

Mendelova univerzita v Brně
Institut celoživotního vzdělávání
Oddělení expertního inženýrství

**Optimalizace podmínek adhezivních korozních zkoušek
v odborném znalectví**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
Doc. Ing. Michal Černý, CSc.

Vypracovala:
Bc. Klára Klučková

Brno 2016

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Optimalizace podmínek adhezivních korozních zkoušek v odborném znanectví** vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 22. 5. 2016

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych vyjádřila poděkování vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Michalu Černému, CSc. za pomoc, rady a nesmírnou ochotu, být mi nápomocen při zpracovávání této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala RNDr. Petru Nevěčnému za čas a cenné rady, které mi věnoval a přístroje, které k odtrhové zkoušce zapůjčil. V neposlední řadě bych ráda poděkovala Ing. Zbyňku Šochovi za pomoc při přípravě materiálů na korozní zkoušky.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce pojednává o optimalizaci podmínek adhezivních korozních zkoušek v odborném znaectví. Jaký vliv mají podmínky, při kterých se adhezivní korozní zkoušky provádějí.

Úvodní část diplomové práce se zaměřuje na objasnění problematiky koroze, její jednotlivé druhy a rozdělení.

V další části diplomové práce je zaměření na korozní zkoušky. Zde jsou popsány všechny druhy zkoušek korozní odolnosti kovů. Hlavní část se věnuje podrobně odtrhové zkoušce přilnavosti. Popisuje princip zkoušky, zařízení, se kterým se samotný odtrh provádí, lepidla, zkušební vzorky a postup celé zkoušky.

V experimentální části se provádí odtrhové zkoušky za různých podmínek. Všechny zkoušené vzorky jsou ze stejného materiálu, avšak každá třetina vzorků je opatřena jiným nátěrovým systémem. Na vzorky jsou lepeny zkušební panenky v různých teplotních podmínkách. Následuje poslední část a to vyhodnocení korozních zkoušek, jaký vliv měly různé teplotní podmínky lepení a odtržení panenky. Vyhodnocení nejlepší varianty provádění odtrhové zkoušky ze všech možných podmínek.

KLÍČOVÁ SLOVA

Koroze, korozní zkoušky, zkouška odtrhem, optimalizace.

ABSTRACT

This thesis deals with the optimization of the conditions of adhesion corrosion tests in professional expertise. Its main focus is on impacts of the conditions in which the adhesion corrosion tests are carried out.

The introductory part of the thesis focused on clarifying the issue of corrosion, its different types and distribution.

The further part of thesis focuses on corrosion tests. It covers all kinds of metal corrosion resistance tests. The main part is devoted to a detailed pull-off test for adhesion. It describes the principle of the tests, devices, which performs the pull-off, adhesives, test samples and the procedure of the whole test.

The main focus of the experimental part is pull-off tests under different conditions. All test samples are from the same material, but each third of the samples is provided with a different coating system. Samples are glued with testing specimen under different temperature conditions. The last part of the experimental part is evaluation of the corrosion tests, what effect different temperature conditions on bonding had and on separation of the specimen.

There is an evaluation of the best options for pull-off test of all possible conditions at the end of this thesis.

KEYWORDS

Corrosion, Corrosion tests, pull-off test, optimization.

OBSAH

1	Úvod	10
2	Cíl práce.....	12
3	Materiál a metodika zpracování	13
3.1	Materiál a metodika pro zpracování teoretické části.....	13
3.2	Materiál a metodika pro zpracování praktické části	13
4	Koroze	14
4.1	Definice koroze	14
4.2	Charakter koroze	14
4.3	Druhy korozního napadení.....	15
4.3.1	Dělení koroze dle vzhledu.....	15
4.3.2	Dělení koroze dle korozního prostředí	19
5	Protikorozní ochrana	27
6	Zkoušení a monitoring koroze.....	28
6.1	Druhy korozních zkoušek	28
6.1.1	Laboratorní zkoušky.....	28
6.1.2	Provozní zkoušky	29
6.2	Důvody k uskutečnění korozních zkoušek.....	30
6.3	Zákonitosti korozních zkoušek	30
6.3.1	Hodnocení pomocí vzhledu.....	30
6.3.2	Hodnocení pomocí rozměrových změn.....	31
6.3.3	Hodnocení pomocí hmotnostních změn	32
6.3.4	Hodnocení metalografické	32
6.3.5	Změny mechanických vlastností	33
6.3.6	Změny složení korozního prostředí.....	33
6.3.7	Hodnocení dle elektrochemických metod	33

6.3.8	Hodnocení dle fyzikálních metod.....	33
6.4	Příprava vzorků a podmínky provedení zkoušky.....	34
7	Odrhová zkouška přilnavosti.....	35
7.1	Princip zkoušky.....	35
7.2	Zařízení pro odrhovou zkoušku.....	36
7.2.1	Tahové zkušební odtržení.....	36
7.2.2	Zkušební tělíska.....	36
7.2.3	Centrovací přípravek.....	37
7.2.4	Řezný nástroj.....	37
7.3	Lepidla.....	37
7.4	Zkušební vzorky.....	38
7.4.1	Zkušební podklady.....	38
7.4.2	Příprava a nanesení nátěru.....	38
7.4.3	Sušení.....	38
7.4.4	Tloušťka povlaku.....	38
7.5	Postup odrhové zkoušky přilnavosti.....	39
7.6	Zkušební podmínky.....	39
7.7	Lepidlo.....	39
7.8	Zkušební ustanovení.....	39
7.9	Měření.....	40
7.9.1	Odrhová pevnost.....	40
7.9.2	Typ porušení.....	40
7.10	Výpočet a vyjádření výsledků odrhové zkoušky.....	41
7.10.1	Odrhové napětí.....	41
7.10.2	Typ porušení.....	41
7.11	Shodnost.....	41

7.12	Protokol o zkoušce	42
8	Experimentální část	43
8.1	Volba zkoušeného materiálu	43
8.2	Příprava materiálu	44
8.2.1	Tryskání.....	44
8.2.2	Aplikace nátěrového systému.....	48
8.2.3	Broušení a čištění zkušebních tělísek.....	51
8.3	Lepení zkušebních tělísek	53
8.3.1	Lepidlo.....	53
8.3.2	Lepení.....	54
8.4	Oříznutí zkušebních tělísek	56
8.5	Odtrhová zkouška.....	58
8.5.1	Odtrhoměr ELCOMETER 506	58
8.5.2	Měření tloušťky nátěrového systému	59
8.5.3	Odtrhová zkouška.....	59
8.6	Výsledky měření	69
8.6.1	Průměrná pevnost v tahu syntetického nátěru.....	69
8.6.2	Vyhodnocení syntetického nátěru	70
8.6.3	Průměrná pevnost v tahu vinylového nátěru	71
8.6.4	Vyhodnocení vinylového nátěru	72
8.6.5	Průměrná pevnost v tahu epoxidového nátěru	73
8.6.6	Vyhodnocení epoxidového nátěru.....	74
9	Diskuze získaných výsledků.....	76
9.1	Syntetický nátěr.....	76
9.2	Epoxidový nátěr	77
9.3	Vinylový nátěr.....	78

9.3.1	Porovnání výsledků	78
10	diskuze získaných výsledků a technického znalectví	80
11	Závěr	81
	Seznam použité literatury	82
	Seznam obrázků	85
	Seznam tabulek	87

1 ÚVOD

Kov a kovové materiály mají velmi dobré mechanické vlastnosti, díky kterým se aplikují jako konstrukční materiály, téměř ve všech odvětvích průmyslu. Naproti velkému množství výhod tohoto materiálu, jako je schopnost tepelné vodivosti, houževnatost, pružnost, dobrá opracovatelnost a mnohé další, stojí ovšem také jedna velká nevýhoda, a to, že podléhá koroznímu napadání.

Koroze je fyzikálně – chemická reakce mezi kovem a prostředím, ve kterém je materiál aplikován. Ztrácí tím svoje vlastnosti a je degradován, což je nežádoucí jev.

Problematika týkající se koroze a protikorozní ochrany je velmi důležité, neboť má vliv na životnost všech kovových materiálů používaných v různých prostředích. Protože každý kov umístěný ať již na kratší, nebo delší dobu volně v prostředí, začne podléhat korozi. Tomuto jevu se dá do jisté míry bránit užitím různé protikorozní ochrany.

O zákonitostech koroze je známo velké množství informací, přesto však je důležité stále získávat další informace pomocí experimentálního výzkumu. K tomu slouží korozní zkoušky, které zkoumají jednotlivé kroky korozního procesu, a zjišťuje, jak je možné tyto procesy ovlivňovat. Korozní zkoušky lze provádět v laboratorních nebo provozních podmínkách. Existuje poměrně velké množství druhů korozních zkoušek. Druh zkoušky vždy je vázán vždy na důvody, které vedou k jejich uskutečnění a na druh koroze.

Diplomová práce v úvodu vysvětluje pojem koroze, její rozdělení dle vzhledu, projevů, prostředí, kde vzniká a za jakých podmínek.

Podstatná část této práce je věnována korozním zkouškám. Popisuje druhy korozních zkoušek, laboratorních i provozních a uvádí důvody jejich uskutečnění. Zákonitosti korozních zkoušek objasňují, podle jakých kritérií se korozní zkoušky vyhodnocují. Mezi nejzákladnější způsoby hodnocení patří vizuální vyhodnocení, rozměrové změny, hmotnostní změny a metalografické metody vyhodnocení.

Následující část podrobně popisuje odtrhovou zkoušku přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 4624. Popisuje princip zkoušky, jaké zařízení je k provedení zkoušky

určeno, vzhled zkušebních tělísek. Příprava zkušebních vzorků, povrchové úpravy a nátěry a samotné lepení panenek. Průběh samotného odtrhu a měření pevnosti.

V experimentální části práce je provedena odtrhová zkouška. V jednotlivých kapitolách jsou uvedeny veškeré přípravy zkušebních vzorků, otryskání, opatření nátěrovým systémem, lepení zkušebních tělísek a poté samotný odtrh. Veškeré experimentální aktivity jsou doplněny fotodokumentací.

Získané poznatky jsou v závěru práce přeneseny do problematiky technického znalectví.

2 CÍL PRÁCE

Diplomová práce pojednává o optimalizaci podmínek adhezivních korozních zkoušek v odborném znalectví. Cílem diplomové práce je vytvoření uceleného aktuálního přehledu o korozní degradaci a provádění korozních zkoušek.

Úvodem práce je jednoduché seznámení s problematikou koroze a korozního napadení. Práce se dále věnuje provádění korozních zkoušek a hodnotí účinnost zkoušek prováděných v laboratorních nebo provozních podmínkách.

Metodický cíl práce je vypracování vhodného zkušebního postupu pro provedení a řešení odtrhové zkoušky.

Praktický cíl práce je provedení experimentální korozní zkoušky a zjištění vlivu provozní teploty na naměřené hodnoty pevnosti nátěrového systému v odtrhu u nejpoužívanějších povlaků.

Tematický cíl práce je přiřazení získaných výsledků k nutné znalosti technického znalce o korozní problematice.

3 MATERIÁL A METODIKA ZPRACOVÁNÍ

Předkládaná diplomová práce je tvořena teoretickou částí a praktickou částí experimentální.

3.1 Materiál a metodika pro zpracování teoretické části

V této diplomové práci byly jako materiál pro čerpání informací využity odborné publikace, internetové zdroje a norma ČSN.

Metodou zpracování teoretické části je analýza korozní problematiky, syntéza všech získaných poznatků z užití literatury, rešeršní poznatky o korozním napadení konstrukčních materiálů a verifikace korozních zkoušek.

3.2 Materiál a metodika pro zpracování praktické části

V praktické části je prováděna odtrhová zkouška dle normy ČSN EN ISO 4624. Dojde zde k vymezení a popisu zkoušených součástí, podrobný popis samotného odtrhu.

Metodou zpracování praktické části je zhodnocení získaných naměřených dat. Výstupem jsou grafická znázornění teplotní závislosti pevnosti v odtrhu. Zjištění vlivu provozní teploty na naměřené hodnoty pevnosti nátěrového systému v odtrhu.

Získané výsledky jsou přiřazeny k nutné znalosti technického znalce pohybujícího se v korozní problematice.

4 KOROZE

Kovové konstrukce ve všech prostředích musí být odolné vůči vlivům okolního prostředí. Prostředí, ve kterém se nachází, je schopné způsobit narušení materiálu, čímž snižuje jeho životnost, použitelnost a v neposlední řadě spolehlivost. Odolnost kovových materiálů je dána jejich složením, žádný materiál při dlouhodobém umístění v jakémkoli prostředí, se bez koroze neobejde. Odolnost ovlivňují také faktory jako je tloušťka, struktura materiálu, velikost napětí, způsob spojení se základním materiálem a také druh namáhání kovových součástí (Kraus, 2013).

4.1 Definice koroze

Jedná se o přirozený proces postupného narušování materiálu na jeho povrchu, ale i uvnitř. Koroze je způsobena okolním agresivním prostředím. Vzájemné působení mezi materiálem a prostředím v kombinaci s mechanickým namáháním a časovým průběhem reakce, vede k trvalému nevratnému znehodnocení materiálu. Materiál tak ztrácí svoje funkční vlastnosti.

Korozi mohou podléhat kovy, slitiny kovů, ale také keramické a silikátové látky, sklo, beton, guma a plasty. Práce je zaměřena pouze na degradaci kovových materiálů. Znehodnocení materiálu se projevuje změnami vzhledu povrchu materiálu, změnami pod povrchem materiálu a při maximálním napadení korozí, může vést až k úplnému rozpadu materiálu (Klučková, 2013).

4.2 Charakter koroze

Chemická koroze

Probíhá v elektricky nevodivých prostředích, plynech a neelektrolytech. Při této korozi dochází k oxidaci kovového materiálu adsorpcí molekul kyslíku na povrchu. Na povrchu materiálu vzniká oxidová vrstva. Nejčastější chemickou korozí je ale poškození vodíkem (redukční reakce). Ten výrazně zvyšuje tlak v materiálu a způsobuje praskání a křehnutí kovu (Černý, 1984).

Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze (až 70%) probíhá ve vodních roztocích, taveninách hydroxidů a solí. Jedná se o elektrochemickou reakci, a to buď anodickou, nebo katodickou. Anodická reakce vede přímo ke korozi (oxidaci kovu), katodická reakce redukuje složky korozního prostředí v roztoku. Oba děje jsou na sebe vázány, katodická reakce spotřebovává elektrony uvolněné anodickou reakcí. Elektrochemická koroze se nejčastěji projevuje jako bodové a mezikrystalové narušení.

4.3 Druhy korozního napadení

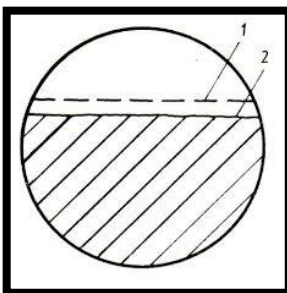
„Třídít korozi lze podle vzhledu (makroskopického a mikroskopického), místa vzniku, podle prostředí, podle materiálu, podle produktů, podle příčiny nebo podle mechanismu. Důležitá je jak znalost možných příčin koroze v daném technickém systému tak znalost příznaků koroze. Existuje určitá analogie s lékařstvím, neboť i v protikorozní ochraně volíme léčebné postupy podle příznaků nebo příčin. Termín léčba ale nemůže mít v korozi stejný význam, jako v medicíně, protože poškození kovu je nevratné a protikorozní ochranou se kov neopraví ani nezacelí“ (Novák, 2005, s. 75).

Existuje mnoho způsobů rozdělení koroze kovů. Koroze je schopná napadat strukturu, celou hmotu nebo jen povrch materiálu.

4.3.1 Dělení koroze dle vzhledu

Rovnoměrná koroze

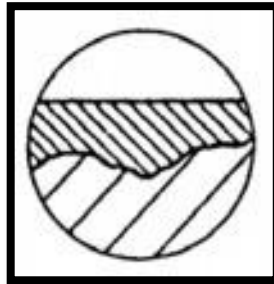
V současné době nejrozšířenější druh koroze (Obr. 1) v atmosférických podmínkách. Jedná se o stejnoměrné rozrušování povrchu udávané v mm za rok. Díky tomu, že se udává hodnota úbytku materiálu za rok, můžeme jednoduše vypočítat životnost a vhodnost volby materiálu.



Obr. 1 - Rovnoměrná koroze (ZDROJ: www.vutbr.cz)

Nerovnoměrná koroze

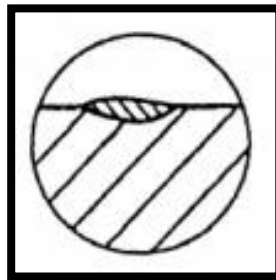
Probíhá na různých místech s různou rychlostí. Vzhledem připomíná korozi rovnoměrnou.



Obr. 2 - Nerovnoměrná koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)

Skvrnitá koroze

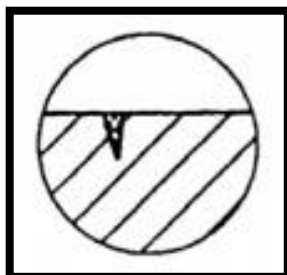
U tohoto typu koroze se jedná pouze o mělké narušení materiálu (Obr. 3), které je nepravidelné



Obr. 3 - Skvrnitá koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)

Bodová koroze

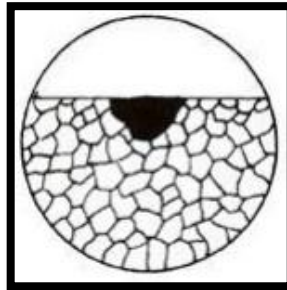
Tento typ koroze se nejčastěji vyskytuje v prostředích se solnými roztoky. Zvláště nebezpečná je u korozivzdorných ocelí. Tento druh koroze je rychle postupující a prostupující do hloubky materiálu. Vzniká v místech, kde má povlaková ochrana vady a slabší ochranné vlastnosti. Rozsah bodové koroze je závažný, na povrchu se projevuje jako malá skvrnka, prostupuje ale do velké hloubky (Obr. 4). Hloubka je podstatně větší než průměr napadení (Bartoníček a kol., 1966).



Obr. 4 - Bodová koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)

Důlková koroze

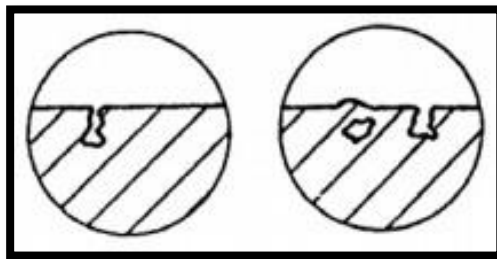
Koroze je poměrně dost podobná korozi bodové, ale tvar připomíná důlek. Průměr důlku je téměř stejný jako hloubka.



