

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

## CHOVÁNÍ PATINUJÍCÍ OCELI V RŮZNÝCH KOROZNÍCH PROSTŘEDÍCH

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Autor:** Bc. Michal Driml  
**Studijní obor:** Výrobní a materiálové inženýrství  
**Vedoucí práce:** doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.  
**Konzultant:** Ing. Jiří Kuchař Ph.D., Ing. Michal Zoubek  
**Praha 2020**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Driml	Jméno:	Michal	Osobní číslo:	419586
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní				
Zadávající katedra/ústav:	Ústav strojírenské technologie				
Studijní program:	Strojní inženýrství				
Studijní obor:	Výrobní a materiálové inženýrství				

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Název diplomové práce anglicky:

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor sledované problematiky
2. Návrh ověření metodiky korozních zkoušek
3. Ověření chování patinující oceli
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

Datum zadání diplomové práce: 29.04.2020      Termín odevzdání diplomové práce: 31.07.2020

Platnost zadání diplomové práce: 31.12.2020

<hr/> <small>doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc. podpis vedoucí(ho) práce</small>	<hr/> <small>doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry</small>	<hr/> <small>prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)</small>
---	--	--

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

<hr/> <b>Datum převzetí zadání</b>	<hr/> <b>Podpis studenta</b>
------------------------------------	------------------------------

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma: „**Chování patinující oceli v různých korozních prostředích**“ vypracoval samostatně a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použil, cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Dále prohlašuji, že 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 .....

.....  
Bc. Michal Driml

## **ANOTACE:**

**Jméno autora:** Bc. Michal Driml

**Název práce:** CHOVÁNÍ PATINUJÍCÍ OCELI V RŮZNÝCH KOROZNÍCH  
PROSTŘEDÍCH

**Rozsah práce:** 60-80

**Školní rok vyhotovení:** 2019/2020

**Ústav:** Ústav strojírenské technologie 12133

**Vedoucí DP:** doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

**Konzultant:** Ing. Jiří Kuchař Ph.D. IWE, Ing. Michal Zoubek

**Klíčová slova:** Koroze kovů

Relativní vlhkost

Rosný bod

Patinující ocel

## **ABSTRAKT:**

Teoretická část práce pojednává o korozi patinující oceli v atmosférických podmínkách, relativní vlhkosti vzduchu, rosném bodu, činitelích ovlivňující tvorbu koroze, předúpravách a úpravách patinující oceli pro velké konstrukce.

Experimentální část se zabývá zkoušením vlivů posypových solí na tvorbu patiny na patinující oceli Atmofix A.

## **ABSTRACT:**

The theoretical part deals with corrosion of weathering steels in atmospheric conditions, relative humidity, dew point, factors influencing the formation of corrosion, pretreatments and modifications of patinating steels typical for large structures.

The experimental part deals with testing the effects of road salt on the formation of patina on the weathering steel Atmofix A.

Poděkování:

Děkuji mému vedoucímu diplomové práce **doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc.** a konzultantům **Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D. IWE** a **Ing. Michalu Zoubkovi**, kteří mi poskytli materiálové zázemí a zároveň pomohli při řešení experimentální části této diplomové práce.

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Teoretická část.....	11
2.1. Koroze.....	11
2.1.1. Atmosférická koroze kovů.....	11
2.1.2. Koroze v elektrolytech.....	12
2.1.3. Měření a hodnocení korozních produktů.....	13
2.2. Stupně agresivity korozního prostředí ČSN EN ISO 9223.....	13
2.3. Doba ovlhčení dle ČSN EN ISO 9223.....	14
2.4. Vlhkost vzduchu.....	15
2.4.1. Dilatační vlhkoměr.....	16
2.4.2. Psychrometrická metoda – vlhký a suchý teploměr.....	17
2.4.3. Kapacitní čidlo.....	19
2.4.4. Optická metoda.....	19
2.5. Rosný bod.....	20
2.5.1. Stanovení rosného bodu z Mollierova h-x diagramu.....	20
2.5.2. Vliv tloušťky materiálu na rosný bod a orosení.....	22
2.6. Průmyslové znečištění.....	23
2.7. Chemické rozmrazovací látky.....	24
2.7.1. Chlorid sodný NaCl.....	24
2.7.2. Chlorid vápenatý CaCl <sub>2</sub> .....	25
2.7.3. Další rozmrazovací prostředky.....	26
2.8. Další vlivy prostředí a vliv konstrukce.....	26
2.9. Povrch a jeho charakteristiky.....	27
2.9.1. Povrch.....	27
2.9.2. Drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4287:1999.....	29
2.10. Patinující oceli.....	30
2.10.1. Historie patinující oceli.....	30

2.10.2. Značení patinující oceli .....	31
2.10.3. Vlastnosti patinující oceli.....	31
2.10.4. Patinující vrstva .....	33
2.10.5. Složení patinující vrstvy .....	33
2.10.6. Použití patinující oceli .....	34
2.10.7. Údržba a opravy defektů patiny .....	35
2.11. Předúpravy a čištění povrchu .....	36
2.11.1. Tryskání.....	36
2.11.2. Čištění vysokotlakou vodou .....	39
2.11.3. Ochrana povrchu po očištění .....	40
2.11.4. Zbytkové částice po tryskání.....	41
3. Praktická část.....	42
3.1. Úvod.....	42
3.2. Praktický experiment .....	42
3.2.1. Materiál zkušebních vzorků.....	42
3.2.2. Ověření chemického složení zkušebních vzorků.....	43
3.2.3. Předúprava zkušebních vzorků.....	45
3.2.4. Vyhodnocení povrchu vzorků před experimentem .....	47
3.2.5. Maskování hran vzorků.....	49
3.2.6. Zkušební prostředí.....	50
3.2.7. Zkušební zařízení .....	51
3.2.8. Zkušební roztoky .....	53
3.2.9. Zkušební podmínky .....	56
3.2.10. Průběh experimentu.....	58
3.2.11. Vyhodnocení výsledků experimentu.....	62
3.2.12. Vyhodnocení výsledků .....	70
3.3. Ověření patiny na volně dostupných dílech z patinující oceli .....	71
3.3.1. Dlouhodobě exponovaná díla .....	71
3.3.2. Popis prostředí.....	74



3.3.3. Tloušťka patinující vrstvy .....	75
3.3.4. Vyhodnocení výsledků .....	77
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.....	78
5. Závěr.....	79
Použitá literatura .....	80
Seznam obrázků .....	84
Seznam tabulek .....	86
Seznam grafů.....	86

# 1. Úvod

Základním předpokladem pro správnou volbu materiálu, jeho povrchové úpravy a tím i požadované životnosti výrobku je správné určení korozního prostředí s uvážením všech jeho vlivů. Správně zvolený základní materiál a následně vhodně zvolená, i správně zhotovená povrchová úprava mají zásadní vliv na životnost vytvořeného díla. Životnosti povrchové úpravy se odvíjí též od zvoleného technologického postupu výroby. Samotná povrchová úprava výrobku se skládá z předúpravy, případných mezivrstev a finální úpravy. Na samotnou kvalitu, životnost a funkčnost povrchové úpravy má nezanedbatelný vliv správně zvolená a vyhotovená předúprava. Pro její správnou funkci musí být předúprava i povrchová úprava odolná při všech parametrech prostředí, se kterými se může výrobek dostat do styku v místě jeho aplikace. Korozní pochody jsou nedílnou součástí skoro každého v technické praxi používaného materiálu. Jsou nežádoucí a je nutné jim předcházet, aby nedocházelo ke ztrátě funkčních vlastností výrobku nebo dokonce ohrožení životů. Z těchto důvodů je nutné pochopit problematiku tvorby koroze. Nedílnou součástí této problematiky jsou vnější vlivy, které korozi urychlují. V životním cyklu výrobku často nastávají situace, které zkrátí životnost výrobku. Nejběžnějšími příklady takovýchto situací je mechanické poškození, negativní změna chemického složení prostředí vůči původním hodnotám nebo nepříznivé klimatické vlivy. Je proto povinností projektanta, konstruktéra a zhotovitele, aby všechny tyto vlivy bral vždy do úvahy při návrhu díla. V případě selhání je povinností vhodným způsobem usilovat o nápravná opatření vedoucí k zajištění jeho potřebné a plánované životnosti.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vlivu chloridů v atmosférických podmínkách na korozi kovů na bázi železa.

## 2. Teoretická část

### 2.1. Koroze

Jedna z možných definic koroze říká, že koroze je proces, při němž se materiál z termodynamického hlediska vrací do prapůvodního přírodního stabilního stavu, v kterém byl před jeho zpracováním. Tím je myšlen rozpad zpracovaného materiálu na oxidy a sulfidy. Současně je nutné si uvědomit, že koroze je způsobena vlivy působícími z prostředí na materiál.

Korozní napadení je problematické z mnoha důvodů. Prvním velice závažným důvodem je snížení bezpečnosti dílů způsobené korozním napadením. Druhým jsou nezanedbatelné ekonomické ztráty vzniklé poškozením povrchu dílů. Dalšími problémy jsou například zhoršení vzhledu nebo funkčních vlastností dílů. Nejen z těchto, ale i z mnoha dalších důvodů je proto nutné věnovat zvýšenou pozornost nejen provozním podmínkám, ale i vnějším vlivům prostředí působícím na díl nebo i celé dílo. Nemalou pozornost je také nutné věnovat případné přepravě těchto dílů na místo, kde budou vykonávat svůj účel. [35]

Korozní napadení však nemusí být pouze škodlivé. Korozi lze využít například u uměleckých děl nebo u konstrukcí z patinující oceli, kde koroze vytváří pasivační ochrannou vrstvu. Nutností je však vysoký nárok na ověření prostředí, v němž bude díl plnit svůj účel, neboť právě tato ocel je velice náročná na vnější podmínky prostředí.

Vhodnou volbou předúpravy a následné úpravy povrchu lze korozi oddálit nebo zamezit, a to za účelem prodloužení životnosti dílu.

#### 2.1.1. Atmosférická koroze kovů

Nejčastějším typem korozního napadení, se kterým se běžně setkáváme je atmosférická koroze. Toto korozní napadání kovů sužuje lidstvo již 3500 let. Její výzkum lze však datovat teprve v posledních 100 letech, kdy se lidstvo zabývá systematickým výzkumem, simulací a vyhodnocováním korozních zkoušek.

Velké procento dílů vyráběných z oceli je v průběhu své životnosti vystaveno vlivům atmosférické koroze, a proto je nezbytné brát v úvahu následující faktory, které mohou ovlivnit životnost těchto dílů:

1. atmosférické srážky
2. chemické složení atmosféry
3. úroveň relativní vlhkosti

4. dobu ovlhčení
5. teplotu a její výkyvy
6. intenzitu slunečního záření
7. biologické činitele.

Tyto faktory je vždy nutné uvažovat pro lokalitu, ve které má daný díl plnit svůj účel, ale musí být bráno v úvahu i prostředí, přes které bude díl na toto místo přepravován.

### **2.1.2. Koroze v elektrolytech**

V atmosférických podmínkách je vznik koroze závislý na vzniku větší či menší vrstvy elektrolytu (elektricky vodivého prostředí) na povrchu dílu. Pokud je v prostředí vysoká relativní vlhkost, vzniká na povrchu dílu elektrolyt jednodušeji a vznikající koroze postupuje rychleji a vzniká velký korozní úbytek. Při vysušení povrchu dojde ke zpomalení korozních procesů a při poklesu teploty prostředí i dílu pod 0 °C dojde k významnému snížení relativní vlhkosti vzduchu (% RH) a korozní proces se téměř zastaví.

Růst úrovně relativní vlhkosti nad hranici 60 % RH má naopak velký vliv na rychlou tvorbu elektrolytu a urychlení korozních dějů.

Korozi v elektrolytu způsobuje přítomnost iontů, které vznikají disociací korozního prostředí. Při korozním procesu probíhá mnoho oxidačních a redukčních procesů, z nichž každý je anodickou nebo katodickou reakcí. V průběhu katodické reakce jsou redukovány určité složky prostředí. Naopak při anodické reakci vzniká oxidace a koroze materiálu. Tyto děje a reakce probíhají současně a elektrony uvolněné v anodické reakci jsou využívány při reakci katodické. [19] [33]

### **2.1.3. Měření a hodnocení korozních produktů**

Měření korozních produktů lze dělit na změnu vzhledu a změnu rozměrů. Základním způsobem hodnocení koroze je pohledové hodnocení. Hodnotit lze zbarvení, strukturu a přítomnost volně odpadávajících korozích produktů. Na základě vizuálního zhodnocení lze vytypovat místa, která mají být následně proměřeny detailnějšími metodami. Pro základní zhodnocení volně odpadávajících produktů je vhodné použít odtržení těchto korozních produktů průhlednou lepící páskou a následné přilepení takto získaného pruhu pásky na bílý papír, aby vynikl detail korozních produktů. Tímto způsobem lze hodnotit množství a velikost korozních produktů.

Dalším z mnoha způsobů hodnocení koroze je hmotnostní úbytek vzorků. Tato metoda je vhodná pro dlouhodobé korozní zkoušky, neboť lze změřit hmotnost vzorku před a po zkoušce. Aplikace této metody na velká dlouhodobě exponovaná díla není ideální. Při tomto způsobu hodnocení se měří roční korozní úbytek v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Metodou vhodnou pro měření tloušťky korozní vrstvy i na velkých dílech je měření ultrazvukovým tloušťkoměrem nebo tloušťkoměrem pracujícím na bázi magnetické indukce. Touto metodou lze získat soubor hodnot ukazující průměrnou tloušťku koroze ve zkoumaném místě. Jedná se o velice mobilní a produktivní metodu. Neukazuje však složení korozních produktů.

## **2.2. Stupně agresivity korozního prostředí ČSN EN ISO 9223**

Korozní úbytek způsobený korozním prostředím se určuje na základě zeměpisného určení polohy místa, na němž bude díl vykonávat svůj účel. Hodnota agresivity korozního prostředí je přiřazována dle záznamů z meteorologických měření a dlouhodobých korozních zkoušek z dané oblasti. Specifikace jednotlivých korozních prostředí je udávána normou ČSN EN ISO 9223:2012, v níž je uvedeno značení stupňů agresivity korozního prostředí a jejich popis. Tyto stupně jsou uvedeny v tabulce 1. Dále zde jsou uvedeny mapy zobrazující rozložení agresivity korozního prostředí pro Českou republiku. Z těchto dat vyplývá, jaké předúpravy a povrchové úpravy je nutné pro zabezpečení správné funkčnosti dílu v dané lokalitě, daném prostředí učinit.

Konkrétní hodnoty korozních úbytků materiálů (zinek, ocel) exponovaných po dobu 1 roku (i déle) v atmosférických podmínkách lze najít v normě ČSN EN ISO 9223:2012. [12]

Tabulka 1 - Stupně korozní agresivity atmosféry dle ČSN EN ISO 9223:2012 [12]

Stupně korozní agresivity atmosféry dle ČSN EN ISO 9223:2012	Korozní agresivita atmosféry
C1	Velmi nízká
C2	Nízká
C3	Střední
C4	Vysoká
C5	Velmi vysoká
CX	Extrémní

Tato rozdělení uvedené v normě ČSN EN ISO 9223:2012 jsou obecného charakteru. Z toho vyplývá, že je nutné určit konkrétní korozní prostředí pro danou lokalitu se zaměřením se na lokální korozní činitele, jako jsou například:

1. časté lokální klimatické extrémy
2. průmyslové znečištění prostředí
3. sezónní znečištění chloridy.

Teprve po uvážení všech lokálních aspektů ovlivňujících konkrétní lokalitu je možné zodpovědně stanovit konkrétní stupeň agresivity korozního prostředí a s ním spojené úpravy povrchu.

### 2.3. Doba ovlhčení dle ČSN EN ISO 9223

Na rychlost koroze má zásadní vliv doba ovlhčení. Tento parametr značený  $\tau$  je uveden v normě ČSN EN ISO 9223:2012. Tento parametr udává čas, po který dochází k ovlhčování dílu, tedy časový úsek, udávaný v hodinách za rok, po který je na povrchu exponovaného dílu přítomen elektrolyt. V normě je uveden čas v hodinách pro různá klimatická prostředí celé planety, viz. tabulka 2.

Definice doby ovlhčení je stanovena, jako čas, kdy je teplota vyšší než 0 °C a relativní vlhkost prostředí je vyšší než 80 % RH. Tato veličina je udávána v jednotkách hodin za rok [ $h \cdot a^{-1}$ ]. [12]

Tabulka 2 - Doba ovlhčení, výtažek z tabulky B.1 ČSN EN ISO 9223:2012 [12]

Doba ovlhčení h/a	Úroveň	Příklad výskytu
$\tau \leq 10$	T <sub>1</sub>	Mikroklima vnitřních prostor s regulací klimatických podmínek
$10 < \tau \leq 250$	T <sub>2</sub>	Mikroklima vnitřních prostor bez regulace klimatických podmínek
$250 < \tau \leq 2500$	T <sub>3</sub>	Venkovní atmosféry v suchých, chladných klimatických oblastech
$2500 < \tau \leq 5500$	T <sub>4</sub>	Venkovní atmosféry ve všech klimatických oblastech (kromě suchých a chladných)
$5500 < \tau$	T <sub>5</sub>	Některé oblasti s vlhkým klimatem

## 2.4. Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu je popsána, jako veličina nasycení stanoveného objemu vzduchu stanoveným množstvím vody. Lze ji vyjádřit relativně procentuálním poměrem vody ve vzduchu, běžně udávané v % RH. Jedná se o vyjádření poměru absolutní vlhkosti ku maximální vlhkosti. Maximální vlhkost zde představuje množství vodních par při dané teplotě a tlaku, které vzduch nasytí.

Druhý způsob vyjádření je absolutní, tedy poměrem hmotnosti vody v 1 m<sup>3</sup> vzduchu [kg · m<sup>-3</sup>].

Vlhkost vzduchu se stanovuje vlhkoměry (hygrometry) a to několika možnými způsoby:

1. dilatační vlhkoměr
2. psychrometrická metoda
3. kapacitní čidlo
4. optická metoda
5. elektrolytický princip
6. odporový princip
7. rezonanční princip

Tato diplomová práce se zabývá patinujícími oceli, proto zde budou zmíněny pouze principy vybraných způsobů měření vlhkosti.

### 2.4.1. Dilatační vlhkoměr

Tato historicky první metoda měření vlhkosti spočívá v hydroskopické vlastnosti některých látek, které při jejich navlhnutí vzdušnou vlhkostí mění své rozměry. Původní konstrukce byla vytvořena z lidských vlasů nebo živočišných blán. Lidské vlasy dokážou absorbovat vzdušnou vlhkost a tím zvětšovat svou délku. Délkový rozdíl odmaštěného lidského vlasu je při přechodu z 0 % RH na 100 % RH stanoven na 2,5 % jeho délky.

Svazek upravených vlasů je uchycen přes kladku k ručičce vlhkoměru, která následně ukazuje na kruhové stupnici hodnotu relativní vlhkosti v % RH. Délková roztažnost lidských vlasů je nelineární a tato nelinearita bývá vyrovnána nerovnoměrným rozložením kruhové stupnice, jak je patrné z Obr. 1 – Vlasový vlhkoměr. Jejich výhodou je funkčnost pod bodem mrazu. Nevýhodou je náchylnost na otřesy, maximální pracovní teplota 80 °C a nutnost časté kalibrace. [28]

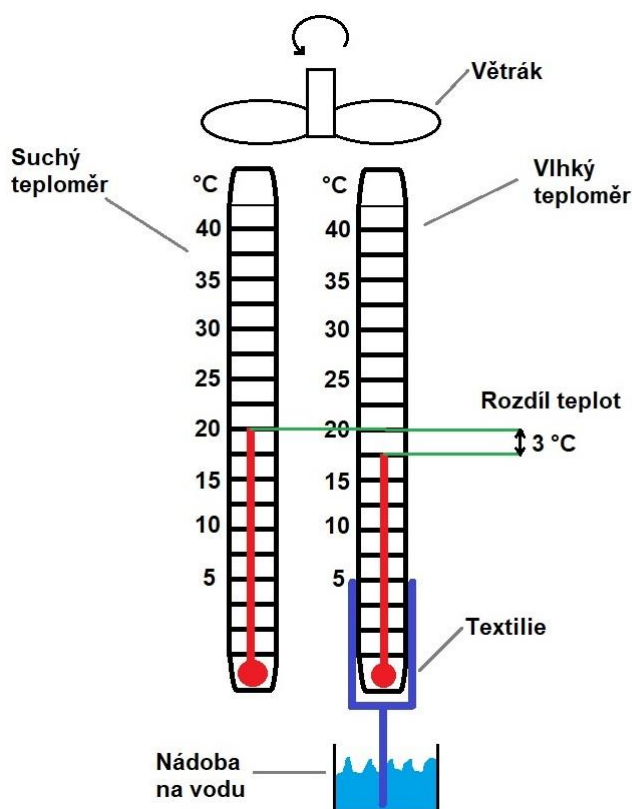


Obr 1 - Vlasový vlhkoměr [37]



## 2.4.2. Psychrometrická metoda – vlhký a suchý teploměr

Stanovení relativní vlhkosti vzduchu probíhá s použitím 2 teploměrů. První z teploměrů je suchý a s jeho pomocí je měřena teplota vzduchu ve zkušebním prostoru. Druhý teploměr je trvale ovlhčován vodou nasáklou do textilního obalu teploměru, druhý konec tohoto obalu je trvale ponořen do nádoby s vodou. Druhý způsob ovlhčování je postřik teploměru vodou z trysky. Voda zde odkapává z trysky na textilní obal teploměru. Takto ovlhčovaný teploměr měří teplotu vzduchu při 100 % relativní vlhkosti. Oba teploměry jsou současně ofukovány vzduchem z blízkého ventilátoru pro zajištění zpřesnění měření. (Obr. 2 – Schematický náčrt psychrometru).



