

Vláknenné materiály pro zvýšení antikoroziční ochrany

Diplomová práce

Studijní program:

N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor:

Netkané a nanovláknenné materiály

Autor práce:

Bc. Filip Sabol

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů





Zadání diplomové práce

Vláknenné materiály pro zvýšení antikoroziční ochrany

Jméno a příjmení: **Bc. Filip Sabol**
Osobní číslo: T17000032
Studijní program: N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: Netkané a nanovláknenné materiály
Zadávací katedra: Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Studium literatury na dané téma
2. Vypracování rešerše
3. Návrh a výroba vláknenných materiálů
4. Testování materiálů
5. Zhodnocení experimentů a zpracování výsledků
6. Diskuze a závěr

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40-60 dle potřeby
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. Stephen J. Eichhorn, John W.S. Hearle et al., Editor(s): S.J. Eichhorn, J.W.S. Hearle, , Handbook of Textile Fibre Structure, Woodhead Publishing, Volume 2, 2009, Pages xi-xiv, ISBN 9781845697303, <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-730-3.50018-4>.
2. D. Das, B. Pourdeyhimi, D. Das, S. Mukhopadhyay, D. Das, B. Neckář et al., Editor(s): Dipayan Das, Behnam Pourdeyhimi, Composite Non-Woven Materials, Woodhead Publishing, 2014, Pages ix-x, ISBN 9780857097705, <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-770-5.50012-1>.
3. C.J. Ajmeri, J.R. Ajmeri, P. Arora et al., Editor(s): George Kellie, In Woodhead Publishing Series in Textiles, Advances in Technical Nonwovens, Woodhead Publishing, 2016, Page xi, ISBN 9780081005750, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100575-0.01002-0>.

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce:

20. srpna 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

10. srpna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

10. srpna 2020

Bc. Filip Sabol

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval všem, kteří umožnili vznik této práce. V první řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Chvojkovi, Ph.D. za cenné rady, vstřícnost a hlavně trpělivost. Poděkování patří také Ing. Pavlovi Holecovi za trpělivost a čas, který mi věnoval při konzultacích a práci v laboratořích. V neposlední řadě bych chtěl vyjádřit své díky rodině, která mě při studiu vždy podporovala.

Abstrakt

Koroze kovů nás provází již od pradávna a problémy s ní spojené budeme řešit stále. V naději o její zpomalení, či zastavení vznikla tato práce, která se zabývá výrobou a aplikací netkaných vláknenných vrstev s příměsí inhibitorů koroze pro možné použití v automobilovém průmyslu.

Nejprve byly vyrobeny vláknenné vrstvy pomocí technologií: meltblown, stejnosměrného a střídavého elektrického zvlákňování. Materiál pro výrobu byl použit PP, PA6, PA6 s inhibitory koroze, PVB a PVDF. Pro možné zakomponování vláknenné vrstvy do karoserie vozu, byl přizpůsoben lakýrnický technologický postup tak, aby byly ochranné vrstvy co nejbližší ke kovovému substrátu a zároveň nedošlo k rozpuštění vláknenné vrstvy vlivem rozpouštědlového systému. Vyrobené vrstvy byly dále mechanicky poškozeny a testovány v solné komoře. Testování bylo završeno testem odolnosti vůči kyselinám a kyselému prostředí v klimatické komoře.

Testování muselo být přerušeno vlivem vyhlášení mimořádného stavu SARS Covid-19, ale i přes veškeré komplikace bylo testování dokončeno. Výsledky ukázaly počáteční růst koroze vzorků na hranách a pasivaci uměle poškozených míst. Dále byly vyzorovány ochranné schopnosti barevné báze a bezbarvého laku a zlepšení chemické ochrany s použitím PVDF vláken.

Klíčová slova

Protikorozní úprava, netkané textilie, zinek, meltblown, elektrické zvlákňování, automotive

Abstract

Corrosion of metals has accompanied us since ancient times and we will be always facing the problems associated with it. In the hope of slowing down or stopping it, this work was created, which deals with the production and application of nonwoven fibrous layers with the addition of corrosion inhibitors for possible use in the automotive industry.

First, fiber layers were produced using the following technologies: meltblown, direct current and alternating current spinning. Material for production was used PP, PA6, PA6 with corrosion inhibitors, PVB and PVDF. For the possible incorporation of the fibrous layer into the car body, the painting technological procedure was adapted so that the protective layers were as close as possible to the metal substrate and at the same time the fibrous layer did not dissolve due to the used solvent system. The produced layers were further mechanically damaged and tested in a salt chamber. The testing was completed by an acid and acid resistance test in a climatic chamber

Testing had to be interrupted due to the declaration of a state of emergency SARS Covid-19, but despite all the complications, the testing was completed. The results showed an initial increase in corrosion of the samples at the edges and passivation of artificially damaged areas. Furthermore, the protective capabilities of the colored base and clear lacquer and the improvement of chemical protection using PVDF fibers were observed.

Key words

Anti-corrosion treatment, nonwovens, zinc, meltblown, electrospinning, automotive

Obsah

Seznam zkratk	7
Seznam příloh	7
I. Úvod.....	8
II. Teoretická část	9
1 Vznik koroze	9
2 Hodnocení a klasifikace koroze kovů	10
2.1 Podle korozního systému	10
2.2 Podle vzhledu	11
2.3 Podle místa vzniku	12
2.4 Podle fyzikálních podmínek vzniku.....	12
2.5 Podle rozsahu poškození	12
2.6 Podle rychlosti vzniku	13
2.7 Podle druhu chemické reakce.....	14
2.7.1 Fyzikálně chemická koroze	14
2.7.2 Elektro-chemická koroze	14
3 Protikorozní ochrany kovových konstrukcí.....	17
3.1 Pasivní ochrana	17
3.1.1 Samovolná pasivní ochrana	17
3.1.2 Umělá pasivní ochrana.....	18
3.2 Aktivní ochrana	19
4 Zinkování	20
4.1 Žárové zinkování.....	20
4.2 Proces žárového zinkování	21
5 Technologický postup žárového zinkování.....	22
5.1 Odmaštění.....	22
5.2 Moření (pickling)	22
5.3 Tavení (fluxing)	22

5.4	Galvanizace	23
5.4.1	Složení lázně	23
6	Fosfátování.....	25
7	Technologický postup při fosfátování.....	25
7.1	Předčištění.....	25
7.2	Odmaštění.....	25
7.3	Aktivace	28
7.4	Zinkové fosfátování.....	29
7.4.1	Průběh chemické reakce při tvorbě zinek-fosfátové vrstvy.....	29
7.5	Pasivace	31
8	Odstraňování koroze.....	32
8.1	Chemicko-fyzikální odstranění koroze	32
8.1.1	Odstranění koroze pomocí roztoku kyselin.....	32
8.1.2	Odstranění koroze pomocí roztoku zásad.....	33
8.1.3	Odstranění koroze pomocí elektrolýzy	33
8.2	Mechanické odstraňování koroze	35
8.2.1	Tlakové tryskání abrazivem	35
8.2.2	Laserové čištění.....	36
III.	Experimentální část.....	39
9	Použité testovací normy	39
9.1	Vyhodnocení zkoušek dle norem	41
9.2	Specifické pojmy	41
10	Navržení a výroba vlákných materiálů pro zvýšení antikorozní ochrany 42	
10.1	Postup výroby vlákné vrstvy.....	42
10.2	Zkoumání vlivu rozpouštědel na vlákný materiál	45
10.3	Postup přípravy substrátu a lakování	45
11	Příprava vzorků k focení na SEM	46
12	Testování vzorků	47

12.1	Umělé poškození vzorků.....	47
12.2	Solná komora.....	48
12.3	Klimatická komora s kyselými výpary	48
IV.	Výsledky a diskuze	50
13	Výroba vlákenné vrstvy	50
13.1	Vliv rozpouštědel na vlákenný materiál	52
14	Poznatky o přípravě substrátu a lakování	52
15	Solná komora	62
16	Klimatická komora s kyselými výpary	63
V.	Závěr.....	64
VI.	Zdroje	66
VII.	Přílohy.....	76

Seznam zkratk

PA6	Polyamid6
PP	Polypropylen
PVB	Polyvinylbutyral
PVDF	Polyvinylidenfluorid
NT	Netkaná textilie
VL	Vlákenná vrstva
AC spinning	Střídavé elektrické zvlákňování
DC spinning	Stejnoseměrné elektrické zvlákňování
MB	Meltblown
SEM	Skenovací elektronová mikroskopie

Seznam příloh

- A. Použité chemikálie a přístroje, nástroje
- B. Vzhled vzorků po aplikaci druhé a třetí vrstvy epoxidového základního nástřiku
- C. Ostatní vzorky po nástřiku a zbroušení stříkacího tmelu
- D. Nalakované vzorky se všemi vrstvami laku
- E. Vzorky po 14 dnech v solné komoře
- F. Klimatická komora s kyselými výpary
- G. Obsah příloženého CD

I. Úvod

Koroze kovů provází lidstvo v denním životě či průmyslu již po staletí a poslední dobou toto téma znovu nabírá na popularitě. Důvodem jsou, v převážné většině, náklady spojené s údržbou kovových konstrukcí, které sahají dle National Association of Corrosion Engineers (NACE) v průměru k částce 2,5 bilionu dolarů ročně [1]. V České Republice se tato částka pohybuje v průměru okolo 130 miliard korun českých ročně [2]. Je též známé, že pomocí různých chemických látek sloužících k inhibici koroze při výrobě, skladování, dopravě, lze snížit náklady spojené s následným opotřebením, poškozením v rozmezí 15-35%, což činí odhadem 375-878 miliard dolarů ročně [3].

Netkané textilie jsou úspěšně používány ve zdravotnictví jako bariérové textilie, nebo kryty ran [4]. Velice aktuální je využití tkáňových nosičů pro řízený systém uvolňování léčiv. V práci [5] bylo vyrobeno mnoho vrstev textilních nosičů, které obsahovaly různé vitamíny, růstové buňky, léčiva, ale i minerály jako je zinek. Ten je například v automotive hojně využíván pro antikorozi úpravu oceli [6].

Textilie, netkanné textilie komerčně nejsou hojně používány k ochraně kovů proti korozi, ale možné způsoby aplikace jsou zkoumány čím dál častěji a toto odvětví nabírá na popularitě. V roce 2019 byly například vyrobeny nanovláknenné inhibitory koroze nanovláknena ze sulfanového anilinu pro použití v epoxidových základních nátěrech [7]. Velice slibná technologie byla navržena v práci [8], kde bylo využito nano-mikro enkapsulovaných inhibitorů koroze, nebo výroba smart laku se samouzdravujícími schopnostmi [9]. Bylo zjištěno i možné zvýšení chemické odolnosti za použití specifických polymeru na bázi fluoru a chloru [10].

Cílem práce je navrhnout, vyrobit a otestovat vláknenné vrstvy s/bez příměsí inhibitorů koroze pro použití v automotive a zakomponovat vyrobené vláknenné vrstvy do lakýrnického procesu. Porovnat navržený proces lakování s vláknenným materiálem proti běžnému technologickému postupu. Následně vyrobené, nastříkané vláknenné vrstvy podrobit testování odolnosti vůči korozi v solné komoře. Vyrobený vláknenný materiál s příměsí zinku by měl dosahovat vyšší ochrany proti korozi, než vl. vrstvy bez příměsí inhibitorů. Po skončení korozivních zkoušek

otestovat lakované vlákenné vrstvy na vliv kyselého prostředí a celkové chemické odolnosti vůči kyselinám.

V teoretické části jsou shrnuty informace týkající se dané problematiky.

II. Teoretická část

Nejprve je nutné definovat dva velice důležité pojmy. Jsou to degradace a koroze. Degradace je obecné zhoršování vlastností materiálu a to jak fyzikálně-chemické, tak i mechanické atd. Definice koroze zní: „Koroze kovů je fyzikálně-chemická interakce kovu a prostředí, vedoucí ke změnám vlastnosti kovu, které mohou vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, prostředí, nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami“ [3,11].

1 Vznik koroze

Existuje velké množství chemických látek, které mohou mít antikorozi vlastnosti, a tudíž existuje velké množství kombinací inhibitor/materiál. Abychom tyto kombinace nemuseli experimentálně zkoušet, lze použít termodynamické výpočty, díky kterým určíme, jestli je korozní proces v daném prostředí a za daných podmínek vůbec z termodynamického hlediska možný, či nikoliv [2,12].

Většina kovů je v běžných podmínkách naší atmosféry, vlhkosti, teploty, termodynamicky nestálá a samovolně přechází do oxidovaného stavu s různou možností míry přechodu. Přírodní ochranný (protikorozi) systém, má snahu směřovat k energeticky výhodnějšímu stavu a neuspořádanosti [13,14]. Termodynamickou stálost určuje změna Gibbsovy energie ΔG [J], která je vyjádřena vztahem [15]:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (1)$$

kde ΔH je změna entalpie [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$],

ΔS změna entropie [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$],

T termodynamická teplota [K].

Změna Gibbsovy energie je také označována jako volná entalpie, termodynamického, nebo chemického potenciálu. Změna Gibbsovy energie určuje, zda je koncový stav stabilnější než počáteční. Neříká nám, zdali ke změně dojde, protože se jedná pouze o stavovou veličinu a nevyjadřuje se k průběhu reakce [15]. Mohou nastat tyto případy Gibbsovy energie:

- pokud je $\Delta G < 0$ – děj probíhá samovolně,
- > 0 – děj neprobíhá samovolně,
- $= 0$ – systém je v rovnováze,

U kovů jsou přechody do rovnovážných stavů často spojené s tvorbou korozních produktů. Množství energie, která se korozním dějem uvolní, je tedy mírou pravděpodobnosti koroze [16].

2 Hodnocení a klasifikace koroze kovů

Je velice důležité znát možné příčiny koroze v daném systému, protože díky nim můžeme zvolit efektivní ochranný postup. Je ale důležité zmínit, že poškození, které vzniklo díky korozi, je v převážné většině nevratného charakteru. V některých oborech, jako například restaurátorství, je snahou o využití alespoň malé míry vratnosti takových reakcí. Tudíž navrhnutým postupem (protikorozní ochranou) již materiál nelze zcela opravit, zacelit do původní, originální struktury. Korozi můžeme tedy dělit následovně [13]:

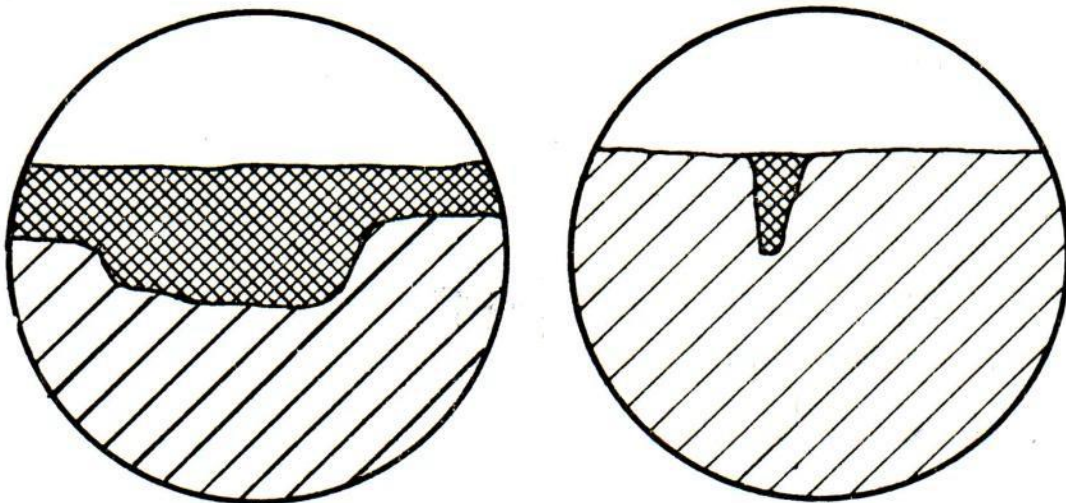
2.1 Podle korozního systému

Korozní systémy lze dále rozdělit na korozi v elektrolytech, která vzniká nejčastěji ve vodných elektrolytech (**wet corrosion**) a na korozi v neelektrolytech, která vzniká nejčastěji v plynech (**dry corrosion**). Je možné toto dělení koroze ještě dále blíže specifikovat podle stimulatoru, který při korozi působí jako dominantní faktor při jejím vzniku. Např. koroze chloridová, síranová, fenolová, sulfanová, půdní, mořská [12,13].