Obr. 5 - Důlková koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)

Podpvrchová koroze

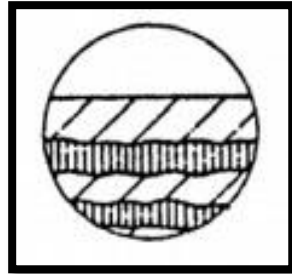
Tento druh koroze (Obr. 6) se na povrchu buďto nijak neprojevuje nebo pouze malým poškozením, pod povrchem ale velice rozsáhlá. Tento druh koroze, zvláště v případě žádných projevů na povrchu, je velice nebezpečný, právě proto, že není na první pohled vidět.



Obr. 6 - Podpvrchová koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)

Koroze po vrstvách

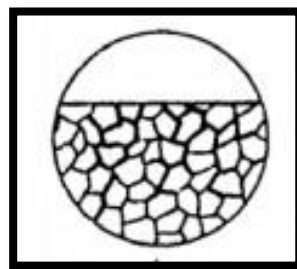
Spočívá v narušení mezi jednotlivými vrstvami materiálu, může vést k odlupování celých vrstev, které nejsou nijak poškozené.



Obr. 7 - Koroze po vrstvách (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)

Mezikrystalová koroze

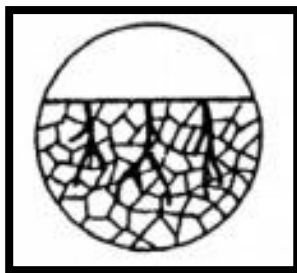
Probíhá na rozhraní jednotlivých zrn materiálu, a tedy nezasahuje celý povrch materiálu. Na rozhraní zrn dochází ke strukturálním změnám (Obr. 8), které jsou velmi málo odolná korozi. Pokud vznikne mezi jednotlivými zrny koroze, ovlivní to celkovou soudržnost zrn a kov je znehodnocený. Nejčastěji vzniká u korozivzdorných ocelí (difuze atomu Cr k C má za následek pokles odolnosti hranic zrn proti korozi).



Obr. 8 - Mezikrystalová koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)

Transkrystalová koroze

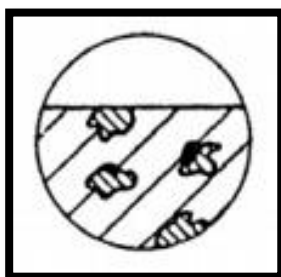
Tento druh koroze se projevuje trhlinami přímo v jednotlivých zrnech (Obr. 9). Trhliny se v materiálu objevují působením vnitřního napětí.



*Obr. 9 - Transkrystalová koroze
(Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)*

Selektivní koroze

Vyskytuje se především u slitin s dvojfázovou a vícefázovou strukturou. Tento druh koroze nejčastěji probíhá u mosazi, mědi a u perlitické oceli (Bartoniček a kol., 1966).



*Obr. 10 - Selektivní koroze (Zdroj:
www.old.fst.zcu.cz)*

4.3.2 Dělení koroze dle korozního prostředí

Koroze v atmosféře

Tento druh koroze je příčinou vzniku až 80% všech korozních napadení. Je to způsobeno faktem, že vlivům atmosféry je vystaven celý povrch materiálu. Nejčastěji to jsou kovové stavební konstrukce (Obr. 11), automobily a ostatní kovové předměty. Atmosférická koroze má za běžných teplot elektrochemický mechanismus. Mezi konstrukčními kovy a suchým vzduchem za běžných teplot nedochází k interakci, k atmosférické korozi dochází tedy z navyšující se vlhkostí prostředí. Při vyšší (nadkritické) vlhkosti, to je 60 – 80% relativní vlhkosti se vytváří na povrchu materiálu dostatečně tlustý film elektrolytu. Ten je nutný pro vznik korozních reakcí.

Při podkritické vlhkosti není koroze kovů nulová, ale je nepatrná a zanedbatelná. Doba ovlhčení znamená dobu, kdy je vlhkost atmosféry nadkritická a díky teplotě je vrstva elektrolytu na povrchu materiálu kapalná. V našich teplotních podmínkách je doba ovlhčení 3200 až 4000 hodin ročně. Elektrolyt je nejnebezpečnější za mlhy. Nejvýznamněji ovlivňuje agresivitu atmosféry oxid siřičitý (VŠCHT 2016).

Rozeznáváme tyto druhy vnějších atmosfér:

- venkovská atmosféra tvořená malými městy, kde není výrazně znečištěné podnebí, nijak výrazně zde nepůsobí oxid siřičitý, chloridy ani další látky;
- městská atmosféra je hustě osídlená, ovšem bez velkých průmyslových objektů, oxid siřičitý je přítomný a způsobuje střední znečištění;
- průmyslová atmosféra je území tvořené průmyslovou činností, je zde velmi silné škodlivé působení oxidu siřičitého a ostatních látek.

Při celkovém pohledu na území České republiky se dá říci, že agresivita prostředí je poměrně nízká. Aktuálně se hodnota oxidu siřičitého pohybuje v rozmezí velmi dobré kvality ovzduší, to je okolo $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Oxid siřičitý nejen že znečišťuje ovzduší atmosféry, ale při reakci s dalšími složkami atmosféry dále oxiduje a vznikají tak síranové ionty, které podporují aktivní rozpouštění železa. Kromě oxidu siřičitého ovlivňují korozi kovů také tyto další látky:

- chloridy vznikající z posypových solí a přímořských atmosfér;
- tuhé látky (prach);
- amoniak, který způsobuje korozní praskání mosazí;
- oxidy dusíku a přízemní ozon

K rozvoji koroze velmi přispívá také činnost mikroorganismů a akumulace agresivních složek atmosféry v trvale vlhkých štěrbinách. V atmosféře, kde se provádí těžká průmyslová činnost a také v trvale vlhkém prostředí je nutná kvalitní údržba nátěrových systémů. Při špatné údržbě nátěrů bývá míra koroze velmi vysoká (VŠCHT 2016).



Obr. 11 - Koroze v atmosféře, mostní konstrukce (Zdroj: corrosion and Coatings Expo)

Koroze v kapalinách

Koroze v kapalinách se neprojevuje pouze ve vodě, ale také ve slabě koncentrovaných vodných roztocích s obsahem různých látek, které se do vody dostanou v přírodě nebo v průmyslu.

- Přírodní vody působí agresivně na vodní stavby a lodě, jejich vysoká agresivita se přenáší sekundárně na vody průmyslové a pitnou. Přírodní vody jsou veškeré vody vyskytující se v přírodě, vody sladké, mořské, minerální a brakické (0,5 až 30 g.l⁻¹).
- Průmyslová voda je upravená nebo neupravená přírodní voda, dělí se dle užití pro energetické účely (vždy upravené), chladicí (upravené i neupravené), technologické (vody, které jsou přidávány do technologických roztoků) a vody odpadní.

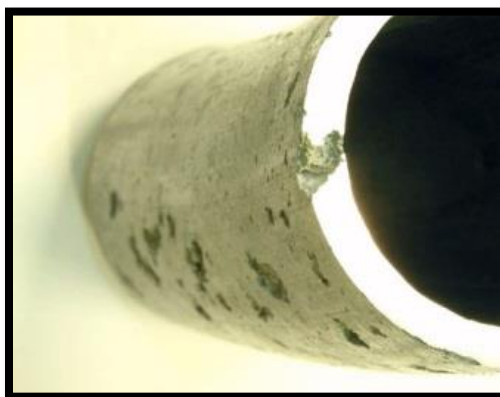
Pokud na kovový povrch působí zcela čistá voda, nedochází k žádnému závažnému koroznímu napadení. Za korozi probíhající ve vodách jsou odpovědny různé příměsi. Agresivita ve vodách je ovlivněna hlavně kyslíkem a dalšími plyny, dále různými druhy solí, organickými látkami, mikroorganismy, kyselostí, teplotou, rychlostí proudění obsahem pevných částic.

Z plynů je nejvýznamnější kyslík. Koroze ve vodě je ovlivněna rychlostí kyslíkové depolarizace. Pokud není zajištěn rovnoměrný přístup kyslíku na povrch

materiálu, vytvářejí se články s diferenční aerací a následkem je lokální napadení. Obsah kyslíku má i své výhody, podporuje totiž tvorbu ochranných vrstev. Pokud je jeho obsah dostatečný a rovnoměrný, může korozi omezovat.

Oxid uhličitý ve vodě způsobuje pokles pH a zvyšuje kyselost vody. Ve vodě pak probíhají i jiné druhy depolarizace než jen kyslíková. Totéž způsobuje i přítomný oxid siřičitý.

Ve vodě obsažené soli mění také pH roztoku a dále zvyšují vodivost, ovlivňují tvorbu vrstev na povrchu kovu a mohou být příčinou nerovnoměrných druhů korozi. Chloridy jsou velmi nebezpečné pro korozivzdorné oceli. Podporují tvorbu bodové, mezikrystalické a štěrbinové koroze, za vyšších teplot i korozní praskání. Nejčastěji podléhá bodové korozi ve vodách (Obr. 12) s obsahem soli hliník (VŠCHT 2016).



Obr. 12 - Bodová koroze hliníku ve vodě s obsahem chloridů (Zdroj: VŠCHT)

Koroze v půdě

Do půdy se převážně ukládají zařízení z oceli, litiny, jako například potrubí k dopravě plynu, vody nebo ropy. V menším měřítku jsou do země uloženy také součásti z olova (ve formě odpadu), hliníku, ve formě silových a telekomunikačních kabelů. V tomto případě jsou materiály většinou před nebezpečnými účinky prostředí ochráněny izolacemi a povlaky.

Agresivita půdního prostředí je závislá na soudržnosti a druhu samotné půdy, homogenitě, vlhkosti, kyselosti a chemickém složení půdního elektrolytu. Pokud by v půdě nebyla přítomna žádná vlhkost, bylo by korozní napadení zanedbatelné. Koroze tedy vzniká v půdách s přítomností půdního elektrolytu. Na vznik koroze má velký vliv propustnost půdy, více propustné půdy nejsou tolik nebezpečné, jako půdy nepropustné, tedy jílovité. Jílovité vody přímo vážou vodu.

Plyny obsažené v půdním elektrolytu jsou kromě jiného závislé na druhu půdy, ročním období, množství spadných srážek i hloubce. Čím větší hloubka, tím menší obsah kyslíku (VŠCHT 2016).

Mikrobiální koroze

Ve všech přírodních podmínkách jsou obsaženy různé typy organismů. Ve vodných roztocích mají mikroorganismy sklon připojovat se k povrchu pevných částic v okolí a růst na něm. Nejlépe se potom rozrůstají na všech konstrukčních materiálech, jako je beton (Obr. 13), dřevo, kovové materiály. Postupem času tak vzniká různě silná vrstva biofilmu. Mikroorganismy v biofilmu jsou stále aktivní a přímo tak ovlivňují korozní děje v základním materiálu (VŠCHT 2016).



Obr. 13 - Korozní produkt na betonové konstrukci (Zdroj: www.mmspektrum.com)

Koroze v betonu

Dokonce i stavební materiál, jako je beton podléhá korozi. Jedná se o pórovitý materiál, který se skládá z kameniva a betonového tmelu. Do tohoto materiálu se v rámci staveb zalévají ocelové výztuže. Uhlíková ocel se v čerstvém betonu chová pasivně, protože zásoba volného hydroxidu vápenatého vytváří v betonu pórový roztok, který ocel neustále samovolně pasivuje. Tím je způsoben velmi pomalý průběh koroze.

Agresivita pórového roztoku uvnitř betonu je dána přístupem oxidu uhličitého a chloridů až ke kovové výplni. Přístupem těchto látek klesá jeho pH a tím dochází k aktivaci ocele a výraznému zvýšení korozní rychlosti. Rychlost koroze je poté závislá na kvalitě samotného betonu a jeho vlhkosti.

Ocelová výztuž, která se před zabudováním do betonu nacházela delší dobu volně v atmosféře, je pokryta na povrchu rzi (Obr. 14). Tento ocelový díl po zalití do betonu zcela neprodleně začíná korodovat a rychlost postupu koroze je v tomto případě na hraniční úrovni (VŠCHT).



Obr. 14 - Předkorodovaná výztuž použitá při stavbě železobetonového mostu (Zdroj: VŠCHT)

Koroze v lidském organismu

Kovy jsou v současné době velmi často využívány pro náhrady orgánů v lidském těle. Tam jsou vystaveny většinou po delší dobu působení tělních tekutin. Tělní tekutiny ve většině případů obsahují chloridy, pH je v rozmezí 5,6 až 9, oxidační schopnost je dána kyslíkem a teplota se pohybuje okolo 37%.

Kovových materiálů se v lékařství využívá pro účely jako náhrady kloubů a kostí, fixace zlomenin, elektrody, pouzdra pro elektronická zařízení, zubní náhrady a výplně. Na kovové materiály jsou kladeny různé požadavky, například dobré mechanické a protikorozní vlastnosti. Protikorozní odolnost samotného použitého materiálu je velmi důležitá z hlediska nevhodných vlivů na lidský organismus. Tyto nežádoucí vlivy hrozí hlavně u chrómu, niklu, vanadu, mědi a rtuti.

Náhrada kyčelního kloubu a zubní protézy (Obr. 15) jsou nejčastěji a nejdéle exponované kovové součásti v lidském těle. Materiál vhodný pro použití na endoprotézy je austenitická korozivzdorná ocel, kobaltové slitiny a titanové slitiny. Musjí splňovat různé podmínky, například pevnost v tahu 650MPa, mez kluzu 500MPa, tažnost okolo 8% a korozní rychlost menší než 0,25 mm za rok. Pro zubní náhrady se nejčastěji využívá amalgámu a slitin zlata (VŠCHT 2016).



Obr. 15 - Amalgámová zubní náhrada (Zdroj: www.zubninahrada.cz)

Koroze ve vodných roztocích průmyslových elektrolytů

Kyseliny se vyznačují nízkou hodnotou pH. Agresivita jednotlivých kyselin je dána typem aniontu a také přítomností látek, které mohou mít oxidační účinky nebo mohou narušovat pasivní vrstvy. Přítomnost oxidovadel je škodlivá pro většinu druhů kovů, ale naopak, pro korozivzdorné oceli, pokud jejich dostatečné množství, může mít příznivé účinky. V průmyslových podmínkách je nejčastěji se vyskytující kyselina sírová, kyselina dusičná, kyselina chlorovodíková a kyselina fosforečná. Z organických kyselin je pak velmi nebezpečná kyselina octová.

Při rozpouštění soli v roztoku je značně ovlivněno pH. Hydrolýzou soli může vznikat roztok kyselý, který je pak velmi podobný a agresivní stejně jako kyselina s příslušným aniontem o stejném pH. Stejně tak je tomu i u alkalických roztoků, ty agresivitou odpovídají roztokům příslušných hydroxidů (VŠCHT 2016).

Agresivita solí je přímo úměrná růstu koncentrace. S vyšší koncentrací solí roste většinou i korozní agresivita.

5 PROTIKOROZNÍ OCHRANA

Proti nežádoucím vlivům atmosféry, vody, mikrobů a ostatních činitelů koroze se lze určitým způsobem bránit. Snížení nežádoucího působení koroze lze docílit pěti základními opatřeními:

- a. Volba konstrukčního materiálu
- b. Úprava korozního prostředí
- c. Elektrochemická ochrana
- d. Povlaky, úprava povrchu
- e. Konstrukční řešení

Pokud se zvolí vhodná ochrana, nemusí být jen jedna, lze volit i kombinace různých opatření, dosáhne se významného prodloužení životnosti materiálu. Nejdůležitější a nejefektivnější je správná volba konstrukčního materiálu a také samotné konstrukce součástí. Další v pořadí účinnosti ochrany materiálu je volba vhodných povrchových úprav, nátěrů a povlaků (Obr. 16). Elektrochemická úprava prostředí se používá jako doplňková ochrana (Klučková, 2013).

Tato diplomová práce se podrobně věnuje korozním zkouškám, konkrétně odtrhové zkoušce přilnavosti, a proto se tomuto tématu věnuje jen ve stručnosti.



Obr. 16 - Mostní konstrukce, protikorozní ochrana nátěrem (Zdroj: www.silnice-zeleznice.cz)

6 ZKOUŠENÍ A MONITORING KOROZE

Korozní procesy napříč celou atmosférou jsou vedeny různými zákonitostmi, v dnešní době a s dostupnými publikacemi i praktickými zkušenostmi je poměrně snadné odhadnout budoucí chování materiálu v korozním prostředí. K tomu slouží experimentální získávání informací.

Experimentální činnosti může být prováděna buď v laboratorních, nebo provozních podmínkách, z této činnosti získáváme spoustu informací o korozi a celý tento děj lze souhrnně nazvat korozní zkoušení.

Volba typu korozní zkoušky se vždy odvíjí od základního požadavku na zkoumání, o jaký typ korozního systému se jedná, jaký druh koroze se projevuje. Často jsou druhy korozních zkoušek normovány (VŠCHT 2016).

6.1 Druhy korozních zkoušek

6.1.1 Laboratorní zkoušky

Zkoušení a monitoring koroze v laboratořích (Obr. 17) probíhá většinou na vzorcích užitých materiálů a malých modelových objemech korozního prostředí, nikoli na skutečných strojních součástech. Pokud jsou správně a přesně dodrženy podmínky, lze toto měření považovat za poměrně přesné.

Zkoušení prováděné za účelem zvolení správného materiálu, vhodného umístění v prostředí, zjištění předpokládané životnosti materiálu v budoucnu apod. je zkoušení simulační, tedy co nejvíce napodobující skutečný korozní systém po celou dobu provádění zkoušky.

Rychlé odhalení korozní odolnosti se provádí pomocí zrychlených korozních zkoušek. Mají srovnávací a předběžný charakter. Rychlé dosažení výsledků je uskutečněno tím, že se výrazně zvýší hlavní faktor korozní agresivity, může to být například teplota, namáhání tahem, tlakem, výskyt některé velmi agresivní složky atmosféry. Výsledkem tohoto zkoušení je rozdělení korozních systémů na materiál – prostředí vhodné, méně vhodné a nepřijatelné. Materiál splňující podmínky musí být

ovšem před samotným použitím na konstrukci nebo strojní součást umístěn v provozu, samotné zrychlené zkoušky nepostačují pro správné rozhodnutí.