Obr 2 – Schematický náčrt psychrometru

Po odečtení hodnot suchého a vlhkého teploměru dostaneme 2 různé teploty. Následně vyhledáme teplotu suchého teploměru v prvním sloupci psychrometrické tabulky (Tabulka 3 - Psychrometrická tabulka [6]). Následně vyhledáme rozdíl teplot obou teploměrů v prvním řádku psychrometrické tabulky. Průnikem příslušného řádku a příslušného sloupce získáme hodnotu relativní vlhkosti vzduchu pro naše prostředí v % RH. [28]

Ukazují-li oba teploměry shodnou teplotu, jedná se o prostředí se 100 % RH.

Tabulka 3 - Psychrometrická tabulka [34]

Teplota suchého teploměru °C	Rozdíl teplot na obou teploměrech °C													
	1	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
<b>0</b>	80	60	51	41	32	22	13	4						
<b>2</b>	82	64	55	47	38	30	21	13	5					
<b>4</b>	84	67	59	51	44	36	29	21	14					
<b>6</b>	85	70	63	56	48	41	35	26	21	14	8			
<b>8</b>	86	72	66	59	53	46	40	34	27	21	15	6		
<b>10</b>	87	74	68	62	56	50	44	39	33	27	22	16	11	6
<b>12</b>	88	76	70	65	59	54	48	43	38	33	28	23	18	13
<b>14</b>	89	78	72	67	62	57	52	47	42	37	32	28	23	19
<b>16</b>	89	79	74	69	64	60	55	50	46	41	37	33	28	24
<b>18</b>	90	80	76	71	66	62	58	53	49	45	41	37	33	29
<b>20</b>	91	81	77	73	68	64	60	56	52	48	44	40	37	33
<b>22</b>	91	82	78	74	70	66	62	58	54	51	47	43	40	39
<b>24</b>	91	83	79	75	71	68	64	60	57	53	50	46	43	40
<b>26</b>	92	84	80	76	73	69	66	61	59	55	52	49	46	43
<b>28</b>	92	84	81	77	74	71	67	64	60	57	54	51	48	45
<b>30</b>	93	85	82	78	75	72	68	65	62	59	56	53	50	47
<b>32</b>			83	79	76	73	70	67	64	61	58	5	52	49
<b>34</b>							71	68	65	62	59	57	54	51

Příklad, viz. Obr. 2: Ukazuje-li suchý teploměr hodnotu 20 °C a vlhký teploměr teplotu 17 °C, je rozdíl těchto teplot 3 °C. Po vyhledání a vnesení těchto teplot do tabulky 3 dostaneme hodnotu relativní vlhkosti vzduchu prostředí 73 % RH.

### 2.4.3. Kapacitní čidlo

Dalším ze způsobů měření vlhkosti je kapacitní čidlo (Obr. 3 – Kapacitní čidlo). Tato metoda spočívá ve využití hygroskopické vlastnosti polymeru používaného na dielektrikum v kondenzátorech. Polymer použitý v kondenzátoru má přístup k okolnímu vzduchu a absorbuje vlhkost ze vzduchu. Touto absorpcí mění své dielektrické vlastnosti přibližně v poměru 1 % RH na 0,1 % změnu v kapacitě kondenzátoru. Tuto změnu následně vyhodnocuje mikroprocesor, který vypočítává relativní vlhkost ze změny kapacity kondenzátoru. [28]



Obr 3 – Kapacitní čidlo [3]

### 2.4.4. Optická metoda

Tato metoda funguje na principu změny odrazu světla při dosažení rosného bodu. Z jedné strany svítí na ochlazované zrcátko pod úhlem zdroj světla a z druhé strany je odraz zaznamenáván senzorem. Při dosažení rosného bodu dojde k orosení odrazové plochy a senzor zaznamená změnu v intenzitě odráženého světla. Při dosažení této změny je zaznamenána teplota okolí a teplota ochlazovaného zrcátka. Následně je softwarem z naměřených hodnot vyhodnocena relativní vlhkost vzduchu. Tato metoda může být zkonstruována i na opačném principu, tedy světlo dopadá na neodrazivou plochu a při orosení vznikne na kapkách vody odraz světla, který senzor zaznamená. Zbytek procesu je shodný. [28]

## 2.5. Rosný bod

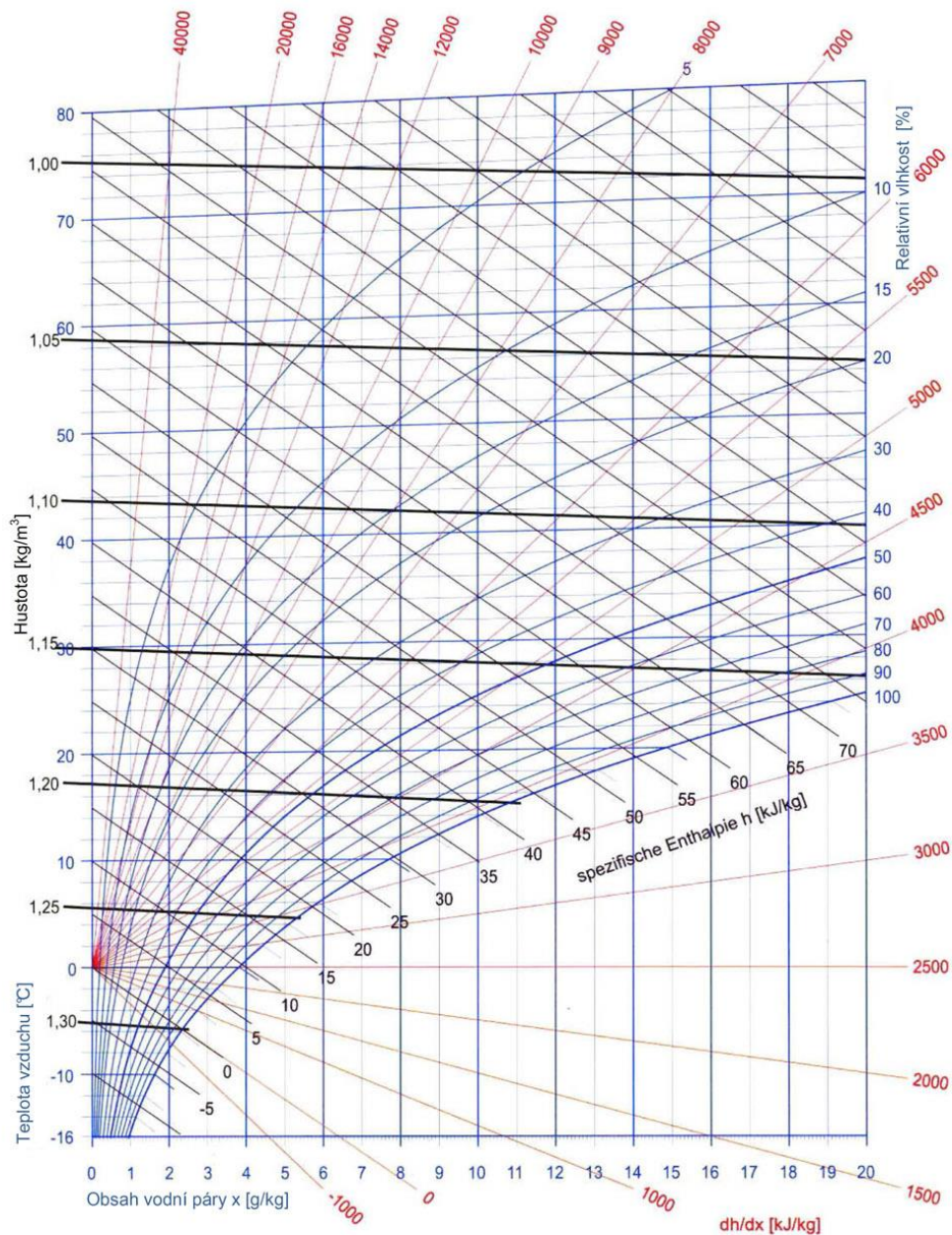
Při nasycení vzduchu vodními parami dochází ke kondenzaci přebytečných par. Teplota, při níž došlo k této kondenzaci se nazývá rosný bod a je udávána ve °C. Při stoupající teplotě roste maximální množství vodních par ve vzduchu exponenciálně.

Teplota rosného bodu se odvíjí od teploty prostředí, teploty dílu umístěného v tomto prostředí a relativní vlhkosti tohoto prostředí. Při přemístění dílu z prostředí s nízkou teplotou do prostředí s vysokou teplotou dojde ke kondenzaci vodních par na povrchu chladného dílu a vznikne orosení.

Přesná teplota rosného bodu se odečítá z Mollierova h-x diagramu nasycené vodní páry. V tomto diagramu se vynesou naměřené hodnoty teploty prostředí, relativní vlhkosti a následně se odečte teplota rosného bodu. Tohoto diagramu, využívá například optická metoda určování relativní vlhkosti.

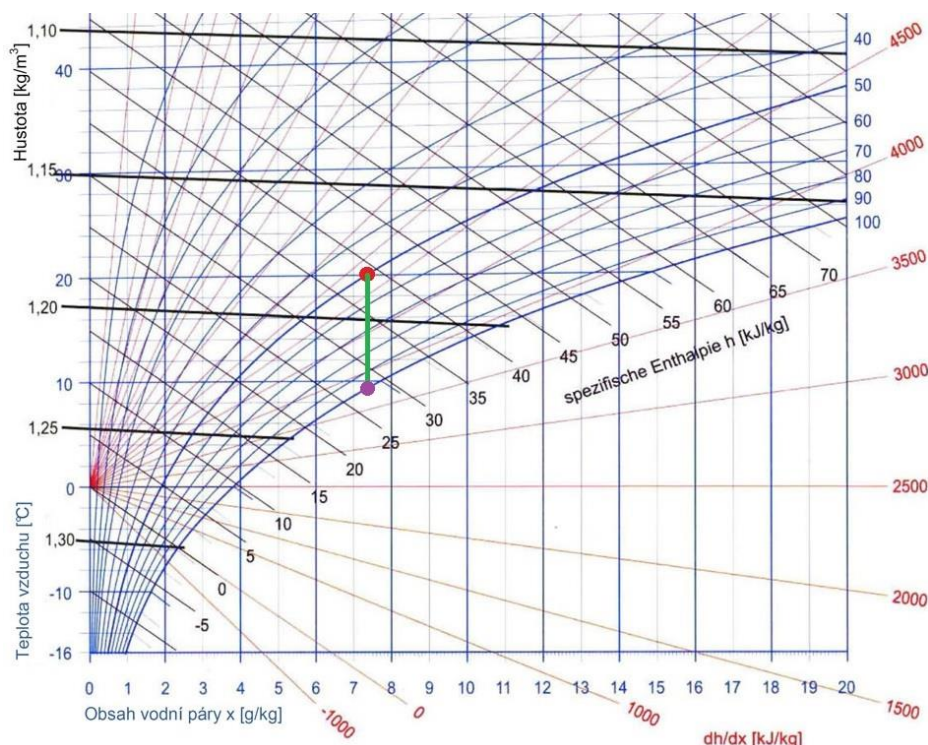
### 2.5.1. Stanovení rosného bodu z Mollierova h-x diagramu

Mollierův h-x diagram byl pojmenován podle Richarda Molliera a zobrazuje závislost teploty a vlhkosti vzduchu při izobarických dějích. V diagramu na Obr. 4 je na vodorovné ose vynesena měrná vlhkost vzduchu  $x$  [g/kg] a na svislé ose je vynesena teplota vzduchu  $t$  [°C]. Na grafu jsou dále vyznačeny křivky relativní vlhkosti vzduchu  $v$  % RH. Dále jsou zde vyneseny přímky s konstantní entalpií  $h$  [kJ/kg], které ukazují tepelnou energii jednotkového množství.



Obr 4 - Mollierův h-x diagram [1]

Příklad použití, viz. Obr. 5: Pro určení rosného bodu je nutné vynést do diagramu průsečík naměřené teploty 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 %RH (Červený bod). Ze vzniklého bodu vedeme svislici na křivku syté páry (zelená úsečka). Ze vzniklého bodu (fialový bod) na této křivce vedeme křivku zpět na stupnici teploty vzduchu. Tímto postupem dostáváme teplotu rosného bodu, která je pro tento příklad přibližně 9 °C.



Obr 5 – Rosný bod v Mollierově h-x diagramu

### 2.5.2. Vliv tloušťky materiálu na rosný bod a orosení

Na vznik rosného bodu a délku doby ovlhčení mají zásadní vliv tloušťky stěn dílu. Tlustší stěny dílů mají delší doby ohřevu nad teplotu rosného bodu a je tedy nutné uvažovat orosení takovýchto dílů. Dle normy ČSN EN ISO 9223:2012 vzniká na dílech ze slitin železa exponovaných v atmosférických podmínkách mírného klimatického pásma ovlhčení po dobu až 2500 h/a. U dílů ze slitin železa o velkých tloušťkách stěn v kombinaci s betonem může docházet k lokálnímu překročení této doby ovlhčení, neboť tyto díly mají velkou tepelnou kapacitu.

Atmosférickými podmínkami je zde myšleno prostředí, v němž je zajištěn volný přístup vzduchu k povrchu exponovaného dílu a ovlhčení je pouze dočasné a krátkodobé [4]. Teplo, které díl absorboval v průběhu dne je v průběhu noci vyzařováno do okolního prostředí. Při poklesu teploty pod teplotu rosného bodu dojde ke kondenzaci vzdušné vlhkosti na povrchu dílu a teplota dílu nadále klesá. V průběhu noci tak může dojít k ochlazení v celém objemu dílu. Poté, co začne teplota okolí opět stoupat, teplota dílu bude stoupat pomaleji a na dílu budou vznikat zkondenzované kapky vody. Ovlhčení tohoto dílu bude pokračovat, dokud nedojde k prohřátí dílu v celém objemu na teplotu nad rosným bodem. Po prohřátí dílu dojde k odpaření



zkondenzované vlhkosti a tím k vypaření elektrolytu způsobujícím korozní procesy. Toto střídání ovlhčení a osušení probíhá kontinuálně po celou dobu životnosti dílu.

Díly konstruované z velkých tlouštěk stěn v kombinaci s betonem se prohřívají pomaleji. Pokud nedojde v průběhu dne k prohřátí nad teplotu rosného bodu a vypaření elektrolytu, budou vznikat lokální místa s trvalým ovlhčením. Toto ovlhčení může trvat i několik dní. Z tohoto důvodu je možné se setkat s ovlhčením na mostních konstrukcích v průběhu celého dne, může zde vznikat téměř permanentní ovlhčení.

## 2.6. Průmyslové znečištění

Velký rozvoj průmyslu a energetiky napříč celým světem sebou přináší i stoupající znečištění atmosféry. Tímto způsobem se do atmosféry dostává velké množství látek, které mají nepříznivý vliv na tvorbu koroze. Mezi nejčastěji zastoupené látky patří  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a saze. Pro účely této diplomové práce bude zmíněno pouze znečištění oxidem siřičitým  $\text{SO}_2$ . Kompletní výčet těchto látek lze dohledat v normě ČSN EN ISO 9223:2012.

Hlavním zdrojem  $\text{SO}_2$  je spalování fosilních paliv, emise z autodopravy a průmyslových areálů. Na dílech exponovaných v atmosféře se  $\text{SO}_2$  projevuje ve formě plošných, ale i lokálních hnízd síry, ve kterých je vyšší korozní úbytek. Rozdílem tohoto znečištění oproti chloridům je, že tato hnízda při korozi odpadávají.

Dle dlouhodobých měření SVÚOM s.r.o. se od 70. let minulého století hodnoty  $\text{SO}_2$  na našem území každoročně snižují. Znečištění atmosféry  $\text{SO}_2$  se od roku 1970 do roku 2000 snížilo o 90 % a dle zveřejněných údajů nadále pomalu klesá. [12] [20] [26]

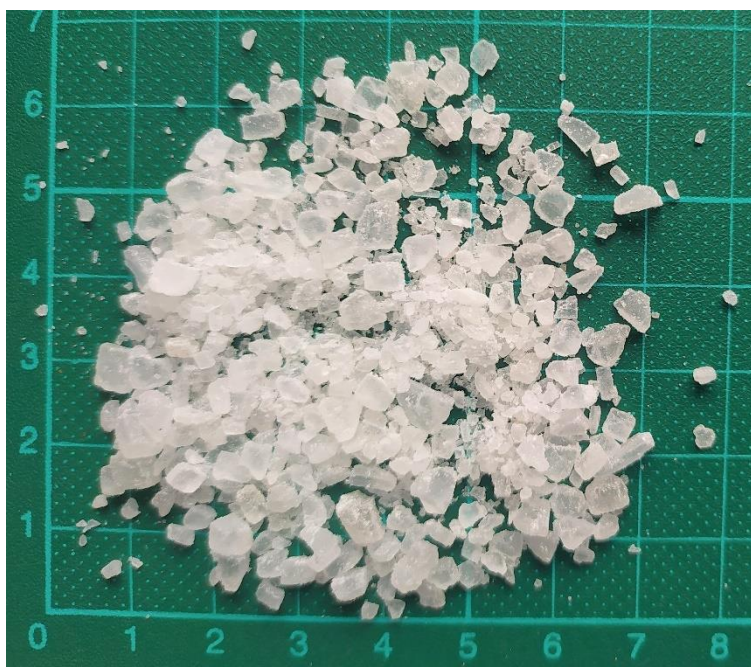
## 2.7. Chemické rozmrazovací látky

V zimním období 2017/2018 bylo na českých dálnicích a silnicích I. třídy použito více než 23 000 000 kg posypových solí a více než 274 000 kg  $\text{CaCl}_2$ . Některé zdroje uvádí, že přibližně 38 % posypových solí je rozmetáno v navlhčeném stavu. [27] [30]

### 2.7.1. Chlorid sodný NaCl

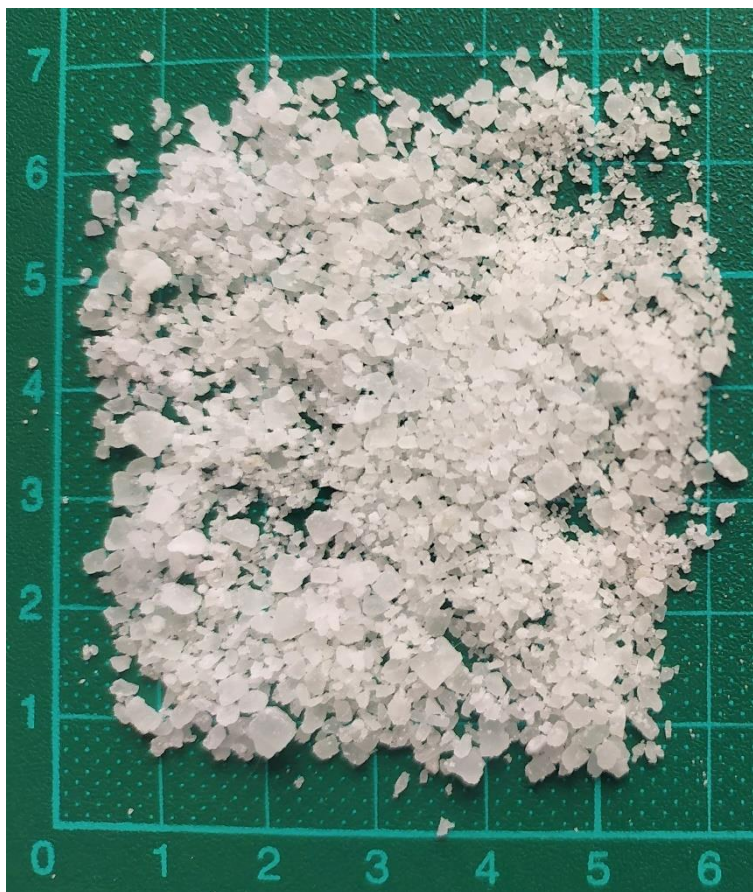
Jedná se o nejpoužívanější rozmrazovací přípravek při údržbě pozemních komunikací. Běžně je používán v suchém stavu nebo jako roztok (solanka). Jeho použitelnost pro účely rozmrazování je do  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ . Na účinnost má také vliv velikost zrna tohoto chloridu. Při posypu se doporučuje použití částic o velikost 0,16 až 5 mm jak je patrné z Obr. 6 – Silniční posypová sůl NaCl. Drobné částice ulpívají na povrchu vozovky, zatímco velké částice zaručují při rozmetání potřebný dosah rozmetadla. Na obrázku 7 je patrný rozdíl ve velikosti částic NaCl a v množství prachových částic, tato sůl je pro údržbu pozemních komunikací méně vhodná než posypová sůl vyobrazená na Obr. 6 – Silniční posypová sůl NaCl.

