



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie

**STANOVENÍ KOROZNÍ AGRESIVITY V OKOLÍ
DÁLNIČNÍCH MOSTŮ**

Bakalářská práce

Autor: Jonáš Hajný

Vedoucí práce: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Studijní program: B 2343 Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní obor: 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hajný** Jméno: **Jonáš** Osobní číslo: **484007**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Stanovení korozní agresivity v okolí dálničních mostů

Název bakalářské práce anglicky:

Determination of corrosion aggressiveness in the vicinity of highway bridges

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor sledované problematiky
- 2) Agresivita korozního prostředí
- 3) Monitorování korozního prostředí
- 4) Diskuze výsledků

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Ing. Michal Zoubek, ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **15.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **06.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2021**

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

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

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím informací poskytnutých vedoucími práce a podkladů, uvedených v seznamu použité literatury a zdrojů.

V Praze 6.8.2021

Jonáš Hajný

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. a Ing. Michalu Zoubkovi za vedení této práce, za poskytnuté rady i zázemí při řešení problematiky týkající se stanovení agresivity prostředí v okolí dálničních mostů. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Filipu Fyrbachovi za zasvěcení v prostředí SQL databáze a cenná doporučení pro shromažďování meteorologických dat.

Anotace

Název bakalářské práce:	STANOVENÍ KOROZNÍ AGRESIVITY V OKOLÍ DÁLNIČNÍCH MOSTŮ
Autor práce:	Jonáš Hajný
Vedoucí práce:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
Druhý vedoucí:	Ing. Michal Zoubek
Akademický rok:	2020/2021
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav KOLAŘÍK, Ph.D., IWE
Rozsah práce:	96 stránek, 29 tabulek, 60 obrázků

Abstrakt

Teoretická část této bakalářské práce přibližuje problematiku koroze, korozní agresivity atmosfér a jejího stanovení. Popisuje základní typy protikorozní ochrany a uvádí obecné zásady pro navrhování konstrukce. Dále se tato část zabývá mostními konstrukcemi, kde se zaměřuje na využití uhlíkových ocelí a ocelí se zvýšenou odolností vůči atmosférické korozi, též známých jako patinující.

Praktická část práce hodnotí vliv chloridů a doby ovlhčení, jak na průběh koroze, tak na celkové korozní napadení uhlíkových a patinujících ocelí. Dále se zabývá shromažďováním a zpracováním především hydrometeorologických dat naměřených na konstrukci dálničního mostu (SO 216), za účelem určení korozní agresivity daného prostředí.

Klíčová slova

koroze, korozní agresivita, mostní konstrukce, patinující ocel, chloridy, monitorování

Abstract

The theoretical part of this thesis focuses on the issues of corrosion, corrosion aggressiveness and its determination. It describes basic types of protection against corrosion and states general rules for construction design. The thesis then discusses bridge constructions focusing on the usage of carbon steel and steel with higher corrosion resistance, also known as weathering steel.

The experimental part evaluates the effect of chlorides and humidification time on both corrosion process as well as the overall corrosive effect on carbon and weathering steel. Finally, the thesis compiles and evaluates hydrometeorological data collected on a highway bridge construction (SO 216) for a purpose of determining the corrosion aggressiveness of surrounding environment.

Keywords

corrosion, corrosion aggressiveness, bridge construction, weathering steel, chlorides, monitoring

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Koroze.....	10
2.1	Dělení koroze	10
2.1.1	Dle vzhledu	10
2.1.2	Dle druhu reakce s prostředím	11
2.1.3	Dle reakčního prostředí.....	12
3	Korozní agresivita atmosfér.....	13
3.1	Klasifikace korozní agresivity.....	13
3.2	Stanovení korozní agresivity.....	14
3.3	Významní činitelé ovlivňující korozi.....	15
3.3.1	Vlhkost vzduchu	15
3.3.2	Rosný bod	16
3.3.3	Doba ovlhčení	17
3.3.4	Znečištění atmosféry.....	18
3.3.5	Vliv mikroklimatu.....	19
3.3.6	Chloridy	19
4	Mostní konstrukce a její technologičnost	21
4.1	Historie mostního stavitelství.....	21
4.2	Dělení mostních objektů a základní názvosloví.....	21
4.3	Konstrukční zásady s ohledem na protikorozní ochranu	22
5	Ocelové materiály využívané na mostní konstrukce	25
5.1	Uhlíkové oceli	25
5.2	Oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi	27
5.2.1	COR-TEN, Atmofix.....	27
5.2.2	Patinující vrstva	28
5.2.3	Složení korozní vrstvy	29
5.2.4	Hodnocení patinující vrstvy.....	30
5.2.5	Rizika při tvorbě patiny – korozní prostředí.....	31
6	Běžně využívané typy protikorozní ochrany	32
6.1	Organické povlaky	32
6.1.1	Nátěrové hmoty.....	33

6.2	Kovové povlaky	35
6.2.1	Zinkování	36
6.3	Předúpravy povrchu	37
6.3.1	Mechanické předúpravy povrchu.....	37
6.3.2	Chemické předúpravy povrchu	38
6.4	Korozní zkušebnictví	39
7	Praktická část	40
7.1	Experiment	40
7.1.1	Využité roztoky a materiály.....	41
7.1.2	Předúprava vzorků	42
7.1.3	Prostředí a vybavení.....	43
7.1.4	Průběh experimentu	44
7.1.5	Vyhodnocení experimentu	45
7.2	Diskuse výsledku experimentu	54
7.3	Zpracování dat naměřených na mostním objektu SO 216	57
7.3.1	Představení dálničního mostu a vzniklé situace	57
7.3.2	Monitorování	57
7.3.3	Sběr a zpracování naměřených dat	61
7.3.4	Vyhodnocení jednotlivých veličin (měsíční přehled).....	63
7.3.5	Podrobné grafické zpracování (duben 2021)	77
8	Závěr	84
	Seznam použité literatury a zdrojů:	85
	Seznam obrázků	91
	Seznam tabulek	94
	Seznam příloh	96

1 Úvod

Mosty již od nepaměti slouží člověku jako prostředky pro překonávání přírodních či umělých překážek a zpřístupňují tak nová, dříve nedostupná místa. Není proto divu, že s vývojem člověka se i mostní stavby rychle zdokonalují. Jednu z klíčových rolí přitom hraje materiál, ze kterého jsou tyto stavby vybudovány. Dříve často využívané přírodní suroviny jako dřevo nebo kámen už zdaleka nedostačují nárokům moderní společnosti a jsou čím dál častěji nahrazovány modernějšími materiály jakými jsou beton, litina, či různé typy oceli.

Mostní konstrukce jsou každodenně zatěžovány celou řadou faktorů. Hustá doprava, posypové materiály, klimatické podmínky, vegetace. Všechny tyto, ale i další, činitelé určují výslednou agresivitu prostředí, ve kterém se mostní objekt nachází. Životnost dnes postavených mostních staveb je stanovena na 100 let [1]. Ovšem již v minulosti se několikrát ukázalo, že při nedostatečném zohlednění agresivity prostředí, nedodržení pravidel pro návrh, stavbu či údržbu mostní konstrukce, dochází k podstatně rychlejší degradaci materiálu, a tudíž i konstrukce samotné. Zejména jedná-li se o ocelovou mostní konstrukci, neměli bychom zmíněné faktory podceňovat. Postupné znehodnocování materiálu v podobě těžko předvídatelné koroze, může mít fatální následky.

Tato práce je motivována ocelovým dálničním mostem (SO 216) stojícím v městské části Ostravy. Most byl zkonstruován za využití oceli se zvýšenou odolností vůči atmosférické korozi, a to bez protikorozní ochrany v podobě povlaku. Povrch této oceli potřebuje ke správnému vývoji vhodné podmínky, a proto byla na mostní konstrukci instalována monitorovací stanice, snímající podstatné údaje pro určení agresivity okolního prostředí.

Cílem práce je popis problematiky spojené s využitím ocelí se zvýšenou odolností vůči korozi. Dále zpracování dat, naměřených monitorovací stanicí, v prostředí SQL databáze, která pomohou ke stanovení korozní agresivity prostředí i hlavních korozních činitelů v nejbližším okolí dálničního objektu.

2 Koroze

Korozi lze definovat jako samovolný a nevratný proces, při kterém dochází k rozrušení materiálu. Z termodynamického hlediska se jedná o rozpad na oxidy a sulfidy, tedy přechod na stabilní stav, ve kterém se materiál vyskytuje v přírodě. Tento děj je způsoben a ovlivněn okolním prostředím, a právě podmínky ve kterých se materiál nachází určují míru i podobu korozního napadení. S určitou podobou koroze se můžeme setkat téměř u všech materiálů, ovšem zdaleka nejrozšířenější je koroze kovů [2; 3].

Ve většině případů je koroze vnímána jako nežádoucí děj, a to hlavně kvůli zhoršení vzhledu i funkčních vlastností. Tyto nežádoucí změny mohou vést ke snížení bezpečnosti daného dílu, a tudíž k nutným finančním výdajům potřebných na opravu. Koroze si každoročně vyžádá nemalé náklady. Například v roce 2001 byly v USA vyčísleny přímé náklady spojené s korozí na 276 miliard USD. Tato částka jen dokazuje, že korozi nelze zastavit. Avšak při využití moderních metod povrchových úprav a výběru vhodných materiálů můžeme korozní děj razantně zpomalit, tím zvýšit bezpečnost konstrukcí a předejít finančně náročným opravám [2; 3; 4].

2.1 Dělení koroze

Korozi dělíme na jednotlivé druhy dle různých kritérií, kterými může být vzhled, působení okolního prostředí, korozní charakter a další. Toto dělení nám napomáhá nejen při vnímání konkrétního korozního napadení, ale také pro identifikaci příčin vzniku koroze. Při správném určení typu koroze, lze snáze zvolit postup pro její odstranění i případnou povrchovou úpravu [5].

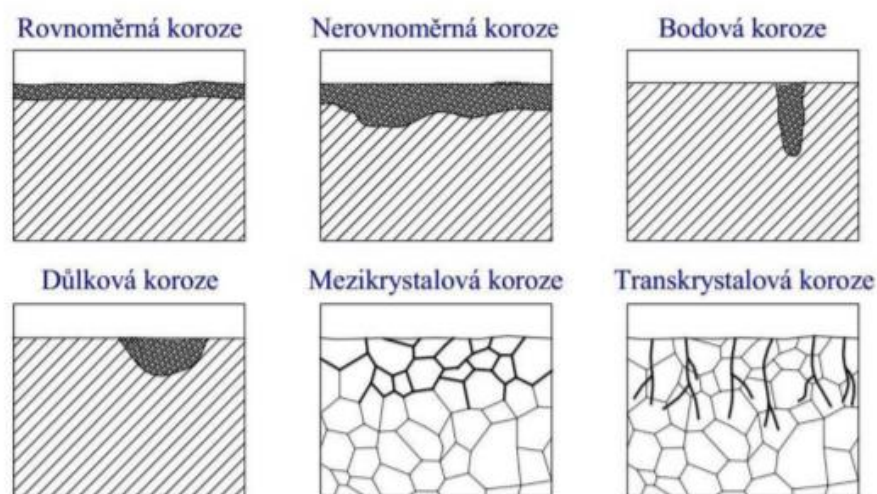
2.1.1 Dle vzhledu

Rovnoměrná

Jestliže dochází ke koroznímu napadení souvisle na celém povrchu materiálu, jedná se o rovnoměrnou korozi. Tento typ koroze je méně nebezpečný, a to zejména díky možnosti vyjádřit celkový úbytek materiálu na jednotku času. Hodnota celkového úbytku nám může posloužit například při určení životnosti dané konstrukce nebo pro porovnání vlivů různých prostředí na daný materiál [3; 5].

Nerovnoměrná

Mnohem častěji se setkáváme s korozi nerovnoměrnou, která se může objevovat pouze na částech povrchu součásti a k degradaci napadeného materiálu dochází nepravidelně. Právě nepravidelnost a nepředvídatelnost procesu znemožňuje stanovení korozního úbytku na jednotku času, a tudíž ztěžuje odhad životnosti konstrukce. Obecně však lze říci, že k oslabení materiálu v postižené oblasti dochází daleko rychleji než při korozi rovnoměrné. K nerovnoměrným druhům koroze dle způsobu poškození patří především koroze důlková, bodová, štěrbinová, mezikrystalová a další [3; 5].



Obrázek 1: Druhy koroze [6]

2.1.2 Dle druhu reakce s prostředím

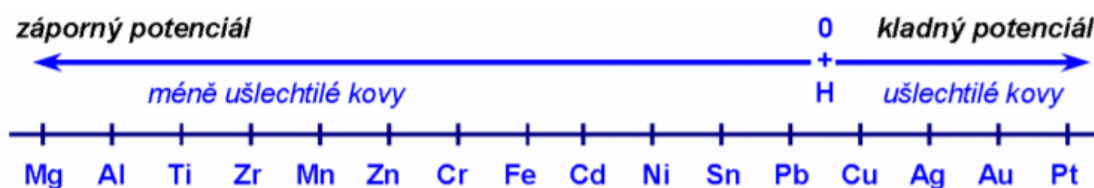
Chemická

K chemické korozi dochází při chemické reakci materiálů, probíhající především v plynných prostředích za vysokých teplot a výhradně v nepřítomnosti elektrolytu. Důsledkem reakce je vznik korozních produktů (nejčastěji oxidů) na povrchu napadené součásti. Typickým příkladem chemické koroze je vznik okují při tepelném zpracování materiálu [3; 5; 7].

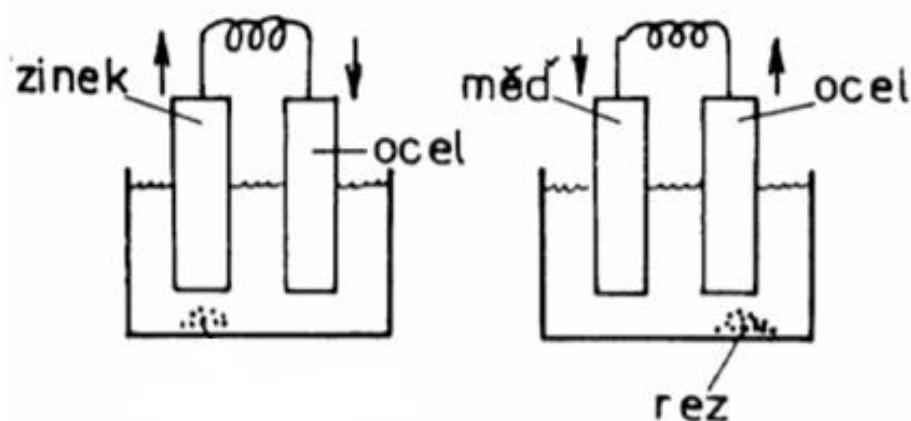
Elektrochemická

Elektrochemická koroze probíhá na principu korozního, respektive galvanického článku. Její hlavní podmínkou je přítomnost elektrolytu při reakci materiálů. Za elektrolyt lze

považovat jakékoli elektricky vodivé prostředí jako je voda, pára, roztoky solí a další. Jedním ze základních principů korozních reakcí je vzájemné působení materiálů s různými elektrickými potenciály v daném prostředí. Materiál s vyšším potenciálem (ušlechtlejší) působí jako katoda a materiál s nižším potenciálem (méně ušlechtilý) jako anoda. Na katodě probíhá redukce, tudíž materiál přijímá ionty, zatímco na anodě probíhá oxidace čili uvolnění iontů. Důsledkem těchto reakcí je rozpouštění méně ušlechtilého materiálu, na úkor materiálu ušlechtlejšího [2; 5; 7].



Obrázek 2: Elektrochemická řada napětí kovů [7].



Obrázek 3: Korozní makročlánek [8]

2.1.3 Dle reakčního prostředí

Korozi lze dělit podle prostředí působícího na materiál. Rozlišujeme *korozí v plynech*, kdy podstatnou roli hraje teplota, tlak a druh působícího plynu. *Půdní korozi*, kdy na materiál působí pevná, plynná i kapalná složka půdy. Nebo *korozí v kapalinách*, se kterou se setkáváme nejen u hydraulických strojů, chladicích systémů a jiných strojů pracujících s kapalinou, ale hlavně i v přímořských oblastech, kde způsobuje škody na lodích, vodních stavbách a na všech korozně náchylných materiálech v mořské vodě. Ta je totiž považována za velmi agresivní prostředí, a to zejména kvůli obsahu chloridů [2; 9].

Atmosférická koroze

Většina kovových materiálů je vystavena působení atmosféry. Atmosférická koroze způsobuje až 80 % veškerých světových korozních ztrát. Proces samotné atmosférické koroze je ovlivněn především vlhkostí vzduchu, respektive její kritickou hodnotou nad 60 %, při které na povrchu materiálu vzniká dostatečně silná vrstva elektrolytu (50–150 nm) pro průběh elektrochemické koroze. Pokud se vlhkost vzduchu nachází pod kritickou hodnotou, korozní proces stále probíhá, ovšem jeho rychlost je minimální. Celková korozní rychlost při atmosférické korozi je dána kombinací mnoha faktorů jako je teplota a tlak vzduchu, teplota a tepelná kapacita materiálu, rychlost větru, ale především korozní agresivita prostředí [5; 7; 10].

3 Korozní agresivita atmosfér

3.1 Klasifikace korozní agresivity

Korozní rychlost a celkový úbytek materiálu závisí především na agresivitě prostředí, ve kterém se materiál nachází. Míra korozní agresivity atmosféry je určena normou ČSN ISO 9223. Tato norma klasifikuje prostředí dle agresivity šesti stupni (Tabulka 1) a to jak ve vnitřním, tak venkovním prostředí. Ve venkovní atmosféře je nejnižším stupněm C1 značeno suché nebo chladné klimatické pásmo s minimálním znečištěním atmosféry a minimální dobou ovlhčení. Typickým příkladem mohou být některé pouště, nebo centrální Arktida. Naopak stupněm nejvyšším CX je značeno subtropické a tropické klimatické pásmo v oblastech s velmi vysokým znečištěním v podobě SO₂ a chloridů. Do této kategorie často spadají pobřežní oblasti a oblasti extrémně průmyslové [10; 11].

Tabulka 1: Stupně agresivity prostředí dle ČSN ISO 9223 [11]

Stupeň korozní agresivity	Korozní agresivita atmosféry
C1	Velmi nízká
C2	Nízká
C3	Střední
C4	Vysoká
C5	Velmi vysoká
CX	Extrémní

3.2 Stanovení korozní agresivity

Pokud máme k dispozici dostatek informací o prostředí v podobě ročních průměrných hodnot teploty (T), relativní vlhkosti (RH), depoziční rychlosti SO_2 (P_d) a depoziční rychlosti Cl^- (S_d), můžeme stanovit stupeň korozní agresivity na základě korozní rychlosti materiálu nacházejícího se v daném prostředí. Korozní rychlost je obecně udávána v gramech na metr čtverečný a rok [$g \cdot (m^2 \cdot a)^{-1}$] a její výpočet se u jednotlivých materiálů liší. Například pro výpočet rychlosti koroze uhlíkové oceli použijeme následující rovnice.

$$r_{corr} = 1,77 \cdot P_d^{0,52} \cdot \exp(0,020 \cdot RH + f_{St}) + 0,102 \cdot S_d^{0,62} \cdot \exp(0,33 \cdot RH + 0,040 \cdot T) \quad (1)$$

$$f_{St} = 0,150 \cdot (T - 10) \text{ pro } T \leq 10^\circ C, \text{ jinak } - 0,054 \cdot (T - 10)$$

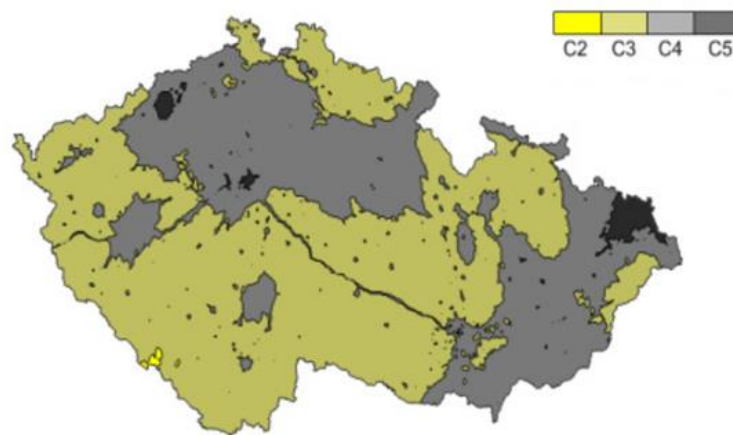
$$N = 128, R^2 = 0,85$$

Tabulka (Obrázek 4), převzatá z normy ČSN EN ISO 9223, udává rychlost koroze kovů po prvním roce expozice pro jednotlivé stupně korozní agresivity. Tato tabulka rovněž zobrazuje přepočet hodnoty úbytku materiálu na mikrometry za rok [10; 11].

Stupeň korozní agresivity	Rychlosti koroze kovů r_{corr}				
	Jednotky	Uhlíková ocel	Zinek	Měď	Hliník
C1	$g/(m^2 \cdot a)$	$r_{corr} \leq 10$	$r_{corr} \leq 0,7$	$r_{corr} \leq 0,9$	zanedbatelná
	$\mu m/a$	$r_{corr} \leq 1,3$	$r_{corr} \leq 0,1$	$r_{corr} \leq 0,1$	-
C2	$g/(m^2 \cdot a)$	$10 < r_{corr} \leq 200$	$0,7 < r_{corr} \leq 5$	$0,9 < r_{corr} \leq 5$	$r_{corr} \leq 0,6$
	$\mu m/a$	$1,3 < r_{corr} \leq 25$	$0,1 < r_{corr} \leq 0,7$	$0,1 < r_{corr} \leq 0,6$	-
C3	$g/(m^2 \cdot a)$	$200 < r_{corr} \leq 400$	$5 < r_{corr} \leq 15$	$5 < r_{corr} \leq 12$	$0,6 < r_{corr} \leq 2$
	$\mu m/a$	$25 < r_{corr} \leq 50$	$0,7 < r_{corr} \leq 2,1$	$0,6 < r_{corr} \leq 1,3$	-
C4	$g/(m^2 \cdot a)$	$400 < r_{corr} \leq 650$	$15 < r_{corr} \leq 30$	$12 < r_{corr} \leq 25$	$2 < r_{corr} \leq 5$
	$\mu m/a$	$50 < r_{corr} \leq 80$	$2,1 < r_{corr} \leq 4,2$	$1,3 < r_{corr} \leq 2,8$	-
C5	$g/(m^2 \cdot a)$	$650 < r_{corr} \leq 1\ 500$	$30 < r_{corr} \leq 60$	$25 < r_{corr} \leq 50$	$5 < r_{corr} \leq 10$
	$\mu m/a$	$80 < r_{corr} \leq 200$	$4,2 < r_{corr} \leq 8,4$	$2,8 < r_{corr} \leq 5,6$	-
CX	$g/(m^2 \cdot a)$	$1\ 500 < r_{corr} \leq 5\ 500$	$60 < r_{corr} \leq 180$	$50 < r_{corr} \leq 90$	$r_{corr} > 10$
	$\mu m/a$	$200 < r_{corr} \leq 700$	$8,4 < r_{corr} \leq 25$	$5,6 < r_{corr} \leq 10$	-

Obrázek 4: Rychlost koroze po prvním roce expozice pro jednotlivé stupně agresivity [11]

Korozní rychlost a stupeň agresivity prostředí lze rovněž stanovit s využitím korozní mapy, která vzniká zakreslením jednotlivých rozmezí korozních úbytků do mapy konkrétního území. Tyto mapy se stanovují samostatně pro jednotlivé materiály. Mohou se lišit velikostí zobrazovaného území i přesností zakreslení, proto je musíme vnímat pouze orientačně. Pro přesnější určení korozní agresivity v daném místě je zapotřebí provést podrobnější výpočet a rozbor konkrétního prostředí, kterým může odhalit vyšší míru nečistot v ovzduší, či výskyt chloridů a jiných agresivních látek [12].



Obrázek 5: Korozní mapa ČR zobrazující agresivitu ovzduší pro uhlíkovou ocel [12]

3.3 Významní činitelé ovlivňující korozi

3.3.1 Vlhkost vzduchu

Obecně platí že atmosféra je tvořena určitým množstvím vodní páry, která vznikla odpařením vody ze zemského povrchu. K odpařování vody nedochází rovnoměrně, a tudíž se liší také zastoupení vodní páry v různých oblastech atmosféry. Záleží především na konkrétním prostředí, tlaku a teplotě vzduchu [13; 14; 15].

Vlhkost vzduchu lze vyjádřit dvěma způsoby. *Absolutní vlhkost vzduchu* (Φ) udává hmotnost vodní páry na jeden metr krychlový vzduchu [15].

$$\Phi = \frac{m}{V} [kg \cdot m^{-3}] \quad (2)$$

Relativní vlhkost vzduchu (ϕ) můžeme vnímat jako procentuální poměr vody ve vzduchu. Její hodnotu lze vyjádřit z poměru absolutní vlhkosti vzduchu ku maximální vlhkosti vzduchu, tedy maximálnímu nasycení atmosféry vodními parami při daném tlaku a teplotě [15].

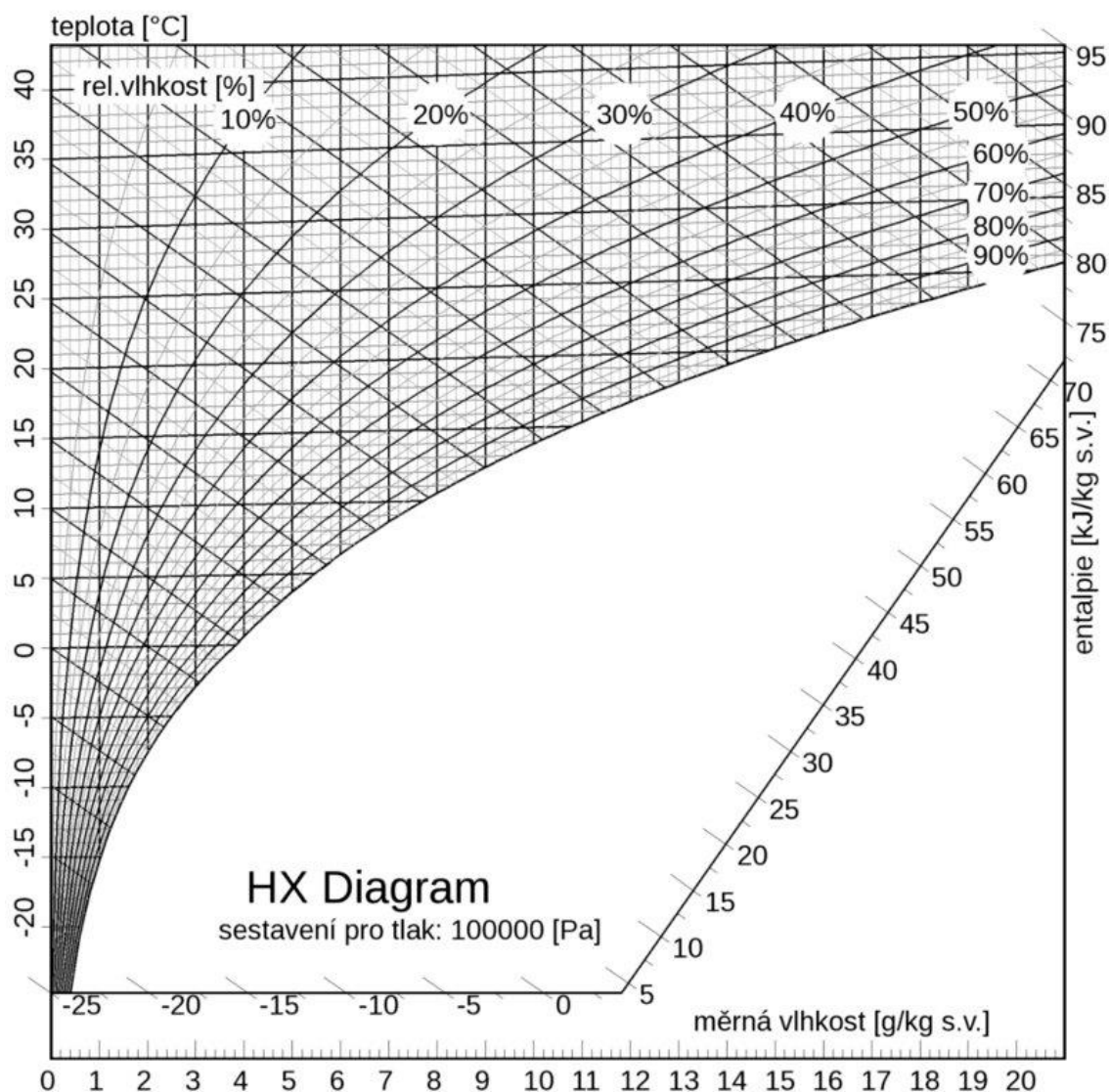
$$\phi = \frac{\Phi}{\Phi_{MAX}} [\%] \quad (3)$$

3.3.2 Rosný bod

Rosný bod neboli teplota rosného bodu je teplota, při které dochází k maximálnímu nasycení vzduchu vodními parami a relativní vlhkost vzduchu tedy dosahuje 100 %. Pokud se v takovém prostředí vyskytuje předmět s teplotou nižší, než je teplota samotné nasycené atmosféry, dochází ke kondenzaci vodních par na jeho povrchu. Hodnota rosného bodu je závislá právě na atmosférické teplotě a relativní vlhkosti vzduchu, jak je patrné z jeho výpočtu (Rovnice 4). Rosný bod hraje velkou roli při určování korozní agresivity atmosféry, jelikož právě zkondenzované vodní páry na povrchu konstrukcí či součástí tvoří dostatečnou elektrolytickou vrstvu pro průběh koroze.

$$T_{dp} = \frac{243,5 \ln \left(\frac{V}{100} \cdot \exp \frac{17,67 \cdot T}{243,5+T} \right)}{17,67 - \ln \left(\frac{V}{100} \cdot \exp \frac{17,67 \cdot T}{243,5+T} \right)} [^{\circ}C] \quad (4)$$

Čím vyšší je teplota atmosféry, tím více vlhkosti dokáže přijmout. Tuto exponenciální závislost názorně zobrazuje Mollierův h-x diagram (Obrázek 6), ze kterého lze teplotu rosného bodu daného prostředí rovněž vyčíst [14; 16; 17].



Obrázek 6: Mollierův h-x diagram [18]

3.3.3 Doba ovlhčení

Na výskyt koroze má velký vliv samotný časový úsek, po který je materiál ovlhčován, tedy doba, po kterou je na povrchu materiálu přítomný elektrolyt. Doba ovlhčení (τ), popsaná normou ČSN EN ISO 9223, je udávána pro různá klimatická prostředí, a to v hodinách za rok (Obrázek 7). Ovlhčení materiálu je způsobeno celou řadou činitelů, jako například deštěm, rosou nebo tajícím sněhem. K navlhčování rovněž dochází, pokud je relativní vlhkost atmosféry vyšší než 80 %, při teplotě vyšší než 0 °C [11].