Při nepřímých korozních zkouškách se neměří stupeň napadení ani úbytek materiálu, ale s nimi související vlastnosti jako je tloušťka a soudržnost povrchového nátěru, mechanické vlastnosti materiálu nebo i jeho elektrický odpor (Gajdošík, 2015).



Obr. 17 - Laboratoř kovů a koroze - přístrojové vybavení (Zdroj: www.materials-research.cz)

6.1.2 Provozní zkoušky

Korozní zkoušky prováděné v provozu se provádějí přímo na strojních zařízeních, provozních konstrukcích, strojích, nebo na celém provozním závodě. Mohou se také provádět na vzorcích materiálu, který je použit přímo v tomto provozu. Vzorky se vytvoří z naprosto totožného materiálu, jako je zkoušená součást a umístí se ve stejných podmínkách, například ve výrobní hale (jaderný reaktor).

U provozních zkoušek se nijak nezkracuje doba umístění zkoušeného materiálu ve zkoušeném prostředí. Ani je žádným způsobem nezesilují účinky korozního prostředí. Jedná se většinou o dlouhodobou expozici (Gajdošík, 2015).

6.2 Důvody k uskutečnění korozních zkoušek

Existuje několik okruhů korozní problematiky, které jsou nutné zkoumat, a proto se provádějí korozní zkoušky. Nejdůležitější je provádění zkoušení z důvodů základního výzkumu. Ten je významný z hlediska získávání informací, vzdělávání se a pro tvorbu publikací o korozní problematice.

Dalším významným přínosem při provádění korozních zkoušek je vývoj nových konstrukčních materiálů a druhů protikorozní ochrany. Díky koroznímu zkoušení lze odhalit nejvhodnější chemické složení konstrukčního materiálu, ale také povrchové protikorozní ochrany. Lze tak vymýšlet nové kombinace druhů ochrany a navrhování nových materiálů pro povlaky.

Korozní zkoušky přinášejí značnou výhodu při volbě a výběru konstrukčního materiálu, který bude použit na strojní součást. Odhalí vhodný způsob protikorozní ochrany pro konkrétní aplikaci.

Velkým přínosem je kontrola odolnosti materiálů nebo kvality protikorozní ochrany před použitím protikorozního povlaku. Zde se zjistí, jak je materiál schopen přijmout povrchovou úpravu, nátěr nebo povlak. Jaká je odolnost tohoto ochranného povlaku v závislosti na přípravě kotvícího profilu.

Pomocí zkoušek můžeme zkontrolovat korozní stav, tzn., v jakém stádiu koroze se použitý materiál zařízení nachází. Toto lze zjistit jak při provozu, tak při odstávce stroje nebo strojní linky.

V neposlední řadě přináší korozní zkoumání zjištění, proč došlo k selhání materiálu. Zjistí se veškeré příčiny vzniku koroze, jak byla koroze silná, o jaký druh se jednalo, a co stálo za selháním (VŠCHT 2016).

6.3 Zákonitosti korozních zkoušek

6.3.1 Hodnocení pomocí vzhledu

Korozí napadený materiál mění svoje povrchové vlastnosti, což je patrné pouhým pohledem. Vizuální zhodnocení se provádí s korozním produktem a následně po jeho odstranění. Korozní napadení zasahující i mimo povrch materiálu, tedy trhliny,

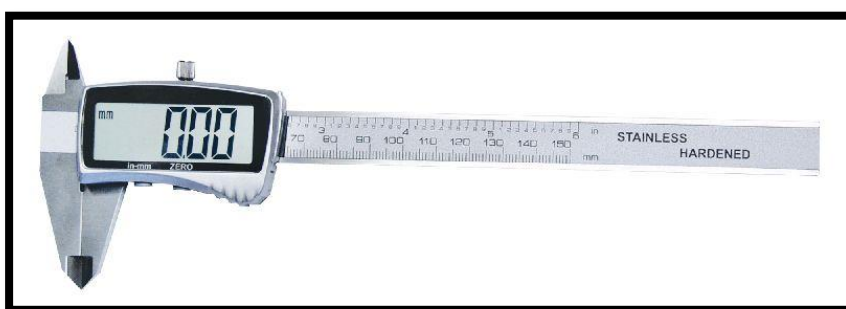
praskliny, body je možné zvýraznit různými látkami zvýrazňujícími, svítícími, nebo magnetickými. Hodnocení se provádí buď okem nebo pohledem pod lupou či mikroskopem. Pro místa nepřístupná se používá další výbava, jako například endoskop (Obr. 18). Vyhodnocuje se rozsah poškození a také kvantita. Dokumentuje se pomocí fotografií, videozáznamů nebo i náčrtů (VŠCHT 2016).



Obr. 18 - Endoskop sloužící pro odhalení koroze a poškození ve špatně přístupných místech (Zdroj: www.ges.cz)

6.3.2 Hodnocení pomocí rozměrových změn

K hodnocení rozměrových změn se používají mechanická měřidla například posuvné měřidlo (Obr. 19), defektoskopická měřidla (ultrazvuk, radiační měření). Měření se provádí většinou na stěně vzorku nebo zařízení. Pokud se jedná o nerovnoměrné napadení, měří se hloubka poškození. Dochází zde k identifikaci nebezpečného zeslabení materiálu součásti. Na zařízeních se také provádí úmyslné zeslabení materiálu, v místě, kde je korozní přírůstek tloušťky nejdříve spotřebován. Tím dojde k včasnému odhalení poruchy a údržba nebo oprava stroje je provedena ve správný čas, aniž by muselo dojít ke kompletní odstávce stroje (VŠCHT 2016).



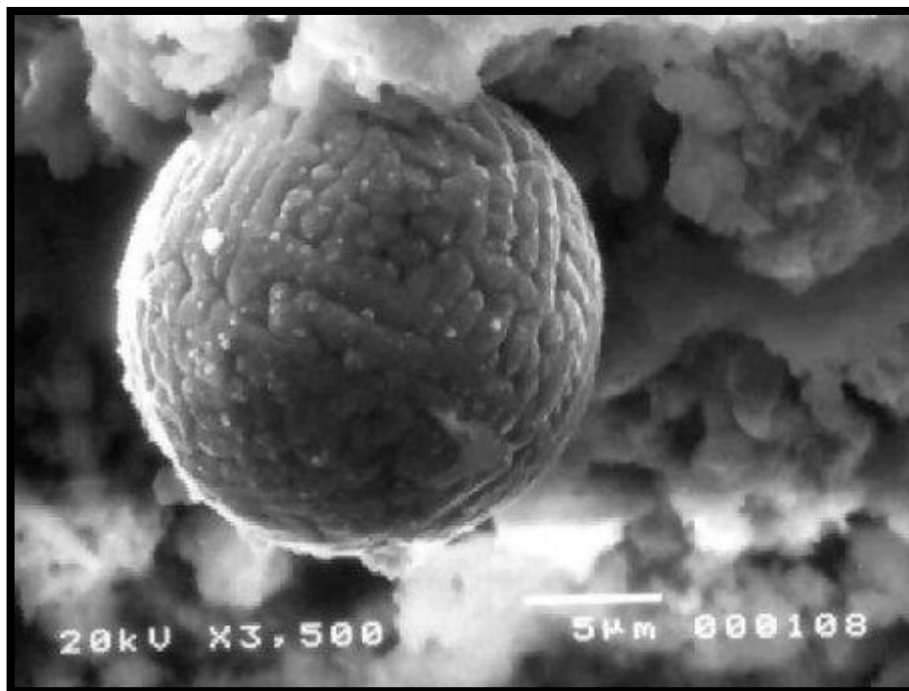
Obr. 19 - Posuvné měřidlo digitální (Zdroj: www.brufus.cz)

6.3.3 Hodnocení pomocí hmotnostních změn

Hmotnostní změny se sledují na zkoušených vzorcích tím způsobem, že se zváží hmotnost před expozicí a po ní. Rozdíl hmotnosti je výsledný úbytek materiálu. Metoda nejvíce vyniká při hodnocení rovnoměrné koroze. Čím déle je materiál v expozici, tím přesnější jsou výsledky měření. Tímto lze také určit, jakou závislostí se na korozi podílí čas. Před umístěním vzorku v korozním prostředí se tvar, velikost i povrch materiálu upraví, aby splňoval účel zkoušky. Po uplynutí expoziční doby v prostředí se vzorky upraví odstraněním korozního produktu, odstraňování produktu se provádí dle norem, aby nedošlo k úbytku neporušeného materiálu (VŠCHT 2016)

6.3.4 Hodnocení metalografické

Toto hodnocení vede k určování charakteru korozního napadení. Metoda je zejména vhodná pro hodnocení nerovnoměrné koroze, pro hodnocení její kvality a kvantity a také pro hodnocení povlaků a povrchových nátěrů. Toto zkoumání se provádí vizuálně, ať už pouhým pohledem, tak pohledem pod lupou nebo mikroskopem (Obr. 20).



Obr. 20 - Rez na uhlíkové oceli - pod mikroskopem (Zdroj: www.mmspektrum.com)

6.3.5 Změny mechanických vlastností

Hodnotí, jak se změní mechanické vlastnosti materiálu vzorků po dlouhodobé expozici v daném korozním prostředí. Materiál může ztratit své původní mechanické vlastnosti.

6.3.6 Změny složení korozního prostředí a zkoumání složení korozních produktů

Sledováním složení korozního prostředí lze určit různé rozpustné produkty koroze, dále látky zrychlující nebo zpomalující korozní proces. Dle korozních produktů vznikajících na povrchu materiálu lze odhadnout příčinu koroze. K tomuto zkoumání slouží sondy. Ty stanovují množství vyloučeného vodíku.

6.3.7 Hodnocení dle elektrochemických metod

Toto vyhodnocení se odvíjí od závislosti mezi korozním potenciálem a proudem, který prochází skrz kovový povrch. Jaké změny nastávají z hlediska času. Oxidační podmínky ve vrstvě elektrolytu, která se tvoří na povrchu, se měří pomocí samovolného korozního potenciálu. Díky průchodu elektrického proudu se korozní potenciál mění a určuje se rychlost koroze, možná pasivovatelnost kovu i maximální potenciálové podmínky užití. Základním přístrojem pro elektrochemické pozorování korozního napadení materiálů slouží potenciostat. V laboratorních i provozních podmínkách se nejčastěji uplatňuje metoda měření pomocí lineární polarizace, výsledkem je naměřený polarizační odpor R_p .

6.3.8 Hodnocení dle fyzikálních metod

Fyzikální vyhodnocování míry korozního znehodnocení spadá do nedestruktivního zkoušení materiálů.

Mezi akustické metody se řadí velmi jednoduchá zkouška zvukové celistvosti. Při poklepu kladivem na zkoumaný materiál zaznamenáváme změny odezvy. Ultrazvukové metody nejlépe určují změny v tloušťce materiálu a také zaměření nerovnoměrností korozních poškození.

Pro zkoumání a okamžité odhalování trhlin slouží akustická emise, ta zkoumá akustické signály, které trhliny a praskliny vysílají.

Radiační metody mají výhodu v tom, že dokáží odhalit vady uvnitř materiálu a zároveň určit změny tloušťky materiálu.

Odporová metoda je univerzální metoda zkoumání korozního poškození, použitelná do všech typů prostředí. Jedná se o dlouhodobou metodu zkoušení a výsledky udávají nahromaděnou míru znehodnocení. Na rozdíl od toho magnetické a elektromagnetické hodnotící metody dokážou kromě rozsahu poškození určit také rozměry a zaměřit přesný výskyt vad. Mezi další fyzikální metody hodnocení korozního poškození patří například hodnocení pomocí infračerveného spektra, hydrostatické a pneumatické zkoušky celistvosti, piezoelektrický jev (VŠCHT 2016).

6.4 Příprava vzorků a podmínky provedení zkoušky

Je důležité znát konkrétní chemické složení samotného zkoušeného materiálu, poté z materiálu odebereme vzorek, na kterém se korozní zkoušení bude provádět. Připravený vzorek bude procházet jistými úpravami, například u plechů ustřížení z velkých tabulí, tím se do materiálu vnáší napětí. Vzorek může být opatřen různými povrchovými úpravami, tepelným i mechanickým zpracováním.

Je nutné, aby hrany vzorků ke zkoušení byly obroušeny a zaobleny. Rozměry zkoušených vzorků nejsou nijak omezeny, v praxi platí, čím větší plocha ke zkoušení, tím lepšího výsledku zkouška dosáhne.

Zkoušené vzorky musí být řádně opatřeny pořadovým číslem. Součástí přípravy korozních zkoušek je naprosté očištění a odmaštění povrchu, vzorky by se měli uchovávat v laboratorních podmínkách v bezprašném prostředí a mělo by se s nimi zacházet velice opatrně, nejvhodnější na přemísťování je použití rukavic. Jednotlivé vzorky musí být od sebe odděleny, nesmí se dotýkat.

Korozní zkoušení a monitoring probíhá nejčastěji v těchto délkách trvání: 24 hodin, 3 dny, 7 dní, 14 dní a 28 dní, stanoveno dle normy ČSN (Klučková, 2013).

7 ODRHOVÁ ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI

Diplomová práce se zaměřuje na odtrhovou zkoušku přilnavosti dle české technické normy ČSN EN ISO 4624. „*Tato norma stanovuje metody hodnocení přilnavosti jednovrstvých nebo vícevrstvých nátěrových systémů připravených z nátěrových hmot měřením minimálního napětí v tahu potřebného k oddělení nebo odtržení nátěru ve směru kolmém k podkladu. Výsledek zkoušky neovlivňují pouze mechanické vlastnosti zkoušeného nátěrového systému, ale také druh a způsob přípravy podkladu, způsob nanášení nátěrových hmot, podmínky zasychání, teplota a vlhkost vzduchu a další faktory, jako typ použitého zkušebního přístroje*“ (ČSN EN ISO 4624, 2003, str. 6).

Norma slouží jako návod, jak stanovit přilnavost pomocí odtrhové zkoušky. Tento typ zkoušky je vhodný pro srovnávání adheze různých druhů nátěrů.

7.1 Princip zkoušky

Zkoušený druh nátěrového systému se nanese v rovnoměrné vrstvě na zkušební vzorek, který je většinou rovinný a má stejnou strukturu povrchu.

Po kompletním vytvrzení nátěru, se na vzorky přilepí zkušební tělíska se speciálními předepsanými rozměry, dle použitého trhacího zařízení. Tělíska se přilepí přímo na natřenou plochu vzorku.

Lepidlo se nechá tvrdit tak dlouho, jak uvádí návod k použití lepidla, poté se každé jednotlivé tělísko uchytí do zvoleného trhacího zařízení, tzv. odtrhoměru. Trhací zařízení vyvozuje na zkušební tělísko tahovou sílu, zároveň ji zobrazuje na displeji, většinou v MPa. V okamžiku odtržení zkušebního tělíska se zaznamená maximální potřebná síla k odtržení nátěrového systému. Dle normy ČSN EN ISO 4624 „*Výstupem této zkoušky je naměřená hodnota napětí v tahu, která je nutná pro poškození nejslabšího rozhraní (adhezní porušení) nebo nejslabší složky (kohezní porušení) zkušební sestavy. Mohou nastat oba druhy porušení, adhezní i kohezní*“ (ČSN EN ISO 4624, 2003, str. 7).

Pro regulérnost této zkoušky musí být zaznamenány tyto informace:

- z čeho je podkladový materiál složen, jaká je jeho tloušťka a jak je upraven povrch,
- jakým způsobem byl aplikován nátěrový systém nebo zkoušený povlak na podkladový materiál,
- jak dlouho měl možnost nátěrový systém zasychat a v jakých podmínkách byl sušen přirozeně anebo pomocí vypalování,
- jaká je tloušťka zaschlého nátěru v μm , je nátěrový systém aplikován v jedné nebo více vrstvách,
- lepidlo pro lepení zkušebních tělísek, jakého bylo druhu, jednosložkové nebo dvousložkové, v jakých podmínkách je nutné lepidlo vytvrzovat,
- jak dlouho je nutné nalepené zkušební tělíska ponechat v expozici korozního prostředí předtím, než dojde k odtrhu,
- jaká je teplota a vlhkost korozního prostředí v době expozice vzorků (ČSN EN ISO 4624, 2003).

7.2 Zařízení pro odtrhovou zkoušku

7.2.1 Tahové zkušební odtržení

Vhodné zařízení k odtrhu se volí dle požadavků samotné odtrhové zkoušky. Síla působící na zkušební tělíska při odtrhu musí být v tahu a ve směru kolmém ke zkušebnímu vzorku, respektive k jeho rovině. Tahová síla se zvyšuje rovnoměrně plynulou rychlostí, do odtržení zkušebního tělíska a porušení nátěrového systému by mělo dojít maximálně do 90 vteřin. K odtrhu může dojít i pomocí jiných přístrojů k tomuto určeným, například zařízení mechanická, ruční, pneumatická. Druh použitého zařízení musí být vždy uveden v protokolu o provedení korozní zkoušky.

7.2.2 Zkušební tělíska

Zkušební tělíska jsou nejčastěji zhotovena z hliníku nebo oceli, rozměry a konstrukční řešení tělíska jsou speciálně předepsány dle užitého odtrhového přístroje. Pro každé zařízení je jiný předepsaný tvar. Pro spojení se zkušebním vzorkem (například plech), pomocí lepidla nebo nátěru, je tělíska opatřena rovnou pevnou

plochou, která slouží jako základna. Na druhé straně je tělísko opatřeno profilem pro uchycení do trhacího zkušebního zařízení. Zkušební tělísko má jmenovitý průměr 20 mm. Tělísko musí být konstruované tak, aby bylo dostatečně pevné a při odtrhu nemohlo dojít k žádné deformaci, ani poškození. Čelní plochy zkušebních tělísek musejí být podrobeny povrchové úpravě ve formě obrobení, aby byly naprosto kolmé jak k lepenému povrchu, tak k odtrhovému zařízení.

7.2.3 Centrovací přípravek

K zajištění koaxiální polohy celé sestavy pro odtrhovou zkoušku slouží různé upínací a centrovací prvky. K zajištění polohy se může použít například centrovací kolík.

7.2.4 Řezný nástroj

Před provedením samotného odtrhu je nutné provést oříznutí zkušební tělíska. Oříznutí musí projít skrz nátěrový systém až na základní zkušební materiál. To se provádí pomocí ostrého nože nebo pomocí speciálního ořezávacího nástroje, kterým jsou některé odtrhové přístroje vybaveny. V protokolu o provedení korozní zkoušky musí být opět uvedeny všechny okolnosti oříznutí, jaký nástroj byl použit, jakým způsobem se zkušební tělísko ořízlo (ČSN EN ISO 4624, 2003).