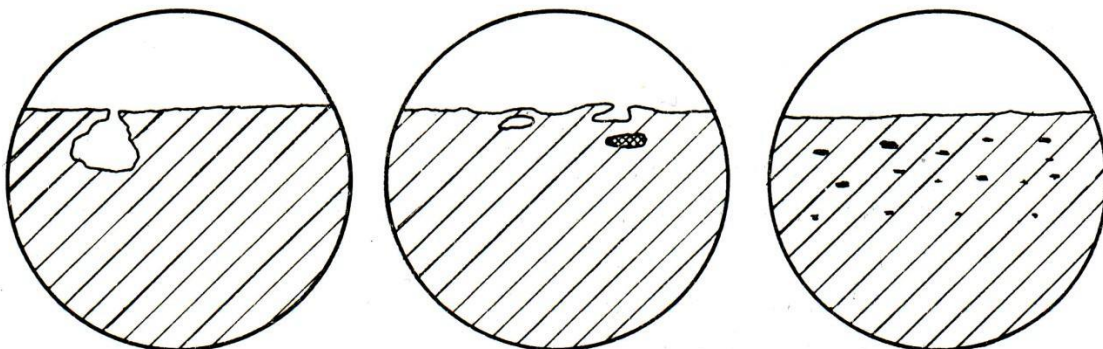
Dalším systémem může být koroze mikrobiální (microbially influenced corrosion). Tento typ koroze vzniká v půdě a vodě, kde dochází za přítomnosti různých typů mikroorganismů, resp. jejich odpadních produktů, ke stimulaci korozních procesů [12,13].

2.2 Podle vzhledu

Tento způsob hodnocení se hojně vyskytuje při formálním popisu místa, které bylo postiženo korozí. To lze například využít v případě, kdy technik nemá v daný moment možnost pořídit fotografickou dokumentaci. Zároveň se tato technika používá pro dodatečný popis v normách pro metalografické vyhodnocování korozního napadení kovů. Můžeme se zde setkat s termíny, jako je například: rovnoměrná, nerovnoměrná koroze, plošná, celková (viz. Obr. č.1 vlevo), místní (lokální), důlková (bodová, viz. Obr. Č .1 vpravo) koroze, podpovrchová (viz Obr. č.2) atd. [12,13,17]



Obr. č .1 Znárodnění nerovnoměrné koroze vlevo a bodové koroze vpravo [12].



Obr. č. 2 Podpovrchová koroze [12]

2.3 Podle místa vzniku

Místo vzniku koroze je velice důležitá charakteristika, kterou musíme zohlednit při výběru protikorozní ochrany. Koroze může vzniknout: v rovině hladiny, pod povlakem, u sváru, ve štěrbině, pod těsněním, pod tepelnou izolací [13]. Například u mostních a nosných konstrukcí z železa bude vyžadován jiný typ ochrany u základů, nebo v blízkosti země, než u částí, které budou například v dvaceti metrové výšce, kde budou mít vliv další proměnné jako mechanické namáhání, či různé druhy spojů [18].

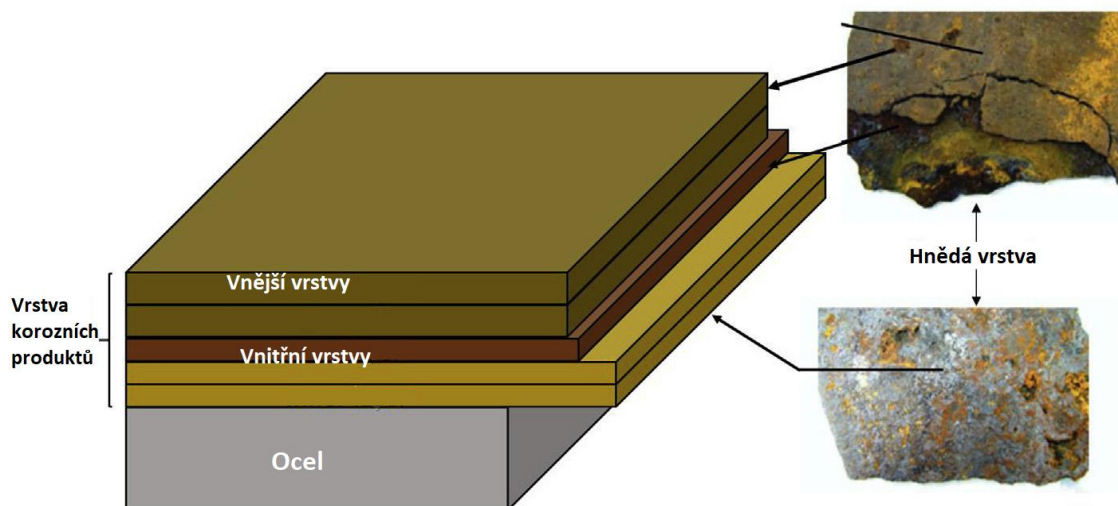
2.4 Podle fyzikálních podmínek vzniku

Tato charakteristika úzce souvisí s předešlou o místě vzniku, neboť koroze bude vznikat rychleji, či pomaleji v závislosti na okolních podmínkách jako je například: teplota, ve styku se zemí s bludnými, interferenčními, nebo střídavými proudy, při mechanickém namáhání, vibracích, nebo katodické korozi [13,18].

2.5 Podle rozsahu poškození

Koroze může poškodit velkou plochu kovu a způsobit tzv. plošnou, celkovou korozi (general corrosion), která jak už název sám napovídá, probíhá na celém povrchu, jenž je vystaven koroznímu prostředí. Přičemž zde platí podmínka, že materiál degraduje v určité míře rovnoměrně. Tato degradace nejčastěji nastává v elektrolytech, kde je celý povrch kovu pokryt stabilní pasivní vrstvou, kde ochranná vrstva ubývá rovnoměrně a degradace kovu je velmi malá [13,18].

Korozní produkty se tvoří nejčastěji ve vrstvách a v závislosti na jejich složení nabývají na svém objemu a tím vytváří prostor pro přístup iniciátoru koroze. To lze pozorovat v běžném životě například na automobilu, kdy korozní produkty způsobí popraskání krycího laku. Schématické znázornění jednotlivých vrstev je uvedeno na obr. č. 3 [19,20,21].



Obr. č. 3 Schématické znázornění skladby jednotlivých vrstev produktů koroze [18].

Pokud by koroze probíhala pouze lokálně, nazývala by se tato koroze místní (lokální). Místní koroze vzniká, pokud je rychlost aktivního rozpouštění vyšší a tím dochází k nerovnoměrnému napadení kovu. Je nutné zmínit, že některé kovy se mohou již z počátku korozi bránit pasivací a až poté nastává lokální koroze na zapasivovaném povrchu. Záleží ovšem na okolním prostředí [13].

Poslední typ je silně závislý na vysokých teplotách a v angličtině ho najdeme pod označením hot corrosion. V českém znění pod velice expresivním pojmenováním a to katastrofická koroze. Při vystavení vysoké teplotě dojde ke vzniku korozních produktů (taveniny, těkavé soli) ještě dříve, než kov stihne na svém povrchu oxidovat [13].

2.6 Podle rychlosti vzniku

Korozní produkty mohou vznikat velmi rychle, téměř ihned po očištění povrchu kovu. Nejčastěji po tryskání vodou, nebo po nanesení některých vodou ředitelných nátěrů, hmot na povrchu kovu (nejčastěji ocel). Podle tohoto rychlého průběhu koroze se koroze nazývá blesková [13,18].

2.7 Podle druhu chemické reakce

2.7.1 Fyzikálně chemická koroze

Zde lze rozdělit reakce do dvou hlavních kategorií. První z nich je chemická (fyzikálně-chemická) koroze. Tato koroze může nastat v roztavených kovech, kde dojde k rozpuštění konstrukčního kovu v tavenině, nebo vzniknou dvě rozdílné fáze, což povede k nesoudržnosti konstrukčního kovu po ochlazení. Platí zde pravidlo, že částice oxidovadla a konkrétní atom kovu musí přijít do kontaktu. Je nutno zmínit, že roztavený kov není iontově vodivý a neoxiduje (je stabilní). Další chemickou korozí je např. karbonylová, nebo vibrační koroze [13,18,22].

2.7.2 Elektro-chemická koroze

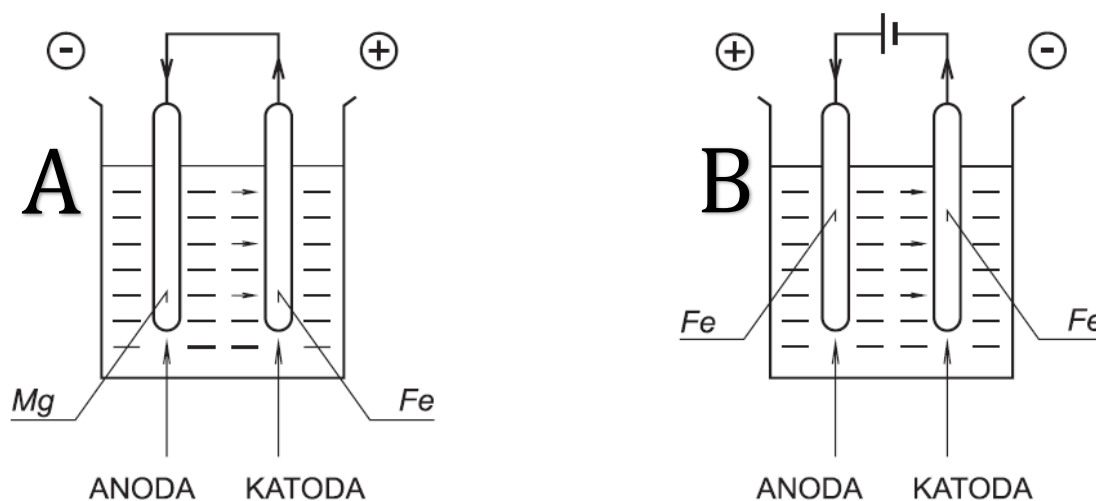
Jedná se o jeden z nejčastějších druhů koroze. Tato kategorie obsahuje prvky první zmíněné chemické koroze. Ovšem u tohoto dělení nemusí dojít k setkání částice oxidovadla a konkrétního atomu kovu, protože tento kontakt je zprostředkován přes elektricky vodivou fázi (elektrolyt) [13,23,24].

- Podle dominantního typu článku

Toto rozdělení souvisí s různorodostí (heterogenitou) materiálu, kde téměř všechny materiály nejsou ve své struktuře dokonalé, stejně homogenní v celém svém objemu. Právě v těchto náhodných místech dochází ke korozivní činnosti a tvorbě tzv. mikročlánků. Zde už jen záleží, zdali v tomto heterogenním místě vzniká nižší předpětí, tím dochází ke katodické reakci, nebo zdali je v tomto místě kov snadněji ionizovatelný, tím zde dojde k anodické reakci. Tyto anodické a katodické mikročlánky se navzájem ovlivňují na vzdálenost desítek mikrometrů. Pokud bychom tento systém zvětšili na větší vzdálenosti, vzniknou nám tzv. makročlánky, jejichž činnost může dosahovat i mnoha metrů. Vzniklé články lze dále třídit [13,23,24]:

- Galvanické články

Lze dělit na články, které vznikly heterogenitou materiálu (bimetalický článek), kdy jsou galvanicky spojeny alespoň dva různé elektricky vodivé materiály v tomtéž elektrolytu (viz. Obr. č. 4A) a na články vyvolané heterogenitou podmínek (vnější zdroj napětí). V tomto případě jsou elektrody článku z téhož materiálu (viz. Obr. č.4B) [13,23,24].



Na obr. č. 4 A je v plastové nádobě vodivý roztok se dvěma elektrodami, z nichž jedna je z hořčíku a druhá z železa. Při vnějším galvanickém propojení těchto elektrod začne obvodem procházet proud a to vně článku od kladného pólu (svorky) k zápornému a uvnitř článku (ve vodivém roztoku) od záporné ke kladné. Je to dáno samovolným korozním potenciálem používané slitiny hořčíku, která dosahuje hodnot cca -1,6 V (vztaženo proti elektrodě z Cu/CuSO₄), zatímco potenciál železa je cca -0,5 V. Hnací napětí tohoto článku je tedy přibližně 1,1V, což nám jinými slovy říká, že korozní anodou je hořčík a železo bude chráněno [24].

Na obr. č. 4 B jsou v plastové nádobě dvě elektrody ze stejného materiálu, obě ze železa. Pokud budou tyto elektrody napájeny z vnějšího zdroje napětí, pak elektroda s kladnou polaritou bude korozní anodou a záporná chráněnou katodou. Tento jev se v praxi využívá tak, že se u chráněné konstrukce (ve vzdálenosti cca 100-300m) vybuduje tzv. uzemňovací anoda a propojí se přes zdroj stejnosměrného napětí s konstrukcí [24].

- Koncentrační články

Vznikají za podmínek, kdy je kovový materiál v elektrolytu s gradientem koncentrací složek, které rozhodují o korozní agresivitě - články s různým odvzdušněním. Důsledkem rozdílnosti odvzdušnění je lokální aktivace původně pasivního kovu. Příkladem může být například ocelová tyč vražená do země (půdy), kde díky různému odvzdušnění dochází na povrchu materiálu (v místě rozhraní materiál/prostředí) k sekundárním změnám korozního prostředí. V blízkosti neodvzdušňovaného, anodického (zápornějšího) povrchu klesá hydrolýzou hodnota pH a vzrůstá koncentrace aniontů migrací. V blízkosti katodického (zápornějšího) povrchu (s vyšším přístupem vzduchu) vzrůstá v důsledku redukce kyslíku hodnota pH a klesá koncentrace aniontů solí migrací. Sekundární změny chemického složení způsobí zesílení anodického rozpouštění na anodickém povrchu a zároveň pasivaci katodického povrchu [13].

3 Protikorozní ochrany kovových konstrukcí

Veškeré poznatky o fyzikálně chemických reakcích koroze lze využít pro návržení, rozdělení a použití antikoročních úprav (ochran) [13,22,23]. Těchto ochran existuje nespočetné množství, proto budou zmíněny aktuálně nejvíce používané metody ochrany kovů, úpravy povrchů, používané materiály, vývoj v odstraňování koroze a možné využití ochranné vlákněné vrstvy [24].