Tato posypová sůl je endotermická a pokud není dodána dostatečná teplota stává se neúčinnou. Při použití v teplotách pod  $-11\text{ }^\circ\text{C}$  je kombinována s chloridem vápenatým pro zvýšení její účinnosti. [30]



Obr 6 – Silniční posypová sůl NaCl





Obr 7 – Chodníková posypová sůl NaCl

### 2.7.2. Chlorid vápenatý $\text{CaCl}_2$

Jedná se o bílou látku nejčastěji ve formě vloček nebo šupinek, viz. Obr. 8 – Posypový rozmrazovací materiál  $\text{CaCl}_2$ . Výhodou oproti NaCl je, že je hygroskopický již od 40 %RH. Další výhodou je jeho použitelnost do  $-35\text{ }^\circ\text{C}$ . Nejčastěji se používá v suchém stavu, nebo jako solanka o koncentraci 15-32 %. Pro účely údržby pozemních komunikací je dodáván ve formě vloček o tloušťce okolo 1 mm a průměru 3-3,5 mm. Kromě výše uvedených výhod má však několik zásadních nevýhod. První je jeho cena, která je až 6x vyšší než cena NaCl. Druhou nevýhodou je nutnost jeho skladování v hermeticky uzavřených pytlích, aby nedošlo k navlhnutí, vzniku hexachloridu vápenatého a tím k znehodnocení pro účely údržby komunikací. [30]



Obr 8 – Posypový rozmrazovací materiál  $\text{CaCl}_2$  [5]

### 2.7.3. Další rozmrazovací prostředky

Mezi další rozmrazovací prostředky používané především mimo ČR patří například chlorid hořečnatý  $\text{MgCl}_2$ . Oproti  $\text{CaCl}_2$  je více hydroskopický. Jeho aplikace je možná pod teploty  $-9\text{ }^\circ\text{C}$ , jinak snižuje koeficient tření na vozovce. [30]

## 2.8. Další vlivy prostředí a vliv konstrukce

I ta nejčistší prostředí, ve kterých je téměř vyloučen vliv chloridů, sulfidů a dalšího průmyslového znečištění mají svá korozní úskalí. Hlavními problémy nejen v těchto prostředích, ale i v ostatních prostředích jsou mechanické nečistoty a exkrementy volně žijících zvířat.

Prachové částice zachytávající se na konstrukci jsou při ovlhčení splavovány do míst, kde se zachytávají a vytvářejí lokální místa ve kterých zůstává vlhkost i při osušení zbytku konstrukce. Na těchto místech je tedy přítomen elektrolyt a korozní procesy

zde probíhají intenzivněji než na zbytku konstrukce.

Volně žijící zvířata mají tendenci využívat velkých dílů exponovaných v atmosféře jako svá útočiště. Následkem jejich setrvání na těchto dílech jsou nánosy exkrementů obsahujících agresivní látky urychlující korozi. Trus obsahuje především amoniak, fosfor a soli. Tyto látky v kombinaci s vlhkostí a přilnavostí ptačího trusu tvoří korozní prostředí, které je nutno pravidelně mechanicky odstraňovat.

Vhodnost konstrukčního řešení je základním předpokladem pro téměř úplné zamezení usazování prachových částic a hnízdění ptactva. Zejména je vhodné vyvarovat se při konstrukci koutů bez spádu nebo otevřených dutých prostor. [26]

## 2.9. Povrch a jeho charakteristiky

Vhodný způsob sledování a vyhodnocení povrchu dílu je základním předpokladem pro správnou funkčnost a přilnavost dalších povrchových úprav. V současné době je zavedeno mnoho parametrů profilu a drsnosti povrchu, které popisují nejen výšku povrchu, ale také jeho podélné a tvarové parametry.

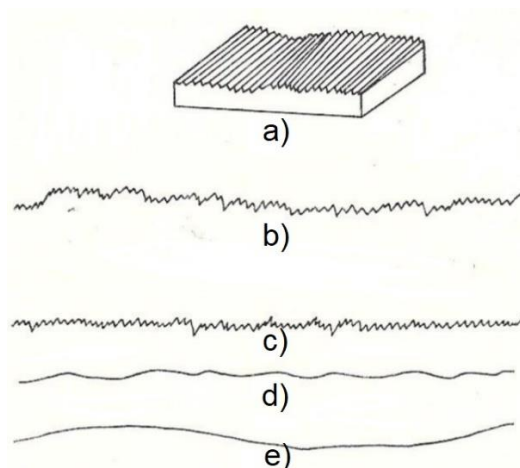
### 2.9.1. Povrch

U každého zkoumaného povrchu rozlišujeme makrogeometrii a mikrogeometrii. Do makrogeometrie řadíme odchylky tvaru a vlnitosti. Do mikrogeometrie následně spadají mikronerovnosti – drsnost povrchu.

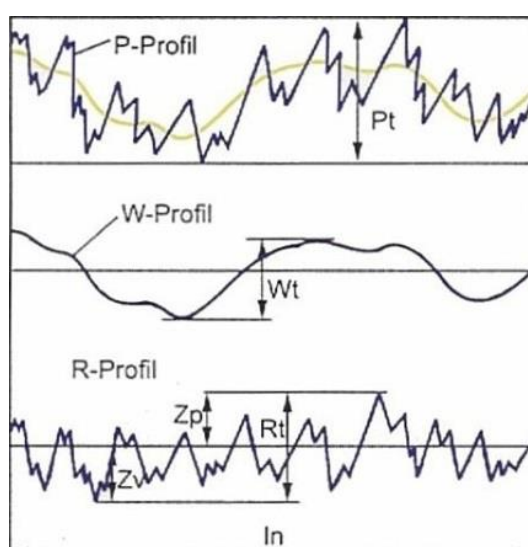
Základní profil je základem pro vyhodnocení parametru základního profilu značeného P-parametr. Jedná se o geometrický profil vypočtený ze základního profilu, tedy o 2D křivku získanou pohybem snímače po povrchu Obr. 9 a). Tento parametr udává nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými mezními přímkami v nefiltrovaném profilu. Tento parametr je zobrazen na Obr. 9 b) a Obr. 10.

Dalším vyhodnocovaným parametrem je R-parametr. Tento parametr vznikne po odfiltrování dlouhovlnných složek  $\lambda_c$  až  $\lambda_s$  profilu. Popisuje svislou vzdálenost mezi nejvyšším výstupkem a nejhlubší rýhou a je určován z filtrovaného profilu. Tento parametr je zobrazen na Obr. 9 c) a Obr. 10.

Pro získání profilu vlnitosti je nutné nasadit filtr  $\lambda_c$  potlačující krátkovlnné a filtr  $\lambda_f$  potlačující dlouhovlnné složky. Tímto postupem získáme profil vlnitosti a z něj je následně vypočten W-parametr, viz. Obr. 9 d) a Obr. 10.



Obr 9 – Povrch dílu [4]



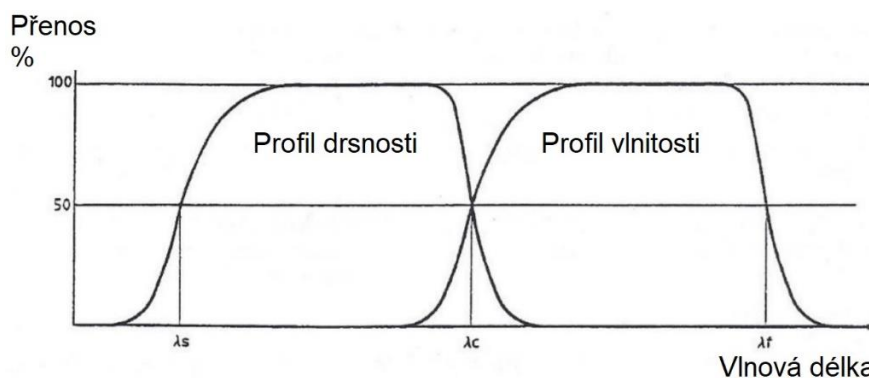
Obr 10 - Parametry profilu povrchu [14]

Filtry povrchu jsou uvedeny v normě ISO 11562 a dělí se na krátkovlnné a dlouhovlnné. Tyto filtry mají stejné charakteristiky, ale různou vlnovou délku, viz. Obr. 11. Funkce jednotlivých filtrů jsou následující:

Filtr profilu  $\lambda_s$  – definuje rozdíl mezi drsností a menšími složkami povrchu

Filtr profilu  $\lambda_c$  – definuje rozdíl mezi drsností a vlnitostí

Filtr profilu  $\lambda_l$  – definuje rozdíl mezi vlnitostí a delšími složkami profilu povrchu



Obr 11 – Vlnové délky [8]

Tvar křivky profilu povrchu lze rozdělit na periodický a aperiodický. Oba tyto typy křivky profilu povrchu lze měřit a jsou definovány v normě ČSN EN ISO 4287:1999. Periodický profil vzniká po obráběcích nástroji a je vhodné jej měřit parametrem  $R_{sm}$ . Aperiodický profil získáme například po tryskání, broušení, omílání a lapování. Pro jeho měření je vhodné použít parametry  $R_a$  nebo  $R_z$ . Tyto parametry jsou definovány v normě ČSN EN ISO 13565. [8] [14]

### 2.9.2. Drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4287:1999

Jedná se o soubor nerovností různého druhu vzhledem k použité technologii výroby. Nejpoužívanějším vyjádřením je střední aritmetická úchylka  $R_a$ . Tento parametr představuje střední hodnotu vzdálenosti nejvyššího výstupku a nejhlubší prohlubně filtrovaného profilu povrchu. Nicméně parametr  $R_a$  nedává vypovídající hodnotu o tvaru povrchu jako takovém. Rozšířenost jeho použití je dána jednoduchostí jeho získání.

Další parametry definované v normě ČSN EN ISO 4287:1999 jsou následující:

$R_p$  – Největší výška jednoho výstupku profilu povrchu

$R_v$  – Největší hloubka prohlubně profilu povrchu

$R_z$  – Největší výška celého měřeného povrchu

$R_c$  – Průměrná výška jednotlivých prvků profilu povrchu

$R_t$  – Celková výška profilu povrchu

$R_a$  – Průměrná aritmetická úchylka profilu povrchu

$R_q$  – Průměrná kvadratická úchylka profilu povrchu

$R_{Sk}$  – Šikmost posuzovaného profilu povrchu

$R_{Sm}$  – Střední vzdálenost rýh elementů drsnosti povrchu

$R_{ku}$  – Špičatost profilu povrchu [8]

## 2.10. Patinující oceli

Patinující oceli (weathering steel) se řadí mezi nízkouhlíkové oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi. Při kontaktu těchto materiálů s atmosférou dochází k tvorbě tenké stabilní vrstvy oxidů tzv. patiny. Tato patina však vzniká pouze při dodržení určitých podmínek.

Své uplatnění nacházejí tyto oceli ve stavařství, kde je patinujícího efektu využíváno za účelem snížení ekonomických nákladů na povrchové úpravy a údržbu za cenu vyšších nákladů na prvotní konstrukci.

### 2.10.1. Historie patinující oceli

První zmínky o oceli se zvýšenou odolností proti korozi byly zaznamenány v roce 1910, kdy byla patentována ocel se zvýšeným obsahem mědi. Tato ocel měla oproti jiným cca 2x vyšší odolnost proti atmosférické korozi.

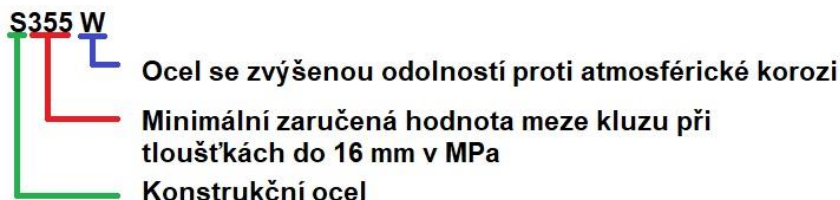
První patent patinující oceli pochází z roku 1939 z USA a byla uvedena pod obchodním názvem COR-TEN. Tato ocel byla využívána na kontejnery a později na mostní konstrukce. Následně se tato ocel rozšířila do celého světa.

Od 60. let 20. století byly patinující oceli vyvíjeny, zkoumány a vyráběny i na našem území a později byly patentovány pod obchodním názvem ATMOFIX. Tato ocel byla od 70. let používána na stožáry vysokého napětí. V 80. letech byly použity na mostní konstrukce, konkrétně Svinovské mosty. V roce 1990 byla vydána vnitropodniková norma TP 73 1466 Vítkovického výrobce této oceli. V roce 2008 vyšel v platnost předpis Ministerstva dopravy České republiky TP 197, který upravoval použití patinující oceli na mosty a pozemní konstrukce. V roce 2010 byla vydána „*směrnice pro používání oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi*“. [15] [23] [25] [29]

### 2.10.2. Značení patinujících ocelí

Patinujících ocelí obecně obsahují nízké množství legury Cr, Cu, Ni, P, Mo a dalších prvků. Obsahy legujících prvků jsou celkem okolo hodnoty 2 %. Kvalita těchto ocelí je specifikována normou ČSN EN 10025-5. [2]

Značení jako takové je specifikováno v normě ČSN EN 10027-1, viz. Obr. 12.



Obr 12 - Značení patinujících ocelí

Konkrétní značení v České republice vyráběných ocelí Atmofix je následující:

Ocel ČSN 41 5217 Atmofix A (Cr-Ni-Cu-P) odpovídá značení S235 W

Ocel ČSN 41 5127 Atmofix B (Mn-Cr-Ni-Cu) odpovídá značení S355 W

### 2.10.3. Vlastnosti patinujících ocelí

Výrobci patinujících ocelí je řada po celém světě. Na dnešním trhu je možné najít více než 100 druhů patinujících ocelí. Pro tuto diplomovou práci byly vybrány oceli od dvou známých výrobců. V tabulce 4 jsou uvedeny složení patinujících ocelí. Následně v tabulce 5 jsou uvedeny jejich mechanické vlastnosti.

Tabulka 4 - Složení patinujících ocelí [2] [32]

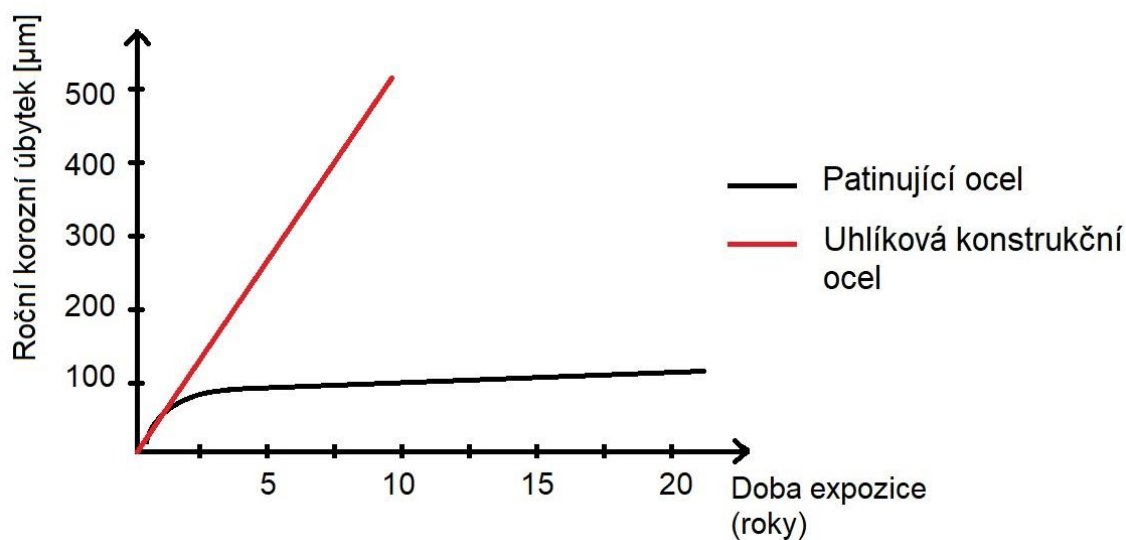
Obchodní označení	Obsah jednotlivých prvků v oceli %										
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	V	Al	Nb
Cor-Ten A	0,09	0,35	0,30	0,081	0,005	0,27	0,48	0,28		0,037	
Cor-Ten B	0,19	0,80 1,25	0,30 0,65	0,04	0,05	0,40	0,40 0,65	0,25 0,40	0,02 0,10		
Cor-Ten B-QT	0,19	0,80 1,25	0,30 0,65	0,04	0,05	0,40	0,40 0,65	0,25 0,40	0,02 0,10		
Cor-Ten C	0,19	0,80 1,35	0,30 0,65	0,04	0,05	0,40	0,40 0,70	0,25 0,40	0,02 0,10		
Atmofix A	0,12	0,30 1,00	0,25 0,75	0,05 0,06	0,04	0,30 0,60	0,50 1,25	0,30 0,55	0,01 0,10	0,01	
Atmofix B	0,10 0,17	0,90 1,20	0,20 0,45	0,03 0,06	0,04	0,30 0,60	0,40 0,80	0,30 0,55	0,01 0,1		0,04



Tabulka 5 – Mechanické vlastnosti patinující oceli [2] [32]

Obchodní označení	Tloušťka [mm]	Mez kluzu [MPa]	Pevnost v tahu [MPa]
Cor-Ten A	do 12,7	345	485
Cor-Ten B	do 100	345	485
Cor-Ten B-QT	do 100	485	620-760
Cor-Ten C	do 25	415	550
Atmofix A	do 12	345	470-590
Atmofix B	do 16	355	470-620
	do 35	345	
	do 50	335	

V porovnání s konstrukční ocelí má patinující ocel nižší korozní úbytek. Na Obr. 13 je schematicky znázorněn korozní úbytek při porovnání konstrukční oceli bez povrchové úpravy a patinující oceli. Tento korozní úbytek platí pouze při správném vývoji patinující vrstvy. [38]



Obr 13 – Korozní úbytek ocelí



#### 2.10.4. Patinující vrstva

Při vhodných atmosférických podmínkách dochází k tvorbě pevné, přilnavé vrstvy korozních produktů nazývané patina. Složení této vrstvy se mění dle okolního prostředí a její barva je závislá právě na složení atmosféry a délce expozice. Účinná vrstva patiny se vytváří 2-5 let.

Ochranný efekt patinující vrstvy je ve své podstatě kombinace bariérového efektu a změny korozního charakteru na povrchu oceli. Tato oxidická vrstva částečně brání pronikání agresivního korozního prostředí k základnímu materiálu. Nedochozí zde však k úplnému bariérovému efektu, nýbrž pouze ke zpomalení tvorby korozních produktů a tím ke snížení korozní rychlosti.

Tloušťka patinující vrstvy je závislá na době expozice dílu v korozním prostředí. U dlouhodobě exponovaných děl dosahuje tloušťka korozních produktů patinující vrstvy i více než 250  $\mu\text{m}$ , běžně je tato vrstva okolo 100-200  $\mu\text{m}$ . Oxidická vrstva není zcela stabilní a postupně dochází ke koroznímu úbytku a změnám tloušťky vrstvy.

Za účelem porovnání ochranných vlastností patiny byl stanoven index PAI (Protective Ability Index) který porovnává poměr jednotlivých složek koroze v patinující vrstvě.