7.3 Lepidla

Volba vhodného lepidla pro zkoušení je velmi důležitá pro samotné zkoušení. Aby byla zkouška úspěšná a došlo k poškození nátěrového systému, je nutné, aby kohezní vlastnosti a přilnavost lepidla byly vyšší než tyto vlastnosti samotného nátěrového systému nebo povlaku.

V úvodu je nutné zjistit informace o možných použitých lepidlech, zjistit, zda jsou pro tyto účely vhodné. Lepidla musejí splňovat vlastnosti, jako je chemické složení, které během doby expozice nijak nezmění ani neovlivní nátěrový systém ani zkušební materiál.

Preferují se lepidla, které dosáhne nejvyšších možných výsledků odtrhu, to znamená lepidla, která mají co nejvyšší pevnost v tahu. V tomto případě se většinou dostaví adhezní porušení mezi nátěrovým systémem a základním materiálem.

Vhodná jsou lepidla na bázi kyanakrylátů, bezrozpuštědlových dvousložkových epoxidů a polyesterové s peroxidovým katalyzátorem. Podmínky, ve kterých bude odtrh prováděn, hrají velmi významnou roli. Například pokud dojde k odtrhu ve významně vlhkém prostředí, je vhodné použití dvousložkových epoxidových lepidel, která mají rychleschnoucí vlastnosti (ČSN EN ISO 4624, 2003).

7.4 Zkušební vzorky

7.4.1 Zkušební podklady

Vybírá se vždy jeden z podkladů uvedený v ISO 1514. Nejlepší je volba stejného materiálu, jako materiál, který bude použit na výrobu součásti v praxi. Vzorek ke zkoušení musí být bez deformací a rovný.

7.4.2 Příprava a nanesení nátěru

Vzorek se připraví dle toho, jaká je výchozí povrchová úprava na materiálu součásti použité v praxi. Zkušební vzorek se upraví obdobnými povrchovými úpravami, a tyto úpravy se musejí zaznamenat do protokolu o provedení korozní zkoušky.

7.4.3 Sušení

Vzorky opatřené nátěrovým systémem se suší po stanovenou dobu dle návodu k použití nátěrového systému. Sušení může probíhat v přirozených podmínkách nebo v pecích (vypalování). I podmínky, kde sušení probíhá, stanovuje návod k použití. Nejlepší podmínky pro sušení jsou tzv. laboratorní podmínky, to je podmínky se stálou teplotou a vlhkostí (23 ± 2 °C, 50 ± 5 %). Doba sušení se doporučuje minimálně 16 hodin.

7.4.4 Tloušťka povlaku

Vhodná tloušťka povlaku je dána předem, stanovena zainteresovanými stranami. Provádí se měření tloušťky suchého nátěru dle normy ISO 2808. Měřit se může například digitálním přístrojem ELCOMETER. Naměřená hodnota se zobrazí v μm přímo na displeji neprodleně po přiložení měřicí sondy (Gajdošík, 2015).

7.5 Postup odtrhové zkoušky přilnavosti

Aby byly výsledky odtrhové zkoušky kompetentní, musí být odtrh proveden minimálně v šesti opakováních.

7.6 Zkušební podmínky

Podmínky zkoušení jsou dle ČSN stanoveny jako laboratorní podmínky, to je při teplotě cca 23 °C a relativní vlhkosti cca 50 %. Teplotní podmínky se také ale v rámci výzkumu mohou měnit, jako je tomu zrovna v případě této diplomové práce.

7.7 Lepidlo

Lepidlo se připraví a aplikuje dle návodu k použití od výrobce. Aplikace probíhá tak, aby bylo použito co možná nejmenší množství lepidla, ale zároveň, aby na zkušebním tělísku byla souvislá nepřerušovaná vrstva. Nejlepší možností se jeví kápnutí lepidla do středu zkušební panenky a rozetření stěrkou po celém povrchu tak, aby vznikla souvislá tenká vrstva. Musí dojít k pevnému a souvislému spojení zkoušeného vzorku a zkušebního tělíska (ČSN EN ISO 4624, 2003).

7.8 Zkušební ustanovení

Zkouška může probíhat dvěma způsoby a to buď se dvěma zkušebními tělísky umístěnými na tuhých nebo deformovatelných podkladech, nebo s jedním zkušebním tělískem pouze pro tuhé podklady.

Experimentální část této diplomové práce se věnuje odtrhové zkoušce s jedním zkušebním tělískem na pevném podkladu. Postup je následující:

- suchý, nenatřený a očištěný povrch se aplikuje rovnoměrná vrstva lepidla,
- zkušební tělísko s vrstvičkou lepidla se umístí na nátěrem opatřený zkušební vzorek,
- zkušební tělísko se nechá na nátěru přilepené po předepsanou dobu vytvrzení lepidla,
- pokud není nijak prodloužena doba expozice, na konci doby tvrzení se tělísko velmi opatrně ořízne pomocí řezného nástroje, až na základní materiál,
- vnější kruh odtrhoměru se umístí do správné polohy a provede se odtrh.

7.9 Měření

7.9.1 Odtrhová pevnost

Po předepsané době vytvrzování lepidla se ihned na zkušební tělíska připevní celá soustava trhacího zařízení. Zkušební tělíska musí být rozmístěna rovnoměrně, aby se tahová síla přenášela pouze rovnoměrně po celé zkoušené ploše bez ohybového momentu.

Napětí v tahu, které na tělíska působí, se zvyšuje plynulou rychlostí menší než 1MPa/s, kolmo k rovině zkušební vzorku opatřeného nátěrovým systémem, k odtržení sestavy tělíska – vzorek dojde nejpozději do 90. vteřiny od začátku působení tahového napětí. Přístroj zaznamenává tahovou sílu potřebnou k odtržení zkušebního tělíska. Zkouška se opakuje s každou sestavou zkušebního tělíska a vzorku.

7.9.2 Typ porušení

Charakter porušení se zjistí vizuální kontrolou. Pohledem se prohlédne místo poškození povrchu, jak na zkušebním tělísku, tak na zkušebním vzorku. To se může provést i pod lupou. Následně se vyhodnotí typ narušení (ČSN EN ISO 4624, 2003).

Tab. 1 - Typ korozního porušení (Zdroj: Vlastní zpracování)

Značka porušení	Charakter porušení
A	Kohezní porušení v podkladu
A/B	Adhezní porušení mezi podkladem a první vrstvou
B	Kohezní porušení první vrstvy
B/C	Adhezní porušení mezi první a druhou vrstvou
n	Kohezní porušení n. vrstvy vícevrstvého nátěru
n/m	Adhezní porušení mezi n. a m. vrstvou vícevrstvého nátěru
-/Y	Adhezní porušení mezi poslední vrstvou a lepidlem
Y	Je kohezní porušení v lepidle
Y/Z	Adhezní porušení mezi lepidlem a tělískem

Pro každý typ se odhadem určí plocha poškození s přesností na 10%.

Pokud se projeví minimální soudržnost lepeného spojení, musí se překontrolovat příprava i aplikace nátěru i lepidla. Provede se opětovné zkoušení.

7.10 Výpočet a vyjádření výsledků odtrhové zkoušky

7.10.1 Odtrhové napětí

Odtrhové napětí σ se udává v megapascálech a je dáno rovnicí:

$$\sigma = \frac{F}{A}; \quad (4.1)$$

kde F je odtrhová síla v [N] a A je plocha zkušebního tělíska v [mm²].

Pokud je zkušební tělísko o průměru 20 mm, je odtrhová pevnost dána rovnicí:

$$\sigma = \frac{4F}{400\pi} = \frac{F}{314}; \quad [MPa]; \quad (4.2)$$

dle naměřených hodnot každého měření se vypočítají odtrhové pevnosti, z nich se potom vypočítá průměr a zaokrouhlí na nejbližší celé číslo.

7.10.2 Typ porušení

Výsledek se vyjádří jako odhad procentuálního podílu plochy a typu porušení zkoušené sestavy vzorek – tělísko. Jako příklad lze uvést nátěrový systém, který se poškodí při tažné síle 20 MPa, po vizuální kontrole lomů se zjistí, že 30% plochy zkušebního tělíska je kohezní lom první vrstvy nátěru a 70% plochy zkušebního tělíska náleží adhezivnímu lomu mezi první a druhou vrstvou nátěru, poté se výsledek odtrhové zkoušky stanoví jako:

20 MPa, 30% B, 70% B/C.

7.11 Shodnost

Dle normy ČSN EN ISO 4624 „*Uživatel této mezinárodní normy si musí být vědom toho, že hodnocení místa, ve kterém roztržení nastalo a charakter porušení je subjektivní. Shodná data jsou dána pouze údaji o přesnosti metody.*

Metoda byla shledána užitečnou při porovnání přilnavosti různých nátěrů. Je nejvhodnější při provádění relativního hodnocení pořadí sérií natřených zkušebních vzorků, které vykazují významné rozdíly v přilnavosti“, (ČSN EN ISO 4624, 2003, s. 13)

7.12 Protokol o zkoušce

Protokol o provedení odtrhové zkoušky musí obsahovat tyto náležitosti:

- všechny informace zjištěné o zkoušeném materiálu,
- odkaz na normu ČSN EN ISO 4624,
- dodatečné informace uvedené v kap. 4. 1,
- odkaz na mezinárodní nebo národní normu; specifikace výrobku nebo jiný dokument poskytující další informace k dodatečným informacím uvedeným výše,
- jaký typ předúpravy podkladu byl vybrán,
- celková tloušťka nátěrového systému,
- druh odtrhoměru a rozměry zkušebního tělíska,
- druh řezného nástroje použitého k oříznutí tělíska,
- výsledky zkoušky,
- všechny rozdíly od stanoveného zkušebního postupu,
- datum zkoušení (ČSN EN ISO 4624, 2003).

8 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část práce se zaměřuje na provedení odtrhových zkoušek přilnavosti v rozdílných teplotních podmínkách u různých nátěrů a zkoumání, zda proměnlivost teploty ovlivní pevnost v odtrhu.

Zkoušky byly provedeny dle normy ČSN EN ISO 4624, která je podrobně popsána v přechozí kapitole.

Pro experimentální část byly nakoupeny materiály na zkušební vzorky, tabulový plech o tloušťce 0,8 mm z oceli S235JR a tyče Ø20 o délce 1000mm, z materiálu AlCuMg1. Z materiálů byly vyrobeny součásti odpovídající vzorkům a zkušebními tělískům, požadovaným v této zkoušce. Vzorky byly opatřeny kotvicím profilem – otryskáváním. Ihned poté byly opatřeny třemi různými nátěry a to epoxidovým nátěrem, nátěrem vinylovým a syntetickým. Týden se nátěr vytvrzoval ve vhodných podmínkách. Dosedací plochy zkušebních tělísek byly jemně křížně obroušeny brusným papírem (zrnitost 258), očištěny a nalepeny. Takto se týden nechaly ve vhodných laboratorních podmínkách. Den před odtrhem se část vzorků s nalepenými zkušebními tělísky přemístila do mrazničky s teplotou -15°C. V den odtrhu se další část přesunula na přímé slunce a poslední část byla ponechána v laboratorních podmínkách. Poté byly prováděny jednotlivé odtrhy a zapisovány podmínky měření.

8.1 Volba zkoušeného materiálu

Volba materiálu v tomto případě nebyla stěžejní věcí, protože se práce zaměřuje na výzkum různých nátěrů a vlivu teploty na odtrh. Materiál v tomto případě nehraje rozhodující roli (viz. kap. 5.2).

Zakoupené tyče z materiálu AlCuMg1 byly i se vzorkem zkušebního tělíška předány pracovníkovi, obsluhující soustruh na obrábění kovových materiálů. Na výrobu 100 ks zkušebních tělísek byly zakoupeny 3 tyče o délce 1000 mm. Hotové vysoustružené zkušební tělíška (panenky), byly potom jemným brusným papírem obroušeny v místě budoucího lepení.

8.2 Příprava materiálu

Plechý z konstrukční ocele S235JR o velikosti 2 x 1 m a tloušťce 0,8 mm byly nastříhány na tabulových nůžkách na vzorky o rozměru 70 x 160 mm. Bylo nutné je opatřit vhodnou povrchovou úpravou.

8.2.1 Tryskání

Též bývá nazýváno pískování nebo otryskávání. Je to proces, který se provádí k opracování povrchu různých materiálů, nejčastěji kovových. Spočívá v tryskání jemných abrazivních částic na povrch materiálu. Nejčastěji se jako abrazivní částice používají ocelové broky, křemičitý písek, korund, ocelová drť, litinová drť, struska.

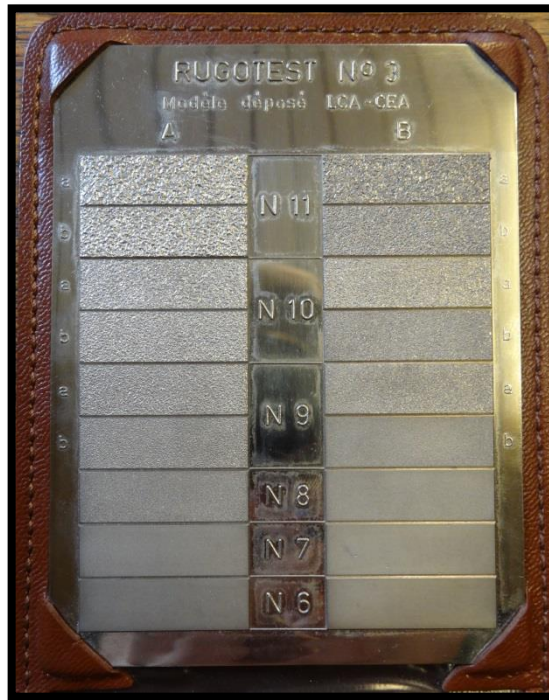
Tryskání se používá jako dokončovací metoda ve strojírenské výrobě u odlitků nebo pro povrchovou úpravu před nanášením nátěrových systémů. Abrazivní částice jsou unášeny stlačeným vzduchem, což je tlakovzdušné tryskání, nebo mechanickým metáním pomocí rotujících lopatek (Wikipedia, 2015).

Plechý použité jako vzorky v této diplomové práci byly odvezeny do společnosti Kroma, s. r. o. v Brně. Je to společnost zabývající se povrchovými úpravami tryskáním a pískováním ocelových konstrukcí, kovových dílů (Obr. 21), železobetonových konstrukcí a dřevěných prvků. Společnost nabízí i aplikaci nátěrových systémů na všechny zmíněné povrchy jako účinnou protikorozi ochranu; (Kroma, s. r. o., 2016).



Obr. 21 – Příklad původně zkorodovaných součástí po otryskání (Zdroj: Vlastní zpracování)

Otryskání se hodnotí dle porovnávací metody Rugotest, která udává drsnost povrchů a kotvící profil kovových materiálů. Hodnocení povrchu a srovnání s Rugotestem, (který není normalizovaný, ale je celosvětově uznávaný) probíhá vizuálně a dotekem. Rugotest je opatřen vzorkovnicí jednotlivých drsností s označením.



Obr. 22 - Rugotest, (Zdroj: Vlastní zpracování)

Dle Rugotestu byla zvolena drsnost povrchu N9b – B. Proběhlo tryskání vzorků pomocí vysokopecní strusky. Tato struska je ostrohranná. Bylo použito tryskání pomocí stlačeného vzduchu. Na obrázku (Obr. 23) je srovnání výsledného produktu otryskání s Rugotestem.



Obr. 23 - Porovnání hotového vzorku s Rugotestem (Zdroj: Vlastní zpracování)

Samotné tryskání probíhalo v zastřešeném halovém objektu, vyškoleným pracovníkem. Na obrázku (Obr. 24) je vidět prostředí, ve kterém se tlakové tryskání provádí. Pracovník vykonávající tuto činnost musí užívat ochranné pomůcky. Jedná se o velmi náročnou práci.

Poznámka: samotná práce se provádí na roštovém pevném podkladu. Za normálních okolností se otryskávají mnohem větší součásti, proto měl pracovník ztížené

podmínky. Vzorky byly malých rozměrů a velmi lehké, z toho důvodu si je pracovník musel při otryskávání přidržovat, což velmi ztěžovalo práci (Obr. 26).



Obr. 24 - Prostředí, kde probíhá otryskávání (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obr. 25 - Vzorky připravené k otryskání (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obr. 26 - Samotné tryskání (Zdroj: Vlastní zpracování)

8.2.2 Aplikace nátěrového systému

Po otryskání byly vzorky přeneseny do lakovny. Se vzorky se zacházelo pouze v ochranných rukavicích, aby nedošlo k jejich znečištění mastnotou. Zde byly rozděleny na třetiny a každá třetina opatřena jiným druhem nátěrového systému.

- Šedý nátěr – Hempadur fast dry 174 10 – Jedná se o nátěr vhodný pro ochranu a údržbu ocelových konstrukcí. Hempadur je dvousložkový, epoxidový nátěr. Minimalizuje vznik bublinek a pórů v nátěru. Složení kombinuje vysoký obsah sušiny při velmi krátké době vytvrzení. Zcela vytvrzený je po 7 dnech při teplotě 20 °C.