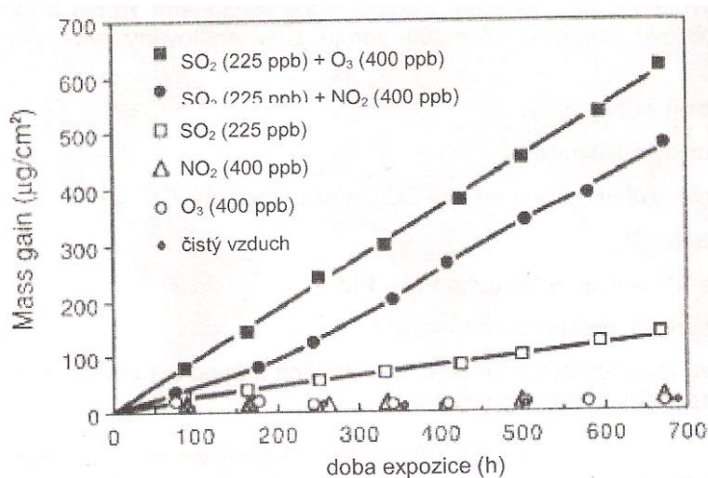
Doba ovlhčení h/a	Úroveň	Příklad výskytu
$\tau \leq 10$	τ_1	Mikroklimata vnitřních prostorů s regulací klimatických podmínek
$10 < \tau \leq 250$	τ_2	Mikroklimata vnitřních prostorů bez regulace klimatických podmínek, s výjimkou vnitřních neklimatizovaných prostorů v oblastech s vlhkým klimatem
$250 < \tau \leq 2\,500$	τ_3	Venkovní atmosféry v suchých, chladných klimatických oblastech a v některých oblastech s mírným klimatem, účinně provětrávané přístřešky v mírných klimatech
$2\,500 < \tau \leq 5\,500$	τ_4	Venkovní atmosféry ve všech klimatických oblastech (s výjimkou suchých a chladných), provětrávané přístřešky ve vlhkých prostředích, neprovětrávané přístřešky v oblastech s mírným klimatem
$5\,500 < \tau$	τ_5	Některé oblasti s vlhkým klimatem, neprovětrávané přístřešky ve vlhkých podmínkách

Obrázek 7: Doba ovlhčení v různých podmínkách expozice [11]

3.3.4 Znečištění atmosféry

K znečištění ovzduší dochází při spalování různých typů paliv obsahujících síru. Mezi hlavní zdroje znečišťujících látek patří průmyslové areály, tepelné elektrárny či motorová vozidla. I když se v posledních desetiletích, na území Evropy, daří redukovat zastoupení některých emisních látek v atmosféře, stále se lze setkat s oblastmi s vysokým obsahem nečistot v ovzduší [19].

Zejména oxid siřičitý (SO_2) a oxidy dusíku (NO_x), ale i další emisní látky, mají vliv na celkovou agresivitu prostředí, a tudíž i tvorbu koroze. Při nadměrné koncentraci SO_2 v atmosféře dochází na povrchu materiálu k usazování síry, to vede k lokálnímu zvýšení korozního úbytku a rychlejší degradaci materiálu. Některé laboratorní pokusy navíc ukazují, že při výskytu nadměrného množství více emisních látek v ovzduší dochází u některých látek k synergickému efektu a korozní úbytek se s dobou expozice několikanásobně zvětšuje [10].



Obrázek 8: Hmotnostní úbytky zinku exponovaného v ovzduší s 95 % RV [10]

Další složkou atmosféry jsou pevné částice. Tyto částice jsou značeny dle velikosti, například PM₁₀ značí všechny částice menší než 10 μm. Riziko spojené s vysokým obsahem pevných částic v ovzduší spočívá v jejich usazování a kumulaci na povrchu materiálu a následném prodlužování doby ovlhčení povrchu [10; 20].

3.3.5 Vliv mikroklimatu

Kromě již zmíněných činitelů, ovlivňujících korozi a její vývoj, existuje spousta dalších faktorů, které ovlivňují korozní děj. Záleží především na lokaci, kde je materiál vystaven a jejích specifikacích. Jedním z důležitých faktorů je *orientace povrchu materiálu*. Zde hraje roli působení slunečního záření nebo větru. Například, pokud je strana konstrukce orientována na jih, materiál je delší dobu vystaven slunečnímu záření a dochází tak k rychlejšímu osušení než na straně orientované na sever. To může vést k nestejnému vývoji koroze. Dalším faktorem mohou být *externí nečistoty* jako je ptačí trus, moč, chemikálie a další. Všechny tyto látky mohou reagovat s materiálem, nebo prodlužovat dobu navlhčení [12; 21].

3.3.6 Chloridy

Téměř všechny kovové materiály jsou náchylné ke korozi, jestliže na ně působí chloridy. Tyto silné korozní stimulatory absorbují vlhkost z okolního prostředí, jsou dobře rozpustné a vynikají vysokou elektrolytickou vodivostí. Působení chloridů se velmi často projevuje lokálním korozním napadením, které je pro součást či konstrukci velmi nebezpečné. S depozicí chloridů se setkáváme v přímořských oblastech, v podobě vzdušné salinity, nebo v průmyslových oblastech, kdy se chloridy stávají součástí poletavého prachu. Na území České republiky spočívá největší nebezpečí, co se týče depozice chloridů, v posypových materiálech využívaných v zimním období. Například exponovaný vzorek uhlíkové oceli v blízkosti pozemní komunikace ošetřované posypovými solemi vykazuje třikrát vyšší korozní úbytek než totožný vzorek ve volné atmosféře. Tato skutečnost se promítá rovněž na dříve zmiňovaných korozních mapách, kde můžeme pozorovat vyšší agresivitu prostředí v okolí frekventovaných dálničních komunikací (Obrázek 5) [10; 12].

Posypové materiály

Zcela nejběžnější, na našem území, je využití chemického rozmrazovacího posypu, jenž svými vlastnostmi způsobuje tání sněhu a ledu. Mezi nejvyužívanější látky patří soli. Například v zimní sezóně 2016/2017 bylo pouze na českých dálnicích spotřebováno téměř 30 tisíc tun posypové soli (Tabulka 2), zejména chloridu sodného (NaCl), dále pak chloridu vápenatého (NaCl₂) nebo chloridu hořečnatého (MgCl₂). Jako další chemické posypy lze uvést močovinu (CO (NH₂)₂), alkoholy, glykoly, nebo CMA (Calcium Magnesium Acetate). Všechny tyto materiály však často zaostávají za chloridy jak svými vlastnostmi, tak vyšší cenou [22; 23].

Obecně lze říci, že chloridy svými vlastnostmi posouvají bod mrazu vody pod 0 °C. Samotný chlorid sodný (NaCl) se využívá až do teploty -10 °C, a to jak ve formě solankového roztoku, tak v pevném stavu. Zatímco využití roztoku zaručuje rychlý účinek, pevná forma nabízí delší setrvání soli na komunikaci. Velmi důležitá je přitom velikost jednotlivých krystalů. Jako zcela optimální se uvádí směs o velikostech 0,16 mm až 5 mm [22; 24].

Při teplotách nižších než -10 °C ztrácí chlorid sodný své rozpouštěcí vlastnosti, proto je často kombinován s chloridem vápenatým (CaCl₂), který účinkuje až do teploty -35 °C. Také tento chlorid se využívá jak v pevné formě, respektive ve formě vloček o velikosti 3 až 3,5mm, tak ve formě roztoku. Na rozdíl od chloridu sodného je chlorid vápenatý vysoce hygroskopický, to znamená že rychleji získává vlhkost z okolí, a tudíž rychleji zahajuje samotný proces tání. S ohledem na tuto vlastnost je důležité šetrné skladování tohoto chloridu v dobře utěsněných pytlích. Při poškození pytle dochází k úplnému znehodnocení jinak poměrně nákladného posypového materiálu [22; 24].

Tabulka 2: Spotřeba posypových solí na dálnicích v ČR [23]

Materiál	2014/2015 [t]	2015/2016 [t]	2016/2017 [t]	2017/2018 [t]
Posypová sůl	25 164	21 736	29 675	23 264
Roztok CaCl₂	542	577	1 016	274
Solanka NaCl	1 716	1 355	1 814	1 559

4 Mostní konstrukce a její technologičnost

4.1 Historie mostního stavitelství

Nejstarší mostní konstrukce byly zhotoveny z kmenů stromů svázaných pomocí přírodních vláken, avšak zejména kvůli nízké pevnosti a krátké životnosti těchto materiálů se brzy začal využívat kámen. Již ve starověku některé národy, například jako Babyloňané či Egypťané, disponovaly znalostmi stavět kamenné i cihelné klenuté mosty. Takové stavby sloužily nejen k rozšíření silničních sítí na dříve nedostupná místa, ale také k zásobování velkých měst vodou, jak tomu také bylo ve starém Římě. O kvalitě tehdejších staveb ostatně svědčí nejstarší dochovaný akvadukt *Pont du Gard*, ležící na území dnešní Francie [25; 26].

Počátek středověku mostnímu stavitelství příliš nepřál. Mosty nepřevyšovaly konstrukční ani estetické kvality mostů ze starověku, ba naopak. Až kolem 10. století našeho letopočtu se začaly objevovat robustní a kvalitní, především městské mosty. V tomto období byl postaven například *Juditin most* v Praze [25; 26].

Až do konce 17. století se mosty stavěly pouze na základě zkušenosti a citu, bez jakýchkoli výpočtů. S rozvojem technických škol na počátku 18. století se při stavění mostů začaly využívat nejen technické výpočty, ale také nové materiály jako ocel, litina, nebo později beton [25; 26].

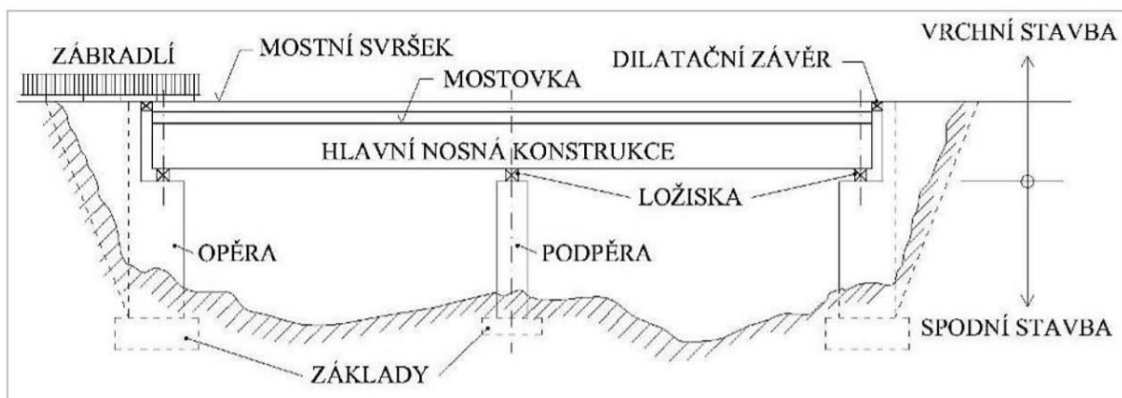
První ocelový most, na našem území, byl zhotoven již roku 1824, jednalo se o řetězový most vedoucí přes rameno řeky Moravy. Za vrcholné období ocelového stavitelství lze považovat 60. léta minulého století, kdy se tehdejšímu Československu, díky těžkému průmyslu, daří produkovat velké množství oceli. Jako zástupce mostního stavitelství té doby lze zmínit *Žďákovský most*, tyčící se nad Orlickou přehradou [27].

4.2 Dělení mostních objektů a základní názvosloví

Mosty lze dělit podle mnoha kritérií. Dle účelu rozlišujeme mosty drážní, vodohospodářské, průmyslové, nebo mosty pozemních komunikací. Dle materiálu, ze kterého je most zhotoven, dělíme mosty na dřevěné, kamenné, ocelové, betonové i ocelobetonové. Jedním z hlavních kritérií je typ mostní konstrukce. Známe mosty

konzolové, visuté, zavěšené, obloukové a další. Jak materiál, tak typ mostní konstrukce je volen s ohledem na lokaci, ve které bude most stát, či právě účel, ke kterému bude most sloužit. Ať už se ovšem jedná o jakýkoli typ konstrukce a využití jakéhokoli materiálu, každý mostní objekt je sestaven ze tří základních částí – spodní stavby, vrchní stavby a mostního vybavení [25; 26].

Spodní stavbou se rozumí veškeré základové konstrukce a podpěry. Pokud hovoříme o krajních neboli koncových podpěrách nazýváme je opěry. Vnitřní podpěry nazýváme dle typu a tvaru (pilíře, sloupy, stěny atd.). Pojmem základová konstrukce, je myšlena veškerá konstrukce, přenášející zatížení z již zmíněných podpěr a opěr do základové půdy. *Vrchní stavba* zahrnuje hlavní nosnou konstrukci, mostovku, mostní svršek a všechna ztužení, ložiska, klouby či dilatační závěry. U některých mostů může nosná konstrukce plnit funkci mostovky. Veškeré zbylé konstrukce a systémy nazýváme *mostní vybavení*. Do této kategorie spadají svodidla, zábradlí, osvětlení, odvodňovací systémy nebo revizní zařízení [26].



Obrázek 9: Hlavní části mostu – názvosloví [26]

4.3 Konstrukční zásady s ohledem na protikorozní ochranu

Při navrhování nebo renovaci mostní konstrukce je zapotřebí dodržovat určité zásady, které zajistí bezpečnost a životnost konstrukce. Všechny takové zásady pro ocelové konstrukce podrobně popisují Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací (dále jen TKP) v kapitole 19. Nedodržení těchto podmínek může vést ke snížení únosnosti nebo životnosti konstrukce a v extrémních případech také k ohrožení lidských životů. TKP předepisuje veškerý materiál určený pro ocelové konstrukce a práci s ním spojenou (skladování, zkoušky, dodávku), dále zde nalezneme technologické

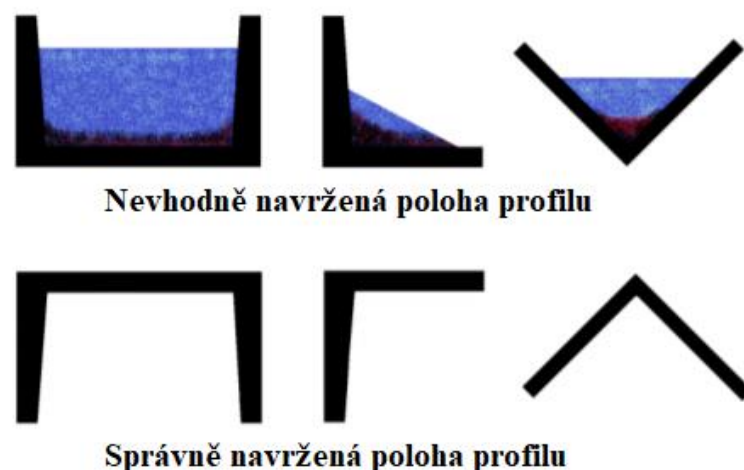
postupy prací, výroby i montáže, přípustné úchytky i klimatická omezení. Tyto podmínky rovněž předepisují životnost jednotlivých částí mostního objektu. Pro hlavní nosné části ocelových mostních konstrukcí je stanovena životnost na 100 let [28].

Materiál

Stěžejním bodem, pro navrhování jakékoli konstrukce, je volba materiálu. Základní materiál musí vyhovovat jak z hlediska mechanických a technologických vlastností, tak z hlediska životnosti pro dané prostředí. Stejně vlastnosti musí vykazovat veškerý materiál pro rozebíratelné i nerozebíratelné spoje, jako je přídavný materiál pro svařování, materiál šroubů, matic, podložek či nýtů. Pokud bude konstrukce ošetřována jakoukoli povrchovou úpravou, je zapotřebí vhodně zvolit předúpravu materiálu i charakter a aplikaci ochranných povlaků. Mezi nejčastěji využívané povrchové úpravy mostních konstrukcí patří organické a zinkové povlaky [28].

Technologičnost

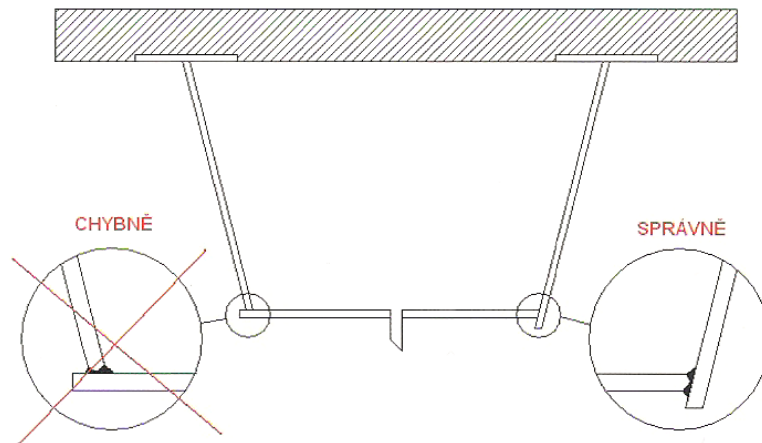
Dalším velmi důležitou zásadou je zajištění plynulého odtoku vody z povrchu konstrukce a zamezení její kondenzaci. Toho docílíme především vhodnou volbou a provedením spojů, skladbou profilů, jejich náklonů a přesahů. Obecně bychom se měli vyvarovat shora otevřeným profilům, kapsám nebo prohlubním a volit co nejjednodušší tvar konstrukce [21; 28].



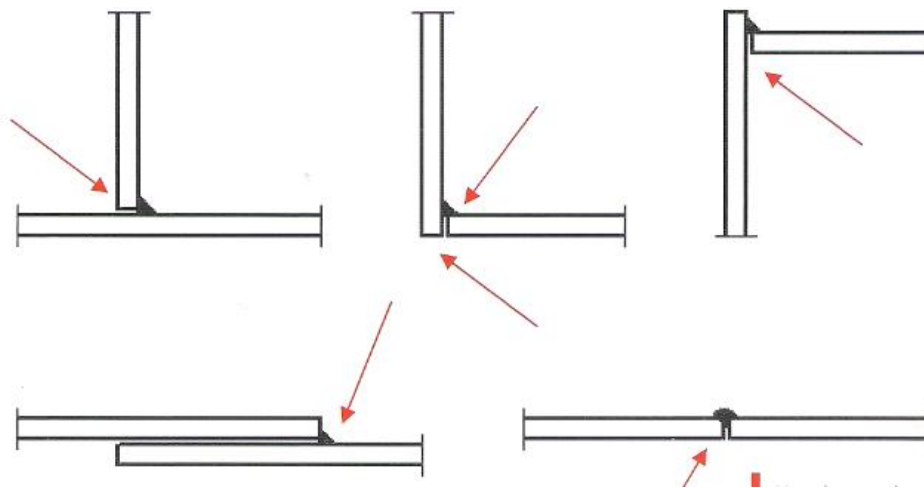
Obrázek 10: Příklady uložení profilů konstrukce [29].

Spoje

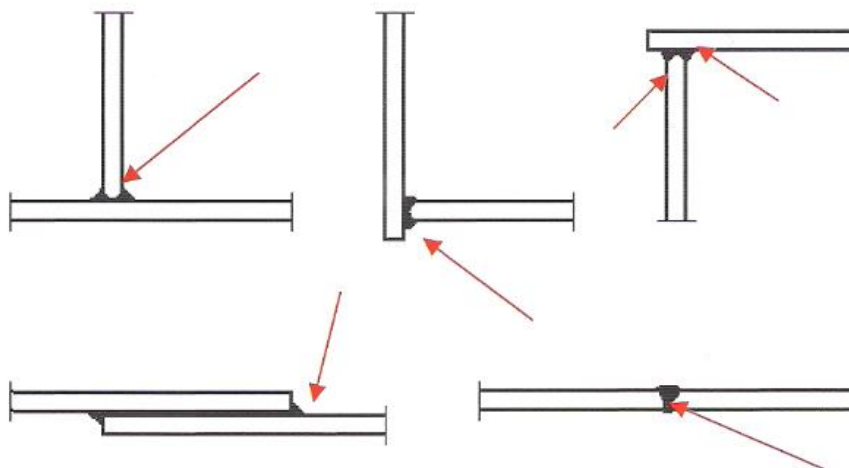
Svarové i šroubové spoje se navrhují, provádějí a kontrolují rovněž dle TKP. Tyto spoje musí disponovat stejnou životností, jakou má samotná ocelová konstrukce. Hlavně svarovým spojům jsou proto předepisovány ty nejvyšší jakosti a na jejich řešení musí být kladen velký důraz [21; 28].



Obrázek 11: Příklad správného a chybného řešení detailu svaru komorové konstrukce mostu [28]



Obrázek 12: Detaily nesprávného návrhu řešení svarových spojů [28]



Obrázek 13: Detaily správného návrhu řešení svarových spojů [28]

Kontrola a údržba

V neposlední řadě je třeba klást důraz na pravidelnou kontrolu a údržbu konstrukce. Údržba by měla zajistit odstranění nakumulovaných nečistot nebo vegetace z povrchu konstrukce a předejít tak jejímu dlouhodobému znečišťování a poškození. Kontrola by měla probíhat již při převzetí stavebního materiálu a pokračovat po celou dobu výstavby, během doby provozu, až k samotné demolici objektu. Pravidelná kontrola a údržba může prodloužit životnost konstrukce nebo upozornit na její nedostatky a rizika s nimi spojenými [1; 21; 30].

5 Ocelové materiály využívané na mostní konstrukce

5.1 Uhlíkové oceli

Ocel je bezesporu jedním z nejdůležitějších materiálů naší doby. Její roční produkce pravidelně přesahuje 1 500 milionů tun. Jednoznačně největším producentem oceli je Čína, která každoročně produkuje kolem jedné poloviny celkové světové produkce. Ocel nachází uplatnění v absolutní většině průmyslových odvětvích, a to nejen díky své dostupnosti [31].

Konstrukční uhlíkové oceli jsou nejrozšířenějším konstrukčním materiálem. Za uhlíkové oceli považujeme slitiny železa, uhlíku a dalších prvků, kde obsah uhlíku nepřekračuje 2,14 % a kde se obsah vedlejších prvků nachází v konvenčně stanovených mezích, přitom

tyto prvky, mezi které patří mangan, křemík nebo také síra, nejsou vnímány jako legující. Právě obsah doprovodných prvků a uhlíku, dle kterého lze uhlíkové oceli dělit (Tabulka 33), určuje mechanické i technologické vlastnosti těchto ocelí. Například s rostoucím obsahem uhlíku se zvyšují pevnostní charakteristiky, ale klesá plasticita a houževnatost. Tato skutečnost, společně s možnostmi uplatnění tepelného zpracování, zajišťuje uhlíkovým ocelím poměrnou variabilitu a využití napříč celým spektrem průmyslu [32; 33].

Tabulka 3: Dělení uhlíkových ocelí [33]

Třída	Obsah uhlíku [%]
Nízkouhlíkové oceli	do 0,3
Středně uhlíkové oceli	0,3-0,6
Vysoko uhlíkové oceli	0,6-2,1

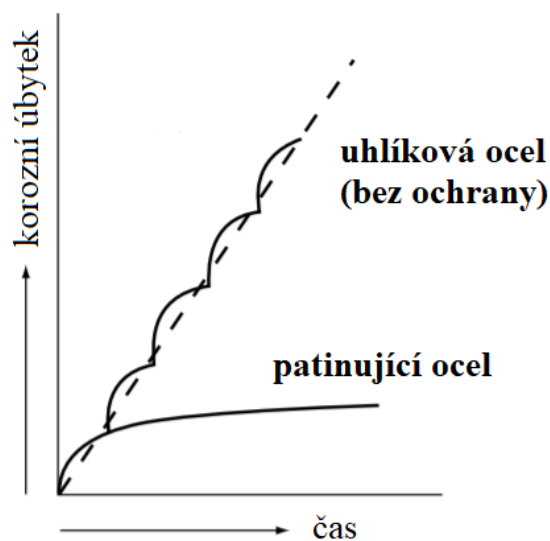
Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací v kapitole 19, části A, doporučují jednotlivé konstrukční ocele, které jsou vhodné pro stavbu mostní konstrukce. Jedná se jako o klasické konstrukční ocele bez tepelného zpracování, tak ocele po normalizačním žíhání nebo zušlechťování. Kromě výborných mechanických vlastností tyto ocele disponují také dobrou svařitelností. Naopak jejich nevýhodou může být vcelku vysoká náchylnost ke korozi, a tudíž nutnost využití povrchové úpravy. Bez povrchové úpravy dochází k zásadním korozním úbytkům a ztrátě jak estetických, tak mechanických vlastností [1; 34].

Tabulka 4: Maximální korozní úbytky nelegovaných ocelí [34]

Stupeň korozní agresivity	Korozní rychlost (μm)		
	1 rok	10 let	20 let
C1	1,3	4,3	6,2
C2	25,0	83,0	120,0
C3	50,0	167,0	240,0
C4	80,0	267,0	383,0
C5	200,0	667,0	958,0
CX	700,0	2 334,0	3 354,0

5.2 Oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi

Nízkolegované uhlíkové konstrukční oceli se zvýšenou odolností vůči korozi, jsou též známé jako patinující. Toto pojmenování je odvozeno od schopnosti vytvářet za vhodných podmínek vrstvu oxidů neboli patiny, která zpomaluje korozní rychlost, čímž redukuje celkový korozní úbytek. Důležitou roli při tvorbě patiny hraje chemické složení těchto nízkolegovaných ocelí. Mezi hlavní prvky patří: mangan, fosfor, síra, křemík, chrom, nikl, měď. Jestliže dochází ke správnému vývoji patinující vrstvy na povrchu součásti, odpadá povinnost aplikace povrchových úprav a životnost těchto ocelí se čtyř až osmi násobně prodlužuje oproti životnosti klasických konstrukčních ocelí. Dochází tedy ke značné ekonomické úspoře. Vzhledem k této skutečnosti jsou patinující oceli využívány v různých odvětvích. Setkáváme se s nimi například na opláštění budov, při výrobě stožárů, vagónů, na železničních mostních konstrukcích, nebo u designových prvků [21; 35].



Obrázek 14: Schématické porovnání korozního úbytku u patinující a uhlíkovou ocelí [35]

5.2.1 COR-TEN, Atmofix

V dnešní době známe více jak 100 typů patinujících ocelí, lišících se obsahem legur, označením, či místem výroby. Zcela první patinující ocel byla patentována ve 30. letech minulého století v USA, kde také v roce 1959 uvedli na trh světově nejpoužívanější patinující ocel pod obchodním názvem COR-TEN, tedy CORrosion resistance (odolnost vůči korozi) – TENSile strenght (pevnost v tahu). Ale ani další země světa nezůstávaly

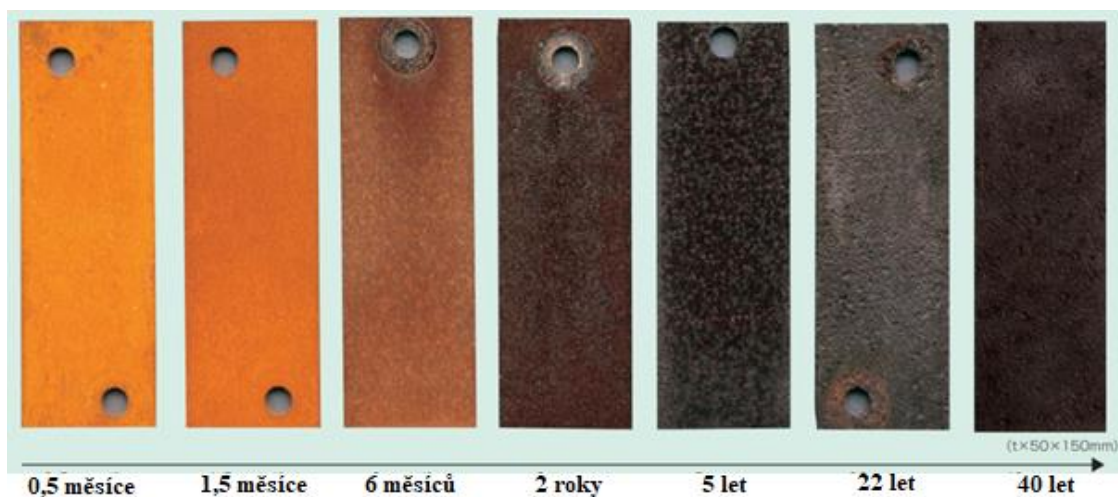
s vývojem tohoto typu ocelí pozadu. Zejména japonské firmy jako Nippon Steel, nebo JFE Steel Corporation dokázaly konkurovat americkým gigantům (Stelco, U. S. Steel). Také na našem území, konkrétně ve Vítkovicích, byly vyvinuty koncem 60. let patinující oceli Atmofix A a Atmofix B [36; 37; 38].

Tabulka 5: Zastoupení chemických prvků v patinujících ocelích COR-TEN a Atmofix [21]

	COR-TEN A	COR-TEN B	Atmofix A	Atmofix B
C [%]	0,12	0,19	Max. 0,12	0,1-0,17
Mn [%]	0,20-0,50	0,80-1,25	0,30-1,00	0,90-1,20
P [%]	0,07-0,15	0,04	0,06-0,15	Max. 0,04
S [%]	0,03	0,03	Max. 0,04	Max. 0,04
Si [%]	0,25-0,75	0,30-0,65	0,25-0,75	0,20-0,45
Cr [%]	0,50-1,25	0,40-0,65	0,50-1,25	0,40-0,80
Ni [%]	0,65	0,40	0,30-0,60	0,30-0,60
Cu [%]	0,25-0,55	0,25-0,40	0,30-0,55	0,30-0,55

5.2.2 Patinující vrstva

Patina je pevná a přilnavá vrstva korozních produktů, která slouží jako bariéra zpomalující další korozní procesy. Tvorba této vrstvy je podmíněna nejen vhodným a stabilním prostředím, ale především dostatečným časem expozice, jelikož účinná patinující vrstva vzniká 2–5 let. Patinující oceli díky této vrstvě získávají jedinečné estetické vlastnosti ve formě postupné změny zbarvení. Zpravidla dochází k tmavnutí, až k úplnému zčernání dříve jasně oranžového povrchu. S barvou a časem expozice se mění také tloušťka vrstvy patiny, která činí až 250 μm . Častěji se ovšem setkáváme s hodnotami mezi 100–200 μm , a to v důsledku ročního úbytku materiálu 5–7 μm . Oproti koroznímu úbytku klasických konstrukčních ocelí bez povrchové úpravy, který činí 25–30 μm / rok, se stále jedná o poměrně přijatelnou hodnotu [21; 39].



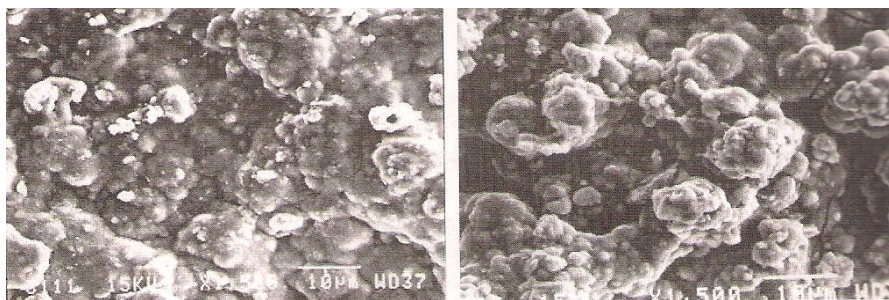
Obrázek 15: Změna barvy patinující vrstvy v závislosti na čase [36]

5.2.3 Složení korozní vrstvy

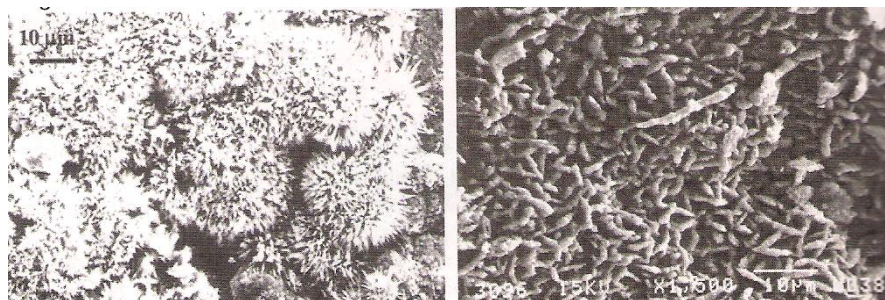
Korozní produkty jsou obvykle tvořeny směsí oxidačních a hydrolytických zplodin železa s určitým množstvím dalších příměsí. Složení korozní vrstvy závisí na době expozice a okolní atmosféře. V prvních fázích korozního procesu se vytváří především lepidokrokít (γ -FeOOH), vyznačující se jasně oranžovou barvou. Lepidokrokít je velmi nestabilní, a proto podléhá transformaci na další složky. Například žluto-hnědý goethit (α -FeOOH). Tato složka je naopak vysoce stabilní a může přispívat k ochranným vlastnostem povrchové vrstvy. Pokud se materiál vyskytuje v prostředí s vysokou vlhkostí, korozní vrstvu tvoří z velké části magnetit (Fe_3O_4), vyznačující se černou barvou. Při vlivu chloridů tvoří dominantní složku akaganeit (β -FeOOH), který je rozeznatelný díky červeno-hnědému zabarvení [34; 39; 40].



