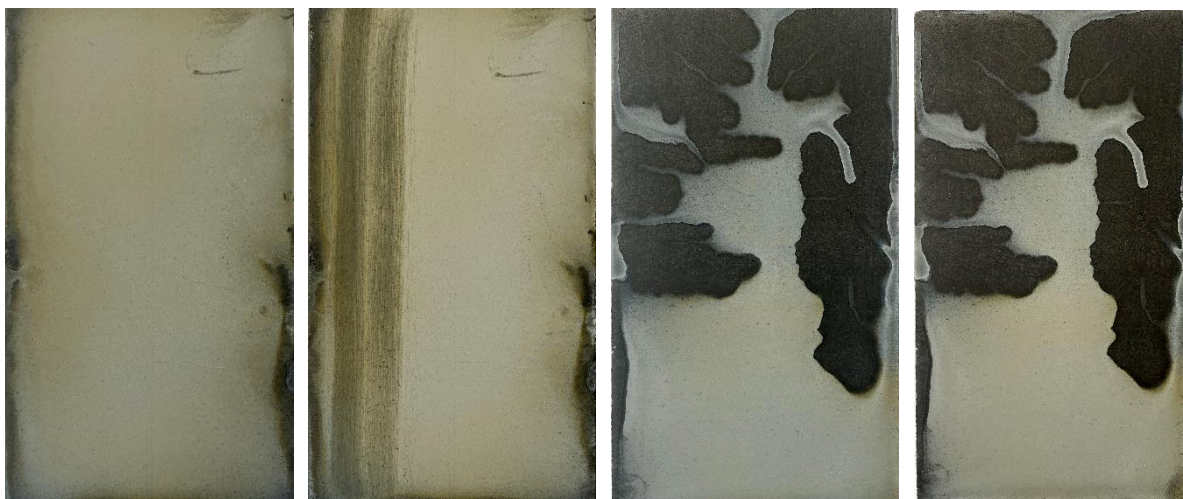
*Obr. 51: Vzorek č. 1 (vlevo) a vzorek č. 2 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)*



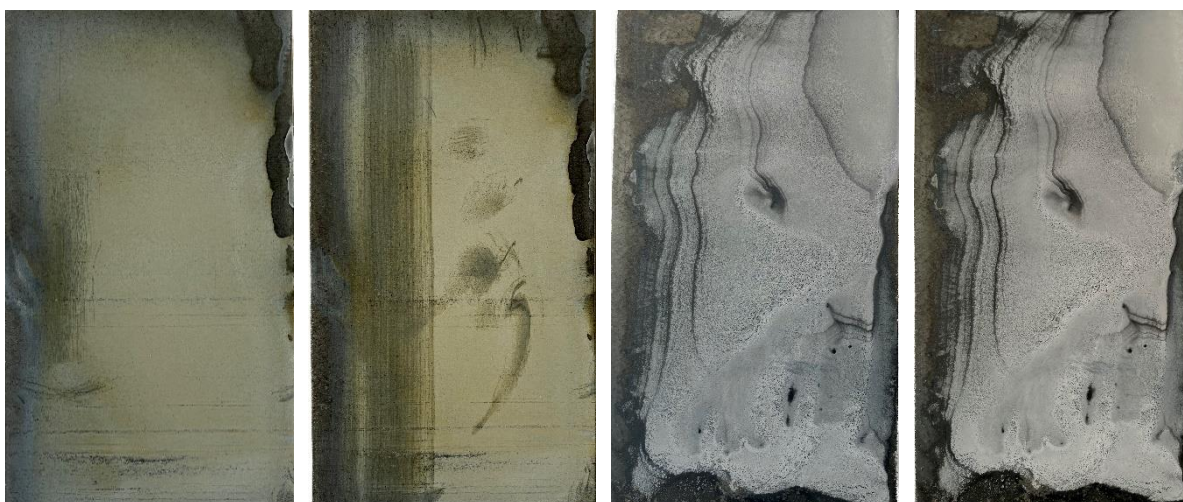
*Obr. 52: Vzorek č. 3 (vlevo) a vzorek č. 4 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)*



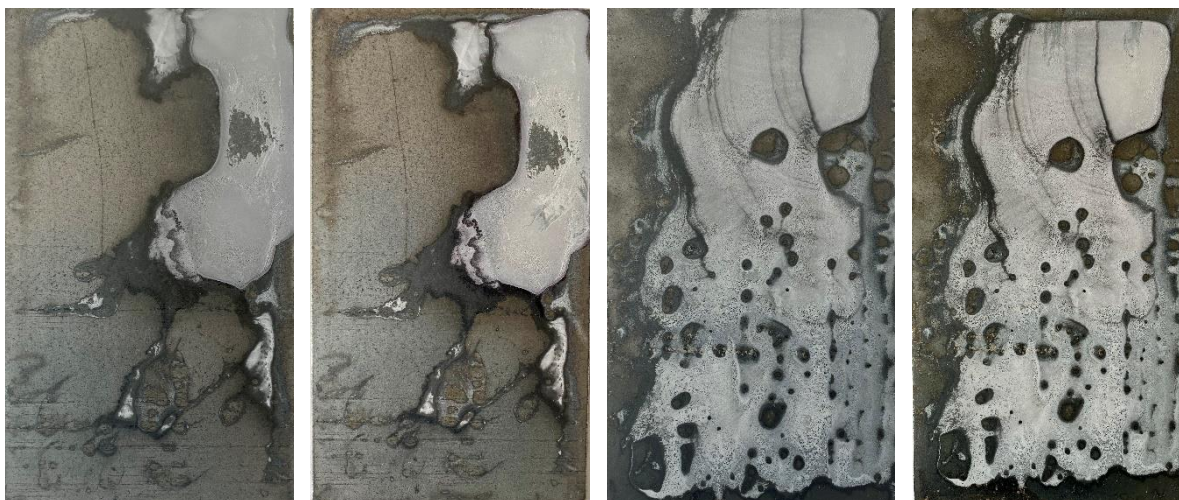
*Obr. 53: Vzorek č. 5 (vlevo) a vzorek č. 6 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 54: Vzorek č. 7 (vlevo) a vzorek č. 8 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 55: Vzorek č. 9 (vlevo) a vzorek č. 10 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)*



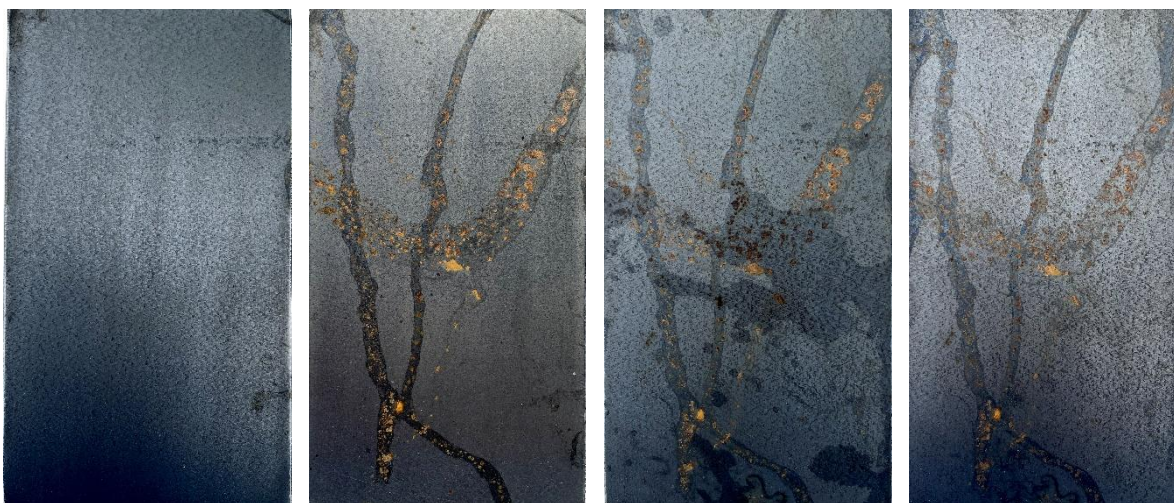
Obr. 56: Vzorek č. 11 (vlevo) a vzorek č. 12 (vpravo) po 12 hod a po 84 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)

Vzhled vzorků této sady, byl ve všech případech nezměněn po celou dobu měření a neobjevily se na jejich povrchu žádné známky bleskové koroze ani jiného korozního znehodnocení, viz Obr. 53–58. Šmouhy na některých vzorcích jsou zapříčiněny stěry látkou pro zjištění bleskové koroze.

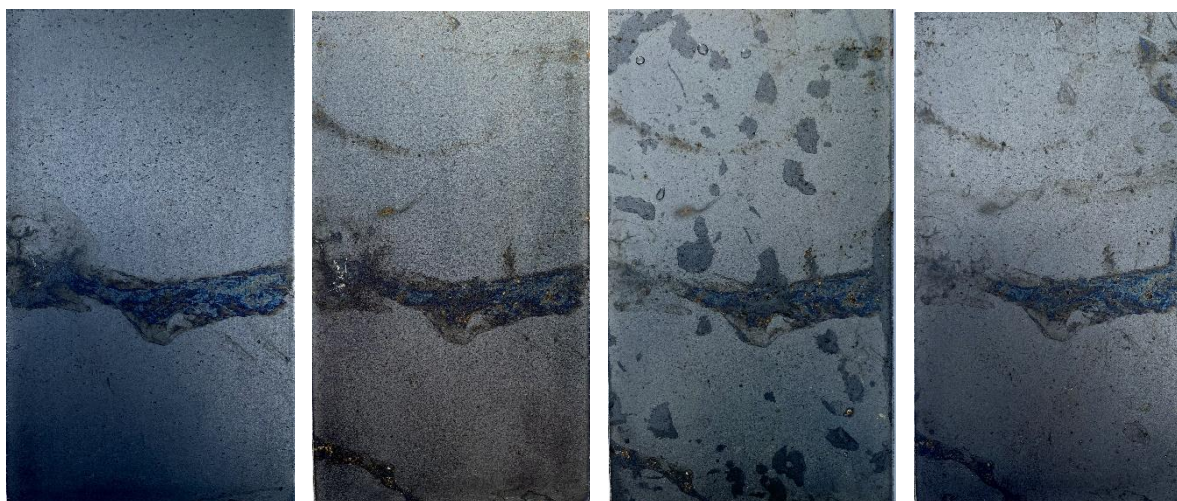
Vzorky vystavené vnitřnímu prostředí s nízkou korozní agresivitou projevují pozitivní korozní stabilitu. Kladnou skutečností je, že i po 80 hodinách nebyly zjištěny žádné známky koroze na povrchu a že pasivační produkt stále účinkuje. Pro komplexní hodnocení odolnosti materiálů v korozním prostředí a spolehlivější výsledky by bylo vhodné provést zkoušky dlouhodobější povahy, trvající minimálně jeden rok. Zkoušky ve vnitřních atmosférách jsou často prováděny za účelem simulace reálných podmínek, kterým jsou materiály vystaveny v praxi, např. při uskladnění v halách apod. Vzhledem k tomu, že povrch vzorků nevykazuje žádné známky bleskové koroze ani po použití mokřých procesů, lze považovat tuto skutečnost za pozitivní indikátor jejich odolnosti.

