

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

FILIP ŠIMŮNEK



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

Povrchové úpravy patinujících ocelí

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Filip Šimůnek

VEDOUcí PRÁCE: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

STUDIJNÍ PROGRAM: B 2343 Výroba a ekonomika ve strojírenství

STUDIJNÍ OBOR: 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šimůnek** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **501480**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Povrchové úpravy patinujících ocelí

Název bakalářské práce anglicky:

Surface treatments of patinating steels

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor sledované problematiky
2. Technologický postup renovace konstrukcí z patinujících ocelí
3. Ověření korozní odolnosti sledovaných ocelí typů Corten

Seznam doporučené literatury:

1. Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací kapitola 19 - TKP 19B
2. Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí - S5/4

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc. ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **26.04.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **11.08.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2023**

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis díkarský(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Viktora Kreibicha, CSc., a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Práce by nevznikla bez ochoty mnohých lidí, které si nesmírně vážím. Rád bych tedy poděkoval:

- vedoucímu své bakalářské práce, panu doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc., za všechny poskytnuté konzultace, trpělivost a konstruktivní připomínky k práci,
- konzultantovi své bakalářské práce, panu Ing. Jiřímu Kuchaři, Ph.D., za pomoc se zpracováním praktické části, uvedení do problematiky korozních zkoušek a vyhodnocování kvality nátěrových hmot i ochotnou pomoc s nesnázeami během experimentu,
- všem zaměstnancům firmy Mertl s.r.o., kteří pomohli se získáním vzorků pro uskutečnění praktické části,
- panu Zdeňku Jonákovi za provedení tryskání vzorků ultravysokotlakou vodou zařízením firmy WOMA,
- panu Václavu Štorkovi a firmě Spectrum Franěk, s.r.o. za realizaci nátěrového systému na vzorky a možnost se celého procesu účastnit
- a v neposlední řadě celé své rodině za zázemí a podporu během studia.

Anotace

Tato bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V první části je věnována pozornost teoretickému popisu korozních dějů a ochrany před korozí, následně jsou shrnuty poznatky o patinujících ocelích a podmínky, které jsou vyžadovány pro jejich využití. V praktické části jsou provedeny dva experimenty, a to ověření korozního chování v různých prostředích a ověření technologického postupu renovace patinujících ocelí nátěrovými hmotami.

Název diplomové práce:	Povrchové úpravy patinujících ocelí
Autor práce:	Filip Šimůnek
Vedoucí práce:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
Konzultant:	Ing. Jiří Kuchař, Ph.D.
Akademický rok:	2022/2023
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Rozsah práce:	79 stránek, 18 tabulek, 65 obrázků
Klíčová slova:	patinující ocel, povrchové úpravy, korozní zkoušky, odtrhové zkoušky, renovace mostních konstrukcí

Annotation

This bachelor thesis is divided into two parts. The first part consists of theoretical information about corrosion and anti-corrosion treatment and the summary of knowledge about patinating steels, followed by information about conditions which are necessary while using these types of steel. The other part contains report of corrosion testing of Corten steel and realization of anti-corrosion treatment of this steel with coating.

Title of the final thesis:	Surface Treatments of Patinating Steels
Author:	Filip Šimůnek
Supervisor:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
Consultant:	Ing. Jiří Kuchař, Ph.D.
Academic year:	2022/2023
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Extent:	79 pages, 18 tables, 65 pictures
Keywords:	patinating steel, surface treatments, corrosion testing, pull-off testing, renovation of the bridge constructions

Obsah

1. ÚVOD.....	11
2. OCEL A JEJÍ VÝROBA	12
2.1 Výroba surového železa.....	12
2.1.1 Výroba železa v České republice	13
2.2 Výroba oceli	13
2.2.1 Bessemerův konvertor.....	13
2.2.2 Siemens-Martinská pec.....	14
2.2.3 Thomasův konvertor.....	14
2.2.4 Elektrická oblouková pec	14
2.2.5 Kyslíkový konvertor	14
3. KOROZE	15
3.1 Rozlišení dle reakce s prostředím	15
3.1.1 Chemická koroze	15
3.1.2 Elektrochemická koroze.....	16
3.2 Rozlišení dle pravidelnosti napadení.....	17
3.2.1 Nerovnoměrná koroze	17
3.2.2 Rovnoměrná koroze	17
3.3 Blesková koroze.....	17
3.4 Stanovení korozní agresivity prostředí.....	17
3.5 Faktory zvyšující korozní agresivitu.....	18
3.5.1 Vlhkost	18
3.5.2 Chemické znečištění	20
3.6 Korozní zkoušky.....	20
4. OCHRANA PROTI KOROZI	21

4.1 Elektrochemická ochrana	21
4.1.1 Katodická ochrana	21
4.1.2 Anodická ochrana	22
4.2 Bariérová ochrana	22
4.2.1 Ochrana nátěrovými hmotami	22
4.2.2 Ochrana práškovými plasty	23
4.2.3 Ochrana pokovením	24
4.3 Ochrana užitím korozivzdorné korozi	24
4.3.1 Austenitické korozivzdorné oceli	24
4.3.2 Feritické korozivzdorné oceli	25
4.3.3 Martenzitické korozivzdorné oceli	25
4.4 Ochrana užitím patinující oceli	25
5. PATINUJÍCÍ OCELI	26
5.1 Chemické složení patinujících ocelí	26
5.2 Požadované podmínky pro použití patinující oceli	27
5.2.1 Přípustná prostředí	27
5.2.2 Konstrukční řešení	28
5.3 Korozní vlastnosti patinujících ocelí	33
5.3.1 Směrné korozní úbytky	33
5.4 Metody hodnocení ochranné vrstvy	33
5.4.1 Klasifikace dle složení	33
5.4.2 Klasifikace dle vzhledu ochranné patiny	35
5.5 Mechanické vlastnosti patinujících ocelí	38
5.6 Technologický postup renovace konstrukcí z patinujících ocelí	38
5.6.1 Čištění vysokotlakou vodou	38
5.6.2 Suché tryskání	39

5.6.3 Nanášení nátěrové hmoty	39
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
6.1 Cíle	42
6.2 Zkoumané vzorky	42
6.2 Ověření korozní odolnosti sledovaných vzorků	43
6.3 Výsledky a diskuse ověřování korozní odolnosti	55
6.4 Ověření technologického postupu renovace patinujících ocelí	55
6.5 Výsledky a diskuse ověření technologického postupu renovace	69
7. ZÁVĚR	71
Bibliografie.....	72
Seznam tabulek.....	76
Seznam obrázků	77
Přílohy	79

1. ÚVOD

Člověk od pradávna hledal materiál, ze kterého by mohl budovat svá obydlí a další stavby tak, aby byly co nejtrvanlivější a nejlevnější. Nejpoužívanějším konstrukčním kovem se postupem času stala ocel. Může za to především její houževnatost a pevnost, ale i všudypřítomnost železných rud, a tedy přijatelná cena ocelových a litinových výrobků.

Výraznou nevýhodou použití těchto materiálů je jejich mimořádná náchylnost ke korozi. V případě nedostatečné protikorozní ochrany existuje reálné riziko poškození povrchů, případně i zhroucení celé konstrukce. Opomenutí pozornosti vůči tomuto jevu může vyústit ve značnou materiální ztrátu i újmu na lidském zdraví. Je tedy potřebné neustále zdokonalovat technologie předúprav i úprav povrchu. Tomuto problému může předcházet i konstruktér vhodným navrhováním součástí pracujících za zhoršených korozních podmínek, případně i technolog, vyvíjící stále nové materiály odolné proti různým druhům koroze.

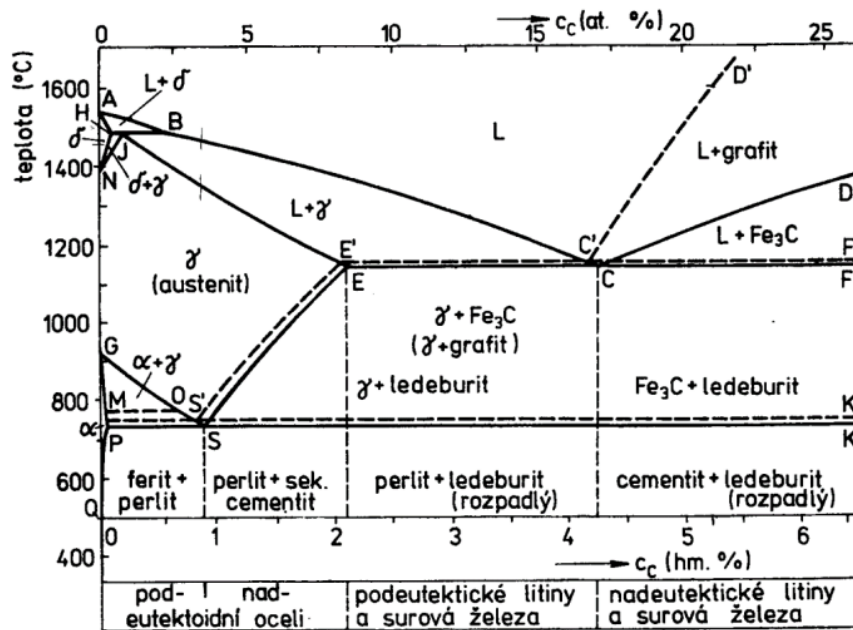
Správná volba vlastností navrhované součásti nebo konstrukce se zúročí nejen sníženou náročností údržby, ale také v konečném důsledku kladně ovlivní ekonomičnost celého projektu. Stejně myšlenky podněcovaly i americké inženýry, kteří v třicátých letech minulého století vyvinuli speciální typ povětrnostně odolné oceli zvané Corten. Motivací bylo zjištění, že ocel vyráběná z vráceného šrotu má vyšší korozní odolnost než ocel vyrobená ze surového železa. Protože nebylo metalurgicky možné ze šrotu odstranit měď, ta se následně dostávala ve stopových množstvích do přetavené oceli, kde přispívala k menším korozním rychlostem. Patinující oceli se tak rychle staly žádanými. Obdobnou ocel vyvinuli i českoslovenští inženýři v sedmdesátých letech pod obchodním názvem Atmofix.

Tyto oceli několik prvních let korodují podobně jako uhlíkové oceli, po této době ale úhrnné roční korozní úbytky postupně klesají. Je to díky vrstvě dobře přilnavých korozních produktů, které vytvoří ochrannou vrstvu, tzv. patinu, která zpomaluje další korozní děje. Aby ale tato vrstva měla správné vlastnosti, je třeba zajistit správné podmínky pro její vznik. Těmto specifikům se věnuje teoretická část práce, ověřeny jsou v části praktické.

Patinující oceli našly široké uplatnění při výrobě konstrukcí vystavených náročným povětrnostním vlivům, od stožárů vysokého napětí po mosty. Postupně vznikající patina má nejen ochranné účinky, ale je velmi architektonicky atraktivní. Obvykle není třeba další ochrany povrchu, což snižuje náklady na údržbu pravidelnými nátěry. Povrchové úpravy však hrají důležitou roli v případě určitých nepříznivých vlastností korozního prostředí či při nepříznivě se vyvíjející ochranné patině. [1] [2]

2. OCEL A JEJÍ VÝROBA

Ocel je z chemického hlediska slitina především železa, uhlíku a dalších, přirozeně se vyskytujících prvků, jako je křemík, mangan, fosfor a další. Krystalizují podle metastabilního rovnovážného diagramu $Fe - Fe_3C$. Obecně se udává maximální přípustný obsah uhlíku na 2,11 %, nad tento obsah se jedná o litinu. Ocel může obsahovat další, tzv. legující prvky, které jsou do vsázky přidávány cíleně a zlepšují vlastnosti finálního materiálu. Patří mezi ně hlavně chrom, nikl, wolfram či molybden. [3]
[4]



Obrázek 1 - metastabilní rovnovážný diagram $Fe - Fe_3C$ [5]

2.1 Výroba surového železa

Proces výroby oceli začíná výrobou železa ve vysokých pecích, kde probíhá redukce rudné vsázky pomocí hořícího koksu a dalších příměsí, například vápence. Vysokou teplotu zajišťující správný průběh redukce udržuje skupina tzv. cowperů (podle konstruktéra E.A Cowpera), tedy ohřivačů, ve kterých dochází ke spalování plynu. Tím je obvykle tzv. vysokopecní plyn, který vzniká jako odpad ve vysoké peci a před opětovným použitím v ohřivači vzduchu je veden do plynojemu. Horký vzduch je z ohřivačů následně dmýchán do spodní části pece. Proces je ukončen odpichem surového železa. To se nachází jako těžší složka při dnu pece, nad ním plave lehčí struska, kterou je nutno oddělovat, protože obsahuje nežádoucí nečistoty. Strusku lze po zchlazení využít k výrobě štěrku či cementu. Rovněž se jedná o levné i dostupné tryskací médium. [6]



Obrázek 2 - vysoká pec s trojicí cowperů

2.1.1 Výroba železa v České republice

Těžba a zpracování železné rudy má v českých zemích dlouhou tradici a v minulém století patřila k pilířům našeho průmyslu. Kromě několika rudných dolů byla vybudována v Čechách, na Moravě i ve Slezsku rozsáhlá síť hutí. Namátkou jde například o dodnes fungující Třinecké železářny či ostravské ArcelorMittal. V Čechách patřily v minulosti k velkým producentům surového železa Králův Dvůr a Kladno. [6]

2.2 Výroba oceli

Surové železo obsahuje přibližně 3-4 % uhlíku a další nežádoucí prvky (například síru). Je tedy velmi křehké a pro použití v konstrukci je prakticky nepoužitelné. Provádí se proto další zpracování, jehož výsledkem je vznik oceli. Tímto procesem se upraví chemické složení směsi, a to odstraněním především uhlíku tak, aby ho výsledná struktura obsahovala nejvýše 2,11 %. Výsledný materiál je díky tomu pevný, ale zároveň dostatečně houževnatý. Historicky bylo užíváno několika druhů zařízení k výrobě oceli. [3]

2.2.1 Bessemerův konvertor

Tento typ konvertoru byl vynalezen v roce 1855 a jednalo se o významný milník ve výrobě oceli. Byl to první způsob, kterým byla vyráběna tzv. plávkově, tj. v tekutém stavu. Ze spodní části konvertoru byl do předem roztavené vsázky dmýchán vzduch, který zajišťoval oxidaci. Výhodou plávkového zpracování byl také vznik strusky, která má menší hustotu a plave tedy u povrchu taveniny, odkud ji

Ize jednoduše odloučit. Konvertor měl ale zásadní nedostatek, byl totiž vhodný jen pro zpracování surového železa s přirozeně nízkým obsahem fosforu, a to kvůli své kyselé vyzdívce. [7]

2.2.2 Siemens-Martinská pec

Tento vynález sira Karla Wilhelma Siemense z roku 1864 představoval snahu o zdokonalení objevu svého předchůdce Henryho Bessemera. Umožňoval výrobu oceli ze ztuhlé vsázky a dal se v něm využít kromě surového železa i ocelový odpad. Teplo potřebné k roztavení bylo dodáváno spalováním plynu. Horké spaliny byly uchovávány v tzv. regeneračních komorách. [7]

2.2.3 Thomasův konvertor

Zdokonalení původní vize Bessemerova konvertoru z 1879 odstranilo problém s použitím železa s vysokým obsahem fosforu. Dosaženo toho bylo změnou vyzdívky z kyselé na bazickou. Jestliže v původní Bessemerově variantě byl fosfor nežádoucí, zde se naopak stal klíčovým prvkem pro správný průběh reakce – díky jeho spalování byla v konvertoru udržována správná teplota. [7]

2.2.4 Elektrická oblouková pec

Oblouková pec byla vynalezena v roce 1902. Vsázka je v ní tavena pomocí elektrického oblouku, který hoří mezi třemi grafitovými či uhlíkovými elektrodami a samotnou vsázkou, teploty oblouku dosahují i 4000 °C. Napětí ze sítě 22 kV je pro potřeby zařízení transformováno na 60-300 V dle velikosti pece. Při výrobě oceli probíhá v prvním procesu k odfosfoření, ve druhé k oxidaci uhlíku. Dnes je tato pec používána hlavně k tavbě ocelového odpadu. Pokud už je užita k výrobě oceli, pak většinou na surovo. To znamená, že další kroky, jako dolegování a rafinace, jsou řešeny v rámci tzv. mimopecní metalurgie v jiném zařízení. [3] [7]

2.2.5 Kyslíkový konvertor

Tento typ konvertoru byl vynalezen až v roce 1952 a jedná se v současnosti o nejužívanější řešení výroby především středně a nízkouhlíkových ocelí. Princip spočívá v dmýchání kyslíku do kovové lázně. Podobný postup byl užíván dlouho před představením kyslíkového konvertoru, ale do vsázky byl místo čistého kyslíku dmýchán vzduch. Místo styku proudu kyslíku s kovem se nazývá reakční zóna a teplota v něm dosahuje až 2500 °C. V průběhu tohoto procesu, který trvá přibližně 16-18 minut, je oxidací postupně snížen obsah uhlíku, síry, křemíku a fosforu. [3] [7]

3. KOROZE

V přírodě se železná ruda nachází v rovnovážném stavu, má nejvýhodnější, tedy minimální, hladinu vnitřní energie. Vlivem redukčního zpracování popsanému v kapitole 2 dojde k jejímu navýšení, materiál se dostává do nerovnovážného stavu, směřuje tedy oxidací do stavu s co nejnižší volnou entalpií. Tento děj je všeobecně známý jako koroze a postihuje všechny kovové materiály. Koroze je samovolně probíhající nevratný proces narušování a znehodnocování materiálu chemickými, případně fyzikálně chemickými vlivy prostředí. Korozní produkty kovových materiálů bývají složením i vzhledem velmi podobné jejich výchozí surovině, tj. rudě, proto se někdy koroze označuje jako „metalurgie obráceně“. V určité podobě ale kromě kovů napadá i jiné materiály.

Aby materiál korodoval, jsou nutné specifické podmínky, které jsou ale ve strojírenské praxi naneštěstí velmi časté (vysoká relativní vlhkost, chemická agresivita prostředí, případně vysoké teploty). Existují však situace, kdy je korozní rychlost oceli prakticky nulová, například v suché atmosféře bez podmínek nutných pro průběh elektrochemické koroze. Existuje několik skupin korozního napadení, které budou popsány v následující kapitole. [8] [9] [10]

3.1 Rozlišení dle reakce s prostředím

3.1.1 Chemická koroze

Tento typ koroze vzniká nejčastěji v plynných prostředích s vysokou teplotou, nutnou podmínkou je také absence jakéhokoliv elektrolytu. Materiál poté chemicky reaguje, na povrchu vzniká vrstva korozních produktů. V praxi je nejčastěji chemická koroze pozorovatelná při tepelném zpracování ocelí za vyšších teplot, na povrchu poté vznikají tzv. okuje. [11]

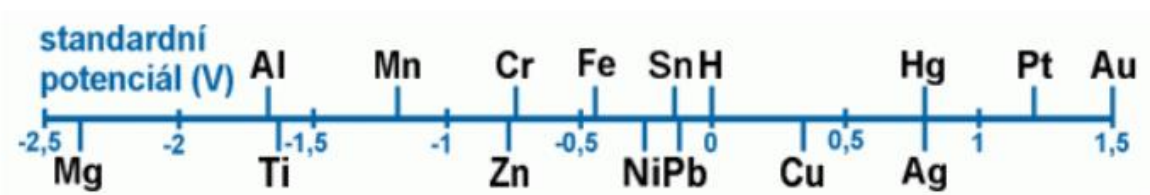


Obrázek 3 - tvorba okují na polotovaru zpracovaném za tepla [12]

3.1.2 Elektrochemická koroze

Podmínkou vzniku elektrochemické koroze je přítomnost elektrolytu. Nejběžnějším v přírodě je voda. Ta se sice v destilovaném stavu chová jako izolant, běžně ale tvoří roztok se solemi a dalšími sloučeninami, čímž se stává vodivou.