U mnoha dlouhodobě exponovaných děl byl sledován korozní úbytek. Obecně bylo zjištěno, že u správně vytvořené patinující vrstvy se roční korozní úbytek pohybuje na úrovni 5-7  $\mu\text{m}$ . U konstrukční oceli nechráněné povrchovou úpravou je korozní úbytek 25-30  $\mu\text{m}$ .

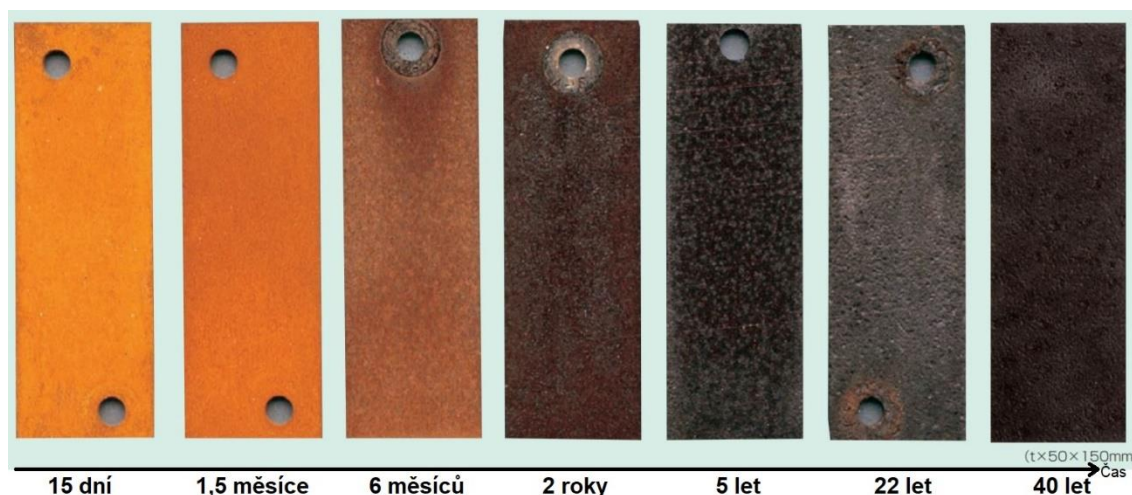
Přestože dodatečná povrchová úprava těchto konstrukcí není vyžadována, je nutné sledovat vývoj patiny na celém dílu a v případě míst s poruchou tvorby patiny je nutné tato místa vhodně předupravit a následně zhotovit povrchovou úpravu. [24]

#### 2.10.5. Složení patinující vrstvy

Patinující vrstva je při správném vývoji stabilní vrstvou oxidů, jejíž složení je závislé na době expozice a okolní atmosféře. Nejstabilnější složkou je goethit  $\alpha\text{-FeOOH}$ , který je v patinující vrstvě ve formě malých částic. Dalšími méně stabilními složkami jsou akaganeit  $\beta\text{-FeOOH}$ , lepidokrokiteit  $\gamma\text{-FeOOH}$ , magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  a další sloučeniny. [15] [18] [29]

### 2.10.6. Použití patinující oceli

Na trhu je možné najít velké množství druhů patinujících ocelí. Jejich použití je jak pro vnitřní, tak pro venkovní prostory. U použití ve vnitřních prostorách se jedná především o designové prvky a patina je zde vytvořena uměle v požadovaném odstínu, viz. Obr 14 – Zbarvení patinující oceli.



Obr 14– Zbarvení patinující oceli [32]

Typickými příklady použití na venkovní konstrukce jsou mosty nebo stožáry vysokého napětí. Zde je použití patinující oceli zdůvodněno především snížením nákladů na povrchové úpravy.

Dle studie z USA z roku 2016 jsou za vhodná prostředí považována taková, kde je doba ovlhčení <30 %. V prostředích s dobou ovlhčení <20 % dochází k tvorbě jemných částic goethitu a menšího množství lepidokrokitu.

Opodstatněnost použití tohoto druhu ocelí je nutné zvážit v prostředích, kde je doba ovlhčení >40 %. V těchto prostředích je patinující vrstva tvořena goethitem a větším množstvím magnetitu. Toto množství magnetitu je kritické a nedochází k tvorbě patiny, ale k tvorbě šupinek koroze, které volně odpadávají.

Zcela nevhodná prostředí jsou taková, kde je doba ovlhčení >60 %. Popřípadě jsou v dané oblasti roční srážky vyšší než 5000 l.m<sup>-2</sup> za rok. Některé zdroje uvádí tyto hranice ještě níže a to >30 % nebo 2500 l.m<sup>-2</sup> za rok. Dalším omezením je použití v prostředích se zvýšeným množstvím chloridů v atmosféře, jako jsou například přímořské oblasti, a to i pokud se konstrukce nachází ve vzdálenosti 40 km od pobřeží moře.

Zvýšenou pozornost je nutné věnovat použití v prostředích s vyšším obsahem chloridů, jako jsou přímořské oblasti nebo místa vystavená posypovým solím. Použití patinující oceli v těchto prostředích je řešeno především vhodností konstrukce. Nesmí zde docházet ke kumulaci vody nebo ke stékání vody z vozovky po stěnách. V případě

přítomnosti chloridů v atmosféře je patinující vrstva tvořena především goethitem, magnetitem a akagenitem. Tato vrstva již není považována za patinu, ale za korozi. Toto korozní napadení způsobené přítomností chloridů může způsobit až 6x vyšší korozní úbytek, než jaký by nastal při řádné tvorbě patiny.

Další z nečistot ovlivňující tvorbu patiny je  $\text{SO}_2$ . Některé zdroje uvádějí jako kritický parametr obsah  $\text{SO}_2$  v lokální atmosféře hodnotu  $>100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Vliv tohoto znečištění je především v oblastech s velkou průmyslovou činností nebo v blízkosti rychlostních komunikací.

Mezi další zcela nedoporučované způsoby použití patří i přímo v půdě uložené díly. Vlhkost z půdy bude bránit tvorbě ochranné patiny a díl bude korodovat obdobně nebo i rychleji než díl z běžné konstrukční oceli. [21] [22] [23] [32] [39]

### 2.10.7. Údržba a opravy defektů patiny

Správně konstrukčně navržený a zhotovený díl z patinující oceli vyžaduje pouze minimální údržbu, ale pravidelné kontroly. Předpis TP 197 stejně jako mnoho zahraničních zdrojů popisují pravidelnou údržbu dílů z patinující oceli jako kritické body v životnosti těchto dílů. Pro představu zdroje z USA z roku 2014 uvádějí, že z více než 10 000 mostů je funkční patina pouze na 30 % z nich. Na 58 % je nutné provádět opětovné předúpravy pro zabezpečení tvorby patiny a na 12 % došlo ke kritickému selhání patiny a zkorodování části konstrukce.

Světová literatura uvádí jako nejčastější způsob údržby omývání nízkým tlakem vody, a to alespoň 1x ročně. Některé zdroje uvádějí, že je možné použít tlak vody až 240 bar. Zvláště v oblastech s působením chloridů je tato údržba klíčovou záležitostí pro prodloužení životnosti těchto dílů. Dalšími důvody pro omývání konstrukce je odstranění olejů, mechanických nečistot a nahromaděných usazenin.

Na částech dílů s poruchou tvorby patiny je doporučeno otryskání těchto částí a v případě opakovaných defektů patinující vrstvy je doporučeno tato místa opětovně otryskat a aplikovat na ně nátěrové systémy nebo metalické nástřiky.

V případě celkového selhání patinující vrstvy (tvorba důlkové koroze) je doporučeno celý díl očistit a nanést nátěrový systém nebo provést metalizaci například zinkem. Výhoda takto povrchově opraveného dílu z patinující oceli je zvýšení životnosti celého dílu oproti stejně upravenému dílu z uhlíkové konstrukční oceli. Celkově má takovýto díl vyšší životnost i po poškození nátěrového systému. [7] [13] [15] [16] [17] [36]

## 2.11. Předúpravy a čištění povrchu

Pro dosažení požadované kvality a životnosti povrchové úpravy je zcela zásadním faktorem kvalita a vhodnost předúpravy povrchu. Nevhodnou volbou předúpravy, nebo jejich úplným vynecháním, dojde ke zkrácení životnosti povrchové úpravy i o více než 80 %. [19]

### 2.11.1. Tryskání

Dle normy ČSN 8501-1:2007 zní: „*Tryskání je úprava povrchu tryskacími prostředky, který je vrhán na upravenou plochu. Tryskací prostředek je nástroj, který má charakter pevné látky nebo kapaliny, případně jejich směsi. Při dopadu tryskacího prostředku na otryskávaný povrch dochází k odstranění nečistot základního materiálu a dále k plastické deformaci v povrchové úpravě.*”

Jedná se o jednu z nejvýkonnějších předúprav povrchu vhodnou jak pro tenkostěnné díly, tak i pro velké konstrukce. Podstatou je čištění nebo změna drsnosti povrchu proudem urychlených částic (tryskacího prostředku – abraziva), které dopadají pod požadovaným úhlem. K urychlení abraziva dochází buďto proudem stlačeného vzduchu, mechanicky metacími koly nebo kombinací stlačeného vzduchu a vody. Při procesu tryskání dopadá na tryskaný povrch velké množství malých částic, které mají při dopadu určitý úhel, rychlost a kinetickou energii. Pro dosažení požadovaného efektu na tryskaném povrchu je nutné vhodně zvolit tryskací prostředek. Tyto prostředky jsou rozděleny podle materiálu, tvaru, velikosti, tvrdosti a s tím spojené kinetické energie, kterou předají tryskanému povrchu. Tryskání je aplikováno za účelem čištění, změny drsnosti, odstranění okují nebo hrotů po obrábění.

Základním dělením tryskacích zařízení je na pneumatické a mechanické. Pneumatický způsob obecně pracuje na principu unášení částic abraziva proudem stlačeného vzduchu. Výhodou těchto zařízení je jejich variabilita, možnost tryskání tvarově složitých dílů nebo použití přenosných tryskačů a tryskání velkých konstrukcí. Tlak vzduchu při tryskání je 0,2 až 0,8 MPa. Tato tryskací zařízení se dále dělí dle přetržitosti nebo nepřetržitosti procesu na tlakový způsob – přetržitý a injektorový způsob – nepřetržitý.

Výkonnější injektorový způsob pracuje na principu podtlaku ve směšovací komoře. Podtlak je způsoben proudem stlačeného vzduchu. Základními díly jsou zásobník stlačeného vzduchu a tryskací pistole. Nelze zde vyloučit opětovné použití tryskacího prostředku.

Méně výkonný tlakový způsob pracuje na principu přítlaku v tlakové nádobě, ve které je umístěn i tryskací prostředek. Výhodou je možnost jednorázového použití tryskacího prostředku bez nebezpečí kontaminace tryskacího prostředku částicemi z tryskaného předmětu. Proces je přetržitý kvůli nutnosti doplňování tryskacího prostředku.

Zcela nejvýkonnějším způsobem tryskání jsou metací jednotky. Tento způsob tryskání spočívá v urychlení tryskacího prostředku, nejčastěji ocelových kuliček metacímí koly. Výkon těchto jednotek je i více než 10 000 kg/h tryskacího prostředku. Nevýhodou je omezená použitelnost pro složité díly a stacionárnost tryskacího zařízení. [9] [19] [31]

### **Tryskací prostředky – Abraziva**

Dle normy ČSN EN ISO 11124-1 jsou abraziva materiály složené z pevných částic. Typicky to jsou sypké, suché materiály. Rozlišují se dle jejich fyzikálních, chemických, mechanických a geometrických vlastností. Jejich konkrétní použití má zásadní vliv na ekonomičnost, ekologičnost, výkon a účinnost celého procesu. Jejich použití je závislé na typu znečištění, typu základního materiálu, tloušťce stěn a požadovaném povrchu. Abraziva pro tryskání lze dělit dle:

Fyzikální vlastnosti:

- materiál,
- tvrdost.

Geometrické vlastnosti:

- tvar zrna,
- velikost zrna.

Technologické:

- schopnost odstraňování materiálu,
- zdrsňující efekt. [19]

### **Povrch po aplikaci**

Tryskání je prováděno dle normy ČSN EN ISO 8504-2. Vyhodnocení povrchu po tryskání pro nanášení nátěrových hmot musí být v souladu s normou ČSN EN ISO 8501-1:2007. Tato norma uvádí parametr Sa (aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu) jako stupeň přípravy povrchu, viz. tabulka 6.

Tabulka 6 – Stupně otryskání Sa dle ČSN EN ISO 8501-1:2007 [9]

Označení	Slovní charakteristika povrchu
Sa 1 Lehké otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek
Sa 2 Důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé nečistoty musí být pevně přilnavé.
Sa 2 ½ Velmi důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí vykazovat pouze lehké zbarvení ve formě skvrn nebo pruhů.
Sa 3 Otryskání až na vizuálně čistý ocelový povrch	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.

Kontrola otryskání povrchu se provádí vizuálně. Tryskání ostrohranným abrazivem odstraní z povrchu nečistoty a vytvoří aktivovaný povrch na kterém se nacházejí zbytkové úlomky abraziva. Takto očištěný povrch začíná ve vlhkém prostředí korodovat již po několika hodinách. Proto je vhodné provést odstranění prachových a kovových částic po otryskání.

Použitím oblého abraziva dojde ke zpevnění povrchu a může docházet k zatlačení nečistot do povrchu.

Kontrolu kvality otryskání lze provést drsnoměrem. [9] [19]

### 2.11.2. Čištění vysokotlakou vodou

Tento způsob čištění povrchu je specifikován normou ČSN EN ISO 8401-4. Základním dělením je vysokotlaké tryskání vodou, tedy tlaky 70 až 200 MPa a ultravysokotlaké tryskání vodou s tlaky více než 200 MPa. Aplikace této technologie je dnes stále na vzestupu díky její ekologičnosti. Při otryskávání dochází k odstranění ulpělých nečistot i korozních produktů a starých nátěrových hmot. Při čištění nedochází k deformacím v povrchové vrstvě. Po otryskání není nutné provádět ofuk povrchu pro odstranění zbytků abraziva.

Hodnocení takto očištěného povrchu se provádí dle normy ČSN EN ISO 8501-4:2007 kde je stupeň očištění povrchu definován parametrem Wa. Stupně čistoty jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 – Stupně otryskání Wa dle ČSN EN ISO 8501-4:2007 [10]

Označení	Slovní charakteristika povrchu
Wa 1 Lehké otryskání paprskem o vysokém tlaku	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje a mastnot, nepřilnavých nebo poškozených nátěrů, nepřilnavé rzi a ostatních cizích látek. Všechny zbytky znečištění musí být rozptýleny náhodně a pevně přilnavé.
Wa 2 Důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných stop oleje, mastnot, nečistot a většiny rzi, předchozích nátěrů a ostatních cizích látek. Všechny zbylé znečištění musí být rozptýleny náhodně a mohou obsahovat pevně přilnavé povlaky, pevně přilnavé cizí látky a stíny po dříve se vyskytující rzi.
Wa 2 ½ Velmi důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez všech viditelných stop koroze, oleje, mastnot, nečistot, předchozích nátěrů, a kromě lehkých stop, bez všech cizích látek. Pokud byl původní nátěr většiny neporušen, může povrch vykazovat barevné změny. Šedé nebo hnědočerné zbarvení pozorované v místech důlkové koroze nebo zkorodované oceli nemůže být dalším otryskáním vodou odstraněn.

#### Povrch po aplikaci

Po otryskání dostáváme čistý, kovově lesklý povrch bez ztráty základního materiálu. Voda na povrchu zůstává jen ve zbytkové formě. [7] [10]

### 2.11.3. Ochrana povrchu po očištění

Základním předpokladem účinné povrchové úpravy je zamezení bleskové koroze po očištění povrchu. Po tryskání povrchu abrazivem dochází k aktivaci povrchu a rychlé tvorbě tenké oxidické vrstvy. Z tohoto důvodu je nutná aplikace nátěrových systémů maximálně do 8 h od otryskání. V opačném případě je nutné povrch chránit inhibitory koroze. U vysokotlakého čištění povrchu vodou jsou inhibitory koroze přidávány přímo do používané vody.

Tato problematika je uvedena v normě ČSN EN ISO 8501-4:2007, která definuje 3 stupně bleskové koroze jako stupeň L, M a H, viz. tabulka 8.

Tabulka 8 – Stupně bleskové koroze ČSN EN ISO 8501-4:2007 [10]

Označení	Slovní charakteristika povrchu
L Lehký stupeň bleskové koroze	Při prohlížení bez zvětšení se na povrchu vyskytuje malé množství žlutohnědé rzi, přes kterou je možné vidět podklad. Koroze (pozorovaná jako barevná změna) může být rozložena rovnoměrně, nebo se může vyskytovat ve formě skvrn, ale bude přilnavá a těžko odstranitelná jemným otíráním tkaninou.
M Střední stupeň bleskové koroze	Při prohlížení bez zvětšení se na povrchu vyskytuje vrstva žlutohnědé rzi, která zakryje původní ocelový povrch. Vrstva rzi může být rozložena rovnoměrně, nebo se může vyskytovat ve formě skvrn, ale bude dobře přilnavá a bude lehce ulpívat na tkanině, kterou se bude povrch jemně otírat.
H Vysoký stupeň bleskové koroze	Při prohlížení bez zvětšení se na povrchu vyskytuje vrstva žlutočervené/hnědé rzi, která zakryje původní ocelový povrch a je nepřilnavá. Vrstva rzi může být rozložena rovnoměrně, nebo se může vyskytovat ve formě skvrn a bude snadno ulpívat na tkanině, kterou se bude povrch jemně otírat.

V případě použití inhibitorů koroze nebo chemických odstraňovačů olejů je nutné povrch před aplikací nátěrových systémů opětovně opláchnout čistou vodou.

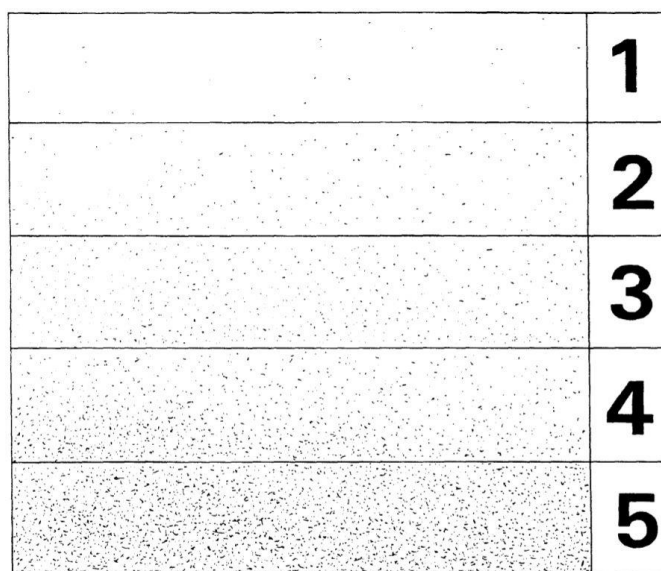
[10]



#### 2.11.4. Zbytkové částice po tryskání

Pro vyhodnocení zaprášení povrchu je využívána metoda odtržení prachových částic z podkladu samolepící páskou, která je definována v normě ČSN EN ISO 8502-3:2017. Tato metoda je využívána před aplikací nátěrových hmot a vyhodnocuje množství prachových částic (zbytků abraziva) na povrchu po tryskání, nebo zbytky korozních produktů po kartáčování.

Na podklad se nalepí páska o šířce 25 mm a palcem je přitlačována 3x v každém směru. Tímto postupem dojde k nalepení volných částic na lepící pásku. Po odtržení lepící pásky z povrchu a nalepení na čistý papír (kvůli kontrastu) je vyhodnoceno množství prachových částic v 5 stupních dle Obr. 15 a velikost těchto částic do 6 tříd dle tabulky 9. [11]



Obr 15 - Množství částic dle ČSN EN ISO 8502-3:2017 [11]

Tabulka 9 - Třídy prachových částic [11]

Třída	Popis prachových částic
0	Částice neviditelné při zvětšení 10x.
1	Částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 μm v průměru).
2	Částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50–100 μm v průměru).
3	Částice jasně viditelné prostým okem (částice do 0,5 mm v průměru).
4	Částice od 0,5 do 2,5 mm v průměru.
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru.

## 3. Praktická část

### 3.1. Úvod

První část praktické části této diplomové práce se zabývá experimentálním zjištěním vlivu chloridů na vývoj patinující vrstvy na patinující oceli.

Druhá část se zabývá praktickým ověřením chování patinující oceli na třech vybraných dílech v ČR.