Pozn.: Vzorek otryskaný pouze čistou vodou nevykázal žádné známky bleskové koroze. Vzhledem k povaze a charakteru prostředí se jedná o celkem očekávanou skutečnost.

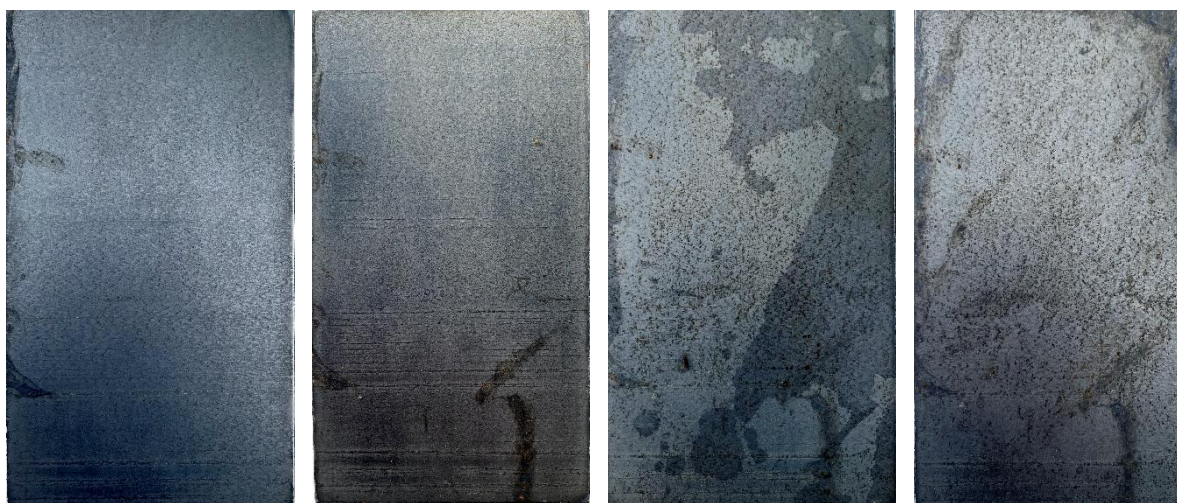
10.2 Vnější prostředí



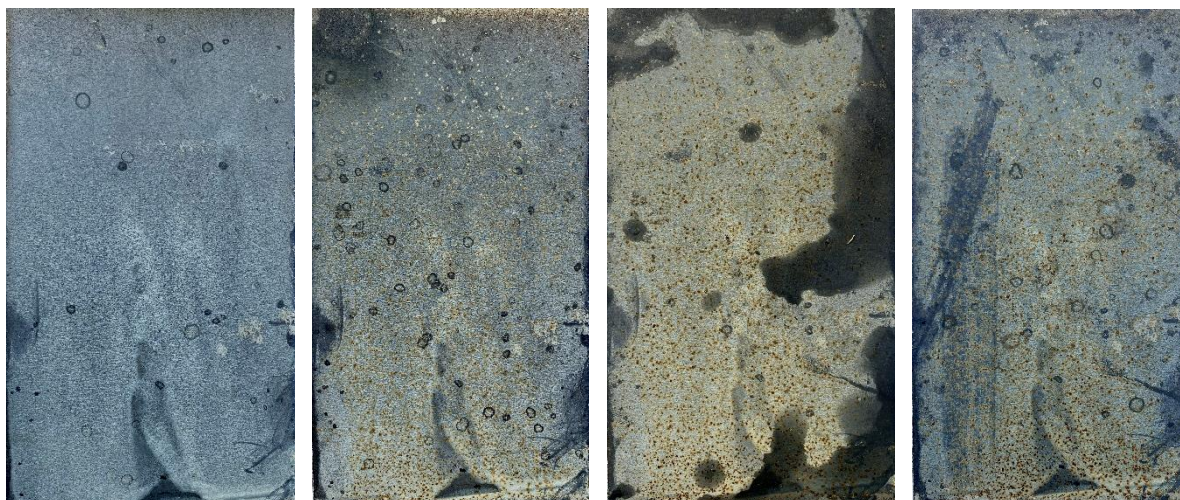
Obr. 57: Vzorek č. 13 po jednotlivých časových intervalech, tj po 24,60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)



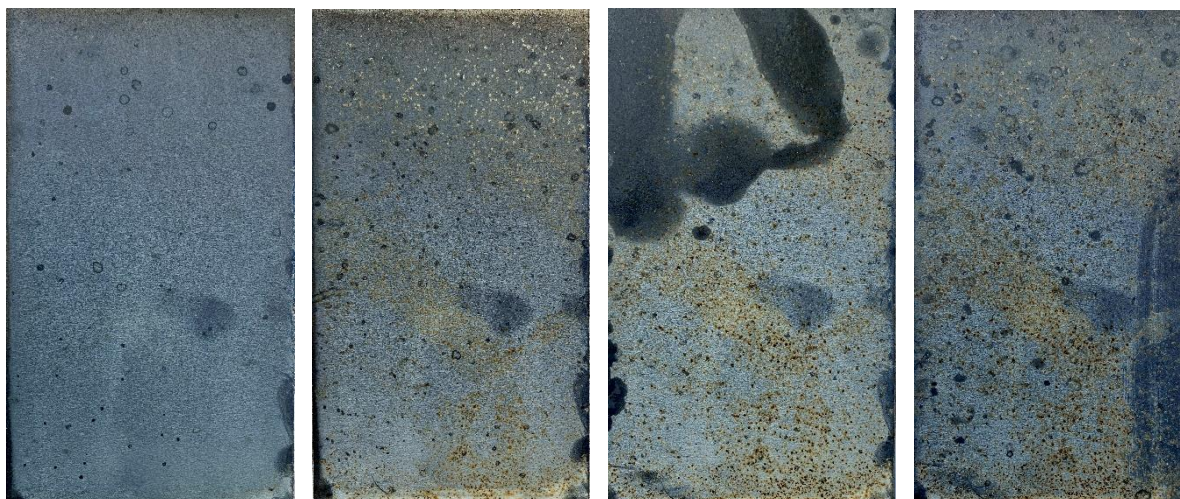
Obr. 58: Vzorek č. 14 po jednotlivých časových intervalech, tj po 24,60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)



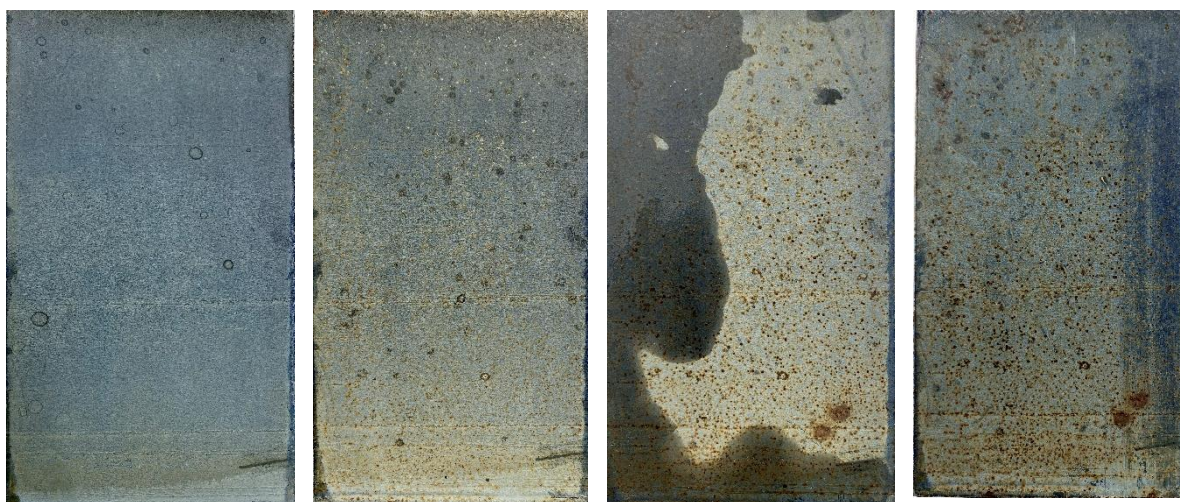
Obr. 59: Vzorek č. 15 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 60: Vzorek č. 16 po jednotlivých časových intervalech, tj po 24,60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 61: Vzorek č. 17 po jednotlivých časových intervalech, tj po 24,60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)



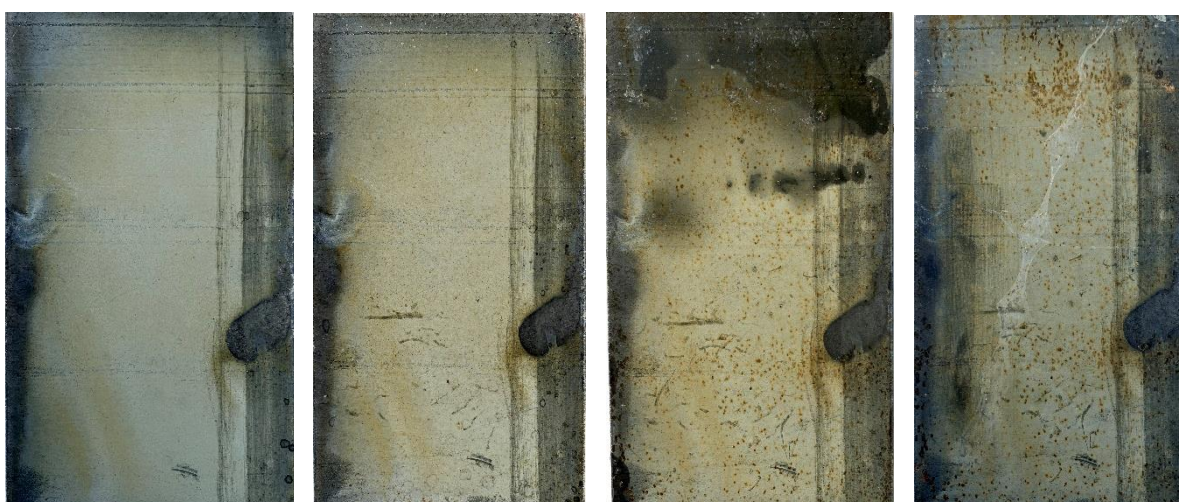
Obr. 62: Vzorek č. 18 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 63: Vzorek č. 19 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)



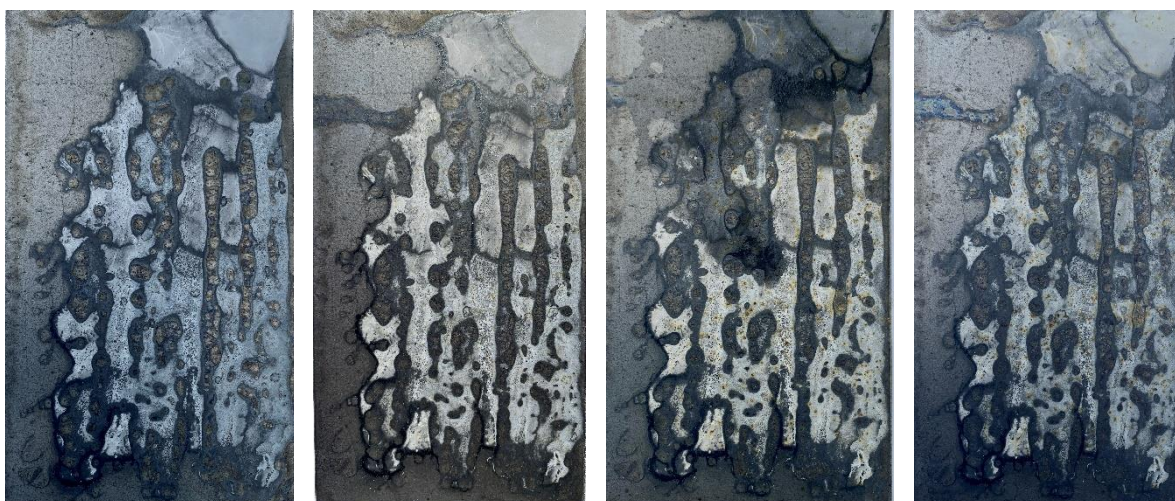
Obr. 64: Vzorek č. 20 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 65: Vzorek č. 21 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)