Tento korozní proces funguje na principu galvanického článku. Jedním z rozhodujících vlivů na podobu a rozsah koroze je pozice zkoumaného kovu v tzv. elektrochemické řadě napětí kovů, známé hlavně ve starší literatuře pod názvem Beketovova řada kovů. Jedná se o seřazení kovů podle velikosti elektrochemického potenciálu od nejnižšího po nejvyšší, přičemž za prvek s potenciálem nula byl položen vodík. Kov s vyšším potenciálem, tedy ušlechtilejší, funguje jako katoda, méně ušlechtilý jako anoda. Zatímco katoda se redukuje, tedy přijímá ionty, anoda oxiduje (ionty uvolňuje). Tento úbytek je pak příčinou hmotnostního úbytku méně ušlechtilého kovu, což zapříčiňuje už zmíněné zeslabení exponovaného kovového profilu. Díky tomuto jevu lze kovy mimo jiné chránit metalizací vhodným kovem, který bude mít nižší potenciál. Podrobněji o této možnosti pojednává kapitola 4.1. [8]



Obrázek 4 - elektrochemická řada potenciálů kovů při 25 °C [10]

3.2 Rozlišení dle pravidelnosti napadení

3.2.1 Nerovnoměrná koroze

Jedná se o nejčastější způsob napadení základního materiálu. Hloubka korozní vrstvy se v různých místech konstrukce liší, a nelze tedy potom předvídat mechanické vlastnosti navržených nosníků. Dalším rizikem je rychlost oslabení postižené oblasti, která je většinou vyšší než u koroze rovnoměrné. Tento typ koroze je rovněž nebezpečný, protože nemusí být zřetelný na povrchu. Rozlišujeme nerovnoměrnou korozi bodovou, důlkovou, štěrbinovou, selektivní, mezikrystalovou a transkrystalovou. [8] [13]

3.2.2 Rovnoměrná koroze

Tento typ koroze napadá základní materiál na celém povrchu souvisle. Je to zároveň nejlépe předvídatelný, a tedy méně nebezpečný způsob napadení, neboť je možno při znalosti parametrů korozního prostředí, jako vlhkost a složení atmosféry, spočítat hmotnostní úbytek za jednotku času. Na základě znalosti těchto údajů lze poté dimenzovat nosné konstrukce tak, aby vydržely požadovaný čas bez nebezpečí kritického zeslabení. [13]

3.3 Blesková koroze

Blesková koroze je samostatný druh koroze, která postihuje materiály především po předúpravách povrchu, typicky např. tryskání vodou. Její tvorba je okamžitá a pozorovatelná již po několika minutách po tryskání. Principem je aktivace povrchu abrazivní látkou, díky které se začne tvořit na povrchu tenká oxidická vrstva. Z tohoto důvodu se doporučuje nanést nátěr nejdéle 8 hodin po realizaci tryskání. V opačném případě je nutné zabránit korozi vhodným inhibitorem. Z velké části dokáže před bleskovou korozí chránit inhibitor koroze přímo přidaný do abraziva. Použití těchto látek s sebou však nese povinnost důkladného oplachu před aplikací nátěru. [14]

3.4 Stanovení korozní agresivity prostředí

Korozní agresivitu lze podle normy ČSN EN ISO 9223 rozdělit do pěti, potažmo šesti kategorií, značených CX. Norma dále definuje každý stupeň jednotlivě. Stručný výtah z normy představuje následující tabulka. [15]

Tabulka 1 - Dělení prostředí podle korozní agresivity [15]

Stupeň	Příklady typických prostředí v mírném klimatickém pásu	
	Venkovní	Vnitřní
C1 (velmi nízká)		Vytápěné budovy s čistou atmosférou, kanceláře, školy, obchody, hotely
C2 (nízká)	Atmosféry s nízkou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí	Nevytápěné budovy s možností kondenzace vlhkosti, sklady, sportovní haly
C3 (střední)	Městské a průmyslové atmosféry s mírným znečištěním oxidem siřičitým; přímořské prostředí s nízkou salinitou	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, výrobní potravin, prádelny, pivovary, mlékárny
C4 (vysoká)	Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s mírnou salinitou	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží
C5-I (průmysl)	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací, s vysokým znečištěním ovzduší
C5-M (velmi vysoká)	Přimořské prostředí s vysokou salinitou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací, s vysokým znečištěním

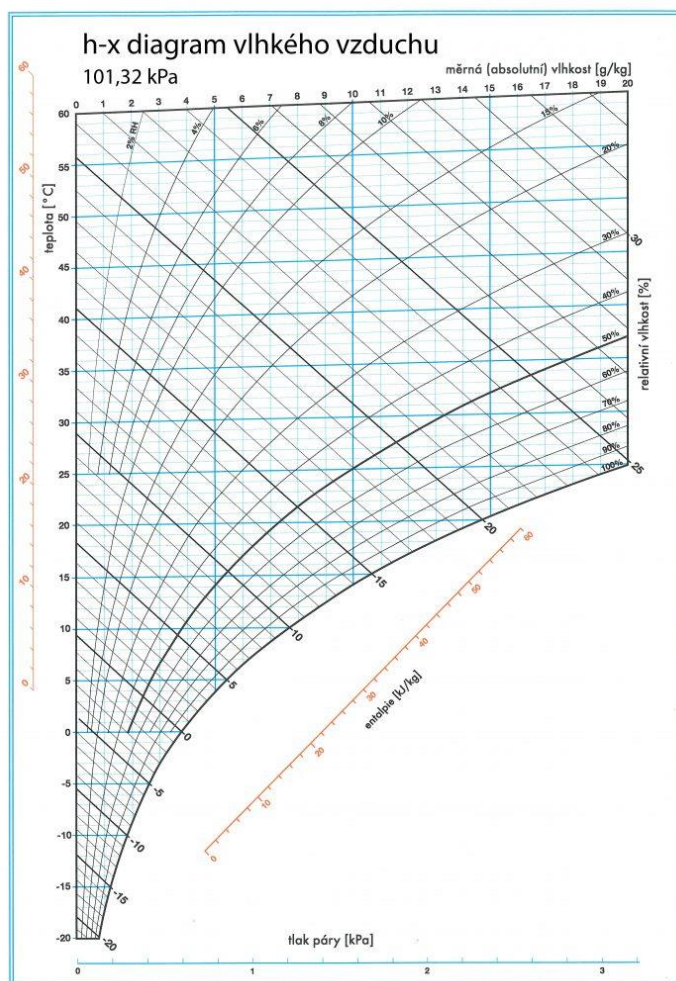
3.5 Faktory zvyšující korozní agresivitu

3.5.1 Vlhkost

Voda je díky své schopnosti vodit činitelem podporující elektrochemickou korozi. Na kovové konstrukce vystavené atmosférickým podmínkám negativně působí voda nejen v podobě deště, ale i přirozená vzdušná vlhkost.

Rosný bod

Pokud začneme vlhký vzduch izobaricky ochlazovat, absolutní vlhkost zůstává konstantní, zatímco relativní roste. Rosný bod je takový stav, při kterém dojde k jeho přesycení vodní parou, to znamená, že relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %. Výsledkem je uvolňování drobných kapek vody, tzv. kondenzace. Závislost relativní a absolutní vlhkosti a měrné entalpie na teplotě za konstantního tlaku je určena Molliérovým h-x diagramem.



Obrázek 5 - Molliérův diagram vlhkého vzduchu [16]

V praxi je tento jev pozorovatelný během rána, kdy dochází k růstu teploty vzduchu, zatímco ocelová konstrukce se ohřívá díky své tepelné kapacitě jen velice pomalu. V důsledku vede teplotní rozdíl ke kondenzaci vzdušné vlhkosti na exponovaných konstrukcích. Pro studium problematiky koroze je tento jev zásadní. Zvláště v případě velkých staveb (např. mosty) totiž nedochází na některých místech díky trvalému stínu k opětovnému vysušení a zvyšuje se doba ovlhčení, což výrazně snižuje jejich životnost. Například TP 197 uvádí, že části konstrukce orientované k severu či východu vykazují až o 50 % vyšší korozní úbytky, než orientované k jihu a západu. Negativní vliv na rychlost vysoušení má i zvýšená tloušťka profilů, ze kterých se konstrukce skládá – s vyšší hmotností roste i tepelná kapacita celé konstrukce, která po chladnější noci brání prohřátí. [2] [14] [17]

Doba ovlhčení

Doba ovlhčení je veličina, určující počet hodin během roku, kdy je relativní vlhkost vzduchu vyšší než 80 % a zároveň teplota vyšší než 0 °C. Tato veličina je předmětem normy ČSN EN ISO 9223, která podle naměřených hodin rozlišuje pět druhů prostředí. [15]

Tabulka 2 - klasifikace prostředí dle doby ovlhčení [15]

dobu ovlhčení (hod/rok)	Stupeň	Typické prostředí
$\tau \leq 10$	τ_1	Interiéry s regulovaným klimatem
$10 < \tau \leq 250$	τ_2	Interiéry s neregulovaným klimatem
$250 < \tau \leq 2500$	τ_3	Suché a chladné venkovní prostředí
$2500 < \tau \leq 5500$	τ_4	Průměrné venkovní prostředí
$5500 < \tau$	τ_5	Oblasti s extrémně vlhkým klimatem

3.5.2 Chemické znečištění

S dynamicky rostoucím průmyslem v 20. století vzrostlo i znečištění atmosféry chemickými sloučeninami, jako SO_2 , $NaCl$, CO_2 . Kromě průmyslové výroby vlivem spalování fosilních paliv se ale tyto látky dostávají do přírody i z jiných zdrojů. Příkladem je zimní údržba vozovek rozmrazovacími posypy, které se obvykle skládají z různých chloridů, například $NaCl$, $CaCl_2$ či $MgCl_2$. To může být výrazným problémem pro ocelové konstrukce silničních mostů.

Problematika posypových solí a jejich vlivu na okolí je velmi komplexní. Objem použitých chloridů během zimního období závisí především na klimatických podmínkách, které se v každé části republiky výrazně liší. Kromě místních specifik má na aplikované množství vliv i to, jestli je zima spíše chladnější, či teplejší. [14] [18]

3.6 Korozní zkoušky

Korozní zkoušky jsou důležitý způsob ověření korozní odolnosti různých materiálů. Korozí je děj poměrně dobře teoreticky popsán, nicméně v realitě působí množství činitelů, díky kterým je odhadnutí vývoje koroze velmi složité.

Nejpoužívanější je zkouška v solné mlze dle ČSN EN ISO 9227, která je oblíbená díky své jednoduchosti i poměrně nízké ceně za zkušební zařízení. Vzorky jsou uvnitř komory ovhčovány 5% roztokem $NaCl$ za teploty kolem 35 °C. Její nevýhoda je hlavně nízká reprodukovatelnost – tato korozní komora nenapodobuje reálné atmosférické podmínky a výsledky tedy značně zkresluje. Lze ale touto zkouškou určitým způsobem predikovat, jestli je určitý materiál do takto agresivního prostředí vhodný. Zkouška solnou mlhou je zástupcem tzv. urychlených zkoušek. V reálu je totiž proces koroze velmi zdlouhavý, přistupuje se proto k jeho zrychlení volbou správných podmínek uvnitř korozní komory.

Dalšími možnostmi urychlených zkoušek jsou zkoušky cyklické, které napodobují reálné korozní prostředí pravidelnými změnami vnitřní agresivity. Mezi takové zkoušky patří například zkouška oxidem siřičitým. Cyklus této zkoušky trvá 24 hodin, přičemž vzorky jsou nejčastěji exponovány po dobu 8 hodin při teplotě kolem 50 °C, relativní vlhkosti vzduchu 100 % a požadované koncentraci plynného SO_2 . Následných 16 hodin jsou vzorky ponechány okolní atmosféře. Tyto cykly se následně mohou opakovat.

Opakem urychlených zkoušek jsou zkoušky dlouhodobé, které se zpravidla odehrávají v místě, kde má navrhovaná součást či konstrukce stát. Vyznačují se vysoce relevantními daty, jejich nevýhodou je však velmi dlouhá doba trvání. [19] [20]



Obrázek 6 - komora pro cyklické korozní zkoušky [19]

4. OCHRANA PROTI KOROZI

Kvůli obrovským ztrátám způsobených korozním působením se přistupuje k ochraně ohrožených výrobků protikorozní ochranou (PKO). Tyto způsoby se liší provedením, trvanlivostí a samozřejmě cenou.

4.1 Elektrochemická ochrana

4.1.1 Katodická ochrana

Katodická i anodická ochrana funguje na principu galvanického článku. V tomto případě se korozi zabrání tak, že se na základní kov nanese povlak kovu s nižším potenciálem, než má kov základní.

Ionty se tedy při vystavení koroznímu prostředí nezačnou vylučovat z chráněného kovu, ale z kovu ochranného. Této metodě se říká též ochrana obětovanou anodou a její hlavní výhoda tkví v obnovovacích schopnostech – pokud je vrstvička kovu nepatrně poškozena, ionty ochranného kovu tuto drobnou rýhu zacelí. Typickými kovy pro katodickou ochranu jsou zinek, hořčík (především u bojlerů), případně jejich slitiny. Ochranný kov je nejčastěji nanášen galvanicky, případně žárovým pokovením. [8]



Obrázek 7 - pozinkovaný jelek [21]

4.1.2 Anodická ochrana

Ve speciálních aplikacích nalézá využití i anodická ochrana. Používá se hlavně k prevenci koroze u vysokotlakých nádob, potravinářských tanků, výměníků tepla či nádrží na kyselinu. Principem je anodická polarizace chráněného kovu pomocí zapojení vnějšího zdroje proudu tak, aby byl kov zapasivován a tudíž byl co nejméně náchylný ke korozi. [8] [22]

4.2 Bariérová ochrana

Bariérová ochrana se zpravidla realizuje nanesením vrstvy organického povlaku, který po ztvrdnutí vytvoří bariéru, chránící povrch kovu před vlivy okolní atmosféry. Při jejím poškození ale nedojde k jejímu obnovení tak, jak lze pozorovat u ochrany pokovením. Zvláště v případě aplikace nátěrové hmoty je tak nutné počítat s pravidelnými intervaly obnovy stávajícího nátěru.

4.2.1 Ochrana nátěrovými hmotami

Ochrana nátěrovým systémem patří k nejjednodušší proveditelným a zároveň nejlevnějším formám protikorozní ochrany. Tyto hmoty se zpravidla skládají ze čtyř složek: pojiva, pevných látek, těkavých látek a aditiv.

Pojiva

Pojiva tvoří matrici nátěru a dodávají hmotě kohezi a mechanické vlastnosti. Taktéž umožňují přilnutí nátěrové hmoty k podkladu. Jako pojiva se používají vysychavé oleje (lněný, tungový), přírodní pryskyřice (kalafuna, šelak), deriváty celulózy (nitrocelulóza, acetylcelulóza), deriváty kaučuku (chlorovaný nebo cyklizovaný kaučuk), syntetické pryskyřice (epoxydy, vinylové polymery) či asfalt. [23] [24]

Pevné látky

Pevné látky se nachází v nátěrových hmotách buď ve formě pigmentu, nebo plniva. Rozdíl je převážně v ceně – díky vyšší ceně pigmentů tedy většinou převažují ve složení plniva. Obě složky zastávají podobnou funkci; kromě dekorativních vlastností a zlepšení přilnavosti mohou dodávat hmotě korozní odolnost. Této vlastnosti lze dosáhnout užitím tzv. inhibičních pigmentů. Ty byly v minulosti velmi oblíbeným řešením protikorozní ochrany, nicméně postupem času začaly být omezovány, hlavně kvůli vysokým obsahům toxických látek (šestimocný chrom, olovo). Existují také pigmenty bez vlivu na korozní rychlost (titanová běloba, oxid železitý) i pigmenty přímo stimulující korozní děje (saze, grafit). [23] [24]

Těkavé látky

Těkavé látky, známé také pod názvem ředidla, jsou v nátěrových hmotách přítomny kvůli zlepšení viskozity, čímž umožňují aplikaci nátěru. Po nanesení naopak svým vytěkáním zajišťují ztuhnutí. Mezi často používaná ředidla patří benzín, etylalkohol, aceton či toluen. [23] [24]

Aditiva slouží k optimalizaci vlastností nátěrové hmoty, mohou to být například UV stabilizátory, odpěňovače či matovadla. [23] [24]

4.2.2 Ochrana práškovými plasty

Práškové plasty vznikají roztavením a následným namletím směsi speciálních plastů najemno. Tato směs se následně ve formě prášku aplikuje na ošetřovaný povrch, kde díky elektrostatickým silám ulpívá. Nabíjení prášku je realizováno přivedením vysokého napětí, a tedy vytvořením potenciálu mezi aplikační pistolí a výrobkem. Častou alternativou je také nabíjení prášku pomocí tření o aplikační pistolí, tzv. tribo. Prášek však po aplikaci sám neztuhne, je nutné jej vytvrdit ve vypalovací peci při teplotě přibližně 160-200 °C po dobu 15-20 minut. Konkrétní parametry jsou voleny v závislosti na složení prášku. Tato metoda je velmi ekonomická – prášek, který ve stříkacím boxu neulpí na výrobku, je hnán podtlakem přes filtry, odkud je separován a může být využit znovu. Ztráty jsou tedy na rozdíl od

nanášení nátěrových hmot stříkáním velmi malé. Velikost povlakovaných dílů je však značně omezena. [25] [26]

4.2.3 Ochrana pokovením

Přestože nejčastěji je pokovení skloňováno v souvislosti s katodickou ochranou, je možné vytvořit ochrannou vrstvu i takového kovu, který má vyšší potenciál než kov chráněný. V takovém případě sice nefunguje katodická ochrana, lze však dosáhnout ochrany bariérové. Konkrétně u oceli se lze běžně setkat s pokovením cínem či niklem. [13]

4.3 Ochrana užitím korozivzdorné oceli

Korozivzdornou ocel lze definovat jako ocel s vysokým podílem legur, které svou přítomností přispívají k vysoké korozní odolnosti. Dominantním legujícím prvkem je zpravidla chrom, a to v koncentracích od 12 do 30 procent. Je nezbytné, aby byl jeho celkový obsah posuzován podle koncentrace v tuhém roztoku – chrom může být v oceli zastoupen i ve formě karbidů, které ale korozi nezabraňují. Ve speciálních případech, například při konstrukci nádob na kyseliny apod., se ve větší míře uplatňují i další legury, jako například nikl, titan a molybden.