Možnosti ochrany proti korozi

- Pasivní – Samovolná, Umělá
- Aktivní – Galvanický a elektrický člunek, Zinkování, Fosfátování
- Kombinace

3.1 Pasivní ochrana

3.1.1 Samovolná pasivní ochrana

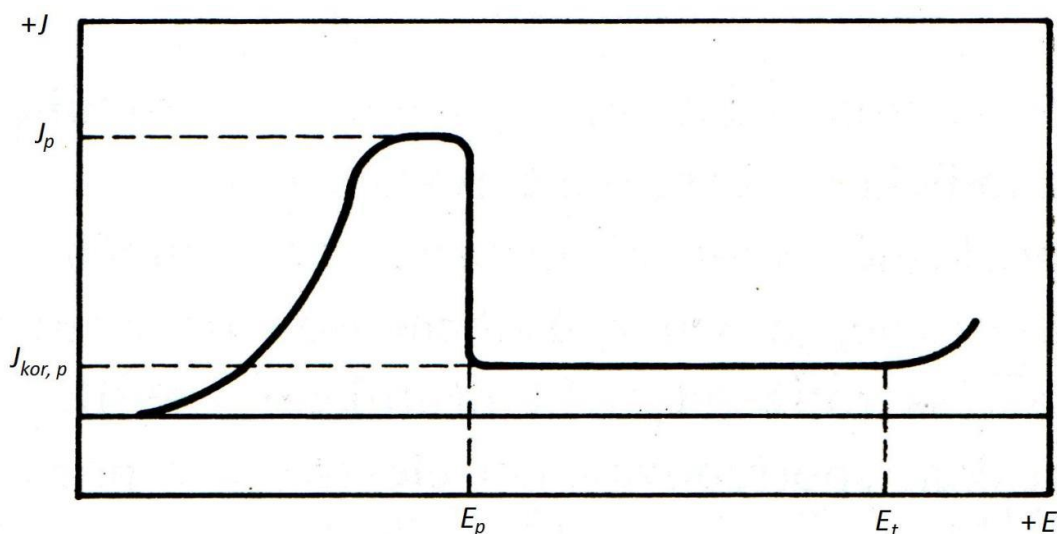
Tento jev má velký význam při zvyšování korozní odolnosti kovů a slitin. Probíhá v oxidujícím prostředí, kde místo očekávané silné koroze dojde naopak téměř k zastavení korozních procesů a kov se stane korozně odolným [12].

Existuje několik teorií, jak k tomuto pasivnímu stavu dochází. V současné době je nejvíce zmiňovaná absorpčně bariérová teorie. Experimentální práce, které tuto teorii zkoumaly, zjistily, že ke zpomalení anodického děje (rozpuštění kovu) dochází díky blokování aktivních rozpouštěcích center na povrchu kovu vlivem oxidů nebo jiných chemických sloučenin [12,13,24].

Tloušťky pasivních vrstev se zpravidla pohybují v řádu jednotek až desítek nanometrů. Těchto oxidačních, pasivních vrstev může vzniknout velké množství a výsledná tloušťka této ochranné vrstvy může být i v řádu stovek mikrometrů. Tyto vrstvy mají amfoterní charakter, přičemž množství kyslíku neodpovídá stochiometrii oxidů. Nárůsty, vrstvení pasivační ochrany je způsobeno tvorbou sloučenin kationtů kovu s anionty obsaženými v roztoku, čímž dochází k zamezení anodickému rozpouštění kovu. Musí být ovšem splněna podmínka, že korozní

prostředí neobsahuje spolu s pasivačními ionty i sloučeniny, které zpětně pasivační vrstvy narušují a to jak chemicky, tak mechanicky [12,24].

Některé kovy mohou tvořit oxidy několika stupňů, ale většinou pouze jeden z nich má pasivační účinky. Konkrétně pro železo je to Fe_2O_3 . Při překročení potenciálu, ve kterém je Fe_2O_3 stabilní, dojde ke vzniku oxidů o vyšším stupni. Tyto oxidy vyššího řádu jsou rozpustnější než Fe_2O_3 a dojde ke ztrátě ochranných účinků. Takovému jevu se říká transpasivace. Znázornění průběhu polarizace kovu, pasivace a transpasivace lze pozorovat na Obr. č. 5 [12,24].



Obr. č. 5 Polarizační křivka kovu přecházejícího do pasivního a dále transpasivního stavu: E_p – pasivační potenciál, E_t – transpasivační potenciál, J_p – kritická pasivační proudová hustota, $J_{kor,p}$ – korozní proudová hustota v pasivním stavu [12].

Tento typ samovolné pasivace se vyskytuje hlavně u hliníku, titanu a chromu, protože tyto kovy mají nízkou hodnotu pasivačních potenciálů a pasivačních proudových hustot. [24] Toho lze využít například při legování korozivzdorných ocelí pomocí chromu [25].

3.1.2 Umělá pasivní ochrana

Tento typ ochrany je zmíněn, protože ne každý kov dokáže setrvat v pasivním stavu při běžných, či náročných podmínkách věčně. Proto je výhodné tento kov dodatečně ochránit. Umělou pasivní ochranu chápeme jako opatření, pomocí kterého co nejvíce

zvýšíme přechodový odpor na rozhraní kovový povrch-prostředí (půda, elektrolyt), případně zvýšení podélného elektrického odporu daného kovu a co nejvíce zamezit přístupu vzduchu. Do této podkategorie lze zařadit izolace, izolační spoje a speciální lokální úpravy kovové konstrukce [24].

Materiál použitý k umělé pasivní ochraně by optimálně vůbec neměl podléhat korozi. Z tohoto důvodu jsou zde ve velké míře používány termoplasty, jako je například polyethylen (PE) a polyethylentereftalát (PET), nebo termosety [24].

3.2 Aktivní ochrana

Jedná se o tzv. proti korozní článek. Tento typ ochrany (elektro chemické) vychází ze skutečnosti, že všechny korozní pochody jsou vyvolávány elektrochemickými reakcemi, které probíhají na povrchu kovu a je možné tyto reakce ovlivnit pomocí elektrického proudu. Aktivní ochrana se převážně využívá v kombinaci s pasivní ochranou, kterou doplňuje v případě porušení, zeslabení, snížení účinnosti pasivní vrstvy [24]. Aktivní ochrana kovů úzce souvisí s již popsaným galvanickým článkem, který může mít několik podob:

- a) Katodická ochrana vnějším zdrojem proudu
- b) Katodická ochrana galvanickými anodami – kombinace rozdílných elektrod v sérii s elektrolytem
- c) Ochrana elektrickými drenážemi – zdrojem ochranného proudu je bludný proud z kolejové dopravy
- d) Anodická ochrana – zajištěna zvýšením korozního potenciálu na hodnotu, která odpovídá pasivnímu stavu (pasivovatelné kovy)
- e) Kombinace

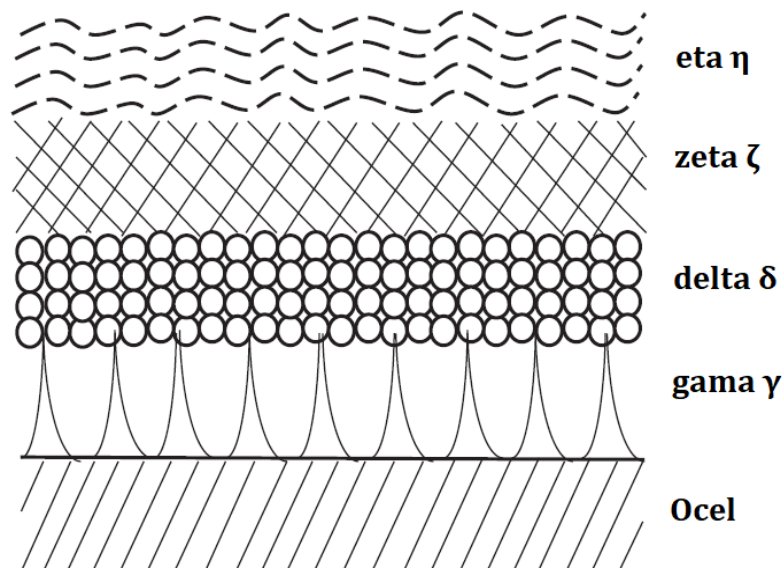
4 Zinkování

Zinkové povlaky jsou hojně používány k ochraně oceli. Tato metoda využívá principu katodické ochrany oceli. Ochranná vrstva zinku tedy koroduje přednostně před ocelí a tím chrání povrch oceli [26].

Existuje několik možností, jak ochrannou vrstvu zinku na ocel nanést. Je to například: žárové zinkování, galvanické pokovení, pokovení nástřikem, mechanické pokovování. Nejvíce využívanou metodou je žárové zinkování, které nabízí jedinečnou kombinaci výsledných vlastností, jako je vysoká pevnost, tvarovatelnost, nízká hmotnost, odolnost proti korozi, nízká cena a recyklovatelnost [27].

4.1 Žárové zinkování

Žárově zinkovaný povlak je tvořen z heterogenní sestavy různých fází, které vznikají v důsledku metalurgických reakcí při ponoření nažhaveného železa do roztavené zinkové lázně [28]. Po ztuhnutí lze povlak rozdělit do čtyřech sekcí, které se liší podílem zinkové a železné části. Znázornění takto vzniklých sekcí můžeme vidět na Obr. č. 6. Nejvrchnější vrstva se nazývá eta η . Tato vrstva obsahuje 100% zinku. Pod touto vrstvou se nachází vrstva zeta ζ obsahující 94% zinku a 6% železa. Třetí vrstva delta δ obsahuje 90% zinku a 10% železa. Poslední vrstva gama γ se skládá z 75% zinku a 25% železa. [29,30]. Tyto intermetalické vrstvy jsou podstatně tvrdší než základní ocel a poskytují výjimečnou ochranu proti poškození [26].



Obr. č. 6 Schématické znázornění vzniku vrstev zinku při žárovém zinkování [26].

4.2 Proces žárového zinkování

Celková skladba ocelového povrchu významně ovlivňuje proces žárového zinkování a výslednou zinkovou strukturu. Změna morfologie ocelového povrchu ovlivňuje nejen rychlost napadení oceli roztaveným zinkem, ale také mění způsob reakce při dané galvanizační teplotě [31]. Skladba ovlivňuje, jak silně zinek stéká z povrchu, zároveň s tím i výslednou morfologii zinkového (výsledného) povlaku a v neposlední řadě velikost ochrany. Dalším faktorem, který ovlivňuje metalurgické vlastnosti zinkové vrstvy je chemické složení oceli. Konkrétně množství částic křemíku (Si), fosforu (P), uhlíku (C) a manganu (Mn) na povrchu ocelové konstrukce, ovlivňuje mechanismus tuhnutí Fe-Zn v závislosti na jejich koncentraci. Například vysoká koncentrace Si a P reguluje váhový přírůstek zinkové vrstvy a přítomnost určitého poměru C a P urychluje růst, vznik slitiny. Jinými slovy zlepšuje přilnavost povlaku [32,33]. Pro žárové zinkování jsou používány dvě hlavní skupiny ocelí a to nízkouhlíková s nízkým obsahem křemíku a reaktivní ocel s vysokým obsahem křemíku [26].

5 Technologický postup žárového zinkování

Příprava povrchu je velice důležitý krok při žárovém zinkování, protože zinek při metalurgickém zpracování nereaguje s povrchem oceli, na kterém se vyskytují nečistoty. Účinné čištění ocelového substrátu může být dosaženo různými procesy [26]. Celkový proces žárového zinkování se obvykle skládá z:

- Odmaštění
- Moření (pickling)
- Tavení (fluxing)
- Galvanizace

5.1 Odmaštění

Oleje, tuky a jiné zmýdelnitelné sloučeniny, přítomné v ocelových substrátech jsou odstraněny při prvním kroku odmaštění. K tomuto účelu se obvykle používají alkalické roztoky, jejichž výhodou je nízká cena v porovnání s použitím organických rozpouštědel. Dále je možné k odmaštění nízkouhlíkové oceli použít 10% roztok NaOH při 60 °C, po dobu 10 minut před žárovým zinkováním, nebo také 5% roztok NaOH při 50 °C [27,34].

5.2 Moření (pickling)

Obvykle ocelový substrát obsahuje oxidy železa i po odstranění mastných látek odmaštěním. Tyto oxidy je nutné odstranit mořením. Běžně jsou používány teplé, horké roztoky kyselin, jako je například kyselina chlorovodíková (HCl), H₂SO₄, případně H₃PO₄ díky jejich vysoké účinnosti. Ve větší míře je ovšem využívána HCl, kterou není nutné zahřívat a stačí menší objem lázně. Další výhodou kyselin je úprava morfologie povrchu kovu pro lepší adhezi zinkových vrstev [35,36]. Kyselina chlorovodíková se nejčastěji používá v koncentracích od 8-14 hm% obvykle při pokojové teplotě po dobu 20 minut [27,34].

5.3 Tavení (fluxing)

Tavení je vyžadováno k rozpuštění všech oxidových filmů, které se vytvořily na povrchu oceli po moření. Tento proces zajišťuje, že během procesu galvanizace kontaktuje roztavený zinek co nejvíce čistý kovový povrch a dojde k co největší interakci ocel/zinek. Tavní roztoky se skládají z alkalických kovů a chloridů alkalických zemin, nebo fluoridy s chloridem zinečnatým. Tradiční roztok se skládá

ze směsi chloridu zinečnatého (ZnCl_2) a chloridu amonného (NH_4Cl) v molárním poměru 1:3 [37]. Chlorid amonný zvyšuje sušení tavidla na ocelovém substrátu a chlorid zinečnatý chrání ocel před korozi, povrchovou oxidací předtím, než dojde k ponoření oceli do roztavené zinkové lázně. Ošetřená ocel je postupně sušena při teplotě 120 °C - 150 °C, kdy dojde k odpaření tekuté složky fluxu a vytvoření solí na povrchu, které vytváří pomocný můstek při žárovém zinkování [38].

5.4 Galvanizace

Během žárového zinkování je ocelový substrát zcela ponořen v lázni sestávající se z minimálně 98% čistého roztaveného zinku. Chemické složení lázně je specifikováno podle normy ASTM, specifikace B6. Teplota lázně se udržuje přibližně v rozsahu 440-460 °C, přičemž některé vrstvy se vytváří až při teplotách 480 °C. Nad touto teplotou dochází již k migraci roztaveného zinku do struktury oceli, což může být žádoucí, či nikoliv. Tato reakce probíhá běžně kolem 4-5 minut. Roztavený zinek reaguje s železem na ocelovém povrchu za vytvoření intermetalického zinku (slitina železa). Takto upravené výrobky jsou po určitém čase odebírány z galvanizační lázně přibližnou rychlostí $1,5\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ a přebytek zinku se odstraní vlivem gravitace sám, nebo pomocí vibrací, či odstředění. Okamžitě po vyjmutí z lázně dochází ke chlazení vzduchem. Je zřejmé, že proces galvanizace je závislý na několika parametrech. Některé již byly zmíněny a jsou zřejmé, některé nikoliv [26,39,40]. Jsou to tedy:

- Teplota lázně
- Doba ponoření
- Rychlost odebírání
- Složení lázně

5.4.1 Složení lázně

Životnost zinkového povlaku neovlivňuje pouze správně připravený podklad, ale také metalurgické vlastnosti lázně. Lázeň se musí vždy přizpůsobovat konkrétnímu využití, zpracování oceli, aby vznikla co nejlepší ochrana povrchu. Z tohoto důvodu se do zinkové lázně přidávají další přísady, jako je např.: hliník, hořčík, nikl atd. Přítomnost těchto prvků významně ovlivňuje galvanizaci [26,39,40].

Například již zmíněný hliník je jednou z běžně používaných přísad v roztavené zinkové lázni, díky jeho schopnosti snížit rychlost oxidace roztaveného zinku a zmenšuje velikost třpytů, šupinek, čímž zlepšuje homogenitu povlaku. Hliník také značně zlepšuje korozní odolnost a to při malých koncentracích okolo 5 hm% [39,40,41]. Dále hliník v roztavené zinkové lázni zabraňuje růstu intermetalické vrstvy Fe-Zn a snižuje migraci železných částic a to již od koncentrací 0,15-0,2 hm% [39].