*Obr. 66: Vzorek č. 22 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 67: Vzorek č. 23 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 68: Vzorek č. 24 po jednotlivých časových intervalech, tj. po 24, 60, 84 a 108 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)*



Obr. 69: Vzorek č. 24 po 156 hodinách expozice
Zdroj: (autor, 2023)

V případě vzorků umístěných ve vnějším prostředí, kde se střídá teplota a relativní vlhkost vzduchu, byly použity vzorky nízkolegované uhlíkové oceli stejně jako v předchozí sadě. Tato sada obsahovala 12 vzorků, stejně jako předchozí sada. Tyto vzorky byly rozděleny do 4 skupin, podle typu úpravy povrchu, po 3 vzorcích (viz Tab. 14). Vzorky byly kontrolovány po určitých časových intervalech: 12, 24, 60, 84, 108 a 156 hodin. Postup koroze v jednotlivých intervalech je znázorněn na Obr. 59-71.

Během prvních 24 hodin nedošlo k žádnému projevu koroze na povrchu vzorků. Nicméně některé vzorky byly mírně poškozeny hlemýždi vyskytujícími se v prostoru umístění vzorků.

Po 60 hodinách se na povrchu vzorků začaly objevovat první známky koroze. Referenční vzorky (č. 13, 14 a 15) vykazaly výraznou korozi na místech, kde byl přítomen hlen od hlemýžďů. Vzorky č. 16, 17 a 18, které byly ošetřeny pasivačním produktem C316 z tlakové myčky, vykazaly bleskovou korozi ve formě teček převážně v dolní části vzorku, kde se hromadila voda při zasychání. Vzorky č. 19, 20 a 21, které byly také ošetřeny tímto produktem, ale aplikovaným ponorem, vykazovaly menší známky bleskové koroze, i v nižší míře. Je však třeba poznamenat, že na těchto vzorcích může být zkreslení prvních znaků bleskové koroze nažloutlou barvou vzorků. Vzorky č. 22, 23 a 24 téměř nevykazovaly žádné známky bleskové koroze, pouze vzorek č. 24 měl několik zrezlých teček na místech s nátěrem.

Po 84 hodinách se rozsah koroze postupně zvětšil na větší plochy vzorků a vzorky č. 22 a 23 vykazaly stejné poškození jako vzorek č. 24. Průběh koroze v tomto časovém období byl výrazně ovlivněn intenzivním deštěm, který trval celou noc, a jeho stopy jsou viditelné na fotografiích vzorků (mokrý skvrny).

Po 108 hodinách zůstal rozsah korozního napadení přibližně stejný, případně se mírně rozšířil do okolních oblastí. Hlavním znakem po této době bylo ztmavnutí korozních produktů na povrchu z oranžové barvy na tmavě hnědou.

Poslední kontrolovanou dobou byla doba expozice po 156 hodinách, kdy se rozsah bleskové koroze u všech vzorků zachoval stejný, s výjimkou vzorku č. 24, kde se v dolní části vytvořila výraznější hnědá korozní skvrna.

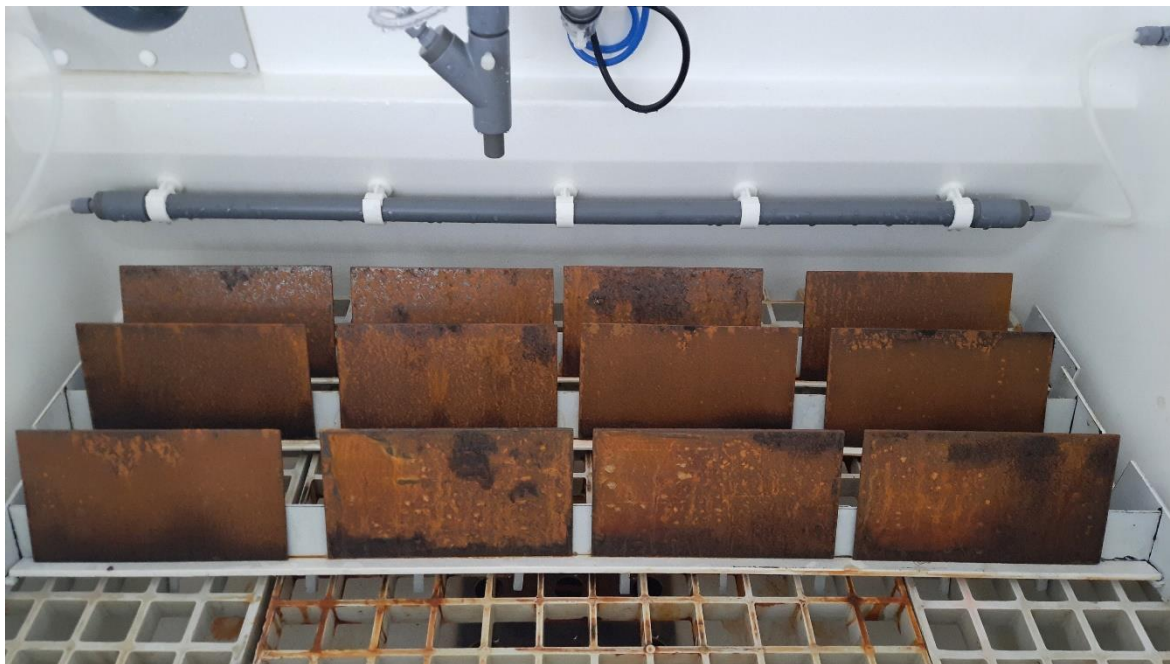
Stejně jako v předchozí sadě mají některé vzorky na svém povrchu šmouhy. Ty jsou způsobeny stěry bavlněnou látkou pro inspekci stupně bleskové koroze.

Je vhodné podotknout, že pro získání komplexnějších výsledků by bylo lepší provést dlouhodobější zkoušku, která by trvala přibližně jeden rok, s průběžným zaznamenáváním okolních podmínek. Tento typ zkoušky by měl lépe simulovat chování takto ošetřených materiálů na stavbách.

Pozn.: Vzorek otryskaný pouze čistou vodou nevykázal žádné známky bleskové koroze. To může být zapříčiněno vyššími denními teplotami po umístění vzorku do prostředí, což může vést k rychlému odpařování jakékoliv vlhkosti, která by se na vzorku mohla vyskytovat. Další možností může být, že vzorek nebyl vystaven dešti jako ostatní vzorky této sady.

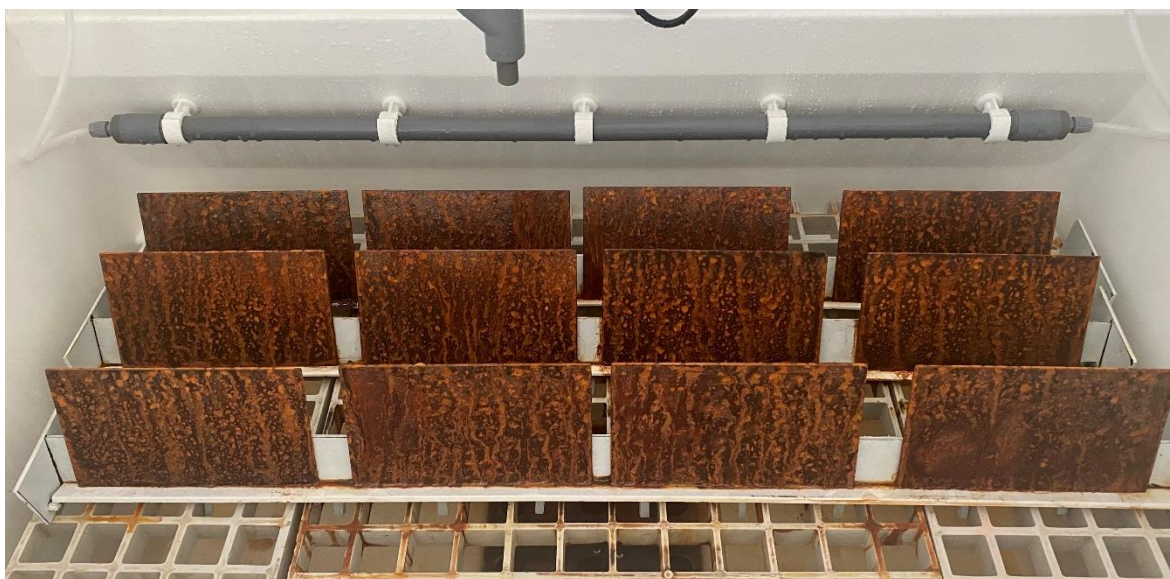
10.3 Cyklická korozní komora

Prvními vzorky, které budou vizuálně posouzeny, jsou vzorky třetí sady určené do korozní komory pro zkoušku solnou mlhou. Následující obrázky (Obr. 72-85) zobrazují změnu stavu povrchu v časových intervalech: 4, 24 a 48 hod. Obr. 72 a 73 ukazují vzorky umístěné pouze v korozní komoře, z důvodu normou stanoveném zákazem manipulace vzorků během pozastavení procesu. Nebylo tak možné pořídit snímky jednotlivých vzorků, jako tomu je v případě vzorků po 48 hodinách expozice.