Tento typ ocelí lze rozdělit do tří kategorií, které ale nejsou ostře ohraničeny; mnoho konkrétních materiálů tohoto druhu je na pomezí mezi dvěma skupinami. Takové oceli se často označují jako duplexní. [27]

4.3.1 Austenitické korozivzdorné oceli

Jedná se o nejrozšířenější kategorii korozivzdorných ocelí. Obecně obsahují velmi malý podíl uhlíku (asi 0,08 %). Při vyšším obsahu uhlíku hrozí vylučování karbidů na hranicích zrn a s tím související mezikrystalová koroze. Dále jsou tyto oceli legovány nejméně 17 % chromu a 9 % niklu, důležitým prvkem je rovněž dusík, který kromě zvýšení korozní odolnosti zlepšuje také mechanické vlastnosti.

Tyto oceli jsou v porovnání s ostatními typy korozivzdorných ocelí odolnější proti korozi, jsou lépe tvářitelné, také vynikají vysokou tažností (až 45 %). Nevýhodou je naopak vysoká teplotní roztažnost a poměrně nízká mez kluzu. [27] [28]

4.3.2 Feritické korozivzdorné oceli

Tyto oceli jsou častou alternativou k austenitickým ocelím z důvodu příznivé ceny. Obsahují mezi 12 a 30 % chromu a kolem 1 % molybdenu. V kontrastu s oceli austenitickými netrpí na transkrystalovou korozi, čehož je docíleno dolegováním titanem a niobem. [27] [28]

4.3.3 Martenzitické korozivzdorné oceli

Třetí skupinou korozivzdorných ocelí jsou oceli martenzitické s obsahem chromu do 18 % a uhlíku od 0,1 do 1,2 %. Díky svému složení jsou kalitelné, což výrazně zlepšuje výsledné mechanické vlastnosti. Tato ocel je tedy vhodná i pro náročnější aplikace, například při výrobě nožů, časté je jejich užití i v energetice například při výrobě lopatek turbín. Při tepelném zpracování, následujícím po kalení, je však nutné myslet na jejich náchylnost k popouštěcí křehkosti mezi teplotami 350-550 °C, a to zvláště při obsahu C více jak 0,2 %. [27] [28]

4.4 Ochrana užitím patinující oceli

Patinující oceli jsou zajímavou alternativou k běžně používaným typům konstrukčních ocelí. Při správném konstrukčním řešení vzniká během několika let po vystavení koroznímu prostředí ochranná vrstva, tzv. patina, která po několika letech za vhodných podmínek zpomaluje korozní rychlost. I přes vyšší pořizovací cenu mají při vhodném návrhu konstruktéra a technologa potenciál ušetřit nemalé finanční prostředky za údržbu, protože při vystavení běžné atmosféře nevyžadují ochranný nátěr ani případnou metalizaci, vyhovují v holém stavu. Z tohoto důvodu je umožněna efektivnější výroba a je snížen potřebný čas pro montáž finálního dílu. Povrchová úprava se však doporučuje v případě zvýšeného korozního namáhání. [8] [29]

5. PATINUJÍCÍ OCELI

Oceli, prodávané pod obchodním názvem Atmofix, byly v Československu vynalezeny v reakci na progresivní materiály typu Corten, vyvíjené v USA od počátku 20. století. Hlavním centrem výroby a výzkumu se staly různé hutní podniky na Ostravsku, především Vítkovické železárny, které v průběhu let vydaly množství vlastních norem popisujících chování tohoto materiálu, doporučení pro jeho aplikaci, důkladné chemické složení atp. V ČR se v minulém století vyráběly dva typy této oceli, a to Atmofix A (15 217 dle ČSN) a Atmofix B (15 127 dle ČSN).

Oceli typu Corten jsou složením velmi podobné ocelím typu Atmofix (viz kapitola 5.1). Název vznikl zkrácením označení „Corrosion Resistance – Tensile Strength,“ tedy „odolné proti korozi – pevné v tahu.“

5.1 Chemické složení patinujících ocelí

Dle norem EN 10155 a VN 73 1466 jsou definovaná chemická složení patinujících ocelí typu Atmofix, přičemž za hlavní legury jsou považovány měď, chrom a fosfor. Nedodržení těchto obsahů ze strany výrobce může vést k budoucím poruchám tvorby ochranné vrstvy, a je tedy nutné je ve výrobě dlouhodobě sledovat. [29] [30]

Tabulka 3 - Složení materiálů 15 217 a 15 127 dle ČSN [29]

Jakost oceli	15 217 (Atmofix A)										
Norma jakosti	ČSN 41 5217										
Chemické složení tavby v %	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S	Al	Nb	V
	max. 0,12	0,3-1,00	0,25-0,75	0,5-1,25	0,3-0,6	0,3-0,55	0,06-0,15	max. 0,04	min. 0,01		
Jakost oceli	15 127 (Atmofix B)										
Norma jakosti	ČSN 41 5127										
Chemické složení tavby v %	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S	Al	Nb	V
	0,1-0,17	0,9-1,2	0,2-0,45	0,4-0,8	0,3-0,6	0,3-0,55	max. 0,04	max. 0,04	min. 0,01	0,02-0,06	0,02-0,06

Tabulka 4 - složení materiálů S355J0WP a S355J2W [1]

Jakost oceli	S355J0WP (Corten A)									
Norma jakosti	EN 10025-5									
Chemické složení tavby v %	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S	Al	V
	0,09	0,35	0,3	0,48	0,27	0,28	0,081	0,005	0,037	
Jakost oceli	S355J2W (Corten B)									
Norma jakosti	EN 10025-5									
Chemické složení tavby v %	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S	Al	V
	0,19	0,8-1,25	0,3-0,65	0,4-0,65	0,4	0,25-0,4	0,04	0,05		0,02-0,1

5.2 Požadované podmínky pro použití patinující oceli

Při zamýšleném užití patinující oceli je nezbytné dodržet všechna doporučení výrobce. Stěžejní je analýza prostředí, kde má exponovaná konstrukce stát, a to především kvůli znečištění atmosféry siřičitany a chloridy. Dalším požadavkem je volba správného konstrukčního řešení, které zajistí odvod vody a zamezí ukládání prachu na povrchu konstrukce. Vodorovné části konstrukce, na kterých se zdržuje voda a nečistoty, může vykazovat až o 40 % vyšší korozní ztráty. [2] [29] [31]

5.2.1 Přípustná prostředí

Použití patinující oceli je účelné a ekonomicky výhodné především v případě neuzavřených venkovních konstrukcí, kde se naplno projeví jejich výhoda v podobě tvorby ochranné patiny. Norma přímo udává přípustné koncentrace znečištění, při kterých je tato ocel uplatnitelná. Jestli je prostředí vyhovující se u důležitých konstrukcí vyhodnocuje z přímého měření znečištění atmosféry v daném místě, a to po dobu minimálně jednoho roku.

Jako přípustné norma VN 73 1466 uvažuje atmosféry s převažujícím znečištěním SO_2 do $90 \frac{mg}{m^2.d}$ (v zahraniční literatuře je uváděna hranice $50 \frac{mg}{m^2.d}$). Pokud je koncentrace vyšší a stupeň korozní agresivity je nejvýše C4, použití je též možné, ale patina má sníženou ochrannou schopnost a zhoršené vzhledové vlastnosti.

Problematické je použití tohoto materiálu v prostředí s trvalou vlhkostí nebo v zemině a také v prostředí, kde je dominující znečišťující sloučenina jiná než SO_2 . Mohou to být například chloridy, přítomné v atmosférách přímořských prostředí, chemických provozů pracujících s chlorem, v barvárnách či skladech umělých hnojiv. Chloridy jsou také hojně užívané při zimní údržbě silnic posypovou solí. V takovýchto prostředích se použití této oceli připouští, nicméně je nutné dodržet následující zásady:

- Celkový korozní úbytek kompenzovat korozními přísadkami (viz kapitola 4.5).
- Upřednostnit vlastní měření korozní rychlosti před prostým výpočtem dle vzorce.
- Pečlivě dbát na pravidelnou kontrolu a údržbu konstrukce.
- Materiál chránit vhodnou povrchovou úpravou, například metalizací či nátěrem. V případě aplikace nátěrového systému je nutno povrch důkladně otryskat.
- Nenavrhovat životnost konstrukce vyšší jak 30 let.

[2] [29] [30] [32]

5.2.2 Konstrukční řešení

Části konstrukce vystavené působení atmosféry by měly být při zamýšleném použití patinujících ocelí navrženy tak, aby nebyly kombinovány materiály vícero jakostí. Při styku patinující a běžné uhlíkové oceli v silně korozním prostředí hrozí vznik korozních makročlanků. Důsledkem je nerovnoměrná koroze a vznik patiny, která nevyhovuje daným etalonům (viz kapitola 5.4).

Požadavky na podobu konstrukce z patinujících ocelí jsou totožné, jako při použití jiných typů ocelí. Konkrétní konstrukční zásady uvádí norma ČSN 03 8260: Ochrana ocelových konstrukcí proti atmosférické korozi. V drobně pozměněné podobě se následně objevily i v předpisu TP 197. [2] [33]

Požadavky na šroubové spoje

Pokud se na konstrukci z patinující oceli použije spojovací materiál z oceli uhlíkové, je nutné chránit spoj i jeho okolí protikorozní ochranou. V případě užití zároveň zinkovaného materiálu je také třeba zabránit štěrbinové korozi vhodně zvoleným nátěrovým systémem. Případné vzniklé spáry by měly být přetmeleny. Kde je to možné, se doporučuje nahrazení šroubového spoje svarovým, a to především kvůli užšímu sortimentu spojovacího materiálu z patinujících ocelí v Evropě. [33]



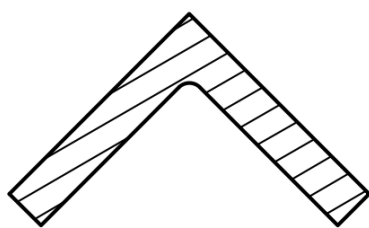
Obrázek 8 - šroubový spoj profilů z patinující oceli [1]

Požadavky na svarové spoje

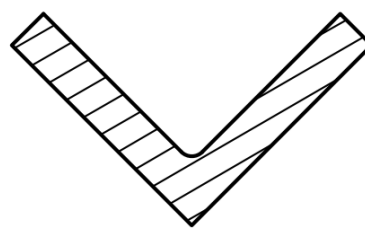
Při navrhování svarových spojů má před ostatními typy přednost svar tupý, který vyniká vyšší únosností. I u tloušťky svarů se počítá s korozními přídávky dle naměřených hodnot agresivity prostředí. Svary musí být vodotěsné a mít nejméně stejnou životnost jako ocelová konstrukce, a to především z důvodu obtížných dodatečných oprav (ať už vlivem zeslabení svařovaných profilů či špatného přístupu). Přídavný materiál musí chemicky odpovídat oceli, ze které je konstrukce vyrobena. Pokud je svar vícevrstvý, není vhodné kombinovat po výšce svaru různé typy přídavných materiálů. Svary je třeba alespoň 24 hodin po jejich provedení monitorovat z důvodu vyšší náchylnosti k trhlinám vlivem přítomnosti mědi a fosforu. Patinující oceli se obvykle svařují pod tavidlem (metoda SAW), obalovanou elektrodou (MMA) či v inertní ochranné atmosféře (MIG). [2] [33] [34]

Polohy tyčí

Není vhodné vytvářet žlaby polohami tyčí či kombinací jejich sestav. Toto řešení způsobuje zadržování vody a zvyšuje lokální korozní agresivitu. Při užití tyčí tvaru U nesmí vzniknout žlab, ve kterém by se hromadila voda a nečistoty. Pokud žlab přeci jen vznikne, je vhodné použít odvodňovací otvor. [33]

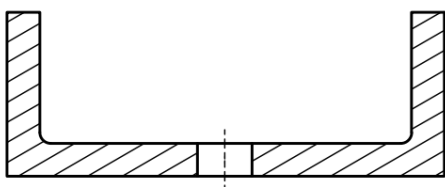


VHODNÉ

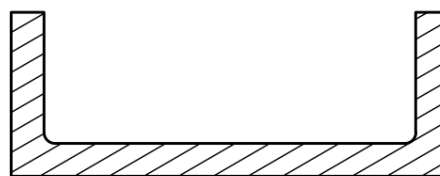


NEVHODNÉ

Obrázek 9 - vhodná a nevhodná volba polohy L profilů [33]



VHODNÉ

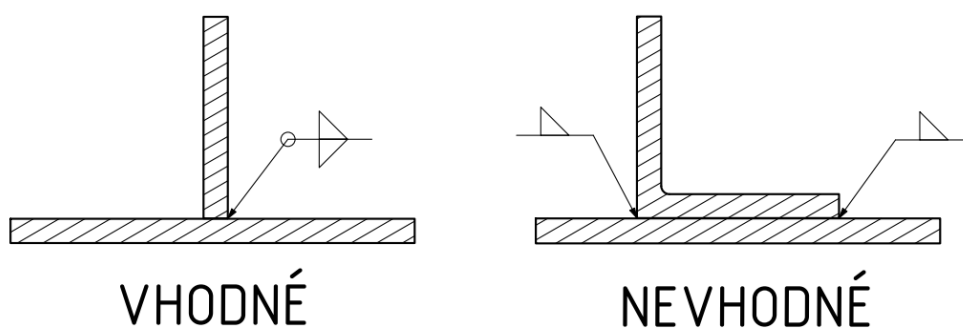


NEVHODNÉ

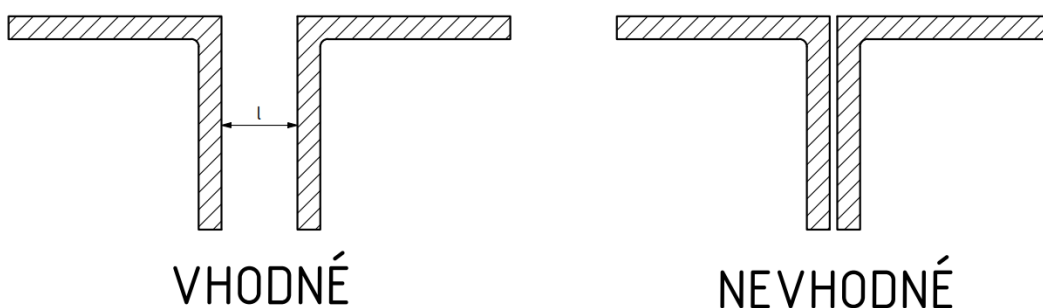
Obrázek 10 - odvodnění uzavřeného U profilu zhotovením otvoru [33]

Sestavy tyčí

Zdvojení tyčí za vzniku štěrbin není vhodné, protože není možné zhotovit úplný systém ochrany, kontrolovat jeho jakost a provádět údržbu. Za nevhodné řešení se rovněž považuje přerušované svařování. Výsledkem jsou spáry, ve kterých se drží voda a které jsou místy zvláště namáhanými korozi. Pokud je to možné, doporučuje se nahradit tyče plochými profily, které při uložení natupo minimalizují plochu styku. Při spojování dílů je vhodné dbát na provedení oboustranného, nikoliv jen jednostranného svaru. Zabrání se tak vzniku tzv. těsně neuzavřené spáry, která je zvláště namáhána korozi. [33]



Obrázek 11 - eliminace těsně neuzavřené spáry volbou profilu a zavařením [33]



Obrázek 12 - eliminace vzniku štěrbin zvětšením vzdálenosti „l“ mezi profily [33]

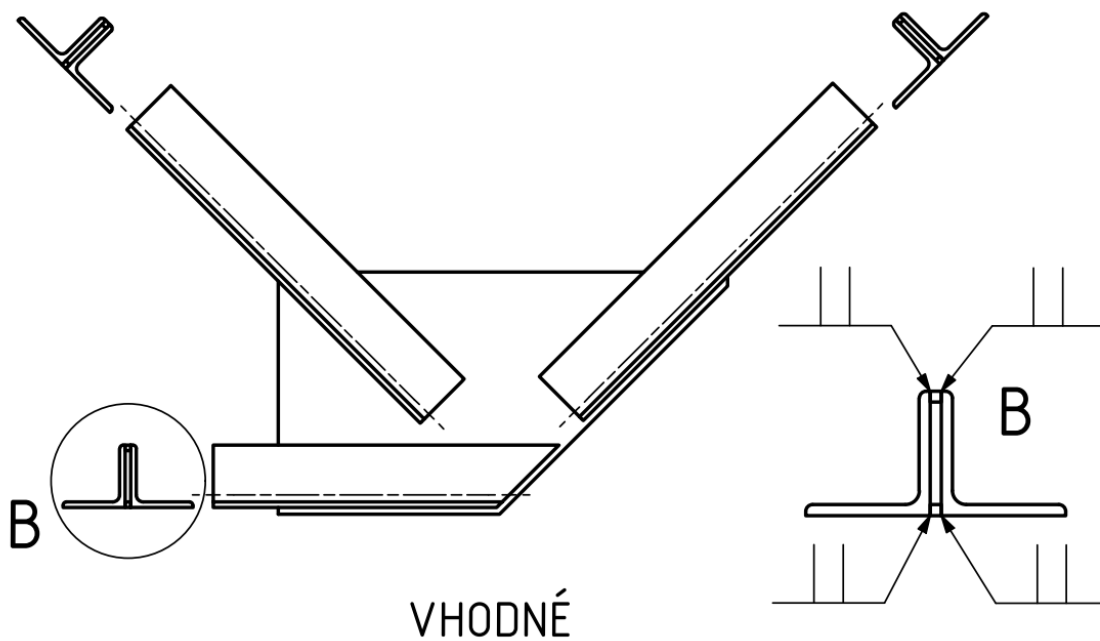
Norma také stanovuje nejnižší přípustné mezery mezi profily, které zamezí zadržování vody. Tyto mezery jsou závislé na velikosti profilu a jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 5 - požadované mezery mezi profily [33]

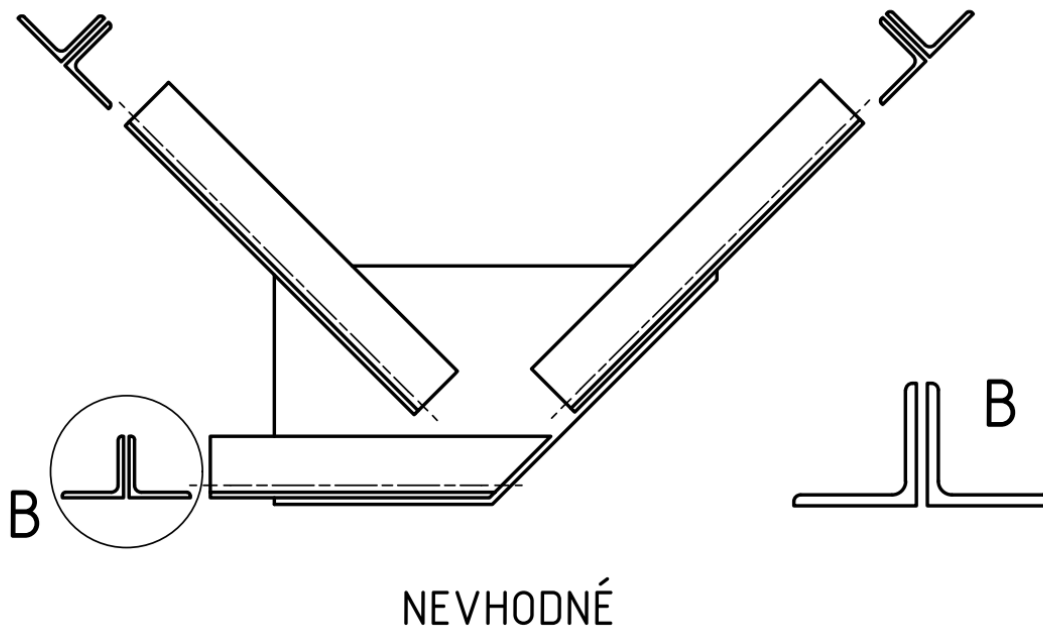
Rozměr tyče tvaru rovnoramenného L (mm)	l (mm)
Od 20x20 do 45x45	30
Od 50x50 do 120x120	50
Od 130x130 do 200x200	60

Uspořádání spojovacích uzlů

Při zdvojené konstrukci styčnicků z profilů tvaru L je nutné zabránit spárám, vzniklým kvůli tloušťce styčnickového plechu. Toho lze docílit vložení profilů a jejich zavařením po celé délce. [33]



Obrázek 13 - vhodné řešení styčnicku pomocí zavařených průběžných profilů [33]



Obrázek 14 - nevhodné řešení styčnicku se vzniklou štěrbinou mezi L profily [33]

5.3 Korozní vlastnosti patinujících ocelí

5.3.1 Směrné korozní úbytky

Ač vytvoření patiny proces koroze výrazně zpomalí, s korozními úbytky je nutno počítat po celou dobu expozice konstrukce v atmosféře. Směrné hodnoty úbytků jsou stanoveny normou. Pro ilustraci je přiložena i tabulka korozních úbytků běžné konstrukční oceli.