Obrázek 16: Lepidokrokít [34]



Obrázek 17: Goethit [34]



Obrázek 18: Akagenit [34]

5.2.4 Hodnocení parinující vrstvy

Jedna z možností hodnocení vzniklé patinující vrstvy, a především její ochranné schopnosti, je využití takzvaného „japonského indexu“ PAI (Protective Ability Index). Principem tohoto hodnocení je dělení korozních vrstev na základě výpočtu, či vzhledových vlastností (Obrázek 19) do pěti různých kategorií, kdy každá kategorie představuje odlišnou kvalitu korozní vrstvy. Na základě PAI jsem schopni určit, ale také předpovědět ochranné vlastnosti vrstvy a korozní úbytek daného materiálu [41; 42]

Index	1	2	3	4	5
Vzhled korozního kuponu					
Vlastnosti vrstvy	Vrstva s puchýři, korozní produkty ve formě šupin	Zvrásněná vrstva, velikost koroze: 5-25 mm	Nesjednocená vrstva, velikost koroze: 1-5 mm	Tmavě hnědá, jednotná a přilnavá vrstva	Světle hnědá vrstva s jemnou korozi
Tloušťka vrstvy	> 800 μm	> 400 μm	< 400 μm	< 400 μm	< 200 μm
	NEPŘÍPUSTNÝ			PŘÍPUSTNÝ	

Obrázek 19: Hodnocení ochranné schopnosti patinující vrstvy dle PAI [42]

Hodnocení PAI dle výpočtu funguje na základě určení hmotnostní koncentrace jednotlivých složek ve vrstvě (lepidokrokrit, akagenit, goethit, magnetit) z chemického složení korozních produktů [41; 42].

Technické podmínky staveb pozemních komunikací pro Českou republiku uvádějí velmi podobný etalon pro stanovení ochranné schopnosti a přípustnosti korozní vrstvy. V tomto případě jsou vrstvy členěny dokonce do šesti kategorií, jelikož poslední pátý stupeň je rozdělen na dvě kategorie dle stáří [28].

5.2.5 Rizika při tvorbě patiny – korozní prostředí

Chceme-li dosáhnout všech výhod spojených s využitím patinujících ocelí, musíme vybrat vhodné prostředí pro konkrétní typ oceli. S tím je spojeno nejen uvážení relativní vlhkosti vzduchu nebo působení různých korozních činitelů. Zcela zásadní pro tvorbu rovnoměrné vrstvy patiny je pravidelné střídání cyklů ovlhčení a osušení konstrukce. K ovlhčení dochází především kondenzací vzdušné vlhkosti. Problém nastává, jestliže konstrukce disponuje nadměrnou tepelnou kapacitou, tehdy dochází k nepoměru teplot povrchu konstrukce a okolní atmosféry, a tudíž ke zpoždění tepelných cyklů. Tento jev vede k nadměrnému ovlhčování a nedostatečnému vysušování konstrukce, tudíž stejně jako při jakémkoli jiném špatném odvodu kapaliny z povrchu oceli, nedochází k tvorbě patinující vrstvy [21; 28].

Správnou tvorbu ochranné patiny rovněž narušuje působení externích nečistot (zbytky stavebního materiálu, ptací trus) a pevných částic atmosféry. Všechny tyto látky rovněž přispívají k prodloužení doby ovlhčení konstrukce. Prevencí proti působení korozních činitelů je vhodné konstrukční řešení dané normou a doporučením výrobce i pravidelná a šetrná údržba konstrukce, při kterém zůstává na povrchu zachována samotná vrstva patiny [21; 28].

Další riziko spočívá v přítomnosti SO₂ a chloridů. Dle TKP 19 by koncentrace znečištění ovzduší SO₂ neměla překročit hodnotu 90 mg.m⁻².d⁻¹. Tato hodnota se jeví jako poněkud extrémní a k její překročení na území České republiky dochází jen zřídka. Mnohem větší nebezpečí představuje přítomnost chloridů. Obsah chloridů v atmosféře zaznamenáváme nejen v přímořských oblastech, ale také ve vnitrozemí. V zimním období, kdy je okolí většiny frekventovaných silnic i na území České republiky vystaveno posypovým solím,

může docházet k usazování chloridů na ocelových konstrukcích mostů. V takových případech se patinující vrstva nevytváří korektně a dochází až k šestinásobnému nárůstu korozního úbytku. To je hodnota srovnatelná s korozním úbytkem nízkouhlíkových konstrukčních ocelí. Z tohoto důvodu většina výrobců patinujících ocelí upozorňuje na nebezpečné působení chloridů a v daných případech předepisuje využití povrchové úpravy a ošetření materiálu nátěrovým systémem [10; 28; 34].

6 Běžně využívané typy protikorozní ochrany

Povrch lze chránit před korozí několika způsoby – správnou volbou materiálu, vhodným konstrukčním řešením, úpravou korozního prostředí nebo kombinací těchto možností. Ne vždy je ovšem možné navržení jiného materiálu, nebo změna prostředí. Proto mezi důležité způsoby protikorozní ochrany patří povrchové úpravy [2; 43].

Povrchové úpravy nacházejí uplatnění při ošetření uhlíkových ocelí i dalších korozně náchylných materiálů. Jejich základní funkcí je vytvoření ochranné bariéry mezi korozním prostředím a chráněným materiálem. Mezi nejběžněji využívané povrchové úpravy patří povlaky, které lze dělit na:

- organické povlaky (nátěrové hmoty, pryže, plasty),
- anorganické nekovové povlaky (smalty, keramika),
- kovové povlaky,
- kombinované (duplexní) povlaky.

Volba povlaku závisí na několika faktorech. Mohou jimi být: charakter základního materiálu a okolního prostředí, náročnost technologie daného povlaku, dostupnost ošetřované plochy nebo požadovaná životnost povlaku. Tím, co mají všechny druhy povlaků společné, jsou vysoké nároky na předúpravu povrchu [43; 44; 45].

6.1 Organické povlaky

Jednoznačně nejrozšířenější povrchovou úpravou součástí a konstrukcí jsou organické povlaky. Do této kategorie spadají jak práškové plasty a pryže, tak klasické nátěrové hmoty. Organické povlaky chrání povrch díky čtyřem základním mechanismům (inhibičnímu, bariérovému, adheznímu, elektrochemickému). *Inhibiční mechanismus* je

založen na antikoročních pigmentech obsažených v základních nátěrech. Jedná se o vysoce účinné, avšak velmi toxické látky na bázi olova a šestimocného chromu. Zhruba před třiceti lety proto došlo vyloučení těchto sloučenin z nátěrových hmot. Organické povlaky se od té doby musí opírat o další ochranné mechanismy. Tím nejdůležitějším je pravděpodobně *bariérový způsob ochrany*, který je určen počtem vrstev a celkovou tloušťkou povlaku. Pro funkci bariérového mechanismu je klíčové vytvoření jednotné a pravidelné ochranné vrstvy [2; 43; 44].

6.1.1 Nátěrové hmoty

Až 90 % všech povlaků je tvořeno nátěrovými hmotami. To je dáno hlavně díky jejich vysokým ochranným účinkům a nepříliš velké technologické i ekonomické náročnosti. Samotná aplikace nátěrových hmot může být různá. Nejdostupnější metodou je ruční nanášení za využití štětce, válečku nebo stěrky. Mezi pokročilejší metody, které lze robotizovat či automatizovat, můžeme zařadit máčení, elektrostatické nanášení, nebo vysokotlaké a pneumatické stříkání nátěrových hmot. Druh aplikace volíme především dle požadavků na povlak. Po aplikaci nastává fáze sušení, či vypalování, kdy dochází k odpařování rozpouštědel a ředidel. Mezi základní složky nátěrových hmot patří filmotvorné látky, pigmenty, plniva, těkavé látky a aditiva [2; 44; 46].

Filmotvorné látky, jak již vyplývá z jejich pojmenování, zajišťují vznik tuhého a souvislého filmu. Tyto netěkavé látky svými vlastnostmi dodávají povlaku pevnost čímž určují jeho účinnost a životnost [46].

Pigmenty jsou barevné prášky, dodávající nátěrovým hmotám barevný odstín a určující průhlednost nátěru. Nejčastěji to jsou oxidy nebo soli kovů, tudíž látky, které nelze rozpustit v rozpouštědlech. Nátěrové hmoty bez pigmentů jsou nazývány laky. Některé pigmenty, přispívají ke vzniku bariérového efektu a zvyšují korozní odolnost. Právě dle funkce při protikorozi ochraně je můžeme dělit na:

- inhibiční pigmenty (zpomalující korozi),
- neutrální pigmenty (nemají vliv na průběh koroze),
- stimulující pigmenty (zrychlují korozi) [46].

Stejně jako pigmenty, také *plniva* nejsou rozpustné a upravují technologické vlastnosti nátěrových hmot. Jedná se o poměrně levné minerální látky jako je vápenec, křída nebo dolomit [46].

Těkavé látky zahrnují ředidla a rozpouštědla. Tyto složky obecně upravují konzistenci nátěrových hmot a zpříjemňují jejich aplikaci. Po aplikaci nátěrové hmoty dochází k jejich vypaření. Nejběžněji se využívají technické a lakové benziny, alkoholy, aromatické uhlovodíky, estery a ketony [46].

Aditiva jsou pomocné přísady upravující technologické a fyzikální vlastnosti nátěrových hmot. Tyto složky mají v celkovém obsahu jen minimální zastoupení, ale o to větší důležitost na ně v dnešní době připadá. Mezi aditiva se řadí například UV stabilizátory, anti-sedimentační přísady, činidla podporující rozliv nebo odpěňovače [46].

V dnešní době známe nepřeberné množství nátěrových hmot. Obecně je můžeme dělit dle několika kritérií.

Dle charakteristických vlastností:

- transparentní (laky)
- pigmentové (barvy, tmely, emaily)

Dle fyzikálního stavu:

- roztok
- prášek
- emulze
- disperze

Dle pozice v nátěrovém systému:

- napouštěcí
- základní
- vyrovnávací
- podkladové

- svrchní
- maskovací

Dle surovinové báze:

- asfaltové
- bezrozpuštědlové
- celulózové
- práškové
- chlorkaučukové
- silikonové
- lihové
- olejové
- syntetické
- pro povrchovou úpravu plastů
- polyuretanové
- vodové a emulzní

Z hlediska barevných odstínů se v dnešní době nejčastěji používá značení RAL nebo PANTONE [46].

6.2 Kovové povlaky

Kovové povlaky jsou tvořeny vrstvou kovu nebo jejich slitin. Uplatňují se zejména materiály jako hliník, zinek, chrom, měď, nikl, cín či olovo. Vrstva kovového povlaku může být nanášena hned několika způsoby, podle kterých lze pokovování dělit na:

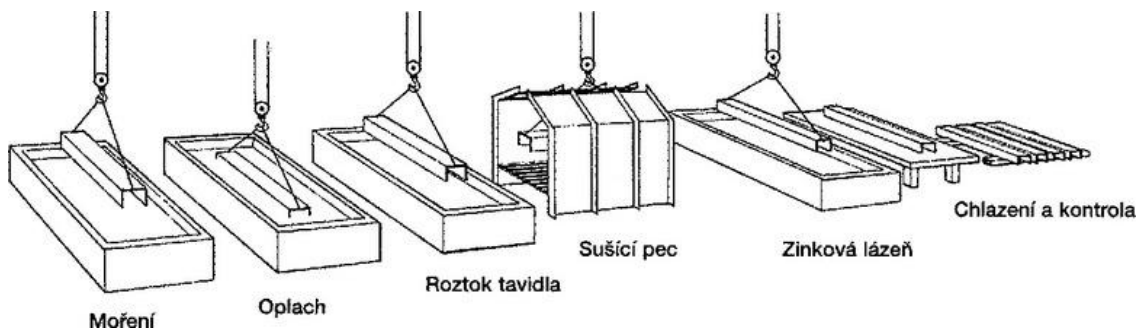
- chemické,
- galvanické,
- žárové,
- metalizované,
- difúzní,
- kondenzační [44].

6.2.1 Zinkování

Jedním z nejvyžívanějších kovů pro pokovení ocelí je zinek. Vrstva zinku chrání ocel proti korozi nejen mechanicky, ale také chemicky. Zinek se totiž ve většině prostředí při kontaktu s železem chová jako obětovaná anoda, a tudíž koroduje sám na úkor oceli. Kromě toho má čistý zinek také pasivační schopnosti, a tak při expozici ve vhodném prostředí tvoří vlastní ochrannou vrstvu oxidů. Zinkování se nejčastěji provádí žárovým nástřikem či ponorem v roztaveném kovu [44; 47].

Žárové zinkování ponorem

Při ponoření dílu do lázně zinku o teplotě mezi 450–470 °C dochází na jeho povrchu k tvorbě velmi odolné kovové bariéry, která odděluje materiál od korozního prostředí. Tento děj tvoří různé difuzními procesy probíhající jak v povrchové vrstvě součásti, tak na rozhraní mezi povrchem a taveninou zinku. Chemické vlastnosti a kvalita předúpravy povrchu základního materiálu mají zásadní vliv na kvalitu zinkového povlaku [44; 47].



Obrázek 20: Princip žárového zinkování ponorem [50]

Žárový nástřik zinku

Pro dlouhodobou ochranu konstrukcí se často využívá žárového nástřiku nejen zinku samotného, ale hlavně jeho slitin s hliníkem. Principem této technologie je mechanické přilnutí roztavených částic stříkaného kovu či slitiny na povrch součásti. Tento způsob nanášení kovu je omezen minimální tloušťkou stěny součásti 3 mm. Tloušťku samotného povlaku určuje norma ČSN EN ISO 2063. Podle způsobu tavení stříkaného kovu rozlišujeme nástřik elektrickým obloukem a nástřik oxido-acetylenovým plamenem [44].

6.3 Předúpravy povrchu

Na kvalitu, funkčnost a životnost všech povlaků má zásadní vliv předúprava povrchu. Jejím cílem je sjednocení povrchu a odstranění nečistot, rzi, mastnoty a dalších látek ohrožujících kvalitu povlaku. Volba předúpravy záleží na velikosti a materiálu povlakované součásti či konstrukce, druhu a požadované kvalitě povlaku, ale také na dostupnosti technologie. Předúpravy povrchu nejčastěji dělíme na mechanické a chemické [48; 49].

6.3.1 Mechanické předúpravy povrchu

V tomto případě dochází k úpravě povrchu mechanickým působením cizích látek či předmětů. Hlavním cílem je očištění povrchu od cizích i vlastních nečistot a sjednocení povrchu, z hlediska drsnosti a vzhledu. Mezi nejvyužívanější mechanické úpravy patří tryskání, broušení, omílání, kartáčování nebo leštění [48; 49].

Tryskání

Tryskání je jednou z nejúčinnějších předúprav povrchu. Občas se uplatňuje také jako dokončovací úprava za účelem zlepšení mechanických vlastností. Principem tryskání je vrhání tryskacích látek – abraziva na povrch součásti, tím dochází mechanickému odstranění nečistot, které odpadávají z povrchu společně s abrazivem. Účinnost technologie je dána kinetickou energií, kterou je abrazivo hnané proti ošetřovanému povrchu. K urychlení abrazivních částic se využívá stlačený vzduch, voda nebo také metací kola. Při tryskání se můžeme setkat z celou řadou abraziv. Jejich volba zásadně ovlivňuje vlastnosti výsledného povrchu. Tyto sypké látky lze dělit dle tvaru (ostrohranné, oblé) a velikosti zrna nebo původu (přírodní, syntetické). Mezi nejvyužívanější abraziva můžeme řadit:

- křemenný písek,
- ocelový granulát,
- ocelová drť,
- přírodní i umělý korund,
- drcené pecky a skořápky,
- sekaný drát [48; 49].

Broušení

V případě broušení se jedná o třískové obrábění povrchu materiálu za účelem odstranění nečistot, vyrovnaní nerovností a sjednocení drsnosti. Jako nástroj je využíván mnohobřítý předmět, který se skládá z nepravidelných zrn – brusiva. Brusiva mohou mít různý charakter, a právě jimi je určena finální drsnost povrchu. Obecně je lze dělit na jemná a hrubá. V dnešní době se jako brusivo nejčastěji využívá: umělý korund, karbidy křemíku a boru nebo syntetický diamant [48; 49].

Kartáčování

Kartáčování je poměrně nenáročná úprava povrchu, která se používá především na odstranění hrubých nečistot, rzi a starých nátěrů. Tato metoda je rovněž velmi využívána k odstranění strusky po svařování. Finální drsnost upraveného povrchu po kartáčování je určena tvrdostí a délkou vláken kartáče [48; 49].

6.3.2 Chemické předúpravy povrchu

Při chemické, nebo také chemicko-fyzikální úpravě povrchu dochází k narušení chemických vazeb nečistot ulpěných na součásti. Tímto způsobem ztrácejí nečistoty spojení s povrchem a mohou být odstraněny. Chemická předúprava rovněž zajistí aktivaci povrchu a zvýší přilnavost následného povlaku. Do této kategorie lze zařadit odmašťování, moření, dekapování nebo odrezování [48; 49].

Odmašťování

Jedná se o základní a zcela zásadní technologii předúpravy povrchu, kdy dochází k odstranění nejen nečistot, ale hlavně mastnoty z povrchu součásti. Právě nedokonale odstraněná mastnota zvyšuje riziko vzniku koroze, proto se odmašťování provádí nejen před samotným povlakováním, ale rovněž před jinými chemickými úpravami povrchu. Odmašťování lze dělit dle odmašťovacích prostředků na organické a vodné. Dle způsobu aplikace rozlišujeme odmašťování ponorem, postřikem a v parách [48; 49].

Odmašťování organickými prostředky je jednoduchý a účinný proces, při kterém uplatňujeme rozpouštědla. Tato technologie je vhodná pro odstranění silných vrstev nečistot, avšak nedostačující při práci s vlhkými povrchy. Organická rozpouštědla, které

proces využívá, lze dělit na hořlavá (benzín, petrolej, aceton) a nehořlavá (chlorované a fluorované uhlovodíky). Hlavní nevýhodou odmašťování pomocí rozpouštědel je jejich obtížná likvidace. *Odmašťování vodnými prostředky* se odehrává za přítomnosti mnoha různých odmašťovacích prostředků v jednom roztoku. Jejich složení záleží na okolnostech jako je míra a typ znečištění povrchu, druh základního materiálu nebo druh aplikace roztoku. Obecně se však jedná o využití anorganických látek, povrchově aktivních látek a pomocných látek [48; 49].

6.4 Korozní zkušebnictví

Samotný korozní proces je velmi složitý děj, který je ovlivněn celou řadou faktorů. Tímto pohledem je nutné vnímat také korozní zkoušky materiálů a povlaků. Žádná ze zkoušek není univerzální a jejich uplatnění závisí především na hodnoceném materiálu, povrchu a prostředí ve kterém bude díl využit. V dnešní době existuje celá řada norem, které definují správnou volbu a provedení zkoušky. Hlavním principem korozního zkušebnictví je vyhodnocení rozměrových, vzhledových, hmotnostních změn součástí. Dále jsou vyhodnocovány korozní produkty a změna složení korozního prostředí [2; 51].

Dlouhodobé korozní zkoušky

Dlouhodobé korozní zkoušky probíhají v podmínkách stejných, nebo maximálně podobných reálnému prostředí, pro které je produkt určen. Úkolem zkoušek je stanovit životnosti materiálu či povlaku. Vzhledem k časové náročnosti těchto zkoušek se čím dál častěji přistupuje jejich zrychlení [52].

Urychlené korozní zkoušky

Mezi nejčastěji využívané urychlené zkoušky patří zkouška korozní odolnosti v solné mlze, atmosférické zkoušky, nebo různé podoby cyklických zkoušek, kdy z pravidla dochází ke střídání ovlhčování a osušování povrchu. Tyto typy zkoušek ověřují životnost a celkovou kvalitu materiálů i povlaků. Nacházejí uplatnění nejen ve stavitelství, ale také v automobilovém, leteckém nebo strojírenském průmyslu. Pro všechny urychlené korozní zkoušky je zcela zásadní zajištění perfektního prostředí bez působení vnějších vlivů. K tomu pomáhají především sofistikovaná testovací zařízení [51; 53].

7 Praktická část

Praktická část této bakalářské práce se skládá z experimentu, který je zaměřen na sledování vlivu chloridů a doby ovlhčení na tvorbu korozní vrstvy u uhlíkové oceli a oceli se zvýšenou odolností vůči atmosférické korozi.

Dále je praktická část zaměřena na zpracování a vyhodnocení dat, která byla naměřena monitorovací stanicí umístěné na dálničním mostě (SO 216) v městské části Ostravy. Data reflektují kvalitu ovzduší a klimatické podmínky v blízkosti mostní konstrukce. Celkový monitoring objektu je prováděn za účelem zjištění korozní agresivity okolního prostředí.

7.1 Experiment

Z veškeré dostupné literatury vyplývá, že zásadní vliv na tvorbu vrstvy korozních produktů (ochranné patiny) má korozní agresivita atmosfér (relativní vlhkost, doba ovlhčení, přítomnost chloridů a nečistot, aj.). Z těchto tvrzení vycházel také praktický experiment, který byl inspirován prací s korozními kupóny a normovanými korozními zkouškami. Zdroj [54] uvádí, že pro simulaci reálných podmínek v okolí dopravních komunikací je zcela nereprezentativní využití zkoušky v neutrální solné mlze (ČSN EN ISO 9227). Naopak velmi reálné výsledky vykazují různé podoby cyklických zkoušek. Z tohoto důvodu bylo principem praktického experimentu cyklické ovlhčování a osušování vzorků oceli, přičemž ovlhčování probíhalo ponořením vzorků do lázní s různě koncentrovanými solnými roztoky. Hlavním cílem bylo ověření vlivu chloridů a doby ovlhčení na průběh koroze u uhlíkové oceli a oceli se zvýšenou odolností vůči atmosférické korozi.

V úvodu je nutné podotknout, že experiment probíhal v domácích podmínkách z důvodu nařízené distanční výuky na fakultě strojní ČVUT, a tudíž byl normovanými korozními testy pouze inspirován.

7.1.1 Využité roztoky a materiály

Solné roztoky byly připraveny smícháním destilované vody a chloridu sodného (NaCl). Obsah jednotlivých lázní, určených k ovlhčování vzorků, byl tvořen:

1. destilovanou vodu,
2. roztokem NaCl ($0,5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$),
3. roztokem NaCl ($2,5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$),
4. roztokem NaCl ($5,0 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$).



Obrázek 21: Vážení chloridu sodného (NaCl) při přípravě roztoku

K pozorování byly vybrány vzorky oceli se zvýšenou odolností vůči atmosférické korozi (Corten A) a vzorky uhlíkové oceli (S235JR) od firmy Q – panel. Celkově bylo využito osm vzorků materiálu Corten A a čtyři vzorky uhlíkové oceli.

Tabulka 6: Normativní chemické složení použitých vzorků

Ocel	C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]	P [%]	S [%]	Al [%]
Corten A	0,12	0,20-0,50	0,25-0,75	0,50-1,25	0,65	0,25-0,55	0,07-0,15	0,03	–
S235JR	0,100	0,794	0,020	0,018	0,015	0,047	Max. 0,005	Max. 0,150	0,048

Rozměry vzorků:

- Corten A – 150,5 mm x 100,5 mm x 2,0 mm,
- uhlíková ocel (S235JR) – 152,5 mm x 101,5 mm x 0,8 mm.

7.1.2 Předúprava vzorků

Všechny vzorky byly ručně odmaštěny pomocí rozpouštědla na bázi uhlovodíků a následně otryskány křemenným pískem za využití fakultního tryskacího zařízení HORBACH UNI 322 (Obrázek). Tato předúprava byla zvolena jak kvůli odstranění vytvořené oxidické vrstvy na vzorcích patinující oceli, tak kvůli celkovému sjednocení povrchu. Otryskáním byly zajištěny stejné vstupní podmínky pro všechny vzorky. Všeobecně je předúprava povrchu tryskáním doporučována jak výrobci patinujících ocelí, tak rovněž Vítkovickou podnikovou normou 73 1466 [38].



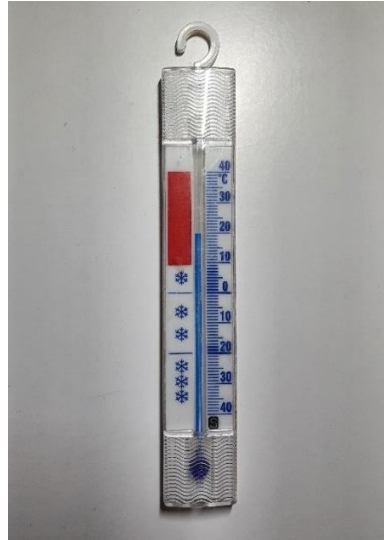
Obrázek 22: Tryskací zařízení HORBACH UNI 322



Obrázek 23: Vzorek před a po otryskání (Corten A)

7.1.3 Prostředí a vybavení

Experiment probíhal v prostředí rodinného domu, ve sklepních prostorech, při teplotě pohybující se okolo 20 °C a relativní vlhkosti kolem 65 %.

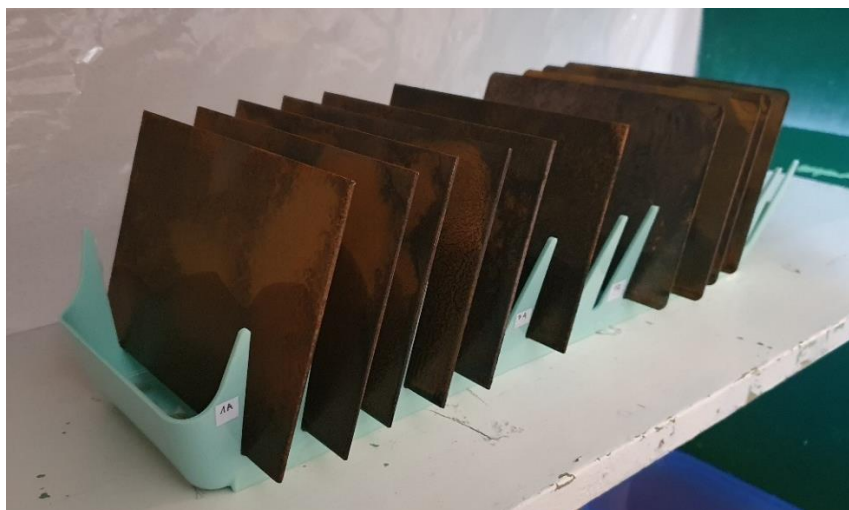


Obrázek 24: Měření teploty vzduchu v místnosti

Roztoky, určené k ovlhčování vzorků, byly uzavřeny v plastových nádobách (Obrázek 25) a po určité době obnovovány. Osušování vzorků probíhalo v plastovém stojánku, který byl umístěn v prostoru částečně uzavřeném průhlednou fólií, tato varianta byla zvolena za účelem minimalizace usedání prachových částic na povrchu vzorků. V případě manipulace se vzorky byly využity jednorázové mikrotenové rukavice, které zamezily zanesení mastnoty a nečistot do roztoků, nebo na povrch vzorků. K obrazové dokumentaci vzorků docházelo na milimetrovém papíře s upevněným pravítkem pro lepší představu o velikosti zkorodované plochy.



Obrázek 25: Ovlhčování vzorků



Obrázek 26: Osušování vzorků

7.1.4 Průběh experimentu

Před samotným začátkem experimentu byly vzorky zváženy, kvůli pozdějšímu vyhodnocení korozního úbytku. Vážení vzorků patinující ocele probíhalo na digitální váze Sartorius 1265. Díky nižší hmotnosti, byly vzorky uhlíkové oceli váženy na digitálních vahách OHAUS Explorer Pro (Obrázek 27).



Obrázek 27: Digitální váha OHAUS Explorer Pro

Minimální doba trvání praktického experimentu byla stanovena na 1000 hodin. Zahájení experimentu proběhlo 9. června 2021, ukončení 21. července 2021. Během trvání experimentu byly vzorky vystavovány různým prostředím v různě nastavených cyklech. Většina cyklů trvala 24 hodin, tedy 12 ovlhčování a 12 hodin sušení. Pro určení vlivu doby ovlhčení na vývoj patiny byly některé cykly nastaveny na 36 hodin, kdy vždy jedna z fází (ovlhčení nebo osušení) trvala o 12 hodin déle. Celkově bylo dokončeno 43 cyklů po 24 hodinách a 29 cyklů po 36 hodinách. Za účelem zachycení vizuálních změn na povrchu oceli byly vzorky po dobu trvání experimentu pravidelně fotograficky dokumentovány (Příloha 1–4).