### 3.2. Praktický experiment

Zdroje z celého světa se shodují, že na tvorbu patiny má zásadní vliv způsob a doba ovlhčení a vliv chloridů. Tento praktický experiment si bere za cíl ověření škodlivosti přítomnosti chloridů při tvorbě patiny na vzorcích z patinující oceli.

Z prostudovaných zdrojů vyplývá, že kritická doba ovlhčení je 30-40 %. Při překročení doby ovlhčení >40 % (cca 3500 hodin za rok) nedojde k vytvoření patiny, ale pouze ke tvorbě škodlivé koroze. Dále z těchto zdrojů vyplývá, že i jen malé množství chloridů má zásadní škodlivý vliv na vývoj patiny.

Cílem experimentu byla urychlená korozní zkouška patinující oceli v prostředích s chloridy a bez chloridů. Praktický experiment probíhal ve Středočeském kraji v půdním nezatepleném prostoru kamenného domu v obci Smilovice.

#### 3.2.1. Materiál zkušebních vzorků

Pro experiment byl použit plech z materiálu Atmofix A jehož složení je uvedeno v tabulce 10. Plech byl nastříhán na NC tabulových nůžkách na vzorky o rozměrech 90x50 mm. Pro porovnání byl použit plech z oceli S235JR, jehož složení je uvedeno v tabulce 11. Tento plech byl též nastříhán na NC tabulových nůžkách na vzorky o velikosti 100x50 mm.

Tabulka 10 - Chemické složení materiálu Atmofix A

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Al
Min %		0,25	0,30	0,05		0,30	0,50	0,30	0,01	0,10
Max %	0,12	0,75	1,00	0,06	0,04	0,55	1,25	0,60	0,10	

Tabulka 11 - Chemické složení materiálu S235JR

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Min %	0,060	0,005	0,220	0,0025	0,004	0,004	0,001
Max %	0,220	0,520	1,400	0,050	0,050	0,050	0,050

### 3.2.2. Ověření chemického složení zkušebních vzorků

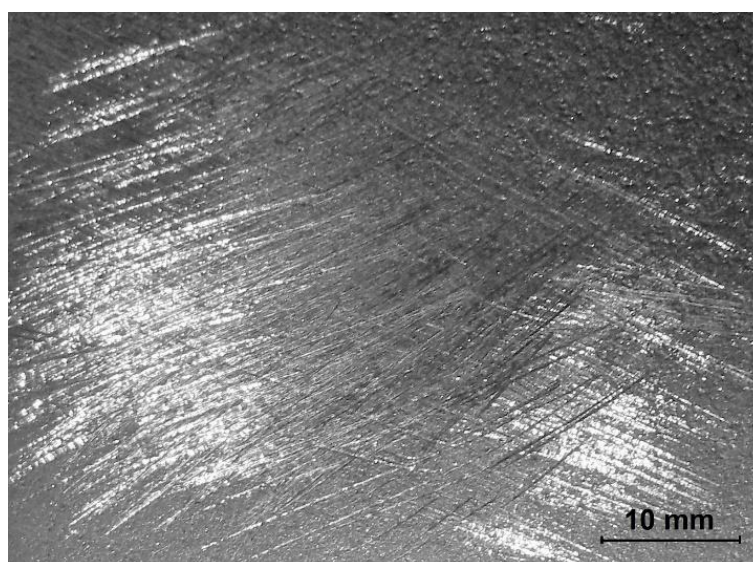
Složení patinující oceli Atmofix A, použité na vzorky, bylo ověřeno ve školních laboratořích pomocí spektrometru BAS Delta Obr. 19 – analyzátor materiálu BAS Delta. Před měřením byl vzorek tryskán na tlakovém tryskači VIXEN – SAF 6L (Obr. 17 – Tlakový tryskač VIXEN SAF 6L). Pro tryskání byl jako tryskací médium zvolen hnědý korund. Tryskání probíhalo při tlaku 0,25 MPa. Následně byl proveden ofuk kompresorem (stlačeným vzduchem) o tlaku 8 bar s pomocí přenosného kompresoru NUAIR Super Boxy (Obr. 16 – Kompresor NUAIR) a následně byl vzorek okartáčován pro snížení množství zbytkových částic korundu usazených ve vzorku Obr. 18 – Snímek povrchu vzorku.



Obr 16– Kompresor NUAIR



Obr 17 – Tlakový tryskač VIXEN SAF 6L



Obr 18 – Snímek povrchu vzorku

Samotné složení vzorků bylo vyhodnoceno jako aritmetický průměr naměřených hodnot z pěti měření a odpovídá složení udávaného výrobcem v Tabulce 10 – Chemické složení materiálu Atmofix A. Naměřené složení je uvedené v Tabulce 12 – Změřené složení materiálu Atmofix A.



Obr 19 – Analyzátor materiálu BAS Delta

Tabulka 12 - Změřené složení materiálu Atmofix A

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al
Množství %	-	0,49	0,36	0,06	0,04	0,27	0,81	0,24	0,01	-	0,35

### 3.2.3. Předúprava zkušebních vzorků

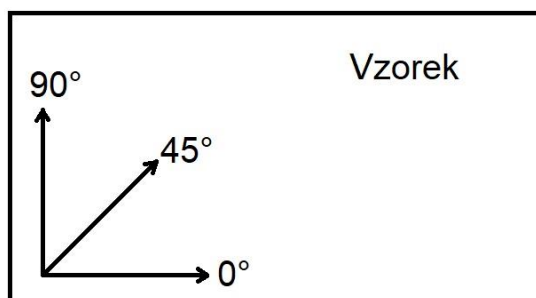
Tryskání vzorků provedla firma Bintana s.r.o. v rámci otryskávání mostu v obci Vráž. Pro tryskání byl použit mobilní trykač Ibox 9. Jako abrazivo byl použit křemenný písek. Tryskání probíhalo ručně při tlaku 0,5 MPa. Následně byla změřena drsnost vzorků drsnoměrem Mitutoyo SJ-301 (Obr. 20 – Drsnoměr Mitutoyo SJ-301). Bylo vybráno šest náhodně zvolených vzorků z materiálu Atmofix A a šest náhodně zvolených vzorků z materiálu S235JR. Měřená délka byla vždy 2,5 mm. Na každém vzorku byly naměřeny 3 hodnoty drsnosti ve směru 0 °, 3 hodnoty pro směr 45 ° a 3 hodnoty pro směr 90 °, viz. Obr. 22 – Směry měření drsnosti a Obr. 21 – Měření drsnosti vzorků směr 0°.



Obr 20 – Drsnoměr Mitutoyo SJ-301



Obr 21 – Měření drsnosti vzorků směr 0°



Obr 22 – Směry měření drsnosti

Celková průměrná drsnost byla získána jako aritmetický průměr 54 naměřených hodnot pro materiál ocel Atmofix A a 54 hodnot pro materiál ocel S235JR, viz. Tabulka 13 – Výsledky měření drsnosti vzorků materiálu Atmofix A a Tabulka 14 – Výsledky měření drsnosti vzorků materiálu S235JR. Kompletní tabulky naměřených hodnot jsou přiloženy na CD. Všechna měření drsnosti byla provedena na lícové straně, na které byla následně prováděna zkouška.



Tabulka 13 - Výsledky měření drsnosti materiálu Atmofix A

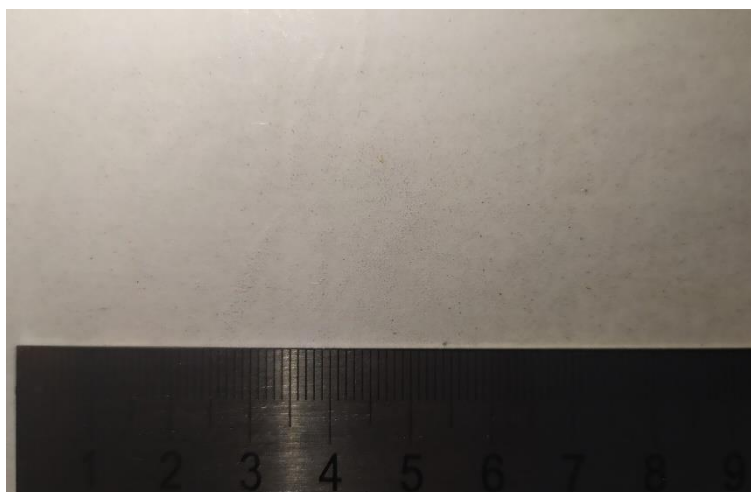
Atmofix A	Ra	Rz	Rq
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>9,05</b>	<b>48,17</b>	<b>11,23</b>
Medián	8,88	47,53	11,22
Směrodatná odchylka	1,17	4,84	1,27

Tabulka 14 - Výsledky měření drsnosti materiálu S235JR

S235JR	Ra	Rz	Rq
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>8,88</b>	<b>49,26</b>	<b>11,11</b>
Medián	9,00	49,52	11,03
Směrodatná odchylka	0,96	4,48	1,19

### 3.2.4. Vyhodnocení povrchu vzorků před experimentem

Před provedením ofuku kompresorem (stlačeným vzduchem) byl na třech náhodných vzorcích provedeno odtržení prachových částic samolepící páskou a bylo vyhodnoceno zaprášení povrchu dle ČSN EN ISO 8502-3:2017. Výsledkem bylo množství prachových částic 3 a dle velikosti byla určena třída prachových částic 3, viz. Obr. 23 – Zaprášení vzorku před ofukem kompresorem (stlačeným vzduchem).



Obr 23 – Zaprášení vzorku před ofukem

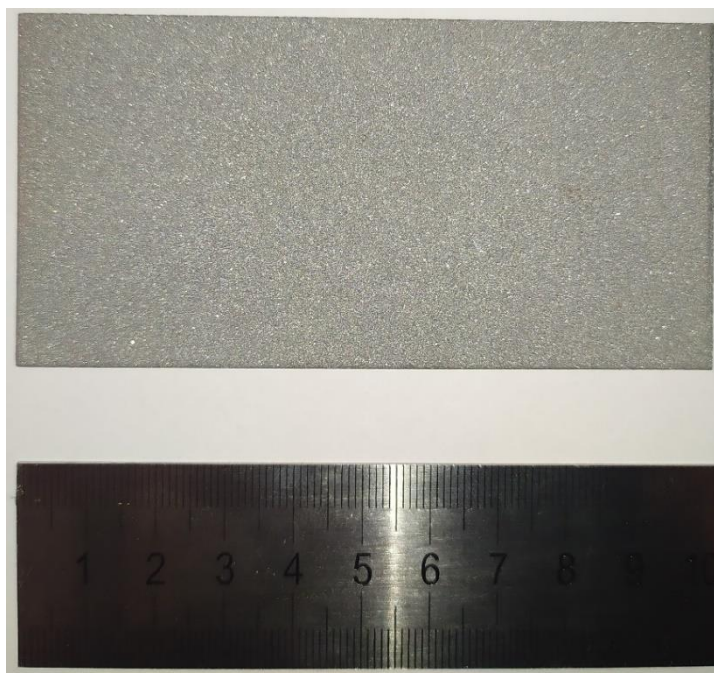
Po provedení ofuku stlačeným vzduchem bylo provedeno odtržení zbytkových prachových částic na 3 jiných vzorcích a výsledkem bylo množství částic 1 a třída prachových částic 2, viz. Obr. 24 – Zaprášení vzorku po ofuku stlačeným vzduchem.



*Obr 24 – Zaprášení vzorku po ofuku stlačeným vzduchem*

Po ofuku stlačeným vzduchem bylo provedeno vizuální hodnocení povrchu vzorků dle normy ČSN EN ISO 8501-1:2007. Na základě tohoto hodnocení bylo zjištěno, že povrch 12 ze 13 otryskaných vzorků z materiálu Atmosfix A odpovídá stupni čistoty Sa 2 nebo Sa 2 ½. Tyto vzorky vyhovují pro požadavky tohoto experimentu, viz. Obr. 25 – Otryskaný vzorek materiálu S235JR po ofuku stlačeným vzduchem. Dále byl vizuálně vyhodnocen povrch 14 otryskaných vzorků z materiálu S235JR. Z vyhodnocených vzorků měly všechny vzorky stupeň čistoty Sa 2 nebo Sa 2 ½ a jsou tedy vhodné pro použití v experimentu.

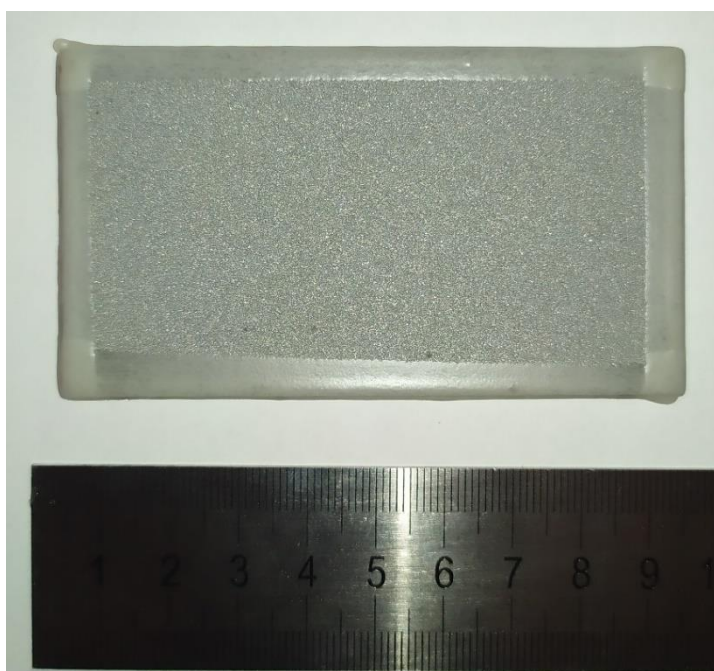




Obr 25 – Otryskaný vzorek materiálu S235JR po ofuku stlačeným vzduchem

### 3.2.5. Maskování hran vzorků

Hrany vzorků byly zamaskovány voskem pro zamezení rychlé tvorby koroze od hran vzorků. Samotné maskování bylo provedeno v rukavicích, aby nedošlo ke kontaminaci povrchu vzorku potem a nečistotami. Na obrázku 26 je zobrazen vzorek připravený pro zkoušku.



Obr 26 – Vzorek materiálu Atmofix A připravený pro experiment

### 3.2.6. Zkušební prostředí

Zkouška proběhla v prostředí C2 pod přístřeškem. Pro ovlhčování vzorků byla použita dešťová voda a chloridy používané v zimním období na posyp pozemních komunikací ve středočeském kraji. Za tímto účelem byly použity 3 sady vzorků obsahujících vždy 4 vzorky z patinující oceli a 4 vzorky z konstrukční oceli.

1. Sada je ovlhčována pouze dešťovou vodou.
2. Sada vzorků je střídavě ovlhčována roztokem chloridů a dešťovou vodou.
3. Sada je ovlhčována roztokem chloridů v koncentraci užívané pro údržbu komunikací, tedy maximální rozpustnost NaCl ve vodě při 20 °C (přibližně 350 g NaCl na 1 litr vody).

Při zkoušce byly vzorky umístěny do plastového stojanu a byly ovlhčovány příslušným roztokem. Pro aplikaci byly použity rozprašovače a nanášení probíhalo ze vzdálenosti 1 m za účelem simulace poryvu větru unášejícímu drobné částičky roztoku. Nedošlo tak k přímému nástřiku nebo nátěru roztoku na vzorky. Množství postřiku bylo předem experimentálně stanoveno tak, aby nedošlo ke stékání roztoku ze vzorků. V průběhu zkoušky byla měřena teplota a relativní vlhkost vzduchu ve zkušební místnosti. Vzhledem k době ovlhčení ve Středočeském kraji, která je v rozmezí 200-2500 h/a, což představuje průměrně 0,5 až 7 h ovlhčení denně. Z tohoto intervalu byla zvolena střední doba ovlhčení. Tato hodnota představuje 3 h a 20 min denně.

Pro aplikaci vzorků byly zvoleny časy od západu slunce do východu slunce. Vzorky byly kontrolovány a v pravidelných intervalech na ně byly aplikovány příslušné roztoky. V průběhu dne vzorky volně schnuly. Roztok byl aplikován denně ve 4:00 h, druhá aplikace v 10:00, třetí aplikace v 22:00. V 16 h bylo prováděno pouze měření teploty a relativní vlhkosti za účelem zjištění maximální teploty a minimální vlhkosti v průběhu dne. Aplikací v noci bylo dosaženo relativně stálých podmínek prostředí tak, aby nedocházelo k přehřátí vzorků a pouhému rychlému zasychání postřiku na povrchu vzorků.

### 3.2.7. Zkušební zařízení

Pro experiment byly zakoupeny střešní latě o rozměru 60x40x4000 mm. Následně z nich bylo vyrobeno 1 ks konstrukce dvoukomorového zkušebního zařízení a 1 ks konstrukce jednokomorového zkušebního zařízení, viz. Obr. 27 a 28. Vnitřní prostor každé komory je 500x500x500 mm. Na stěny byla použita plastová zakrývací folie Blue Dolphin Tapes o tloušťce 4  $\mu\text{m}$ . Folie byla ke konstrukci připojena sponkovačkou tak, aby nedocházelo k volnému odchlípnutí stěn. Jednotlivé komory mají otevíratelná víka za účelem zamezení nadměrného přístupu prachových částic, nebo znehodnocení vzorků biologickými faktory (exkrementy zvířat). K zařízení bylo přišroubováno prkno vymežující výšku postřiku 1 m nad středem komory. Takto byl zajištěn stejný směr a vzdálenost postřiku po celou dobu experimentu.

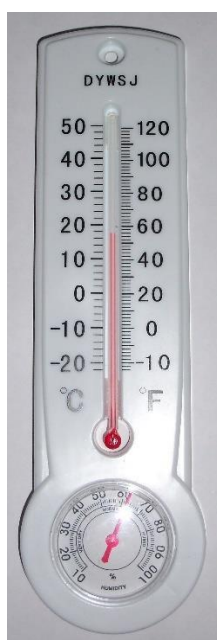


Obr 27 – Dvoukomorové zkušební zařízení před experimentem



Obr 28 – Jednokomorové zkušební zařízení před experimentem

Pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu v místnosti byl použit teploměr s integrovaným vlhkoměrem (Obr. 29 – Teploměr a vlhkoměr). Teploty a vlhkost byla zaznamenávána ručně na záznamový arch. Pro udržení vzorků v požadované pozici byl použit plastový odkapávač na nádobí, který byl upraven pro požadovanou velikost vzorků (Obr. 30 – Držák na vzorky). Zkoumané plochy vzorků zde mají konstantní sklon 73 °.



Obr 29 – Teploměr a vlhkoměr



Obr 30 – Držák na zkušební vzorky



### 3.2.8. Zkušební roztoky

Pro urychlenou korozní zkoušku byly použity 2 ruční rozprašovače, viz. Obr. 31 – Rozprašovače se zkušebními postřiky.



Obr 31 – Rozprašovače se zkušebními prostředky

1. rozprašovač (zelený) obsahuje dešťovou vodu zbavenou velkých mechanických nečistot (Obr. 32 – Dešťová voda s nečistotami). Toto bylo provedeno přefiltrováním dešťové vody přes bavlněné plátno. Přecedění bylo provedeno kvůli zamezení ucpání trysky rozprašovače. Bylo změřeno pH této vody pH metrem HANNA instruments HI 98191, viz. Obr. 33, změřená hodnota pH činila 7,03 pH.



*Obr 32 – Dešťová voda s nečistotami*



*Obr 33 – pH metr HANNA intruments HI 98191*

2. rozprašovač (hnědý) obsahuje posypovou sůl v koncentraci 350 g NaCl na 1 l pitné. Roztok byl připraven smícháním pitné vody a posypové soli dodané ze skladu údržby silnic v obci Zásmuky (Obr. 6 – Silniční posypová sůl NaCl). Přesto, že ŘSD požaduje posypové soli bez nečistot, byla dodaná sůl s vysokým obsahem nečistot, viz. Obr. 34 – Nečistoty v roztoku NaCl. Namíchaný roztok byl následně přefiltrován přes bavlněné plátno, aby nedošlo k ucpání trysky rozprašovače.