Obr. 70: Sada vzorků po zkoušce NSS, expozice 4 hod

Zdroj: (Lang, 2023)



Obr. 71: Sada vzorků po zkoušce NSS, expozice 24 hod

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 72: Vzorek č. 25 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 73: Vzorek č. 26 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



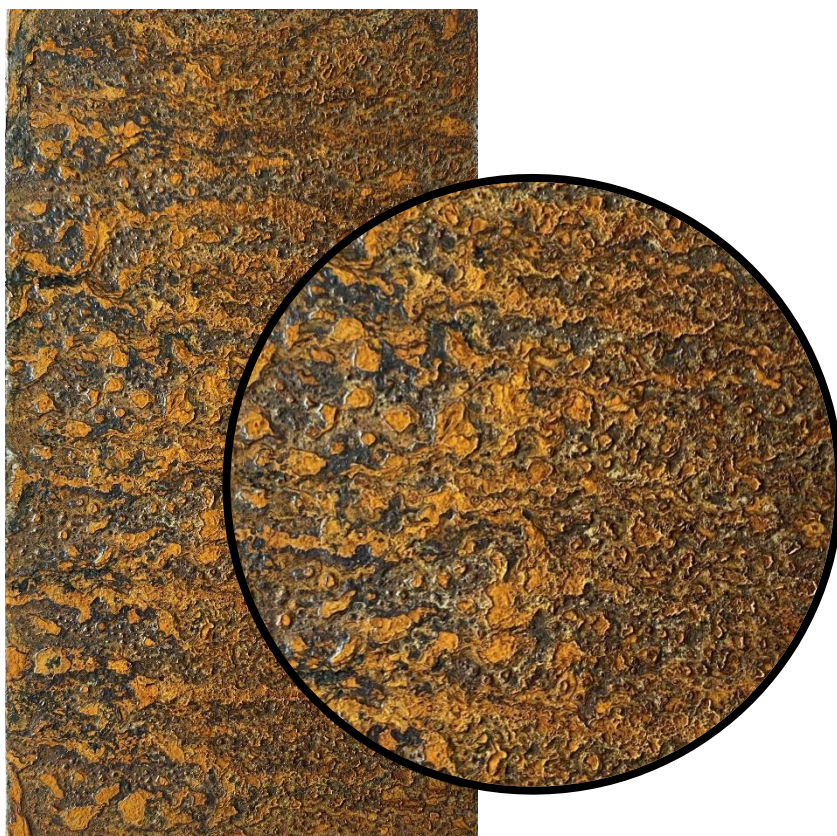
Obr. 74: Vzorek č. 27 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 75: Vzorek č. 28 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 76: Vzorek č. 29 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 77: Vzorek č. 30 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 78: Vzorek č. 31 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 79: Vzorek č. 32 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 80: Vzorek č. 33 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



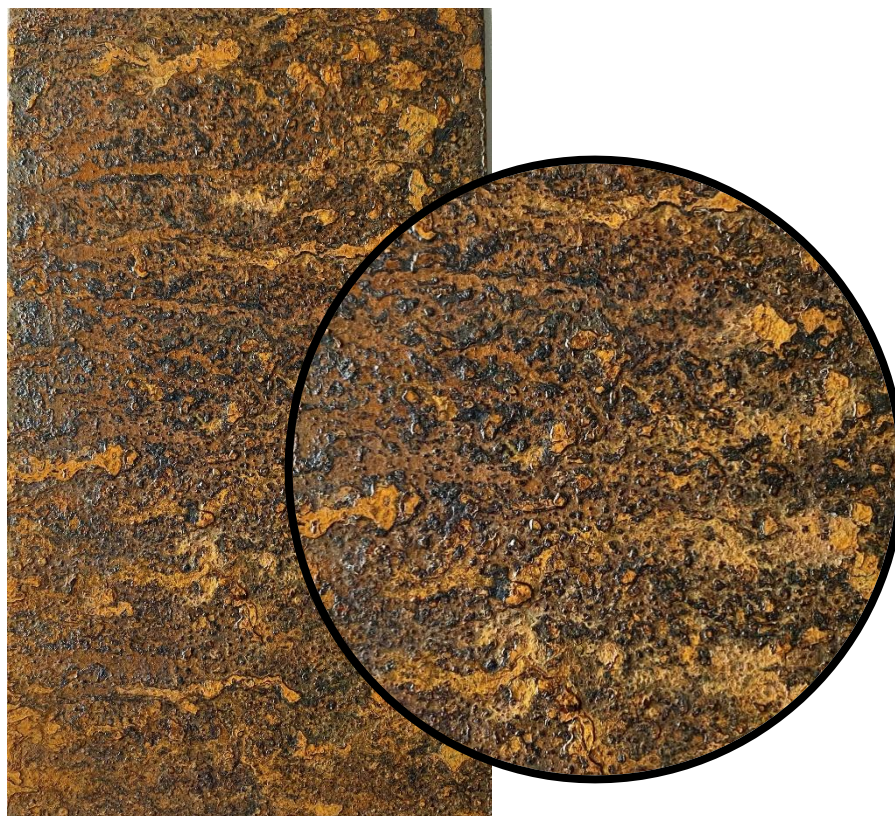
Obr. 81: Vzorek č. 34 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)



Obr. 82: Vzorek č. 28 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)

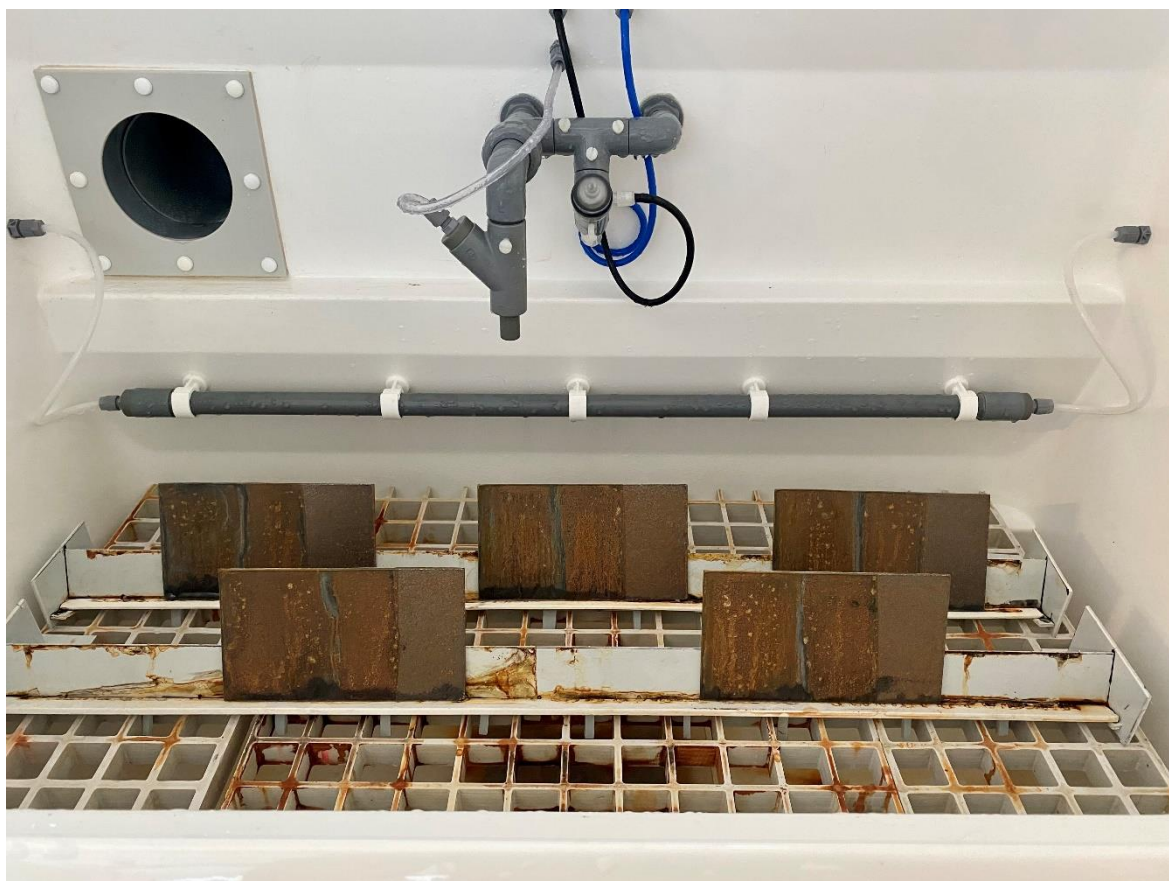


Obr. 83: Vzorek č. 35 včetně zvětšení po zkoušce NSS, expozice 48 hod

Zdroj: (autor, 2023)

Následující sada vzorků byla podrobena posouzení vzhledu po expozici neutrální solné mlže v korozní komoře v intervalech 4, 24 a 48 hodin. Po 4 hodinách expozice je zřejmé, že neošetřené vzorky vykazují výraznější korozní poškození a výskyt puchýřků, zatímco vzorky upravené nízkotlakým stříkáním s produktem C316 projevují rovnoměrné znehodnocení oranžové barvy bez puchýřků, přičemž vytvářejí homogenní film. Podobné výsledky jsou pozorovatelné i u vzorků, na které byl aplikován stejný produkt ponorem. Zde je na povrchu materiálu patrný rovnoměrný film, ale v oblastech, kde povlak není pevně připojen z důvodu nerovnoměrného zasychání, je pozorováno stejné korozní poškození jako u neošetřených vzorků. Největší rozdíly a nekonzistence povrchu jsou zaznamenány u vzorků s jednou vrstvou nátěru HCA-C, kde je vidět menší korozní poškození v oblastech s větší tloušťkou nátěru kvůli nerovnoměrnému zasychání. Z tohoto důvodu byly provedeny další testy s vícevrstevným nátěrem HCA-C pro expozici v korozní komoře po dobu 4 hodin (viz další zkouška). Rozdíl mezi 24 hodinami a 48 hodinami expozice není z hlediska vzhledu zřetelný, avšak lze předpokládat, že vzorky vystavené po dobu 24 hodin budou mít nižší hloubku koroze než ty, které byly vystaveny po dobu 48 hodin. To znamená, že hmotnostní ztráty po očištění vzorků, a tedy i korozní rychlost, budou v případě 48hodinové expozice vyšší než u vzorků s 24hodinovou expozicí. Podrobnější posouzení bylo provedeno na vzorcích vyjmutých z komory po 48 hodinách. Tyto vzorky byly opláchnuty, osušeny a zbaveny zbytků solného roztoku, a teprve poté bylo možné je fotografovat. Na těchto vzorcích jsou jasně patrné rozdíly mezi jednotlivými povrchovými úpravami, zejména mezi neošetřenými vzorky a vzorky natřenými produktem IMPASOL HCA-C. Vzorky opatřené produktem C316, bez ohledu na aplikaci nízkotlakým stříkáním nebo ponorem, vykazují velmi podobné znehodnocení jako neošetřené vzorky. Povrch těchto prvků je zpuchýřovatělý a vystupuje ve 2/3 své plochy. Nepatrný rozdíl mezi neošetřenými vzorky a vzorky s C316 spočívá v rozsahu těchto korozních produktů. U neošetřených vzorků je jejich plocha výrazně větší a jsou rovnoměrně rozloženy po celém povrchu, zatímco u vzorků s nízkotlakým stříkáním a ponorem jsou puchýřky menší a nevyskytují se na celé ploše vzorku. Nejvýraznější rozdíl je pozorovatelný u vzorků s nátěrem, kde je povrch na první pohled hladký, i přes přítomnost menších puchýřků, které však nevystupují. Dalším poznatkem je přítomnost jakéhosi kovového povrchu mezi jednotlivými korozními produkty. Prodloužené testy v této oblasti nebyly nezbytné, protože povrchové úpravy samy o sobě neposkytují protikorozní ochranu a není třeba stanovovat jejich dlouhodobou životnost.