Tabulka 7: Přehled vzorků, prostředí a cyklů

Označení vzorku	Materiál	Roztok (ovlhčování)	Cyklus [h] ovlhčování/osušování	Počet cyklů
1A	Corten A	H ₂ O	12/12	43
2A	Corten A	H ₂ O + NaCl (0,5 g·l ⁻¹)	12/12	43
3A	Corten A	H ₂ O + NaCl (2,5 g·l ⁻¹)	12/12	43
4A	Corten A	H ₂ O + NaCl (5,0 g·l ⁻¹)	12/12	43
5A	Corten A	H ₂ O + NaCl (2,5 g·l ⁻¹)	12/24	29
6A	Corten A	H ₂ O + NaCl (2,5 g·l ⁻¹)	24/12	29
7A	Corten A	H ₂ O	12/24	29
8A	Corten A	H ₂ O	24/12	29
1Q	S235JR	H ₂ O	12/12	43
2Q	S235JR	H ₂ O + NaCl (0,5 g·l ⁻¹)	12/12	43
3Q	S235JR	H ₂ O + NaCl (2,5 g·l ⁻¹)	12/12	43
4Q	S235JR	H ₂ O + NaCl (5,0 g·l ⁻¹)	12/12	43

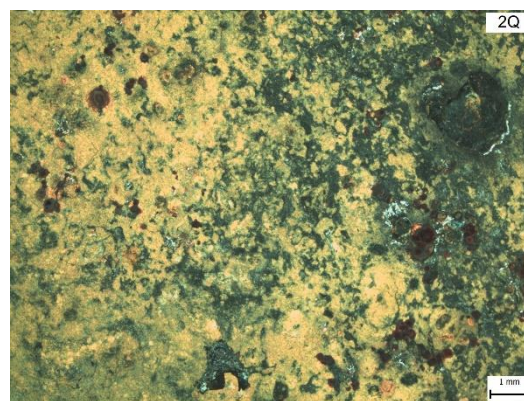
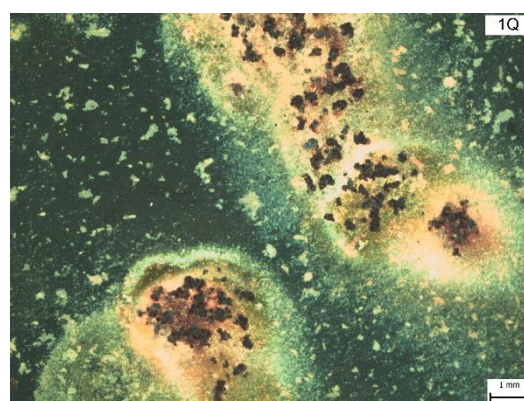
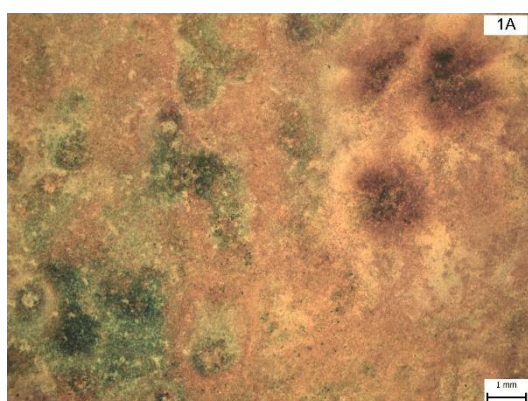
7.1.5 Vyhodnocení experimentu

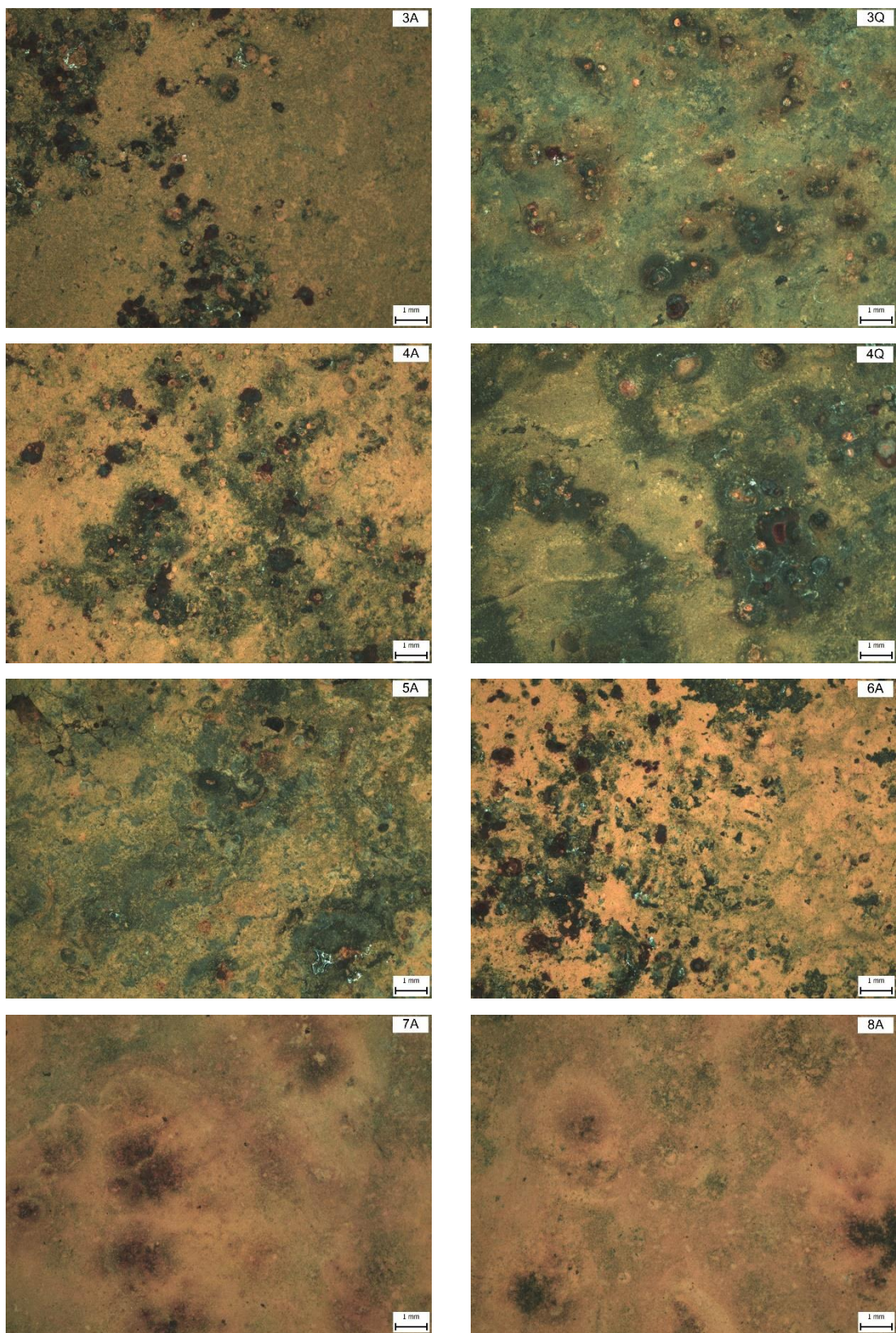
Dne 28. července 2021 bylo v laboratoři fakulty strojní ČVUT provedeno testování a vyhodnocování stavu vzorků. Hlavním cílem bylo stanovení tloušťky zoxidované vrstvy a celkového korozního úbytku u jednotlivých vzorků. Testování probíhalo za přítomnosti Ing. Michala Zoubka, a to v několika fázích.

- Porovnávání vzhledových vlastností.
- Měření tloušťky oxidické vrstvy.
- Zkouška odtržením lepicí pásky.
- Stanovení korozního úbytku.

Hodnocení vizuálních vlastností vzorků

Prvním krokem bylo zhodnocení a porovnání vizuálních vlastností vzorků. V této fázi byly všechny vzorky nasnímány mikroskopem Olympus SZ61 (Infinity 1, Lumenera) při zvětšení 1,0 a za využití počítačového programu Quick Photo Camera 3.1 exportovány.





Obrázek 28: Snímky vzorků po 1000 hodinách expozice nasnímané mikroskopem Olympus SZ61

Všechny vzorky zůstaly po celou dobu experimentu vcelku, bez ztráty větších kusů materiálu. Povrch vzorků (1A – 8A) dominoval jasně oranžovou barvou s nepravidelnými černými skvrnami, zatímco na povrchu vzorků uhlíkové oceli (1Q – 4Q) převažovaly velmi utlumené odstíny oranžové až hnědé barvy na černém podkladu. Vzorky ovlhčované samotnou vodou bez chloridů disponovaly hladkým a poměrně celistvým povrchem. Naopak povrch vzorků vystavovaných v jakémkoli solném roztoku působil hrubě a nesjednoceně. Na vzorcích uhlíkové oceli (2Q – 4Q) byly zřetelné puchýře, které měly tendenci odpadávat.

Měření tloušťky oxidické vrstvy

Měření tloušťky oxidické vrstvy proběhlo za využití digitálního tloušťkoměru ELCOMETER 456 s mikrosondou. Na každém vzorku bylo nasnímáno 25 hodnot ve čtvercovém rastru 5 x 5. Z každé série snímání byla určena průměrná, minimální, maximální hodnota, směrodatná odchylka a koeficient variace.



Obrázek 29: Tloušťkoměr ELCOMETER s mikrosondou

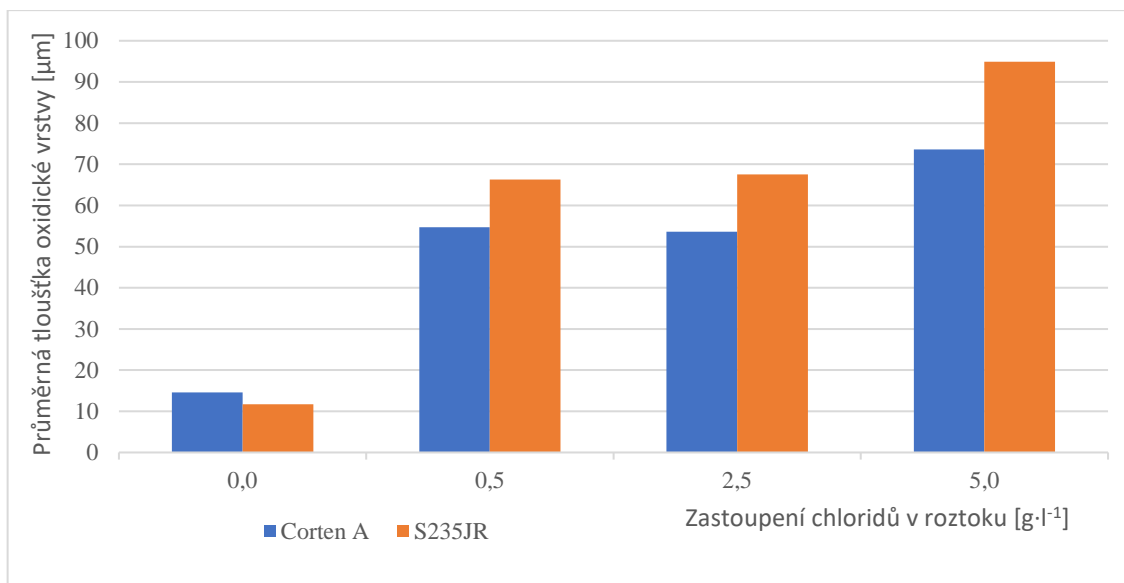
Tabulka 8: Údaje o tloušťce oxidické vrstvy

Označení vzorku	Průměrná hodnota [μm]	Maximální hodnota [μm]	Minimální hodnota [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Koeficient variace [%]
1A	14,6	45,9	3,3	10,1	70,3
2A	54,7	81,2	28,4	15,3	28,0
3A	53,6	111,0	28,0	18,9	35,3

4A	73,6	123,0	40,6	20,5	27,9
5A	77,1	123,0	44,8	21,5	27,8
6A	64,2	113,0	29,1	22,8	35,5
7A	5,6	12,1	0,8	3,0	53,8
8A	15,3	29,9	5,5	6,4	42,0
1Q	11,7	62,1	1,9	14,0	119,6
2Q	66,3	181,0	11,5	43,9	65,2
3Q	67,5	202,0	35,5	35,7	52,8
4Q	94,9	162,0	59,8	29,9	31,5

Z výsledků měření je patrná závislost tloušťky vrstvy na množství chloridů v roztoku (Tabulka 9, Obrázek 26). Při působení čisté vody průměrná hodnota vrstvy nepřekračuje 15 μm ani u jednoho z materiálů. Naopak při expozici v silných solných roztocích můžeme pozorovat nejsilnější vrstvy. Vzorky uhlíkové oceli se oproti patinující oceli jeví jako náchylnější vzhledem k výskytu chloridů. Zajímavé je, že vzorky exponované v solných roztocích s koncentrací NaCl 0,5 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ a 2,5 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ vykazují téměř totožné průměrné hodnoty tloušťky vrstvy u obou ocelí.

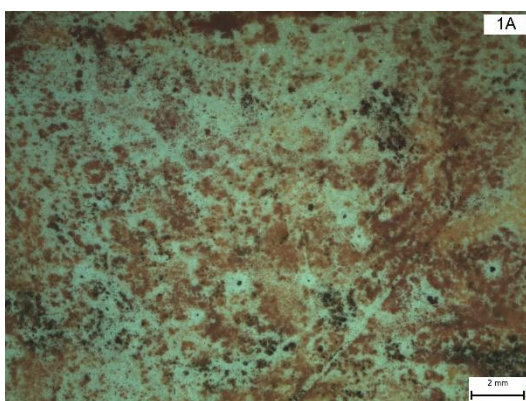
Co se týče vzorků s upravenými cykly, tak přítomnost chloridů se rovněž projevila na obou typech vzorků. Ovšem z výsledků založených na naměřených tloušťkách vrstvy vyplývá, že vzorkům ovlhčovaným čistou vodou svědčí spíše cyklus s kratším ponorem, zatímco vzorkům vystavovaným chloridům svědčí spíše cyklus s kratším osušováním.

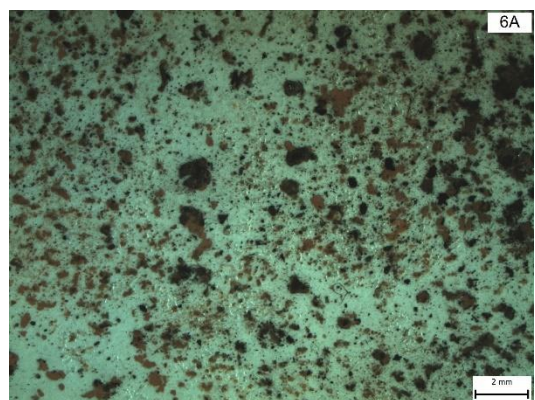
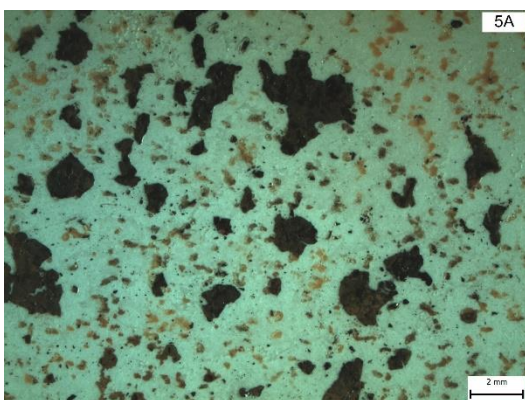
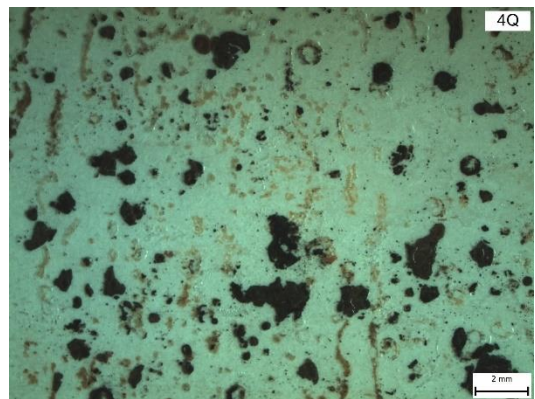
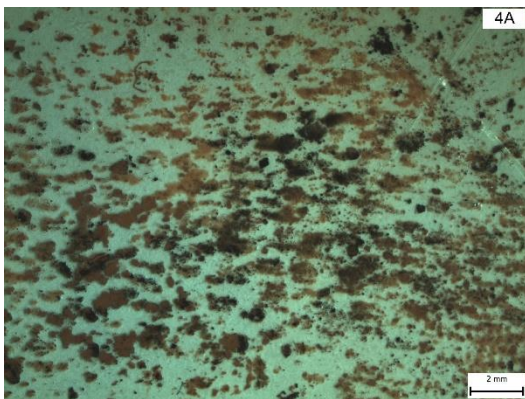
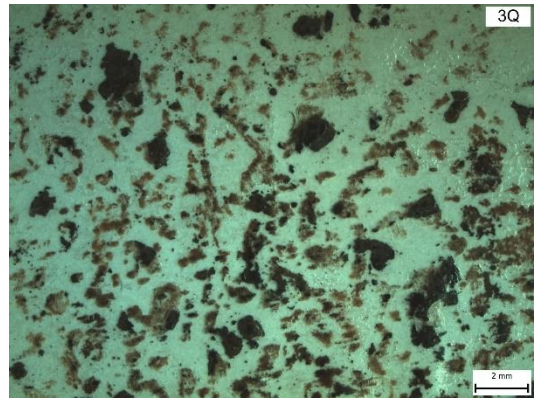
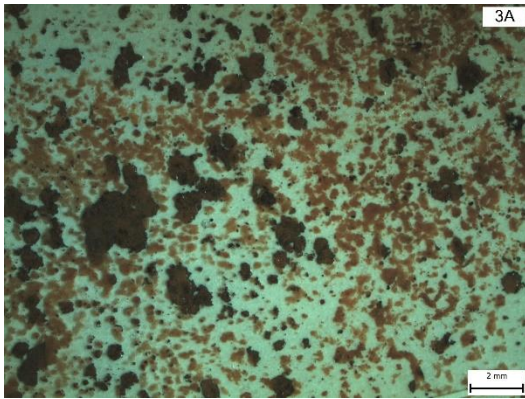
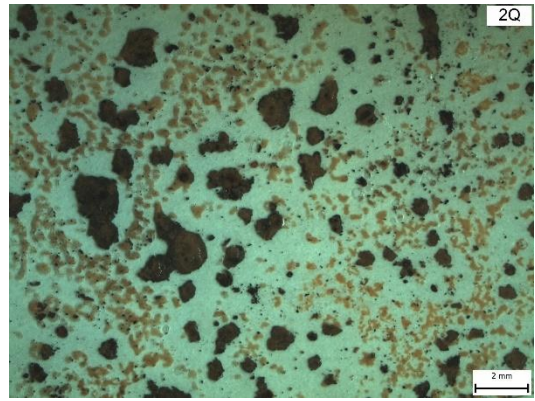
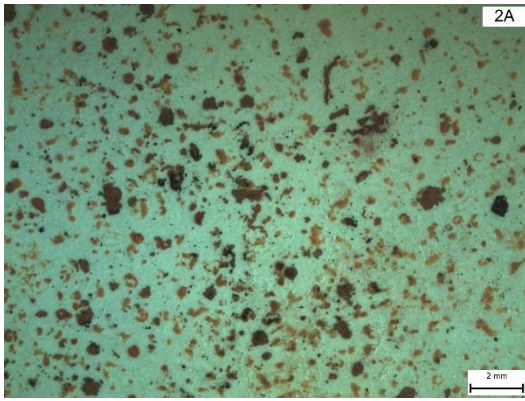


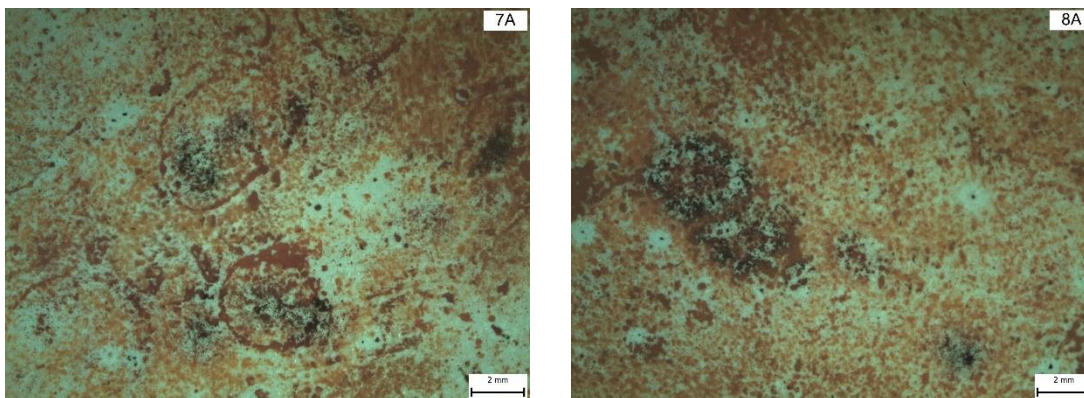
Obrázek 30: Závislost tloušťky oxidické vrstvy na množství chloridů

Zkouška odtržením lepicí pásky

Při zkoušce odtržením lepicí pásky byla sledována četnost, velikost a typ korozních produktů. Principem bylo nalepení průhledné pásky na jednotlivé vzorky a její následné odtržení, po kterém zůstala na pásce část korozních produktů. Lepicí pásky s odtrženými korozními produkty byly následně nalepeny na bílý podklad a dokumentovány jak fotoaparátem (Příloha 5), tak pod mikroskopem Olympus SZ61 (Infinity 1, Lumenera) při zvětšení 0,67 a využití počítačového programu Quick Photo Camera 3.1.







Obrázek 31: Snímky lepících pásek s korozními produkty nasnímané pod mikroskopem Olympus SZ61

Již na první pohled můžeme rozeznat korozní produkty vzorků exponovaných v čisté vodě (1A, 1Q, 7A, 8A). Tyto produkty jsou velmi jemné a mají vysokou četnost. V tomto případě může být zajímavé porovnání korozních produktů ze vzorku 1A (patinující ocel) a 1Q (uhlíková ocel). Zatímco na vzorku uhlíkové oceli dominují černé korozní produkty (magnetit), na vzorku patinující oceli převládají oranžové korozní produkty (lepidokrokit, goethit).

Všechny vzorky vystavené chloridům se prezentují korozními produkty ve formě velkých, černých šupin. U oceli typu Corten A je opět zřetelné vyšší zastoupení oranžové složky korozních produktů.

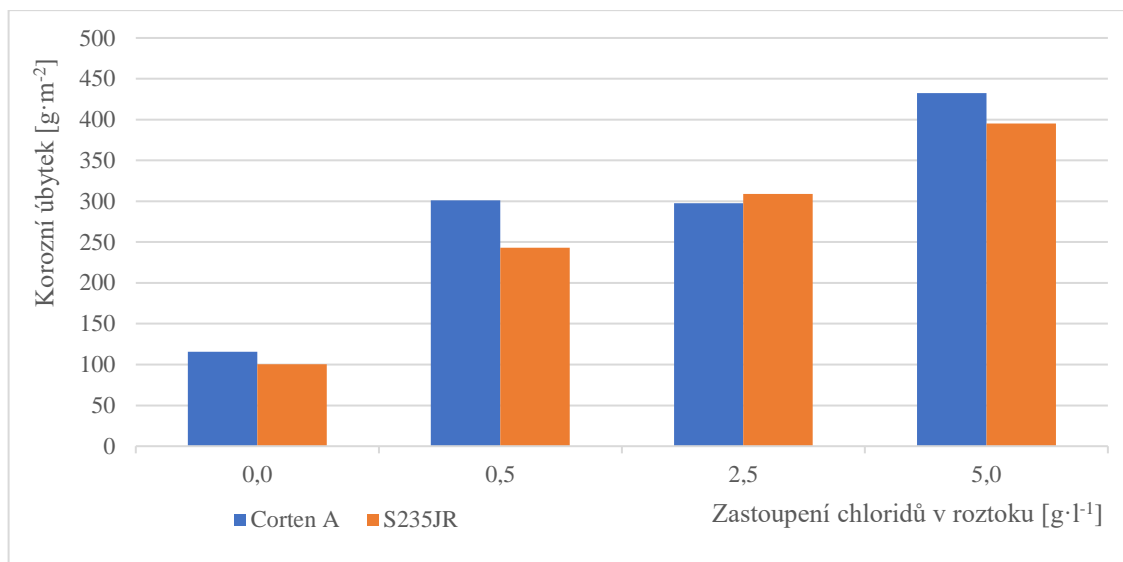
Určení korozního úbytku

K určení korozního úbytku jednotlivých vzorků je nutné odstranění koroze z celého povrchu. Bylo proto využito mechanické očištění kartáčem s měkkým vláknem, a následované chemickým čišťením v kyselině chlorovodíkové zředěné vodou v podílu 1:1. Doba ponoru byla stanovena na 10 minut. Následoval oplach ve vodě a osušení vzorků. Po osušení byly jednotlivé vzorky převáženy. Rozdíl hmotností před zahájením experimentu a hmotností po ukončení experimentu a odstranění koroze určil celkový korozní úbytek, ten byl následně vztažen na plochu jednotlivých vzorků.

Tabulka 9: Stanovení korozního úbytku vzorků

Označení vzorku	Hmotnost vzorku před [g]	Hmotnost vzorku po [g]	Korozní úbytek [g]	Korozní úbytek [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]
1A	236,737	233,243	3,494	115,502
2A	236,577	227,463	9,114	301,284
3A	236,816	227,815	9,001	297,549
4A	236,819	223,736	13,083	432,489
5A	236,979	225,395	11,584	382,936
6A	237,354	228,197	9,157	302,706
7A	236,045	232,625	3,420	113,056
8A	234,475	230,599	3,876	128,130
1Q	96,7,036	93,5975	3,1061	100,3343
2Q	96,8544	89,3235	7,5309	243,2658
3Q	96,5915	87,0264	9,5651	308,9752
4Q	97,0808	84,8497	12,2311	395,0933

Jak je patrné z naměřených hodnot, také celkový korozní úbytek je vysoce ovlivněn chloridy. U uhlíkové oceli můžeme pozorovat téměř lineární závislost mezi korozním úbytkem a množstvím chloridů v odvlhčovacích roztocích. U oceli se zvýšenou odolností vůči korozi lze rovněž tvrdit, že se zvýšeným obsahem chloridů, narůstá také hodnota korozního úbytku (Obrázek 32).



Obrázek 32: Závislost korozního úbytku na množství chloridů.

U vzorků s upravenými cykly lze pozorovat, stejně jako při stanovení tloušťky oxidické vrstvy, že vzorky ovlhčované čistou vodou mají nižší korozní úbytek při cyklu s kratším ponorem, zatímco vzorky vystavované chloridům mají nižší korozní úbytek při cyklu s kratším osušováním.

Nejvyšší korozní úbytky byly stanoveny na vzorcích vystavovaných v roztoku o koncentraci NaCl 5,0 g·l⁻¹, kdy korozní úbytek uhlíkové oceli činí **395 g·m⁻²**. Tato hodnota odpovídá horní hranici ročního korozního úbytku stejného typu oceli v prostředí hodnoceném stupněm korozní agresivity C3. U oceli typu Corten A byl stanoven dokonce ještě vyšší korozní úbytek, a to **432 g·m⁻²**. Pokud tuto hodnotu porovnáme s ročními úbytky naměřených u uhlíkové oceli, dostáváme se na hodnocení stupněm korozní agresivity C4.

Nejnižší korozní úbytky byly stanoveny na vzorcích exponovaných v čisté vodě, bez zastoupení chloridů. Tyto úbytky se pohybují lehce nad hranicí **100 g·m⁻²** a odpovídají tak ročnímu koroznímu úbytku uhlíkových oceli v prostředí hodnoceném stupněm korozní agresivity C2.

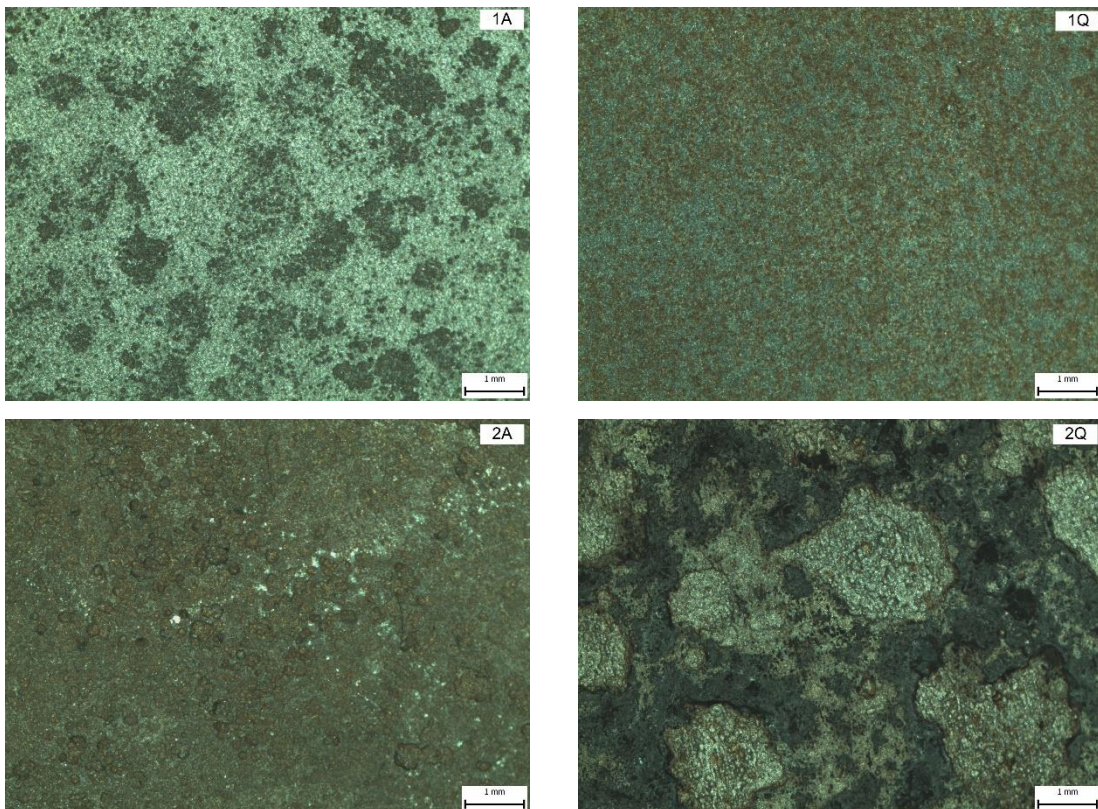
7.2 Diskuse výsledku experimentu

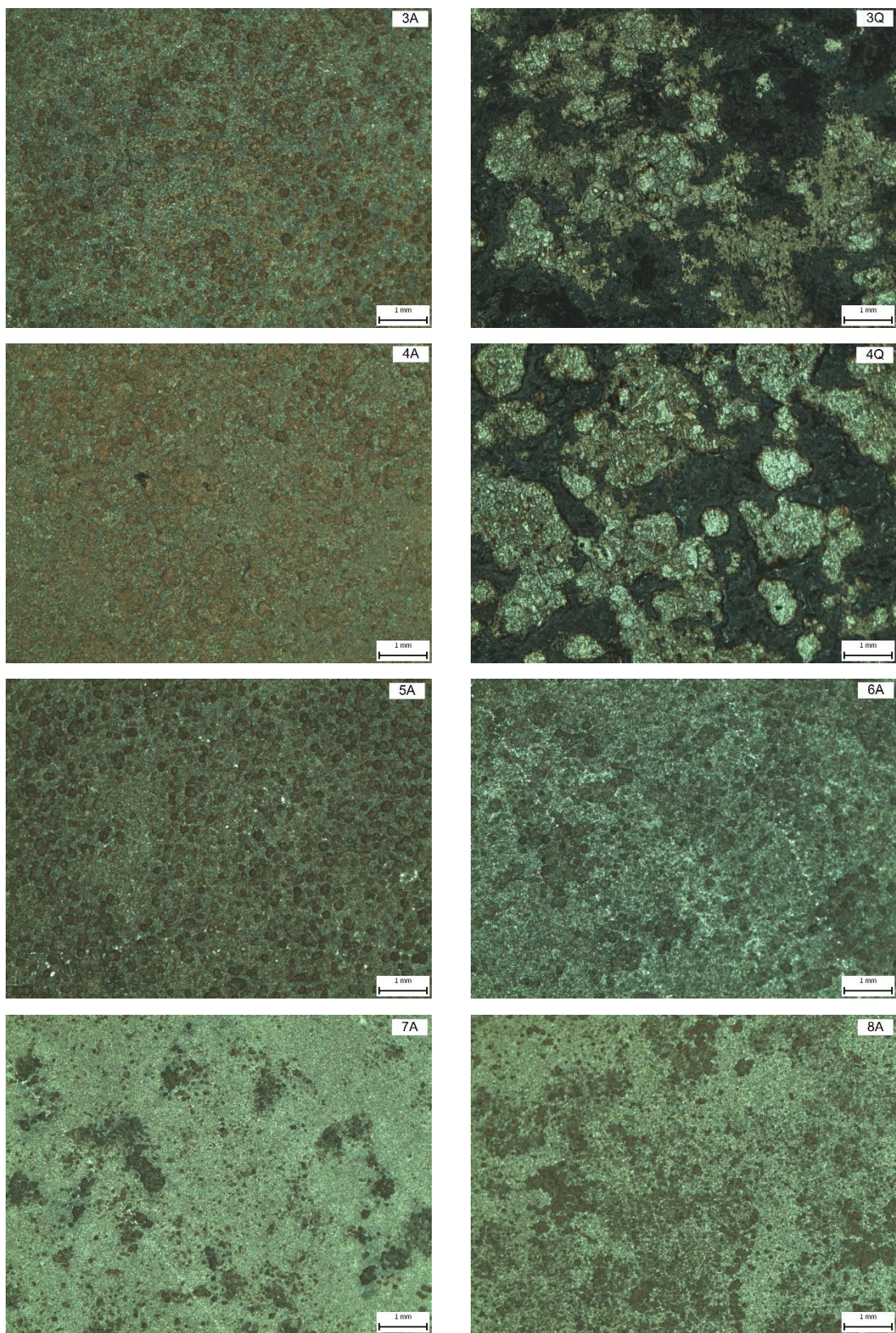
Praktický experiment dokazuje, že chloridy mají zásadní vliv na vývoj koroze a celkové korozní napadení materiálu. Na všech vzorcích exponovaných v prostředí s chloridy byly naměřeny vyšší hodnoty korozní vrstvy i korozního úbytku než na vzorcích vystavených

čisté vodě. Ze snímků po odstranění koroze (Obrázek 33) je patrné, že chloridy způsobují bodovou korozi neboli pitting, kdy koroze proniká do větší hloubky materiálu, kde tvoří korozní hnízda.