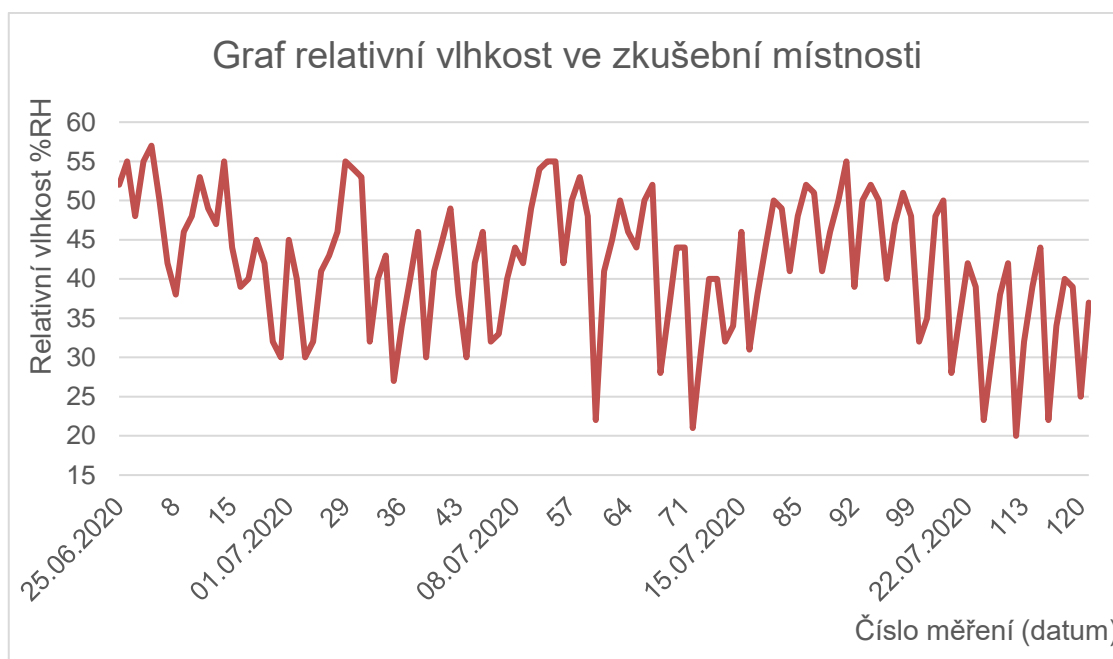


*Obr 34 – Nečistoty v roztoku NaCl*

### 3.2.9. Zkušební podmínky

Zkušební podmínky se v průběhu experimentu měnily dle aktuálního počasí. Z hlediska průběhu experimentu bylo zásadní nepřekročit relativní vlhkost přes hranici 60 %RH, od které dochází k samovolné rychlé tvorbě koroze na povrchu zkoumaného materiálu. Z grafu 1 je patrné, že k překročení hranice 60 %RH nedošlo. V nočních hodinách a při deštích stoupla vlhkost na maximální hodnotu 57 %RH. Naopak v průběhu dne klesla vlhkost na hodnotu 20 %RH, jak je patrné z tabulky 15 – Naměřené hodnoty relativní vlhkosti v průběhu experimentu. Průměrná vlhkost byla vypočtena z celého souboru měření a její hodnota činí 42 %RH.

Graf 1 - Průběh relativní vlhkosti při experimentu



Tabulka 15 – Naměřené hodnoty relativní vlhkosti v průběhu experimentu

Relativní vlhkost	%RH
<b>Arit. Průměr</b>	<b>42</b>
Min.	20
Max.	57
Modus	50
Medián	42



Teplota ve zkušební místnosti se měnila s denní dobou a vnějšími klimatickými podmínkami (Graf 2 – Průběh teplot při experimentu). Minimální naměřená teplota byl 14 °C a v odpoledních vedrech byla naměřena nejvyšší teplota 34 °C. Průměrná teplota ve zkušební místnosti byla 21,5 °C, viz. tabulka 16 – Naměřené teploty v průběhu experimentu.

Graf 2 – Průběh teplot při experimentu



Tabulka 16 – Naměřené teploty v průběhu experimentu

Teplota	[°C]
<b>Arit. Prům.</b>	<b>21,5</b>
Min	14
Max	34
Modus	20
Median	20

Kompletní soubor 122 provedených měření je k dispozici v příloze B na CD.

### 3.2.10. Průběh experimentu

Aby nevznikalo lokální vlhké mikroklima nebyly jednotlivé komory v průběhu experimentu zcela uzavřené. Víka komor byla ponechána pootevřená na mezeru cca 100 mm (Obr. 35 – Jednokomorové zkušební zařízení v průběhu experimentu) v průběhu experimentu, (Obr. 36 – Dvoukomorové zkušební zařízení v průběhu experimentu). Před aplikací byly vždy nejprve okolní komory zavřeny a následně byla provedena aplikace příslušného roztoku. Po aplikaci byly opět komory pootevřeny.



Obr 35 – Jednokomorové zkušební zařízení v průběhu experimentu



Obr 36 – Dvoukomorové zkušební zařízení v průběhu experimentu

Na obrázku 37 a 38 je možné vidět stav vzorků po umístění do zkušebního zařízení.



*Obr 37 – 1. sada vzorků při zahájení experimentu*



*Obr 38 – 3. sada vzorků při zahájení experimentu*



Postřiky byly prováděny dle výše uvedených specifikací, viz. podkapitola 3.2.5. Zkušební podmínky. První známky červené rzi na vzorcích byly nalezeny již po 24 h expozice. Tyto nálezy byly na všech vzorcích z 3. sady ovlhčované jen roztokem s chloridy. Na vzorcích z 2. sady, ovlhčované kombinací chloridů a dešťové vody, byly nalezeny první známky červené rzi po uplynutí 48 h expozice. U 3. sady vzorků, ovlhčované pouze dešťovou vodou, byly první nálezy červené rzi po přibližně 5 dnech expozice. Tato ložiska červené rzi nebyla nalezena na všech vzorcích.

Na obrázcích 39 až 41 je možné vidět postup korozního napadení na jednotlivých sadách vzorků po 10 dnech expozice. Zároveň je patrné, že teploty kolem 40 °C zřejmě způsobily uvolnění tekuté složky maskovacího vosku na vzorky. Toto částečné znehodnocení vzorků zmenšilo použitelnou část vzorku pouze na středovou část.



*Obr 39 – 1. sada vzorků po 10 dnech expozice*



*Obr 40 – 2. sada vzorků po 10 dnech expozice*



*Obr 41 – 3. sada vzorků po 10 dnech expozice*

Z výše uvedených fotografií je patrné, že u sady 1, tedy sady ovlhčované pouze dešťovou vodou, dochází k tvorbě koroze pouze na vzorcích z materiálu Atmosfix A.

V průběhu experimentu, i přes kolísání počasí, nedošlo k znehodnocení vzorků vnějšími vlivy. Měření byla prováděna v konstantních časech s odchylkou do 10 minut od udaného času.

V příloze C na CD je kompletní fotodokumentace předních i zadních stran vzorků focených po 10, 15, 20, 25 a 30 dnech expozice.



### 3.2.11. Vyhodnocení výsledků experimentu

Vizuální hodnocení vzorků exponovaných 30 dní:

#### 1. Sada vzorků, materiál Atmofix A (ovlhčována dešťovou vodou):

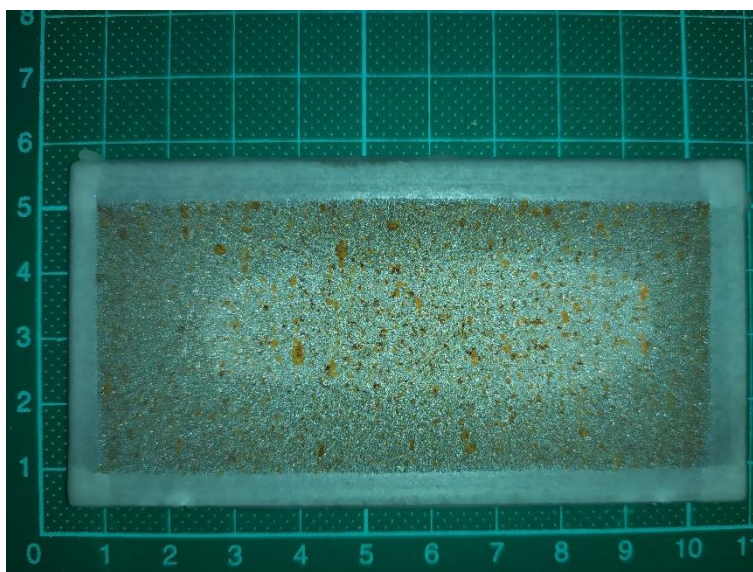
Dle předpokladu došlo u této sady vzorků k pomalé tvorbě korozních produktů, a tím k řádné tvorbě patinující vrstvy na vzorcích z materiálu Atmofix A. Na obrázku 42 níže je možné vidět tvorbu patiny na materiálu Atmofix A.



Obr 42 - 1. sada vzorek materiálu Atmofix A po 30 dnech expozice

#### 1. Sada vzorků, materiál S235JR (ovlhčována dešťovou vodou):

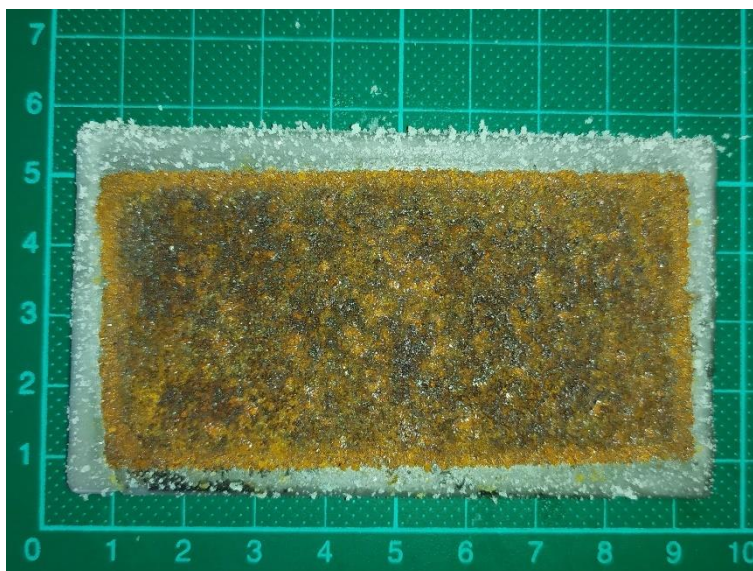
Níže vyobrazená fotografie Obr. 43 zachycují tvorbu korozních produktů na vzorcích z materiálu S235JR. Z fotografií je patrné nižší korozní napadení než na vzorcích z materiálu Atmofix A.



Obr 43 - 1. sada vzorek materiálu S235JR po 30 dnech expozice

## 2. Sada vzorků, materiál **Atmofix A** (ovlhčována dešťovou vodou a roztokem NaCl):

Dle poznatků získaných z teoretické části bylo potvrzeno, že i menší množství chloridů přítomných na povrchu patinující oceli výrazně zvýší tvorbu korozních produktů. Z fotografií níže je patrné, že patinující ocel ovhčovaná chloridy má zbarvení odpovídající 5 letům řádné tvorby patiny. Fotografie Obr. 44 ukazuje vzorek z 2. sady materiálu Atmofix A s poruchou tvorby patinující vrstvy.



Obr 44 - 2. sada vzorek materiálu Atmofix A po 30 dnech expozice

## 2. Sada vzorků, materiál **S235JR** (ovlhčována dešťovou vodou a roztokem NaCl):

Níže vyobrazená fotografie Obr. 45 zachycuje tvorbu korozních produktů na vzorku z materiálu S235JR. Na první pohled je patrné, že konstrukční ocel má shodný odstín korozních produktů.

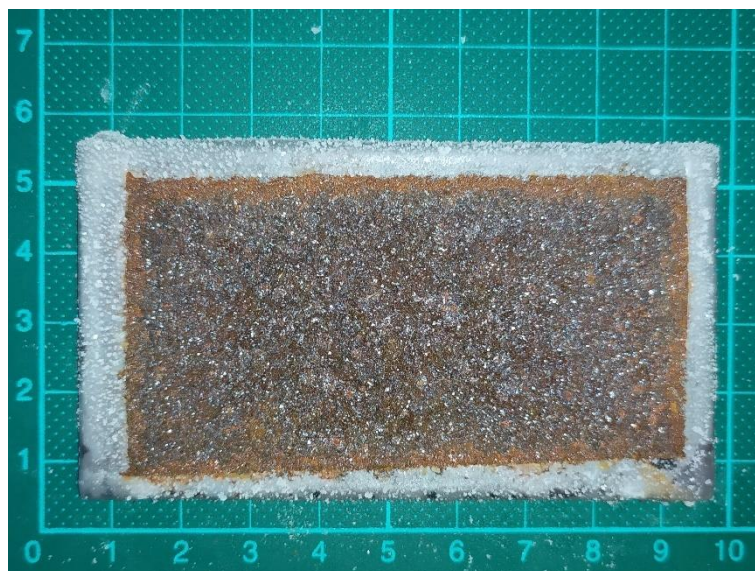


Obr 45 - 2. sada vzorek materiálu S235JR po 30 dnech expozice



### 3. Sada vzorků, materiál Atmofix A (ovlhčována roztokem NaCl):

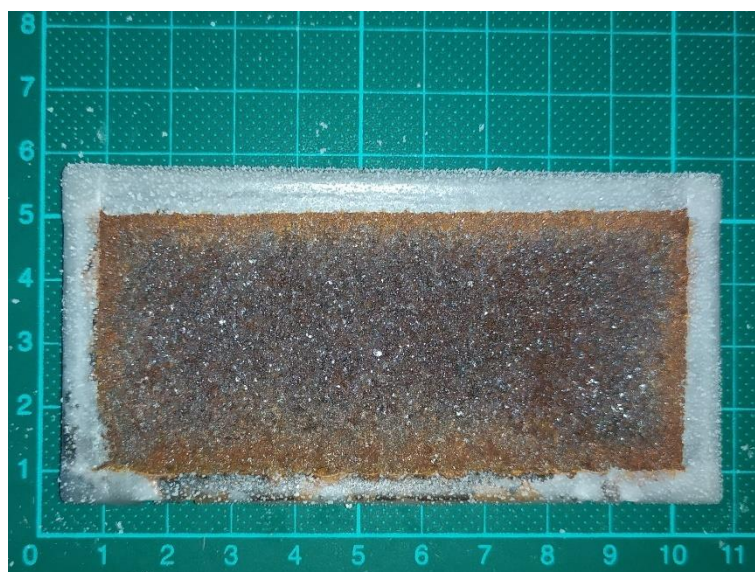
Fotografie vyobrazená níže zachycuje korozní napadení vzorku z materiálu Atmofix A po 30 dnech působení chloridů. Na první pohled je patrné, že zbarvení tohoto vzorku odpovídá zbarvení dílů bez poruchy tvorby patiny exponovaných více než 5 let. Fotografie Obr. 46 ukazuje vzorek z 3. sady materiálu Atmofix A s výraznou poruchou tvorby patinující vrstvy.



Obr 46 - 3. sada vzorek materiálu Atmofix A po 30 dnech expozice

### 3. Sada vzorků, materiál S235JR (ovlhčována roztokem NaCl):

Níže vyobrazená fotografie Obr. 47 zachycuje tvorbu korozních produktů na vzorku z materiálu S235JR. Korozní napadení je shodné se vzorky z materiálu Atmofix A.



Obr 47 - 3. sada vzorek materiálu S235JR po 30 dnech expozice

Kompletní fotodokumentaci lze nalézt v příloze C na CD.



Pro vyhodnocení tloušťky korozní vrstvy po experimentu bylo provedeno měření tloušťky tloušťkoměrem Elcometer 456T pracujícím na bázi magnetické indukce s mikrosondou FM3 (Obr. 48 – Tloušťkoměr Elcometer 456T s mikrosondou na feromagnetické materiály). Kalibrace byla prováděna na kalibračních fóliích o tloušťce 23,6  $\mu\text{m}$  pro sadu vzorků č. 1 a 131  $\mu\text{m}$  pro sady vzorků č. 2 a 3.

Tabulka 17 ukazuje výsledky měření tloušťky vrstvy korozních produktů na 1. sadě vzorků ovlhčované pouze dešťovou vodou. Z výsledků měření je patrné, že vzorky z patinující oceli Atmofix A mají větší tloušťku korozních produktů.



Obr 48 – Tloušťkoměr Elcometer 456T s mikrosondou na feromagnetické materiály

Tabulka 17 - Tloušťky korozních produktů na 1. sadě vzorků po 30 dnech expozice

Výsledky	Atmofix A [ $\mu\text{m}$ ]	S235JR [ $\mu\text{m}$ ]
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>20,0</b>	<b>17,2</b>
Min	4,4	4,6
Max	35,3	32,6
Medián	17,6	17,3
Směrodatná odchylka	7,7	6,2

Z výsledků měření 2. sady vzorků (Tabulka 18) je patrné, že přítomnost chloridů v prostředí je zcela nepřijatelná pro správnou tvorbu patinující vrstvy. Kombinace chloridů a dešťové vody vytváří dlouho ovlhčený povrch a tvorba korozních produktů probíhá déle než u 3. sady vzorků, která byla ovlhčována pouze roztokem NaCl.

*Tabulka 18 - Tloušťky korozních produktů na 2. sadě vzorků po 30 dnech expozice*

Výsledky	Atmofix A [μm]	S235JR [μm]
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>130,6</b>	<b>120,7</b>
Min	90,5	56,3
Max	187,0	197,0
Medián	131,5	120,0
Směrodatná odchylka	24,1	28,1

3. sada vzorků byla ovlhčována po dobu 30 dnů pouze roztokem NaCl. Tento roztok vytvářel na povrchu agresivní korozní prostředí a zcela zabránil tvorbě patiny na povrchu. Vzorky z materiálu Atmofix A vykazují vyšší průměrnou tloušťku koroze a potvrzují tak tvrzení z kapitoly 2.10.6. Použití patinujících ocelí, kde je uvedeno, že pokud jsou v prostředí přítomny chloridy, dochází ke korozi, která probíhá rychleji než u konstrukčních ocelí. Tabulka 19 ukazuje výsledky měření tlouštěk korozních produktů na vzorcích z 3. sady.

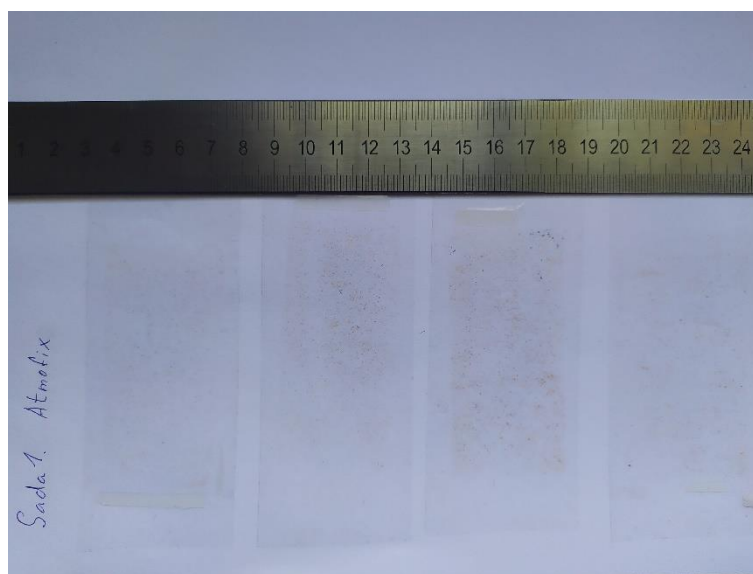
*Tabulka 19 - Tloušťky korozních produktů na 3. sadě vzorků po 30 dnech expozice*

Výsledky	Atmofix A [μm]	S235JR [μm]
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>132,3</b>	<b>120,6</b>
Min	89,0	83,3
Max	173,0	169,0
Medián	129,5	119,5
Směrodatná odchylka	18,9	18,9

Kompletní soubor naměřených hodnot je k dispozici na CD v příloze E.

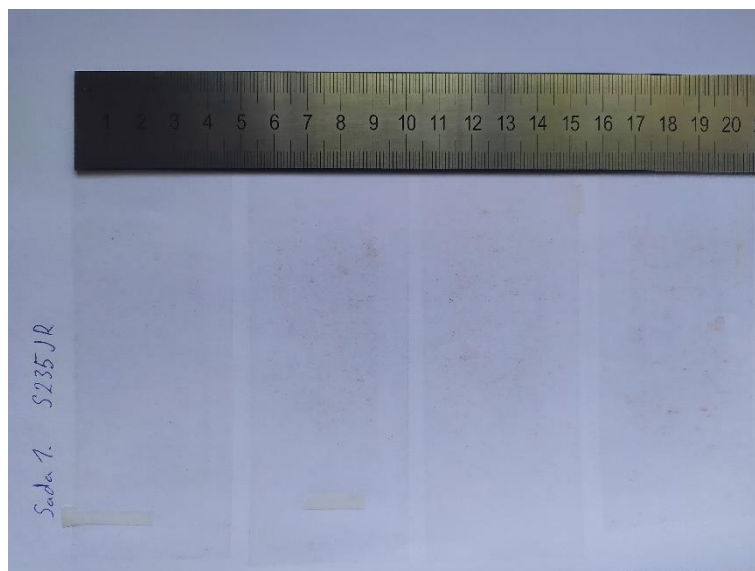
Po změření tloušťky bylo provedeno odtržení volných korozních produktů průhlednou samolepící páskou dle postupů z normy ČSN EN ISO 8502-3:2017. Pro odtržení byla použita průhledná samolepící páska o šířce 50 mm pro zachycení korozních produktů z celé šířky vzorků. Následně byly tyto pásky přilepeny na bílý papír pro získání dostatečného kontrastu. Vyhodnocení probíhalo dle specifikace pro prachové částice na povrchu.