Tabulka 6 - Směrné korozní úbytky pro uhlíkové oceli [33]

stupeň korozní agresivity	Směrné korozní úbytky v μm za daný počet let			
	10 let	30 let	50 let	100 let
C1	1	5	5 až 10	10 až 50
C2	10	30	50	100
C3	100 až 150	200-350	300-600	1000
C4	150-350	350-1000	600-1600	2000
C5	víc než 350	víc než 1000	víc než 1600	víc než 2500

Tabulka 7 - Směrné korozní úbytky pro patinující oceli [33]

stupeň korozní agresivity	Směrné korozní úbytky v μm za daný počet let			
	10 let	30 let	50 let	100 let
C1	1	5	5 až 10	10 až 50
C2	10	30	50	100
C3	50	100	150	250
C4	100	150	250	350
C5	víc než 350	víc než 800	víc než 1300	víc než 2000

Z porovnání tabulek vyplývá, že rozdíl v degradaci materiálu je pozorovatelný až od stupně C3. Užití patinující oceli má však větší význam jen u prostředí s agresivitou C3 a C4, neboť v prostředí C5 už jsou opět rozdíly minimální. [33]

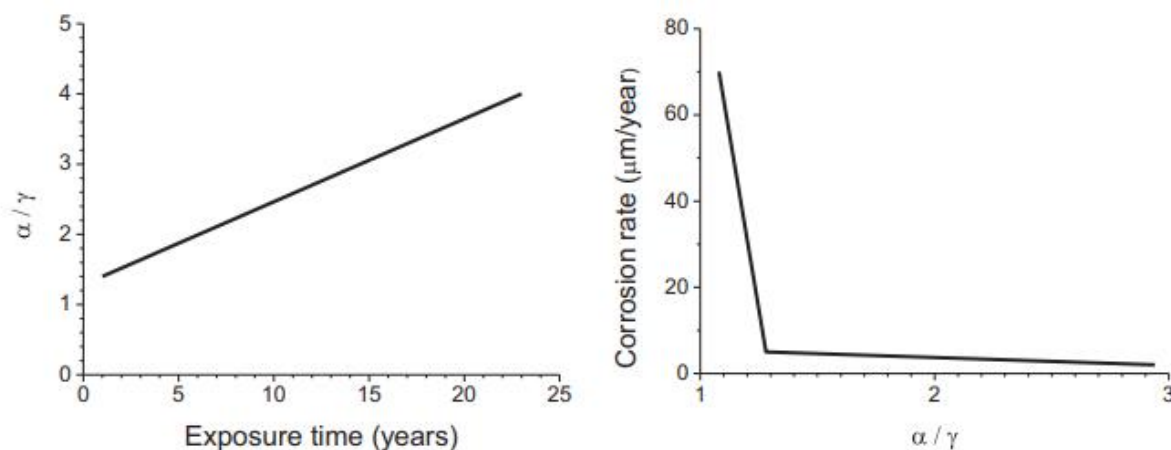
5.4 Metody hodnocení ochranné vrstvy

5.4.1 Klasifikace dle složení

V patinujících ocelích vznikají mnohé strukturní složky, na základě jejichž poměru je možné určit tzv. Protective Ability Index (zkratka PAI – index ochranné schopnosti). Podle jeho výsledku je možné predikovat vývoj ochranné patiny na povrchu těchto ocelí. Nejstabilnější je goethit (v PAI jeho podíl značen α), méně stabilní složky jsou akaganeit (β), lepidokrokrit (γ), magnetit (S) a další. Po jejich

objevu byl proveden výzkum, na jehož základě vznikl obecný vzorec, do kterého se za jednotlivé veličiny dosazují koncentrace strukturních složek podle značení uvedeného výše.

$$PAI = \frac{\alpha}{\gamma}$$



Obrázek 15 - závislost PAI na expozičním času a ročních korozních úbytků na PAI [35]

Později byla závislost upravena tak, aby reflektovala i vliv ostatních strukturních složek.

$$PAI_{\alpha} = \frac{\alpha}{\gamma + \beta + S}$$

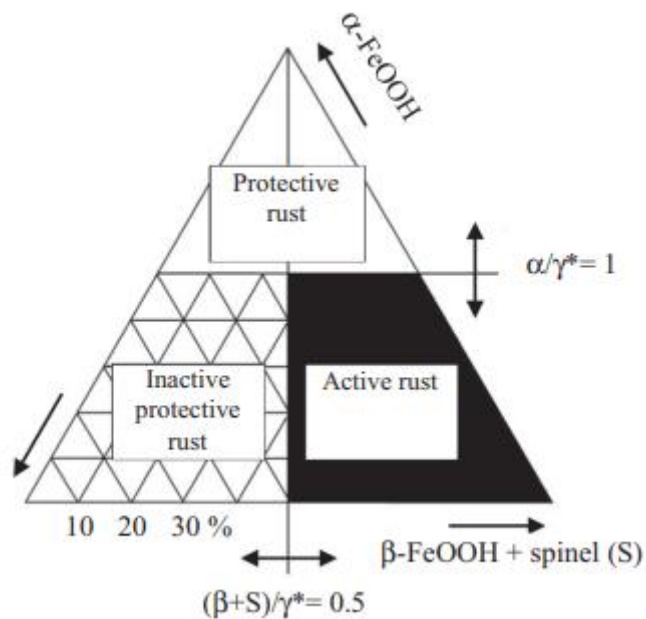
Podle výsledku mohou nastat následující varianty:

- Pokud je $PAI_{\alpha} > 1$, očekávaný korozní úbytek je nejvýše 10 $\mu\text{m/rok}$ a patina poskytuje vynikající protikorozní ochranu.
- Pokud je $PAI_{\alpha} < 1$, musí se dopočítat index PAI_{β} :

$$PAI_{\beta} = \frac{\beta + S}{\gamma + \beta + S}$$

Teprve výsledek PAI_{β} rozhodne o ochranných vlastnostech:

- Pokud je $PAI_{\beta} < 0,5$, patina chrání částečně.
- Pokud je $PAI_{\beta} > 0,5$, patina neposkytuje ochrannou funkci.



Obrázek 16 - PAI diagram [35]

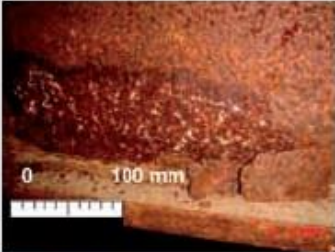

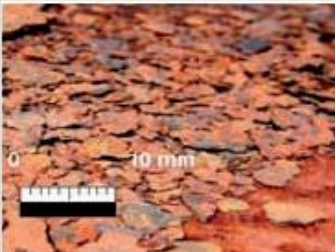





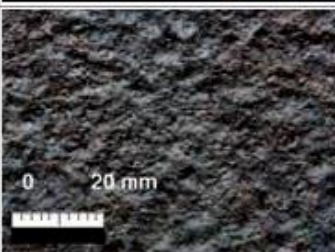
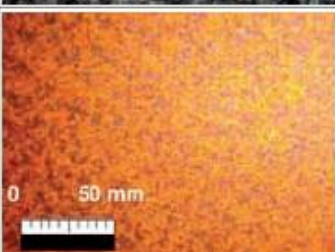

[36] [35]

5.4.2 Klasifikace dle vzhladu ochranné patiny

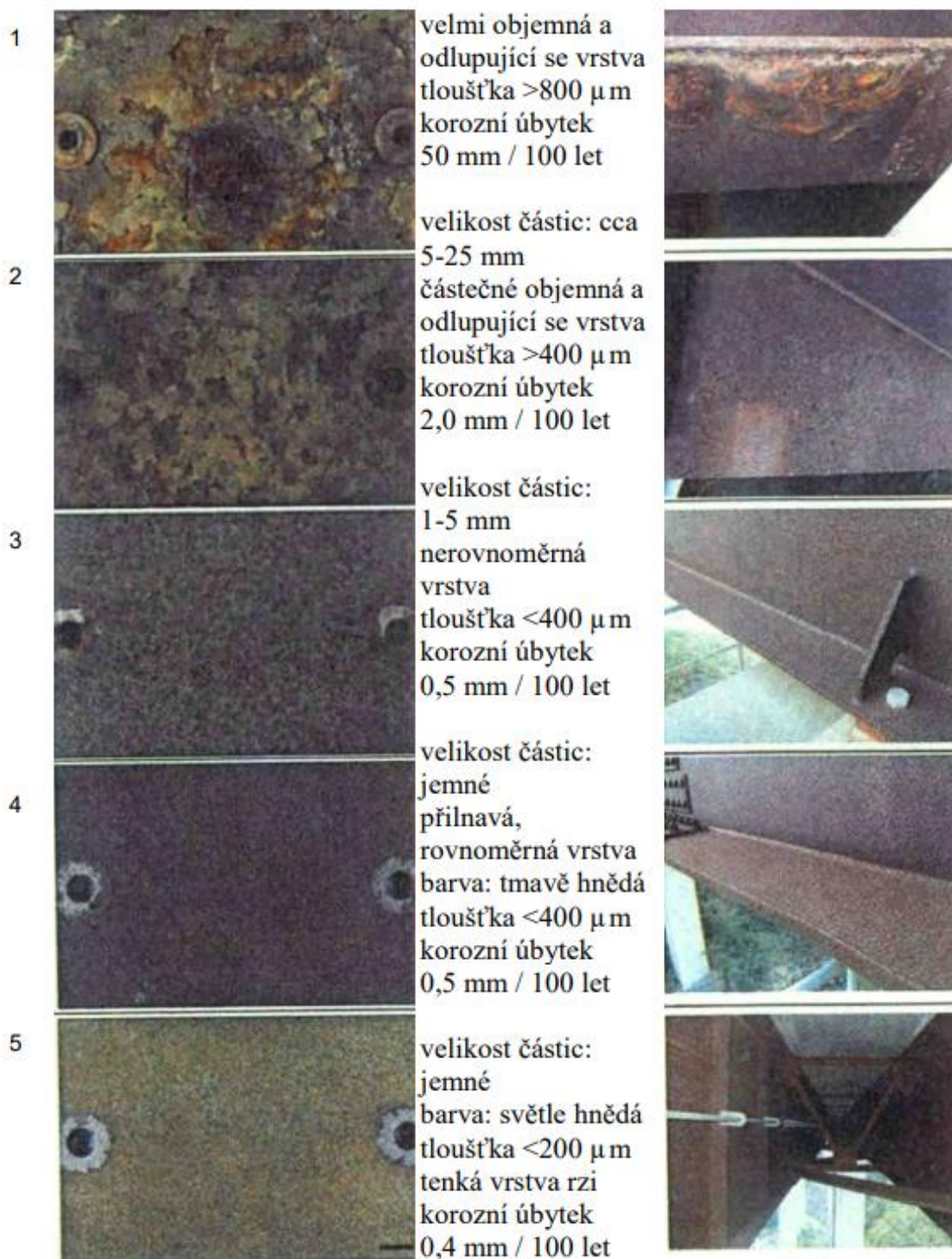
Praktičtější a vhodnější pro kontrolní účely jsou způsoby klasifikace, založené na porovnávání vzhladu patiny se zavedenými etalony.

V ČR je využíván systém etalonů, zavedený v předpisu TP197. Rozlišuje pět, potažmo šest stupňů vývoje ochranné patiny, přičemž první tři jsou stavy nepřijatelné. Každému stupni je přiřazen krátký slovní popis i průměrná hodnota tloušťky patiny. Chybí nicméně odhad korozních úbytků, které mohou být v dalších letech po sledování očekávány.

Na podobném principu je založen i klasifikační systém, zavedený v Japonsku. Tento způsob na rozdíl od předpisu TP197 neuvádí přípustné a nepřijatelné stavy, ale poskytuje představu o korozních úbytcích v dalších letech. [32]

Stupeň koroze	Detail koroze	Charakter korozních produktů/rzi, stupeň	Pohled na mostní konstrukci
1		Tvar: puchýře, odlupování po souvislých vrstvách délky nad 25 mm Barva: tmavě hnědá, skvrny tloušťka: > 800 μm NEPŘÍPUSTNÝ	
2		Tvar: listky, k podkladu nepřilnutá vrstva korozních produktů, vytváří doly pod listky Barva: tmavě hnědá, skvrny tloušťka: > 400 μm, listky velikosti od 6 mm do 25 mm VYŽADUJE SLEDOVÁNÍ A MĚŘENÍ KOROZNIHO OSLABENÍ NEPŘÍPUSTNÝ	
3		Tvar: šupiny, nepřilnuté k podkladu Barva: tmavě hnědá, skvrny tloušťka: < 400 μm, drobné šupiny velikosti od 1 do 5 mm VYŽADUJE SLEDOVÁNÍ A MĚŘENÍ KOROZNIHO OSLABENÍ NEPŘÍPUSTNÝ	
4		Tvar: šupinky, zrnité, jemné, částečně přilnuté k podkladu Barva: středně až tmavě hnědá tloušťka: < 400 μm, drobné šupinky do 1 mm PŘÍPUSTNÝ	
5B		Tvar: tvrdá, k podkladu přilnutá vrstva korozních produktů, není možné ruční odstranění Barva: tmavě hnědá až fialová, stádium na fotografii po 30 letech tloušťka: < 200 μm PŘÍPUSTNÝ, CÍLOVÝ STAV <i>Poznámka: Celoplošně nebylo zjištěno na žádné ocelové konstrukci, pouze lokální výskyt • Hrubá struktura, strukturovaný povrch (u mostů není žádoucí, neboť usnadňuje usazování nečistot)</i>	
5A		Tvar: velmi jemná, práškovitá přilnutá rez k podkladu, počáteční stádium vývoje ochranné vrstvy (prvních 0-3 let) Barva: světle oranžová až středně hnědá tloušťka: < 200 μm PŘÍPUSTNÝ	

Obrázek 17 - hodnocení ochranné vrstvy dle TP197 [37]



Obrázek 18 - hodnocení ochranné vrstvy dle japonských etalonů [38]

5.5 Mechanické vlastnosti patinujících ocelí

Tabulka 8 - mechanické vlastnosti vybraných patinujících ocelí [29] [34]

Jakost oceli	Tloušťka (mm)	Nejnižší mez kluzu (MPa)	Pevnost v tahu (MPa)	Nejnižší tažnost (%)
15217 dle ČSN (Atmofix A)	do 12	345	470-590	22
15127 dle ČSN (Atmofix B)	do 16	355	470-620	22
	do 35	345		
	do 50	335		
S355J0WP dle EN (Corten A)	do 12,7	345	470-630	20
S355J2W dle EN (Corten B)	do 16	355	470-630	20
	od 16 do 50	345		

5.6 Technologický postup renovace konstrukcí z patinujících ocelí

Pokud je očekáváno nevyhnutelné korozní namáhání vyšší, než připouští norma, nebo pokud se patina na povrchu ocelové konstrukce po její výstavbě nevyvíjí v porovnání s etalony příznivě, je potřebné konstrukci opatřit povrchovou úpravou. Složení nátěrového systému by se v takovém případě mělo řídit stejnými požadavky, jako jsou definovány normou ČSN EN ISO 12944 pro běžné konstrukční oceli. Při jejím provedení se zdánlivě ztrácí hlavní výhoda patinující oceli, a to ekonomičnost díky úspoře nátěrových hmot. Některé zdroje však tvrdí, že stejně kvalitně nanesený nátěrový systém má na patinující oceli vyšší odolnost než na oceli uhlíkové. Výhoda se konkrétně projeví při vzniku defektu v protikorozní ochraně – zatímco standardně vznikne místo s rostoucí bodovou korozi, patinující ocel po odhalení povrchu začne tvořit ochrannou vrstvu zpomalující korozní děj. Tím se stává odolnější proti podkorodování.

Užití této protikorozní ochrany s sebou samozřejmě nese nutnost důkladného očištění povrchu, které je zvláště důležité, pokud se jedná o nanášení na již vytvořenou patinu. Potom se doporučuje nejdříve očištění vysokotlakou vodou a následné tryskání abrazivem pro vytvoření kotevního profilu pro správnou přilnavost nátěrového systému. [38] [39]

5.6.1 Čištění vysokotlakou vodou

Voda se v technologii tryskání povrchu dá použít jako unášecí médium pro zvolené abrazivum. Alternativou je i užití samotné vody, která musí být urychlena dostatečným tlakem. Této technologii

se říká tryskání vodou (water jetting). Principiálně funguje na urychlení eroze a delaminace nepřilnavých složek povrchu. Rozlišuje se tryskání vodou o vysokém tlaku (high-pressure water jetting), prováděné za tlaku 70-210 MPa, a tryskání vodou o velmi vysokém tlaku (ultra high-pressure water jetting), prováděné za tlaku vyššího, než 210 MPa.

Tryskání vodou je nákladnou technologií – cena za čištění metru čtverečního může přesahovat i 300 korun. V renovaci konstrukcí z patinujících ocelí má však nezastupitelné místo, protože umožňuje dokonalé odstranění chloridů a dalších nečistot, ukrytých v hnízdech důlkové koroze. Po dokončení čištění je nutné urychleně použít protikorozi ochranu, která zamezí tvorbě bleskové koroze. [40] [41]

5.6.2 Suché tryskání

Otryskávání povrchu je velmi efektivním postupem při odstraňování nečistot. Používá se především u silnějších profilů a plechů, kdy nehrozí deformace nebo proražení. Principem je vhánění abraziva na povrch kovu, a to obvykle pneumatically (stlačeným vzduchem), nebo odstředivě (metacými koly). Nejdostupnějším abrazivem je křemenný písek, dále se používá ocelová drť, sekaný drát, ocelové kuličky nebo korund. Volbou vhodného abraziva lze řídit tzv. kotevní profil, který je důležitý pro správnou přilnavost nátěrového systému.