Při porovnání materiálů exponovaných ve stejném prostředí, můžeme pozorovat vyšší hodnoty tloušťky oxidické vrstvy u vzorků uhlíkové oceli. Ocel typu Corten A zase vykazuje vyšší korozní úbytky. Ve výsledku se hodnoty tloušťky oxidické vrstvy i korozního úbytku velmi podobají, což je pravděpodobně způsobeno nedostatkem času pro vytvoření vrstvy s ochrannými vlastnostmi v případě patinující oceli.

V případě pozměněných cyklů ovlhčování a osušování u oceli se zvýšenou odolností vůči korozi všechny námi provedené zkoušky ukazují, že při expozici vzorků v chloridech svědčí korozi spíše cyklus s prodlouženou dobou osušování. Zatímco v případě expozice v čisté vodě zaznamenáváme vyšší korozní napadení při cyklech s prodlouženou dobou ovlhčování.





Obrázek 33: vzorky po odstranění korozní vrstvy nasnímané pod mikroskopem Olympus SZ61

7.3 Zpracování dat naměřených na mostním objektu SO 216

7.3.1 Představení dálničního mostu a vzniklé situace

V roce 2005 byl v městské části Ostrava – Svinov vybudován ocelový most, který je součástí dálnice D1. Konstrukce mostu je zhotovena z oceli se zvýšenou odolností vůči atmosférické korozi, bez využití ochranného povlaku. Konkrétně se jedná o materiál Atmofix B. Tato ocel je specifická tím, že při vhodných podmínkách expozice vytvoří na svém povrchu ochrannou vrstvu, která zabraňuje degradaci materiálu. Pro vývoj tohoto typu oceli je zásadní prostředí, ve kterém je exponována. Za účelem určení charakteru a korozní agresivity prostředí, byla na mostní konstrukci umístěna monitorovací stanice, která snímá nejen klimatické podmínky v okolí objektu.



Obrázek 34: Dálniční most (SO 216) Ostrava-Svinov [55]

7.3.2 Monitorování

Dne 5. listopadu 2020 byl na ocelovou mostní konstrukci instalován a spuštěn zkušební systém určený k monitorování klimatických podmínek a kvality ovzduší v nejbližším okolí dálničního objektu. Na základě těchto dat lze určit agresivitu okolního prostředí a lépe porozumět vývoji patiny na ocelové konstrukci.

Zařízení

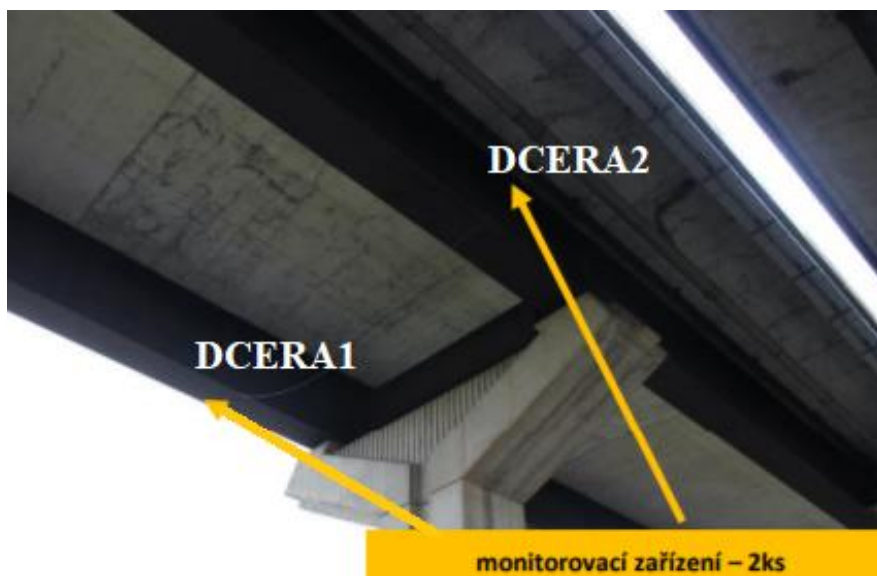
Monitorovací systém se celkově skládá ze tří monitorovacích zařízení, která nesou pracovní názvy: MATKA, DCERA1, DCERA2. Tyto zařízení se liší především jejich umístěním na mostní konstrukci. MATKA, umístěná na sloupu veřejného osvětlení se od obou DCER, umístěných na nosnících ze spodu konstrukce, liší také některými monitorovanými hodnotami. Právě díky umístění každého zařízení na různé části konstrukce, můžeme porovnávat jednotlivé snímané veličiny a sledovat jejich odchylky. Systém se dále skládá z napájecích, ovládacích a komunikačních zařízení.



Obrázek 35: Monitorovací zařízení MATKA



Obrázek 36: Monitorovací zařízení DCERA1



Obrázek 37: Umístění monitorovacích zařízení DCERA1 a DCERA2

Monitorovací stanice běží ve zkušebním režimu a občas dochází k jejím výpadkům nebo zaseknutí. To se projeví úplným zastavením snímání, snímáním zcela totožných, či nesmyslných hodnot. Tyto výpadky jsou z drtivé většiny způsobeny technickými problémy na stanici. Například v únoru došlo k velkému výpadku způsobeného nedostatečným napájením ze solárního panelu. Z tohoto důvodu jsou nasnímaná data z určitých období omezena a mohou být částečně zkreslena.

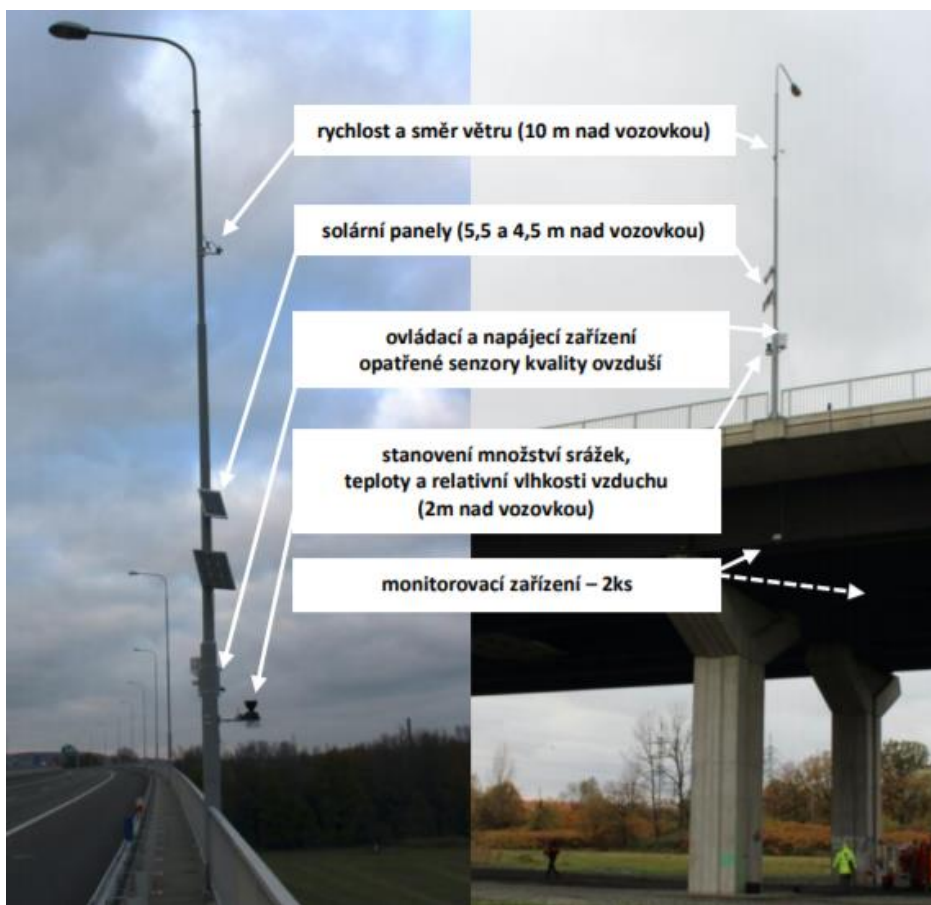
Monitorované veličiny

Kromě hodnot týkajících se přímo klimatických podmínek, monitorovací zařízení snímají také teplotu konstrukce mostu. Tato data nám pomáhají při výpočtu hodnot jako je rosný bod a celková doba ovlhčení konstrukce. Ze snímaných hodnot je také možné přesně určit korozní prostředí, ve kterém se dálniční most nachází.

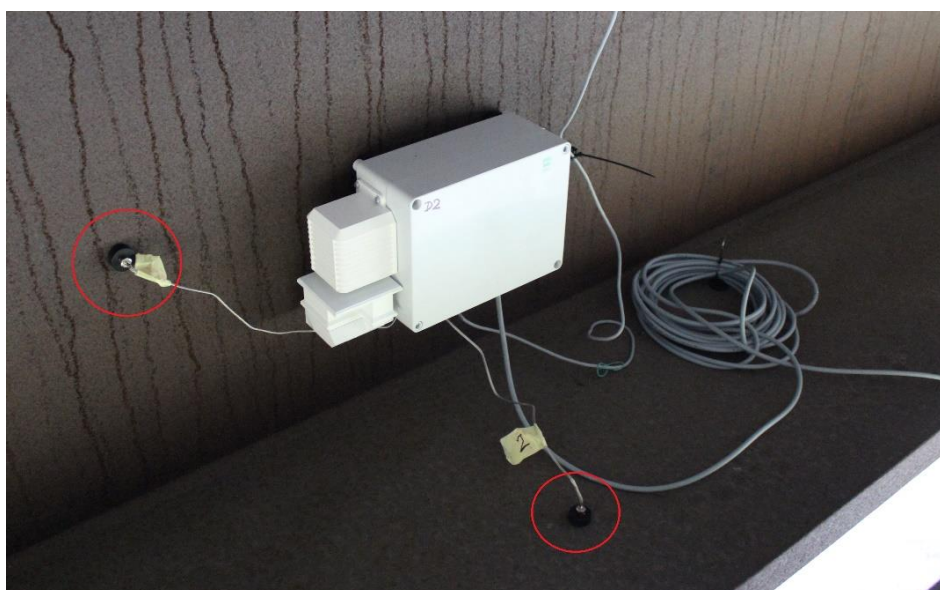
Snímané veličiny:

- teplota vzduchu,
- rychlost větru,
- směr větru,
- množství dešťových srážek,
- relativní vlhkost vzduchu,
- atmosférický tlak,

- koncentraci SO₂ a NO₂,
- množství poletavých částic (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁),
- teplota konstrukce (celkově měřena na 6 místech).



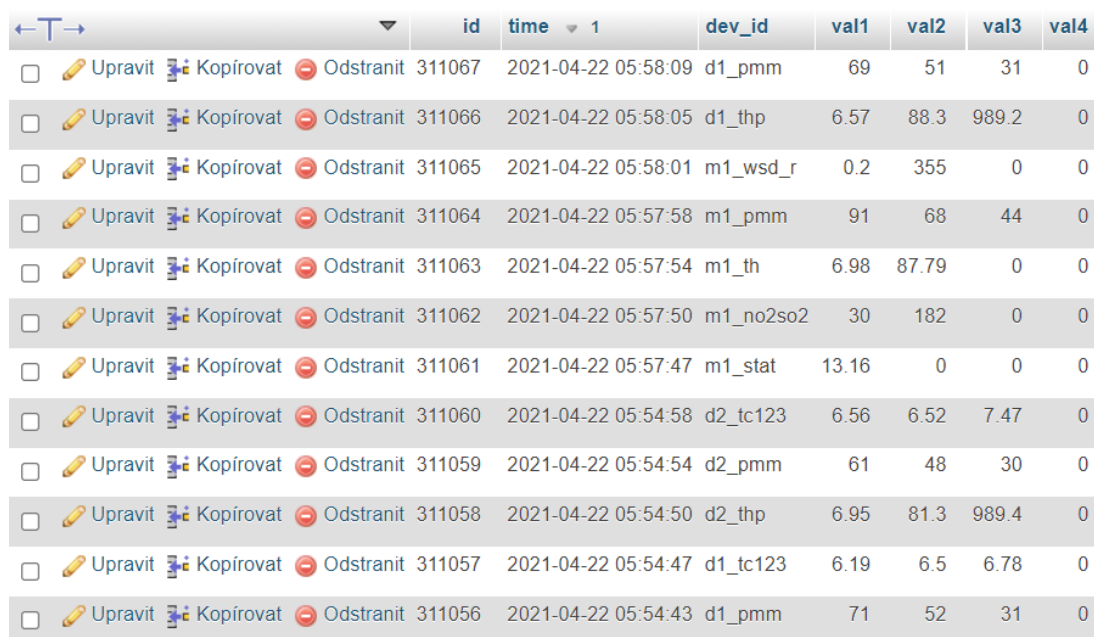
Obrázek 38: Popis monitorovací stanice



Obrázek 39: Měření teploty konstrukce (DCERA2)

7.3.3 Sběr a zpracování naměřených dat

Monitorovací systém odesílá data v intervalu 10 minut. Data jsou pod specifickým označením zaznamenávána do SQL (Structured Query Language) databáze, kde dochází k jejich uspořádání uložení. Ke dni 22.7.2021 čítá databáze kolem 618 tisíc zázpisů s tím, že každý zázpis obsahuje 2–4 naměřené hodnoty.



		id	time	dev_id	val1	val2	val3	val4		
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311067	2021-04-22 05:58:09	d1_pmm	69	51	31	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311066	2021-04-22 05:58:05	d1_thp	6.57	88.3	989.2	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311065	2021-04-22 05:58:01	m1_wsd_r	0.2	355	0	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311064	2021-04-22 05:57:58	m1_pmm	91	68	44	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311063	2021-04-22 05:57:54	m1_th	6.98	87.79	0	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311062	2021-04-22 05:57:50	m1_no2so2	30	182	0	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311061	2021-04-22 05:57:47	m1_stat	13.16	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311060	2021-04-22 05:54:58	d2_tc123	6.56	6.52	7.47	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311059	2021-04-22 05:54:54	d2_pmm	61	48	30	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311058	2021-04-22 05:54:50	d2_thp	6.95	81.3	989.4	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311057	2021-04-22 05:54:47	d1_tc123	6.19	6.5	6.78	0
<input type="checkbox"/>	Upravit	Kopírovat	Odstranit	311056	2021-04-22 05:54:43	d1_pmm	71	52	31	0

Obrázek 40: Zaznamenané hodnoty v SQL databázi

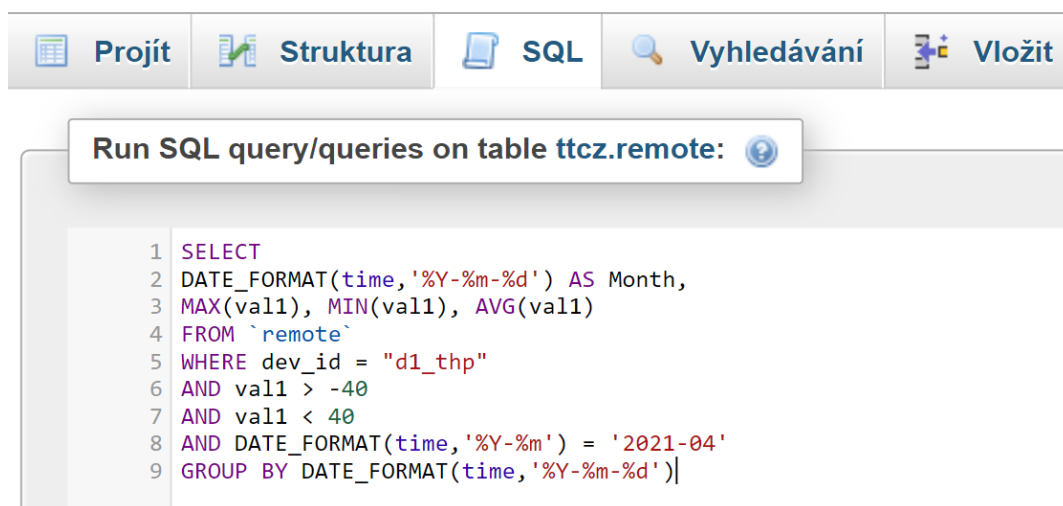
Data je možné zpracovávat v prostředí SQL databáze pomocí jednoduchých příkazů a jejich kombinací. Těmito příkazy lze jednotlivé záznamy porovnat, seřadit, vyloučit či zpracovat do složitějších vzorců. Ve většině případů uplatňujeme v databázi určení minima, maxima či průměru z hodnot nasnímaných za určité období, ovšem některé veličiny by po podobném vyhodnocení neměly žádnou vypovídající hodnotu. Proto musíme na každou snímanou veličinu nahlížet samostatně a podle reálné situace k ní vytvořit zcela specifickou syntaxi.

Nejčastěji využívané příkazy v databázi:

- **SELECT** – výběr dat z databáze, umožňuje řazení dat
- **FROM** – výběr složky v databázi
- **WHERE** – výběr jednotlivých záznamů v databázi (v našem případě se jedná o název monitorovacího zařízení a hodnot, které měří, nebo stanovení intervalu)

- **HAVING** – omezení řádků, které budou zahrnuty
- **GROUP BY** – řazení jednotlivých záznamů
- **JOIN** – připojení dat z jiné tabulky
- **COUNT** – počet jednotlivých záznamů
- **MAX** – maximální hodnota
- **MIN** – minimální hodnota
- **AVG** – průměrná hodnota
- **SUM** – součet hodnot

Při vyhodnocování dat je třeba brát zřetel na zcela extrémní či nesmyslná data. Ke snímání takových hodnot dochází při výpadku monitorovací stanice, nebo při různých nevšedních událostech. Tato data mohou zkreslit výstupy z celého měření, proto je potřeba jejich identifikace a odstranění.



Obrázek 41: Příklad zadání jednoduché syntaxe příkazů v prostředí SQL databáze

Před zpracováním meteorologických dat je nezbytné ověřování jejich validity. To probíhá metodou porovnání nasnímaných hodnot s hodnotami nasnímanými v nedaleké stanici Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Za tímto účelem byl využit měsíční zpravodaj ČHMÚ z pobočky Ostrava – Poruba [56]. Tento zpravodaj jak číselně, tak graficky, zprostředkovává měsíční a denní hodnoty teplot, srážek i koncentrací prvků znečišťujících atmosféru.

7.3.4 Vyhodnocení jednotlivých veličin (měsíční přehled)

Měsíční tabulkové přehledy byly zpracovány v druhé polovině července roku 2021, proto například červencové údaje nejsou zcela kompletní. Hlavním účelem je však přiblížit čtenáři práci s daty a hodnoty, které se snažíme z těchto dat těžit.

Teplota vzduchu [°C]

Teplota vzduch je zaznamenávána na každém ze tří monitorovacích zařízení. Na hodnotu těchto záznamu může mít vliv nejen kvalita čidla, ale hlavně jeho umístění na konstrukci. Právě na měsíčních průměrech teplot vzduchu proto můžeme pozorovat malé odchylky mezi jednotlivými monitorovacími zařízeními. Například hodnoty naměřené zařízením DCERA2 jsou zpravidla nižší, z důvodu lokace zařízení mezi mostovkami, tedy v místě, kam dopadá minimum slunečního svitu. Pro přehlednost jsou uváděny i hodnoty naměřené na stanici ČHMÚ Ostrava – Poruba.

Tabulka 10: Průměrná měsíční teplota

Období	Matka AVG/MAX [°C]	Dcera1 AVG/MAX [°C]	Dcera2 AVG/MAX [°C]	Ostrava-Poruba AVG/MAX [°C]
Listopad 2020	4,7 / 14,8	4,5 / 17,1	4,0 / 11,8	5,1 / 15,1
Prosinec 2020	3,8 / 15,3	4,1 / 16,8	3,4 / 13,4	2,9 / 15,2
Leden 2021	-0,0 / 3,6	0,2 / 9,8	-0,3 / 1,8	-0,4 / 11,4
Únor 2021	— — —	— — —	— — —	-0,5 / 17,7
Březen 2021	5,8 / 23,9	6,4 / 22,7	5,4 / 21,6	3,5 / 24,3
Duben 2021	7,3 / 24,5	7,8 / 24,1	6,9 / 22,5	6,7 / 25,3
Květen 2021	13,2 / 30,0	14,0 / 30,6	13,1 / 29,3	12,3 / 29,7
Červen 2021	— — —	21,6 / 31,4	20,4 / 29,9	— — —
Červenec 2021	— — —	23,0 / 33,2	22,2 / 31,6	— — —

Při porovnání měsíčních teplotních maxim stanovených monitorovacími stanicemi s maximy naměřených ČHMÚ na stanici Ostrava – Poruba, pozorujeme v některých případech relativně velké odchylky. To je z velké pravděpodobnosti způsobeno výpadkem stanice v den, kdy došlo reálnému teplotnímu maximu.

Rychlost větru [$m \cdot s^{-1}$]

Ze snímaných hodnot rychlosti větru stanovujeme maximální hodnoty a průměrné hodnoty naměřené v jednotlivých měsících.

Tabulka 11: Měsíční průměr a maximum rychlosti větru

Období	AVG [$m \cdot s^{-1}$]	MAX [$m \cdot s^{-1}$]
Listopad 2020	2,59	13,67
Prosinec 2020	2,16	10,25
Leden 2021	1,61	11,66
Únor 2021	— — —	— — —
Březen 2021	2,19	12,87
Duben 2021	2,42	32,99
Květen 2021	2,67	16,29
Červen 2021	1,69	53,71
Červenec 2021	2,14	13,67

Směr větru [$^{\circ}$]

Monitorovací stanice snímá horizontální složku směru větru v úhlových stupních, přičemž:

- $0^{\circ}/360^{\circ}$ – čistý severní vítr,
- 90° – čistý východní vítr,
- 180° – čistý jižní vítr,
- 270° – čistý západní vítr.

Pro měsíční přehled určujeme dominantní směr, ve kterém vítr ofukuje konstrukci mostu. Za tímto účelem je úhlové spektrum rozděleno do čtyř intervalů, představujících jednotlivé směry větru. Součet záznamů v jednotlivých intervalech určí dominantní světovou stranu, ze které vítr působí. Z výsledků je patrné, že na dálniční most nejvíce působí severní vítr, zatímco východní vítr na konstrukci působí minimálně.

Tabulka 12: Jednotlivé sumy záznamů při měření směru větru

Období	Východní vítr [1]	Jižní vítr [1]	Západní vítr [1]	Severní vítr [1]
Listopad 2020	346	2 100	2 532	545
Prosinec 2020	668	1 295	777	686
Leden 2021	87	1 386	1 469	1 360
Únor 2021	— — —	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	87	2 049	1 569	2 266
Duben 2021	577	3 136	2 753	5 729
Květen 2021	240	2 419	2 411	2 217
Červen 2021	1 324	1 740	1 814	5 935
Červenec 2021	604	1 684	1 516	2 121

Množství dešťových srážek [mm]

Množství dešťových srážek je měřeno monitorovacím zařízením MATKA a funguje na principu kumulace deště v překlopné nádobce. V momentě, kdy je nádobka naplněna srážkami, překlopí se. Stanice snímá počet překlopení nádoby a do databáze je zaznamenáván klouzavý průměr spadlých srážek. Stanice neměří srážky v podobě sněhu, proto nejsou záznamy ze zimních měsíců zcela vypovídající, jak také ukázalo porovnání s daty zveřejněnými ČHMÚ. Z tohoto důvodu neuvádím hodnoty z těchto měsíců. Naopak průměrný úhrn srážek například z dubna 2021 se jeví jako zcela reálný.

Tabulka 13: Průměrný denní úhrn srážek v jednotlivých měsících

Období	Průměrný denní úhrn srážek [mm]
Duben 2021	2,13
Květen 2021	5,30
Červen 2021	4,51
Červenec 2021	7,04

Relativní vlhkost vzduchu [%]

Hodnoty relativní vlhkosti jsou rovněž snímány na všech monitorovacích zařízeních, proto mezi nimi můžeme rovněž pozorovat malé odchylky. Všechna naměřená data s určitou tolerancí odpovídají hodnotám naměřených na nedaleké stanici ČHMÚ Mošnov.

Tabulka 14: Průměrná měsíční relativní vlhkost vzduchu

Období	MATKA AVG [%]	DCERA1 AVG [%]	DCERA2 AVG [%]
Listopad 2020	84,6	81,6	80,5
Prosinec 2020	82,8	78,4	79,1
Leden 2021	87,9	86,5	86,3
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	71,1	65,6	65,6
Duben 2021	70,0	64,7	65,4
Květen 2021	62,7	58,6	59,0
Červen 2021	— — —	57,1	58,8
Červenec 2021	— — —	63,4	64,3

Tabulka 15: Měsíční minima a maxima relativní vlhkosti vzduchu

Období	MATKA MIN/MAX [%]	DCERA1 MIN/MAX [%]	DCERA2 MIN/MAX [%]
Listopad 2020	45,6 / 96,8	32,2 / 98,1	42,3 / 95,8
Prosinec 2020	54,5 / 96,5	37,9 / 100,0	50,1 / 97,8
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Leden 2021	68,5 / 96,6	45,0 / 98,5	67,4 / 96,5
Březen 2021	36,5 / 92,6	34,3 / 96,9	34,7 / 95,6
Duben 2021	27,4 / 94,2	26,9 / 96,9	25,6 / 96,2
Květen 2021	25,4 / 93,9	22,5 / 96,8	23,4 / 94,3
Červen 2021	— — —	24,6 / 88,8	25,8 / 90,6
Červenec 2021	— — —	32,8 / 92,3	35,1 / 91,7

Z průměrných hodnot relativní vlhkosti, naměřených v blízkosti konstrukce je patrné, že v okolí objektu panuje relativně vysoká vlhkost, a to především v zimních měsících. Pro určení vlivu vlhkosti na tvorbu koroze je ovšem zásadní její kritická hodnota 60 %, za teploty vyšší jak 0 °C. Proto nás dále zajímá celková doba, po kterou je konstrukce vystavena těmto podmínkám.

Tabulka 16: Doba nad kritickou hodnotou vlhkosti (DCERA1)

Období	Celkový počet záznamů [1]	Počet záznamů (RV > 60 %, T > 0 °C) [1]	Doba nad kritickou hodnotou [%]
Listopad 2020	5 608	4 980	88,8
Prosinec 2020	3 126	2 066	66,1
Leden 2021	3 422	2 059	60,2
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	5 675	3 086	54,4
Duben 2021	12 311	7 061	57,4
Květen 2021	7 316	3 484	47,6
Červen 2021	10 894	4 878	44,8
Červenec 2021	6 063	3 724	61,4

Tabulka 17: Doba nad kritickou hodnotou vlhkosti (DCERA2)

Období	Celkový počet záznamů [1]	Počet záznamů (RV > 60 %, T > 0 °C) [1]	Doba nad kritickou hodnotou [%]
Listopad 2020	5 610	5 051	90,0
Prosinec 2020	3 479	2 102	60,4
Leden 2021	4 360	1 510	34,6
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	6 023	3 065	50,9
Duben 2021	12 313	7 405	60,1
Květen 2021	7 355	3 655	49,7
Červen 2021	10 893	5 604	51,4
Červenec 2021	6 062	4 214	69,5

Tabulka 18: Doba nad kritickou hodnotou vlhkosti (MATKA)

Období	Celkový počet záznamů [1]	Počet záznamů (RV > 60 %, T > 0 °C) [1]	Doba nad kritickou hodnotou [%]
Listopad 2020	5 606	5 428	96,8
Prosinec 2020	3 774	2 688	71,2
Leden 2021	4 411	2 572	58,3
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	6 020	3 656	58,9
Duben 2021	12 316	8 475	68,8
Květen 2021	7 375	2 706	36,6
Červen 2021	— — —	— — —	— — —
Červenec 2021	— — —	— — —	— — —

Atmosférický tlak [hPa]

Snímání atmosférického tlaku probíhá pouze na měřicích zařízeních DCERA1 a DCERA2, umístěných ze spodu mostní konstrukce. Pro měsíční přehled je určen průměr, minimum i maximum hodnot z obou stanic. Všechny hodnoty naměřené stanicí se jeví jako reálné při porovnání s daty ČHMÚ. Uváděné hodnoty atmosférického tlaku nejsou přepočteny na hladinu moře.

Tabulka 19: Měsíční průměrné, minimální a maximální hodnoty atmosférického tlaku

Období	DCERA1 AVG / MIN / MAX [hPa]	DCERA2 AVG / MIN / MAX [hPa]
Listopad 2020	1000,8 / 989,2 / 1011,3	1001,1 / 989,5 / 1011,7
Prosinec 2020	988,5 / 975,5 / 1003,3	988,7 / 975,9 / 1003,6
Leden 2021	987,6 / 977,9 / 998,7	988,6 / 978,0 / 999,0
Únor 2021	— — —	— — —
Březen 2021	997,1 / 985,4 / 1006,2	997,3 / 985,5 / 1006,2
Duben 2021	991,4 / 972,1 / 1001,4	991,5 / 972,1 / 1001,5
Květen 2021	988,8 / 973,8 / 998,1	988,6 / 967,8 / 997,7
Červen 2021	993,0 / 981,6 / 1000,2	992,4 / 980,9 / 999,5
Červenec 2021	989,2 / 983,4 / 997,0	988,6 / 982,8 / 996,2

Koncentrace SO₂ a NO₂ [ppm]

Měření koncentrace škodlivých látek v ovzduší probíhá na stanici prostřednictvím monitorovacího zařízení MATKA. Hodnoty jsou zaznamenávány v jednotkách ppb (parts per billion), což vyjadřuje množství částic NO₂/SO₂ obsažených v jednom bilionu částic vzduchu. Pro výpočet korozní agresivity prostředí (viz rovnice 1 v kapitole 3.2 Stanovení korozní agresivity) je nutné stanovit depozici látek v ovzduší (P_d) v jednotkách mg·m⁻²·d⁻¹. Proto je nutné převést měřené hodnoty koncentrace (P_c) z ppb na μg·m⁻³, kdy pro SO₂ platí: 1ppb = 2,62 μg·m⁻³, a pro NO₂ platí: 1ppb = 1,88 μg·m⁻³. Norma ČSN EN ISO 9223 [11] následně stanovuje rovnici (5) pro přepočítání z P_c na P_d.

$$P_c = 0,8 \cdot P_d \quad (5)$$

Jak uvádí [57], hlavním zdrojem NO₂ v České republice je doprava. Jelikož se monitorovací stanice nachází v blízkosti frekventovaného dálničního tahu, zvýšené koncentrace NO₂ se jeví jako reálné. Naopak koncentrace SO₂, naměřené stanicí, jsou vysoce nadlimitní. To může být způsobeno nedodržením specifických podmínek použití

snímacího senzoru, udávaných výrobcem, po celou dobu snímání. Výrobce totiž upozorňuje na využití senzoru v prostředí s vysokou vlhkostí nebo vysokou koncentrací prachových částic.

Tabulka 20: Průměrná koncentrace NO₂, SO₂ v ovzduší

Období	NO ₂ [ppb]	SO ₂ [ppb]	NO ₂ [μg·m ⁻³]	SO ₂ [μg·m ⁻³]
Listopad 2020	35,8	527,9	67,3	1 383,1
Prosinec 2020	11,6	450,9	21,8	1 181,4
Leden 2021	20,8	389,6	39,1	1 020,8
Únor 2021	— — —	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	16,5	302,1	31,0	791,1
Duben 2021	24,5	269,8	46,1	706,9
Květen 2021	39,0	417,2	73,3	1 093,1
Červen 2021	36,0	549,6	67,7	1 440,0
Červenec 2021	56,5	614,5	106,2	1 610,0

Koncentrace pevných částic [μg·m⁻³]

Zastoupení pevných částic v ovzduší je měřeno prostřednictvím monitorovacího zařízení MATKA, DCERA1 a DCERA2 v jednotkách μg·m⁻³. Celkově jsou snímány tři koncentrace, určené velikostí pevných částic.