Kromě těchto prvků se využívá též přidání olova, nebo antimonu v malých koncentracích (0,004-0,2 hm%), což významně zlepšuje rovnoměrnost a přilnavost povlaku [42]. Nově byl zjištěn i pozitivní vliv bizmutu na odolnost proti korozi a přilnavost povlaku zinku [43]. Nicméně si tyto nové modifikace zatím nevyžádali dostatečnou pozornost a v praxi nejsou využívány [26].

6 Fosfátování

Tento proces ochrany kovů může být použit odděleně, či zároveň se zinkovou vrstvou. Fosfátování je používáno hlavně v automotive pro ochranu karoserií a dalších kovových, nosných, nenosných prvků. Technologický postup je v hlavních krocích dost podobný žárovému zinkování. Proto budou k tomuto procesu zmíněny hlavně doplňující kroky, či odlišnosti a postup bude vztažen k aplikaci v automotive [44].

Stejně jako u žárového zinkování je zde na začátku proces výběru substrátu, kovu, se kterým budeme dále pracovat. To může být například: ocel, hliník a další slitiny, či kombinace jako galvanneal, zinek/nikl, zinek/magnesium nebo částečně předfosfátovaná ocel [44].

7 Technologický postup při fosfátování

Standartní postup úpravy karoserií vozidel zahrnuje následujících pět operací, pro optimální přípravu kovového povrchu a následnou aplikaci [45]:

- Předčištění (volitelné)
- Odmaštění
- Aktivace
- Fosfátování
- Pasivace

7.1 Předčištění

V závislosti na požadovaném stupni kvality, čistoty výsledné vrstvy (potahovací linky), vyžaduje legislativa určitý počet mezi kroků v každém výrobním procesu. Například předúprava se může skládat až ze 14 kroků pro bezpečný a reprodukovatelný proces [46].

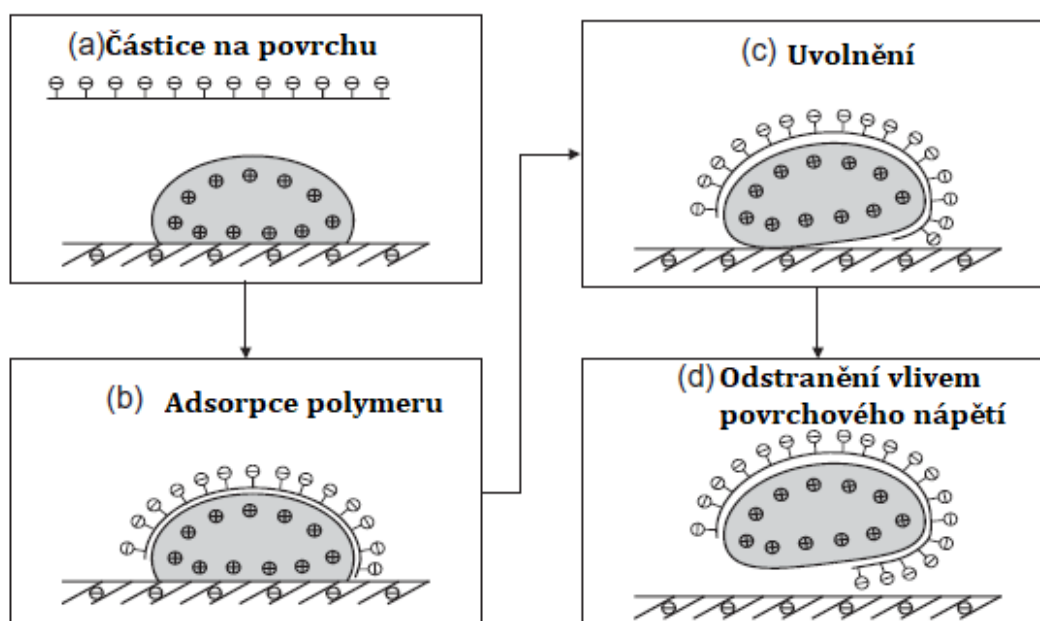
7.2 Odmaštění

Úkolem této operace je, jako u zinkování, odstranit z kovu všechny nečistoty na povrchu a vytvořit dokonale smáčivý povrch, který bude schopný vytvořit souvislý, homogenní fosfátový povrch. V odmašťovacích linkách se používají hlavně alkalické

odmašťovače buď ve formě prášku, nebo kapaliny, které se přidávají do odmašťovací lázně. Kapalné odmašťovače jsou dvoufázové a skládají se z tzv. builderu a surfaktantu, zatímco prášek je převážně jednofázový. Hlavním úkolem builderu je odstranit anorganické a pigmentové kontaminanty jako např.: kovové piliny a perličky ze svařování. Surfaktant, povrchově aktivní látka se podílí na odstraňování olejů, maziv, mýdel a dalších organických látek. Běžně používané buildery v alkalických čisticích prostředcích se skládají z několika hlavních chemikálií [44]:

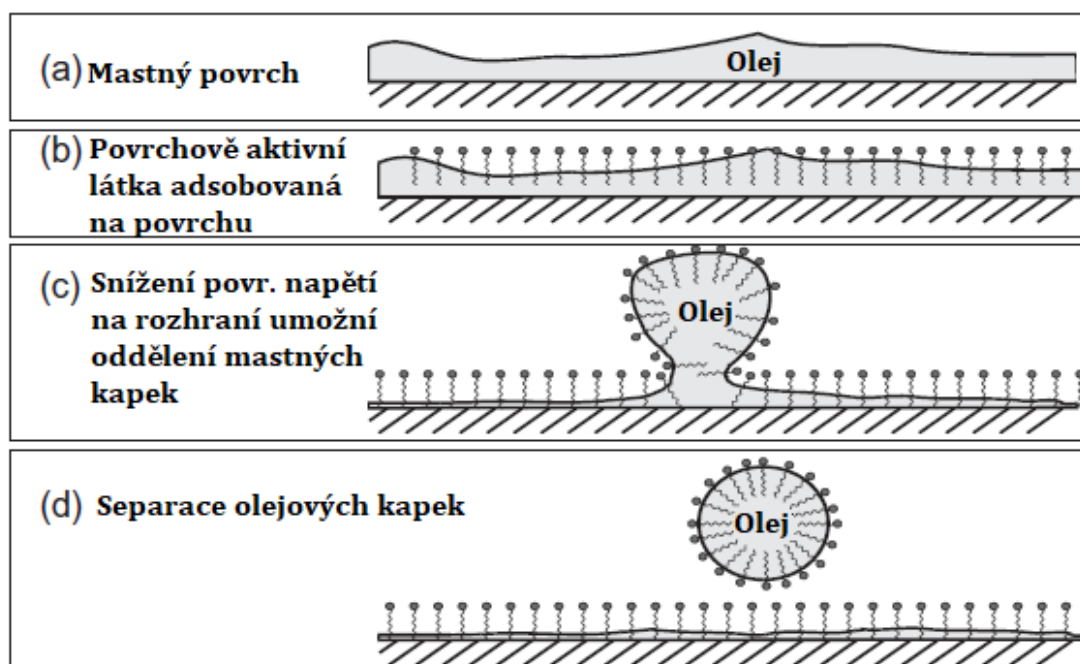
hydroxidu sodného (NaOH), hydroxidu draselného (KOH), uhličitanu sodného (Na_2CO_3), uhličitanu draselného (K_2CO_3) – Tyto látky vytváří alkalické prostředí. Dále různé křemičitany (silikáty), které odstraňují nežádoucí částice, či fungují jako inhibitory, puify. Buildery též tvoří orthofosfáty, díky svým výborným odmašťujícím vlastnostem, a kondenzované fosfáty s dalšími komplexními činidly [44].

Povrchově aktivní látky obsahují hydrofilní skupinu, tj. dlouhý řetězec ethoxyly (EO) a/nebo řetězec propoxy (PO) molekul a dále hydrofóbní skupina, která je typicky alkyl s dlouhým řetězcem. Povrchově aktivní látky se rozdělují na aniontové, kationtové, neiontové a amphoterní [44].



Obr. č. 7 Mechanismus odstraňování částice z povrchu [44].

Při odmašťování karoserií se v dnešní době nejčastěji používají neointové (neinogení) povrchové aktivní látky, díky jejich poměrně malému dopadu na životní prostředí. Mechanismus odstraňování částic z povrchů je znázorněn na obrázku č. 7. Povrchově aktivní látky v roztocích snižují mezifázové napětí, absorbují se v pevné látce a tvoří micely. Mechanismus odstraňování oleje z povrchů je znázorněn na obrázku č. 8. Povrchově aktivní látky nejprve adsorbují na povrchu oleje a potom se snaží snížit povrchové napětí. Díky tomu dojde k oddělení, odstranění kapičky obsahující oleje z povrchu [44].



Obr. č. 8 Mechanismu odstranění olejové skvrny z povrchu [44].

Neinogenní povrchově aktivní látky jsou solubilizovány vodíkovými vazbami mezi molekuly vody a etherovou skupinou. S rostoucí teplotou dochází k rozpadu vodíkových vazeb a povrchově aktivní látka se stává nerozpustnou a vytvoří dvoufázový systém. Tento jev se nazývá bodem zákalu (cloudy point) a je závislý na teplotní závislosti jednotlivých povrchově aktivních látek a počtem EO a PO skupin. Neinogenní povrchově aktivní látky mají nad bodem cloudy pointu nízkou tendenci k vytváření pěny, přičemž jsou ale stále na povrchu aktivní [44].

7.3 Aktivace

Proces aktivace zvyšuje počet jader krystalizace na kovovém povrchu. To má za následek zvýšený počet fosfátových krystalů na jednotku plochy a snížení hmotnosti povlaku aplikované konverzní vrstvy. Cílem je dosáhnout uniformního pokrytí fosfátových krystalů, díky kterým se značně urychlí proces hlavního fosfátování [44].

Pro aktivaci před zinkovým fosfátováním se používají vodné disperze fosfátu ortho titanu s pH v rozmezí 7-11. Výkonnost výrobního procesu je určována právě těmito aktivátory. Tento proces je klíčový a proto si výrobní společnosti, zabývající se předúpravou oceli aj. materiálů, toto know-how velice pečlivě střeží. Jsou ovšem známé a dostupné aktivátory fosforečnanu titaničitého, které je možné pořídit jak v práškové, tak tekuté formě, přičemž tekutá forma má kratší dobu použití a je citlivá na extrémní, tepelné výkyvy (transport během zimního, letního období) [44].

Kapalné aktivátory se nejčastěji nanáší ponořením do mořící lázně, do které je produkt přiváděn ze zásobní nádrže. Kapalné aktivátory jsou většinou velice viskózní kapaliny a pro jejich transport jsou vyžadována speciální čerpadla. V případě použití práškových produktů se obvykle připraví 5 % suspenze v předmíchávací nádrži a ta je dále distribuována čerpadlem do hlavní pracovní nádrže. Doporučuje se, aby se aktivační lázně míchaly nepřetržitě z důvodu tvorby sedimentu disperze fosforečnanu titaničitého [44].

Výkon aktivačních lázní se snižuje s plynoucím časem, nezávisle na propustnosti ponořeného materiálu. Tento jev je z velké míry závislý na typu, složení použitého produktu. Příkladem může být koloid záporně nabitého fosforečnanu titaničitého, který se vysráží na povrchu ošetřovaného materiálu vlivem dvojmocných, trojmocných kationtů, zejména Ca(II)^+ a Mg(II)^+ , které jsou obsaženy v tvrdé vodě. Aby se tato degradace dvojmocnými ionty snížila, obsahuje většina aktivátorových produktů kondenzované polyfosfáty. Ty vytváří komplexy s výše uvedenými kationty [44].

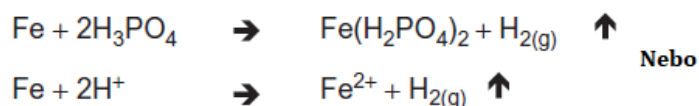
7.4 Zinkové fosfátování

Fosfátové konverzní vrstvy se běžně používají s nízkým obsahem zinku a jsou celosvětově využívány na veškeré části karoserií z různých materiálů. Což je v porovnání s dřívějšími technologiemi, chemikáliemi značná výhoda. Procesy jako např. úpravy fosforečnanem železitým, fosforečnanem zinečnatým pro ocelové povrchy, či chromové, bez chromové úpravy pro hliníkové povrchy na bázi sloučenin titanu a zirkonia, nedosahují požadované kvality na všech substrátech a ani nemohou být použity univerzálně. Naproti tomu fosfátové konverzní vrstvy ano [44].

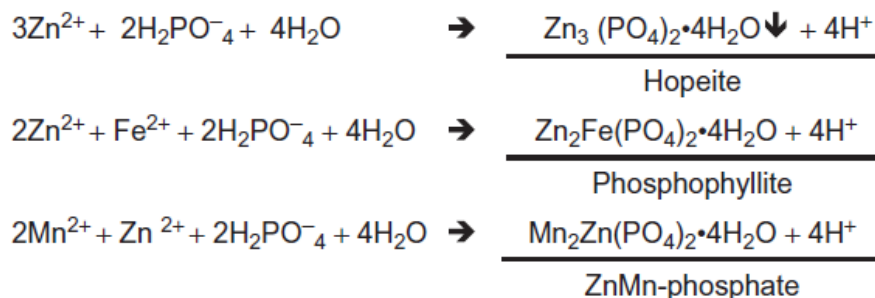
7.4.1 Průběh chemické reakce při tvorbě zinek-fosfátové vrstvy

Prvním krokem – což můžeme pozorovat na obr. č. 9, stejně jako u žárového zinkování, je moření (pickling) kovového povrchu. U fosfátování je používána kyselina fosforečna. Tímto mořením dochází k úbytku kovu, které se u válcovaného plechu za studena, pozinkovaného ocelového plechu, nebo hliníkového plechu pohybuje v rozmezí 0,5 až 2g*m⁻² [44].

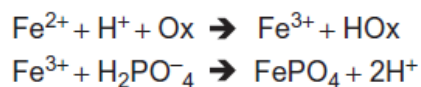
Reakce při moření povrchu (Pickling)



Tvorba zinek-fosfátové vrstvy



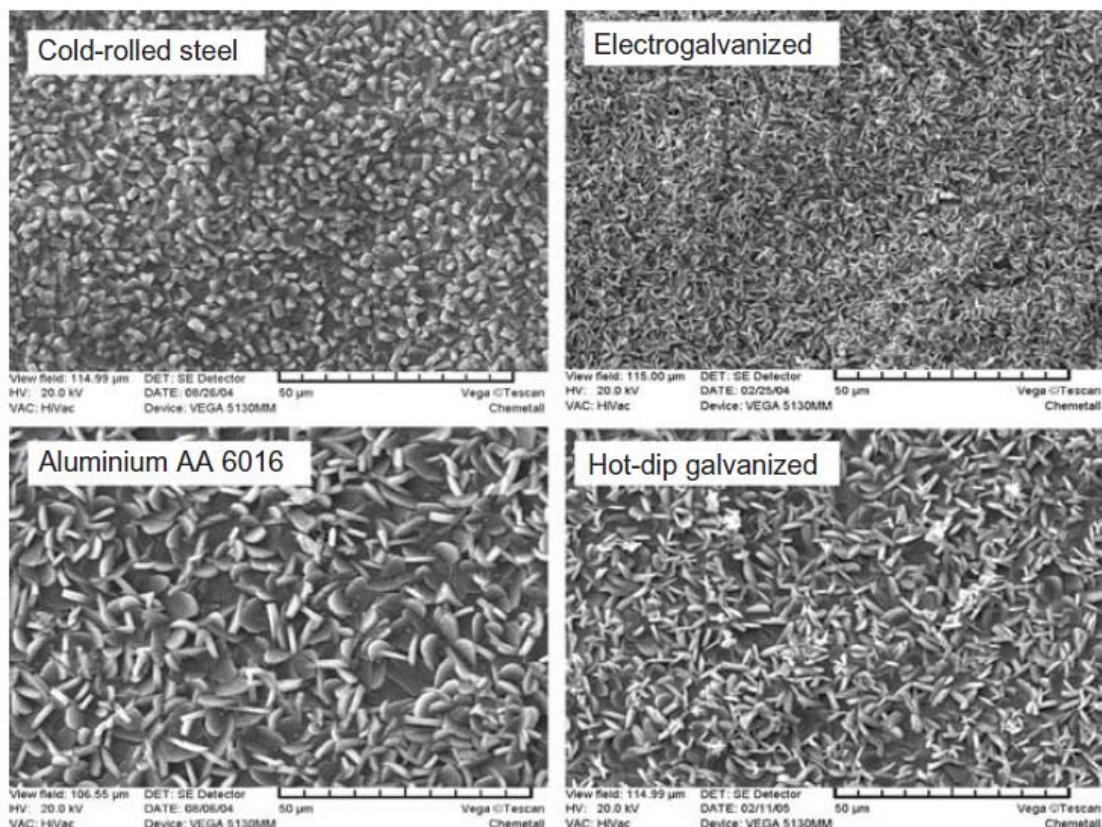
Tvorba kalu



Obr. č. 9 Chemická reakce tvorby zinek-fosfátové vrstvy a kalu [44].