Z odtržených korozních produktů ze vzorků materiálu Atmofix A z 1. sady je patrné minimální množství korozních produktů. Množství bylo stanoveno na úroveň 3 a třída korozních produktů 2. Tyto korozní produkty jsou zachyceny na obrázku 49.



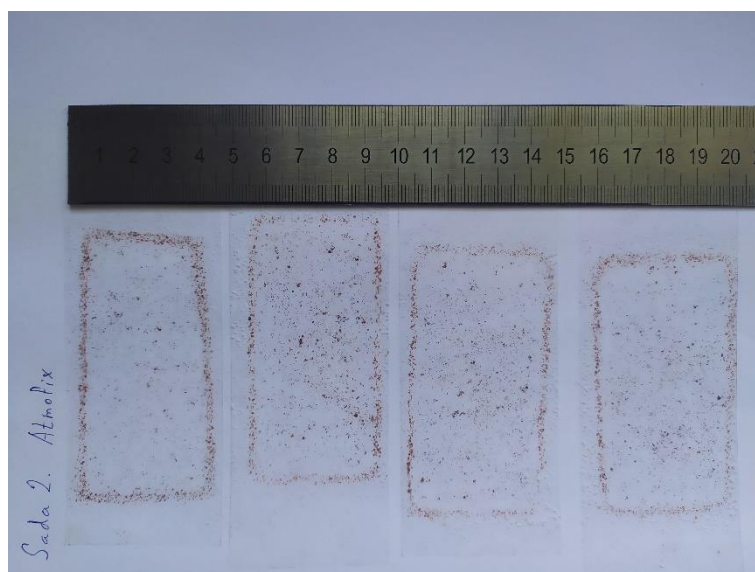
Obr 49 – Odtržené korozní produkty sada 1, materiál Atmofix A

Z odtržených korozních produktů ze vzorků materiálu S235JR z 1. sady je patrné minimální množství korozních produktů. Množství těchto produktů bylo stanoveno na úroveň 2. Velikost těchto korozních produktů je nepostřehnutelná lidským okem byla stanovena jako třída 1. Tyto produkty jsou zachyceny na obrázku 50.



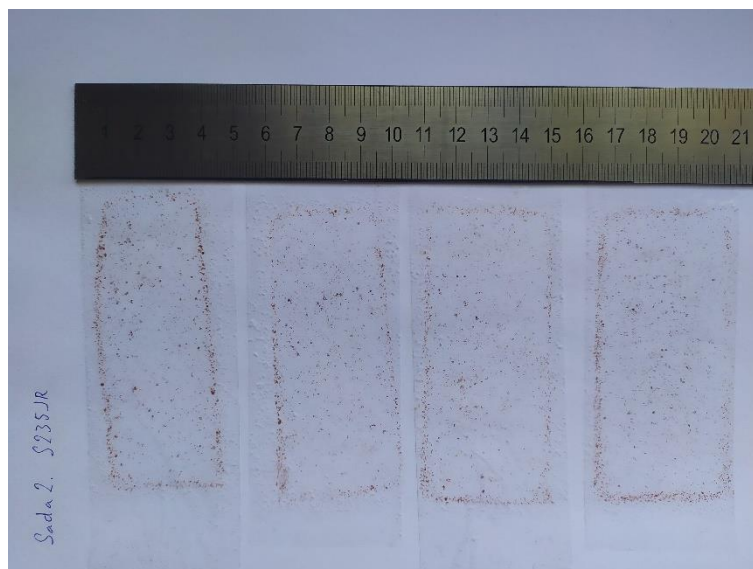
Obr 50 – Odtržené korozní produkty sada 1, materiál S235JR

Z odtržených korozních produktů ze vzorků materiálu Atmofix A z 2. sady je patrné velké množství korozních produktů. Toto množství bylo stanoveno na úrovni 4. Vzhledem k velikosti těchto korozních produktů do 0,5 mm byla stanovena a třída korozních produktů 3. Tyto produkty jsou zachyceny na obrázku 51.



Obr 51 – Odtržené korozní produkty sada 2, materiál Atmofix A

Z odtržených korozních produktů ze vzorků materiálu S235JR z 2. sady je patrné větší množství korozních produktů. Toto množství bylo stanoveno na hodnotu 3. Velikost těchto částic je i více než 0,5 mm byly proto zařazeny do třídy korozních produktů 4. Tyto produkty jsou zachyceny na obrázku 52.



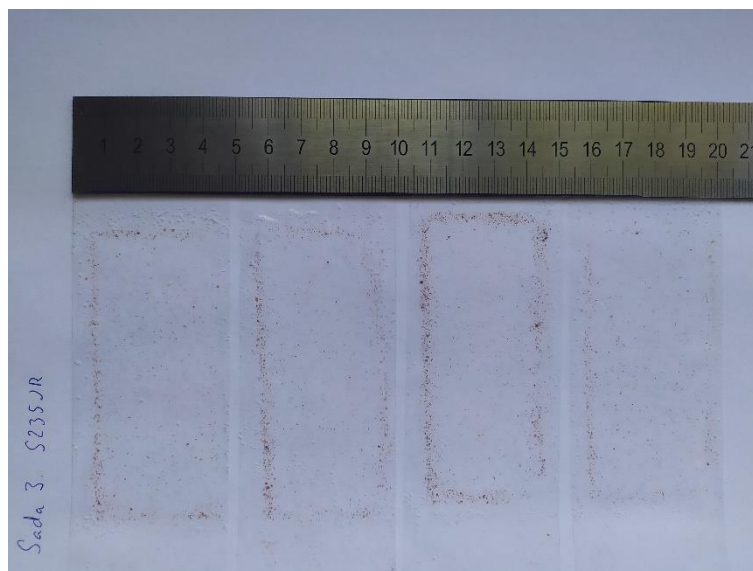
Obr 52 – Odtržené korozní produkty sada 2, materiál S235JR

Z odtržených korozních produktů ze vzorků materiálu Atmofix A ze 3. sady je patrné, že zde téměř nedochází k uvolňování korozních produktů. Množství korozních produktů bylo vyhodnoceno jako úroveň 2 a třída korozních produktů byla stanovena na hodnotu 2. Tyto korozní produkty jsou zachyceny na obrázku 53.



Obr 53 – Odtržené korozní produkty sada 3, materiál Atmofix A

Z odtržených korozních produktů ze vzorků materiálu S235JR ze 3. sady je stejně jako u vzorků materiálu Atmofix A patrné, že téměř nedochází k tvorbě volných korozních produktů. Množství korozních produktů bylo stanoveno na úrovni 2 a třída korozních produktů také 2. Tyto korozní produkty jsou zachyceny na obrázku 54.



Obr 54 – Odtržené korozní produkty sada 3, materiál S235JR

Kompletní fotodokumentace je přiložena na CD v příloze C.

### 3.2.12. Vyhodnocení výsledků

Z naměřených hodnot a vyhodnocených dat je zcela patrné, že působení chloridů na patinující ocel má katastrofální účinky. Veškeré vzorky z materiálu Atmofix A, vystavené působení těchto chloridů, vykazují vyšší tloušťku korozních produktů než vzorky z běžné konstrukční oceli S235JR. Pouze u vzorků ovlhčovaných chloridy a dešťovou vodou došlo k volnému odpadávání větších korozních produktů na materiálu S235JR než na materiálu Atmofix A. Zároveň však bylo změřeno, že na vzorcích z materiálu Atmofix A je vyšší tloušťka korozních produktů.

Z těchto výsledků vyplývá, že použití patinující oceli na díly v prostředí se zvýšeným obsahem chloridů je nepřijatelné, a respektive je nutné na takové díly aplikovat povrchové úpravy pro prodloužení jejich životnosti.



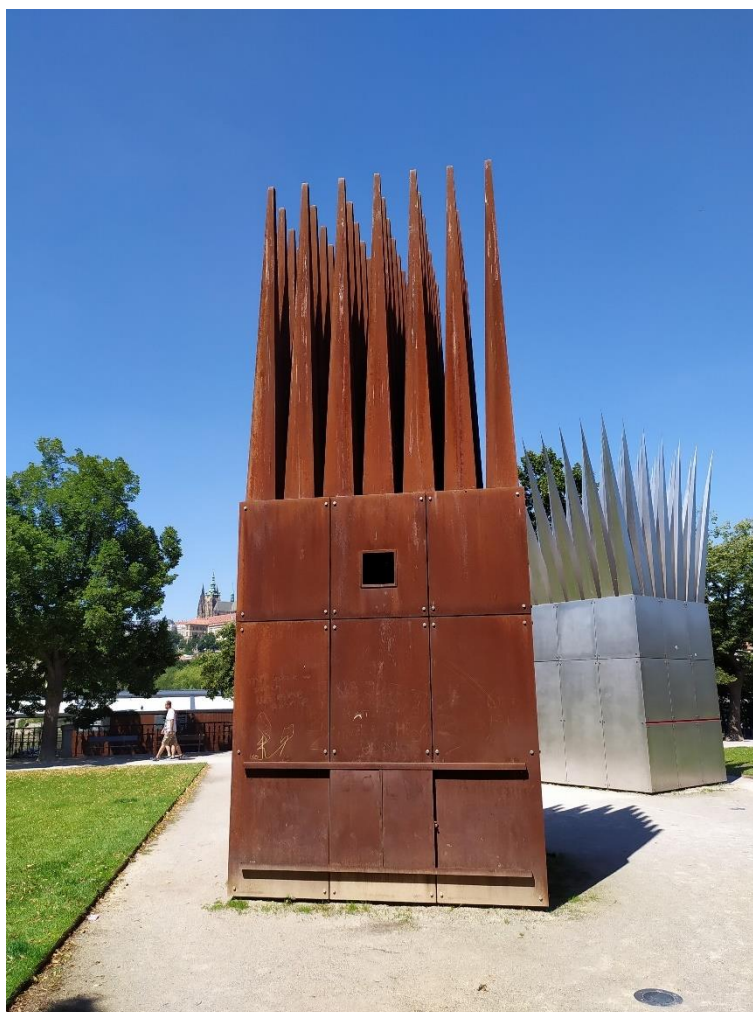
### 3.3. Ověření patiny na volně dostupných dílech z patinující oceli

Součástí této diplomové práce je změření tloušťky korozních produktů na 3 volně dostupných dlouhodobě exponovaných dílech z patinující oceli v ČR. Za tímto účelem byla vybrána 3 díla v různém prostředí. U každého díla byly naměřeny hodnoty tloušťky patinující vrstvy v různých částech těchto děl, odhad korozního prostředí a porovnání odstínu zbarvení s Obr. 14 – Zbarvení patinující oceli [32].

#### 3.3.1. Dlouhodobě exponovaná díla

##### 1. Dílo:

Dům matky sebevraha (Obr. 55) byl stavěn od zimy 2015 a představen byl v roce 2016. Lze jej nalézt v Praze na GPS souřadnicích 50.088789, 14.414141. Nejdelší prodleva před jeho odhalením byla kvůli kompletnímu vytvoření patiny. Přesto, že toto umělecké dílo je exponováno již 4 roky, jeho zbarvení odpovídá spíše 6 měsícům až 5 letům expozice. Celé dílo je vytvořeno z plechů o tloušťce 22 mm. [6]



Obr 55 – Dům matky sebevraha červenec 2020

Různost zbarvení patiny je dána okolním prostředím. U země je dílo ovhčováno vodními výpary z nedaleké Vltavy a má zde nejtmaší odstín patiny. Ve výšce okolo 1,5 m je patrné lokální poškození patiny zapříčiněné převážně nutností odstraňování graffiti a mechanickým poškození způsobené vandaly. Ve výšce nad 2 m je patrná dobrá a rovnoměrná tvorba patinující vrstvy. V horní části je dílo opět znečištěno výkaly ptáků, a tím vzniká lokální porucha tvorby patiny.

## 2. Dílo:

Stůl z patinující oceli je umístěn na Mariánském náměstí v Praze a byl zde představen v roce 2019. Lze jej nalézt na GPS souřadnicích 50.087080, 14.417563. Vrchní část tohoto uměleckého díla je tvořena plechem o tloušťce 12 mm. Zbarvení tohoto díla odpovídá z vrchní části 6 měsícům až 2 letům expozice a z dolní části více než 5 letům expozice. Obrázek 56 zachycuje toto umělecké dílo v červenci 2020.



Obr 56 – Stůl na Mariánském náměstí červenec 2020

Z fotografie je patrná rozlišenost odstínů patinující vrstvy. Tyto rozdíly jsou způsobeny poškozováním povrchu vylepovanými plakáty, graffiti a jejich následným odstraňováním atd. Ze spodní strany je patinující vrstva ovhčována především vzdušnou vlhkostí a její tvorba je pravidelná. Nohy tohoto stolu mají u země tmavší odstín způsobený vyšší vlhkostí a směrem ke spodní straně desky se patina ustálila.



### 3. Dílo:

Opláštění obchodu ve městě Uhlířské Janovice je možno nalézt na GPS souřadnicích 49.884175, 15.066926. Toto opláštění bylo vybudováno dle informací od majitele v roce 2008. Materiálem tohoto opláštění je blíže nespecifikovaná patinující ocel Cor-Ten. Materiál byl dodán již v patinovaném stavu. Obrázek 57 zachycuje toto opláštění po 12 letech expozice v červenci 2020. Zbarvení této patiny odpovídá více než 5 letům expozice, kromě jednoho plátu, kde došlo k netěsnosti okapu a hlubokému zkorodování opláštění. Tato část byla vyměněna a její zbarvení odpovídá přibližně 2 letům expozice, viz. obrázek 57.



Obr 57 – Opláštění samoobsluhy v Uhlířských Janovicích červenec 2020

Tvorba patiny je zde zcela kompaktní. Nejsou zde patrné žádné poruchy tvorby patiny. Za zcela vhodné konstrukční řešení je zde považováno začátek opláštění ve výšce 0,8 m. Nedochozí tak v zimním období ke kontaktu opláštění s chemickými rozmrazovacími prostředky.

### **3.3.2. Popis prostředí**

#### **1. Dílo:**

Vzhledem k omezení dopravního provozu v těsné blízkosti tohoto díla je nejbližším znečištěním pozemní komunikace vzdálená 21 m směrem na severozápad. Na jihovýchodní straně je obdobná pozemní komunikace vzdálená 19 m. Severovýchodně od tohoto díla je umístěno parkoviště ve vzdálenosti pouhého 1 m. Zbytek prostoru je obsazeno kavárnou. Pozemní komunikace zde jsou v zimním období udržována chemickými rozmrazovacími prostředky.

Vzhledem k použití chemických rozmrazovacích prostředků je toto prostředí klasifikovatelné jako C3 až C4 podle ročního období.

#### **2. Dílo:**

Vzhledem k omezení dopravního provozu v těsné blízkosti tohoto díla je nejbližším znečištěním pozemní komunikace vzdálená 21 m směrem na severozápad. Na jihovýchodní straně je obdobná pozemní komunikace vzdálená 19 m. Severovýchodně od tohoto díla je umístěno parkoviště ve vzdálenosti pouhého 1 m. Zbytek prostoru je obsazen kavárnou. Pozemní komunikace zde jsou v zimním období udržována chemickými rozmrazovacími prostředky.

Vzhledem k použití chemických rozmrazovacích prostředků je toto prostředí klasifikovatelné jako C3 až C4 podle ročního období.

#### **3. Dílo:**

Ze severovýchodní strany je ve vzdálenosti 5 m rušná pozemní komunikace, která je v zimním období udržována chemickými rozmrazovacími prostředky. Severní a jižní strana má opláštění zcela minimální a nachází se zde parkoviště.

Vzhledem k rušnosti pozemní komunikace a vyobrazení této oblasti na korozních mapách, odhaduji toto korozní prostředí na C4.

### 3.3.3. Tloušťka patinující vrstvy

#### 1. Dílo:

Toto dílo bylo měřeno ze 4 stran ve 3 výškách. Došlo tak k rozdělení na 12 sektorů a v každém bylo naměřeno 50 hodnot. Jednotlivé strany byly označeny čísly a jsou situovány:

- 1) severovýchod
- 2) severozápad
- 3) jihozápad
- 4) jihovýchod

Výškově byla každá strana rozdělena na 3 sektory:

- a) <0,5 m výšky
- b) >0,5 m a zároveň <1,5 m
- c) >1,5 m

Výsledky měření jsou uvedeny v následujících tabulkách 20 až 23.

*Tabulka 20 – Tabulka výsledků měření severovýchodní strany díla*

Výsledky	a)	b)	c)
1. strana	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>59,9</b>	<b>59,8</b>	<b>46,7</b>
Min	20,0	24,7	34,0
Max	145,0	59,8	85,1
Směrodatná odchylka	21,1	8,7	9,6
Koeficient variace	35,3	20,3	20,5

*Tabulka 21 – Tabulka výsledků měření severozápadní strany díla*

Výsledky	a)	b)	c)
2. strana	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>63,1</b>	<b>43,0</b>	<b>51,82</b>
Min	34,1	25,7	30,9
Max	129,0	65,3	90,7
Směrodatná odchylka	19,3	7,5	13,3
Koeficient variace	30,6	17,5	25,7

Tabulka 22 – Tabulka výsledků měření jihozápadní strany díla

Výsledky	a)	b)	c)
3. strana	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>65,2</b>	<b>42,9</b>	<b>43,6</b>
Min	42,2	23,3	30,4
Max	134	63,2	62,5
Směrodatná odchylka	16,3	8,3	7,5
Koeficient variace	24,9	19,4	17,1

Tabulka 23 – Tabulka výsledků měření jihovýchodní strany díla

Výsledky	a)	b)	c)
4. strana	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>66,3</b>	<b>47,1</b>	<b>44,3</b>
Min	26,9	27,4	29,8
Max	133,0	77,6	63,1
Směrodatná odchylka	24,3	11,8	8,2
Koeficient variace	36,7	25,0	18,5

Z výsledků je patrné, že tloušťka patiny je ve výšce do 0,5 m na všech stranách přibližně stejná. Ve výšce od 0,5 m do 1,5 m je nejvyšší tloušťka patiny na severovýchodní straně, na kterou svítí slunce nejkratší část dne. Ve výšce nad 1,5 m je patina přibližně stejná na celém díle.

## 2. Dílo:

Toto dílo bylo měřeno v horní části desky stolu, v dolní části desky stolu a jako třetí oblast byly proměřeny nohy stolu. V každé oblasti bylo naměřeno 50 hodnot. Tabulka 24 ukazuje výsledky naměřených hodnot.

Tabulka 24 – Tabulka výsledků měření stolu na Mariánském náměstí

Výsledky	Vrchní	Spodní	Sloupky
	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>46,3</b>	<b>39,8</b>	<b>33,0</b>
Min	14,8	12,5	9,2
Max	75,2	102,0	61,2
Směrodatná odchylka	15,8	20,3	11,2
Koeficient variace	34,0	50,9	34,0

Z výsledků měření je patrné, že nejtlustší korozní produkty jsou na spodní straně díla, ale celkově je nejvyšší tloušťka patiny na vrchní straně díla. Tedy na straně, která je nejvíce namáhána vlivy prostředí.

### 3. Dílo:

Toto dílo bylo změřeno ze 3 směrů a v každém bylo naměřeno 50 hodnot:

- 1) Jižní směr
- 2) Severovýchodní směr
- 3) Severní směr

V následující tabulce 25 jsou uvedeny výsledky měření

Tabulka 25 – Tabulka výsledků měření na opláštění v Uhlířských Janovicích

Výsledky	Jih	Východ	Sever
	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>71,0</b>	<b>77,3</b>	<b>61,5</b>
Min	23,7	43,5	33,9
Max	107,0	122,0	122,0
Směrodatná odchylka	17,5	18,9	18,8
Koeficient variace	24,6	24,4	30,5

Z výsledků měření je patrné, že strana opláštění nasměřovaná přímo k pozemní komunikaci má nejvyšší tloušťku patinující vrstvy. Opláštění směřované na sever má hodnotu nejnižší, to je způsobeno kratší dobou expozice oproti zbylým dvěma stranám.