- PM₁₀ – 10,0 μm a menší.
- PM_{2,5} – 2,5 μm a menší.
- PM₁ – 1,0 μm a menší.

Právě při snímání pevných částic v ovzduší docházelo k občasnému zaznamenání extrémně vysokých hodnot, způsobených zejména pracemi na dálniční komunikaci. Tyto extrémní hodnoty byly rozpoznány a před vyhodnocením vyřazeny ze záznamů. Z výstupů je patrná vyšší koncentrace pevných částic v ovzduší, to je způsobeno

umístěním monitorovací stanice v blízkosti frekventované silniční i železniční trasy, ale také tepelné elektrárny.

Tabulka 21: Měsíční maxima a průměry pevných částic v ovzduší (MATKA)

Období	PM ₁₀ MAX/AVG [μg·m ⁻³]	PM _{2,5} MAX/AVG [μg·m ⁻³]	PM ₁ MAX/AVG [μg·m ⁻³]
Listopad 2020	271,0 / 77,3	255,0 / 64,3	176,0 / 42,3
Prosinec 2020	466,0 / 72,6	427,0 / 58,1	256,0 / 36,8
Leden 2021	255,0 / 63,4	220,0 / 51,2	135,0 / 33,2
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	288,0 / 49,1	207,0 / 40,2	148,0 / 26,9
Duben 2021	155,0 / 37,0	127,0 / 30,5	97,0 / 20,9
Květen 2021	173,0 / 22,0	162,0 / 18,6	102,0 / 13,5
Červen 2021	191,0 / 27,6	163,0 / 23,8	96,0 / 17,3
Červenec 2021	91,0 / 24,4	90,0 / 21,0	75,0 / 15,7

Tabulka 22: Měsíční maxima a průměry pevných částic v ovzduší (DCERA1)

Období	PM ₁₀ MAX/AVG [μg·m ⁻³]	PM _{2,5} MAX/AVG [μg·m ⁻³]	PM ₁ MAX/AVG [μg·m ⁻³]
Listopad 2020	282,0 / 62,9	224,0 / 48,3	128,0 / 28,2
Prosinec 2020	336,0 / 73,4	253,0 / 56,8	128,0 / 32,2
Leden 2021	199,0 / 53,7	156,0 / 41,8	88,0 / 25,0
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	165,0 / 48,3	128,0 / 37,8	69,0 / 23,1
Duben 2021	154,0 / 35,1	115,0 / 28,1	59,0 / 17,8
Květen 2021	113,0 / 19,7	93,0 / 16,6	52,0 / 11,2
Červen 2021	443,0 / 26,0	431,0 / 22,4	324,0 / 15,5
Červenec 2021	76,0 / 21,1	64,0 / 18,1	39,0 / 12,5

Tabulka 23: Měsíční maxima a průměry pevných částic v ovzduší (DCERA2)

Období	PM ₁₀ MAX/AVG [μg·m ⁻³]	PM _{2,5} MAX/AVG [μg·m ⁻³]	PM ₁ MAX/AVG [μg·m ⁻³]
Listopad 2020	266,0 / 63,3	225,0 / 50,0	133,0 / 30,0
Prosinec 2020	324,0 / 77,4	268,0 / 62,7	146,0 / 35,8
Leden 2021	200,0 / 61,0	162,0 / 49,3	92,0 / 29,7
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	160,0 / 50,6	122,0 / 40,6	73,0 / 25,4
Duben 2021	149,0 / 36,9	121,0 / 30,3	64,0 / 19,4
Květen 2021	113,0 / 20,6	97,0 / 17,8	284,0 / 12,2
Červen 2021	136,0 / 27,8	121,0 / 24,1	82,0 / 16,8
Červenec 2021	77,0 / 22,3	68,0 / 19,5	45,0 / 13,5

Depozice chloridů [mg·m⁻³·měsíc⁻¹]

Z naměřených hodnot PM₁₀ jsme schopni určit depozici dalších velmi významných korozních stimulatorů, chloridů. Tento přepočít realizujeme za využití úvahy, že chloridy tvoří 7 % z celkového množství pevných částic a vzorce přepočtu koncentrace PM₁₀ na depozici PM₁₀ (Rovnice 6). Dle zdroje [58] mohou chloridy představovat až 35 % z celkového množství PM₁₀, jedná-li se o prostředí poblíž silničních komunikací. V našem přepočtu uplatňujeme obvyklou hodnotu 7 %.

$$PM_{10,dep} = \frac{72,6}{100} PM_{10} [\mu g \cdot cm^{-2} \cdot měsíc^{-1}] \quad (6)$$

Tabulka 24: Průměrné zastoupení chloridů v ovzduší

Období	MATKA [mg·m ⁻² ·měsíc ⁻¹]	DCERA1 [mg·m ⁻² ·měsíc ⁻¹]	DCERA2 [mg·m ⁻² ·měsíc ⁻¹]
Listopad 2020	39,3	32,0	32,2
Prosinec 2020	36,9	37,3	39,3
Leden 2021	32,2	27,3	31,0
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	25,0	24,5	25,7
Duben 2021	18,8	17,8	18,8
Květen 2021	11,2	10,0	10,5
Červen 2021	14,0	13,2	14,1
Červenec 2021	12,2	10,7	11,3

Teplota mostní konstrukce [°C]

Teplota konstrukce se odvíjí od atmosférické teploty a tepelné kapacity konstrukce, proto je měřena celkově na šesti různých místech mostní konstrukce, prostřednictvím dvou monitorovacích zařízení (DCERA1, DCERA2). Obě zařízení, každé umístěné na jednom ze dvou ocelových nosníků, měří teplotu:

- svislé stěny nosníku (Poloha 1),
- horní strany spodní pásnice (Poloha 2),
- horní pásnice přilehlé k betonové konstrukci mostovky (Poloha 3).

Za povšimnutí určitě stojí hodnoty naměřené na horní pásnici přilehlé k betonové konstrukci mostovky (Poloha 3). Zatímco v zimních měsících toto čidlo vykazuje nejmenší hodnoty teploty ze všech měřících čidel, v letních měsících je tomu zcela opačně. To může být způsobeno odlišnou tepelnou kapacitou materiálů, nebo slunečním zářením dopadajícím na plochu mostovky.

Tabulka 25: Měsíční průměrné, minimální a maximální teploty konstrukce na různých místech (DCERA1)

Období	Poloha 1 AVG / MIN / MAX [°C]	Poloha 2 AVG / MIN / MAX [°C]	Poloha 3 AVG / MIN / MAX [°C]
Listopad 2020	4,2 / -1,6 / 22,7	4,1 / -1,4 / 17,7	3,1 / -3,2 / 14,6
Prosinec 2020	3,7 / -2,1 / 17,7	3,6 / -2,1 / 17,4	2,3 / -3,2 / 12,2
Leden 2021	0,0 / -2,1 / 13,1	-0,1 / -2,1 / 8,8	-1,2 / -3,2 / 6,2
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	6,3 / -2,0 / 26,9	6,0 / -2,1 / 23,4	4,7 / -3,2 / 20,4
Duben 2021	7,7 / -2,0 / 29,1	7,4 / -1,7 / 25,2	6,9 / 3,1 / 22,7
Květen 2021	14,0 / 0,0 / 33,4	13,7 / 0,0 / 32,1	13,4 / 0,0 / 30,5
Červen 2021	21,7 / 7,3 / 32,4	21,3 / 7,4 / 32,7	21,8 / 8,8 / 31,82
Červenec 2021	23,0 / 16,0 / 34,3	22,7 / 16,0 / 33,5	23,3 / 17,7 / 32,6

Tabulka 26: Měsíční průměrné, minimální a maximální teploty konstrukce na různých místech (DCERA2)

Období	Poloha 1 AVG / MIN / MAX [°C]	Poloha 2 AVG / MIN / MAX [°C]	Poloha 3 AVG / MIN / MAX [°C]
Listopad 2020	3,5 / -1,4 / 11,5	3,4 / -1,3 / 11,1	3,0 / -1,5 / 8,9
Prosinec 2020	3,1 / -2,0 / 13,1	3,0 / -2,2 / 12,5	2,3 / -3,2 / 10,3
Leden 2021	-0,4 / -2,0 / 1,5	-0,5 / -2,2 / 1,3	-1,0 / -3,2 / 0,4
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	5,2 / -2,0 / 21,2	5,0 / -2,1 / 20,5	4,5 / -3,0 / 17,7
Duben 2021	6,6 / -1,4 / 22,0	6,4 / -1,46 / 21, 3	6,5 / -0,6 / 18,6
Květen 2021	12,8 / 0,0 / 29,1	12,5 / -2,2 / 28,1	12,7 / -3,2 / 26,0
Červen 2021	20,2 / 7,6 / 29,7	19,7 / 7,7 / 29,0	20,7 / 10,57 / 28,0
Červenec 2021	21,9 / 16,2 / 31,6	21,3 / 16,0 / 30,6	22,5 / 17,53 / 29,8

Rosný bod [°C]

Velmi důležitou hodnotou pro odhad agresivity prostředí a korozního napadení je teplota rosného bodu. Stanice nesnímá samotnou hodnotu rosného bodu, ovšem z naměřených hodnot relativní vlhkosti a teploty atmosféry můžeme teplotu rosného bodu stanovit (viz Rovnice 4 v kapitole 3.3.2 Rosný bod). Jelikož je relativní vlhkost i teplota atmosféry měřena na všech monitorovacích zařízeních, můžeme také rosný bod stanovit hned na několika místech.

Tabulka 27: Měsíční průměr, maxima a minima rosného bodu na všech zařízeních

Období	MATKA AVG / MIN / MAX [°C]	DCERA1 AVG / MIN / MAX [°C]	DCERA2 AVG / MIN / MAX [°C]
Listopad 2020	2,2 / -5,3 / 7,8	1,4 / -6,8 / 6,6	0,8 / -7,3 / 6,1
Prosinec 2020	1,3 / -4,8 / 8,3	0,8 / -6,9 / 7,9	0,3 / -6,1 / 7,1
Leden 2021	-2,0 / -12,0 / 1,3	-2,0 / -13,1 / 0,9	-2,6 / -13,5 / 0,1
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	0,5 / -10,8 / 8,8	0,2 / -11,7 / 8,0	-0,7 / -12,5 / 7,3
Duben 2021	1,5 / -7,2 / 10,4	0,8 / -8,1 / 10,4	0,2 / -8,9 / 9,5
Květen 2021	4,9 / -2,0 / 14,1	4,6 / -2,7 / 13,6	4,1 / -3,3 / 12,9
Červen 2021	— — —	10,0 / 1,0 / 17,7	9,8 / 0,8 / 17,3
Červenec 2021	— — —	12,7 / 6,5 / 18,1	12,5 / 6,6 / 17,8

Pravděpodobnost kondenzace – ΔT [°C]

Dalším důležitým údajem je pravděpodobnost kondenzace. Tuto hodnotu dostáváme po odečtení teploty rosného bodu od teploty konstrukce. Pokud se hodnota ΔT pohybuje pod hranicí 3 °C, znamená to vysokou pravděpodobnost kondenzace vzdušné vlhkosti na konstrukci. Jelikož je teplota konstrukce měřena pouze zařízeními DCERA1 a DCERA2, pro výpočet ΔT využijeme rosný bod, získaný z atmosférických teplot a relativních vlhkostí, naměřenými na stejných zařízeních.

V následujících měsíčních přehledech je zobrazen procentuální čas, kdy je ΔT menší jak $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nejspíše v důsledku nevhodně zapsané syntaxe příkazů v SQL databázi se některá data jeví jako zcela nereálná. Daleko větší vypovídající hodnotu mají přehledy z měsíce dubna, zobrazené v grafech (Obrázek 58–60).

Tabulka 28: ΔT na různých místech konstrukce (DCERA1)

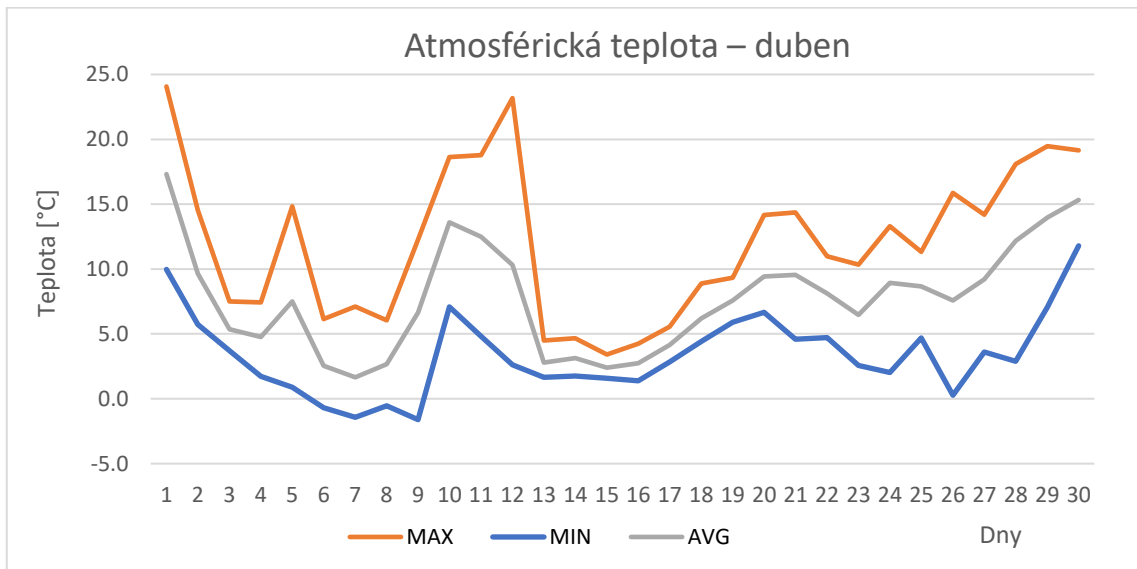
Období	Poloha 1 $\Delta T < 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ [%]	Poloha 2 $\Delta T < 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ [%]	Poloha 3 $\Delta T < 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ [%]
Listopad 2020	65,6	64,6	97,9
Prosinec 2020	66,7	65,6	99,1
Leden 2021	82,3	84,4	98,2
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	26,0	23,9	24,0
Duben 2021	5,2	2,1	— — —
Květen 2021	— — —	— — —	— — —
Červen 2021	— — —	— — —	— — —
Červenec 2021	— — —	— — —	— — —

Tabulka 29: ΔT na různých místech konstrukce (DCERA2)

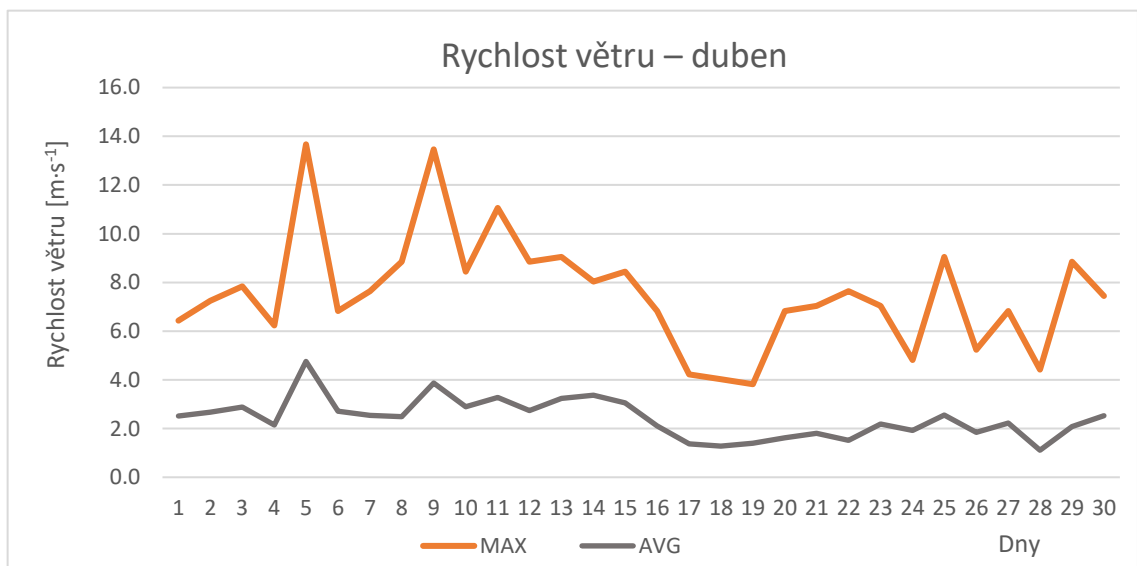
Období	Poloha 1 $\Delta T < 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ [%]	Poloha 2 $\Delta T < 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ [%]	Poloha 3 $\Delta T < 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ [%]
Listopad 2020	71,8	75,0	99,2
Prosinec 2020	66,8	72,3	98,7
Leden 2021	92,7	94,7	98,5
Únor 2021	— — —	— — —	— — —
Březen 2021	— — —	— — —	— — —
Duben 2021	— — —	— — —	— — —
Květen 2021	— — —	— — —	— — —
Červen 2021	— — —	— — —	— — —
Červenec 2021	— — —	— — —	— — —

7.3.5 Podrobné grafické zpracování (duben 2021)

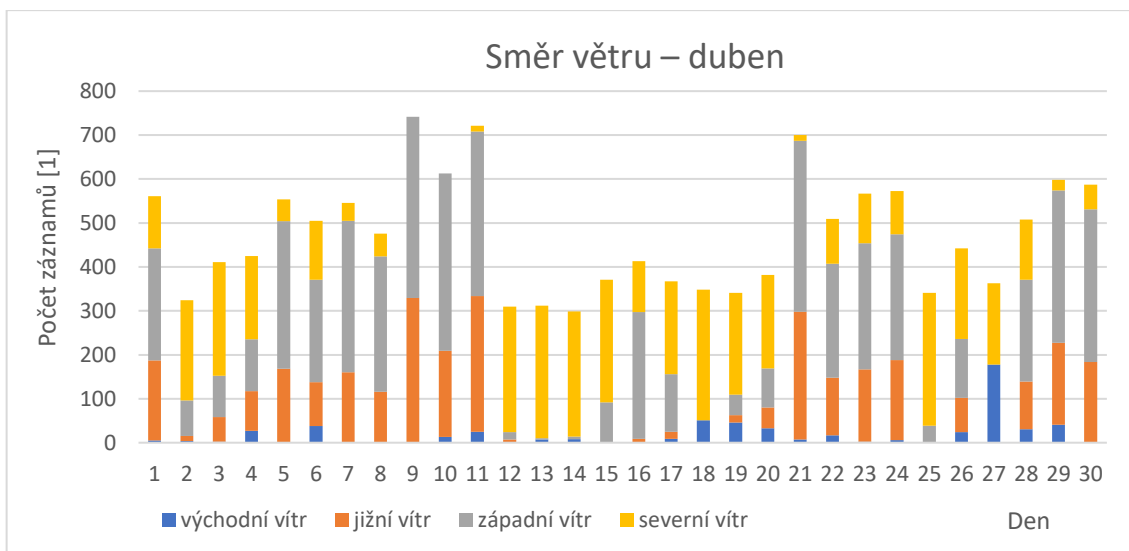
Hlavně díky velkému množství nasnímaných dat byl k podrobnějšímu grafickému zpracování hodnot zvolen měsíc duben roku 2021. V tomto měsíci fungovala stanice téměř nepřetržitě a jak je patrné i z většiny měsíčních přehledů, nasnímané hodnoty se téměř shodují s oficiálními daty ČHMÚ.



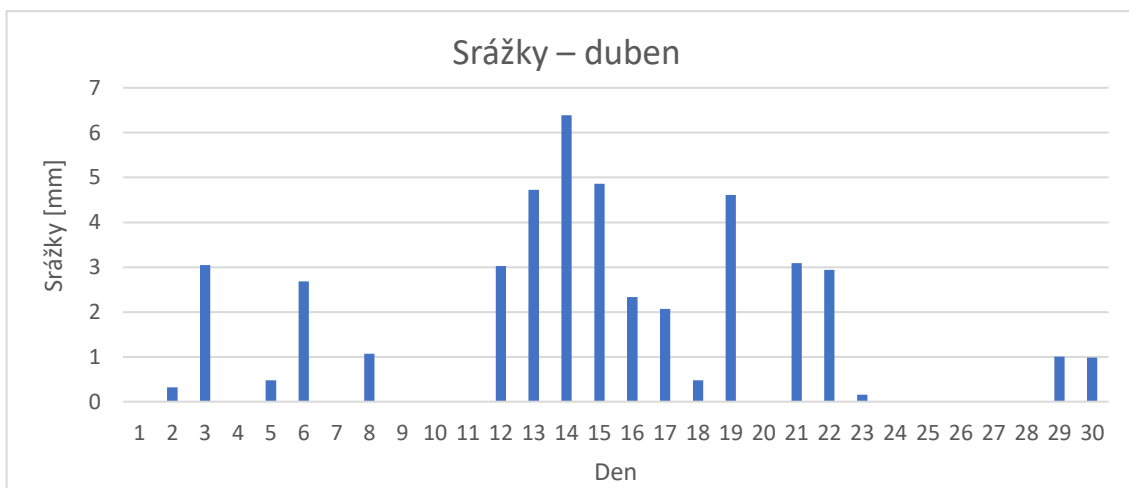
Obrázek 42: Graf – atmosférická teplota (duben 2021)



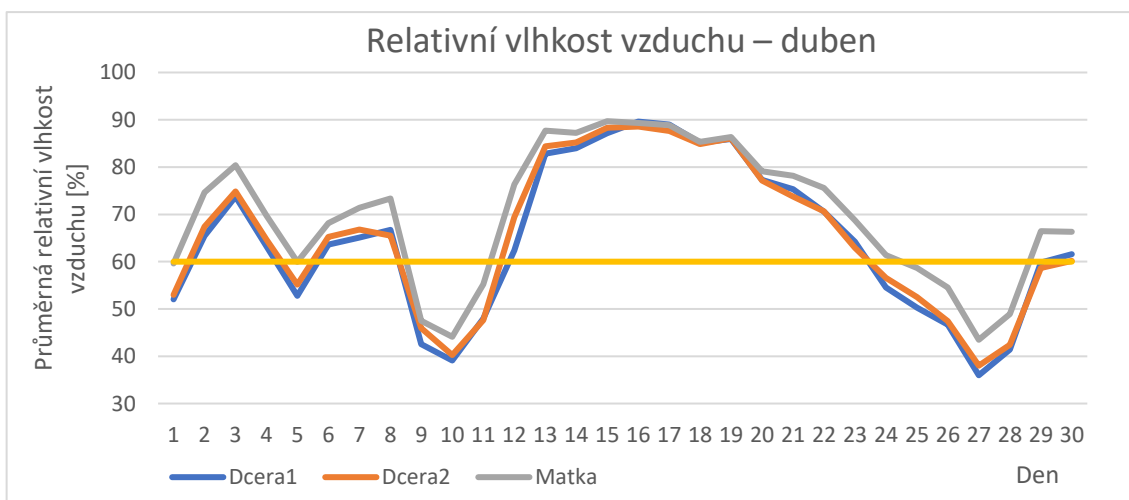
Obrázek 43: Graf – rychlost větru (duben 2021)



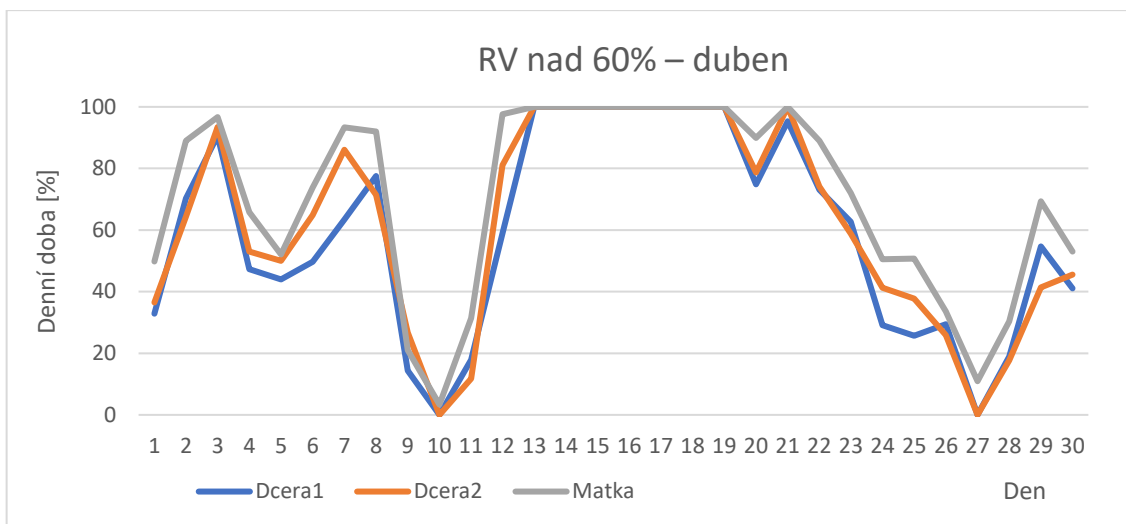
Obrázek 44: Graf – směr větru (duben 2021)



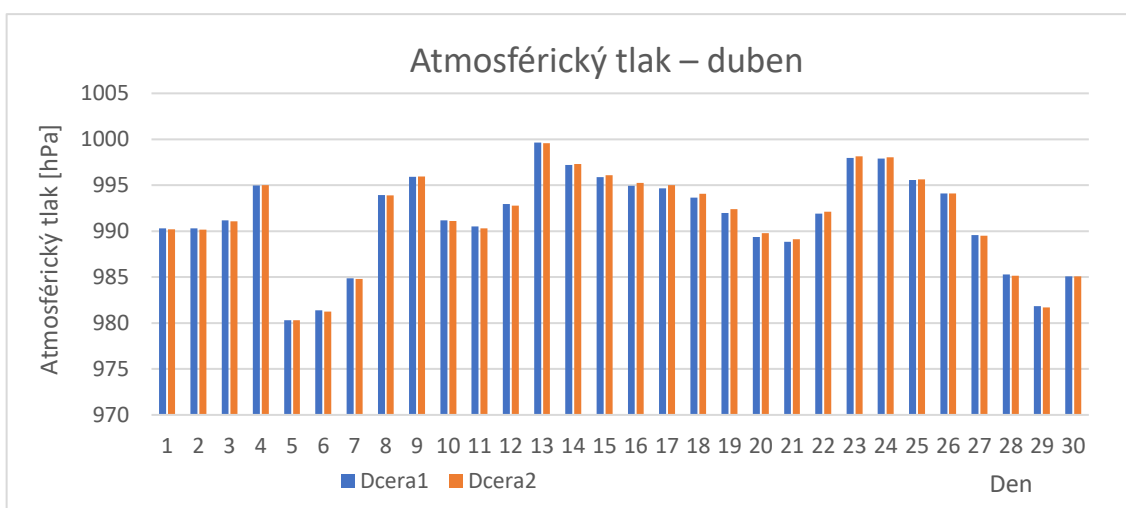
Obrázek 45: Graf – denní srážky (duben 2021)



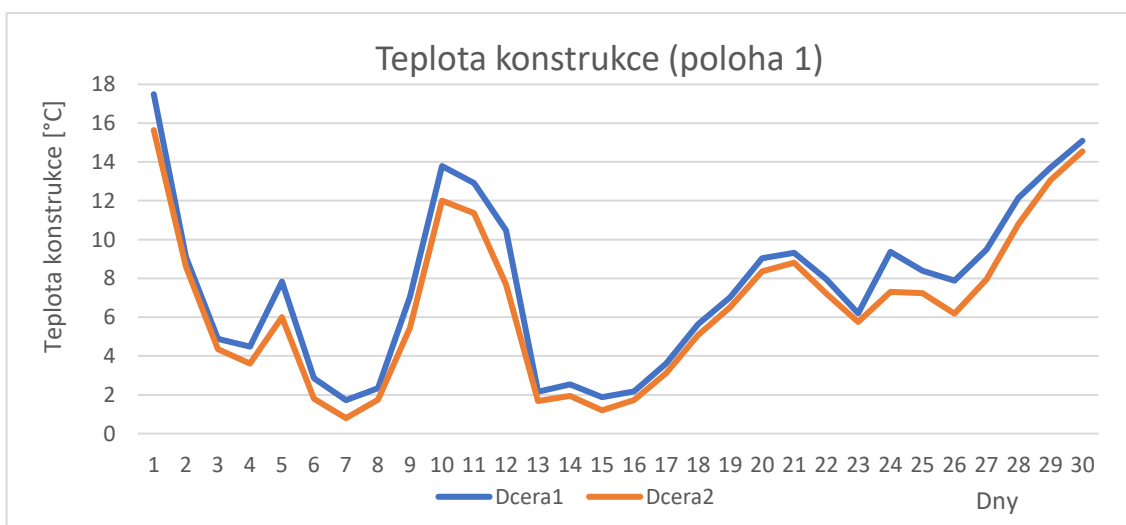
Obrázek 46: Graf – relativní vlhkosti vzduchu s vyznačenou hodnotou 60 % (duben 2021)



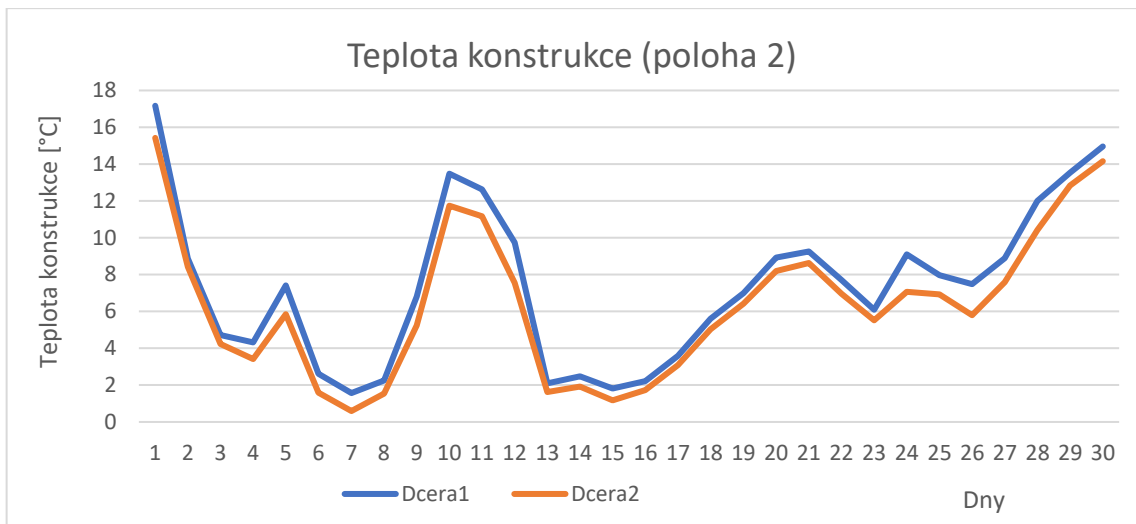
Obrázek 47: Graf – doba po kterou je RV > 60 % (duben 2021)