Tryskání s použitím abraziva je levnější alternativou čištění povrchu, která má ale svoje nedostatky. Jedná se o velmi účinný proces odstranění mechanických nečistot, hrozí však zatryskání chemických nečistot, jako chloridy, siřičitany a další, hlouběji do tryskaného materiálu bez jejich odstranění. To může následně negativně ovlivnit kvalitu následného nátěru. Volba hrubého abraziva může také vyústit v příliš velkou drsnost povrchu. Hrozí potom, že nátěr nebude schopný plně krýt, případně že bude mít na hrotech snížené mechanické vlastnosti. [42]

5.6.3 Nanášení nátěrové hmoty

Nejjednodušší variantou nanášení nátěrové hmoty je nátěr štětcem. Jde o nejstarší způsob nanášení a je dosud oblíbený v případě členitějších konstrukcí a při opravách starších nátěrů. Výhodou je zapracování nátěru do pórů podkladového materiálu, což je výhodné hlavně při aplikaci základového nátěru, kde je vyžadována maximální přilnavost. Ekonomičnost tkví oproti jiným metodám také v minimálních ztrátách nátěru. Nevýhodou je však vyšší pracnost a nízká produktivita práce. Alternativou je nanášení válečkem, které efektivitu o něco zvyšuje. Je však vhodné pouze pro větší rovinné plochy.

Nejpoužívanějším způsobem nanášení nátěrových hmot je dnes pomocí pneumatického stříkání. Je velmi produktivní (až 5x oproti nanášení štětcem) a není tolik fyzicky náročné jako jiné metody. Metoda je však spojená s vysokými ztrátami, a to přibližně 20-80 % podle tvarové náročnosti dílu. Není rovněž možné takto upravovat díly s prohlubněmi a dutinami, které tvoří při stříkání vzduchovou kapsu, bránící pokrytí povrchu nátěrem. [42]

Norma ČSN EN ISO 12944-5, Část 5: Ochranné nátěrové systémy doporučuje vhodná složení a tloušťky vrstev pro jednotlivá korozní prostředí C3-C5. Tabulka níže představuje její výtah včetně vysvětlení zkratk.

Tabulka 9 - doporučená složení nátěrových systémů a jejich tloušťek [43]

Požadovaná životnost		Nízká			Střední			Vysoká			Velmi vysoká		
Typ základní nátěrové hmoty		Zn	Misc.		Zn	Misc.		Zn	Misc.		Zn	Misc.	
Pojivová báze základního nátěru		ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY
Pojivová báze dalších vrstev		EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY
C3	MNOC	-	-	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	NDFT (μm)	-	-	100	60	120	160	160	180	200	200	240	260
C4	MNOC	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	-
	NDFT (μm)	60	120	160	160	180	200	200	240	260	260	300	-
C5	MNOC	2	2	-	2	2	-	3	2	-	3	3	-
	NDFT (μm)	160	180	-	200	240	-	260	300	-	320	360	-

Tabulka 10 - typy základních nátěrových hmot [43]

Typy základní nátěrové hmoty	
Zn	Základní nátěrová hmota s vysokým obsahem zinku
Misc.	Všechny ostatní skupiny základních nátěrových hmot

Tabulka 11 - typy pojiv a počet jejich složek [43]

	hlavní pojivo	typ
ESI	ethylsilikátové	jedno nebo dvousložkové
EP	epoxidové	dvousložkové
PUR	polyuretanové	jedno nebo dvousložkové
AK	alkydové	jednosložkové
AY	akrylové	jednosložkové

Tabulka 12 - vysvětlivky k zkratkám z tabulky 9 [43]

NDFT	Minimální tloušťka suchého filmu v mikrometrech
MNOC	Minimální počet vrstev nátěru
C3-C5	Stupně korozní agresivity dle ČSN EN ISO 9223

6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Jak bylo řečeno v teoretické části, oceli typu Atmosfix a Corten v podstatě nevyžadují povrchovou úpravu, protože v prostředích běžné korozní agresivity ochranná patina omezuje proces degradace. Použití protikorozní ochrany je ale nutné v případě zjištění nesprávného vývoje ochranné patiny.

6.1 Cíle

Praktická část této práce se v první polovině věnuje zkoumání vlivu agresivního prostředí na tvorbu patiny ve srovnání s podmínkami vhodnými pro umístění patinující oceli. Ve druhé polovině je ověřován technologický postup renovace patinujících ocelí použitím nátěrového systému, přičemž jako výstup bude tento postup zhodnocen a okomentován s případným doporučením optimalizace.

6.2 Zkoumané vzorky

Vzorky patinující oceli se podařilo získat díky ochotě firmy Mertl s.r.o sídlící ve Zbirohu. Na přání zhotovila několik vzorků o rozměrech 150x400 mm a tloušťce 4 mm. Větší rozměry byly voleny kvůli dostatečné ploše na provedení následných zkoušek. Materiál vzorků je Corten B-D. Tento materiál nemá přesný ekvivalent v evropských normách. K práci je přiložen atest od dodavatele, obsahující i přesné chemické složení.



Obrázek 19 - vzorek ve stavu od dodavatele

6.2 Ověření korozní odolnosti sledovaných vzorků

Podoba ochranné vrstvy na povrchu patinující oceli je silně závislá na prostředí, kterému byla vystavena. V závislosti na době ovlhčení, depozici chloridů a dalších nečistot se poté tvoří patina. Tu lze následně porovnáním s etalony určit jako vyhovující, poskytující ochranné vlastnosti, nebo nevyhovující. Cílem první části experimentu bylo dokumentovat vývoj patiny v různých korozních prostředích a prokázat, že prostředí se silnou koncentrací chloridů jsou pro užití patinující oceli nevhodné. Jako první prostředí byla zvolena solná komora na FS ČVUT S-400 M-TR. Experiment probíhal při 35 ± 2 °C a pH 6,5-7,2.

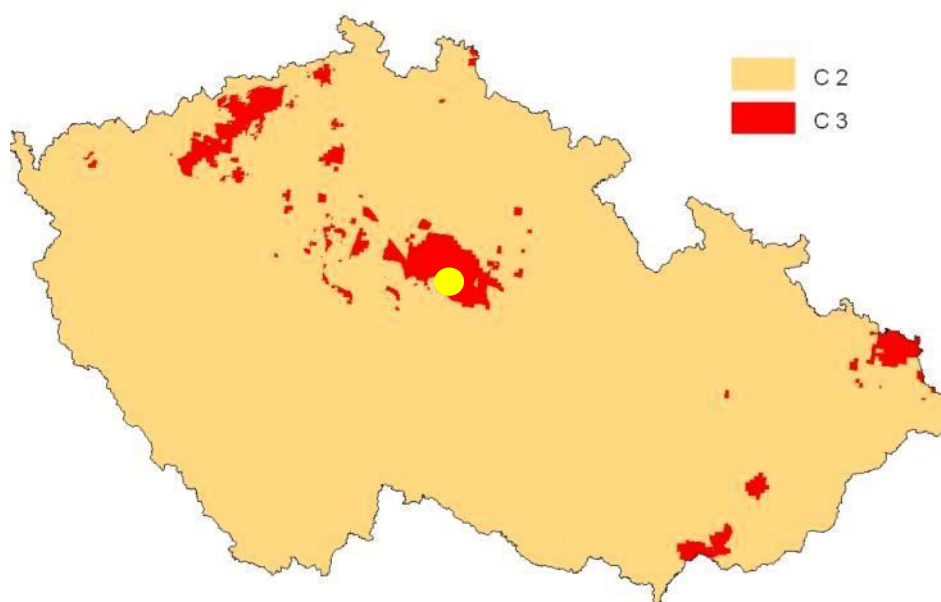


Obrázek 20 - korozní komora pro zkoušku v solné mlze

Jako druhé prostředí byla zvolena zahrada rodinného domu nedaleko města Kolín. Podle korozní mapy vypracované SVÚOM se jedná o prostředí C3 dle ČSN EN ISO 9223 (viz obr. 20). Tato zkouška napodobuje reálné dlouhodobé korozní testy, jen je vzhledem k charakteru práce patřičně zkrácena do několika měsíců. Vzorek je zavěšen na nekryté ocelové konstrukci, která umožňuje jeho ovlhčení v celé ploše. Díky situování daleko od silničních komunikací se jedná o místo s minimální depozicí chloridů a simuluje dle normy ideální prostředí pro použití patinující oceli. [44]



Obrázek 21 - konstrukce se zavěšeným vzorkem pro atmosférickou zkoušku



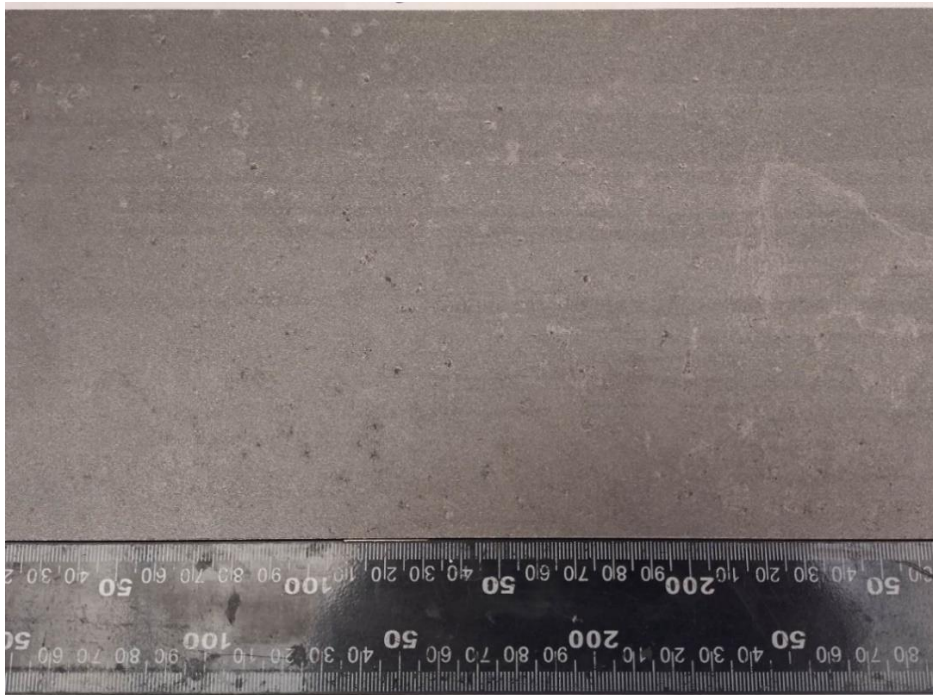
Výpočet proveden podle rovnice ISO/DIS 9223

Obrázek 22 - umístění vzorku pro atmosférickou zkoušku [44]

Oba vzorky byly následně otryskány ocelovým abrazivem v tryskači firmy S.A.F. Praha. Otryskáním bylo u obou vzorků docíleno stejných počátečních podmínek pro realizaci korozní zkoušky.

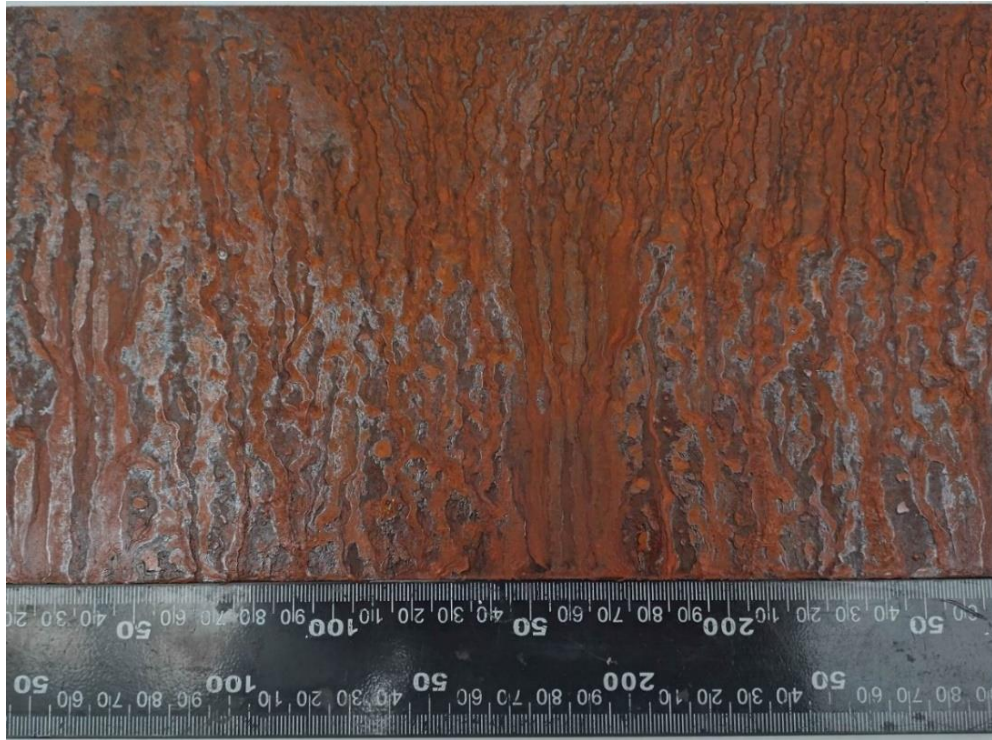


Obrázek 23 - tryskáč zařízení firmy S.A.F.



Obrázek 24 - vzorek po otryskání

Vzorky byly během procesu koroze monitorovány a průběžně dokumentovány, aby byl zachycen vývoj patiny na povrchu. Intervaly kontrol byly voleny po 24, 48, 72, 96, 168, 336, 504 a 672 hodinách.



Obrázek 25 - vzorek v solné komoře po 24 hodinách



Obrázek 26 - vzorek v solné komoře po 48 hodinách



Obrázek 27 - vzorek v solné komoře po 72 hodinách



Obrázek 28 - vzorek v solné komoře po 96 hodinách



Obrázek 29 - vzorek v solné komoře po 168 hodinách



Obrázek 30 - vzorek v solné komoře po 336 hodinách

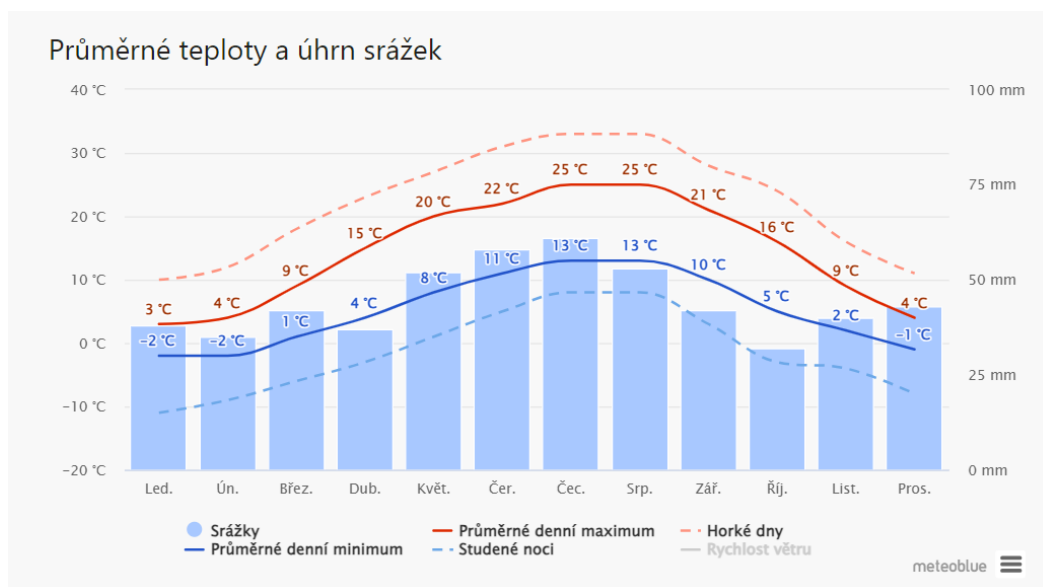


Obrázek 31 - vzorek v solné komoře po 504 hodinách

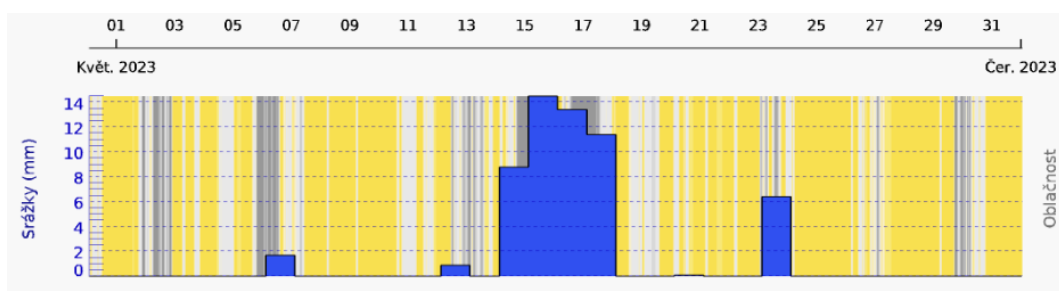


Obrázek 32 - vzorek v solné komoře po 672 hodinách

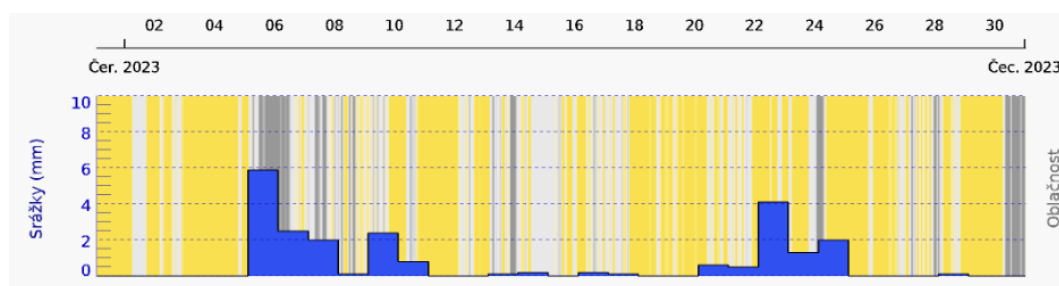
Dokumentace vzorků v atmosféře neprobíhala vždy ve stejnou hodinu, proto jsou jako údaj o času od začátku zkoušky udávány místo hodin dny. Interval focení byl volen delší než u zkoušky v solné mlze, protože v kratších úsecích nebyla změna stavu patiny pozorovatelná. Tato zkouška probíhala od počátku května do konce června. V úhrnu na místě korozní zkoušky napršelo v květnu 57 mm srážek, v červnu 22,5 mm. Hodnoty z května jsou v porovnání s dlouhodobým měřením nadprůměrné, hodnoty z června naopak podprůměrné (průměrně udáváno 52 mm v květnu a 58 mm v červnu).