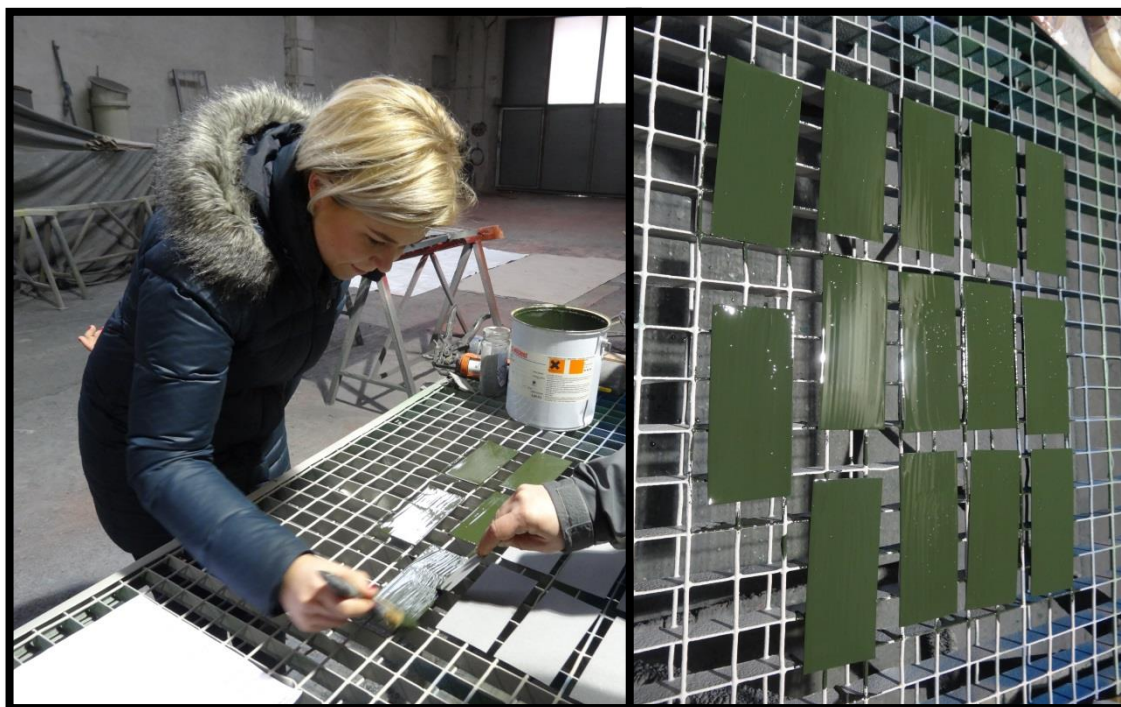
Obr. 27 - Aplikace nátěrového systému Hempadur fast dry (Zdroj: Vlastní zpracování)

Hempadur byl na vzorky aplikován pomocí tlakové stříkací pistole (Obr. 27).



Obr. 28 - Hotový nátěr a měření tloušťky mokrého nátěru (Zdroj: Vlastní zpracování)

- Zelený nátěr – Wilconyl PSHD – jedná se o fyzikálně zasychající vinylový nátěrový systém. Vhodný pro vysoko vrstvý vrchní nátěr.



Obr. 29 - Aplikace nátěrového systému Wilconyl (Zdroj: Vlastní zpracování)

Má aktivní antikoroziční vlastnosti. Aplikace byla provedena ručním natřením pomocí štětce (Obr. 29).

- Bílý nátěr – Rokoprim Container RK 103 – antikoroziční rychle zasychající základní nátěrový systém. Na bázi alkydových pryskiřic. Neobsahuje těžké kovy, je tedy šetrný k životnímu prostředí. Nátěrový systém byl aplikován opět pomocí stříkací tlakové pistole (Obr. 30).



Obr. 30 - Aplikace syntetického nátěru a měření tloušťky mokrého nátěru (Zdroj: Vlastní zpracování)

Po aplikaci všech nátěrů byly vzorky ponechány v ideálních podmínkách pro vytvrzení v prostorách lakovny, která je temperovaná na vhodnou teplotu se zabezpečeným prouděním vzduchu. Po týdnu byly vzorky převezeny do univerzitní dílny a pod ochrannou plachtou ponechány další týden pro kompletní vytvrzení nátěrových systémů.

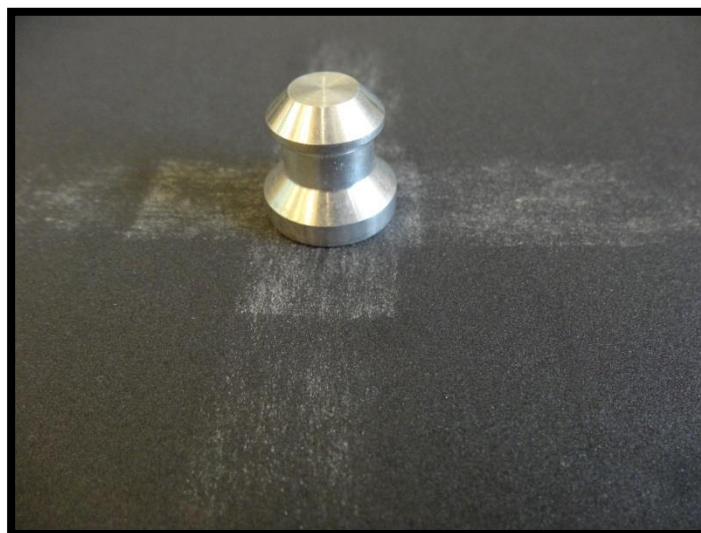
8.2.3 Broušení a čištění zkušebních tělísek

Zkušební tělíska vyrobená (Obr. 31) dle předepsaných rozměrů, které jsou doporučeny při práci se zvoleným odtrhoměrem, bylo nutné před samotným lepením připravit.



Obr. 31 - Vyrobená zkušební tělíska (Zdroj: Vlastní zpracování)

Styčná plocha zkušebního tělíska i vzorku plechu musí být jemně obroušena smirkovým papírem (Obr. 32), aby byl vhodně připraven povrch pro přilepení.



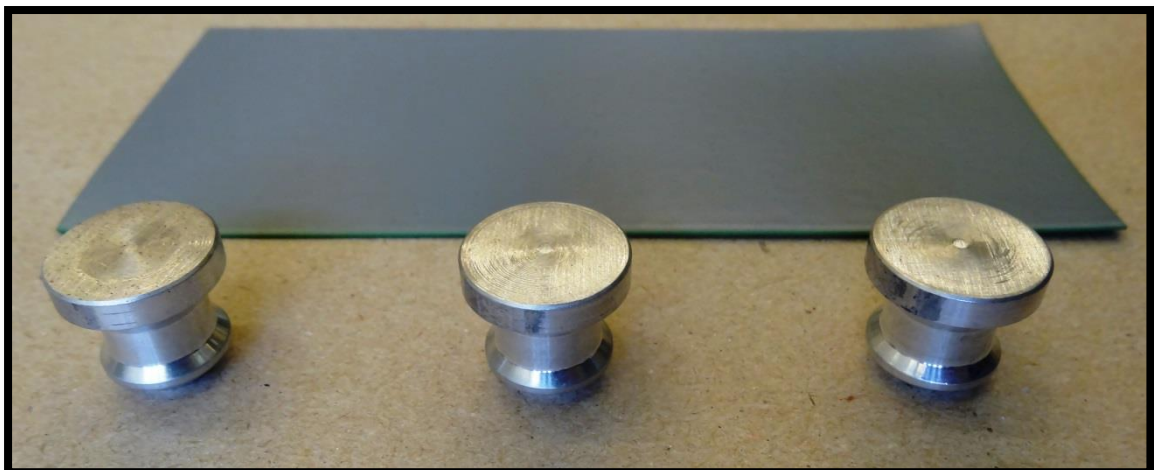
Obr. 32 - Broušení zkušebního tělíska (Zdroj: Vlastní zpracování)

Zkušební tělísko bylo obroušeno v křížném směru, za účelem vytvoření vhodného kotvícího profilu. Použitý smirkový papír byl o zrnitosti 280.

Obroušené panenky bylo třeba řádně očistit. K tomu byl užitý stlačený tlakový vzduch (Obr. 33), který zajistí naprostou čistotu zkušebního tělíska, (odstraní prach a nečistoty).



Obr. 33 - Čištění obroušených zkušebních tělísek (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obr. 34 - Vzorky připravené k lepení (Zdroj: Vlastní zpracování)

8.3 Lepení zkušebních tělísek

8.3.1 Lepidlo

Lepidlo zvolené pro lepení zkušebních tělísek je sekundové univerzální lepidlo Loctite super attack (Obr. 35). Toto lepidlo je určeno pro univerzální použití, které slepí spoj již po pár vteřinách. Lepidlo je voděodolné a je vhodné pro lepení porcelánu, kovu, gumy, kůže, dřeva, plastů a papíru. Lepidlo neobsahuje žádná rozpouštědla a po vytvrzení je průhledné. Slepěný spoj poskytuje velmi pevné spojení (Loctite and Teroson, 2016).



Obr. 35 - Lepidlo Loctite super attack
(Zdroj: Vlastní zpracování)

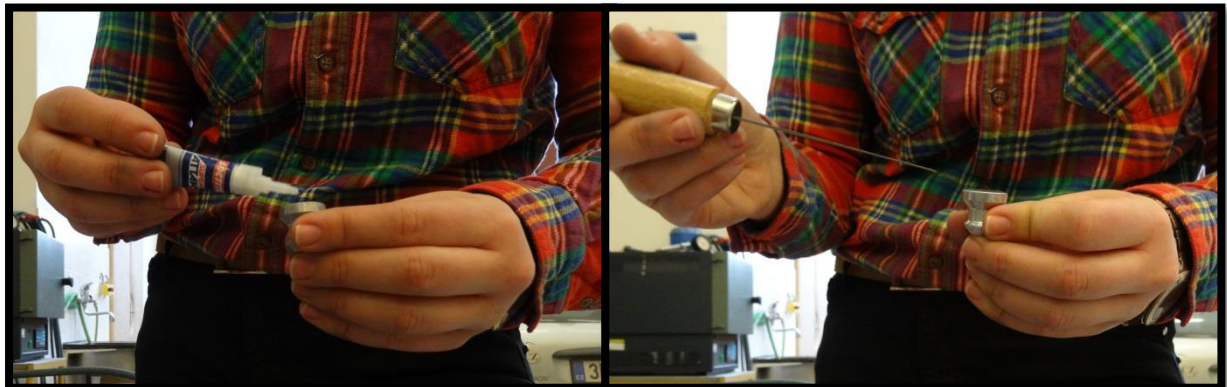
8.3.2 Lepení

Lepení se provádělo aplikací kapky lepidla přímo z tuby na střed zkušebního tělíska. Po kápnutí kapky lepidla bylo nutné ho stěrkou rozetřít co nejrychleji po celém povrchu styčné plochy tak, aby vytvořilo souvislou tenkou vrstvu. Obecně platí, že čím tenčí vrstva, tím lepší spojení. Podmínkou je to, že vrstva musí být dokonale souvislá. Jako stěrka byla použita klasická úzká špachtle (Obr. 36).



Obr. 36 - Stírací špachtle (Zdroj: Vlastní zpracování)

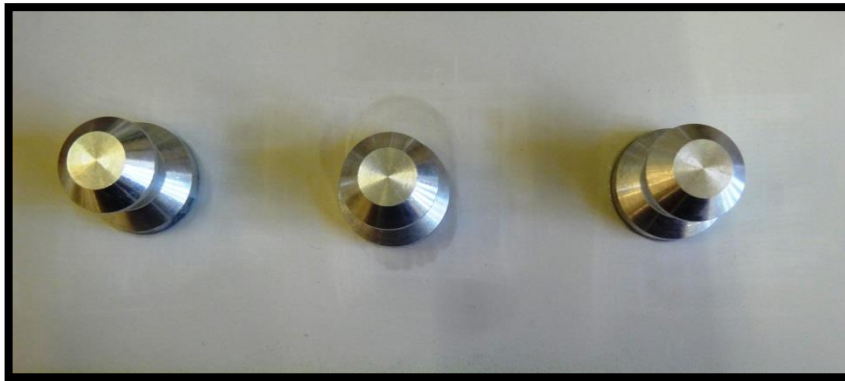
Po nanesení a rozetření lepidla (Obr. 37) bylo zkušební tělísko ihned posazeno na připravenou obroušenou plochu zkušební vzorku. Tělísko bylo nutné přitlačit silou, která musí být pouze kolmá ke vzorku v ose tělíska. Tlačná síla vždy působila 10



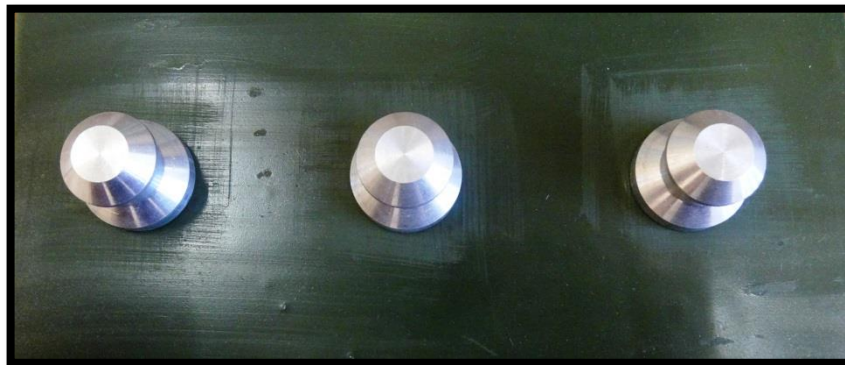
Obr. 37 - Nanesení a rozetření lepidla (Zdroj: Vlastní zpracování)

vteřin.

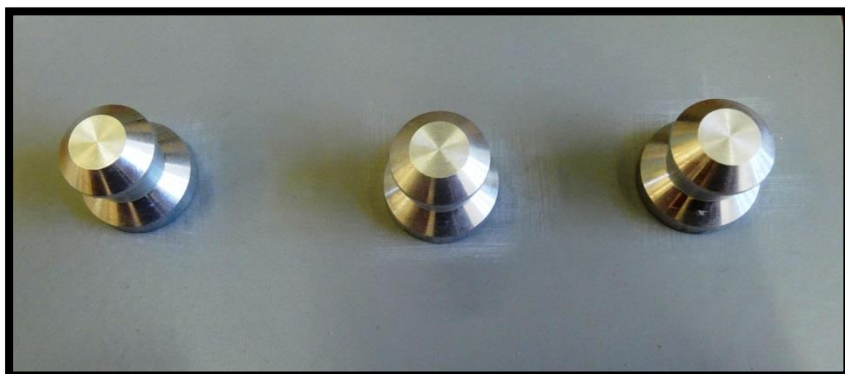
Kompletně hotové vzorky s přilepenými zkušebními tělíska byly dány na paletu a ponechány k vytvrzení.



Obr. 38 - Zkušební tělíska nalepená na vzorku se syntetickým nátěrem (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obr. 39 - Zkušební tělíska nalepená na vinylovém nátěru (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obr. 40 - Zkušební tělíska nalepená na Epoxidovém nátěru (Zdroj: Vlastní zpracování)

8.4 Oříznutí zkušebních tělísek

Zkušební vzorky s nalepenými tělísky se nechaly v laboratorních podmínkách jeden týden, aby se lepidlo dostatečně vytvrdilo. Po týdnu v ideálních bezprašných podmínkách se provedlo oříznutí zkušebních tělísek. Oříznutí (Obr. 41) spočívá v tom, že přilepený zkoušený vzorek se ořízne okolo zkušebního tělíska tak, aby řezný nástroj nevyvolil příčné zatížení lepeného spoje tělíska.



Obr. 41 - Ořezávání zkušebního tělíska (Zdroj: Vlastní zpracování)

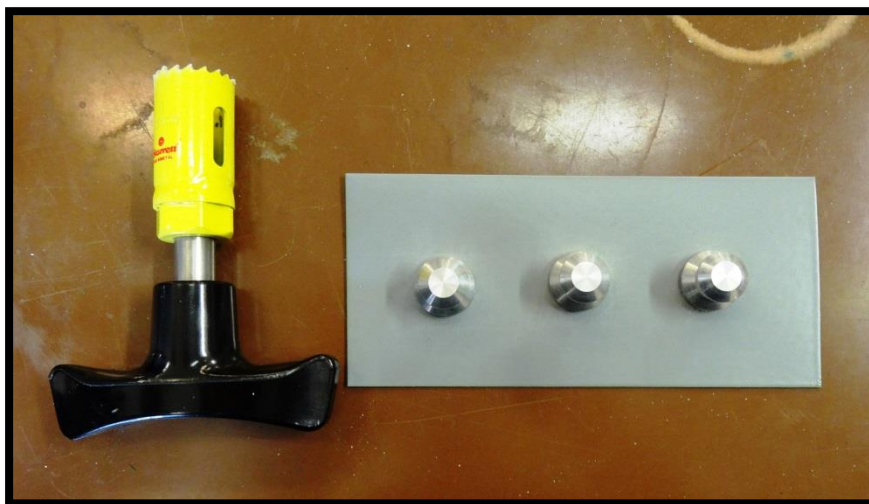
Oříznutí se provádí skrz nátěrovým systémem až na základní materiál. Může se provádět jakýmkoli řezným nástrojem nebo speciálním odřezávačem, který bývá ve vybavení zkušební sady k odtrhu.

Odřezávač musí být při ořezávání v kolmé poloze ke zkušebnímu vzorku (Obr. 42). V žádném případě se nesmí odřezávač při ořezu vychýlit z osy.



Obr. 42 - Ořezávání zkušebních tělísek (Zdroj: Vlastní zpracování)

Použitý ořezávač (Obr. 43) je výbavou odtrhovací zkoušecí soustavy Elcometer. Oříznutí se provádí nasazením ořezávače na zkušební panenku. Kolmým přitlačením na rukojeť a cyklickým pootáčením dojde k proříznutí nátěrového systému až na základní materiál.



Obr. 43 - Použitý ořezávač (Zdroj: Vlastní zpracování)

8.5 Odtrhová zkouška

8.5.1 Odtrhoměr ELCOMETER 506

K provedení odtrhové zkoušky přilnavosti byl použitý odtrhoměr Elcometer 506 (Obr. 44). Jedná se o odtrhoměr k přesnému měření přilnavosti mezi nátěrovou hmotou a základním materiálem.



Obr. 44 - Odtrhoměr Elcometer (Zdroj: Elcometer, kompletní sortiment pro povrchové úpravy, 2016)

Měření probíhá nenáročnou metodou, která je vhodná pro zkoušení v laboratorních podmínkách i přímo v provozu. Je určena pro odtrhy rovných i zakřivených ploch. Slouží ke kvantitativnímu vyjádření a určení hodnoty přilnavosti.

Přístroj má rozsah měření až do 50 MPa. Nasazení zařízení na zkušební tělísko je rychlé, je možné použít na tělíska o průměru 14,2 mm, 20 mm, 50 mm. Odtrhoměr je vybaven otočným klikovým mechanismem, který zajišťuje plynulé zatížení až do maximálních 50 MPa. Je snadno přenosný, určený pro práci v terénu.

Odtrhoměr je vhodný pro testování kovových, dřevěných, betonových a jiných podkladů. Je robustní konstrukce, hermeticky uzavřený a nárazuvzdorný. Voděodolný a odolný vůči prachu a nečistotám (Elcometer, kompletní sortiment pro povrchové úpravy, 2016).

8.5.2 Měření tloušťky nátěrového systému

Před samotným provedením zkoušky byla změřena tloušťka nátěrového systému. To se provádělo pomocí tloušťkoměru Elcometer (Obr. 45), staršího typu.