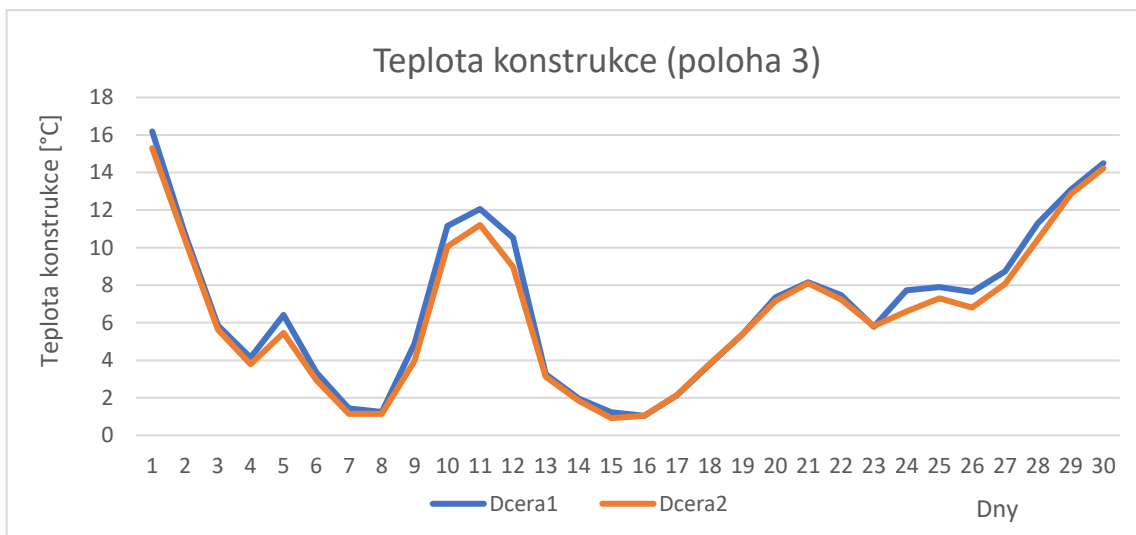
Obrázek 48: Graf – průměrné hodnoty atmosférického tlaku (duben 2021)



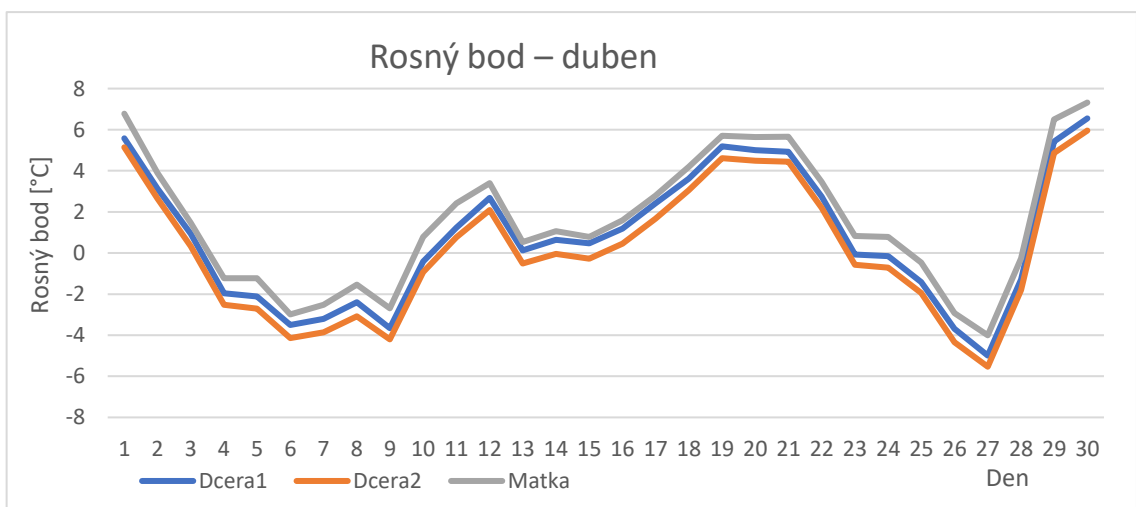
Obrázek 49: Graf – teploty konstrukce polohy 1 (duben 2021)



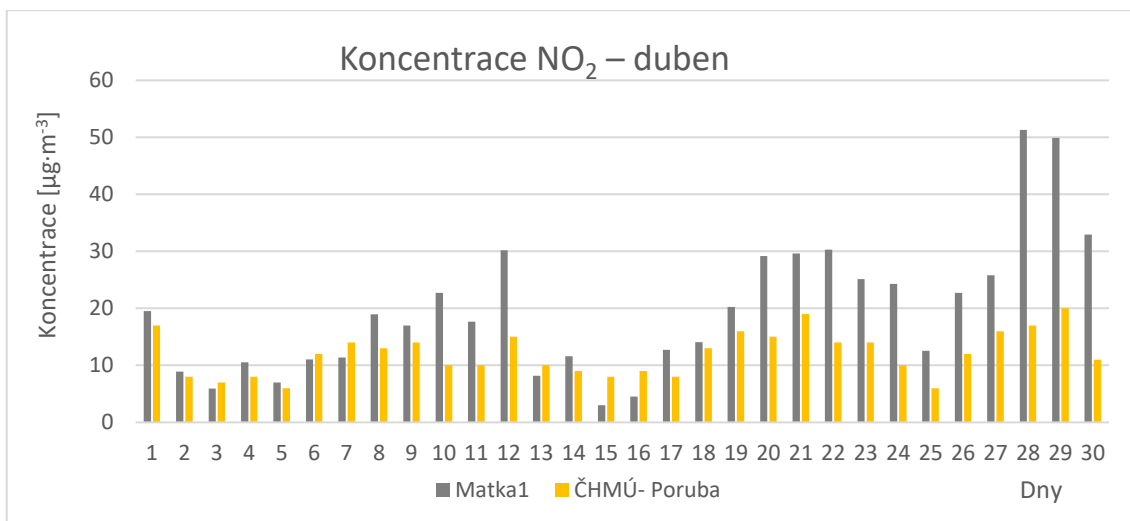
Obrázek 50: Graf – teploty konstrukce polohy 2 (duben 2021)



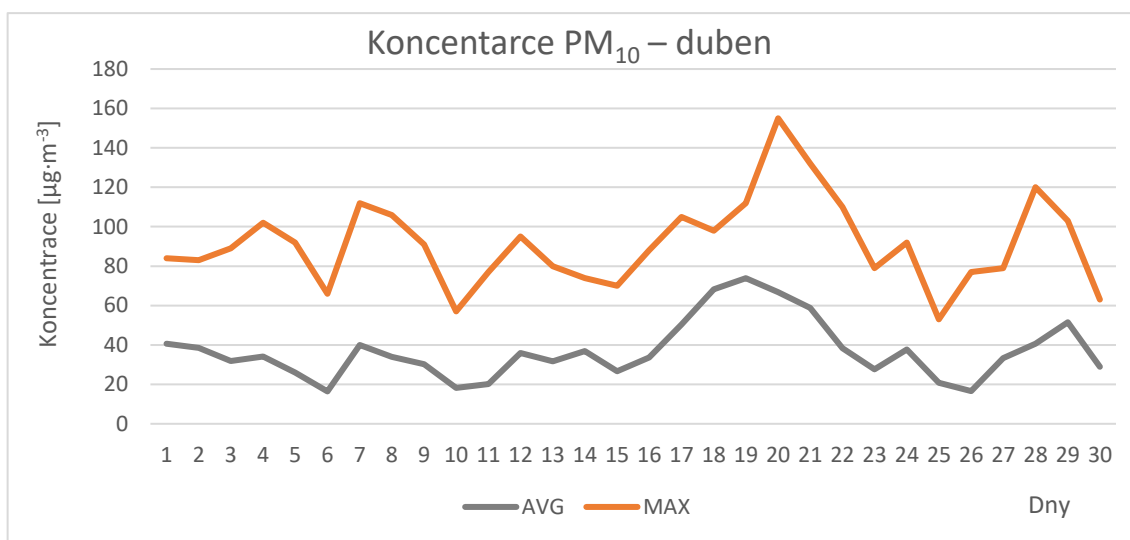
Obrázek 51: Graf – teploty konstrukce polohy 3 (duben 2021)



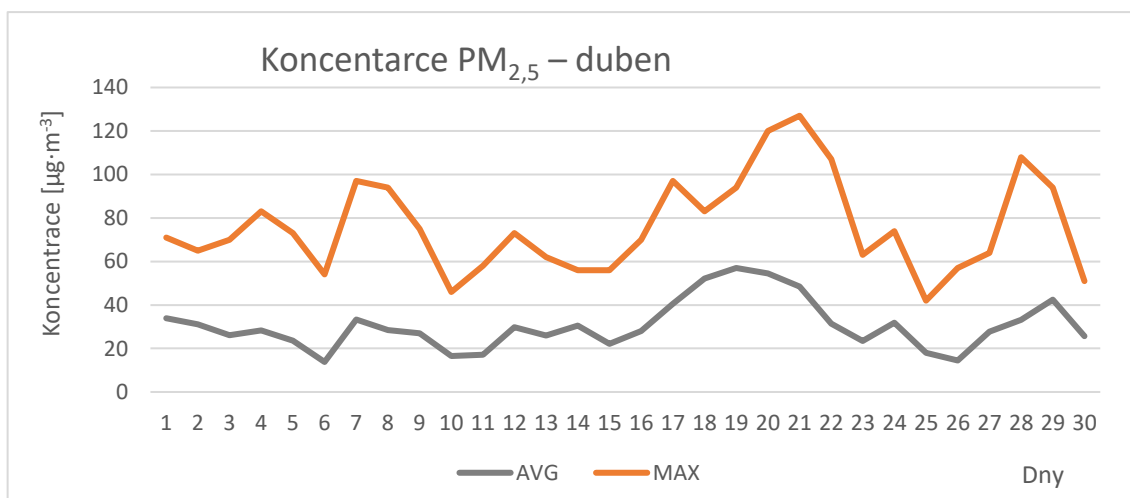
Obrázek 52: Graf – průměrné teploty rosného bodu (duben 2021)



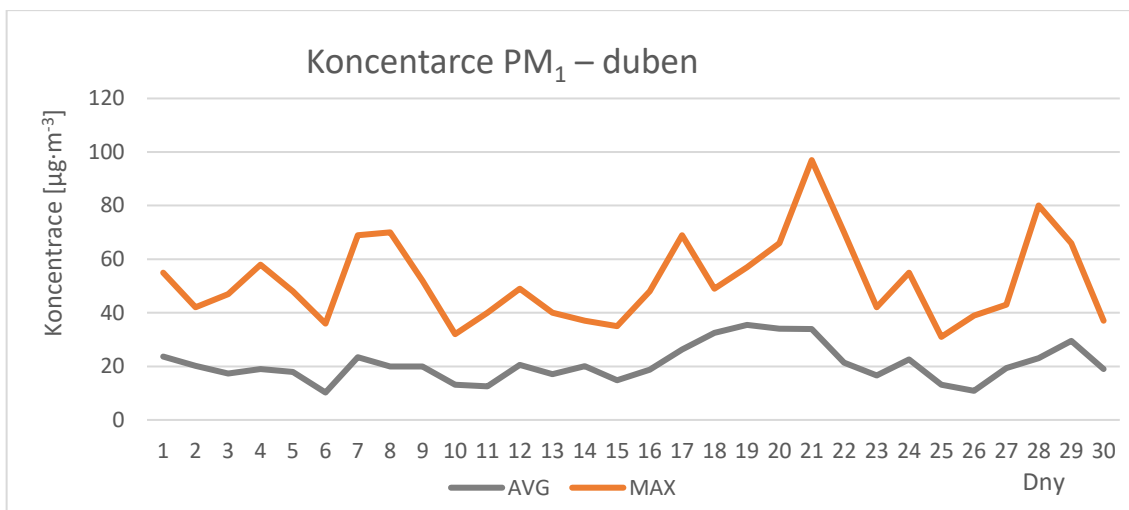
Obrázek 53: Graf – průměrná koncentrace NO₂ (duben 2021)



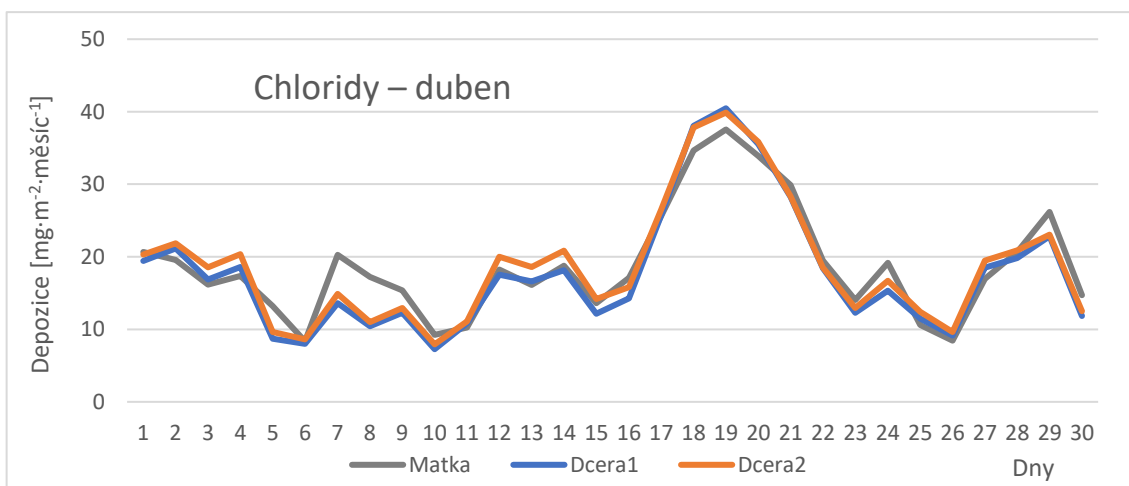
Obrázek 54: Graf – koncentrace pevných částic PM₁₀ (duben 2021)



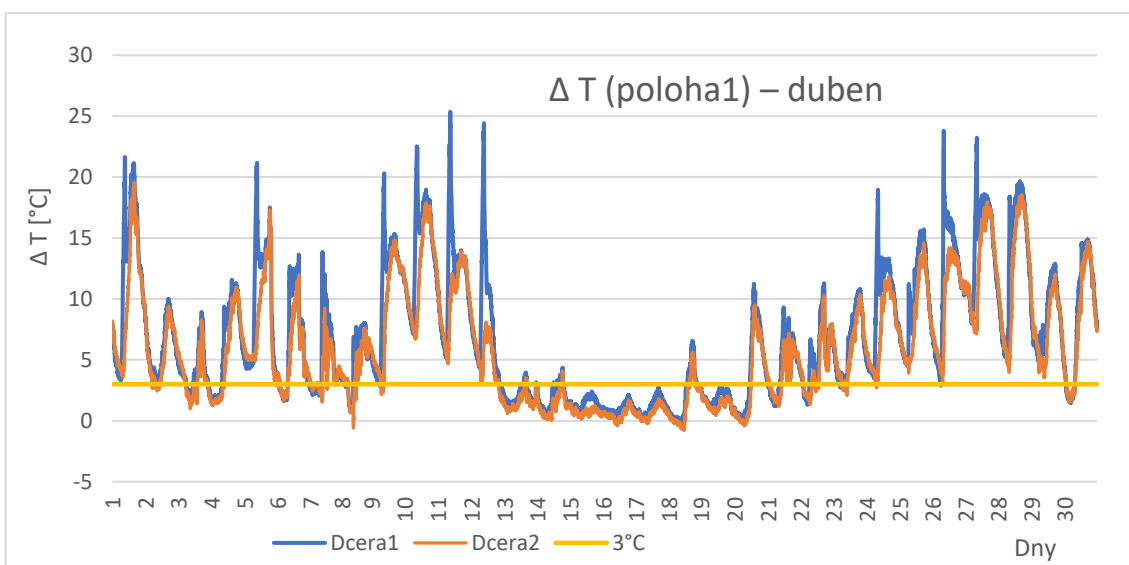
Obrázek 55: Graf – koncentrace pevných částic PM_{2,5} (duben 2021)



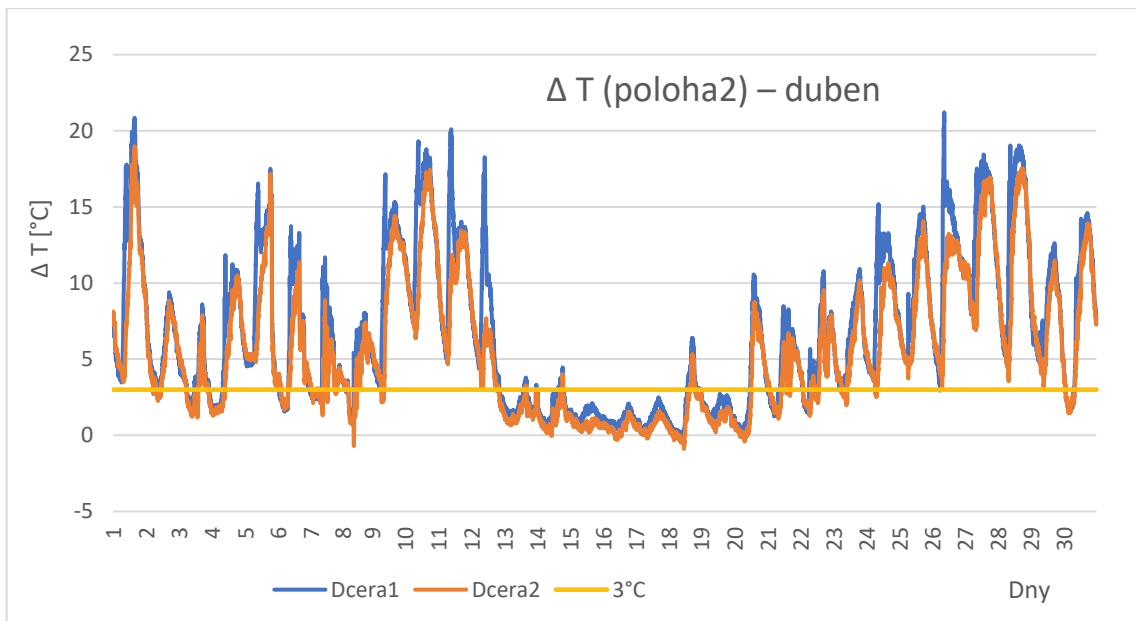
Obrázek 56: Graf – koncentrace pevných částic PM_1 (duben 2021)



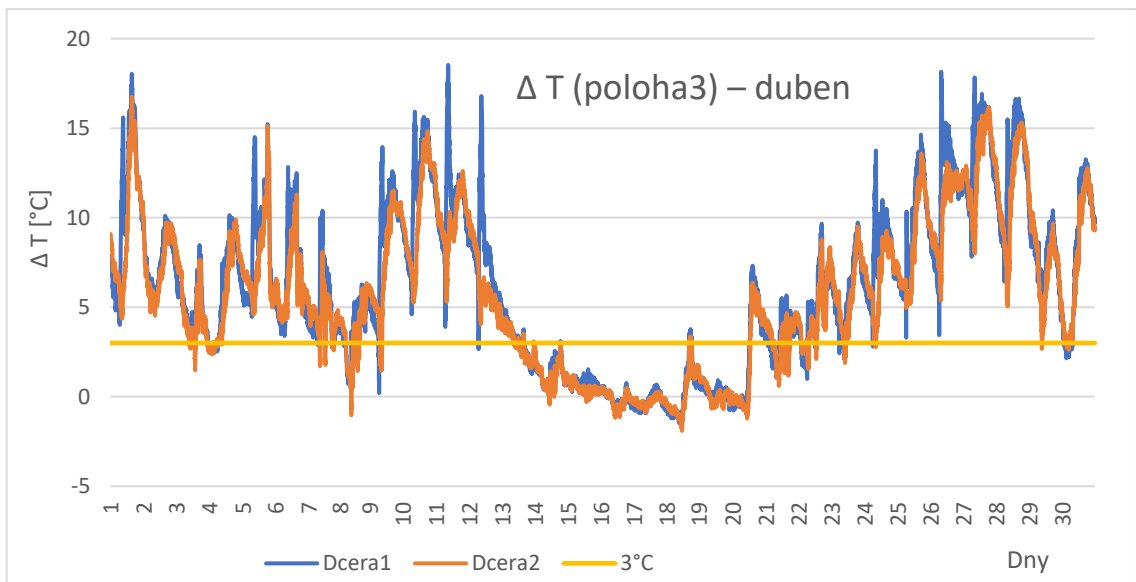
Obrázek 57: Graf – depozice chloridů v ovzduší (duben 2021)



Obrázek 58: Graf – ΔT na poloze 1 (duben 2021)



Obrázek 59: Graf – ΔT na poloze 2 (duben 2021)



Obrázek 60: Graf – ΔT na poloze 3 (duben 2021)

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce byl teoretický popis koroze, korozních atmosfér a stanovení jejich agresivity. Zabývala se mostními konstrukcemi a materiály spojenými s jejich výstavbou, konkrétně uhlíkovými oceli a nízkolegovanými oceli se zvýšenou odolností vůči atmosférické korozi.

Výsledky praktického experimentu ukázaly, že zásadní vliv na vývoj koroze, tloušťku oxidické vrstvy a celkový korozní úbytek mají chloridy. Tyto korozní stimulatory totiž napomáhají ke tvorbě nebezpečné a těžko nepředvídatelné bodové koroze. Závislost doby ovlhčení na korozní napadení se neprojevila ve větší míře.

V neposlední řadě práce obsahuje popis, zpracování a vyhodnocení dat, naměřených pomocí monitorovací stanice, umístěné na konstrukci dálničního mostu (SO 216). Zpracované výsledky napomohou ke stanovení korozní agresivity a určení hlavních korozních činitelů v dané lokalitě. Právě prostřednictvím monitorování mostních, či jiných objektů, získáváme cenné informace pro predikci vývoje materiálů i samotných konstrukcí. Tyto informace přispívají ke zvýšení bezpečnosti a životnosti v budoucnu postavených staveb.

Vytyčené cíle práce byly splněny. Nabízí se ovšem pokračování v podobě dalšího zpracování a vyhodnocování dat nasnímaných monitorovací stanicí. Samotná stanice by mohla být vylepšena a doplněna o další typy senzorů pro citlivější rozlišení jednotlivých korozních činitelů i míry jejich depozice. Rovněž experimentální část by mohla pokračovat dalším vyhodnocováním vzorků ocelí, například prostřednictvím normovaných zkoušek v laboratorních podmínkách.

Seznam použité literatury a zdrojů:

1. POŠVÁŘOVÁ, Miloslava a Pavel RYJÁČEK. *TECHNICKÉ KVALITATIVNÍ PODMÍNKY STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ: OCELOVÉ MOSTY A KONSTRUKCE- 19 A* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy – OPK, 2015 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_6_TKP/TKP_19_A___15.pdf
2. NOVÁK, Pavel. *Koroze kovů* [online]. In: Praha: VŠCHT, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství [cit. 2021-7-22]. Dostupné z: <https://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected>
3. NOSEK, Vladimír. *KOROZE A TECHNOLOGIE POVRCHOVÝCH ÚPRAV: Úvod do koroze* [online]. In: Liberec: TUL, FS, s. 1-25 [cit. 2021-7-22]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/kestaz/KMT_KPU_PR_01_CZE_Nosek_Uvod_do_koroze.pdf
4. ZAKI, Ahmad. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*, Elsevier Science & Technology In: *ProQuest Ebook Central* [online]. 2006, [cit. 2021-7-22]. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=294320>.
5. NOVÁK, Pavel. *Druhy koroze kovů: Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha*. In: *Koroze a ochrana materiálu* [online]. Praha, 2005, s. 1-8 [cit. 2021-7-22]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF
6. VAZAC, Jan. *Navržení postupu svařování při opravách síta alkalizačního lisu* [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-7-22]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74041/F2-DP-2018-Vazac-Jan-VAZAC_Jan_Diplomova_prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. ČVUT.
7. HAVLÍK, Luboš. *Koroze slitin železa a způsoby jejich vyhodnocování* [online]. Brno, 2010 [cit. 2021-7-22]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=25912. Bakalářská práce. VUT.
8. NĚMEC, Karel. *Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli* [online]. In: [cit. 2021-7-22]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2736110/>
9. KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01472-X

10. KREISLOVÁ, Kateřina a Dagmar KNOTKOVÁ. *KOROZNÍ AGRESIVITA ATMOSFÉR A METODY PREDIKCE ATMOSFÉRICKÉ KOROZE: Metody sledování životnosti*. Praha: SVUOM, 2014. ISBN 978-80-87444-11-5.
11. ČSN EN ISO 9226: *Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosféry – Stanovení korozní rychlosti standardních vzorků pro určení korozní agresivity*. 2012.
12. KREISLOVÁ, Kateřina, Hana GEIPLOVÁ, Jaroslav SKOŘEPA, Irena SKOŘEPOVÁ a Dušan MAJTÁS. *Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav: Sborník přednášek a prezentací*. Jaroměř: TISK AS, 2015. s. 23-26. ISBN 978-80-87583-14-2.
13. Humidity. *NATIONAL GEOGRAPHIC* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/humidity/>
14. CONDAIR. *What is relative humidity?: Humidification Made Simple* [online]. In: [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=TmRL6Ou3NrY>
15. *Vlhkost vzduchu* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <http://artemis.osu.cz/Gemet/meteo2/vlhkost.htm>
16. HOFER, Peter. *Rosný bod v závislosti na vlhkosti a teploty* [online]. In: Brno [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <http://www.zdrave-bydleni.com/rosny-bod-v-zavislosti-na-vlhkosti-a-teploty/>
17. CALVERT, J.B. *Theoretical Meteorology* [online]. 2003 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <http://mysite.du.edu/~etuttle/weather/atphys.htm>
18. H-X diagram. *Qpro.cz: Technika prostředí* [online]. 3.10.2013 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Obrazky/105>
19. *Problematika snižování průmyslového znečištění* [online]. 2021 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2020/articles/problematika-snizovani-prumysloveho-znecistení>
20. BŘEZINA, Jáchym. *Český hydrometeorologický ústav: Oddělení kvality ovzduší* [online]. In: Brno, 2018 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.recetox.muni.cz/media/3224248/brzezina.pdf>
21. ZOUBEK, Michal a Viktor KREIBICH. *Povrcháři: Navrhování konstrukcí z oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi typu Atmosfix* [online]. Jaroměř, 2018 [cit. 2021-7-23]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201808_povrchari.pdf

22. MELCHER, Karel. *Posypové materiály pro zimní údržbu komunikací v ČR a v zemích EU* [online]. Praha: EkoList, 2001 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/posypove-materialy-pro-zimni-udrzbu-komunikaci-v-cr-a-v-zemich-eu>
23. LACINA, Jan. *Prezentace ŘSD: Zimní údržba 2017/2018 D + I. třídy* [online]. In: . 2018 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: http://silnicniseminar.cz/files/05_Lacina_Zimni-udrzba-2017_2018.pdf
24. DRIML, Michal. *CHOVÁNÍ PATINUJÍCÍ OCELI V RŮZNÝCH KOROZNÍCH PROSTŘEDÍCH* [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-7-25]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/89588/F2-DP-2020-Driml-Michal-DP%20Driml%202020.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Diplomová práce. ČVUT.
25. POKORNÝ, Jiří a Hynek ŠERTLER. *MOSTY* [online]. Univerzita Pardubice, Katedra dopravní infrastruktury, s. 1-27 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: https://vladimirsuchanek.upce.cz/files/Mosty_-_cast_1.pdf
26. KARMAZÍNOVÁ, Marcela, Karel SÝKORA a Milan ŠMAK. *KONSTRUKCE A DOPRAVNÍ STAVBY: KONSTRUKCE – ZÁKLADNÍ TYPY KONSTRUKCÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ STAVEB, MOSTY* [online]. FAST [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BO01-Konstrukce%20a%20dopravni%20stavby/Konstrukce%20a%20dopravni%20stavby%20%20M02-Konstrukce%20II%20-%20zakladni%20typy%20konstrukci,%20konstrukcni%20reseni%20staveb,%20most.pdf>
27. KRUTÍLEK, Ondřej. *Nejznámější české ocelové stavby* [online]. In: Hradec Králové: VEGA spol. s r.o., 2021 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/nejznamnejsi-ceske-ocelove-stavby>
28. POŠVÁŘOVÁ, Miloslava. *Technické podmínky staveb pozemních komunikací: Mosty a konstrukce pozemních komunikací z patinujících ocelí*. Praha: Mott MacDonald, 2008. ISBN 978-80-904172-1-2.
29. PÁRTL, Václav a Pavel ŘÍHA. *TECHNICKÉ KVALITATIVNÍ PODMÍNKY STAVEB ŘVC ČR: PROTIKOROZNÍ OCHRANA OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ OCHRANNÝMI NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY* [online]. Praha: KONCEPT CB s.r.o, 2013 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <http://www.rvccr.cz/public/files/userfiles/Technicko%20kvalitativn%C3%AD%20podm%C3%ADnky/tkp-protikorozni-ochrana-ocelovych-konstrukci.pdf>

30. POŠVÁŘOVÁ, Miloslava. Vliv různých aspektů na životnost ocelové mostní konstrukce. *ABS: architektura stavebnictví byznys* [online]. Brno, 2010 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/mosty/vliv-ruznych-aspektu-na-zivotnost-ocelove-mostni-konstrukce>
31. *GLOBALNÍ PRODUKCE SUROVÉ OCELI ZA ROK 2019 SE OPROTI ROKU 2018 ZVÝŠILA O 3,4 %*. [online]. In: 2020 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/globalni-produkce-surove-oceli-za-rok-2019-se-oproti-roku-2018-zvysila-o-34/>
32. MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Nauka o materiálu* [online]. Praha: České vysoké učení technické, 1996 [cit. 2021-7-24]. ISBN 80-010-1507-6.
33. *Difference Between Low, Medium & High Carbon Steel: Low Carbon vs Medium Carbon vs High Carbon Steel* [online]. In: 2021 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <https://www.theworldmaterial.com/low-medium-high-carbon-steel/>
34. KREISLOVÁ, Kateřina, Dagmar KNOTKOVÁ a Hana GEIPLOVÁ. *Korozní chování kovů a kovových povlaků v atmosférickém prostředí*. Praha: SVÚOM, 2014. Metody sledování životnosti. ISBN 978-80-87444-08-5.
35. *Weathering steel bridges: Corus Construction & Industrial* [online]. In: North Lincolnshire: Orchard Corporate, 2005 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: http://resource.npl.co.uk/docs/science_technology/materials/life_management_of_materials/publications/online_guides/pdf/weathering_steel_bridges.pdf
36. *COR-TEN: Nippon steel* [online]. In: Tokyo: Nippon steel corporation, 2008 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/A006en.pdf
37. *ATMOFIX: Patinující ocele* [online]. 2008 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php
38. *Nosné konstrukce z patinujících ocelí atmofix: Podniková norma VN 73 1466*. Ostrava: Vítkovice, 1995.
39. KNOTKOVÁ, Dagmar, Kateřina KREISLOVÁ, Lubomír ROZLÍVKA, Vít KŘIVÝ a Jitka PODJUKLOVÁ. *Hodnocení vrstev patin na konstrukcích z patinujících ocelí* [online]. In: [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <http://www.atmofix.cz/resources/hodvrstpatinocel.pdf>
40. JEGDIĆ, Bore, Suzana POLIĆ-RADOVANOVIĆ, Slavica RISTIĆ a Ana ALIL. *CORROSION OF ARCHAEOLOGICAL ARTEFACT MADE OF FORGED IRON: Association of Metallurgical Engineers of Serbia* [online]. In: Bělehrad: AMES, 2012 [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/234822477.pdf>

41. HARA, Shuichi, Takayuki KAMIMURA, Hideaki MIYUKI a Masato YAMASHITA. Taxonomy for protective ability of rust layer using its composition formed on weathering steel bridge. *Corrosion Science* [online]. Hyogo, 2007, 49(3), 1131-1142 [cit. 2021-8-2]. ISSN 0010-938X. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X06002216>
42. ZOUBEK, Michal a Viktor KREIBICH. *Navrhování konstrukcí z oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi typu Atmosfix: Prezentace*. In: Praha: ČVUT, fakulta strojní, ústav strojírenské technologie, 2018.
43. Ochrana kovů proti korozi. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit. 2021-7-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ochrana-kovu-proti-korozi>
44. GEIPOVÁ, Hana a Jaroslav KORBELÁŘ. *Protikorozi ochrana kovových konstrukcí* [online]. In: Praha: ČKAIT, 2018 [cit. 2021-7-25]. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-3-2/#5>
45. *TECHNICKÉ KVALITATIVNÍ PODMÍNKY STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ: PROTIKOROZNÍ OCHRANA OCELOVÝCH MOSTŮ A KONSTRUKCÍ- 19 B* [online]. Praha, 2018 [cit. 2021-7-25]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_6_TKP/TKP_19B_2018.pdf
46. ZOUBEK, Michal. *NÁTĚROVÉ HMOTY S VYŠŠÍMI UŽITNÝMI VLASTNOSTMI*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT.
47. KUKLÍK, Vlastimil. Životnost a záruka povlaků žárového zinku. *MM průmyslové spektrum: Výroba a technologie* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, 2012, 11. 04. 2012, (4) [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zivotnost-a-zaruka-povlaku-zaroveho-zinku>
48. *PREDÚPRAVA POVRCHU* [online]. In: [cit. 2021-7-25]. Dostupné z: <https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/mater-vstrojar-vyrobe.pdf>
49. KOUDELKOVÁ, Lenka. *Vliv předúprav a čistoty povrchu na adhezi nátěrových hmot*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT.
50. STRZYŽ, Petr a René SIOSTRZONEK. *Duplexní povlaky ocelových konstrukcí: Technologie žárového zinkování* [online]. Praha: Topinfo s.r.o, 2016 [cit. 2021-7-26]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/ocelove-konstrukce/15135-duplexni-povlaky-ocelovych-konstrukci>

51. BENEŠOVÁ, Jaroslava a Miroslav SVOBODA. *Predikce účinnosti organických povlaků na základě laboratorních zkoušek*. Praha: SVÚOM, 2010. Metody sledování životnosti. ISBN 978-80-87444-06-1.
52. KALENDOVÁ, Andrea. *Metody testování vlastností organických povlaků: KOROZNĚ-INHIBIČNÍ ÚČINNOST ORGANICKÝCH POVLAKŮ* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2001 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: https://www.upce.cz/sites/default/binary_www_old/fcht/uchtml/12-onhop/studijni-materialy/metody-test-kor-vl.pdf
53. *Urychlené korozní zkoušky* [online]. Kralupy: Technopark Kralupy, 2020 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://www.technopark-kralupy.cz/urychlene-korozni-zkousky>
54. KREISLOVÁ, K. a V. KŘIVÝ. Hodnocení korozní odolnosti nízkolegované oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi s 3 % Ni. *AKI* [online]. Praha: SVÚOM s.r.o, 2014 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: DOI:10.2478/kom-2014-0002
55. Google maps. *Google.com* [online]. [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/49%C2%B049'38.1%22N+18%C2%B012'59.5%22E/@49.8221764,18.2143391,691a,35y,39.22t/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d49.82725!4d18.2165278?hl=cs-CZ>
56. Český hydrometeorologický ústav: Měsíční zpravodaj pobočky Ostrava. <https://www.chmi.cz/> [online]. [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/o-nas/organizacni-struktura/pobocka-ostrava/mesicni-zpravodaj>
57. BREZINA, Jáchym. *Koncentrace NO₂ během karantény v České republice – družicové snímky a staniční data* [online]. Brno, 2020 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2020/03/24/koncentrace-no2-behem-karanteny-v-ceske-republice-druzicove-snimky-a-stanicni-data/>
58. B.R. Denby, M. Ketzel, T. Ellermann, A. Stojiljkovic, K. Kupiainen, J.V. Niemi, M. Norman, C. Johansson, M. Gustafsson, G. Blomqvist, S. Janhäll, I. Sundvor, *Road salt emissions: A comparison of measurements and modelling using the NORTRIP road dust emission model*, Atmospheric Environment, [online]. 2016, s. 508-522 [cit. 2021-8-2] ISSN 1352-2310, Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231016305465>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Druhy koroze [6]

Obrázek 2: Elektrochemická řada napětí kovů [7].