Spotřeba vodíkových iontů vede k posunu pH v difúzní vrstvě sousedící s kovovým povrchem, tím dojde k překročení limity rozpustnosti a následnému srážení fosforečnanu zinečnatého. Proto se do zinek-fosfátu přidávají urychlovače mořícího procesu, které díky rychlejší redukční reakci nahradí vznikající, nežádoucí molekuly H_2 [44].

Hlavní krystalickou fází vytvořené fosfátové vrstvy s nízkým obsahem zinku tvoří hopeite a fosfofylit – což lze pozorovat na vzorci chemické reakce na obr. č 9. Krystaly fosfátu jsou elektrické izolátory, ale obsahují přibližně 1 % pórů. Díky tomu je možné následné nanášení elektrokovů (barev). Typické složení konverzních vrstev se liší u oceli, zinku a hliníkových substrátů. Pro názornost jsou zobrazeny na obr. č. 10 ze skenovací elektronové mikroskopie SEM různé typy morfologie povrchu v závislosti na typu substrátu, přičemž následná adheze elektrokovových nátěrů je téměř totožná [44].



Obr. č. 10 Snímky SEM, měřítko 50µm. Snímek A) zinkové-fosfátové vrstvy na oceli válcované za studena. Dále B) fosfátová vrstva nanesená elektro galvanizací. Vrstva fosfátové ochrany na hliníku AA6016 C) a žárové zinkování v části D) [44].

Proces fosfátování je obvykle provozován v Evropě a Severní Americe při 50-55 °C. Zatímco v Jihovýchodní Asii se aplikační teploty pohybují v rozsahu 40-45 °C bez výrazného vlivu na konečný výsledek. V posledních letech se používá nové tzv. nízkoteplotní procesy nízko kalového fosfátu. Tato technologie byla poprvé představena v Japonsku. Teplota nízko kalové fosfátové lázně se pohybuje okolo 35 °C [44].

7.5 Pasivace

Dosažení maximální korozní odolnosti čerstvě fosfátovaného povrchu se docílí pomocí pasivace. Do nedávna se používaly konverzní vrstvy na bázi šestivazného chromu Cr^{VI}. Ty byly organizací REACH zakázány z důvodu jejich toxicity. Chromové pasivační lázně nahradily postřiky s roztoky na bázi zirkonu. Zirkon se naváže na povrch fosfátu a zaplní volné póry. Zároveň dojde k vysrážení nerozpustných sloučenin a odstranění sekundárních fosfátových krystalů z povrchu [44].

Pasivační postřik na bázi zirkonu má přibližně následující složení:

- koncentrace zirkonia 50–150 ppm
- koncentrace fluoridů 50–200 ppm
- pH 3,5–5,0
- vodivost (20 °C) <600 μS cm⁻¹
- kontrola pH, vodivost, obsah Zr a/nebo celková titrace kyseliny v demineralizované vodě
- Výdrž roztoku 1–4 týdny, v závislosti na kontaminaci, úrovni a kvalitě předchozí oplachovací lázně.

Zajímavostí je, že například japonsští a korejsí výrobci automobilů proces pasivace nepoužívali vůbec. Namísto něj používali systém kaskádových lázní s demineralizovanou oplachovou vodou. Tato technologie byla i nakonec převzata evropskými výrobci aut a je používána dodnes [44].

8 Odstraňování koroze

Koroze povrchu kovů, které již byly či nebyly nějakým způsobem chráněny, se může vyskytovat v mnoha podobách a na jejím vzniku se nejčastěji podílí solné ionty, které začínají okamžitě reagovat s povrchem kovu. Snahou je tento děj co nejdříve zastavit tím, že vzniklou korozi odstraníme, postižené místo znovu ochráníme a případně naneseeme další funkční, či ochranné vrstvy, aby nedocházelo k dalšímu rozšíření korozního místa. V současné době existují dva hlavní způsoby, jak vzniklou korozi odstranit [18,47]:

- Chemicko-fyzikální odstranění koroze
- Mechanické odstraňování koroze

8.1 Chemicko-fyzikální odstranění koroze

V tomto odvětví se pro odstranění koroze kovů využívají hlavně roztoky kyselin, či zásad. Kromě těchto dvou variant lze ještě použít čištění kovů pomocí elektrolýzy. Bude využito následující dělení [18,47]:

- Odstranění koroze pomocí roztoku kyselin
- Odstranění koroze pomocí roztoku zásady
- Odstranění koroze pomocí elektrolýzy

8.1.1 Odstranění koroze pomocí roztoku kyselin

Zde se využívá jak organických, tak anorganických kyselin [47]. Mezi nejpoužívanější anorganické kyseliny, které se používají pro odstraňování koroze, patří kyselina chlorovodíková. Ta se nejčastěji používá k čištění korodující oceli [48]. Alternativou k této kyselině může být použita kyselina sírová [49], nebo kyselina fosforečná [50]. Z organických kyselin lze pro odstranění koroze použít kyselinu tříslovou (Tannic acid- TA) [50], která se nejčastěji používá v koncentraci okolo 10%. Kyselina tříslová se hojně používá pro „důlkovou a štěrbinovou korozi“ [51].

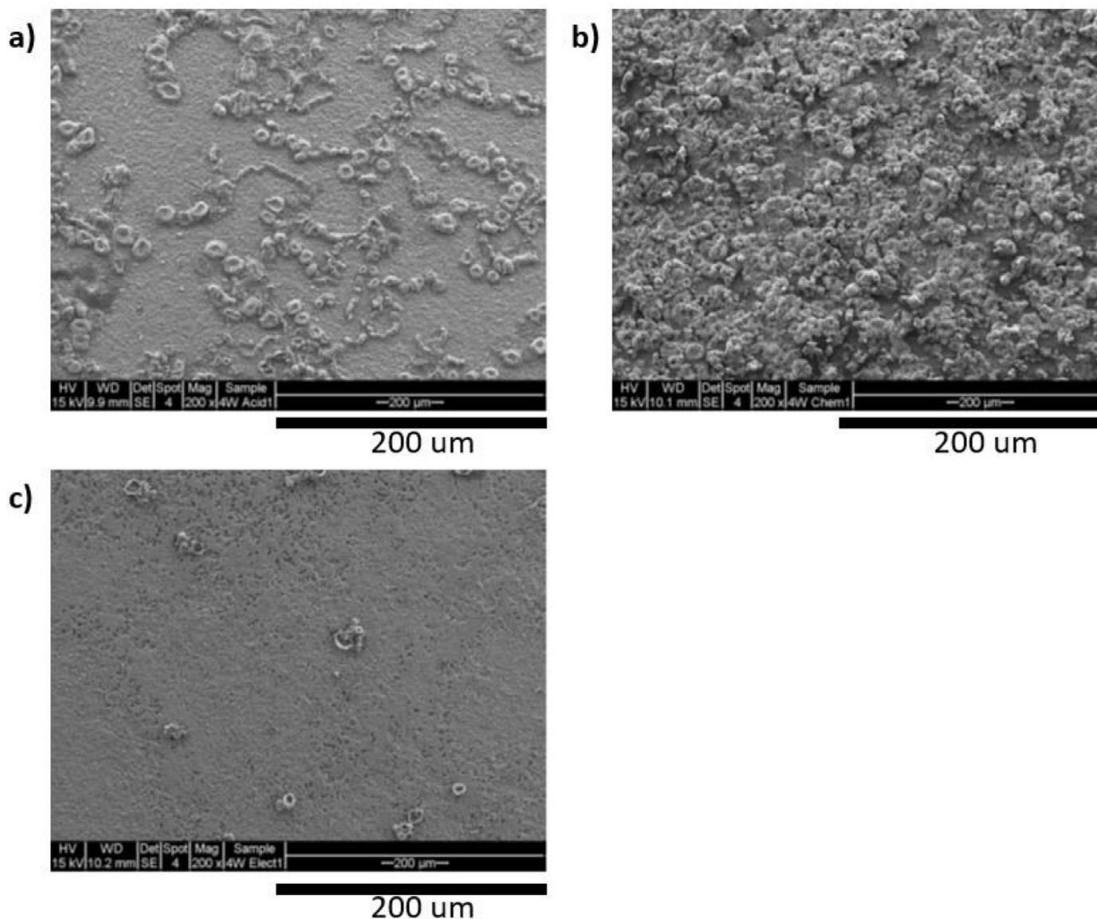
Princip odstranění koroze v kyselinách spočívá v tom, že kyselina reaguje s povrchem kovu, tedy se vzniklými vrstvami oxyhydroxidu železa, a rozpouští tak tyto oxidy rychleji, než kov samotný. Výhodou této metody odstranění koroze pomocí roztoku kyselin jsou relativně nízké náklady a rychlost odstranění. Tato metoda se obvykle používá pouze pro odstranění koroze povrchové. Její efektivní využití tedy s rozsahem, tloušťkou vzniklé koroze klesá. Jaký má tento proces odstraňování koroze vliv na morfologii plochy kovu, při použití různých kyselin, lze vidět na Obr. č. 11 [52].

8.1.2 Odstranění koroze pomocí roztoku zásad

Kromě kyselin se k odstranění koroze používají také zásadité roztoky chemikálií. Nejběžněji používaný je hydroxid sodný (NaOH), ale používá se též hydroxid draselný (KOH). Podle vědecké práce [53] se předpokládá, že zásaditý roztok reaguje s Fe^{2+} ionty, což má za následek oddělení vrstvy korozivních produktů od povrchu oceli, či železa. Odstraňování koroze pomocí zásad je také relativně nízkonákladová metoda a obstojně rychlá. Kromě toho alkalické roztoky neovlivní, nereagují s povrchem oceli, či železa a je výhodné je použít k odstranění rozsáhlé, hloubkové koroze [54].

8.1.3 Odstranění koroze pomocí elektrolýzy

Elektrolytické čištění je další z možností odstraňování koroze z kovu. Funguje na principu již zmíněného elektro-chemického článku, který je připojen k zdroji elektrické napětí a zkorodovaná, oxidační vrstva se odtrhne od povrchu anody [52]. V případě použití elektrolýzy nedochází k další korozi ocelového povrchu, což lze i vidět na Obr. č. 11 Stejný jako nahoře. Některé slitiny oceli, či další kovy, dokáží díky elektrolýze znovu zapasivovat [55]. Elektrolytické čištění může být provedeno pouze ve speciálně navržené lázni (článku), což zamezuje jeho použití na velkých objektech v terénu [56].



Obr. č. 11 Morfologie povrchu oceli zachycena pomocí SEM

Na obrázku č. 11 a) můžeme vidět povrch oceli, který byl ošetřen ponořením do kyseliny chlorovodíkové o koncentraci $6\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ po dobu 10 minut. Za tuto krátkou dobu došlo k odstranění vrstvy korozních produktů, ale následně došlo k tvorbě nových povrchových vad ve tvaru doughnutu, což značí, že kyselina sice korozní produkty odstranila, rozpustila, ale následně kyselina zreagovala s povrchem oceli a vznikl jiný typ koroze. Stejný typ reakce kyseliny s povrchem můžeme pozorovat i na obrázku b), kde byl použit roztok Clarkova činidla, které se též hojně používá k odstraňování korozních produktů. Roztok obsahuje směs kyseliny chlorovodíkové a Sb_2O_3 (oxid antimonitý). Na obrázku c) můžeme pozorovat odstranění korozních produktů pomocí elektrolytického čištění. Proces probíhal po dobu jedné hodiny a téměř veškeré korozní produkty byly z povrchu odstraněny a následně nevznikaly další nové [52,57].

8.2 Mechanické odstraňování koroze

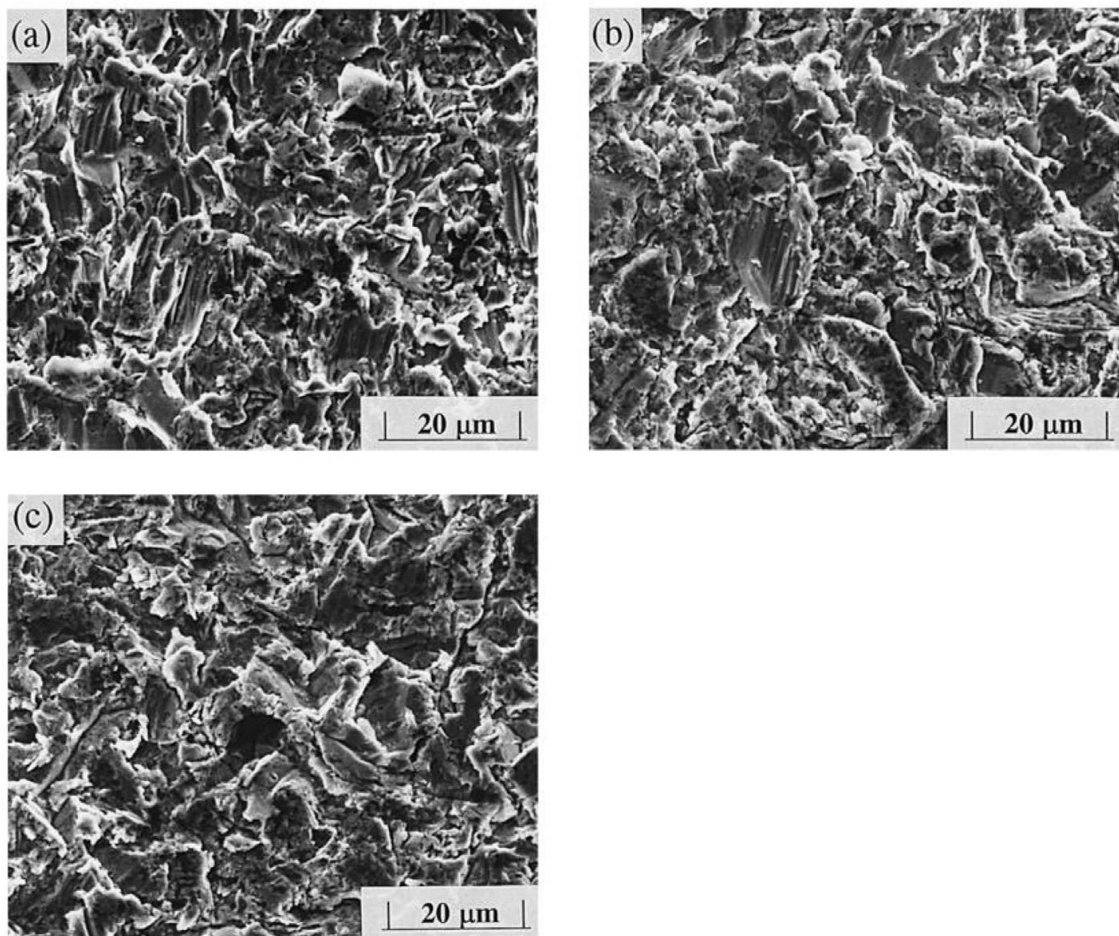
V současné době jsou metody mechanického odstraňování koroze široce využívány u všech typů kovů. Může se zdát, že tato technologie je velice zastaralá, ale i v dnešní době je stále velice efektivním a levným způsobem, jak se koroze zbavit. Naproti tomu modernějším, ale i finančně náročnějším způsobem je použití laseru [58].