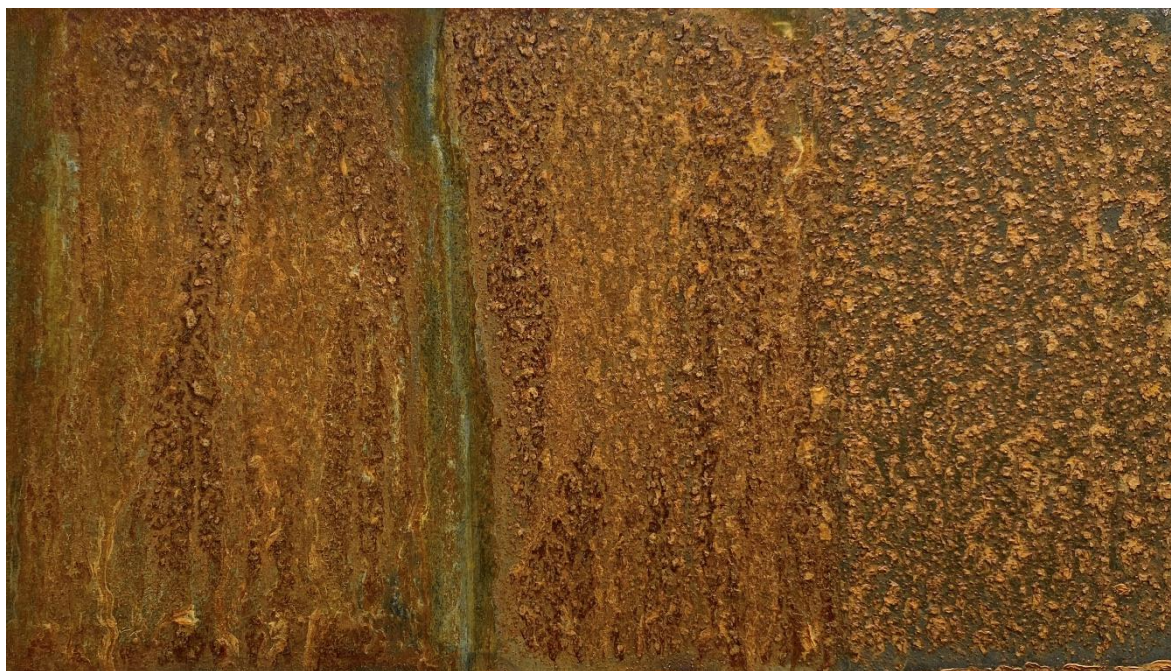
Druhou sadou vzorků, které budou posouzeny z hlediska vzhledu, jsou vzorky opatřeny nátěrem IMPASOL HCA-C ve třech a pěti vrstvách, jak bylo popsáno výše. Sada těchto pěti vzorků byla opět umístěna do cyklické korozní komory na zkoušku neutrální solnou mlhou, viz Obr. 86-91. Cykly v korozní komoře byly nastaveny na 2 hodiny, s ukončením po 4 hodinách. Vzorky po pozastavení procesu nelze vyjmout ze zařízení, z toho důvodu je fotografie vzorků po uplynutí 2 hodin pořízena pouze v korozní komoře, kde jsou prvky umístěny na plastové držáky.



*Obr. 84: Vzorky s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 2 hod
Zdroj: (autor, 2023)*



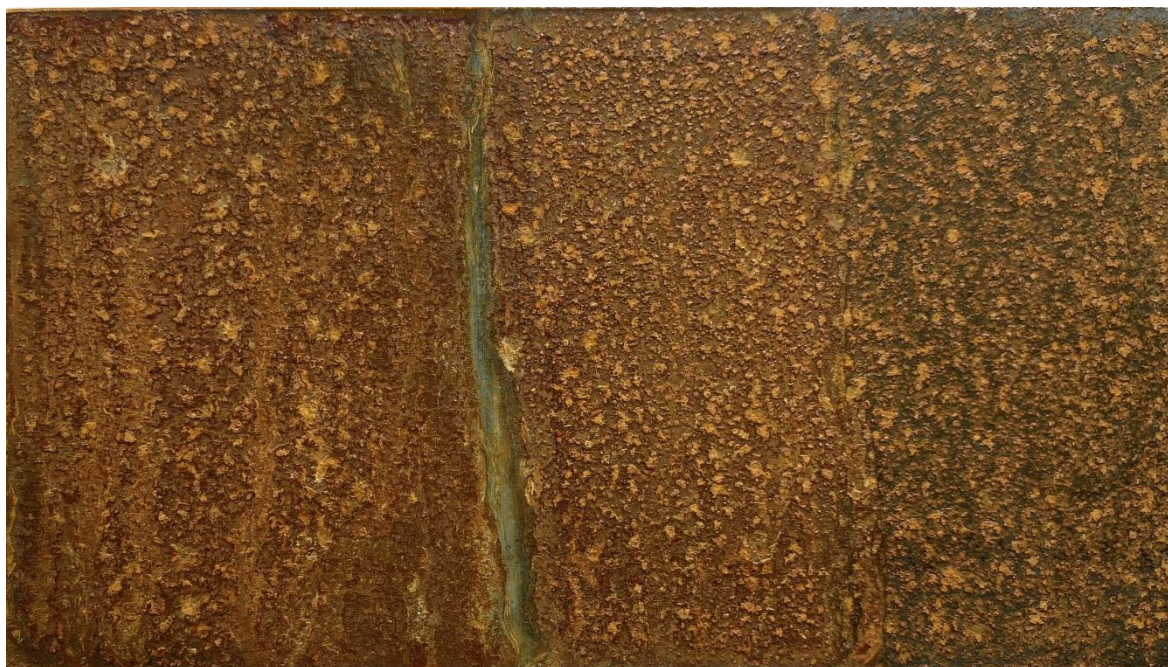
*Obr. 85: Vzorek č. 39 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod
Zdroj: (autor, 2023)*



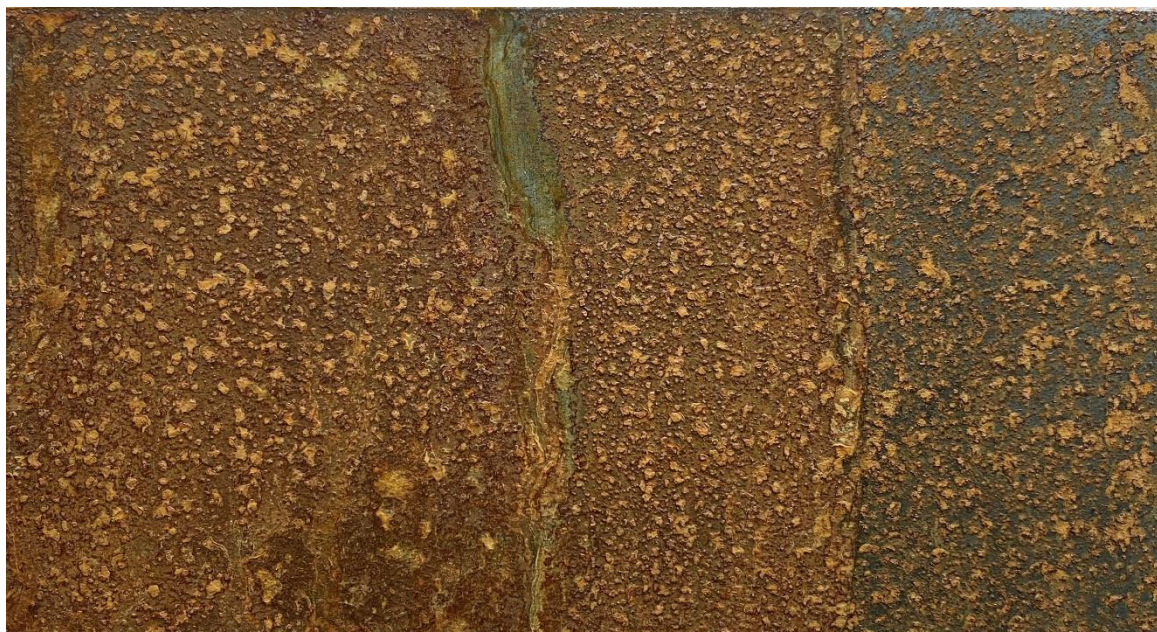
*Obr. 86: Vzorek č. 40 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 87: Vzorek č. 41 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod
Zdroj: (autor, 2023)*



*Obr. 88: Vzorek č. 42 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod
Zdroj: (autor, 2023)*



Obr. 89: Vzorek č. 43 s nátěrem HCA-C v několika vrstvách po zkoušce NSS, expozice 4 hod
Zdroj: (autor, 2023)

Tyto vzorky byly podrobeny posouzení z hlediska vzhledu jednotlivých částí. Každý vzorek byl rozdělen na tři části s různým počtem vrstev nátěru. Levá část byla opatřena 5 vrstvami, prostřední část 3 vrstvami a pravá část zůstala bez nátěru. Mezi levou a prostřední částí se vrstvy nátěru překrývaly, což vytvořilo oblasti s vyšším počtem vrstev. Po 2 a 4 hodinách zkoušky v neutrální solné komoře vykazují tyto oblasti maximálně lehký až střední stupeň bleskové koroze, jak je patrné na obrázcích. Toto zjištění naznačuje, že oblasti s vyšším počtem vrstev nátěru (cca 8 vrstev) projevují větší korozní odolnost než ostatní oblasti vzorku. Nicméně, z praktického hlediska je aplikace nátěru v takovém počtu vrstev neekonomická a nepraktická, kvůli časovým, pracovním a materiálovým nárokům. Je tedy vhodné zaměřit se pouze na vzhled oblastí s přesným počtem vrstev nátěru. V oblastech s 5 vrstvami nátěru je pozorován výrazně nižší výskyt korozních puchýřků po 2 a 4 hodinách zkoušky. V některých místech se dokonce žádné nevyskytují a povrch je hladký. V oblastech s 3 vrstvami nátěru je výskyt těchto korozních produktů vyšší, ale stále nižší než v oblasti bez nátěru, kde je výrazné zpuchýřování povrchu. Na pohledu ze strany je patrné, že v oblasti bez nátěru je koroze vystouplá, ačkoli ve velmi malé míře. Dalším měřítkem při posouzení vzhledu je změna barvy. V oblasti s 5 vrstvami nátěru je barva světle oranžová, s lehkým až středním stupněm bleskové koroze na okrajích. Naopak oblast bez nátěru má tmavě hnědou barvu s oranžovými korozními puchýřky, což může naznačovat větší stupeň korozního napadení, které může zasahovat až do hloubky základového kovu.

11 Návrh dalšího rozšíření experimentu

V další fázi výzkumu budou připraveny dvě sady o 12 vzorcích, kde bude jako úprava povrchu využita metoda mokrého abrazivního tryskání. Do směsi pro tryskání bude kromě abraziva a vody přidán produkt IMPACLEAN AQUA C320. Tento produkt slouží opět jako odmašťovací a fosfatizační povlak. Každá sada bude rozdělena do čtyř skupin po třech vzorcích, kde první skupina bude ošetřena pouze abrazivním tryskáním bez odmašťovacího produktu. Zbylé tři skupiny budou otryskány mokrým abrazivem s fosfátovým primerem, v různých koncentracích. První sada bude opět umístěna do vnějšího prostředí, a sada č. 2 bude podrobena zkoušce neutrální solnou mlhu v cyklické korozní komoře. Tato část experimentu bude probíhat na začátku měsíce června a první výsledky by tak mohly být prezentovány již při obhajobě této práce.

Návrhem dalšího rozšíření bude také posouzení adheze mezi odmašťovacím a fosfatovacím produktem IMPASOL HCA-C a protikorozním nátěrem. Několik vzorků bude na jedné polovině natřeno pouze protikorozním ochranným povlakem a na druhé produktem HCA-C a po zaschnutí stejným typem nátěru proti korozi. Podmínky, kterým budou tyto vzorky vystaveny budou ještě konzultovány s odborníky, např. Ing. Langem.