Naměřené tloušťky nátěrových systémů jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 2, Tab. 3, Tab. 4) spolu s výsledky měření pevnosti.



Obr. 45 - Tloušťkoměr Elcometer (Zdroj: Vlastní zpracování)

8.5.3 Odrhová zkouška

Před provedením odtrhové zkoušky byla část zkušebních soustav umístěna do mrazničky s $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, část umístěna na přímé slunce s teplotou $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ a poslední část ponechána v laboratorních podmínkách s teplotou $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota povrchu zkušebních vzorků byla měřena pomocí dotykového teploměru. Byl použit teploměr Comet C0121 (Obr. 46). Rozsah měřicích teplot tohoto přístroje je -50 až $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 46 - Teploměr Comet (Zdroj: Vlastní zpracování)

Nejdříve byla provedena odtrhová zkouška vzorků, umístěných v mrazničce. Protože teplota vzorků vytažených z mrazničky rapidně rostla, byl při zkouškách jako podložka použit silný kus plechu, který byl podchlazen a díky své tloušťce si podchlazenou teplotu dlouho zachoval. Podložce se průběžně kontrolovala teplota, a pokud vystoupala, bylo zkoušení přerušeno a podložka se nechala opět silně podchládit.

Postupně došlo k odtrhu 27 zkušebních tělísek, u každého odtrhu byla sledována teplota. Záměrně se teplota vzorků mění, od -10 až do +15 °C. Teplota se mění dle toho, jak dlouho se nechal zkoušený vzorek temperovat po vytažení z mrazničky. Všechny naměřené hodnoty včetně druhu nátěrového systému a čísla odtrhu jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2).

Po odtržení zkušebního tělíška (panenky) se vzorek vždy označil číslem s příslušným číslem odtrhu. Po odtržení všech panenek se vizuální kontrolou a také osvětlenou lupou zkontrolovaly druhy lomů zkušebních tělísek. Druhy lomu jsou procentuálně vyhodnoceny a následně uvedeny do tabulky (Tab. 2).

Tab. 2 - Korozní zkoušky při teplotách -10 až +15 °C (Zdroj: Vlastní zpracování)

Adhezivní korozní zkoušky při teplotních podmínkách -10°C až 15°C					
Číslo měření	Tloušťka vrstvy povlaku DFT [μm]	Typ nátěrového systému	Teplotní podmínky odtrhu [°C]	Pevnost v tahu [MPa]	Druh lomu
1	43	Syntetika	-10	5,8	90% A/B, 10% Y/Z
2	35	Syntetika	-5	6,2	80% A/B, 5% B, 10% Y, 5% Y/Z
3	54	Syntetika	-5	7,2	100% A/B
4	57	Syntetika	15	6,7	90% A/B, 5% -/Y, 5% Y/Z
5	56	Syntetika	15	8	20% A/B, 10% B, 70% Y/Z
6	77	Syntetika	15	6,5	95% A/B, 5% Y/Z
7	40	Vinyl	-5	±0	15% B, 75% Y, 10% Y/Z
8	38	Vinyl	-5	2,2	15% B, 45% Y, 40% Y/Z
9	95	Epoxid	0	8,3	95% -/Y, 5% Y/Z
10	90	Epoxid	5	7,3	90% -/Y, 10% Y
11	108	Epoxid	5	7,6	95% -/Y, 5% Y
12	75	Vinyl	-5	3,7	100% B
13	67	Vinyl	0	2,9	90% B, 10% Y/Z
14	60	Vinyl	5	±0	85% B, 15% Y/Z
15	57	Syntetika	-5	5,4	70% A/B, 5% Y, 25% Y/Z
16	53	Syntetika	0	4,4	30% A/B, 30% B, 40% Y/Z
17	48	Syntetika	5	4,1	40% A/B, 15% B, 45% Y
18	169	Epoxid	-5	9,3	10% A/B, 45% Y, 45% Y/Z
19	144	Epoxid	-5	5,8	50% Y, 50% Y/Z
20	154	Epoxid	-5	±0	50% Y, 50% Y/Z
21	45	Vinyl	-5	2,9	60% B, 30% Y, 10% Y/Z
22	42	Vinyl	-5	±0	20% B, 50% Y, 30% Y/Z
23	63	Syntetika	-5	6,2	100 A/B
24	42	Syntetika	-5	6,9	95% A/B, 5% Y/Z
25	54	Syntetika	-5	6,2	100% A/B
26	57	Syntetika	10	5,7	5% A/B, 40% Y/Z, 55% Y
27	69	Syntetika	10	4,9	10% A/B, 40% Y/Z, 50% Y

Při měření podchlazených vzorků bylo nutné postupovat velmi rychle, aby nedošlo k ohřátí zkušební vzorku. Proto na provádění těchto odtrhů spolupracovali 3 lidé, z nichž každý měl jinou funkci. Po vytažení vzorku z chladničky se vzorek umístil na předchlazenou plechovou podložku. Ihned byla na zkušební tělísko nasazena hlava

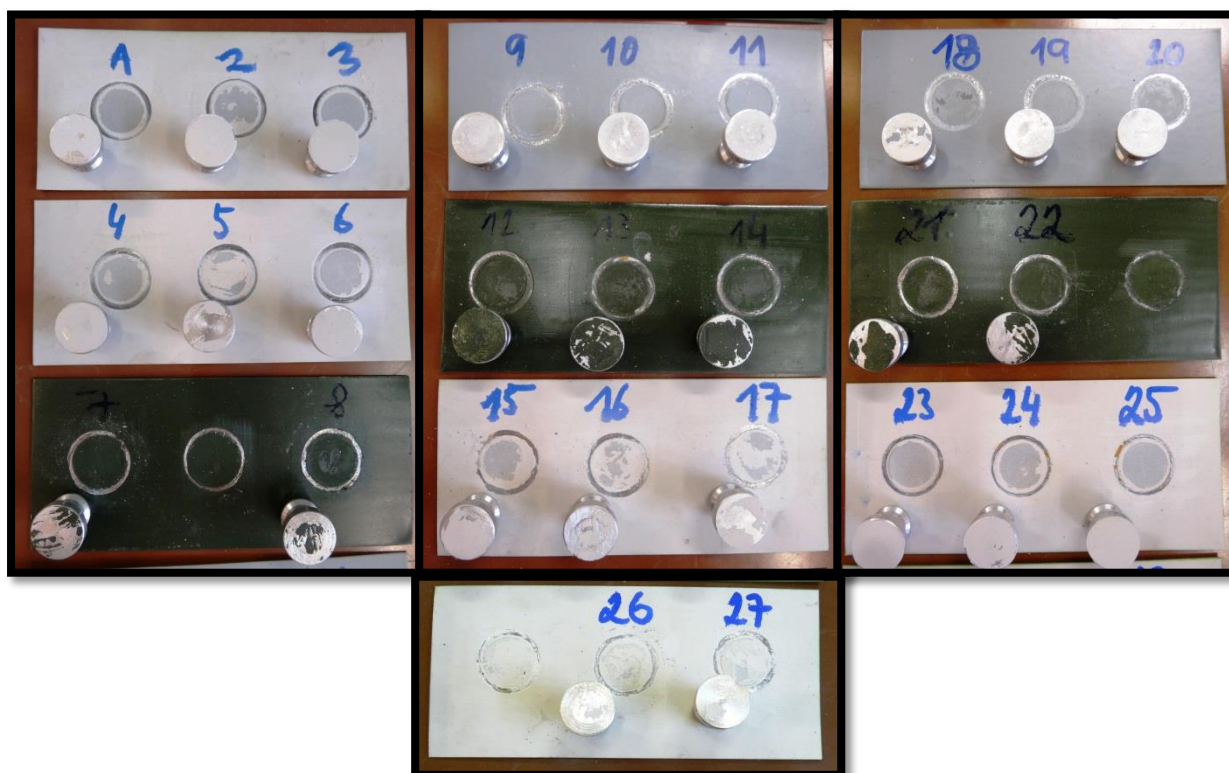
odtrhového přístroje. Další krok bylo pozvolné dotahování odtrhoměru, nejdříve se dotahoval šroub (Obr. 47), poté na jemnější dotažení byla použita klika odtrhoměru. Odtrhoměr je vybaven digitálním displejem (Obr. 48), na kterém se po odtržení panenky zobrazila maximální hodnota napětí v MPa.



Obr. 47 - Provádění odtrhu (Zdroj: Vlastní zpracování)

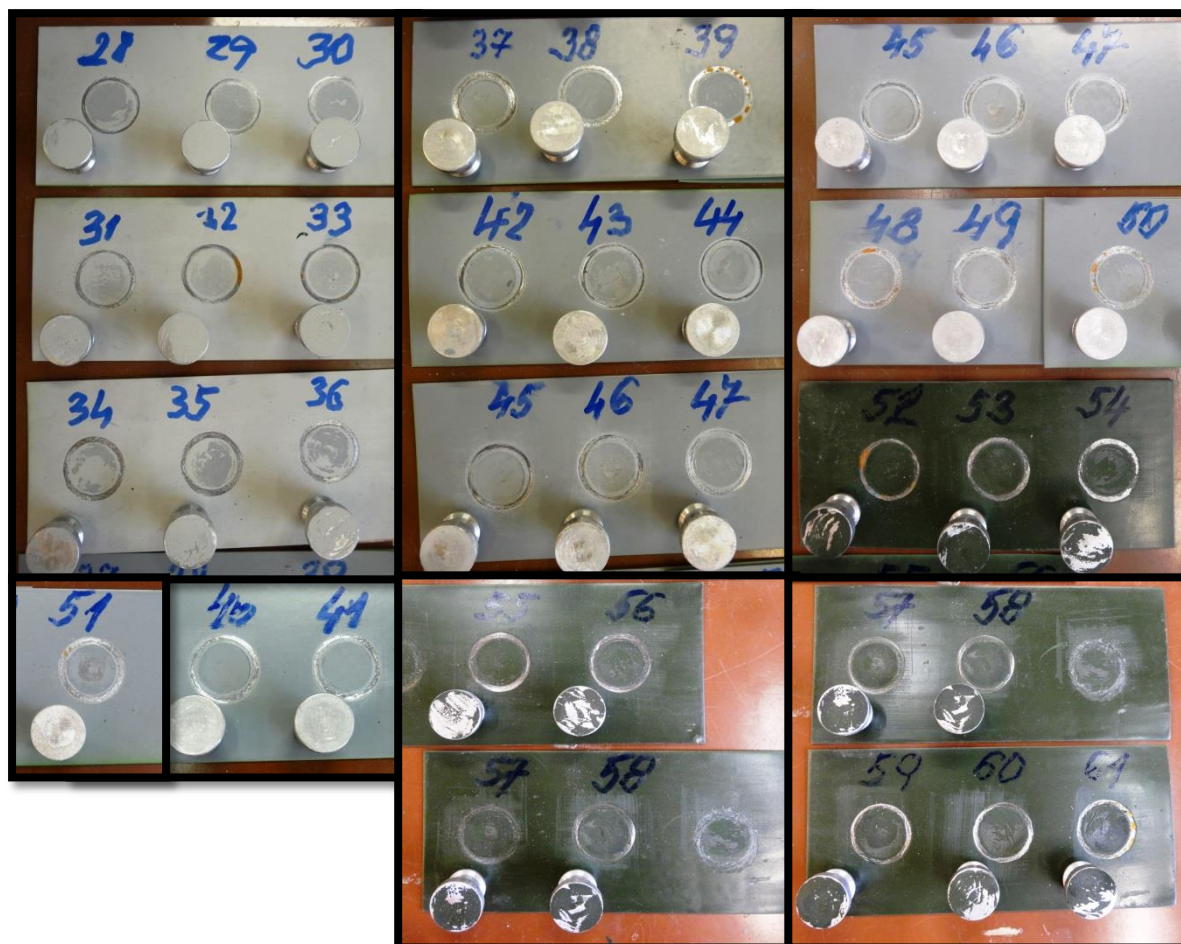


Obr. 48 - Odečtení naměřené hodnoty z odtrhoměru (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obr. 49 - Održena zkušební tělíska, jednotlivá čísla odtrhů (Zdroj: Vlastní zpracování)

Další odtrhové zkoušky probíhaly v laboratorních teplotních podmínkách, tedy u všech odtrhů byla naměřena stejná teplota povrchu zkoušených vzorků. Následné vyhodnocení lomů i všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3).



Obr. 50 – Održená zkušební tělíska s čísly odtrhů (Zdroj: Vlastní zpracování)

Tab. 3 - Naměřené hodnoty při teplotě 25 °C (Zdroj: Vlastní zpracování)

Adhezivní korozní zkoušky při laboratorních teplotních podmínkách					
Číslo měření	Tloušťka vrstvy povlaku DFT [μm]	Typ nátěrového systému	Teplotní podmínky odtrhu [°C]	Pevnost v tahu [MPa]	Druh lomu
29	32	Syntetika	25	7,5	90% A/B, 10% Y/Z
30	35	Syntetika	25	7,3	95% A/B, 5% Y/Z
31	42	Syntetika	25	7,3	50% A/B, 40% B, 10% Y/Z
32	44	Syntetika	25	7,7	40% A/B, 40% B, 20% Y
33	44	Syntetika	25	8,9	45% A/B, 45% B, 10% Y
34	56	Syntetika	25	3	35% A/B, 65% Y/Z
35	36	Syntetika	25	6	50% A/B, 25% B, 25% Y/Z
36	47	Syntetika	25	6,3	50% A/B, 20% B, 30% Y/Z
37	107	Epoxid	25	6,4	90% Y, 10% Y/Z
38	112	Epoxid	25	5,4	80% -/Y, 20% Y/Z
39	75	Epoxid	25	4,7	80% -/Y, 20% Y/Z
40	119	Epoxid	25	6,7	10% B, 85% -/Y, 5% Y/Z
41	104	Epoxid	25	4,9	85% -/Y, 5% Y, 10% Y/Z
42	158	Epoxid	25	4,9	5% A/B, 45% Y, 50% Y/Z
43	133	Epoxid	25	6,1	5% B, 45% Y, 50% Y/Z
44	137	Epoxid	25	6,2	75% -/Y, 25% Y/Z
45	85	Epoxid	25	7,2	90% -/Y, 10% Y/Z
46	113	Epoxid	25	6,2	50% -/Y, 50% Y/Z
47	115	Epoxid	25	4	35% -/Y, 35% Y, 30% Y/Z
48	88	Epoxid	25	3,5	50% -/Y, 25% Y, 25% Y/Z
49	74	Epoxid	25	6,8	85% -/Y, 5% Y, 10% Y/Z
50	59	Epoxid	25	4,3	50% Y, 50% Y/Z
51	86	Epoxid	25	4,8	40% -/Y, 10% Y, 50% Y/Z
52	34	Vinyl	25	12,5	80% B, 5% Y, 15% Y/Z
53	50	Vinyl	25	11,2	90% B, 10% Y/Z
54	27	Vinyl	25	±0	45% B, 5% Y, 50% Y/Z
55	26	Vinyl	25	5,8	10% B, 45% Y, 45% Y/Z
56	25	Vinyl	25	12	50% B, 25% -/Y, 25% Y/Z
57	35	Vinyl	25	11,4	80% B, 20% Y
58	47	Vinyl	25	12,6	75% B, 5% Y, 20% Y/Z
59	40	Vinyl	25	10,3	90% B, 5% Y, 5% Y/Z
60	54	Vinyl	25	±0	65% B, 25% -/Y, 10% Y/Z
61	48	Vinyl	25	11	70% B, 30% Y/Z

Poslední část odtrhových zkoušek probíhala ve venkovních podmínkách (Obr. 51), kde byla měřená teplota vzduchu 23 °C a naměřená teplota zkušebních těles se pohybovala okolo 35 °C.



Obr. 51 - Provádění odtrhových zkoušek ve venkovních podmínkách (Zdroj: Vlastní zpracování)

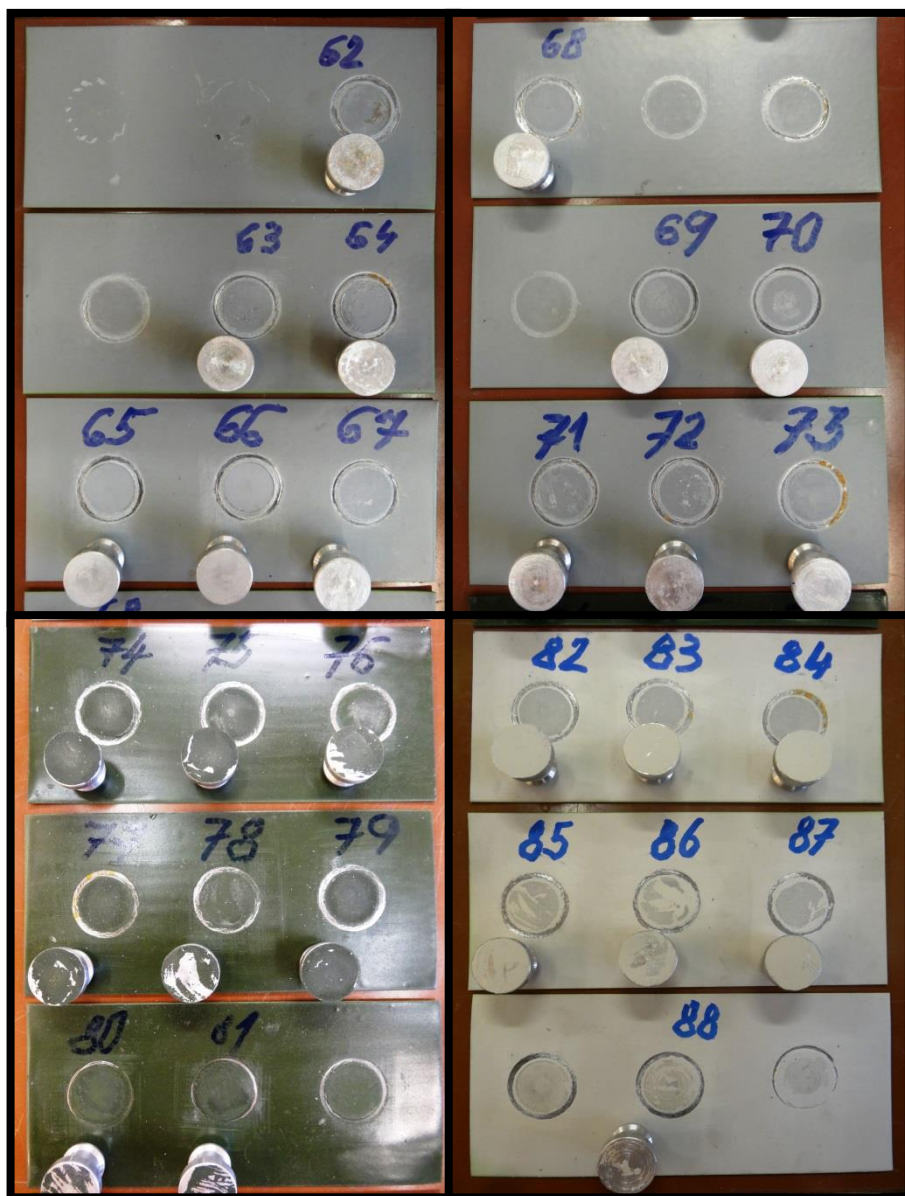


Obr. 52 - Pohled na vzorky před odtržením (Zdroj: Vlastní zpracování)

Naměřené hodnoty z odtrhových zkoušek prováděných ve venkovním prostředí jsou uvedeny v tabulce (č. 4).