U mechanického odstraňování koroze bude použito následující členění:

- Tlakové tryskání abrazivem
- Laserové čištění

8.2.1 Tlakové tryskání abrazivem

Princip této metody spočívá v tlakovém tryskání zkorodovaného, či jinak znehodnoceného povrchu kovu pomocí abrazivních materiálů, kde dojde ke kolizi abrazivních materiálů s nízkou pevností koroze a následnému rozmělnění, oddělení koroze od povrchu kovu. Jaký má tento proces vliv na morfologii povrchu kovu můžeme pozorovat na Obr. č. 12 [59,60].



Obr. č. 12 SEM – Vliv tryskání na morfologii povrchu oceli pomocí abraziva SiC při různých úhlech (a) 15°, (b) 45°, (c) 90° v závislosti tryskací pistole/povrch kovu.

Na všech snímcích obr. č 12 můžeme pozorovat povrchové mikro řezy, vzniklé použitým abrasivem, přičemž svíraný úhel pistole značně ovlivňuje následnou strukturu povrchu [59].

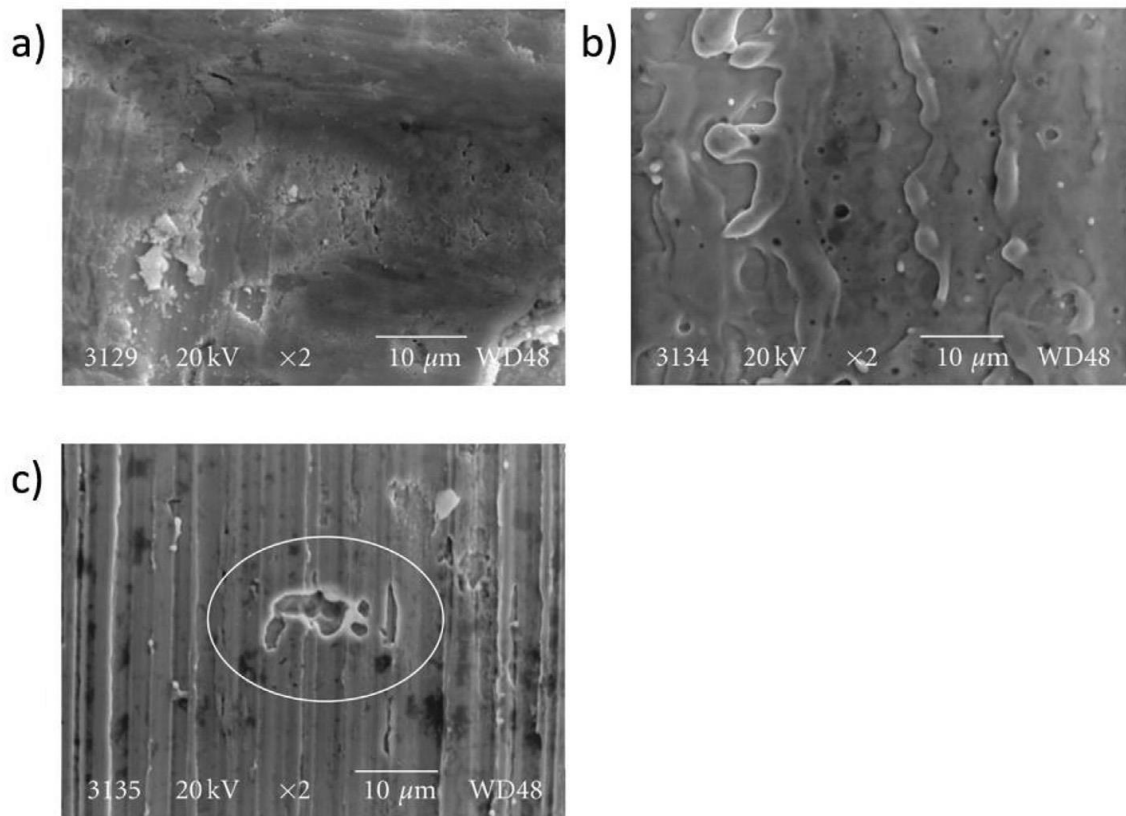
8.2.2 Laserové čištění

Tato metoda se využívá k odstraňování koroze, v porovnání s tlakovým tryskáním, relativně krátce. V roce 2016 jí začal více zkoumat Americký národní dálniční výzkumný institut pro možné rozsáhlejší využití v praxi [61].

V současné době existuje mnoho teorií a tím i principy, mechanismy jakými dochází k odstraňování koroze. První z nich pracuje na principu expanze a následném rozpraskání koroze vlivem tepelného gradientu [62]. Druhá využívá k oddělení korozních vrstev od povrchu silného vlnění [63], což způsobí i rychlý ohřev povrchu

[64]. Další spočívá ve vlivu samotného záření (laserového) [65,66] nebo vlivu tlaku fotonů [67]. Přesný princip laserového čištění je tedy stále předmětem zkoumání.

Parametrů, které ovlivňují laserové čištění, je hned několik. Prvním hustota energie (fluence) laserového paprsku [68]. Druhým parametrem je časová délka laserového impulsu, jenž se pohybuje v rozmezí 1-1000 μ s [69]. Třetím je intenzita laserové energie o typických hodnotách $1e^3$ - $1e^5$ W*cm⁻² [69] a posledním čtvrtým parametrem je počet průjezdů laseru [70,71]. Vliv parametrů na morfologii povrchu můžeme pozorovat na Obr. č 13.



Obr. č. 13 – Morfologie povrchu zkorodované oceli vystavené laserovému paprsku. Na snímku a) je zachycen zkorodovaný povrch oceli před použitím laseru. Povrch oceli b) byl vystaven laseru, kde hustota energie paprsku dosahovala hodnot $5,7\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$. Zde došlo k úplnému odstranění koroze a díky natavení povrchu k úplnému vyhlazení rýh po broušení a zapasivování povrchu vznikem $\delta\text{-Fe}$. Na povrchu oceli c) byl použit slabší paprsek o hustotě $0,1\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$, ale i zde došlo k odstranění koroze a částečnému natavení povrchu [68].

III. Experimentální část

Byly vyrobeny netkané textilie z polypropylenu metodou meltblown a dále netkané textilie z polyamidu 6 s přídavkem zinkových inhibitorů koroze, polyvinylbutyralu a polyvinylidenfluoridu vyrobené technologií střídavého a stejnosměrného elektrického zvlákňování. Vzorky materiálů byly získány v rámci katedry a spřízněných pracovišť. Připravené vzorky netkaných textilií byly zakomponovány do lakýrnického procesu s možným využitím v automotive. Následně byly vyrobeny vlákněné vrstvy obohacené o jednotlivé vrstvy laku. Zpracované vzorky byly dále podrobeny testu stárnutí v klimatické komoře, po kterém byl proveden test chemické odolnosti, odolnosti vůči kyselinám.

Experimentální část této práce musela být přerušena vládním nařízením karantény vlivem onemocnění SARS COVID-19. Z tohoto důvodu nemohla být praktická část na tolik rozvedena, jak bylo původně předpokládáno. Z tohoto důvodu neproběhlo testování vyrobených vzorků tak důkladně, jak by mělo. Nemohla být dodržena celá metoda testování vzorků, tak jak je daná normou a některá testování nemohla z časových důvodů proběhnout. Zároveň chci tímto poděkovat katedře netkaných textilií a katedře materiálového inženýrství za poskytnutí potřebných materiálů a přístrojů pro testování chemické odolnosti.

9 Použité testovací normy

Tak jako u právního systému existuje určitá hierarchie zákonů, rovněž tak u norem zabývajících se jakýmkoliv testování materiálu platí to samé. Normy Evropské Unie jsou nadřazeny normám daného státu a státní normy jsou nadřazeny normám firemním, koncernovým. V návaznosti na změny používaných technologií se musí normy pravidelně pozměňovat, doplňovat, aby splňovaly nejnovější kritéria (ochrana životního prostředí, ideologie Evropské Unie atd.).

Pro testování dané problematiky byl vytvořen seznam norem a postupů používaných v koncernu Volkswagen, DIN ES ISO, podle kterých se i vyrobené vzorky testovaly. Tyto normy vznikly pro testování vlastností plechu upraveného potahovým materiálem, který brání jeho znehodnocení korozí, mechanickým

znehodnocením, nebo klimatickými vlivy, ke kterým dochází jak při skladování a manipulaci materiálu, přepravě hotového vozidla. Vozidlo je používáno v různých klimatických podmínkách, a proto musí být povrchová úprava vozidla taková, aby splňovala ochranu karoserie při všech těchto situacích a při stejné technologii výroby.

Budou zde zmíněny všechny možnosti, podle kterých může testování probíhat. Je nutno zmínit, že u těchto norem není vyžadováno používání, dodržování všech bodů a slouží jako doporučený návod, postup jak nejlépe vyhodnotit změny daných vzorků. Vyhodnocování změn na kovových vzorcích se provádí podle níže zmíněných norem:

- VW50554 -Normální klima a pokojové teploty, požadavky na testování vlivu klimatu
- DIN EN ISO 17872 – Potahový materiál – Návod na provedení rýhy na potahu na kovové destičce pro korozní zkoušku
- DIN EN ISO 4628-1 – Vrstvený potahový materiál – Vliv potahového materiálu, vyhodnocení množství a velikosti škod a intenzity současných změn ve vzhledu – Část 1. Všeobecný úvod do vyhodnocovacího systému
- DIN EN ISO 4628-10 Potahový materiál – Vyhodnocení množství a velikosti škod a intenzita současných změn ve vzhledu – Část 10. Vyhodnocení pohledových změn.
- DIN EN ISO 4628-3 Potahový materiál – Vyhodnocení škod, Výčet množství a velikosti škod a intenzity současných změn ve vzhledu - Část 3. Vyhodnocení stupně rezavění
- DIN EN ISO 4628-8 Potahový materiál – Vyhodnocení škod, Výčet množství a velikosti škod a intenzity současných změn ve vzhledu – Část 8. Vyhodnocení vlivu jedné rýhy, nebo dalších umělých poškození na vznik koroze a jiných změn
- DIN EN ISO 6270-2 Potahový materiál – Vyhodnocení škod vlivem přetrvávající vlhkosti – Část 2. Výsledky ze zkoušek za použití sražených vodních par
- DIN EN ISO 9227 Korozní zkouška v umělé atmosféře – Slaná stříkaná mlha

9.1 Vyhodnocení zkoušek dle norem

Provádí se vždy v pravidelných testovacích cyklech, nebo po určitých dnech. Množství cyklů, počet dnů a týdnů a rovněž takž klidových pauz si firmy určují samy. Při kontinuální výrobě se testování provádí v pravidelných intervalech a ve stejném objemu pro zachování potřebné kvality. Je nutno zmínit, že testování v laboratorních podmínkách se nikdy nemůže shodovat s reálným provozem. Na vozidlo působí různá předpokládaná i nepředpokládaná poškození.

9.2 Specifické pojmy

Normy mají své důležité specifické pojmy. Nebudou zde uvedeny všechny, ale pro danou problematiku jsou důležité tyto:

- Místo s chybou – chyby navrstvení na určitých místech (vlivem substrátu)
- Umělé poškození – chybějící navrstvení, nebo úmyslně nenanesené na kovový substrát vzorku, nechaný volně ležet v korozivním prostředí
- Kruhové poškození – kruhové chybové místo v navrstvení, které bylo úmyslně vytvořené na pod tímto ležícím kovovém substrátu v odpovídajícím volném korozivním prostředí
- Korodující plocha – plocha okolo poškození, u které byl substrát zasažen korozi
- Odhalená plocha – plocha okolo poškození při ztrátě potahového materiálu na substrátu, nebo jedné z vrstev nánosů potahového materiálu
- Rýha – podlouhlé místo s chybou v navrstvení, které bylo vytvořeno úmyslně a pod ním ležící kovový substrát je ponechán ve volném korozivním prostředí.

10 Navržení a výroba vláknenných materiálů pro zvýšení antikorozi ochrany

Byl pořízen tabulový ocelový plech o tloušťce 1mm, na kterém již byla nanesena ochranná vrstva žárového zinku. Plech byl naformátován na kompaktnější rozměr 10x12 cm pomocí velkoformátových pákových kleští. Rozměr vzorků byl stanoven tak, aby se svými rozměry vešel do dřevěných stojanů. Zároveň byl brán zřetel na manipulaci v průběhu testování.

10.1 Postup výroby vláknenné vrstvy

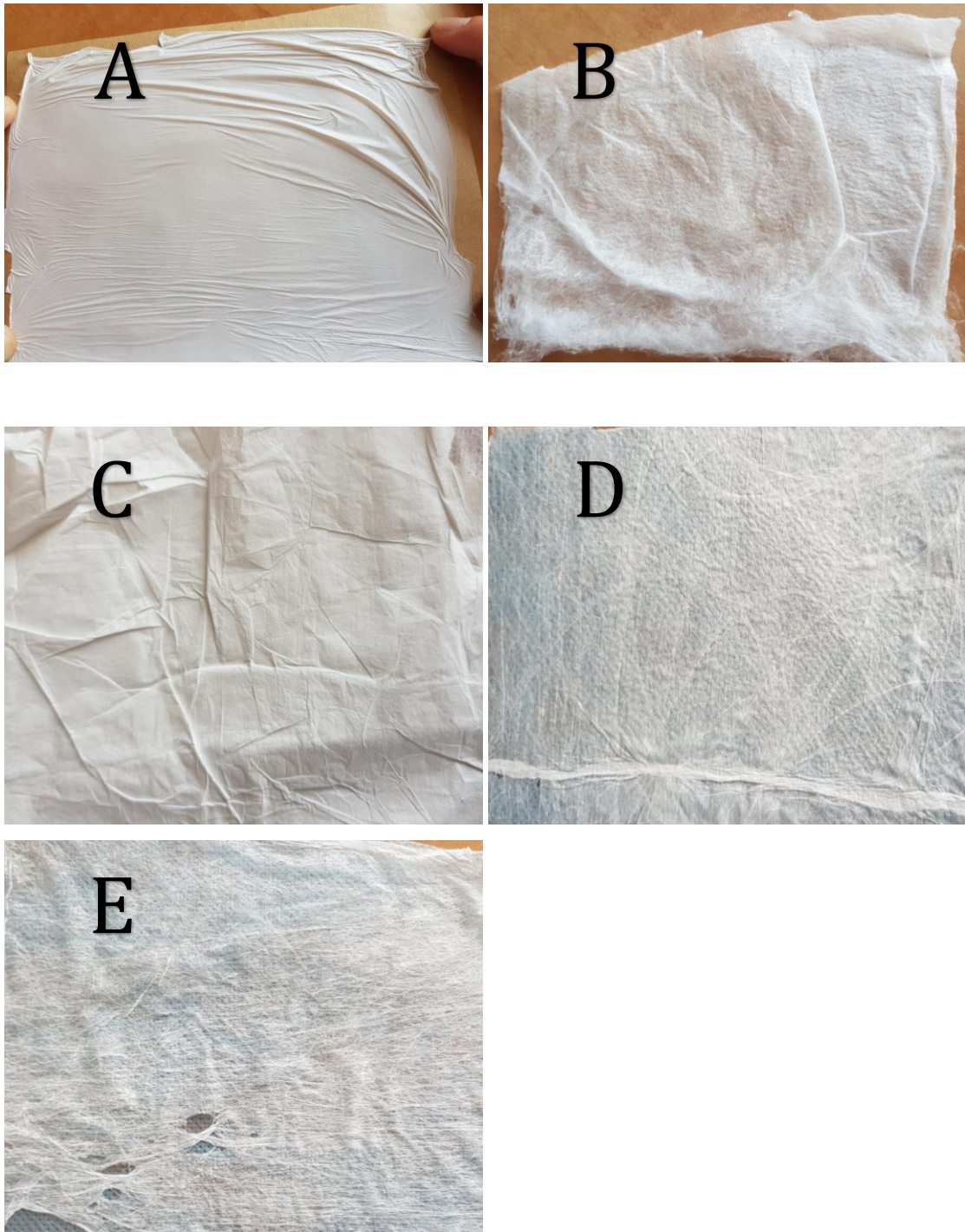
Vzorky materiálů byly získány v rámci katedry a spřízněných pracovišť. Použito bylo celkem šest netkaných vláknenných vrstev. Snímky vyrobených vrstev jsou zobrazeny na obr. č. 14. Nebyl pořízen snímek vl. vrstvy z PVB, který nebyl v dalších krocích zpracování použit – vysvětlení je uvedeno v sekci výsledky, diskuze, vliv rozpouštědel na vl. materiál.