Dalším způsobem vyhodnocení by mohlo být posouzení vzhledu po odstranění povrchových korozních zplodin, které by bylo provedeno v souladu s ČSN EN ISO 8407 a následné změření hmotnosti jednotlivých vzorků. Stanovením úbytku mezi původní hmotností a hmotností po očištění je klíčovým parametrem pro výpočet korozní rychlosti.

12 Závěr

V rámci této diplomové práce byl proveden pilotní výzkum zaměřený na protikoroziční ochranu ocelových konstrukcí. Cílem práce bylo poskytnout přehled o možnostech protikoroziční ochrany při sanaci ocelových konstrukcí a zkoumat účinnost různých metod přípravy povrchu. Práce se zaměřovala na metody abrazivního tryskání a vysokotlakého tryskání vodou.

V teoretické části práce byl proveden důkladný rozbor koroze, korozních prostředí, konstrukčních materiálů a druhů korozního napadení. Byla také podrobně popsána protikoroziční ochrana, včetně postupů navrhování ochrany, metod úpravy povrchů a různých typů protikorozičních opatření.

V praktické části byl proveden experiment, který byl zaměřen na metody přípravy povrchu ocelových vzorků. Byly použity metody abrazivního tryskání (mokrého i suchého) a vysokotlakého tryskání vodou. Proces přípravy vzorků byl detailně popsán včetně použitých aplikací a produktů. Důležitou částí experimentu bylo také stanovení tří typů korozního prostředí, kterým byly vzorky vystaveny, tj. vnitřní a vnější atmosféra a cyklická korozní komora se solnou mlhou. Klíčový význam mělo vizuální vyhodnocení vzorků po určité době, aby bylo možné identifikovat první známky koroze a popsat vzhled vzorků po provedení korozních zkoušek.

Výsledky práce ukázaly, že správná příprava povrchu je klíčovým faktorem pro účinnost protikoroziční ochrany. Metody abrazivního tryskání a vysokotlakého tryskání vodou se ukázaly jako účinné při odstraňování nečistot a přípravě povrchu pro následnou ochranu. Výsledky práce také přinášejí užitečné poznatky pro navrhování časového harmonogramu při sanaci ocelových konstrukcí a při výstavbě nových konstrukcí. Získané informace o možnostech protikoroziční ochrany a vyhodnocení jejich účinnosti mohou přispět ke zlepšení ochrany ocelových konstrukcí před korozí, což je klíčové z hlediska jejich životnosti a bezpečnosti.

Navržené rozšíření experimentu zahrnuje použití odmašťovacího a fosfatizačního produktu při mokřím abrazivním tryskání a další zkoumání adheze mezi odmašťovacím a fosfátovacím produktem a protikorozičním nátěrem. Toto rozšíření by mohlo přinést další poznatky o účinnosti protikoroziční ochrany. Další možností je posouzení vzhledu vzorků po odstranění povrchových korozních zplodin a měření jejich hmotnosti.

Závěrem je třeba zdůraznit, že testy v cyklické korozní komoře se solnou mlhou poskytují rychlou analýzu diskontinuit, pórů a poškození povlaků, avšak výsledky těchto testů nelze přímo porovnávat s dlouhodobým chováním ochranných systémů v reálných podmínkách. Navzdory tomu tato metoda poskytuje prostředky pro kontrolu kvality kovového materiálu s ochranou a bez ní. Dále se ukázalo, že výsledky a poznatky získané v rámci této diplomové práce mohou být přínosné i v jiných oblastech stavebnictví, například ve facility managementu při plánování sanace ocelových prvků během odstávky provozu.

Celkově lze konstatovat, že diplomová práce přináší ucelený přehled o možnostech protikoroziční ochrany při sanaci ocelových konstrukcí a přispívá k rozvoji poznatků v oblasti ochrany před korozí. Výsledky a doporučení této práce by mohly být využity při navrhování protikorozičních opatření a zlepšení životnosti ocelových konstrukcí v průmyslovém a stavebním sektoru.

13 Seznam bibliografických odkazů

1. **BARTONÍČEK, Robert a kol.** *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. Praha : Academia, 1966.
2. **ČERNÝ, Miroslav a kol.** *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. Praha : SNTL, 1984.
3. **BARTONÍČEK, Robert.** *Navrhování protikorozní ochrany*. Praha : SNTL, 1980.
4. **ŠKÁCHOVÁ, Hana.** Kvalita ovzduší na území České republiky v roce 2022. *Úsek kvality ovzduší, Český hydrometeorologický ústav*. [Online] 2023. [Citace: 1. Květen 2023.] https://info.chmi.cz/zpravy/UKO_AIM2022/#chapter13.
5. **Úspora energie: Jak chce EU snížit energetickou spotřebu?** *Evropský Parlament*. [Online] 8. Prosinec 2022. [Citace: 17. Únor 2023.] <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20221128STO58002/uspora-energie-jak-chce-eu-snizit-energetickou-spotrebu>.
6. **TKADLEČEK, Áron.** Snížení spotřeby je nutné a nemusí znamenat horší život. Jak o něm ale začít mluvit? *A2ALARM*. [Online] 9. Květen 2020. [Citace: 17. Únor 2023.] <https://a2larm.cz/2020/05/snizeni-spotreby-je-nutne-a-nemusi-nutne-znamenat-horsi-zivot/>.
7. **KORBELÁŘ, Jaroslav a Hana GEIPLOVÁ.** *Protikorozní ochrana kovových konstrukcí*. Praha : Profesis ČKAIT, 2018. ISSN 1805-6032.
8. **NOVÁK, Pavel.** *Koroze kovů*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006.
9. **KUDLÁČEK, Ivan.** *Degradační procesy I*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1994.
10. **Emise CO₂ z aut: fakta a čísla (infografika).** *Evropský parlament*. [Online] 16. Únor 2023. [Citace: 7. Březen 2023.] <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>.
11. **LASEK, Stanislav.** *Základy degradačních procesů*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013.

- 12. KOUDELKA, Ctírad.** Bludné proudy. *Fakulta Elektrotechniky a Informatiky*. [Online] Prosinec 2003. [Citace: 11. Březen 2023.] https://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/bludne_proudy.pdf.
- 13. Patinující ocel.** *Atmofix patinující ocel, weathering steel Cor-Ten*. [Online] 26. Leden 2011. [Citace: 12. Březen 2023.] http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php.
- 14. ČSN EN 1993-1 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí.** Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, Platí poslední znění předpisů.
- 15. Postup řešení: Koroze ocelových konstrukcí.** *Česká stránka projektu Access Steel na ČVUT v Praze*. [Online] [Citace: 15. Duben 2023.] http://steel.fsv.cvut.cz/Access_Steel_CZ/SS_Postup-reseni/SS021a-CZ-EU.pdf.
- 16. NĚVĚČNÝ, Petr.** Stupně přípravy ocelového podkladu dle ČSN ISO 8501-1 a podobných norem. *Povrchové úpravy*. Únor 2012.
- 17. MOHYLA, Miroslav.** *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava : VŠB-TUO, 2006.
- 18. ČSN EN ISO 8501-1 Příprava ocel. podkladů před nanesením nátěr. hmot a obdob. výrobků.** *Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu. Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocel. podkladu bez povlaku a ocel. podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha : Český normalizační institut, 2007, Platí poslední znění předpisů.
- 19. ČSN EN ISO 8504-3 Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků.** *Metody přípravy povrchu. Část 3: Ruční a mechanizované čištění*. Praha : SVÚOM s. r. o, 2018, Platí poslední znění předpisů.
- 20. ČSN EN ISO 12944-4 Nátěrové hmoty. Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy.** *Část 4: Typy povrchů podkladů a jejich příprava*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, Platí poslední znění předpisů.
- 21. ČSN EN ISO 8504-2 Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků.** *Metody přípravy povrchu. Část 2: Otryskávání*. Praha : SVÚOM s.r.o., 2020, Platí poslední znění předpisů.

- 22. Fosfátování za studena / odrezovače.** *HF servis*. [Online] 2022. [Citace: 10. Květen 2023.] <https://www.hfservis.cz/produkty/fosfatovani-za-studena-povrchova-uprava/>.
- 23. Mokrý příprava povrchu - Tryskání vodou a mokré abrazivní tryskání.** *Technická směrnice Hempel*. [Online] Březen 2021. [Citace: 8. Květen 2023.] <https://www.hempel.com/-/media/Files/Global/PDF/Technical-Guidelines/Surface-Preparation/Wet-surface-preparation-methods.pdf>.
- 24. ČSN EN ISO 8501-4 Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků. Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu. Část 4: Výchozí stav povrchu, stupně přípravy a bleskové koroze po tryskání vodou.** Praha : Český normalizační institut, 2007, Platí poslední znění předpisů.
- 25. ČSN EN ISO 4618 Nátěrové hmoty - Termíny a definice.** Praha : SVÚOM s. r. o., 2018, Platí poslední znění předpisů.
- 26. JONES, Denny. A.** *Principles and Prevention of Corrosion*. Second Edition. Harlow : Pearson, 2014. ISBN 978-1-292-04255-8.
- 27. SMITH, W. F.** *Principles of Materials Science and Engineering*. místo neznámé : McGraw-Hill College, 2008.
- 28. ROBERGE, Pierre R.** *Handbook of corrosion engineering*. Second edition. New York : McGraw-Hill, 2012. ISBN 978-0-07-175037-0.
- 29. MAKHLOUF, Abdel Salam Hamdy.** *Handbook of Smart Coatings for Materials Protection*. Cambridge : Woodhead Publishing, 2014. ISBN 978-0-85709-680-7.
- 30. CARLSSON, Bo, Göran ENGSTRÖM, Anne-Lise HÖG LEJRE et al.** *TR-597: Guideline for selection of accelerated corrosion test for product qualification*. Oslo : Nordic Innovation Centre, 2006.
- 31. ČSN EN ISO 9227 Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou.** Praha : Evropský výbor pro normalizaci, 2017.

14 Seznam příloh

Příloha č. 1 – Technický list produktu IMPACLEAN AQUA C316

Příloha č. 2 – Technický list produktu IMPASOL HCA-C

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

PŘÍLOHA Č. 1

Technický list produktu IMPACLEAN AQUA C316

Autorka práce: Bc. Sabina Štěřbová

Vedoucí práce: Ing. Jan Kubát, Ph.D.

Plzeň 2023

IMPACLEAN AQUA C 316

BEZOPLACHOVÝ ODMAŠŤOVACÍ FOSFÁTOVÝ
ODREZOVACÍ A PRIMER NA ČERSTVĚ

POZINKOVANÉ PLOCHY

KONCENTRÁT

AQUA C 316 je čirá kapalina obsahující organické složky k vázání rzi tak, že zastavuje korozi a současně odmašťuje a vytváří ochranný BEZOPLACHOVÝ PRIMER povlak s fosfatizačním a odmašťujícím účinkem.

Fosfátový primer je ideální k čistění, odmaštění, pasivaci rzi na zrezlých površích a jako primer na čerstvě pozinkovaných kovových konstrukcích, součástkách a jiných částech. Zajišťuje prodloužení jejich životnosti a zvýšení adheze barev.