Tab. 4 - Naměřené hodnoty při teplotních podmínkách 35 °C (Zdroj: Vlastní zpracování)

Adhezivní korozní zkoušky při teplotních podmínkách na slunci					
Číslo měření	Tloušťka vrstvy povlaku DFT [μm]	Typ nátěrového systému	Teplotní podmínky odtrhu [°C]	Pevnost v tahu [MPa]	Druh lomu
63	146	Epoxid	35	2,8	15% -/Y, 15% Y, 70% Y/Z
64	111	Epoxid	35	5,4	85% -/Y, 15% Y, 70% Y/Z
65	130	Epoxid	35	8	100% -/Y
66	148	Epoxid	35	8,4	100% -/Y
67	124	Epoxid	35	3,1	20% B, 75% Y, 5% Y/Z
68	118	Epoxid	35	3,4	50% Y, 50% Y/Z
69	118	Epoxid	35	5,9	50% -/Y, 50% Y/Z
70	126	Epoxid	35	5,7	40% Y, 60% Y/Z
71	91	Epoxid	35	4	20% Y, 80% Y/Z
72	91	Epoxid	35	4	20% B, 70% Y, 10% Y/Z
73	83	Epoxid	35	4,4	50% Y, 50% Y/Z
74	29	Vinyl	35	12,8	100% B
75	28	Vinyl	35	11,1	95% B, 5% Y/Z
76	41	Vinyl	35	±0	80% B, 20% Y/Z
77	31	Vinyl	35	10,4	90% B, 10% Y
78	34	Vinyl	35	2,6	50% B, 50% Y/Z
79	31	Vinyl	35	11,9	98% B, 2% Y/Z
80	56	Vinyl	35	10,8	50% B, 50% Y
81	68	Vinyl	35	8,9	55% B, 45% Y
82	69	Syntetika	35	9	50% A/B, 50% B
83	40	Syntetika	35	7,5	49% B, 49% A/B, 2% Y/Z
84	44	Syntetika	35	8	50% A/B, 50% B
85	54	Syntetika	35	7,6	35% A/B, 35% B, 30% Y/Z
86	46	Syntetika	35	5,2	25% A/B, 25% B, 25% Y, 25% Y/Z
87	61	Syntetika	35	7,6	70% A/B, 10% B, 20% Y
88	42	Syntetika	35	2,9	10% A/B, 45% Y, 45% Y/Z



Obr. 53 – Odtržená zkušební tělíska s čísly odtrhů (Zdroj: Vlastní zpracování)

8.6 Výsledky měření

8.6.1 Průměrná pevnost v tahu syntetického nátěru

V následující tabulce (Tab. 5), se pro každou teplotní podmínku vypočte průměrná pevnost v tahu. Jedná se o hodnoty naměřené při odtrhu všech zkušebních tělísek přilepených k syntetickému nátěrovému systému.

Tab. 5 - Výpočty průměrné pevnosti v tahu - syntetika (Zdroj: Vlastní zpracování)

Typ nátěrového systému	Teplotní podmínky	Pevnost v tahu		
Syntetika	-10	5,8	Průměrná pevnost v tahu (-10°C)	6,28
Syntetika	-10	6,2		
Syntetika	-10	7,2		
Syntetika	-10	6,7		
Syntetika	-10	8		
Syntetika	-10	6,5		
Syntetika	-10	5,4		
Syntetika	0	4,4		4,4
Syntetika	10	4,1	Průměrná pevnost v tahu (10°C)	5,67
Syntetika	10	6,2		
Syntetika	10	6,9		
Syntetika	10	6,2		
Syntetika	10	5,7		
Syntetika	10	4,9		
Syntetika	25	7,5	Průměrná pevnost v tahu (25°C)	6,75
Syntetika	25	7,3		
Syntetika	25	7,3		
Syntetika	25	7,7		
Syntetika	25	8,9		
Syntetika	25	3		
Syntetika	25	6		
Syntetika	25	6,3		
Syntetika	35	9	Průměrná pevnost v tahu (35°C)	7,48
Syntetika	35	7,5		
Syntetika	35	8		
Syntetika	35	7,6		
Syntetika	35	5,2		
Syntetika	35	7,6		

8.6.2 Vyhodnocení syntetického nátěru

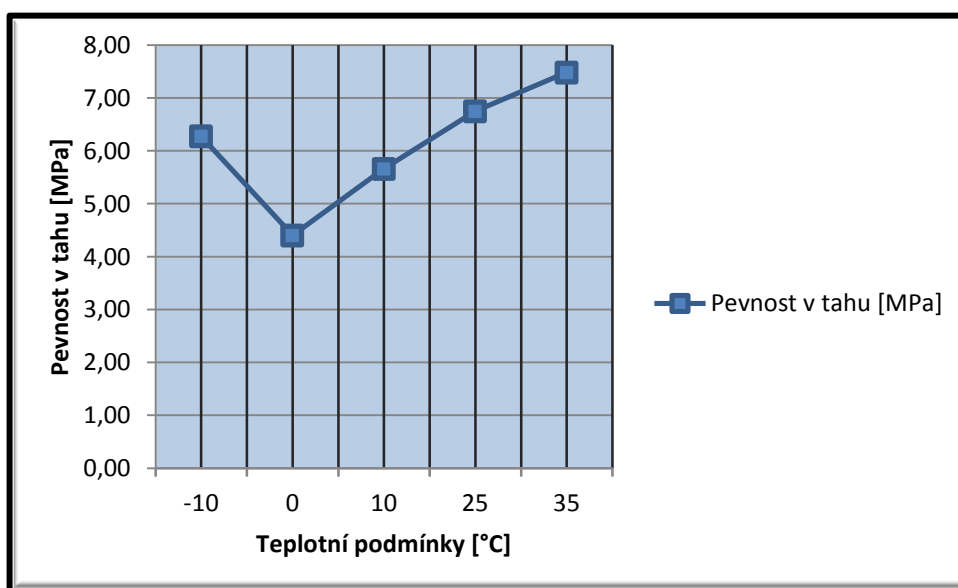
V tabulce (Tab. 6) je pro každou teplotu vypočítána průměrná pevnost v tahu. Pro účely práce postačí tento rozsah hodnot. Úkolem bylo zjistit, zda má proměnlivá teplota zkoušení při odtrhu vliv na pevnost v tahu. U syntetického nátěru Rokoprím Container je patrné, že teplota má poměrně velký vliv.

Z grafu (Obr. 54) vyplývá, že při 0 °C je nutné k roztržení nátěrového systému vyvinout nejnižší tahovou sílu 4,4 MPa. Naopak při nejvyšší teplotě 35 °C je nátěr nejpevnější a k odtržení zkušebního vzorku bylo třeba působit tahovou silou 7,5 MPa.

Nedá se jednoznačně říci, že by s rostoucí teplotou rostla i pevnost v tahu. Při teplotě -10 °C je pevnost v tahu přibližně stejná jako při teplotě 25 °C.

Tab. 6 - Pevnost v tahu v závislosti na teplotních podmínkách - syntetický nátěr (Zdroj: Vlastní zpracování)

Syntetika		
Typ nátěrového systému	Teplotní podmínky odtrhu [°C]	Pevnost v tahu [MPa]
syntetika	-10	6,275
	0	4,4
	10	5,66
	25	6,75
	35	7,48



Obr. 54 - Znárodnění teplotní závislosti pevnosti v odtrhu syntetického NS (Zdroj: Vlastní zpracování)

8.6.3 Průměrná pevnost v tahu vinylového nátěru

V tabulce (Tab. 7) je pro každou teplotu vypočítána průměrná pevnost v tahu pro vinylový nátěrový systém.

Tab. 7 – Výpočty průměrné pevnosti v tahu – vinyl (Zdroj: Vlastní zpracování)

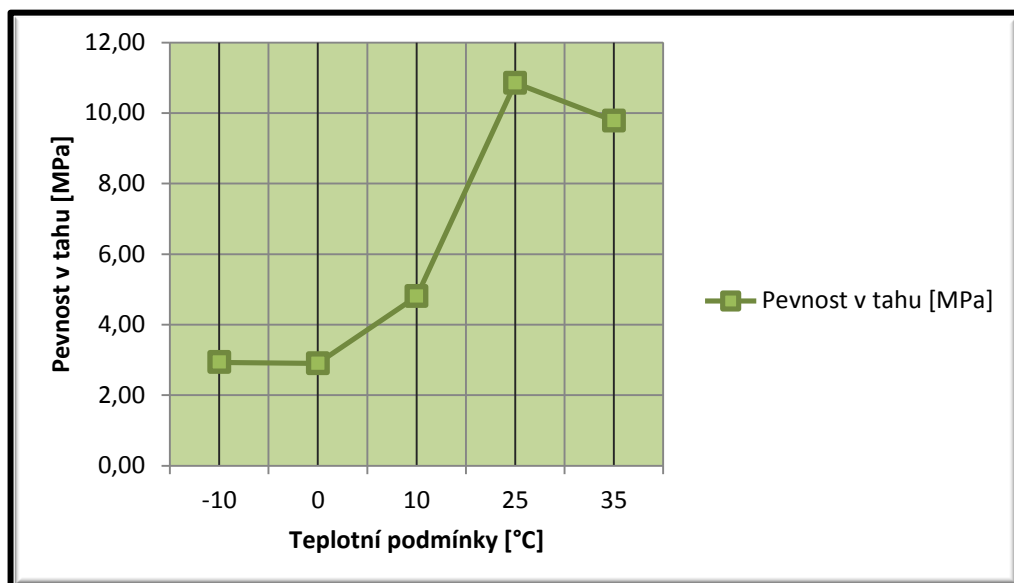
Typ nátěrového systému	Teplotní podmínky	Pevnost v tahu		
Vinyl	-10	±0	Průměrná pevnost v tahu (-10°C)	2,93
Vinyl	-10	2,2		
Vinyl	-10	3,7		
Vinyl	-10	2,9		
Vinyl	-10	±0		
Vinyl	0	2,9		2,9
Vinyl	10	4,8		4,8
Vinyl	25	12,5	Průměrná pevnost v tahu (25°C)	10,85
Vinyl	25	11,2		
Vinyl	25	±0		
Vinyl	25	5,8		
Vinyl	25	12		
Vinyl	25	11,4		
Vinyl	25	12,6		
Vinyl	25	10,3		
Vinyl	25	±0		
Vinyl	25	11		
Vinyl	35	12,8	Průměrná pevnost v tahu (35°C)	9,79
Vinyl	35	11,1		
Vinyl	35	±0		
Vinyl	35	10,4		
Vinyl	35	2,6		
Vinyl	35	11,9		
Vinyl	35	10,8		
Vinyl	35	8,9		

8.6.4 Vyhodnocení vinylového nátěru

Fyzikálně zasychající nátěr Wilkonyl má oproti syntetickému nátěrovému systému zcela odlišné hodnoty pevnosti. Z tabulky (Tab. 8) plyne, že u vinylového nátěru se se stoupající teplotou zvyšuje i pevnost v tahu. Při teplotě 25 °C nátěr se odděluje až při tahové síle 10,9 MPa. Pevnostní rozdíl mezi teplotami od -10 °C do 0°C je téměř nepatrný. Následující vzrůst teploty ovlivní pevnost vzorků (Obr. 55).

Tab. 8 – Pevnost v tahu v závislosti na teplotních podmínkách – vinylový nátěr (Zdroj: Vlastní zpracování)

Vinyl		
Typ nátěrového systému	Teplotní podmínky [°C]	Pevnost v tahu [MPa]
Vinyl	-10	2,93
	0	2,9
	10	4,8
	25	10,85
	35	9,78



Obr. 55 - Znárodnění teplotní závislosti pevnosti v odtrhu vinylového NS (Zdroj: Vlastní zpracování)

8.6.5 Průměrná pevnost v tahu epoxidového nátěru

Tab. 9 – Výpočty průměrné pevnosti v tahu – epoxid (Zdroj: Vlastní zpracování)

Typ nátěrového systému	Teplotní podmínky	Pevnost v tahu		
Epoxid	-10	8,3	Průměrná pevnost v tahu (-10°C)	7,73
Epoxid	-10	7,3		
Epoxid	-10	7,6		
Epoxid	0	9,3		9,3
Epoxid	10	5,8	Průměrná pevnost v tahu (10°C)	5,8
Epoxid	10	±0		
Epoxid	25	6,4	Průměrná pevnost v tahu (25°C)	5,5
Epoxid	25	5,4		
Epoxid	25	4,7		
Epoxid	25	6,7		
Epoxid	25	4,9		
Epoxid	25	4,9		
Epoxid	25	6,1		
Epoxid	25	6,2		
Epoxid	25	7,2		
Epoxid	25	6,2		
Epoxid	25	4		
Epoxid	25	3,5		
Epoxid	25	6,8		
Epoxid	25	4,3		
Epoxid	25	4,8		
Epoxid	35	2,8	Průměrná pevnost v tahu (35°C)	5
Epoxid	35	5,4		
Epoxid	35	8		
Epoxid	35	8,4		
Epoxid	35	3,1		
Epoxid	35	3,4		
Epoxid	35	5,9		
Epoxid	35	5,7		
Epoxid	35	4		
Epoxid	35	4		
Epoxid	35	4,4		

V tabulce (Tab. 9) jsou vypočítané průměrné hodnoty pevnosti v tahu pro pět teplotních podmínek (-10, 0, 10, 25, 35 °C) pro nátěrový systém Hempadur fast dry.

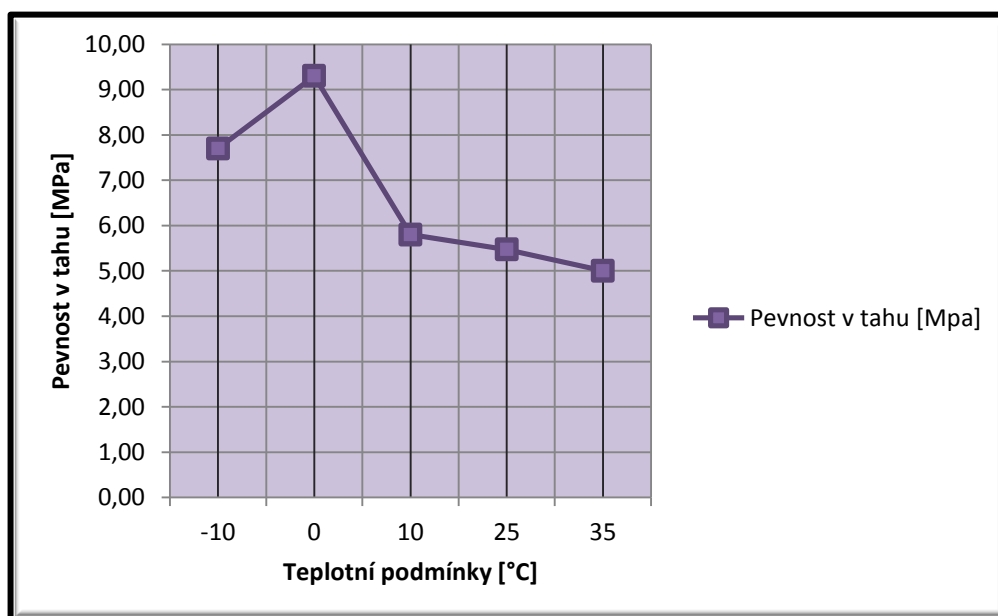
V tabulce (č. 10) jsou dané pevnosti v tahu pro každou z těchto teplot.

8.6.6 Vyhodnocení epoxidového nátěru

Z tabulky (Tab. 10) je patrné, že epoxidový nátěr Hempadur fast dry dosáhl nejvyšší pevnosti při 0 °C. Naopak nejnižší pevnosti při teplotě 35 °C, z čehož je zřejmé, že epoxidovému nátěru neprospívá expozice ve vysokých teplotních podmínkách, klesá tím jeho pevnost. Nátěrový systém je významně pevnější v teplotách pod bodem mrazu (Obr. 56). Při nulové teplotě je soudržnost nátěru největší.

Tab. 10 – Pevnost v tahu v závislosti na teplotních podmínkách – epoxidový nátěr (Zdroj: Vlastní zpracování)

Epoxid		
Typ nátěrového systému	Teplotní podmínky [°C]	Pevnost v tahu [MPa]
Epoxid	-10	7,7
Epoxid	0	9,3
Epoxid	10	5,8
Epoxid	25	5,47
Epoxid	35	5



Obr. 56 - Znárodnění teplotní závislosti pevnosti v odtrhu epoxidového NS (Zdroj: Vlastní zpracování)

Vyhodnocování odtrhových zkoušek probíhalo v prostorách univerzitních dílen a laboratoří (obr. 58). Na obrázku (č. 57) jsou všechny pomůcky a přístroje, které byly použité při odtrhové zkoušce přilnavosti a také veškeré zkušební vzorky po provedené odtrhové zkoušce.



Obr. 57 - Veškeré použité pomůcky a vzorky pro odtrhovou zkoušku (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obr. 58 - Prostory zpracování zkoušek (Zdroj: Vlastní zpracování)

9 DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Diplomová práce pojednává o vlivu teplotních podmínek prostředí na odolnost nátěrového systému. Dle výsledků experimentální části je zcela zřejmé, že teplota ovlivňuje pevnost nátěrových systémů.

9.1 Syntetický nátěr

Dle výsledků měření (Obr. 54) lze za nejvíce univerzální nátěrový systém považovat nátěr syntetický, protože v průběhu teplot od -10 °C do 35 °C vykazoval jen mírné rozdíly hodnot pevnosti v tahu. Pouze při teplotě 0 °C mírně poklesla jeho soudržnost, při všech ostatních teplotních podmínkách se pevnost v tahu pohybovala od $5,7\text{ MPa}$ do $7,5\text{ MPa}$.