Obrázek 3: Korozní makročlánek [8]

Obrázek 4: Rychlost koroze po prvním roce expozice pro jednotlivé stupně agresivity [11]

Obrázek 5: Korozní mapa ČR zobrazující agresivitu ovzduší pro uhlíkovou ocel [12]

Obrázek 6: Mollierův h-x diagram [18]

Obrázek 7: Doba ovlhčení v různých podmínkách expozice [11]

Obrázek 8: Hmotnostní úbytky zinku exponovaného v ovzduší s 95 % RV [10]

Obrázek 9: Hlavní části mostu – názvosloví [26]

Obrázek 10: Příklady uložení profilů konstrukce [29].

Obrázek 11: Příklad správného a chybného řešení detailu svaru komorové konstrukce mostu [28]

Obrázek 12: Detaily nesprávného návrhu řešení svarových spojů [28]

Obrázek 13: Detaily správného návrhu řešení svarových spojů [28]

Obrázek 14: Schématické porovnání korozního úbytku u patinující a uhlíkovou ocelí [35]

Obrázek 15: Změna barvy patinující vrstvy v závislosti na čase [36]

Obrázek 16: Lepidokrokit [34]

Obrázek 17: Goethit [34]

Obrázek 18: Akagenit [34]

Obrázek 19: Hodnocení ochranné schopnosti patinující vrstvy dle PAI [42]

Obrázek 20: Princip žárového zinkování ponorem [50]

Obrázek 21: Vážení chloridu sodného (NaCl) při přípravě roztoku

Obrázek 22: Tryskací zařízení HORBACH UNI 322

Obrázek 23: Vzorek před a po otryskání (Corten A)

Obrázek 24: Měření teploty vzduchu v místnosti

Obrázek 25: Ovlhčování vzorků

Obrázek 26: Osušování vzorků

Obrázek 27: Digitální váha OHAUS Explorer Pro

Obrázek 28: Snímky vzorků po 1000 hodinách expozice nasnímané mikroskopem Olympus SZ61

Obrázek 29: Tloušťkoměr ELCOMETER s mikrosondou

Obrázek 30: Závislost tloušťky oxidické vrstvy na množství chloridů

Obrázek 31: Snímky lepících pásek s korozními produkty nasnímané pod mikroskopem Olympus SZ61

Obrázek 32: Závislost korozního úbytku na množství chloridů.

Obrázek 33: vzorky po odstranění korozní vrstvy nasnímané pod mikroskopem Olympus SZ61

Obrázek 34: Dálniční most (SO 216) Ostrava-Svinov [55]

Obrázek 35: Monitorovací zařízení MATKA

Obrázek 36: Monitorovací zařízení DCERA1

Obrázek 37: Umístění monitorovacích zařízení DCERA1 a DCERA2

Obrázek 38: Popis monitorovací stanice

Obrázek 39: Měření teploty konstrukce (DCERA2)

Obrázek 40: Zaznamenané hodnoty v SQL databázi

Obrázek 41: Příklad zadání jednoduché syntaxe příkazů v prostředí SQL databáze

Obrázek 42: Graf – atmosférická teplota (duben 2021)

Obrázek 43: Graf – rychlost větru (duben 2021)

Obrázek 44: Graf – směr větru (duben 2021)

Obrázek 45: Graf – denní srážky (duben 2021)

Obrázek 46: Graf – relativní vlhkosti vzduchu s vyznačenou hodnotou 60 % (duben 2021)

- Obrázek 47: Graf – doba po kterou je $RV > 60 \%$ (duben 2021)
- Obrázek 48: Graf – průměrné hodnoty atmosférického tlaku (duben 2021)
- Obrázek 49: Graf – teploty konstrukce polohy 1 (duben 2021)
- Obrázek 50: Graf – teploty konstrukce polohy 2 (duben 2021)
- Obrázek 51: Graf – teploty konstrukce polohy 3 (duben 2021)
- Obrázek 52: Graf – průměrné teploty rosného bodu (duben 2021)
- Obrázek 53: Graf – průměrná koncentrace NO_2 (duben 2021)
- Obrázek 54: Graf – koncentrace pevných částic PM_{10} (duben 2021)
- Obrázek 55: Graf – koncentrace pevných částic $PM_{2,5}$ (duben 2021)
- Obrázek 56: Graf – koncentrace pevných částic PM_1 (duben 2021)
- Obrázek 57: Graf – depozice chloridů v ovzduší (duben 2021)
- Obrázek 58: Graf – ΔT na poloze 1 (duben 2021)
- Obrázek 59: Graf – ΔT na poloze 2 (duben 2021)
- Obrázek 60: Graf – ΔT na poloze 3 (duben 2021)

Seznam tabulek

Tabulka 1: Stupně agresivity prostředí dle ČSN ISO 9223 [11]

Tabulka 2: Spotřeba posypových solí na dálnicích v ČR [23]

Tabulka 3: Dělení uhlíkových ocelí [33]

Tabulka 4: Maximální korozní úbytky nelegovaných ocelí [34]

Tabulka 5: Zastoupení chemických prvků v patinujících ocelích COR-TEN a Atmofix [21]

Tabulka 6: Normativní chemické složení použitých vzorků

Tabulka 7: Přehled vzorků, prostředí a cyklů

Tabulka 8: Údaje o tloušťce oxidické vrstvy

Tabulka 9: Stanovení korozního úbytku vzorků

Tabulka 10: Průměrná měsíční teplota

Tabulka 11: Měsíční průměr a maximum rychlosti větru

Tabulka 12: Jednotlivé sumy záznamů při měření směru větru

Tabulka 13: Průměrný denní úhrn srážek v jednotlivých měsících

Tabulka 14: Průměrná měsíční relativní vlhkost vzduchu

Tabulka 15: Měsíční minima a maxima relativní vlhkosti vzduchu

Tabulka 16: Doba nad kritickou hodnotou vlhkosti(DCERA1)

Tabulka 17: Doba nad kritickou hodnotou vlhkosti (DCERA2)

Tabulka 18: Doba nad kritickou hodnotou vlhkosti (MATKA)

Tabulka 19: Měsíční průměrné, minimální a maximální hodnoty atmosférického tlaku

Tabulka 20: Průměrná koncentrace NO₂, SO₂ v ovzduší

Tabulka 21: Měsíční maxima a průměry pevných částic v ovzduší (MATKA)

Tabulka 22: Měsíční maxima a průměry pevných částic v ovzduší (DCERA1)

Tabulka 23: Měsíční maxima a průměry pevných částic v ovzduší (DCERA2)

Tabulka 24: Průměrné zastoupení chloridů v ovzduší

Tabulka 25: Měsíční průměrné, minimální a maximální teploty konstrukce na různých místech (DCERA1)

Tabulka 26: Měsíční průměrné, minimální a maximální teploty konstrukce na různých místech (DCERA2)

Tabulka 27: Měsíční průměr, maxima a minima rosného bodu na všech zařízeních

Tabulka 28: ΔT na různých místech konstrukce (DCERA1)

Tabulka 29: ΔT na různých místech konstrukce (DCERA2)

Seznam příloh

Příloha 1: Fotodokumentace – vzorky před zahájením pokusu

Příloha 2: Fotodokumentace – vzorky po 1. cyklu

Příloha 3: Fotodokumentace – vzorky po 500 hodinách expozice

Příloha 4: Fotodokumentace – vzorky po 1000 hodinách expozice

Příloha 5: Fotodokumentace – lepicí páska po zkoušce odtrhem

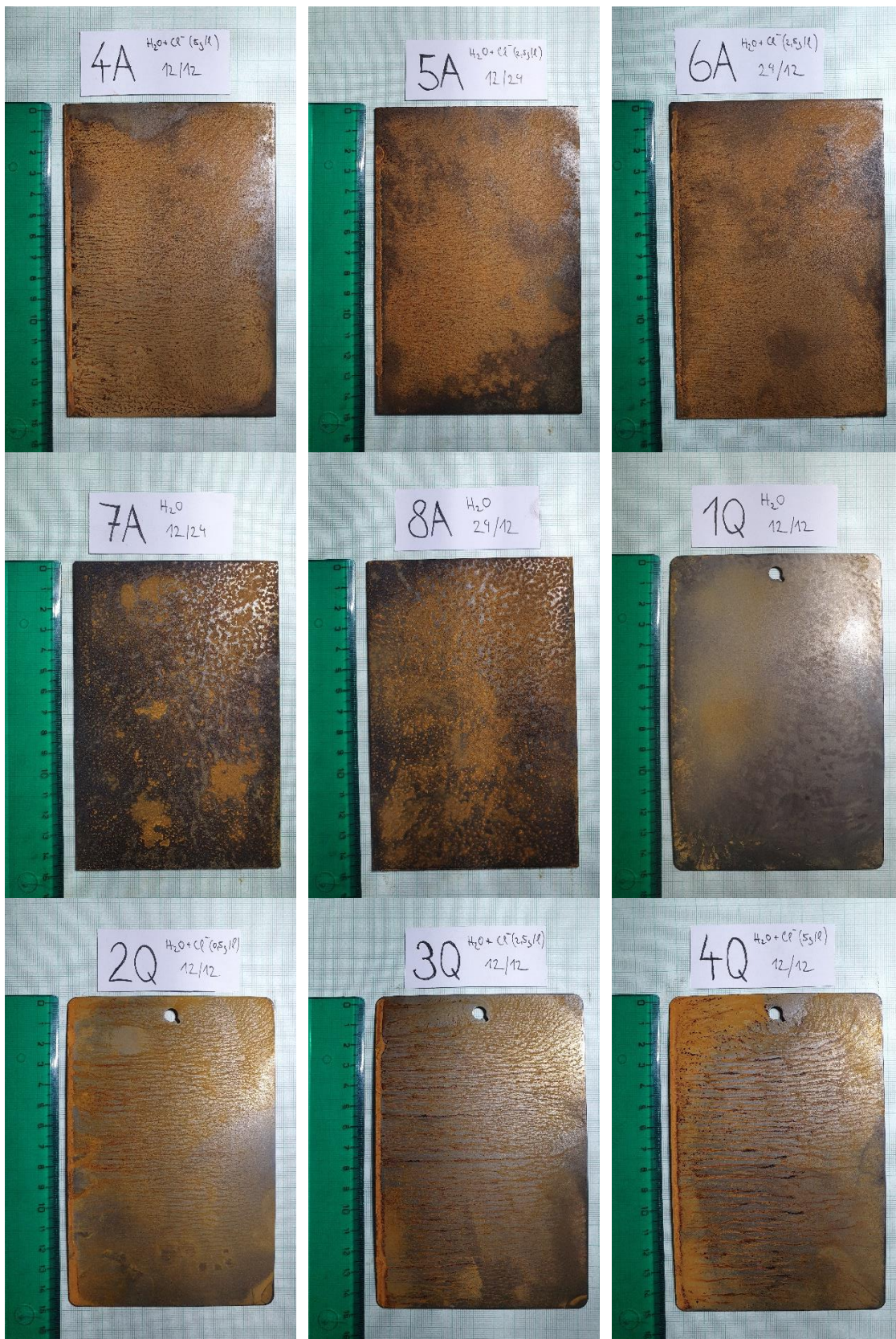
Příloha 1: Fotodokumentace – vzorky před zahájením pokusu



Obrázek A: Vzorky před zahájením pokusu

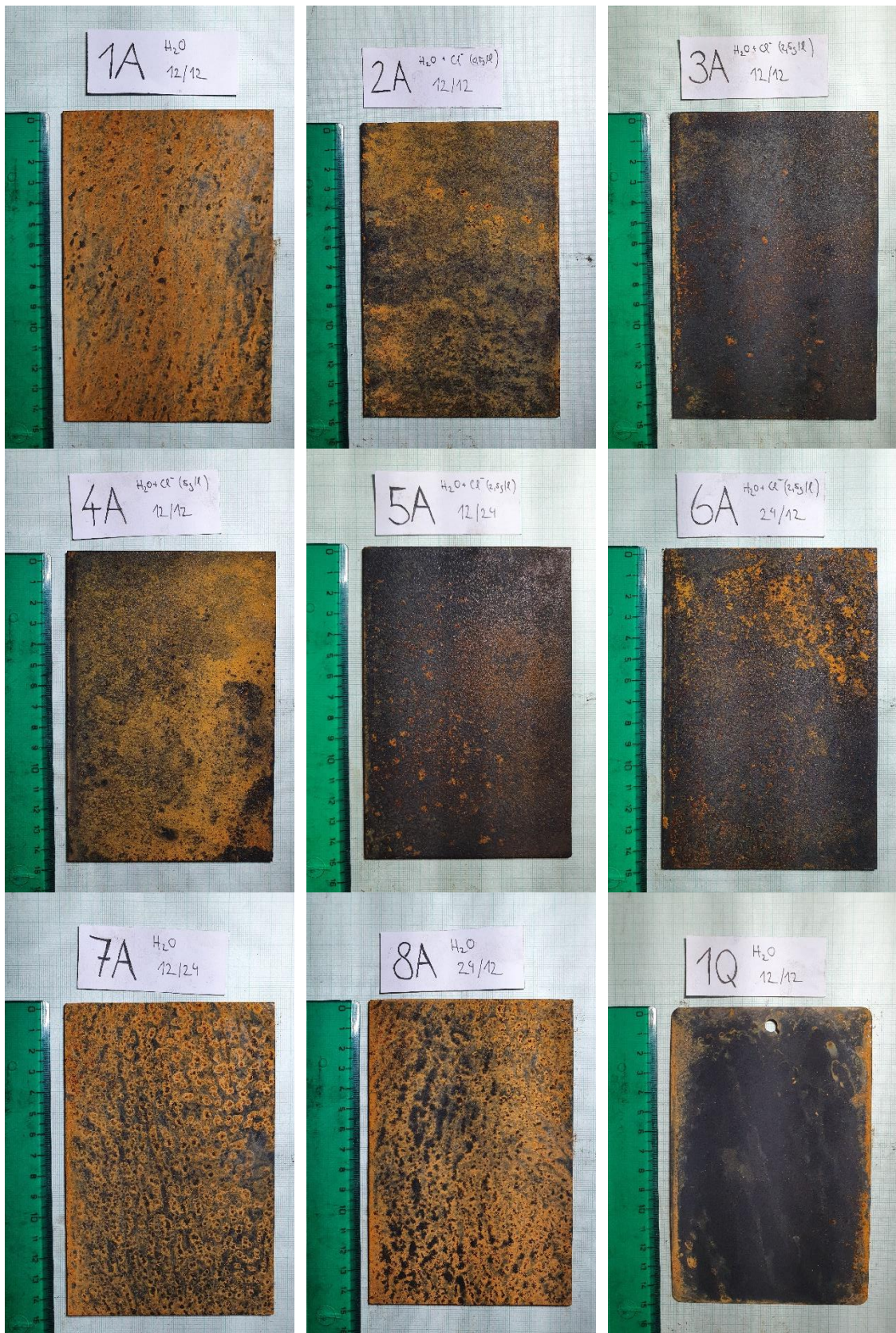
Příloha 2: Fotodokumentace – vzorky po 1. cyklu





Obrázek B: Vzorčky po 1. cyklu

Příloha 3: Fotodokumentace – vzorky po 500 hodinách expozice

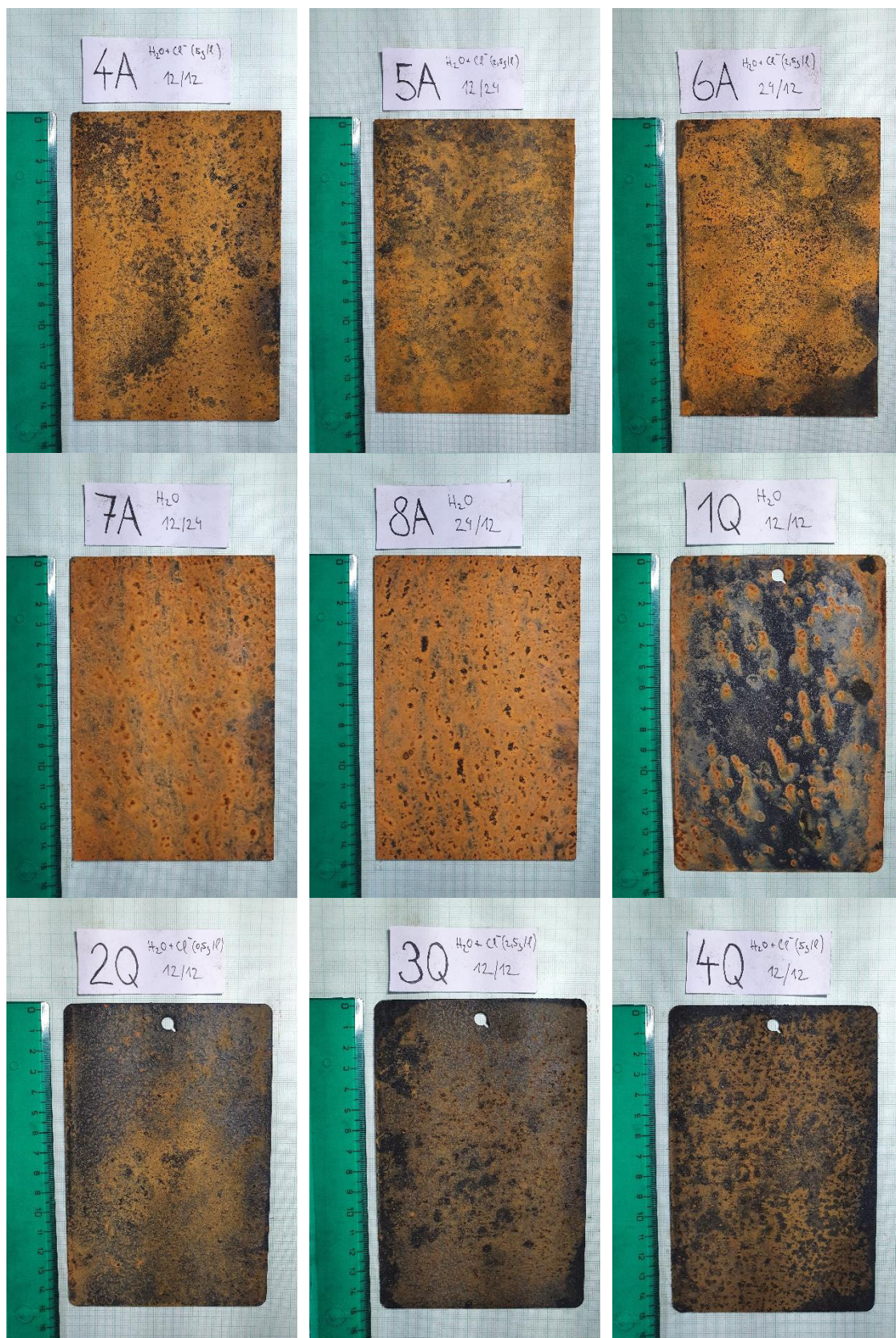




Obrázek C: Vzorčky po 500 hodinách expozice

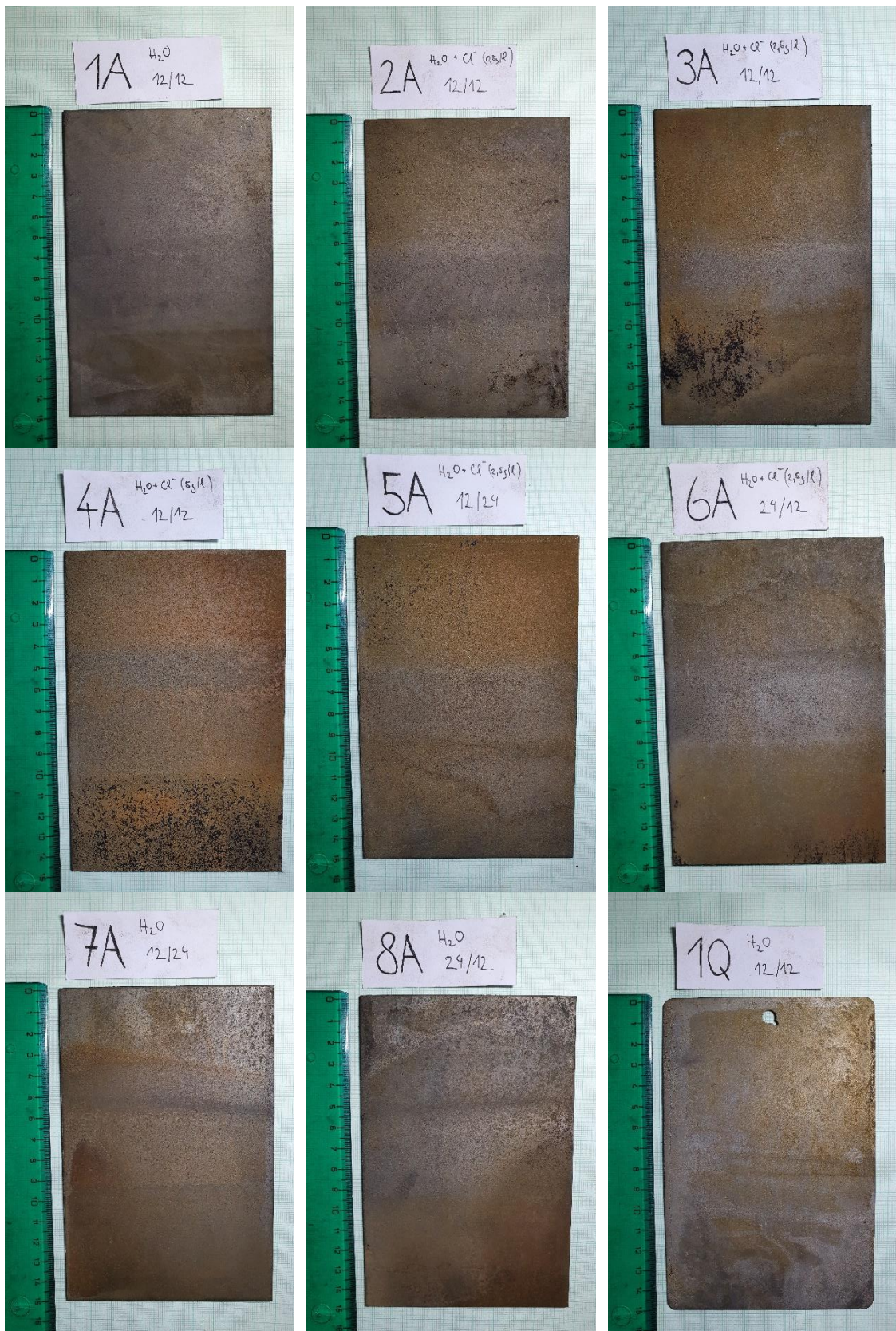
Příloha 4: Fotodokumentace – vzorčky po 1000 hodinách expozice





Obrázek D: Vzorčky po 1000 hodinách expozice

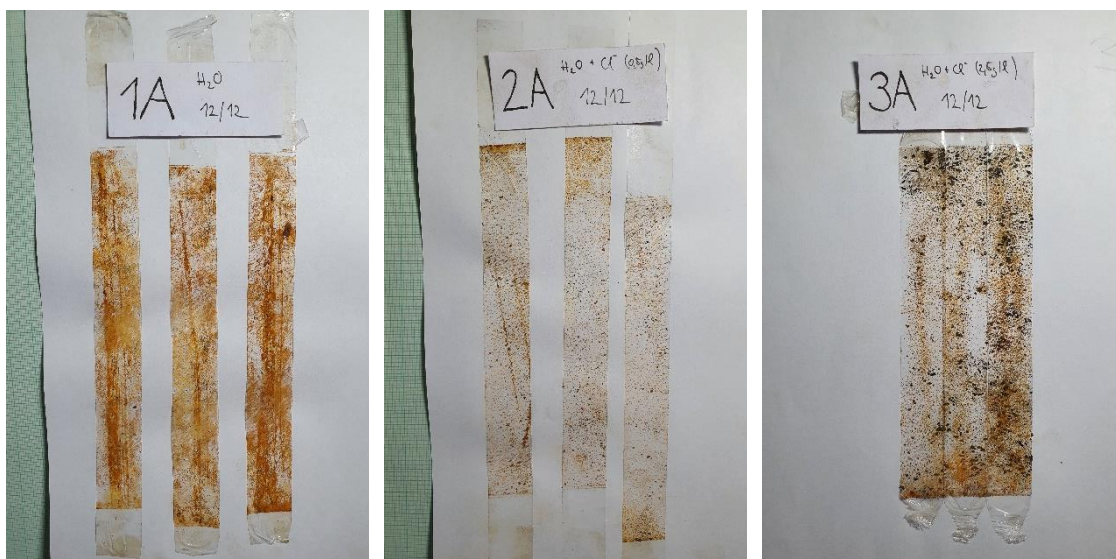
Příloha 4: Fotodokumentace – vzorky po odstranění koroze

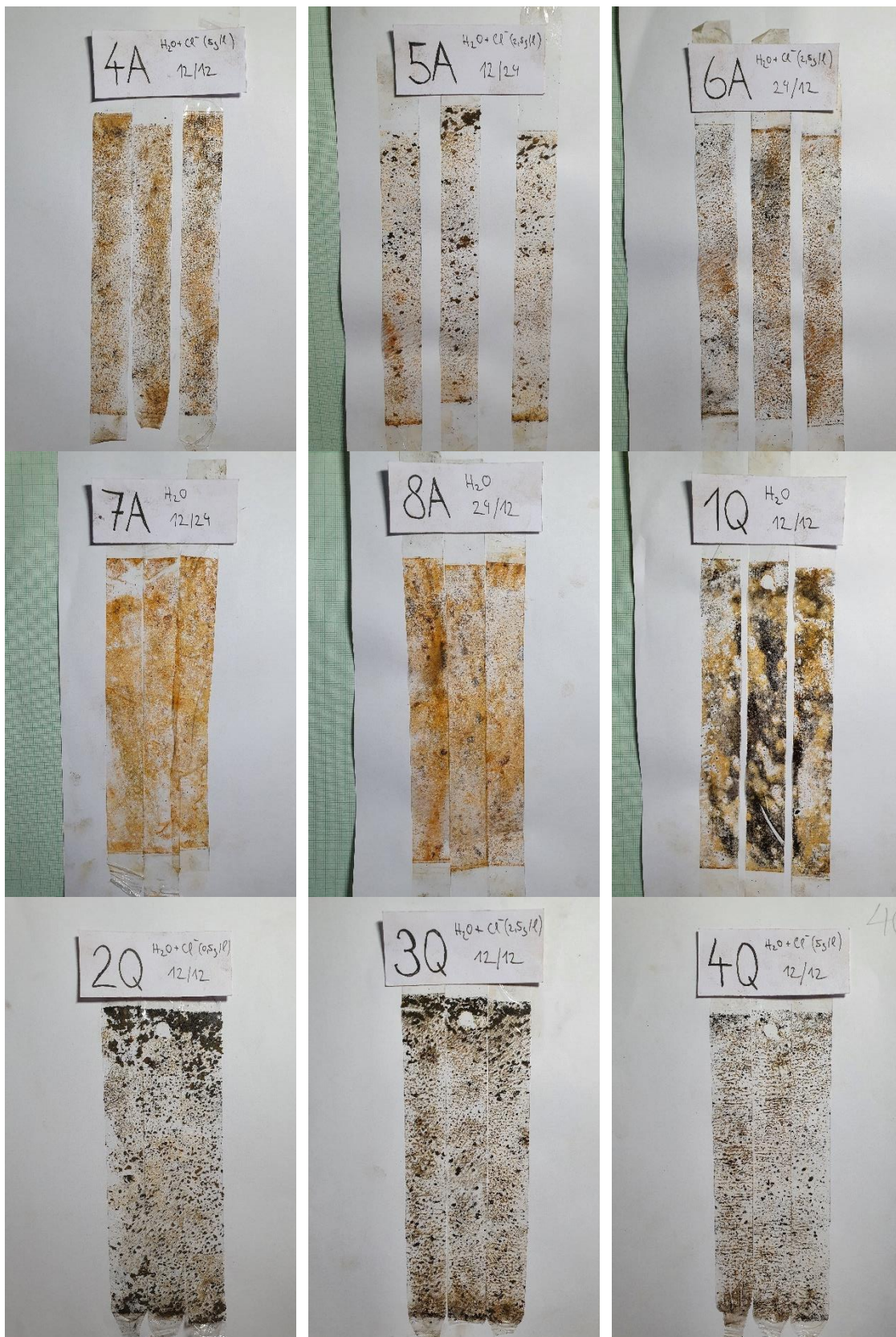




Obrázek E: Vzorčky po odstranění koroze

Příloha 5: Fotodokumentace – lepicí páska po zkoušce odtrhem





Obrázek F: Lepící páska po zkoušce odtrhem