Obrázek 33 - obvyklé meteorologické podmínky v obci Kolín [45]



Obrázek 34 - srážkové úhrny v obci Kolín za měsíc květen [45]



Obrázek 35 - srážkové úhrny v obci Kolín za měsíc červen [45]



Obrázek 36 - vzorek v atmosféře po 1 dni



Obrázek 37 - vzorek v atmosféře po 10 dnech



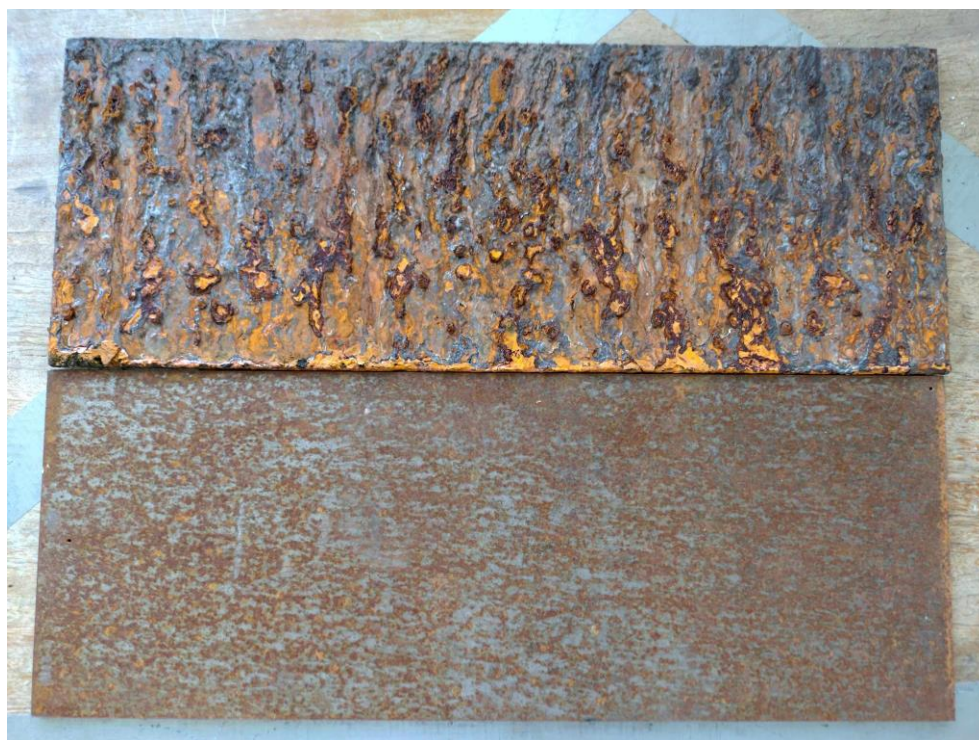
Obrázek 38 - vzorek v atmosféře po 20 dnech



Obrázek 39 - vzorek v atmosféře po 40 dnech



Obrázek 40 - vzorek v atmosféře po 60 dnech



Obrázek 41 - porovnání obou vzorků po skončení korozních zkoušek

Po skončení korozních zkoušek byla provedena zkouška odtržením lepicí páskou. Tato jednoduchá zkouška ověřuje přilnavost korozních produktů a lze na základě jejího výsledku určit velikost korozních částic. Lepicí páska byla nejdříve důkladně nalepena na sledované vzorky, následně opatrně přesunuta na čistý papír.



Obrázek 42 - zkouška odtržením pásky, vzorek ze solné komory



Obrázek 43 - zkouška odtržením pásky, vzorek z atmosférické zkoušky

6.3 Výsledky a diskuse ověřování korozní odolnosti

Z porovnání fotek je zřejmé, že vzorek ze solné komory se nejvíc podobá etalonu 3 dle TP197. Odpovídá i slovnímu popisu, tedy špatné přilnavosti a velikosti šupin kolem 5 mm. Tento etalon je hodnocen jako nepřipustný.



Obrázek 44 - etalon 3 dle TP197 [2]

Naopak vzorek z atmosférické zkoušky nejlépe odpovídá etalonu 5A. Vyznačuje se velmi drobnými šupinkami a spíše světlejší barvou. Tento etalon je hodnocen jako přípustný.

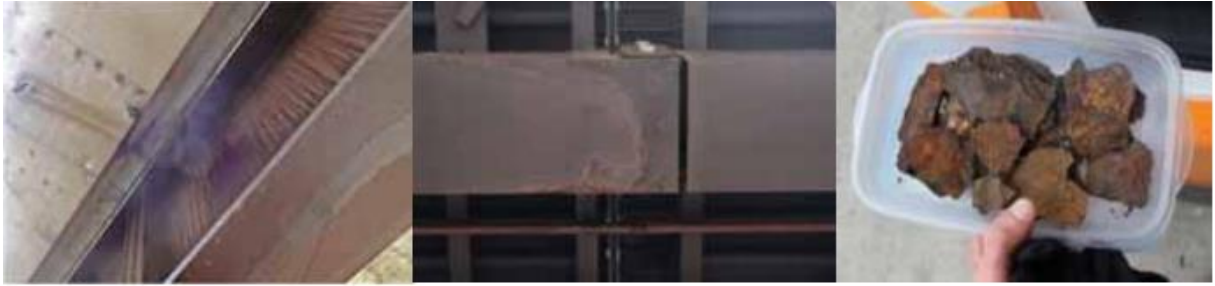


Obrázek 45 - etalon 5A dle TP197 [2]

Výsledky tohoto experimentu prokázaly, že korozní prostředí se zvýšenou koncentrací chloridů a vlhkosti negativně ovlivňuje tvorbu ochranné patiny.

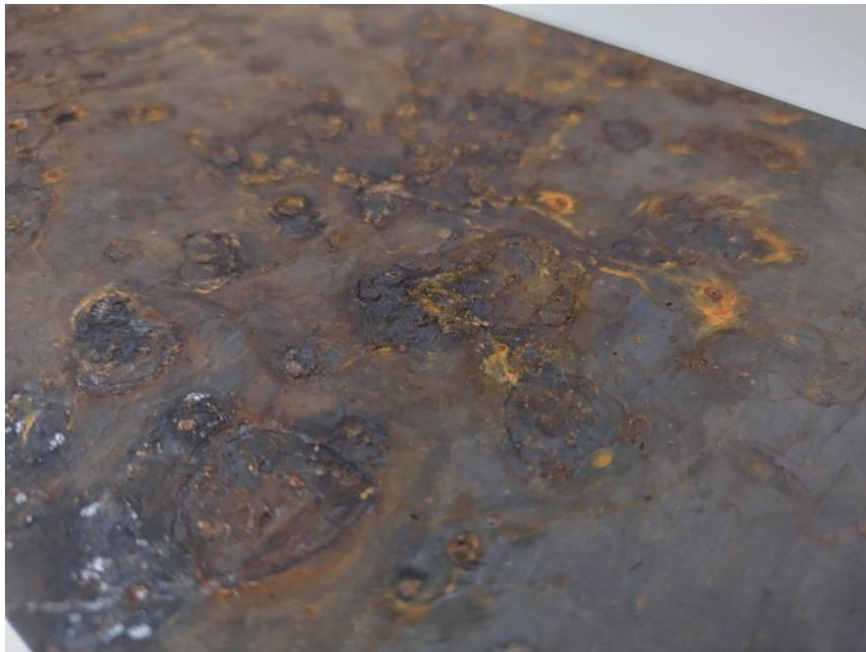
6.4 Ověření technologického postupu renovace patinujících ocelí

Kromě ověření technologického postupu a případného doporučení na jeho optimalizaci je cílem této části i zhodnotit výsledný nátěr a porovnat jeho vlastnosti s vlastnostmi nátěrových hmot nanesených na běžné typy ocelí. Téma renovace patinujících ocelí je v současné době aktuální, a to především kvůli havarijnímu stavu některých konstrukcí z tohoto materiálu, postavených v minulém století. Jedná se například o dálniční mosty na Ostravsku, které jsou dlouhodobě pracovníky FS ČVUT a odbornou veřejností sledovány. Vzhledem k jejich stavu je velmi pravděpodobné, že bude muset dojít k realizaci protikorozní ochrany nátěrem.



Obrázek 46 - poškození mostních konstrukcí posypovými solemi [46]

K experimentu byly použity tři vzorky, popsané a zdokumentované v kapitole 6.2. Ty byly již od dodavatele ve stavu pokročilé koroze s místy výraznými chloridovými hnízdy, díky čemuž byl perfektně simulován stav skutečné ocelové konstrukce před její renovací. Tato hnízda jsou místa se zvýšenou koncentrací chloridů, které lokálně zvyšují korozní úbytky a způsobují tak důlkovou korozi a jsou tedy nežádoucí.



Obrázek 47 - nevyhovující patina s výraznými chloridovými hnízdy

Na každém vzorku byla provedena jiná předúprava povrchu. Vzorek A byl otryskán ocelovým abrazivem po dobu dvou minut z každé strany, vzorek D byl otryskán vodou za tlaku 2500 bar, vzorek E nejdříve ocelovým abrazivem, poté ultravysokotlakou vodou za stejných podmínek jako předešlé vzorky. Následně byly měřeny vlastnosti povrchu, konkrétně Ra a Rz. Naměřeno bylo vždy 12 hodnot, přičemž nejvyšší a nejnižší hodnota nebyly započítávány do výpočtu průměru (\bar{x}) a směrodatné odchylky (σ) kvůli odstranění vlivu extrémů a případných chyb měření. Tyto vyřazené hodnoty jsou vyznačeny v tabulkách červeně. Drsnost povrchu byla měřena drsnoměrem značky Mitutoyo SJ-301.



Obrázek 48 - drsnoměr Mitutoyo SJ-301 [47]



Obrázek 49 - vzorek A po otryskání ocelovým abrazivem

Tabulka 13 - drsnost povrchu po tryskání vzorku A

Povrch po tryskání ocelovým abrazivem (vzorek A)		
	Ra (μm)	Rz (μm)
1. měření	5.4	25.52
2. měření	3.42	16.59
3. měření	3.37	22.22
4. měření	3.55	21.13
5. měření	5.04	26.78
6. měření	3.02	18.05
7. měření	4.59	25.81
8. měření	5.04	27.82
9. měření	5.67	35.17
10. měření	4.9	27.78
11. měření	3.12	15.97
12. měření	3.96	31.41
\bar{x}	4.239	24.311
σ	0.845	4.689

Vzorek D byl otryskán vodou o tlaku 2500 bar pomocí stroje EcoMaster MK3 2500/26. Realizace proběhla díky ochotě pana Zdeňka Jonáka z firmy WOMA během oprav Barrandovského mostu v Praze.



Obrázek 50 - ultravysokotlaký vodní tryskací stroj EcoMaster MK3 2500/26



Obrázek 51 - čištění vzorků ultravysokotlakým tryskacím strojem



Obrázek 52 - vzorky po tryskání ultravysokotlakou vodou

Tabulka 14 - drsnost povrchu po tryskání ultravysokotlakou vodou (vzorek D)

Povrch po tryskání vodou (vzorek D)		
	Ra (μm)	Rz (μm)
1. měření	6.13	46.97
2. měření	8.38	49.62
3. měření	6.96	48.01
4. měření	7.96	48.64
5. měření	6.72	37.44
6. měření	5.76	37.74
7. měření	5.11	35.67
8. měření	6.9	39.86
9. měření	4.89	33.18
10. měření	7.77	45.81
11. měření	5.74	38.29
12. měření	5.19	34.43
\bar{x}	6.424	41.286
σ	1.001	5.467

Vzorek E byl otryskán nejdříve ocelovým abrazivem po dobu dvou minut z obou stran, poté ultravysokotlakou vodou o tlaku 2500 bar.

Tabulka 15 - drsnost povrchu po tryskání vodou a ocelovým abrazivem (vzorek E)

Povrch po tryskání vodou a následně ocelovým abrazivem (vzorek E)		
	Ra (μm)	Rz (μm)
1. měření	5.91	31.59
2. měření	5.55	37.52
3. měření	7.33	35.64
4. měření	5.33	35.39
5. měření	4.5	37.58
6. měření	5.57	36.91
7. měření	4.4	24.94
8. měření	7.15	38.25
9. měření	7.13	41.61
10. měření	5.5	33.1
11. měření	5.1	32.52
12. měření	4.26	36.98
\bar{x}	5.614	35.548
σ	0.932	2.359

Po naměření drsností byly vzorky odvezeny do firmy Spectrum Franěk sídlící v Jablonci nad Nisou, která se mimo jiné zabývá distribucí nátěrových hmot značky PPG, Max Mayer a Selemix. Díky ochotě pana Václava Štorka z této firmy zde na vzorky mohl být realizován nátěrový systém. Jeho složení a tloušťky jednotlivých vrstev byly navrženy přímo panem Štorkem a vychází z jeho zkušeností s těmito nátěry. Systém byl navrhován pro prostředí C5 dle ČSN EN ISO 9223.

Tabulka 16 - složení nátěrového systému a jeho doporučené tloušťky za sucha (NDFT)

	Základní nátěr	Vrchní nátěr
Název nátěru	AMERLOCK 400 AL	SIGMAFAST 210 HS
Tloušťka nátěru	280 μm	80 μm

Amerlock 400 Al je dvoukomponentní, vysokosušinná epoxidová nátěrová hmota. Obsahuje menší množství hliníku a je vhodná pro údržbu a rekonstrukce starých konstrukcí. Vyznačuje se dobrou přilnavostí a dobře odolává potřísnění a polití chemikáliemi. Doporučené hodnoty kotvícího povrchu (vyjádřeno hodnotou Rz) jsou 40-70 μm . Zde je použit jako základní nátěr.

Sigmafast 210 HS je dvousložkový vysokovrstvý zinkfosfátový polyuretanový nátěr s vysokým podílem sušiny. Jeho výhodou je vysoká odolnost proti atmosférickým vlivům, dobrá přilnavost na různé povrchy (běžná i galvanizovaná ocel) či jednoduchá aplikace konvenčním stříkáním. Díky tomu je renovace rychlejší, efektivnější a v neposlední řadě se snadněji dosahuje rovnoměrné tloušťky. Doporučené hodnoty kotvícího povrchu jsou 40-70 μm . Zde je použit jako vrchní nátěr.

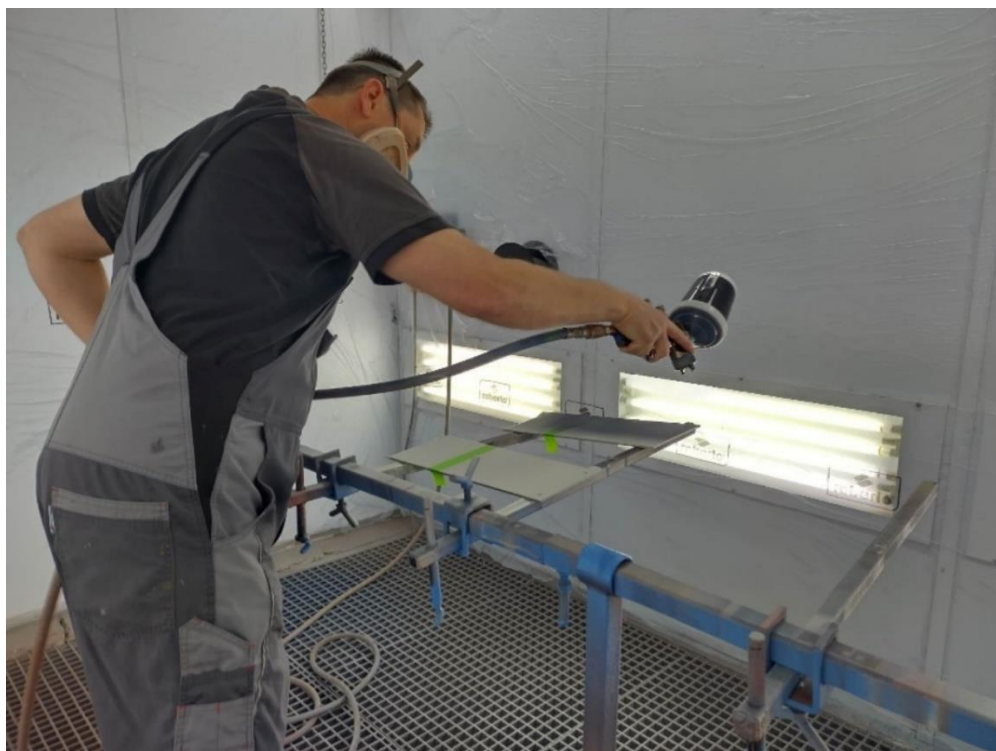
Nátěry byly naneseny celkem ve třech vrstvách. Nejdříve vrstva nátěru Amerlock 400 Al o tloušťce 140 μm , poté druhá vrstva Amerlock 400 Al o tloušťce 140 μm , nakonec vrstva Sigmafast 210 HS o tloušťce 80 μm . Po každém nátěru proběhlo sušení při 60 °C po dobu 30 minut pro urychlení doby schnutí a dále chlazení na pokojovou teplotu taktéž po dobu 30 minut.



Obrázek 53 - stříkací box Saima s filtrací a vytápěním



Obrázek 54 - vzorky ve stříkacím boxu



Obrázek 55 - aplikace nátěru Sigmafast 210 HS na vzorky



Obrázek 56 - vzorky A, D a E s naneseným nátěrem Sigmafast 210 HS

Po zatvrdnutí barvy (dle výrobce po čtyřech dnech) byly vzorky podrobeny zkouškám. Jako první byly zkoumány dosažené tloušťky nátěru v suchém stavu. Vzorky byly měřeny tloušťkoměrem Elcometer 456T.

Tabulka 17 - celková tloušťka nátěru na vzorcích za sucha

	Vzorek D otryskaný vodou (μm)	Vzorek A otryskaný ocelovými kuličkami (μm)	Vzorek E otryskaný vodou i ocelovými kuličkami (μm)
1. měření	377	359	350
2. měření	374	355	368
3. měření	369	358	358
4. měření	367	348	351
5. měření	369	354	354
6. měření	387	372	370
7. měření	356	368	364
8. měření	366	349	375
9. měření	369	364	373
10. měření	366	357	363
11. měření	358	370	373
12. měření	348	361	354
\bar{x}	367.1	359.5	362.7
σ	6.37	6.45	8.37

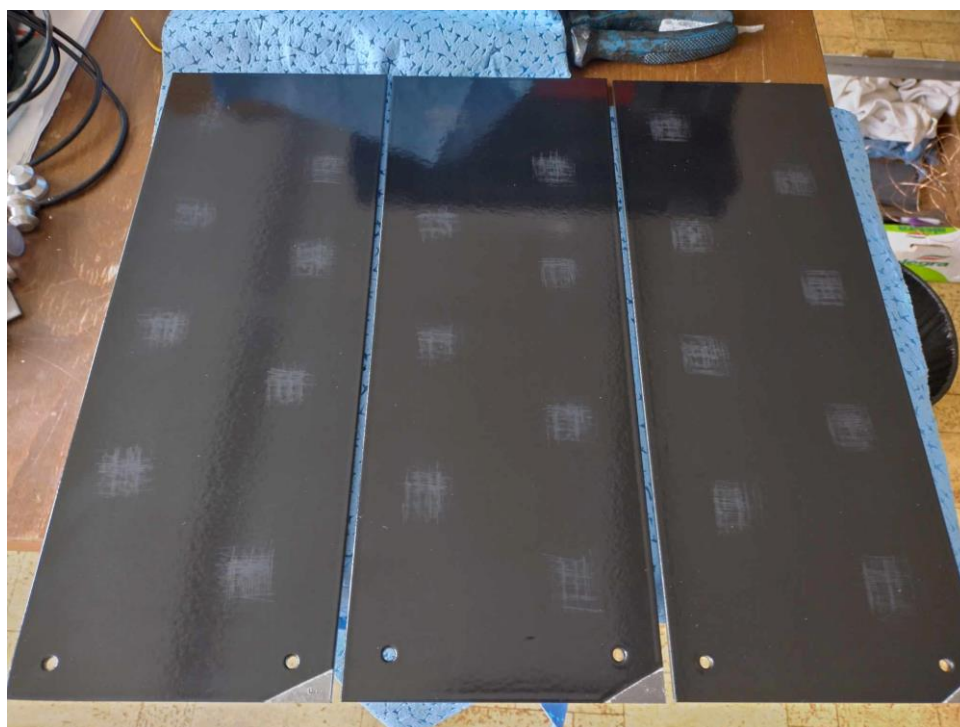
Z tabulky je patrné, že se povedlo dosáhnout rovnoměrné a stejně silné vrstvy na všech třech vzorcích. Rovněž průměrné hodnoty přesně odpovídají doporučeným tloušťkám zmíněným v návrhu nátěrového systému.