Pro výrobu byly použity technologie meltblown, střídavé elektrické zvlákňování a stejnosměrné elektrické zvlákňování. Netkaná textilie byla v případě technologie meltblown vyrobena z polypropylenu (PP). Pro střídavé elektrické zvlákňování (AC) byly použity polymery polyvinylbutyral (PVB), polyamid 6 (PA6), polyamid 6 s aditivy zinku (PA6+zinek) a pro stejnosměrné elektrické zvlákňování (DC) byly použity polymery polyvinylidenfluoridu (PVDF), PA6. Přesné koncentrace a rozpouštědlový systém použitý v této práci je uveden v tabulce č. 1

Tab. č. 1 Přehled použitých polymerů, rozpouštědel a aditiv

Polymer	Rozpouštědlo [hm%]	Koncentrace [hm%]	Aditiva [hm% sušiny]
Polypropylen	x	x	x
Polyvinylbutyral	Ethanol	10	x
Polyamid 6	Kys. Octová: Mravenčí 1:1	10	x
Polyamid 6 + Zinek	Kys. Octová: Mravenčí 1:1	10	5
Polyvinylidenfluorid	Dimethylformamid	20	x

Vláknenné vrstvy zobrazeny na obr. č. 14 byly poté dále testovány a většina z nich i použita pro výrobu ochranného filmu. Seznam použitých chemikálií, přístrojů, nástrojů je uveden v příloze A.



Obr. č. 14 Snímky vyrobených netkaných vláknenných vrstev. A)Elektrické stejnosměrné zvlákňování - PVDF, B)Meltblown-PP, C) Stejnosměrné elektrické zvlákňování - PA6, D) Elektrické zvlákňování - PA6 E) Elektrické zvlákňování - PA6 + Zinek

10.2 Zkoumání vlivu rozpouštědel na vlákenný materiál

Použité vlákenné materiály byly naformátovány na malé vzorky o velikosti přibližně 1x1 cm. Materiály byly podrobeny ponoření do všech rozpouštědel a tvrdidel, se kterými by se mohly dostat do kontaktu v průběhu dalšího zpracování. Testování zaručilo, že u použitých, vyrobených vlákenných vrstev nedochází k samovolnému rozpuštění a vlákenný materiál a jeho hlavní struktura zůstala neporušena.

V lakýrnických linkách pro automotive jsou dnes používány dva hlavní rozpouštědlové systémy. První je založen na vodní bázi, která je šetrnější pro životní prostředí a nyní na ní přešly téměř všechny automobilky. Druhý systém používá organická rozpouštědla, která jsou stále v hojné míře používána. Laky a celkový rozpouštědlový systém laků použitý v této práci je založen pouze na organických rozpouštědlech.

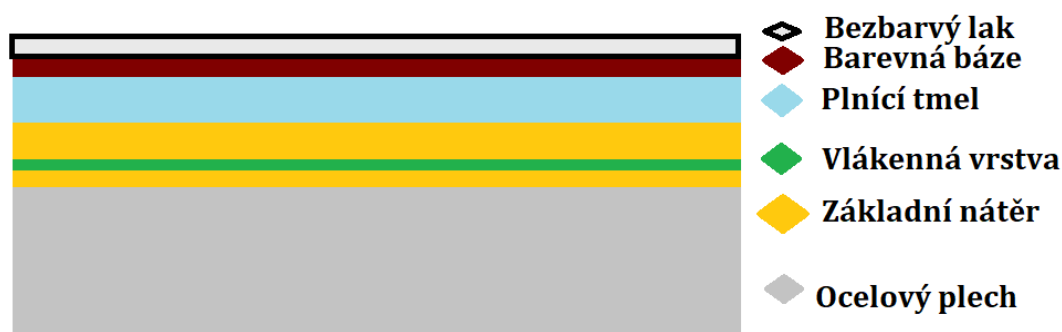
10.3 Postup přípravy substrátu a lakování

Naformátovaný ocelový plech byl zdrsňen brusným papírem o hrubosti P240. Stejněho zdrsňení pro každý vzorek bylo dosaženo přebroušením celé plochy přibližně 20 krouživými pohyby o lehkém tlaku. Zdrsňený podklad byl poté ofouknut stlačeným vzduchem a odmaštěn acetonem. Tlak kompresoru byl nastaven na 2,6 baru. Tlak byl ve všech dalších fázích lakování neměný. Pistolový systém byl použit high volume low pressure (HVLP) od firmy MAGO a všechny vrstvy byly nanесeny tryskou o průměru 1,4 mm. Použity byly dvě pistole. První na základní nástřik a plnicí tmel a druhá na nanесení barevné báze a krycího, bezbarvého laku. Všechny barvy byly namíchány, nanесeny dle technologických listů, návodů. Teplota při aplikaci byla 22 °C při 65 % relativní vzdušné vlhkosti.

Lakování bylo zahájeno nanесením dvou komponentního, antikorozního epoxidového základního nátěru. Do čerstvě nanесeného nátěru byla poté vložena vlákenná vrstva, která byla přelakována dalšími dvěma vrstvami základního nátěru. Část vzorků byla po tomto kroku připravena k testování, analýze. Pro úplnost lakýrnického procesu byl vyroben od každého materiálu jeden vzorek, kde bylo použito všech náležitých vrstev, jako v běžném lakýrnickém postupu v automotive.

Schématické složení jednotlivých vrstev bylo znázorněno jednoduchým obrázkem č. 15. Základní nátěr zrál 24 hodin a byl poté zdrsňen za sucha středně hrubým Scotchbitem. Podklad byl zmatován po celé své ploše při středním tlaku a následně očištěn od nečistot a mastnot acetone, kterému bylo ponecháno několik minut k odpaření.

Následně byly nanoseny dvě vrstvy dvou komponentního plnicího tmelu. Nanosený nástrík zrál opět 24 hodin a poté byl přebroušen za sucha brusným papírem P400 pro lepší adhezi a opět očištěn od nečistot acetonem. Po odvětrání rozpouštědla byla nanesena jednosložková barevná báze ve dvou vrstvách. Přibližně po 10 minutách došlo k zavadnutí, zmatování povrchu vlivem odpaření rozpouštědla. Dále byly aplikovány dvě vrstvy dvousložkového bezbarvého laku. První vrstva byla nanesena v tenké vrstvě a po krátkém zavadnutí byla nanesena druhá tlustší vrstva. Bezbarvým lakem byly ošetřeny rubové strany všech vzorků, aby došlo k zabránění případné migrace korozivních produktů na lícovou stranu. Připravené vzorky byly ponechány týden v dřevěných držácích, aby mohlo dojít k vyvržení laku ve všech vrstvách.



Obr. Č. 15 Řez skladbou jednotlivých lakovaných vrstev

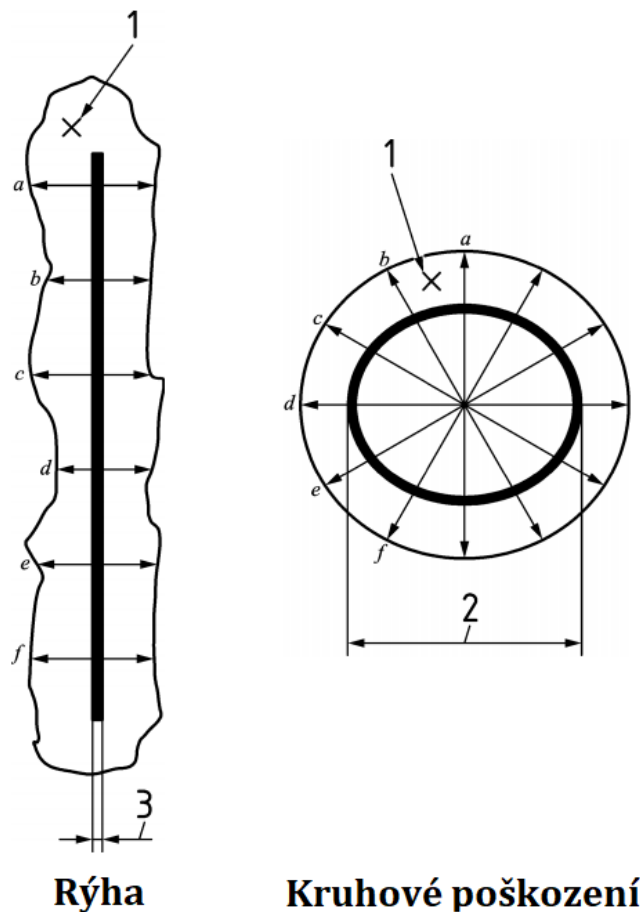
11 Příprava vzorků k focení na SEM

Po výrobě, lakování vzorků byly odebrány vzorky k analýze pomocí skenovací elektronové mikroskopie. Malé vzorky byly pomocí lepicí pásky přilepeny na terčíky, které byly postupně umístěny do zlatičky Quorum, kde na ně bylo naneseno 7nm zlata. Terčíky byly poté postupně foceny pomocí SEM (Vega Tescan) při několika zvětšeních, aby bylo možné blíže zkoumat morfologii povrchu po testovacím zvlákňování.

12 Testování vzorků

12.1 Umělé poškození vzorků

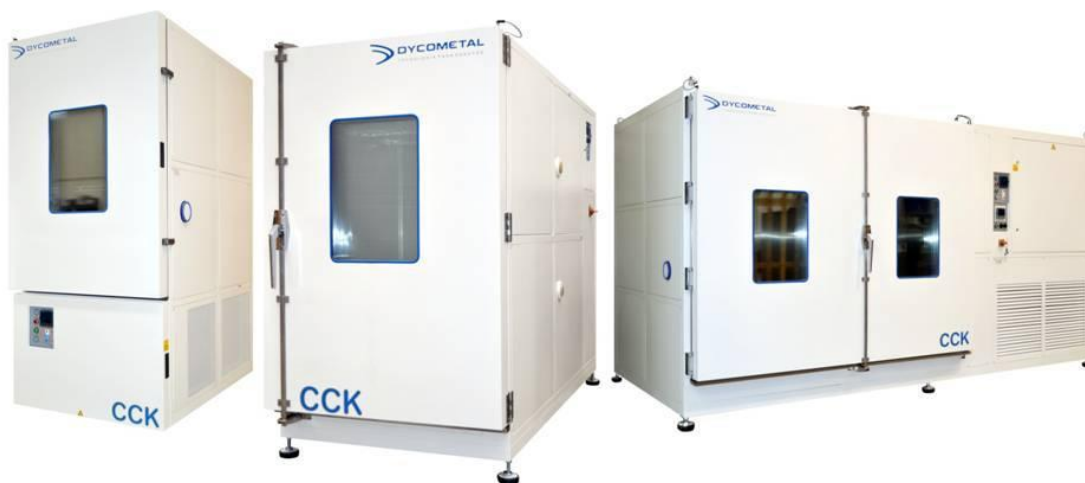
Nalakované vzorky byly mechanicky poškozeny vrypem (rýhou) o délce 5cm a dále důlkem a tupým úderem. Okraje, hrany, které nebyly ošetřeny žádnou antikorozní ochranou, nebyly započítávány do přírůstku koroze, ale jejich průběžný stav byl zaznamenáván. Při tomto testu, by měl být zaznamenáván přírůstek šíře koroze podél rýhy, nebo okolo kruhového poškození. Vzdálenost zkoumaných bodů by měla být 6mm. Pro názornost je uveden obr. č. 16, který znázorňuje postup měření přírůstku koroze.



Obr. č. 16 Schématické znázornění měření přírůstku koroze

12.2 Solná komora

Poškozené vzorky byly poté umístěny v dřevěných držácích do solné komory po dobu 14 dní a byly ve zvolených časových intervalech kontrolovány. Ihned po vyjmutí vzorků pro kontrolu byly vzorky opláchnuty tekoucí vodou a zbylá voda na hranách byla vysušena pomocí stlačeného vzduchu. Následně byly pořízeny snímky a zkoumány změny vzhledu. V místech kde byla odhadována malá adheze vrstvy, byla testována přilnavost pomocí špičky nože. Jakékoliv odchylky byly zaznamenány, zapsány. Ilustrační fotografie klimatické solné komory je možné vidět na obr. č. 17.

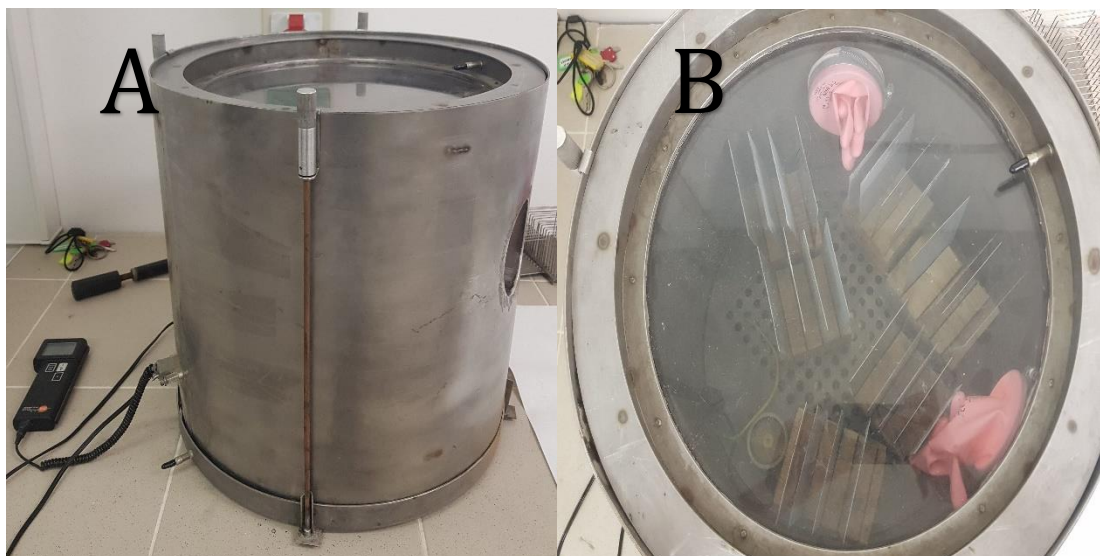


Obr. č. 17 Ilustrační fotografie klimatické solné komory.