#### 3.3.4. Vyhodnocení výsledků

Vzhledem k poruchám tvorby patiny na 1. a 2. díle způsobené vandaly, jsou měření zatížena chybou, neboť tvorba této patiny je silně ovlivněna vlivy prostředí. Naproti tomu je 3. dílo příkladem ukázkové tvorby patinující vrstvy i s vhodnou volbou konstrukčního řešení.

Z výsledků a fotodokumentace je patrné, že použití patinující oceli těsně nad zemí, nebo tam, kde hrozí znečištění povrchu vnějšími vlivy, je nevhodné. Na tato místa by měla být aplikována povrchová úprava, a tím prodloužení životnosti těchto děl z patinující oceli.

## 4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Kvůli ekonomické porovnatelnosti byl zvolen běžně nabízený materiál z patinující oceli Atmofix A o tloušťce 2 mm. Tento materiál z patinující oceli se využívají především na opláštění budov. Pro porovnání byl do kalkulace zahrnut materiál z běžné konstrukční oceli S235JR. Je to materiál, který má všestranné uplatnění na konstrukce.

Jako běžná předúprava povrchu bylo pro toto zhodnocení zvoleno tryskání křemičitým pískem. Toto abrazivo je využíváno při stavbě a renovacích mostů a dalších velkých konstrukcí. Jeho výhodou je především ve velké dostupnosti a nízké ceně. V kalkulaci je zahrnuto množství 5 kg abraziva na 1 m<sup>2</sup> povrchu.

Jako povrchová úprava byla zvolena aplikace tří vrstev nátěrové hmoty. Tato povrchová úprava byla zvolena pro obvyklé použití a snadnou aplikovatelnost na velké konstrukce. Pro kalkulaci byla zvolena obvykle používaná nátěrová hmota.

Tabulka 26 - Ekonomické porovnání aplikace materiálu Atmofix A a materiálu S235JR

Náklady za m <sup>2</sup>	Materiál Atmofix A	Materiál S235JR
Cena za 1 m <sup>2</sup> materiálu [kč]	929	467
Cena za otryskání [kč]	150	150
Cena za povrchovou úpravu za 1 m <sup>2</sup> [kč]	0	750
<b>Celkem [kč]</b>	<b>1 079</b>	<b>1 367</b>

Tabulka 27 - Ekonomické porovnání aplikace materiálu Atmofix A a materiálu S235JR s jejich předúpravou povrchu a následnou povrchovou úpravou třívrstevným nátěrovým systémem

Náklady za m <sup>2</sup>	Materiál Atmofix A	Materiál S235JR
Cena za 1 m <sup>2</sup> materiálu [kč]	929	467
Cena za otryskání [kč]	150	150
Cena za povrchovou úpravu za 1 m <sup>2</sup> [kč]	750	750
<b>Celkem [kč]</b>	<b>1 829</b>	<b>1 367</b>

Z tabulky 26 vyplývá ekonomická výhodnost aplikace materiálu Atmofix (např. do korozního prostředí C2 až C3). Z druhé tabulky naopak vyplývá nevýhodnost aplikace tohoto materiálu, pokud je nutné navíc použít povrchovou úpravu nátěrovým systémem (např. do prostředí C4 až C5). U velkých konstrukcí z patinující oceli má povrchová úprava význam především na místech s poruchou tvorby patiny, kde má nezastupitelnou roli.

## 5. Závěr

Na základě zjištěných skutečností a provedených experimentů bylo ověřeno, že vliv chloridů na patinující ocel je podstatný a pro životnost těchto materiálů obecně zásadní. Toto bylo ověřeno jak provedeným experimentálním měřením, které bylo provedeno na vzorcích z materiálu Atmofix A a materiálu S235JR. Ale také to bylo ověřeno na již vystavěných technických dílech, vyrobených z patinující oceli, které jsou umístěny na různých místech z hlediska jejich korozní agresivity. Je proto nezbytné znemožnit styk prostředí obsahující chloridy s patinujícími oceli v souladu s platnými předpisy, respektive normami i obecně platnými zkušenostmi. V případě selhání v projektu nebo změně prostředí je nezbytné provést dodatečné úpravy povrchu, aby nedošlo k omezení životnosti těchto materiálů v nevhodném prostředí.

## Použitá literatura

- [1] AKIME: Mollierův diagram [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.akime.cz/clanky/mollieruv-diagram/>
- [2] Atmofix: Patinující ocel [online]. 2011 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: [http://atmofix.cz/ocel\\_cz.php](http://atmofix.cz/ocel_cz.php)
- [3] Automatizace.hw.cz: Kapacitní čidlo [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: [https://automatizace.hw.cz//images/temp\\_humid/smallHMC01\\_1.jpg](https://automatizace.hw.cz//images/temp_humid/smallHMC01_1.jpg)
- [4] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠŤÁDAL, B. Drsnost povrchu. 1. vydání. Praha: SNTL, 1989. 340 s. typ. č. L13-B2-IV-41/22881.
- [5] CaCl<sub>2</sub>. In: Esul.eu [online]. [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: [http://www.esul.eu/?page\\_id=193](http://www.esul.eu/?page_id=193)
- [6] Cesta Domu sebevraha a Domu matky sebevraha od náčrtku po instalaci. Filozofická Fakulta Univerzita Karlova [online]. 13.1.2016 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.ff.cuni.cz/2016/01/cesta-domu-sebevraha-domu-matky-sebevraha-od-nacrtku-po-instalaci/>
- [7] CRAMPTON, Douglas D., et al. Assessment of weathering steel bridge performance in Iowa and development of inspection and maintenance techniques. Iowa. Dept. of Transportation. Office of Bridges and Structures, 2013.
- [8] ČSN EN ISO 4287 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) Struktura povrchu Profilová metoda – Termíny, definice, a parametry struktury povrchu. Český normalizační institut, březen 1999
- [9] ČSN EN ISO 8501-1. Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu: Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [10] ČSN EN ISO 8501-4. Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu: Část 4: Výchozí stav povrchu, stupně přípravy a bleskové koroze po vysokotlakém tryskání vodou. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [11] ČSN EN ISO 8502-3. Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepicí páskou). Praha: Český normalizační institut, 2017.
- [12] ČSN EN ISO 9223: Koroze kovů a slitin - Korozní agresivita atmosfér - Klasifikace, stanovení a odhad. 2012.
- [13] DAMGAARD, N., et al. Corrosion protection and assessment of weathering steel highway structures. Journal of Constructional Steel Research, 2010, 66.10: 1174-1185.



- [14] Drsnost povrchu dle DIN EN ISO [online]. [cit. 2018-07-10]. Dostupné z: <https://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>
- [15] Evaluation of the Use of Painted and Unpainted Weathering Steel on Bridges [online]. Kentucky Transportation Center, 2016 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2571&context=ktc\\_researchreports](https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2571&context=ktc_researchreports). Výzkumná práce.
- [16] GRUBBER, Keith A. Out in the Open: Weathering steel in architectural applications. Modern steel constructions [online]. 2009, 2009, , 3 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [https://www.aisc.org/globalassets/modern-steel/archives/2009/02/2009v02\\_out\\_in\\_the\\_open.pdf](https://www.aisc.org/globalassets/modern-steel/archives/2009/02/2009v02_out_in_the_open.pdf)
- [17] HA (HIGHWAYS AGENCY). BD 7/01: 2001: Weathering steel for highway structures. 2001.
- [18] KNOTKOVÁ, D., KREISLOVÁ, K., ROZLÍVKA, L., KŘIVÝ, V. a PODJUKLOVÁ, J. Hodnocení vrstev patin na konstrukcích z patinujících ocelí [online]. [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.atmofix.cz/resources/hodvrstpatinocel.pdf>
- [19] KREIBICH, V. Teorie a technologie povrchových úprav. Praha: České vysoké učení technické, 1999. ISBN isbn80-01-01472-x.
- [20] KREISLOVA, K., et al. Atmospheric corrosion models. Koroze a ochrana materiálu, 2017, 61.2: 59-66.
- [21] KREISLOVÁ, K., et al. Nové mapy korozní agresivity České republiky/Up-dated maps of atmospheric corrosivity for Czech Republic. Koroze a ochrana materiálu, 2015, 59.3: 81-86.
- [22] KREISLOVÁ, K.; KOUKALOVÁ, A.; KNOTKOVÁ, D. Trendy korozní agresivity atmosféry a korozních úbytků uhlíkové oceli v atmosférických podmínkách. Koroze a ochrana materiálu, 2010, 54.1: 3-6.
- [23] KREISLOVÁ, K. a KNOTKOVÁ, D. Použití patinujících ocelí v architektuře. Praha: SVÚOM, 2011. ISBN isbn978-80-87444-10-8.

- [24] KREISLOVÁ, K., KNOTKOVÁ, D., KOUKALOVÁ, A., KŘIVÝ, V., ROZLÍVKA, L., PODJUKLOVÁ, J. a LANÍK, T. VLIV ENVIRONMENTÁLNÍCH A KONSTRUKČNÍCH PODMÍNEK NA KOROZNÍ RYCHLOST PATINUJÍCÍCH OCELÍ A TVORBU OCHRANNÉ PATINY [online]. 2010, 9 [cit. 2018-08-02]. Dostupné z: <http://atmofix.cz/resources/vlastpat2010.pdf>
- [25] KŘIVÝ, V. Směrnice pro používání ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi. Praha: SVUOM [i.e. SVÚOM], 2011. ISBN isbn978-80-87444-05-4.
- [26] KŘIVÝ, V., KREISLOVÁ, K., URBAN, V. Zhodnocení vývoje patiny na trémových mostech s horní mostovkou navržených z patinujících ocelí. 2015.
- [27] LACINA, J. Prezentace ŘSD: Zimní údržba 2017/2018 D + I. třídy [online]. 2018 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: [http://silnicniseminar.cz/files/05\\_Lacina\\_Zimni-udrzba-2017\\_2018.pdf](http://silnicniseminar.cz/files/05_Lacina_Zimni-udrzba-2017_2018.pdf)
- [28] LIPTÁK, Béla G., ed. Instrument engineers' handbook. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, c2003. ISBN isbn0-8493-1083-0.
- [29] MCDAD, B., LAFFREY, D. C., DAMMANN, M. a MEDLOCK R. D., P.E. Performance of Weathering Steel in TxDOT Bridges [online]. Texas, 2000 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://steel.org/~media/Files/SMDI/Construction/Bridges%20-%20WS%20-%20Report%20-%20Performance%20of%20WS%20in%20TX%20DOT%20Bridges%20by%20B%20McDad%20-%202006-02-2000.pdf>. Výzkumný projekt.
- [30] MELCHER, K. Posypové materiály pro zimní údržbu komunikací v ČR a v zemích EU [online]. 2001, 3.12.2001 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/posypove-materialy-pro-zimni-udrzbu-komunikaci-v-cr-a-v-zemich-eu>
- [31] MOHYLA, M. Technologie povrchových úprav kovů. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. ISBN isbn80-7078-953-0.
- [32] NIPPON STEEL: CORE-TEN [online]. 2019 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: [https://www.nipponsteel.com/product/catalog\\_download/pdf/A006en.pdf](https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/A006en.pdf)
- [33] NOVÁK, P. Druhy koroze kovů [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha, 2005, 8 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF)
- [34] PSYCHROMETR: Přístroj k přibližnému určení relativní vlhkosti vzduchu [online]. [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <http://www.labo.cz/mft/psychrometr.htm>
- [35] SCHWEITZER, P. A. Fundamentals of corrosion: mechanisms, causes, and preventative methods. Boca Raton, FL: CRC Press, c2010. ISBN 1420067702.

- [36] TECHNICKÉ PODMÍNKY STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ: Mosty a konstrukce pozemních komunikací z patinujících ocelí 1. díl. Praha: Mott MacDonald Praha spol. s r.o., 2008.
- [37] Vlasový vlhkoměr. In: [Http://www.e-pristroje.cz](http://www.e-pristroje.cz) [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <http://www.e-pristroje.cz/vlhkomery.html>
- [38] Weathering steel bridges [online]. 3/2005 [cit. 2020-07-11]. Dostupné z: [http://resource.npl.co.uk/docs/science\\_technology/materials/life\\_management\\_of\\_mater/publications/online\\_guides/pdf/weathering\\_steel\\_bridges.pdf](http://resource.npl.co.uk/docs/science_technology/materials/life_management_of_mater/publications/online_guides/pdf/weathering_steel_bridges.pdf)
- [39] WILSON, A. a RAFF B. Weathering steel for highway bridges. Modern steel construction: Steel bridges 2012 [online]. 2012, 2012, , 3 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [https://www.aisc.org/globalassets/nsba/msc-reprints/msc\\_article\\_reprint2012.pdf](https://www.aisc.org/globalassets/nsba/msc-reprints/msc_article_reprint2012.pdf)

## Seznam obrázků

<i>Obr 1 - Vlasový vlhkoměr [37]</i> .....	16
<i>Obr 2 – Schematický náčrt psychrometru</i> .....	17
<i>Obr 3 – Kapacitní čidlo [3]</i> .....	19
<i>Obr 4 - Mollierův h-x diagram [1]</i> .....	21
<i>Obr 5 – Rosný bod v Mollierově h-x diagramu</i> .....	22
<i>Obr 6 – Silniční posypová sůl NaCl</i> .....	24
<i>Obr 7 – Chodníková posypová sůl NaCl</i> .....	25
<i>Obr 8 – Posypový rozmrazovací materiál CaCl<sub>2</sub> [5]</i> .....	26
<i>Obr 9 – Povrch dílu [4]</i> .....	28
<i>Obr 10 - Parametry profilu povrchu [14]</i> .....	28
<i>Obr 11 – Vlnové délky [8]</i> .....	29
<i>Obr 12 - Značení patinující oceli</i> .....	31
<i>Obr 13 – Korozní úbytek ocelí</i> .....	32
<i>Obr 14– Zbarvení patinující oceli [32]</i> .....	34
<i>Obr 15 - Množství částic dle ČSN EN ISO 8502-3:2017 [11]</i> .....	41
<i>Obr 16– Kompresor NUAIR</i> .....	43
<i>Obr 17 – Tlakový tryskač VIXEN SAF 6L</i> .....	44
<i>Obr 18 – Snímek povrchu vzorku</i> .....	44
<i>Obr 19 – Analyzátor materiálu BAS Delta</i> .....	45
<i>Obr 20 – Drsnoměr Mitutoyo SJ-301</i> .....	46
<i>Obr 21 – Měření drsnosti vzorků směr 0°</i> .....	46
<i>Obr 22 – Směry měření drsnosti</i> .....	46
<i>Obr 23 – Zaprášení vzorku před ofukem</i> .....	47
<i>Obr 24 – Zaprášení vzorku po ofuku stlačeným vzduchem</i> .....	48
<i>Obr 25 – Otryskaný vzorek materiálu S235JR po ofuku stlačeným vzduchem</i> .....	49
<i>Obr 26 – Vzorek materiálu Atmofix A připravený pro experiment</i> .....	49
<i>Obr 27 – Dvoukomorové zkušební zařízení před experimentem</i> .....	51
<i>Obr 28 – Jednokomorové zkušební zařízení před experimentem</i> .....	51
<i>Obr 29 – Teploměr a vlhkoměr</i> .....	52
<i>Obr 30 – Držák na zkušební vzorky</i> .....	52
<i>Obr 31 – Rozprašovače se zkušebními prostředky</i> .....	53
<i>Obr 32 – Dešťová voda s nečistotami</i> .....	54
<i>Obr 33 – pH metr HANNA instruments HI 98191</i> .....	54
<i>Obr 34 – Nečistoty v roztoku NaCl</i> .....	55
<i>Obr 35 – Jednokomorové zkušební zařízení v průběhu experimentu</i> .....	58
<i>Obr 36 – Dvoukomorové zkušební zařízení v průběhu experimentu</i> .....	58

<i>Obr 37 – 1. sada vzorků při zahájení experimentu</i> .....	59
<i>Obr 38 – 3. sada vzorků při zahájení experimentu</i> .....	59
<i>Obr 39 – 1. sada vzorků po 10 dnech expozice</i> .....	60
<i>Obr 40 – 2. sada vzorků po 10 dnech expozice</i> .....	60
<i>Obr 41 – 3. sada vzorků po 10 dnech expozice</i> .....	61
<i>Obr 42 - 1. sada vzorek materiálu Atmofix A po 30 dnech expozice</i> .....	62
<i>Obr 43 - 1. sada vzorek materiálu S235JR po 30 dnech expozice</i> .....	62
<i>Obr 44 - 2. sada vzorek materiálu Atmofix A po 30 dnech expozice</i> .....	63
<i>Obr 45 - 2. sada vzorek materiálu S235JR po 30 dnech expozice</i> .....	63
<i>Obr 46 - 3. sada vzorek materiálu Atmofix A po 30 dnech expozice</i> .....	64
<i>Obr 47 - 3. sada vzorek materiálu S235JR po 30 dnech expozice</i> .....	64
<i>Obr 48 – Tloušťkoměr Elcometer 456T s mikrosondou na feromagnetické materiály</i> ..	65
<i>Obr 49 – Odtržené korozní produkty sada 1, materiál Atmofix A</i> .....	67
<i>Obr 50 – Odtržené korozní produkty sada 1, materiál S235JR</i> .....	68
<i>Obr 51 – Odtržené korozní produkty sada 2, materiál Atmofix A</i> .....	68
<i>Obr 52 – Odtržené korozní produkty sada 2, materiál S235JR</i> .....	69
<i>Obr 53 – Odtržené korozní produkty sada 3, materiál Atmofix A</i> .....	69
<i>Obr 54 – Odtržené korozní produkty sada 3, materiál S235JR</i> .....	70
<i>Obr 55 – Dům matky sebevraha červenec 2020</i> .....	71
<i>Obr 56 – Stůl na Mariánském náměstí červenec 2020</i> .....	72
<i>Obr 57 – Opláštění samoobsluhy v Uhlířských Janovicích červenec 2020</i> .....	73

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 - Stupně korozní agresivity atmosféry dle ČSN EN ISO 9223:2012 [12] .....</i>	<i>14</i>
<i>Tabulka 2 - Doba ovlhčení, výtažek z tabulky B.1 ČSN EN ISO 9223:2012 [12].....</i>	<i>15</i>
<i>Tabulka 3 - Psychrometrická tabulka [34].....</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 4 - Složení patinující oceli [2] [32] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 5 – Mechanické vlastnosti patinující oceli [2] [32].....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 6 – Stupně otryskání Sa dle ČSN EN ISO 8501-1:2007 [9].....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 7 – Stupně otryskání Wa dle ČSN EN ISO 8501-4:2007 [10].....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 8 – Stupně bleskové koroze ČSN EN ISO 8501-4:2007 [10].....</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 9 - Třídy prachových částic [11] .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 10 - Chemické složení materiálu Atmofix A.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 11 - Chemické složení materiálu S235JR .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 12 - Změřené složení materiálu Atmofix A .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 13 - Výsledky měření drsnosti materiálu Atmofix A .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 14 - Výsledky měření drsnosti materiálu S235JR.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 15 – Naměřené hodnoty relativní vlhkosti v průběhu experimentu .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 16 – Naměřené teploty v průběhu experimentu .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 17 - Tloušťky korozních produktů na 1. sadě vzorků po 30 dnech expozice...65</i>	
<i>Tabulka 18 - Tloušťky korozních produktů na 2. sadě vzorků po 30 dnech expozice...66</i>	
<i>Tabulka 19 - Tloušťky korozních produktů na 3. sadě vzorků po 30 dnech expozice...66</i>	
<i>Tabulka 20 – Tabulka výsledků měření severovýchodní strany díla .....</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 21 – Tabulka výsledků měření severozápadní strany díla.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 22 – Tabulka výsledků měření jihozápadní strany díla.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabulka 23 – Tabulka výsledků měření jihovýchodní strany díla .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabulka 24 – Tabulka výsledků měření stolu na Mariánském náměstí .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabulka 25 – Tabulka výsledků měření na opláštění v Uhlířských Janovicích .....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 26 - Ekonomické porovnání aplikace materiálu Atmofix A a materiálu S235JR .....</i>	<i>78</i>
<i>Tabulka 27 - Ekonomické porovnání aplikace materiálu Atmofix A a materiálu S235JR s jejich předúpravou povrchu a následnou povrchovou úpravou třívrstevným nátěrovým systémem.....</i>	<i>78</i>

## Seznam grafů

<i>Graf 1 - Průběh relativní vlhkosti při experimentu .....</i>	<i>56</i>
<i>Graf 2 – Průběh teplot při experimentu.....</i>	<i>57</i>