Po důkladném zaschnutí nátěrového systému po dobu jednoho týdne bylo přistoupeno k realizaci odtrhových zkoušek dle ČSN EN ISO 4624. Tyto zkoušky ověřují správně provedenou předúpravu povrchu a kvalitně nanesenou nátěrovou hmotu. Vzorky byly nejdříve zdrsňeny smirkovým papírem zrnitosti 80 kvůli lepší přilnavosti odtrhové panenky k nátěru. Následovalo odmaštění povrchu izopropylalkoholem a lepení panenky pomocí dvousložkového epoxidového lepidla UHU plus Endfest.

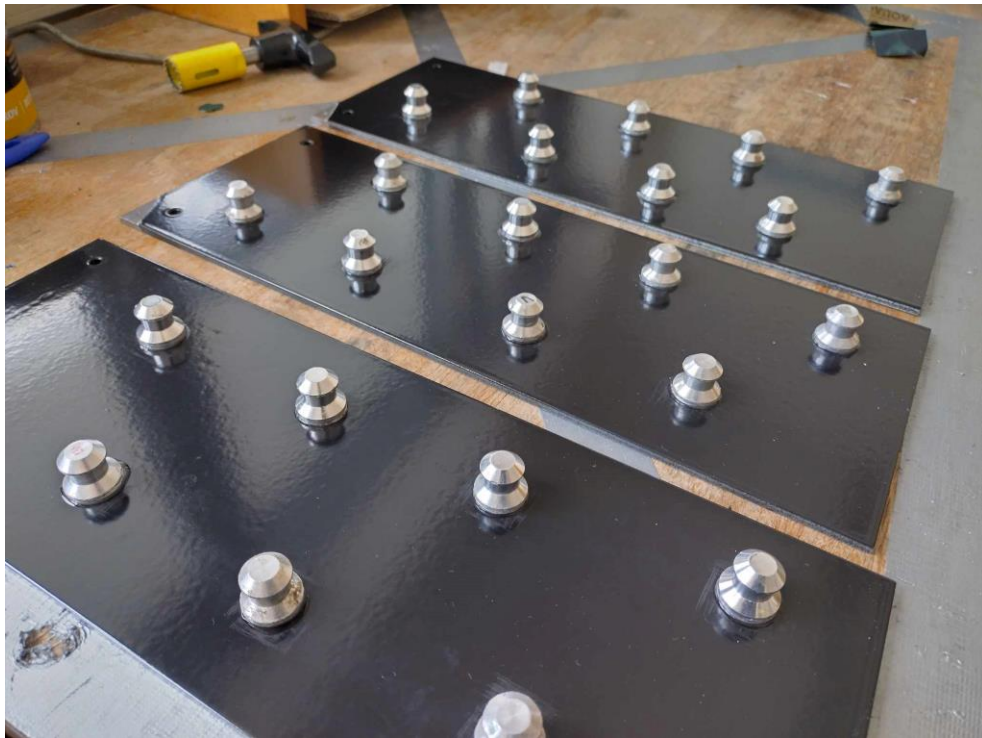
Proschnutí lepidla trvalo celkem dva dny, po této době byly panenky oříznuty dokola. Na každém vzorku bylo následně provedeno osm odtrhových měření, která byla následně zprůměrována a zpracována do tabulky 18. K samotnému odtrhu byl použit odtrhoměr značky Elcometer F510-20T. Při těchto měřeních nebyly z výpočtu průměrné hodnoty odstraňovány extrémy, a to především z důvodu nižšího počtu naměřených hodnot.



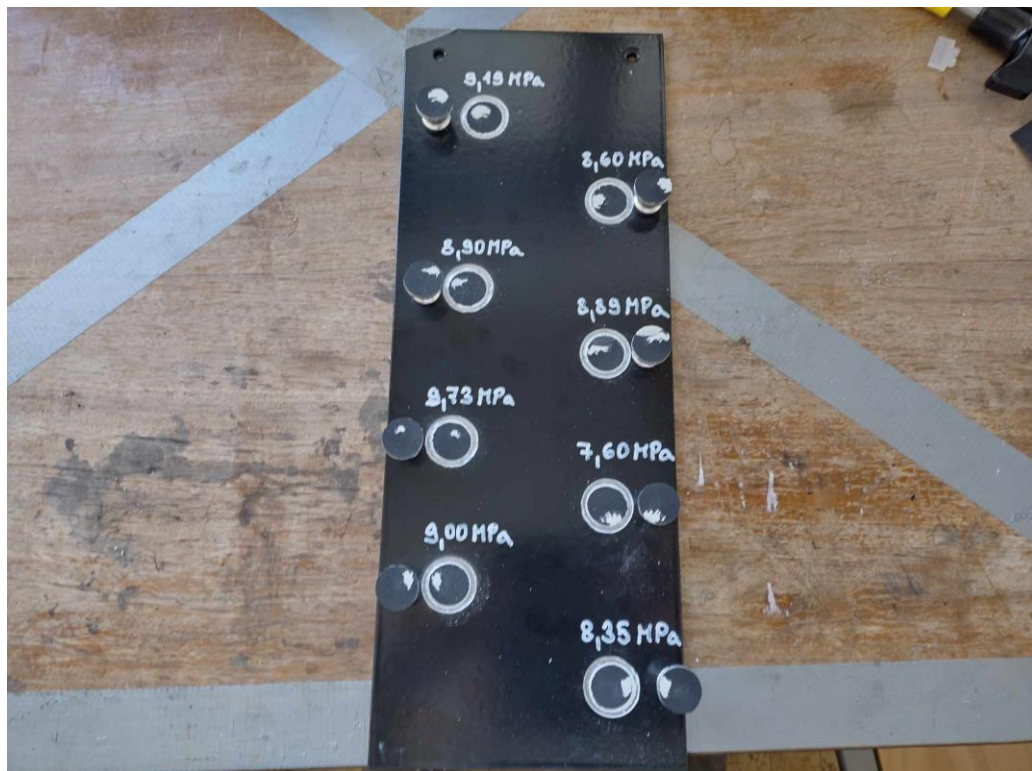
Obrázek 57 - odtrhoměr Elcometer F510-20T



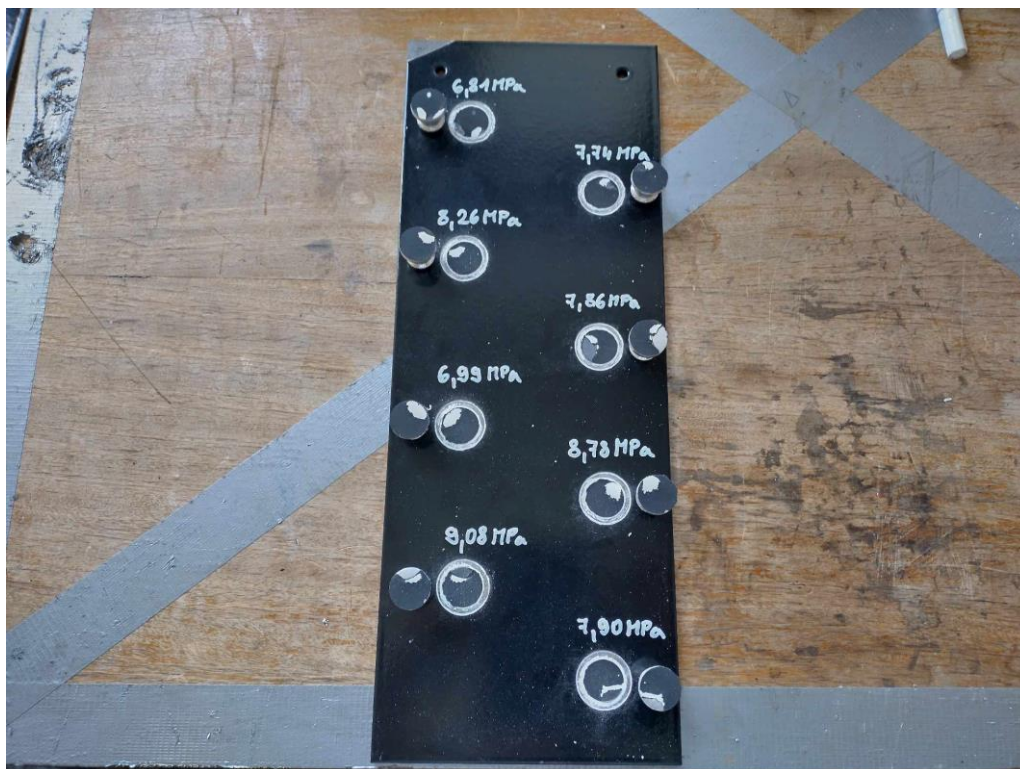
Obrázek 58 - zdrsňené vzorky připravené k lepení panenek



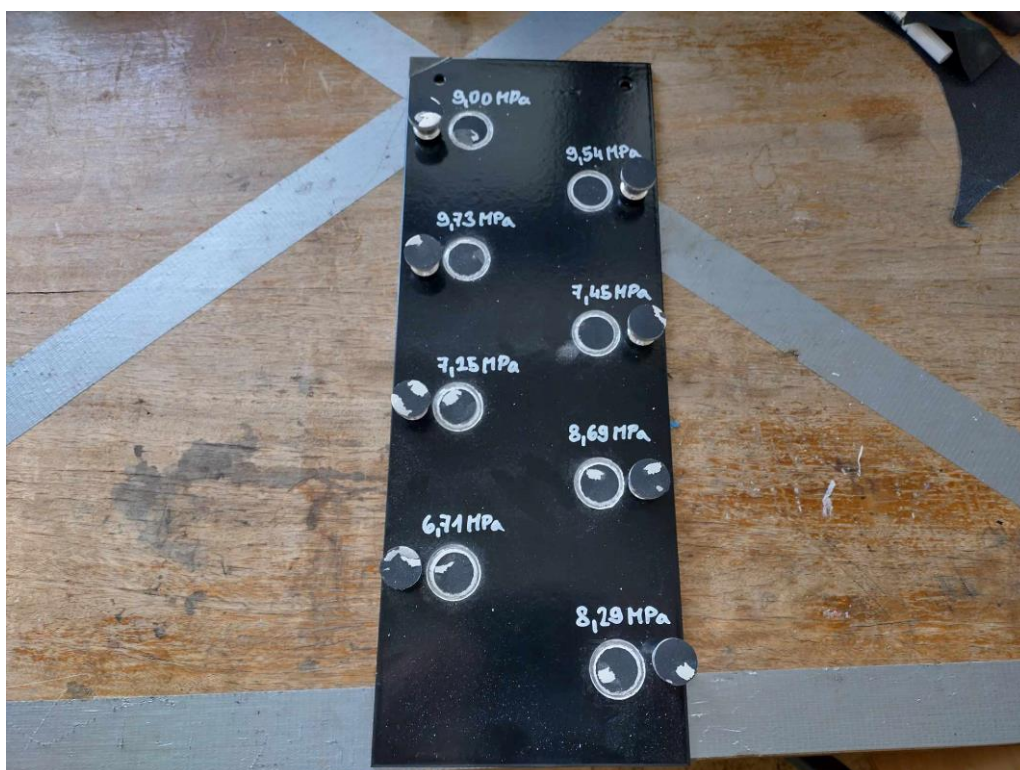
Obrázek 59 - vzorky s odtrhovými panenkami



Obrázek 60 - odtrhy provedené na vzorku E



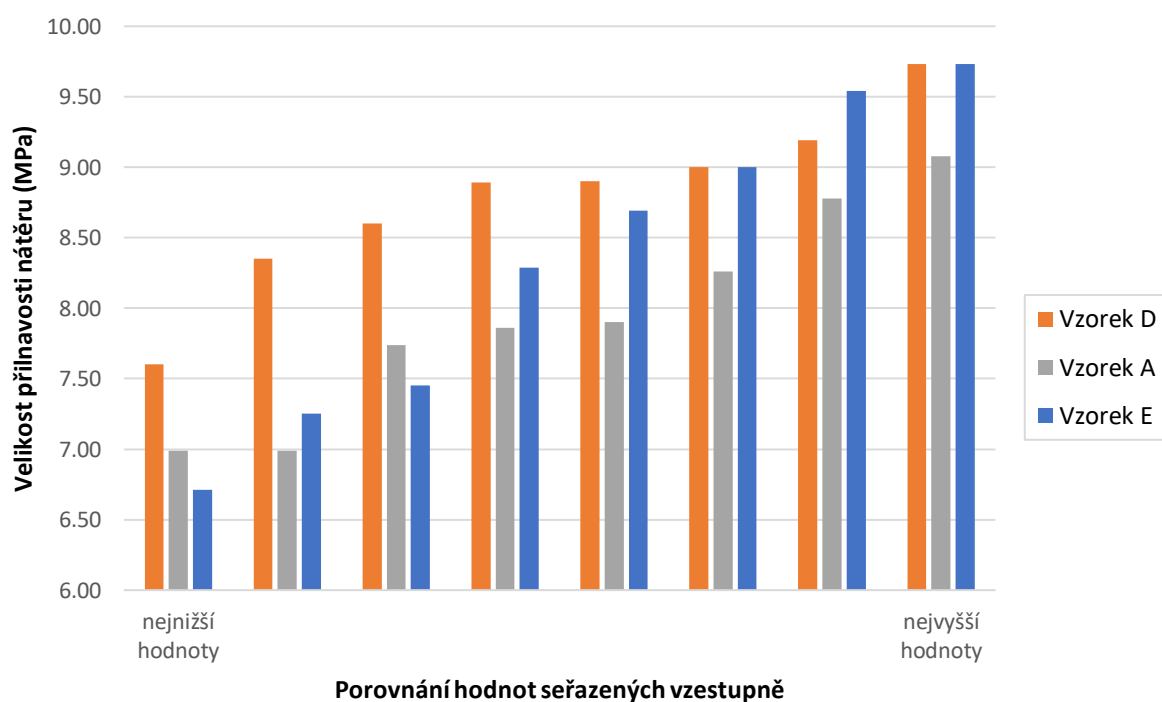
Obrázek 61 - odtrhy provedené na vzorku A



Obrázek 62 - odtrhy provedené na vzorku D

Tabulka 18 - hodnoty přilnavosti zjištěné odtrhovou zkouškou

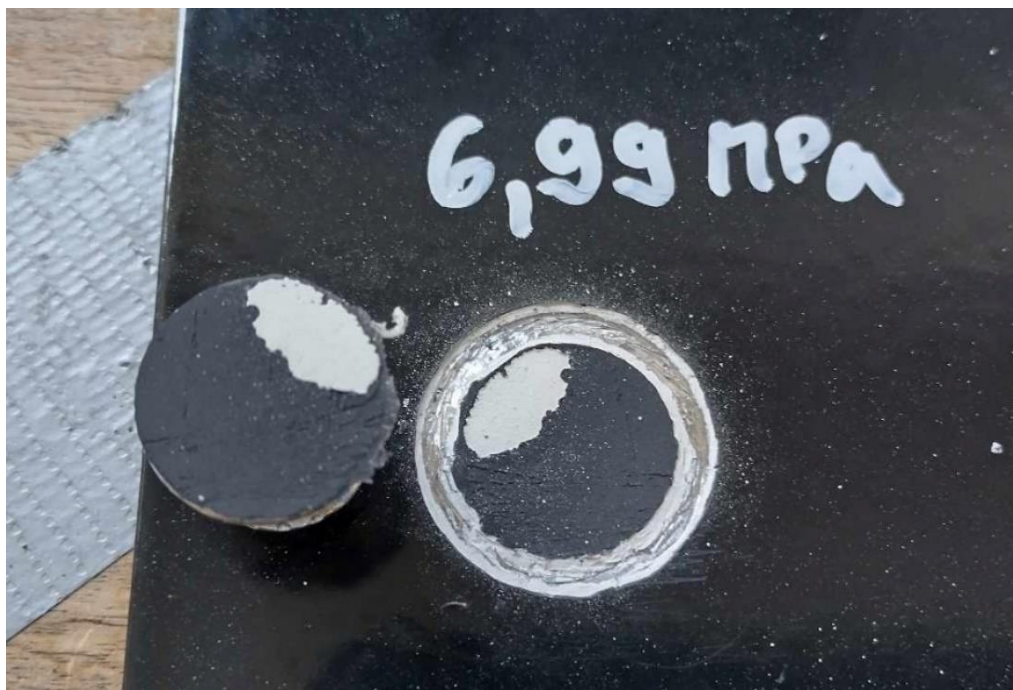
	Vzorek E otrysaný vodou i ocelovým abrazivem (MPa)	Vzorek A otrysaný ocelovým abrazivem (MPa)	Vzorek D otrysaný vodou (MPa)
1. měření	8.60	7.90	8.29
2. měření	8.89	8.78	8.69
3. měření	7.60	7.86	7.45
4. měření	8.35	7.74	9.54
5. měření	9.00	9.08	6.71
6. měření	9.73	6.99	7.25
7. měření	8.90	8.26	9.73
8. měření	9.19	6.81	9.00
\bar{x}	8.783	7.928	8.333
σ	0.627	0.787	1.106



Obrázek 63 - porovnání odtrhových zkoušek v sloupcovém grafu

6.5 Výsledky a diskuse ověření technologického postupu renovace

Všeobecně uznávaná nejnižší hodnota přilnavosti se pro správný nátěr nanesený ocel udává 5 MPa. Z výsledků je patrné, že všechny průměrné hodnoty tento výsledek převyšují, přičemž i nejnižší hodnota byla naměřena vyšší (6,71 MPa). K porušení však ve všech případech došlo z větší části uvnitř vrchního nátěru Sigmafast 210 HS, z menší části uvnitř základního nátěru Amerlock 400 Al, viz obrázek 61. Takto porušený nátěr se vyznačuje zbytky nátěru jak na panence, tak sledovaném vzorku.