Čerstvě pozinkované povrchy ošetřené tímto produktem je možné bez použití dalšího primeru natírat. Ochranný povlak silně zesiluje obranyschopnost ostatních kovů (železo, litina) vůči následné korozi současně s následnými povrchovými úpravami či nátěry. Produkt je možno použít pro vnitřní i venkovní účely.

Nahrazuje žíravé, toxické, dráždivé, zdraví škodlivé vodné roztoky a chlorované uhlovodíky. Nenarušuje těsnění, NBR a silikonové O-kroužky, gumu a většinu plastických hmot.

- Chemicky zastavuje korozi a chrání povrch před korozí
- Čistí, odmašťuje a pasivuje rez na zrezlých površích
- Působí jako primer na čerstvě pozinkovaných plochách
- Výrazně prodlužuje životnost materiálů a zvyšuje přilnutí barev
- Snižuje povrchové napětí
- Nahrazuje toxické, žíravé, zdraví škodlivé produkty
- Bez zápachu
- Biologicky odbouratelný

FOSFÁTOVÝ ODREZOVACÍ,
POZINKOVÝ PRIMER

Rozeznáváme tři různé způsoby aplikace produktu AQUA C 316 podle typu použití:

Odmašťovací aplikace s fosfátovým účinkem na nezkorodované povrchy a čerstvě pozinkované plochy:

- Aplikace natíráním
- Aplikace nízkotlakým stříkáním
- Aplikace vysokotlakým stříkáním

Odmašťovací aplikace s fosfátovým účinkem na zkorodované povrchy

- Aplikace natíráním
- Aplikace nízkotlakým stříkáním
- Aplikace vysokotlakým stříkáním
- Aplikace ponorem

Vydatnost produktu Impaclean Aqua C 316 z 1litru

Koncentrát	1:1	1:3	1:5	Nízkotlakým stříkáním 1:3	Nízkotlakým stříkáním 1:10	Vysokotlakým stříkáním
15 m ²	30 m ²	60 m ²	90 m ²	75 m ²	150 m ²	200–300 m ²

Odmašťovací aplikace s fosfátovým účinkem na nezkorodované povrchy:

Aplikace natíráním:

Produkt použijte zředěný v poměru 1:5-20 s teplou nebo studenou vodou v závislosti na charakteru a míře znečištění. Poté natřete znečištěný povrch štětcem nebo válečkem a uvolněné nečistoty setřete mikrovlákem. Nechte dobře uschnout. V případě většího znečištění postup opakujte.

Aplikace nízkotlakým stříkáním:

Produkt použijte zředěný v poměru 1:5-20 s teplou nebo studenou vodou v závislosti na charakteru a míře znečištění a nalijte do postřikovače. Rovnoměrně aplikujte na celý znečištěný povrch a uvolněné nečistoty setřete mikrovlákem. Nechte dobře uschnout. V případě většího znečištění postup opakujte.

Aplikace vysokotlakým stříkáním (nejvhodnější a nejvýhodnější aplikace):

Produkt použijte v koncentrované podobě. Lze jej použít jako přísadu do vysokotlakých zařízení s ohřevem nebo bez ohřevu. Při této aplikaci lze využít všechny funkce produktu - jedním úkonem odmastíte, pasivujete zrezavělé povrchy a u pozinkovaných nebo hliníkových povrchů navíc působí jako PRIMER. Správné ředění nastavte na vysokotlakém zařízení tak, aby byl po zaschnutí povrch odmaštěn na méně než 38Dn. V opačném případě zvyšujte množství přísávaného produktu, dokud nedosáhnete požadovaného efektu. Použitím teplé vody (cca 70 °C - 95 °C) výrazně zvýšíte celkový účinek produktu. Po aplikaci nechte dobře uschnout. Všeobecně platí, že pro vytvoření fosfátové vrstvy by teplota lázně měla být 90 °C. Při nižších teplotách se nemusí vytvořit fosfátová vrstva dostatečně homogenní a souvislá.

Odmašťovací aplikace s fosfátovým účinkem na čerstvě pozinkované povrchy:

Aplikace natíráním:

Produkt použijte v koncentrované formě nebo zředěný v poměru 1:1-3 s teplou nebo studenou vodou v závislosti na charakteru a míře znečištění. Poté natřete znečištěný povrch štětcem nebo válečkem a uvolněné nečistoty setřete mikrovláknem. Nechte dobře uschnout. V případě většího znečištění postup opakujte. Po zaschnutí se na lesklých plochách pozinkované vrstvy vytvoří matný povrch.

Aplikace nízkotlakým stříkáním:

Povrch by měl být již odmaštěn produktem Impasol dle druhu povrchu! Kontaktujte naše technické oddělení. Produkt použijte koncentrovaný nebo zředěný v poměru 1:1-3 s teplou nebo studenou vodou v závislosti na charakteru a míře znečištění a nalijte do postřikovače. Rovnoměrně aplikujte na celý znečištěný povrch. Při této aplikaci působí přípravek pouze jako PRIMER. Nechte dobře uschnout. V případě většího znečištění postup opakujte.

Po zaschnutí se na lesklých plochách pozinkované vrstvy vytvoří matný povrch.

Aplikace vysokotlakým stříkáním (nejvhodnější a nejvýhodnější aplikace):

Produkt použijte v koncentrované podobě. Lze jej použít jako přísadu do vysokotlakých zařízení s ohřevem nebo bez ohřevu. Při této aplikaci lze využít všechny funkce produktu - jedním úkonem odmaštíte, pasivujete zrezavělé povrchy a u pozinkovaných nebo hliníkových povrchů navíc působí jako PRIMER. Správné ředění nastavte na vysokotlakém zařízení tak, aby se po zaschnutí na lesklých plochách pozinkované vrstvy vytvořil matný povrch. V opačném případě zvyšte množství přisávaného produktu, dokud nedosáhnete požadovaného efektu. Použitím teplé vody (cca 70°C) výrazně zvýšíte celkový účinek produktu. Po aplikaci nechte dobře uschnout.

Odmašťovací aplikace na zkorodované povrchy:

Aplikace natíráním:

Zkorodovaný povrch očistěte drátěným kartáčem od volné rzi. Pokud je povrch zamaštěn, dobře jej umyjte produktem AQUA C 316 zředěným v poměru 1:3 s teplou vodou a uvolněnou masnotu setřete mikrovláknem. Poté naneste štětcem nebo válečkem znovu produkt AQUA C 316 zředěný v poměru 1:5-10 s teplou či studenou vodou dle stupně koroze. Po nanesení nechte dobře uschnout. Na zkorodovaných plochách se po zaschnutí musí vytvořit bílý film. V opačném případě zvyšte koncentraci. Na nezkorodovaných plochách se bílý film nevytvoří.

Aplikace nízkotlakým stříkáním:

Povrch musí být odmaštěn a očištěn od volné rzi. Produkt zředěný v poměru 1:5-10 (dle stupně koroze) s teplou nebo studenou vodou nalijte do postřikovače a rovnoměrně aplikujte na celý povrch. Nechte dobře uschnout. Na zkorodovaných plochách se po zaschnutí musí vytvořit bílý film. V opačném případě zvyšte koncentraci. Na nezkorodovaných plochách se bílý film nevytvoří.

Aplikace vysokotlakým stříkáním (nejvhodnější a nejvýhodnější aplikace):

Produkt použijte v koncentrované podobě. Lze použít vysokotlaké zařízení s ohřevem nebo bez ohřevu vody. Jedním úkonem odmaštíte a zároveň pasivujete zkorodovaný povrch. Použitím teplé vody cca 70°C výrazně zvýšíte odmašťující i pasivační účinek produktu. Správné ředění nastavte na vysokotlakém zařízení tak, aby se po zaschnutí na zkorodovaných plochách vytvořil bílý film. V opačném případě zvyšte množství přisávaného produktu, dokud nedosáhnete požadovaného efektu. Po aplikaci nechte dobře uschnout. Na nezkorodovaných plochách se bílý film nevytvoří.

Aplikace ponorem:

Touto aplikací dosáhnete odmaštění i pasivace jedním úkonem. Zkorodované díly ponořte do roztoku produktu AQUA C 316 zředěného v poměru 1:5 s teplou vodou a nechte působit cca 15 minut. Použitím teplé vody cca 70-80°C VÝRAZNĚ ZVÝŠÍTE ODMAŠŤUJÍCÍ I PASIVAČNÍ účinek produktu. Po zaschnutí se na zkorodovaných plochách musí vytvořit bílý film. V opačném případě zvyšte koncentraci přípravku, dokud nedosáhnete požadovaného efektu. Po aplikaci nechte dobře uschnout. Na nezkorodovaných plochách se bílý film nevytvoří.

HF SERVIS s.r.o., PLEŠNICE 25, Tel. +420 377 279 255

E-mail: hfservis@hfservis.cz, www.hfservis.cz

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

PŘÍLOHA Č. 2

Technický list produktu IMPASOL HCA-C

Autorka práce: Bc. Sabina Štěřbová

Vedoucí práce: Ing. Jan Kubát, Ph.D.

Plzeň 2023

IMPASOL[®] HCA-C

**ODMAŠŤOVACÍ, ODREZOVACÍ A PASIVAČNÍ KAPALINA
NAHRAZUJE BENZÍNY, ACETONY A ŘEDIDLA
ODMAŠŤUJE A ZÁROVEŇ PASIVUJE ZKORODOVANÉ POVRCHY
CHEMICKY ZASTAVÍ KOROZI A PŘED KOROZÍ CHRÁNÍ
VÝRAZNĚ PRODLUŽUJE ŽIVOTNOST BAREV
UPRAVUJE ČERSTVĚ POZINKOVANÉ POVRCHY PRO OKAMŽITÉ
NANÁŠENÍ BAREV BEZ PRIMERU
ODSTRAŇUJE ZNEČIŠTĚNÍ, OLEJE A MAZIVA
SPECIÁLNĚ PRO PŘÍPRAVU POVRCHU PŘED DALŠÍ APLIKACÍ
ABSOLUTNĚ BEZPEČNÝ, NEHOŘLAVÝ**

IMPASOL[®] HCA-C je specificky vyvinut technologií IMPASOL jako **ABSOLUTNĚ BEZPEČNÝ ODMAŠŤOVAČ**. Nahrazuje nebezpečná, **HOŘLAVÁ**, dráždivá, toxická a karcinogenní ředidla a odmašťovače. Náhrada za odmašťovače jako je technický benzín, líh (isopropyl alkohol), aceton, ředidla a žíravé vodou ředitelné detergenty. Odmašťuje znečištěné povrchy minerálními, rostlinnými a živočišnými mazivy, oleji, některými konzervačními oleji, vosky. Odstraňuje další těžce odstranitelné nečistoty před další povrchovou úpravou a finálním čištěním.

IMPASOL[®] HCA-C řeší pracovní, toxikologické a enviromentální problémy. Jeho používáním se vyhnete jedovatým, nebezpečným a hořlavým ředidlům.

IMPASOL[®] HCA-C je bezezbytkový odmašťovač s vysokou odmašťovací silou, s optimálním odpařováním (10-15min.) a výrazným zlepšením přilnavosti k povrchu. Vyznačuje se unikátním povrchovým napětím.