Syntetickým nátěrem v tomto experimentu byl zvolen Rokoprim Container RK 103 (obr. 56). Tento nátěrový systém je vhodné použít pro silné antikorozi ochranné povlaky ocelových konstrukcí. Je možné jej aplikovat v jedné nebo více vrstvách až do tloušťky $400\text{ }\mu\text{m}$.

Složení tohoto nátěrového systému je příznivé pro životní prostředí. Barva je založena na bázi alkydových pryskyřic v organických rozpouštědlech z fosfátu zinku, pigmentů a aditiv (Data Sheet, Rokoprim Container, 2016).



Obr. 59 - Syntetický nátěr Rokoprim Container RK 103 (Zdroj: Rokopol, a. s. 2016)

9.2 Epoxidový nátěr

Výsledky u epoxidového nátěru vykazují zcela jiné vlastnosti než nátěr syntetický. Dle naměřených hodnot je patrné, že epoxidový nátěr není vhodný do vyšších teplotních podmínek (Obr. 56). Při teplotě 0 °C vykazuje nátěr největší pevnost v tahu, zatímco při nejvyšší zkoušené teplotě, 35 °C je pevnost na nejnižší hodnotě. Při teplotních podmínkách od -10 °C do 0 °C je nátěrový systém nejvíce odolný poškození odtrhem.

Tento nátěrový systém je vhodné použít jako základní nátěr v mírném až středně agresivním korozním prostředí. Pokud je aplikován v kombinaci s jiným nátěrem jako podkladní nebo vrchní vrstva, tak může být užitý i ve středním a těžkém korozním prostředí. Ve venkovních podmínkách je při vysokých teplotách náchylný k mechanickému rozrušování (Hempadur Fast Dry, 2016).

Mezi přirozené vlastnosti všech epoxidových nátěrů patří tzv. křídování. Tyto negativní vlastnosti se projevují u starších nátěrů. Jedná se o rozklad pojiva nátěru. Na povrch nátěru vystupují částice plniva a pigmentů, což se podepisuje zejména na estetických změnách (Herbol, 2016).



Obr. 60 - Nátěrový systém Hempadur Fast Dry 17410 (Zdroj: TradeIndia, 2016)

9.3 Vinylový nátěr

U fyzikálně zasychajícího nátěru je výsledek zcela opačný epoxidovému nátěru. Dle grafu (Obr. 55) je zřejmé, že pevnost v tahu nátěru Wilkonyl OCS roste s navyšující se teplotou. Při teplotách od -10 °C do 10 °C vykazuje poměrně nízkou odolnost poškození, při ohřátí na teplotu 25 °C až 35 °C se pevnost výrazně zvýší. Mezi teplotami 10 °C a 25 °C se pevnost v tahu zvýší o 6,05 MPa, což je největší výkyv hodnot ze všech měřených nátěrových systémů.

Jeho použití je vhodné zejména v přímořských a průmyslových oblastech, protože vysoce odolává těmto agresivním podmínkám. Má vysoké antikorozi vlastnosti. Nejčastější použití je na ocelové konstrukce, sloupy elektrického vedení.

9.3.1 Porovnání výsledků

V následující tabulce (Tab. 11) je ke každé měřené teplotní podmínce vyhodnocen druh nátěrového systému, který byl nejdolnější.

Tab. 11 - Závěrečné porovnání výsledků (Zdroj: Vlastní zpracování)

Teplotní podmínky [°C]	Druh nátěru / pevnost v tahu [MPa]		
	Syntetika	Vinyl	Epoxid
-10	6,275	2,93	7,7
0	4,4	2,9	9,3
10	5,66	4,8	5,8
25	6,75	10,85	5,47
35	7,48	9,78	5

Z tabulky je patrné, že nejvyšších hodnot odolnosti dosahuje vinylový typ nátěru. Má to výhody, pokud je použitý v prostředí s permanentně vyššími teplotami prostředí. Pro venkovní prostředí je ale nevhodný, protože při nízkých teplotách prostředí velmi klesá jeho odolnost proti odtrhu.

Venkovním podmínkám nejvíce vyhovují jak syntetický, tak epoxidový nátěr. U syntetického nátěru se projevuje jen malá proměnlivost odolnosti při změnách teplot. Proto je ideální do venkovního prostředí.

Epoxidový nátěr je také méně proměnlivý s měnící se teplotou prostředí. Je tedy vhodný k použití ve venkovním prostředí. Nedoporučuje se ovšem na nátěry ploch, které jsou vystaveny přímému slunečnímu záření, protože s vysokými teplotami se snižuje jeho odolnost.

10 ZÍSKANÉ VÝSLEDKŮ A TECHNICKÉ ZNALECTVÍ

Celkové roční korozní ztráty v celosvětovém průmyslu představují 5 % hrubého domácího produktu. Tyto ztráty jsou přibližně ze 40 % tvořeny tím, že nejsou dostatečně využívány všechny poznatky o korozi získané.

V technickém znalectví je proto nutné, aby byly splněny všechny podmínky bezpečného a bezporuchového provozu strojních zařízení a objektů, které bývají z hlediska technického znalectví posuzovány.

Odborný znalec musí mít povědomí o hodnotách, které jsou poskytnuty pro vytvoření posudku a mohl tak zvážit, zda poskytují reálné vstupní hodnoty. Na základě dodaných hodnot a s ohledem na to, za jakých podmínek byly tyto hodnoty získány, může posuzovatel určit, zda použitý povlak vytvořený konkrétním nátěrovým systémem byl zkoušen při vhodné teplotě.

Pokud toto nespĺňuje předpoklady reálných vstupních podmínek, tzn. okolní teplota byla buďto příliš vysoká, nebo příliš nízká, je nutné, aby tuto skutečnost v posudku zohlednil a při hodnocení povlaků uvažoval s minimální hodnotou v závislosti odtrhová pevnost vs. teplota pro daný nátěrový systém. Zajistí tak skutečnou minimální pevnost v odtrhu pro všechny teplotní podmínky.

Proto by bylo vhodné výrobcem nátěrových systémů, aby nejen uváděl základní pevnost jím vyrobeného povlaku v odtrhu dle platných norem, ale současně informoval i o možném ovlivnění uvedené hodnoty pevnosti pracovní teplotou.

Tento údaj je doplňkovým k řadě údajů uváděných výrobcem (teplota podkladu, teplota nátěru, nanášení, vysychání).

11 ZÁVĚR

Předložená diplomová práce Bc. Kláry Klučkové s názvem Optimalizace podmínek adhezivních korozních zkoušek v odborném znalectví je zaměřena na stanovení teplotních podmínek z hlediska nejžádanější zkoušky protikorozních povlaků, kterou se zkouška odtrhem dle ČSN EN ISO 4624.

Diplomová práce je rozdělena na část kompilační, která v sobě nese přehledově rešeršní poznatky o korozním napadení konstrukčních materiálů a verifikace korozních zkoušek.

Největší pozornost je věnována zkoušce odtrhem, která je požadována při výběru nátěrového systému.

Tato zkouška bývá aplikována u nátěrových systémů, které byly vybrány s ohledem na korozní prostředí a základní materiál. Důležitým aspektem je použití v exteriéru, které vnáší do problematiky zkoušení vliv provozní teploty.

Přilnavost ochranného povlaku se mění v závislosti na zkušební teplotě, jak dokazují experimentální výsledky uvedené v práci.

Přínosem této práce je právě upozornění pro výrobce i spotřebitele na teplotní závislost hodnot měření pevnosti odtrhu. S touto závislostí je nutno počítat i při hodnocení korozní protetiky z pohledu vytváření znaleckého posudku.

Je to současně i přínos práce pro všeobecnou technickou praxi.

Zde se může projevit nevhodný návrh protikorozní ochrany, která dle rozsahu aplikace může být ekonomicky velmi náročná. Velikost nákladů na protikorozní ochranu lze hodnotit právě z pohledu vhodného výběru nátěrového systému, který je v této práci zohledněn.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- BARTONÍČEK, Robert. *Koroze a protikorozi ochrana kovů*. Praha: Academia, 1966, 720 s.
- BRUFUS železářství. *Posuvné měřítko digitální* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.brufus.cz/posuvne-meritko-digitalni-300mm-festa-eanV3420-skup651522.php>
- Centrum materiálového výzkumu. *Přístrojové vybavení* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.materials-research.cz/cz/laboratore/laborator-kovu-a-koroze/>
- ČERNÝ, Miroslav. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984, 264 s.
- ČSN EN ISO 4624. *Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti*. 2. vydání. Český normalizační institut, 2003.
- Elcometer. In: *Elcometer - Kompletní sortiment pro povrchové úpravy* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.elcometer.cz/prilnavost/odtrhomery/odtrhomer-elcometer-506>
- GAJDOŠÍK, Miroslav. *Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Josef Filípek.
- GES electronic. *Endoskopy* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/cz/merici-pristroje/endoskopy/SEM.html>
- HEMPEL. [PDF] *Hempadur Fast Dry 174 10*. 2016. Údajový list.
- Herbol - Symbiotec. In: *Nanotechnologie* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.herbol.cz/herbol-%E2%80%93-symbiotec/>
- KLUČKOVÁ, Klára. *Význam korozních zkoušek při hodnocení degradace kovových součástí a zařízení*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Michal Černý.

- Koroze a protikorozi ochrana [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z:
http://old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_dokumenty_FST/_akreditace-FST-09/DATA/ukazky/KPO-02.pdf
- Korozi inženýrství. [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2009, [cit. 2016-05-25]. Dostupné z:
http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/
- KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 218 s. ISBN 80-7082-668-1.
- Loctite Super Attak. In: *Loctite & Teroson* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z:
<http://www.loctite.as/loctite-super-attak-universal-3-g/>
- MM. *Mikrobiální koroze* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/koroze-a-ochrana-proti-korozi-zasobniku-na-kapalna-paliva.html>
- MM průmyslové spektrum. *Uhlíková ocel - rez* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/koroze-a-ochrana-proti-korozi-zasobniku-na-kapalna-paliva-10702.html>
- Nekor, spol. s. r. o. In: *Korozi inženýrství, protikorozi ochrana* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.nekor.biz/o-nekor.aspx>
- NOVÁK, Pavel. *Druhy koroze kovů: Koroze a ochrana materiálu*. Praha: Ústav kovových materiálů a korozi inženýrství VŠCHT, 2005, s 75-82.
- Otryskávání. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 4. 7. 2015 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Otrysk%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD>
- Povrchová úprava materiálů. In: *KROMA* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z:
<http://www.kroma-brno.cz/nase-sluzby.aspx>

Product Information: Hempadur Fast Dry 174 10. In: *Hempel* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.hempel.cz/cs-CZ/products/hempadur-fast-dry-17410>

ROKOSPOL, A. S. [PDF] *Rokoprim Container RK 103*. 2016. Údajový list.

Rokospol. *Rokoprim Container RK103* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.rokospol.com/cz/ploty,-vrata/3780id/rokoprim-container-rk-103/>

Rovnoměrná koroze. In: VUTBR [online]. Brno [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30548

Silnice - železnice. *Mostní konstrukce, rekonstrukce* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/rekonstrukce-zeleznicniho-mostu-v-km-2-089-pres-labe-na-trati-decin-jedlova-z-pohledu-zhotovitele/>

TradeIndia. *Hempadur Fast Dry 174 10* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.tradeindia.com/fp1850695/Hempadur-Fast-Dry-17410-Paint.html>

VŠCHT. *Koroze kovů* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=corrosion+and+coating+expo&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiMotT6g_bMAhUFVBQKHYYuBYoQ_AUIBigB&dpr=1#tbm=isch&q=bodov%C3%A1+koroze&imgsrc=CHVWh3x4geKiaM%3A

VŠCHT. *Předkorodovaná výztuž při stavbě železobetonového mostu* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/atlas/kapitoly/beton/obr/f022.htm

WILCKENS. [PDF] *Wilkonyl OCS*. 2016. Údajový list.

Zubní zahrada. *Amalgámová zubní náhrada* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.zubnizahrada.cz/?page_id=133

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 - Rovnoměrná koroze (ZDROJ: www.vutbr.cz).....</i>	15
<i>Obr. 2 - Nerovnoměrná koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz).....</i>	16
<i>Obr. 3 - Skvrnitá koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)</i>	16
<i>Obr. 4 - Bodová koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)</i>	16
<i>Obr. 5 - Důlková koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)</i>	17
<i>Obr. 6 - Podpovrchová koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)</i>	17
<i>Obr. 7 - Koroze po vrstvách (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)</i>	18
<i>Obr. 8 - Mezikrystalová koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)</i>	18
<i>Obr. 9 - Transkrystalová koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz).....</i>	19
<i>Obr. 10 - Selektivní koroze (Zdroj: www.old.fst.zcu.cz)</i>	19
<i>Obr. 11 - Koroze v atmosféře, mostní konstrukce.....</i>	21
<i>Obr. 12 - Bodová koroze hliníku ve vodě s obsahem chloridů (Zdroj: VŠCHT)</i>	22
<i>Obr. 13 - Korozní produkt na betonové konstrukci (Zdroj: www.mmspektrum.com)</i>	23
<i>Obr. 14 - Předkorodovaná výztuž (Zdroj: VŠCHT)</i>	24
<i>Obr. 15 - Amalgámová zubní náhrada (Zdroj: www.zubninahrada.cz).....</i>	25
<i>Obr. 16 - Mostní konstrukce (Zdroj: www.silnice-zeleznice.cz).....</i>	27
<i>Obr. 17 - Laboratoř kovů a koroze (Zdroj: www.materials-research.cz)</i>	29
<i>Obr. 18 - Endoskop (Zdroj: www.ges.cz)</i>	31
<i>Obr. 19 - Posuvné měřítko digitální (Zdroj: www.brufus.cz).....</i>	31
<i>Obr. 20 - Rez na uhlíkové oceli - pod mikroskopem (Zdroj: www.mmspektrum.com)... </i>	32
<i>Obr. 21 – Příklad původně zkorodovaných součástí po otryskání</i>	44
<i>Obr. 22 - Rugotest, (Zdroj: Vlastní zpracování).....</i>	45
<i>Obr. 23 - Porovnání hotového vzorku s Rugotestem (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	46
<i>Obr. 24 - Prostředí, kde probíhá otryskávání (Zdroj: Vlastní zpracování).....</i>	47
<i>Obr. 25 - Vzorky připravené k otryskání (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	47
<i>Obr. 26 - Samotné tryskání (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	48
<i>Obr. 27 - Aplikace nátěrového systému Hempadur fast dry.....</i>	48
<i>Obr. 28 - Hotový nátěr a měření tloušťky mokrého nátěru (Zdroj: Vlastní zpracování).....</i>	49
<i>Obr. 29 - Aplikace nátěrového systému Wilconyl (Zdroj: Vlastní zpracování).....</i>	49
<i>Obr. 30 - Aplikace syntetického nátěru a měření tloušťky mokrého nátěru</i>	50

<i>Obr. 31 - Vyrobená zkušební tělíska (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	51
<i>Obr. 32 - Broušení zkušebního tělíska (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	51
<i>Obr. 33 - Čištění obroušených zkušebních tělísek (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	52
<i>Obr. 34 - Vzorky připravené k lepení (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	52
<i>Obr. 35 - Lepidlo Locktite super attack (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	53
<i>Obr. 36 - Stírací špachtle (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	54
<i>Obr. 37 - Nanesení a rozetření lepidla (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	54
<i>Obr. 38 - Zkušební tělíska nalepená na vzorku se syntetickým nátěrem</i>	55
<i>Obr. 39 - Zkušební tělíska nalepená na vinylovém nátěru (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	55
<i>Obr. 40 - Zkušební tělíska nalepená na Epoxidovém nátěru</i>	55
<i>Obr. 41 - Ořezávání zkušebního tělíska (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	56
<i>Obr. 42 - Ořezávání zkušebních tělísek (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	56
<i>Obr. 43 - Použitý ořezávač (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	57
<i>Obr. 44 - Odtrhoměr Elcometer (Zdroj: Elcometer)</i>	58
<i>Obr. 45 - Tloušťkoměr Elcometer (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	59
<i>Obr. 46 - Teploměr Comet (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	60
<i>Obr. 47 - Provádění odtrhu (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	62
<i>Obr. 48 - Odečtení naměřené hodnoty z odtrhoměru (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	63
<i>Obr. 49 - Odtržená zkušební tělíska, jednotlivá čísla odtrhů</i>	63
<i>Obr. 50 – Odtržená zkušební tělíska s čísly odtrhů (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	64
<i>Obr. 51 - Provádění odtrhových zkoušek ve venkovních podmínkách</i>	66
<i>Obr. 52 - Pohled na vzorky před odtržením (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	66
<i>Obr. 53 – Odtržená zkušební tělíska s čísly odtrhů (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	68
<i>Obr. 54 - Znázornění teplotní závislosti pevnosti v odtrhu syntetického NS</i>	70
<i>Obr. 55 - Znázornění teplotní závislosti pevnosti v odtrhu vinylového NS</i>	72
<i>Obr. 56 - Znázornění teplotní závislosti pevnosti v odtrhu epoxidového NS</i>	74
<i>Obr. 57 - Veškeré použité pomůcky a vzorky pro odtrhovou zkoušku</i>	75
<i>Obr. 58 - Prostory zpracovávání zkoušek (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	75
<i>Obr. 59 - Syntetický nátěr Rokoprim Container RK 103 (Zdroj: Rokospol, a. s. 2016).</i>	76
<i>Obr. 60 - Nátěrový systém Hempadur Fast Dry 17410 (Zdroj: TradeIndia, 2016)</i>	77

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 - Typ korozního porušení (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 2 - Korozní zkoušky při teplotách -10 až +15 °C (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 3 - Naměřené hodnoty při teplotě 25 °C (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 4 - Naměřené hodnoty při teplotních podmínkách 35 °C</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 5 - Výpočty průměrné pevnosti v tahu - syntetika (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 6 - Pevnost v tahu v závislosti na teplotních podmínkách - syntetický nátěr</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 7 – Výpočty průměrné pevnosti v tahu – vinyl (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 8 – Pevnost v tahu v závislosti na teplotních podmínkách – vinylový nátěr</i>	<i>72</i>
<i>Tab. 9 – Výpočty průměrné pevnosti v tahu – epoxid (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 10 – Pevnost v tahu v závislosti na teplotních podmínkách – epoxidový nátěr</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 11 - Závěrečné porovnání výsledků (Zdroj: Vlastní zpracování)</i>	<i>78</i>