Obrázek 64 – detail porušení soudržnosti uvnitř nátěrové hmoty

Tento typ porušení znamená, že naměřené hodnoty ověřily velikost vnitřní koheze v nátěru, nikoliv však jeho přilnavost k podkladu. Z tohoto důvodu není relevantní na základě výsledků porovnávat jednotlivé metody předúprav povrchu. Protože však odtrhnutí vždy proběhne v nejslabším místě celého nátěrového systému, lze s jistotou říct, že hodnoty přilnavosti k ocelovému povrchu je vždy vyšší než naměřené hodnoty. To znamená, že všechny použité předúpravy povrchu zajišťují dostatečnou adhezi nátěru k podkladu.

Volba konkrétní předúpravy je tedy komplexní problém a při jejich návrhu je třeba zvážit následující výhody a nevýhody:

- Samotné tryskání suchým abrazivem je levnou a jednoduchou metodou, která ale neodstraní většinu usazených chloridů na povrchu oceli. Je třeba zvolit vhodnou hrubost abraziva, která zajistí vyhovující kotvící profil. Použité abrazivum je navíc nutné zachytávat a ekologicky likvidovat, což zvyšuje finanční zátěž.
- Samotné tryskání vysokotlakou vodou je poměrně nákladná technologie, a to hlavně kvůli vstupní investici na koupi stroje pro jeho realizaci. Oproti běžně uznávané tezi, že povrch čistí nedokonale a neposkytuje vhodný kotvící povrch, bylo však měřením dokázáno, že přilnavost následně naneseného nátěru je vyhovující. Kotvící profil vyjádřený hodnotou Rz byl u této metody naměřen 41,286 μm , což je hodnota, která pro aplikaci nátěru dle výrobce plně postačuje. Při použití této metody je však nutné nátěr nanést do několika hodin od očištění, jinak hrozí riziko vzniku rozsáhlé bleskové koroze.
- Kombinace obou metod je považována za nejvhodnější způsob předúpravy povrchu při renovačních pracích. Její výhodou je mimo jiné účinné odstranění zbytku nečistot a případné bleskové koroze. Je však spojená s velmi vysokými náklady i ekologickou zátěží kvůli nutnosti recyklace použitého abraziva.

Pro prezentaci technologického postupu byl také zhotoven vzorek, dokumentující postup krok po kroku. Oddíl A představuje původní stav ocelové konstrukce, oddíl B stav po otryskání ultravysokotlakou vodou, oddíl C stav po otryskání suchým abrazivem, oddíl D stav po aplikaci základového nátěru a oddíl E konečný stav po aplikaci vrchního nátěru.



Obrázek 65 - prezentační vzorek dokumentující technologický postup

7. ZÁVĚR

Cílem této BP bylo získání dalších důležitých parametrů pro aplikace patinujících ocelí typu Corten a Atmofix. V experimentální části bylo ověřeno korozní chování těchto ocelí v různých podmínkách, dále byl navržen a ověřen vhodný technologický postup pro renovaci těchto typů ocelí na mostních konstrukcích. Bylo ověřeno, že při vytvoření vhodného kotvícího profilu, pečlivém odmaštění a kvalitním nanesení nátěrového systému jsou hodnoty odtrhových zkoušek u všech provedených předúprav vyhovující, a záleží tedy na konkrétních lokálních podmínkách, který postup bude zvolen. Nejlepší ochranu poskytuje dvoustupňové tryskání ultravysokotlakou vodou a vhodným suchým abrazivem, přípustná však za dodržení zmíněných podmínek je i ekonomicky výhodnější alternativa samotného tryskání ultravysokotlakou vodou. Tato práce je součástí výzkumných prací prováděných na Ústavu strojírenské technologie FS ČVUT v oblasti sledování korozního poškození a aplikace povrchových úprav.

Bibliografie

- [1] *Atmofix* [online]. In: . [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: http://atmofix.cz/ocel_cz.php
- [2] *Technické podmínky staveb pozemních komunikací*. 1. vydání. Praha: Mott MacDonald, 2008.
- [3] BAŽAN, Jiří a Ladislav SOCHA. *Základy teorie a technologie výroby železa a oceli: Část II - Základy teorie a technologie výroby oceli* [online]. 58 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/05_Zaklady_teorie_a_tecnologie_vyroby_zeleza_a_oceli_II_Zaklady_teorie_a_tecnologie_vyroby_oceli/Bazan_Vyroba_zeleza_a_ocel_II.pdf
- [4] ČIŽMÁROVÁ, Elena a Jana SOBOTOVÁ. *Nauka o materiálu I. a II.: cvičení*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2.
- [5] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN isbn978-80-86960-20-3.
- [6] KLEČKOVÁ, Zuzana. *Pece a energetické hospodářství* [online]. 70 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/23_Pece_a_energeticke_hospodarstvi/Kleckova_Pece_a_energeticke_hospodarstvi.pdf
- [7] HOUZAR, David. *Historie výroby oceli*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav strojního inženýrství.
- [8] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1991.
- [9] NOVÁK, Pavel. *Druhy koroze kovů. Koroze a ochrana materiálu* [online]. 2005, 8 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF
- [10] NOVÁK, Pavel. *Koroze kovů* [online]. Praha: Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha, 2016, 63 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected>
- [11] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2009.

ISBN 978- 80-7043-668-1.

- [12] *Odstranění primárních a sekundárních okují* [online]. In: . [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://cz.kompass.com/p/fluid-engineering-a-s/cz054592/ostrik-odstraneni-primarnich-a-sekundarnich-okuji/0bb46933-de84-406f-9ec7-f9c4a8e1b752/>
- [13] KREIBICH, Viktor. *Úvod do problematiky povrchových úprav*. České vysoké učení technické v Praze, 2022.
- [14] DRIML, Michal. *Chování patinující oceli v různých korozních prostředích*. Praha, 2020. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Viktor Kreibich
- [15] *ČSN EN ISO 9223: Koroze kovů a slitin: Korozní agresivita atmosféry - Klasifikace, stanovení a odhad*. 2012.
- [16] *Filco, s r.o.: h-x diagram vlhkého vzduchu* [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.filco.cz/uvod/knihovna/h-x-diagram-vlhkeho-vzduchu/>
- [17] NOŽIČKA, Jiří. *Základy termomechaniky*. Vyd. 2. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04022-5.
- [18] KREISLOVÁ, Kateřina, Hana GEIPLOVÁ, Lubomír MINDOŠ a Alena KOUKALOVÁ. *Protikorozní ochrana konstrukce mýtných bran v ČR* [online]. 6 [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/266462853_PROTIKOROZNI_OCHRANA_KONSTRUKCE_MYTNYCH_BRAN_V_CR_CORROSION_PROTECTION_OF_TURNPIKE_PORTAL_STRUCTURE_AT_CZECH_REPUBLIC
- [19] PROŠEK, Tomáš. *Urychlené korozní zkoušky* [online]. In: . [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.technopark-kralupy.cz/urychlene-korozni-zkousky>
- [20] *Korozní zkoušky prováděné ve SVÚOM s.r.o.* [online]. In: . [cit. 2023-07-10]. Dostupné z: <http://www.svuom.cz/index.php?zobraz=anotace2&lang=cz&idnum=53>
- [21] *Stavebniny Vala: jekl 30x50* [online]. In: . [cit. 2023-07-16]. Dostupné z: https://stavebniny-levne.cz/transform-jekl-50x30-mm-delka-6-m-zinkovany-2.html?gclid=Cj0KCQjwqs6lBhCxARIsAG8YcDh4oCDA7qgclpZpvX8wo9gB6MCywYgZF4fXKo4DcxJvL-NPWLoJ3pcaAuoYEALw_wcB
- [22] HOLÝ, Petr. RECENZE: Corrosion and Corrosion Control. *Chemické listy* [online]. 2 [cit.

- 2023-03-18]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2009_02_179-180.pdf
- [23] ZOUBEK, Michal. *Nátěrové hmoty*. Praha, České vysoké učení technické v Praze.
- [24] KOPECKÝ, Jakub. *Nátěrové systémy pro korozní prostředí C3-C5*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Petr Drašnar.
- [25] KUCHAR, Jiří. *Práškové nátěrové hmoty*. České vysoké učení technické v Praze, Ústav strojírenské technologie, 2022.
- [26] KUCHAR, Jiří. *Speciální práškové plasty*. České vysoké učení technické v Praze, Ústav strojírenské technologie, 2022.
- [27] ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1999. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-0671-0.
- [28] SOURMAIL, Thomas a Harshad BHADESHIA. *Stainless Steels* [online]. University of Cambridge, 2008 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2005/Stainless_steels/stainless.html
- [29] *Nosné konstrukce z patinujících ocelí Atmofix: Podniková norma VN 73 1466*. Ostrava - Vítkovice, 1995.
- [30] KREIBICH, Viktor. *Znalecký posudek: Posouzení aktuálního technického stavu poruch stavebního objektu SO 216 č.j. 12/VaV - ZP/2016*. In: . Praha: České vysoké učení technické v Praze, Ústav strojírenské technologie, 2016.
- [31] KREIBICH, Viktor. *Odborné stanovisko Fakulty strojní Českého vysokého učení technického k žádosti Ředitelství silnic a dálnic ČR: č.j.: RSD-356753/2021-1*. Praha, 2021.
- [32] KNOTKOVÁ, Dagmar, Kateřina KREISLOVÁ, Lubomír ROZLÍVKA, Vít KŘIVÝ a Jitka PODJUKLOVÁ. *Hodnocení vrstev patin na konstrukcích z patinujících ocelí* [online]. [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <http://www.atmofix.cz/resources/hodvrstpatinocel.pdf>
- [33] *ČSN 03 8260: Ochrana ocelových konstrukcí proti atmosférické korozi*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1983.
- [34] MOHAN, Nikhil, Saravana KARTHIKEYAN a Munisamy SAKTHIVEL. *Optimization and microstructure analysis of Corten steel joint in mag welding by post heat treatment*

- [online]. 2020 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319322163>
- [35] MORCILLO, Manuel, Ivan DIAZ, Heidis CANO, Belén CHICO a Daniel DE LA FUENTE. *Atmospheric corrosion of weathering steels. Overview for engineers.: Part II: Testing, inspection, maintenance* [online]. 16 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819315843>
- [36] KREISLOVÁ, Kateřina a Vít KŘIVÝ. *Hodnocení korozní odolnosti nízkolegované oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi s 3 % Ni* [online]. 8 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://sciendo.com/pdf/10.2478/kom-2014-0002>
- [37] POŠVÁŘOVÁ, Miloslava a Karel MATOCHA. *Rizika chování patinujících ocelí použitých na mostních konstrukcích* [online]. 2009 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/rizika-chovani-patinujicich-oceli-pouzitych-na-mostnich-konstrukcich/>
- [38] *Report on Investigation of Inspection Standard for Unpainted Weathering Steel Bridge*. Independent Administrative Instruction Civil Engineering Research Institute of Hokkaido, Japan Association of Bridge Engineering, Japan Iron and Steel Federation, 2004.
- [39] UNGERMANN, Dieter a Peter HATKE. *European design guide for the use of weathering steel in bridge construction* [online]. 86 [cit. 2023-06-22]. Dostupné z: <https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/ECCS-Design-Guide-Weathering-Steel-Bridges.pdf>
- [40] *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*. 2021.
- [41] HOSENSEIDL, Vítek. *Čištění povrchů z ekologického hlediska*. Praha, 2022. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Viktor Kreibich
- [42] LUKAVSKÝ, Ladislav, Stanislav BOUŠKA a Václav FIALA. *Nátěrové hmoty*. 3., upravené vyd. Praha: Merkur, 1993. ISBN 80-7032-469-4.
- [43] *ČSN EN ISO 12944-5, Část 5: Ochranné nátěrové systémy*. 1999.
- [44] KREISLOVÁ, Kateřina. *Technická normalizace v oboru koroze a ochrana proti korozi*

[online]. 20 [cit. 2023-06-19]. Dostupné z:
https://www.unmz.cz/files/SDN%202013/Kreislova_Technick%C3%A1%20normalizace%20-%202010-2013.pdf

[45] *Simulované historické údaje o klimatu a počasí pro Kolín* [online]. In: . [cit. 2023-06-22]. Dostupné z:
https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodell ed/kol%c3%adn_%c4%8cesko_3073371

[46] ZOUBEK, Michal a Viktor KREIBICH. Navrhování konstrukcí z oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi typu Atmofix. *Povrcháři* [online]. **2018**(8), 5 [cit. 2023-06-24]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201808_povrchari.pdf

[47] *Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ-301* [online]. In: . [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.priam.cz/mereni/drsnomer-mitutoyo-surfest-sj-301/>

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Dělení prostředí podle korozní agresivity [15]	18
Tabulka 2 - klasifikace prostředí dle doby ovlhčení [15]	20
Tabulka 3 - Složení materiálů 15 217 a 15 127 dle ČSN [29]	26
Tabulka 4 - složení materiálů S355J0WP a S355J2W [1]	27
Tabulka 5 - požadované mezery mezi profily [33]	31
Tabulka 6 - Směrné korozní úbytky pro uhlíkové oceli [33]	33
Tabulka 7 - Směrné korozní úbytky pro patinující oceli [33]	33
Tabulka 8 - mechanické vlastnosti vybraných patinujících ocelí [29] [34]	38
Tabulka 9 - doporučovaná složení nátěrových systémů a jejich tloušťek [43]	40
Tabulka 10 - typy základních nátěrových hmot [43]	40
Tabulka 11 - typy pojiv a počet jejich složek [43]	41
Tabulka 12 - vysvětlivky k zkratkám z tabulky 9 [43]	41
Tabulka 13 - drsnost povrchu po tryskání vzorku A	58
Tabulka 14 - drsnost povrchu po tryskání ultravysokotlakou vodou (vzorek D)	60
Tabulka 15 - drsnost povrchu po tryskání vodou a ocelovým abrazivem (vzorek E)	60
Tabulka 16 - složení nátěrového systému a jeho doporučené tloušťky za sucha (NDFT)	61
Tabulka 17 - celková tloušťka nátěru na vzorcích za sucha	64
Tabulka 18 - hodnoty přilnavosti zjištěné odtrhovou zkouškou	68

Seznam obrázků

Obrázek 1 - metastabilní rovnovážný diagram $Fe - Fe_3C$ [5]	12
Obrázek 2 - vysoká pec s trojicí cowperů	13
Obrázek 3 - tvorba okují na polotovaru zpracovaném za tepla [12]	16
Obrázek 4 - elektrochemická řada potenciálů kovů při 25 °C [10]	16
Obrázek 5 - Molliérův diagram vlhkého vzduchu [16]	19
Obrázek 6 - komora pro cyklické korozní zkoušky [19]	21
Obrázek 7 - pozinkovaný jelek [21]	22
Obrázek 8 - šroubový spoj profilů z patinující oceli [1]	29
Obrázek 9 - vhodná a nevhodná volba polohy L profilů [33]	30
Obrázek 10 - odvodnění uzavřeného U profilu zhotovením otvoru [33]	30
Obrázek 11 - eliminace těsně neuzavřené spáry volbou profilu a zavařením [33]	31
Obrázek 12 - eliminace vzniku štěrbin zvětšením vzdálenosti „l“ mezi profily [33]	31
Obrázek 13 - vhodné řešení styčnicku pomocí zavařených průběžných profilů [33]	32
Obrázek 14 - nevhodné řešení styčnicku se vzniklou štěrbinou mezi L profily [33]	32
Obrázek 15 - závislost PAI na expozičním času a ročních korozních úbytků na PAI [35]	34
Obrázek 16 - PAI diagram [35]	35
Obrázek 17 - hodnocení ochranné vrstvy dle TP197 [37]	36
Obrázek 18 - hodnocení ochranné vrstvy dle japonských etalonů [38]	37
Obrázek 19 - vzorek ve stavu od dodavatele	42
Obrázek 20 - korozní komora pro zkoušku v solné mlze	43
Obrázek 21 - konstrukce se zavěšeným vzorkem pro atmosférickou zkoušku	44
Obrázek 22 - umístění vzorku pro atmosférickou zkoušku [44]	44
Obrázek 23 - tryskáč zařízení firmy S.A.F.	45
Obrázek 24 - vzorek po otryskání	45
Obrázek 25 - vzorek v solné komoře po 24 hodinách	46
Obrázek 26 - vzorek v solné komoře po 48 hodinách	46
Obrázek 27 - vzorek v solné komoře po 72 hodinách	47
Obrázek 28 - vzorek v solné komoře po 96 hodinách	47
Obrázek 29 - vzorek v solné komoře po 168 hodinách	48
Obrázek 30 - vzorek v solné komoře po 336 hodinách	48
Obrázek 31 - vzorek v solné komoře po 504 hodinách	49
Obrázek 32 - vzorek v solné komoře po 672 hodinách	49
Obrázek 33 - obvyklé meteorologické podmínky v obci Kolín [45]	50
Obrázek 34 - srážkové úhrny v obci Kolín za měsíc květen [45]	50

Obrázek 35 - srážkové úhrny v obci Kolín za měsíc červen [45]	50
Obrázek 36 - vzorek v atmosféře po 1 dni.....	51
Obrázek 37 - vzorek v atmosféře po 10 dnech	51
Obrázek 38 - vzorek v atmosféře po 20 dnech	52
Obrázek 39 - vzorek v atmosféře po 40 dnech	52
Obrázek 40 - vzorek v atmosféře po 60 dnech	53
Obrázek 41 - porovnání obou vzorků po skončení korozních zkoušek	53
Obrázek 42 - zkouška odtržením pásky, vzorek ze solné komory.....	54
Obrázek 43 - zkouška odtržením pásky, vzorek z atmosférické zkoušky	54
Obrázek 44 - etalon 3 dle TP197 [2].....	55
Obrázek 45 - etalon 5A dle TP197 [2]	55
Obrázek 46 - poškození mostních konstrukcí posypovými solemi [46]	56
Obrázek 47 - nevyhovující patina s výraznými chloridovými hnízdy	56
Obrázek 48 - drsnoměr Mitutoyo SJ-301 [47]	57
Obrázek 49 - vzorek A po otryskání ocelovým abrazivem.....	57
Obrázek 50 - ultravysokotlaký vodní tryskač EcoMaster MK3 2500/26.....	58
Obrázek 51 - čištění vzorků ultravysokotlakým tryskačím strojem	59
Obrázek 52 - vzorky po tryskání ultravysokotlakou vodou	59
Obrázek 53 - stříkáč Saima s filtrací a vytápěním.....	62
Obrázek 54 - vzorky ve stříkačím boxu.....	62
Obrázek 55 - aplikace nátěru Sigmafast 210 HS na vzorky	63
Obrázek 56 - vzorky A, D a E s naneseným nátěrem Sigmafast 210 HS	63
Obrázek 57 - odtrhoměr Elcometer F510-20T.....	65
Obrázek 58 - zdrsňené vzorky připravené k lepení panenek	65
Obrázek 59 - vzorky s odtrhovými panenkami	66
Obrázek 60 - odtrhy provedené na vzorku E	66
Obrázek 61 - odtrhy provedené na vzorku A.....	67
Obrázek 62 - odtrhy provedené na vzorku D	67
Obrázek 63 - porovnání odtrhových zkoušek v sloupcovém grafu.....	68
Obrázek 64 – detail porušení soudržnosti uvnitř nátěrové hmoty.....	69
Obrázek 65 - prezentační vzorek dokumentující technologický postup	70

Přílohy