IMPASOL[®] HCA-C JE VELMI DOBRĚ BIOLOGICKY ODBOURATELNÝ PRODUKT.

NEHOŘLAVÝ

Extrémní odstraňovací síla

Ideální rychlost odpařování

Unikátní povrchové napětí

Bez agresivního zápachu

Bezezbytkový odmašťovač

Slučitelný s většinou plastů a elastomerů

Antikorozivní - pasivační

Bez jedovatých, karcinogenních a toxických látek

IMPASOL[®] HCA-C NEMÁ ŽÁDNÝ CLP SYMBOL!!!

Neohrožuje zdraví vdechováním nebezpečných látek, nedráždí kůži.
Neohrožuje přírodu a zajišťuje absolutně bezpečné pracovní prostředí.



Rozpouštěcí síla: S KB indexem 110 znamenitě rozpouští většinu olejů a maziv.

Hořlavost: Má bod vzplanutí v uzavřené nádobě 63°C podle ISO 2719. Je ideální tam, kde hrozí vznícení při vysokých teplotách a kde by požár způsobil ohromné škody.

Zápach: Je bez agresivního zápachu, má mírnou citrusovou vůni. Nemá žádný štiplavý a dráždivý zápach jako chlorovaná rozpouštědla. **IMPASOL® HCA-C** výrazně zlepšuje ergonomické podmínky ve stísněných a nevětraných prostorech.

Odpařovací rychlost: Rychlost odpařování je prakticky identická jako je rychlost odpařování xylenu. Při pokojové teplotě se odpařuje méně a ztráta způsobená odpařováním je minimální.

Ředidlo	Rychlost odpařování	Rozpouštěcí síla	Zápach	Bod vzplanutí	Škodlivost
IMPASOL® HCA-C	10-15 min	+++	Citrusová vůně	63°C	NEMÁ
Technický benzín	7 min	+++	Extra vysoký	- 11°C	H225, H304, H315, H336, H361, H411 karcinogenní
Aceton	50 sec	+++	Extra vysoký	- 18°C	H 225, 319, 336, EUH 066
MEK, BUTANON	1 min 20	++	Extra vysoký	-9°C	H 225, 319, 336, EUH 066
Toluen	4 min	+++	Extra vysoký	4°C	H 225, 304, 315, 336, 361d, 373 karcinogenní
Xylen	10 min	++	Vysoký	24°C	H 226, 312, 315, 332,
Perchlorethylen	8-10 min	+++	Vysoký	NEMÁ	Karcinogenní H 351, 411 toxický

Kompatibilita: Má nízké povrchové napětí (méně než 27 dynů/cm). Má extrémně dobrou povrchovou smáčivost. Tato vlastnost společně s vysokou odmašťovací schopností činí tento produkt velmi dobře ekonomicky využitelným.

Odmašťování: Je to vynikající rozpouštědlo na čisté nebo emulzní oleje, ať už minerální nebo syntetické, které se používají na mazání nebo úpravu kovů. Je ideální na odstranění maziv a tuků. Rychle odstraňuje olejové nebo voskové ochranné produkty používané pro dočasnou ochranu. Je vhodný zejména pro povrchy připravené na lakování nebo barvení.

Čištění: Nahrazuje nebezpečné acetony a benzíny při mnoha čistících aplikacích. Díky své síle je znamenitý pro odstranění vodní rzi a oxidových povlaků. Používá se pro čištění všech povrchů od organických nebo anorganických znečištění před montáží, skladováním, povrchovým zpracováním chemickým nebo elektrochemickým, před lepením nebo barvením, před chemickou nebo elektrochemickou povrchovou úpravou.

IMPASOL® HCA-C je kapalina obsahující organické složky k vázání rzi tak, že zastavuje korozi a současně odmašťuje a vytváří ochranný PRIMER povlak. Čerstvě pozinkované povrchy ošetřené tímto produktem je možné bez použití dalšího primeru natírat. Ochranný povlak silně zesiluje obranyschopnost ostatních kovů /železo, litina/ vůči následné korozi. Možno používat pro vnitřní i venkovní účely.

Aplikace dle typu použití:

- Odmašťovací aplikace s fosfátovým účinkem pro nezkorodované povrchy.

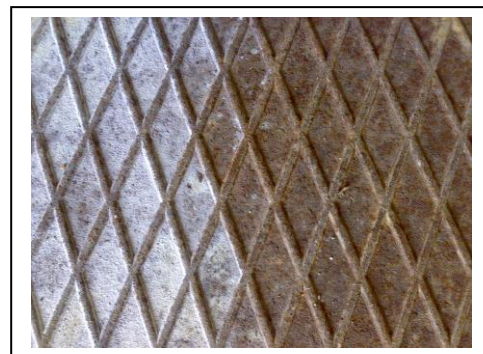
- + Aplikace natíráním
- + Aplikace nízkotlakým stříkáním

- Aplikace na čerstvě pozinkované plochy

- + Aplikace natíráním
- + Aplikace nízkotlakým stříkáním

- Odmašťovací aplikace na zkorodované povrchy

- + Aplikace natíráním
- + Aplikace nízkotlakým stříkáním
- + Aplikace ponorem



Použití IMPASOL® HCA-C:

● STROJÍRENSTVÍ

Odmašťování a čištění povrchů před další povrchovou úpravou (barvení, lakování, smaltování, potahování plastem, atd.)

● PŘÍPRAVA POVRCHŮ PŘED BARVENÍM A NÁSLEDNOU POVRCHOVOU ÚPRAVOU

Může být používán pro přípravu povrchů z kovů, plastů a elastomerů

Ideální k odstranění organických a anorganických stop před dalším zpracováním

Zaručuje bezzbytkové vyčištění povrchu před dalším zpracováním

Výrazně zvyšuje adhezi povrch

Odmašťovací aplikace s fosfatizačním účinkem na povrchu pro nezkorodované povrchy.

ODMAŠŤOVACÍ APLIKACE NATÍRÁNÍM:

Přípravek použijte neředěný. Aplikujte buď natíráním štětcem nebo válečkem, uvolněnou nečistotu poté setřete. Poté produkt naneste znovu a nechte dobře uschnout.

ODMAŠŤOVACÍ APLIKACE NÍZKOTLAKÝM STŘÍKÁNÍM:

Přípravek použijte neředěný nebo v max. poměru 1:1 s teplou vodou a nalijte do postřikovače. Rovnoměrně aplikujte na celý znečištěný povrch, dokud se povrch neodmastí. Uvolněné nečistoty setřete. Poté produkt naneste znovu a nechte dobře uschnout.

APLIKACE NATÍRÁNÍM NA ČERSTVĚ POZINKOVANÉ PLOCHY:

Přípravek použijte v koncentrované formě nebo zředěný 1:1 s teplou vodou. Aplikovat lze buď natíráním štětcem nebo válečkem. Pokud potřebujete povrch zároveň odmastit, je nutno použít dostatečné množství přípravku a uvolněnou nečistotu setřít hadrem. Poté produkt naneste znovu a nechte dobře uschnout. Po zaschnutí se na lesklých plochách pozinkované vrstvy vytvoří matný povrch.

APLIKACE NÍZKOTLAKÝM STŘÍKÁNÍM NA ČERSTVĚ POZINKOVANÉ PLOCHY:

Povrch by měl být již odmaštěn! Koncentrovaný nebo zředěný přípravek 1:1 s teplou vodou nalijte do postřikovače a rovnoměrně aplikujte na celý povrch. Při této aplikaci působí přípravek pouze jako PRIMER. Nechte dobře uschnout. Po zaschnutí se na lesklých plochách pozinkované vrstvy vytvoří matný povrch. Pokud se vytvoří povlak, je nutné ho odstranit!!!

APLIKACE NATÍRÁNÍM NA ZKORODOVANÉ PLOCHY:

Zkorodovaný povrch očistěte drátěným kartáčem od volné rzi. Pokud je povrch zamaštěn, pečlivě jej umyjte produktem **HCA-C**, neředěným nebo zředěným 1:1 s teplou vodou a uvolněnou mastnotu setřete. Poté naneste štětcem nebo válečkem znovu produkt **HCA-C**, zředěný 1:1 s teplou vodou dle stupně koroze. Po nanesení nechte dobře uschnout. Na zkorodovaných plochách se po zaschnutí musí vytvořit bílý film. V opačném případě zvýšte koncentraci. **Před další povrchovou aplikací se musí bílý film odstranit!**

APLIKACE NÍZKOTLAKÝM STŘÍKÁNÍM NA ZKORODOVANÉ PLOCHY:

Povrch musí být očištěn od volné rzi a odmaštěn produktem **HCA-C**, neředěným nebo zředěným 1:1 s teplou vodou. **HCA-C** zředěný 1:1 s teplou vodou (dle stupně koroze) nalijte do postřikovače a rovnoměrně aplikujte na celý povrch. Nechte dobře uschnout. Na zkorodovaných plochách se po zaschnutí musí vytvořit bílý film. (Na nezkorodovaných plochách se bílý film nevytvoří). V opačném případě zvyšte koncentraci. **Před další povrchovou aplikací se musí bílý film odstranit!**

APLIKACE PONOREM:

Touto aplikací dosáhnete odmaštění i pasivace jedním úkonem. Zkorodované díly ponořte do roztoku produktu **HCA-C**, zředěného vodou 1:1 a nechte působit cca 15-25 minut. Použitím teplé vody cca 70°C **VÝRAZNĚ ZVÝŠÍTE ODMAŠŤUJÍCÍ I PASIVAČNÍ účinek produktu.** Po aplikaci nechte dobře uschnout. Po zaschnutí se na zkorodovaných plochách musí vytvořit bílý film. (Na nezkorodovaných plochách se bílý film nevytvoří). V opačném případě zvyšte koncentraci. **Před další povrchovou aplikací se musí bílý film odstranit!**

Spotřeba a ředění záleží na členitosti povrchu a množství postřiku u aplikací stříkáním.

IMPASOL® HCA-C se aplikuje mikrovláknem, štětcem, máčením, vyplachováním, v nádrži, stříkáním (postřikem), ponorem (a to s mícháním). Doba čištění povrchů závisí na charakteru nánosu, který je potřebné odstranit a na jeho tloušťce.

Používání **IMPASOL® HCA-C** nevyžaduje žádnou následnou investici do nákladné mycí linky, bezpečnostních opatření, speciálních skladů hořlavin a žiravin, atd.

CHARAKTERISTIKA	NORMA	HODNOTA	JEDNOTKA
Barva	Interne CQ 016	Průhledná	
Ředitelnost vodou		ANO	
Index KB, schopnost rozpouštědla	ASTM D 1133	110	[bonitace]
Hustota při 25°C	EN ISO 12 185	952	kg/m ³
Bod vznícení v uzavřené nádobě	ISO 2719	63	°C
Bod hoření		Více jak 83	°C
Bod tuhnutí	ASTM D 97	-20	°C
Povrchové napětí při 20°C	ISO 6295	27	Dynes/cm
Viskozita při 25°C	ASTM D 445	0,916	mm ² /s
Rychlost odpařování	NF T 30 301	10-15	minut

BALENÍ: 5, 20, 200 a 1000 litrů

HF SERVIS s.r.o., Plešnice 25, 330 33 Město Touškov, Tel.: 377 279 255, hfservis@hfservis.cz

www.impasol.com