12.3 Klimatická komora s kyselými výpary

Tímto bych chtěl poděkovat katedře materiálového inženýrství za zapůjčení klimatické komory pro tento experiment. Komora musela být upravena, přizpůsobena pro testování vlivu kyselých výparů. Došlo k dodatečné montáži vlhkoměru, výhřevu, ventilátoru a byly přiděleny rukavice pro manipulaci se vzorky

v kyselém prostředí. Upravenou komoru je možné vidět na obr. č. 18 A a rozložení uvnitř komory v části 18 B.



**Obr. č. 18 Upravená klimatická komora v části A).
Rozložení uvnitř komory s vybavením v části B).**

Po vyjmutí vzorků ze solné komory byly vzorky podrobeny přímému styku se zředěnou kyselinou chlorovodíkovou o koncentraci 16 hm%. Vzorky byly jednotlivě ponořeny do lázně s kyselinou, která byla namíchána po 12 ponorech znovu, aby měly všechny vzorky co nejvíce podobné prostředí. Vzorky byly přesunuty do uzavřené klimatické nádoby, komory, do které byla umístěna kádinka s naředěnou kyselinou chlorovodíkovou. V komoře byl umístěn též výhřev a vlhkoměr s teploměrem pro monitorování klimatických podmínek uvnitř komory. Komora byla poté uzavřena, utěsněna a při každém jejím otevření, kdy zároveň docházelo ke kontrole vzorků, byly vzorky znovu namočeny do zředěné kyseliny chlorovodíkové a byl naředěn nový roztok kyseliny pro klimatickou nádobu. Kontrola vzorků a cyklus namočení, vystavení výparům byl prováděn obden. Relativní vlhkost se pohybovala v průběhu testování od 93-98% a teplota uvnitř komory byla průměrně 23 °C. Testování probíhalo 14 dní.

IV. Výsledky a diskuze

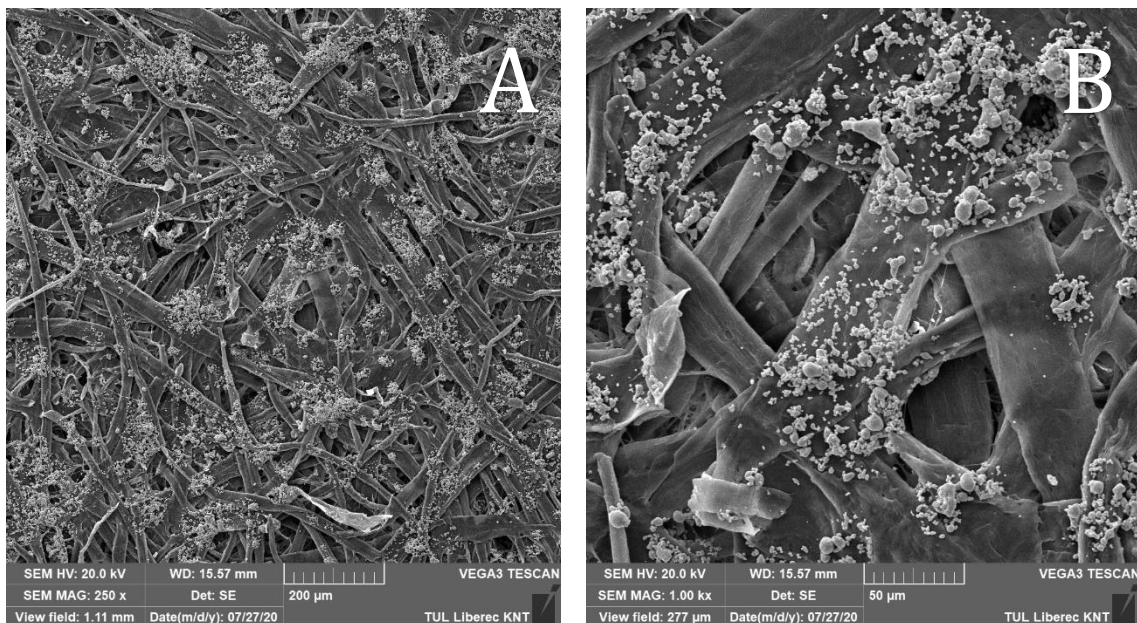
13 Výroba vláknenné vrstvy

Vzorky vláknenných materiálů byly získány v rámci katedry a spřízněných pracovišť. První vláknenná vrstva byla vyrobena technologií meltblown. Technologie meltblown byla vybrána z důvodu největšího komerčního použití, schopnosti vysoké produkce a nízké ceně pro případné využití vytvořeného produktu v praxi. K výrobě byl použit komerčně nejdostupnější, nejpoužívanější polymer polypropylen bez jakýchkoliv aditiv pro zlepšení protikorozních vlastností.

Tab. č. 2 Přehled použitých polymerů, rozpouštědel a aditiv

Polymer	Rozpouštědlo [hm%]	Koncentrace [hm%]	Aditiva [hm% sušiny]
Polypropylen	x	x	x
Polyvinylbutyral	Ethanol	10	x
Polyamid 6	Kys. Octová: Mravenčí 1:1	10	x
Polyamid 6 + Zinek	Kys. Octová: Mravenčí 1:1	10	5
Polyvinylidenfluorid	Dimethylformamid	20	x

Dále byly získány netkané textilie vyrobené pomocí technologie střídavého a stejnosměrného elektrického zvláknování. Pro přehlednost jsou parametry uvedeny v tab. č. 2. K výrobě byly použity materiály (polymery), ze kterých se běžně netkané textilie touto technologií vyrábí. Konkrétně polyamid 6, polyvinylbutyral. Dále byl vybrán polyvinylidenfluorid kvůli jeho chemické odolnosti. Nově byly úspěšně vyrobeny netkané textilie s příměsí zinku, který je běžně komerčně používán k zvýšení korozní odolnosti. Snímky z testování zvláknování epoxidového základního nástřiku s příměsí zinku metodou stejnosměrného elektrického zvláknování jsou zobrazeny na obrázku č. 19



Obr. č. 19 Snímky SEM – Snímky z testování zvláknování epoxidového základního nátřiku se zinkem: A) 250x zvětšeno měřítko 200μm, B) 1000x zvětšeno měřítko 50μm. Na obrázku je možno pozorovat elektro spraying epoxidového základního nátřiku s příměsí zinkových částic, které jsou relativně rovnoměrně rozprostřené.

13.1 Vliv rozpouštědel na vlákenný materiál

Bylo použito šest netkaných vlákenných vrstev z různých polymerů a různých technologií. Záměrně bylo vybráno více druhů polymerů. Díky tomu mohl být úspěšně zjištěn, ověřen vliv použité technologie na organický rozpouštědlový systém. Běžně je v lakýrnickém procesu používán systém laků organicky, či vodou ředitelných. V této práci byl úspěšně zkoumán vliv pouze organických ředidel a tužidel. Vodou ředitelné laky nebyly z důvodu rozsahu práce použity a dále zkoumány. Pro přehlednost byly výsledky testu rozpouštědel, tužidel zpracovány do tabulky č. 3.

Tab. č. 3 Vliv lakýrnických rozpouštědel na vlákenný materiál

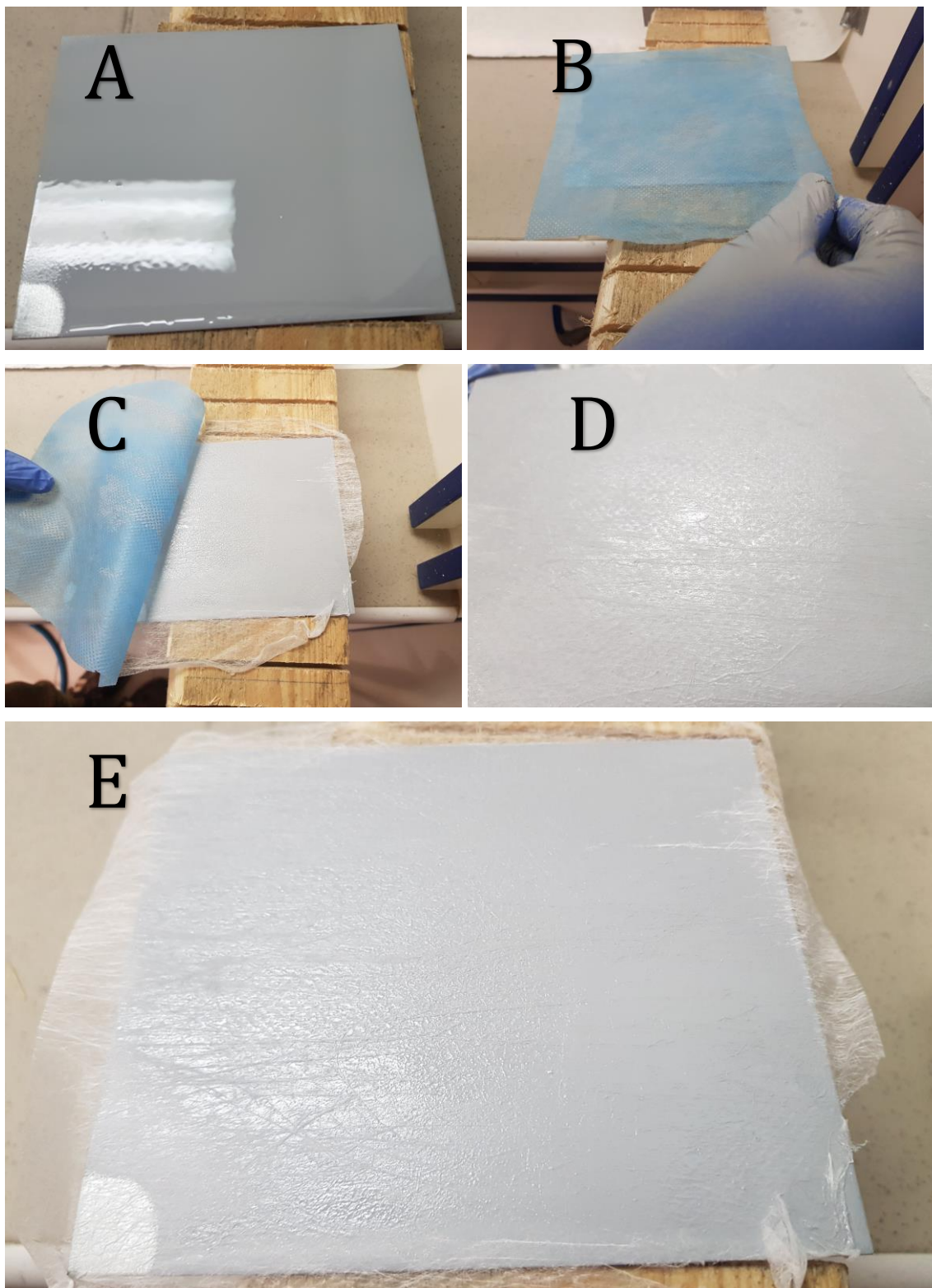
Polymer	Technologie	Odolnost vůči lakýrnickým rozpouštědlům
Polypropylen	Meltblown	ANO
Polyamid 6	Elektrické zvl. - DC	ANO
Polyamid 6	Elektrické zvl. – AC	ANO
Polyamid 6 + Zinek	Elektrické zvl. - AC	ANO
Polyvinylidenfluorid	Elektrické zvl. - DC	ANO
Polyvinylbutyral	Elektrické zvl. – AC	NE

Test lakýrnických rozpouštědel a tvrdidel ukázal, že pro další zpracování, použití v organickém rozpouštědlovém systému nelze použít polyvinylbutyral. Tento polymer je pro přípravu k zvláknování běžně rozpouštěn v ethanolu. Bylo tedy možné předpokládat podle známé Hildebrandovi teorie rozpustnosti, že „silnější“ rozpouštědla rozpustí snáz tento materiál. Ostatní polymery obstály v testu bez jakýchkoliv problémů. Po ponoření si PA6, PP, PVDF téměř zachoval vlákennou strukturu i tvar vzorku. Tvar byl ovšem vlivem smočení v rozpouštědle lehce pozměněn, ale struktura zůstala neporušena.

14 Poznatky o přípravě substrátu a lakování

Bylo zjištěno, že nejlépe se netkané textilie aplikují formou náplasti, jako tomu je ve zdravotnictví. Do čerstvého základního epoxidového dvousložkového nátěru byla vtisknuta netkaná textilie a vlivem povrchového napětí došlo k nasycení textilie. Podkladová textilie byla poté jen odebrána bez větších problémů stranou. Nástřík tuto vrstvu ve všech variantách přijal velice rychle. Bylo tedy nutné korigovat

rovnoměrnost „nalepení“ netkané textilie. Z procesu aplikace byly pořízeny snímky, které je možné vidět na obr. č. 20.



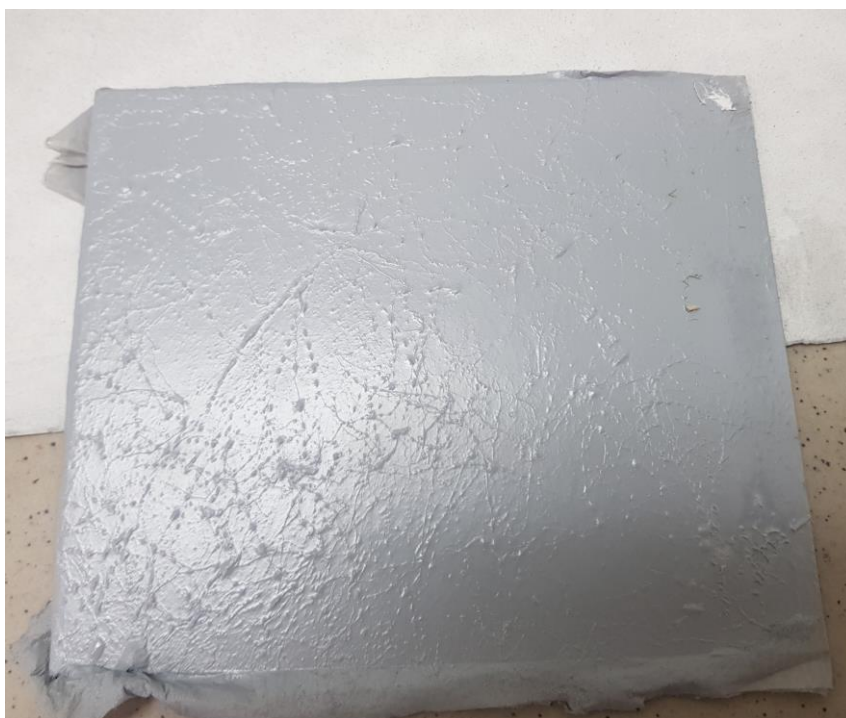
Obr. č. 20 Proces aplikace netkaných vrstev PA6 na kovový substrát.

Na obrázku č. 20 A) je aplikována jedna silná vrstva dvousložkového, epoxidového, základního nátěru. Tato první stříkaná vrstva nemusí být nejprecizněji nanесena. Naopak je v některých případech žádoucí nanést silnější vrstvu v případě tlustšího materiálu (bude dále rozvedeno). Na obrázku B) vidíme aplikovanou netkanou textilií v celé ploše a rubovou stranu podkladové textilie. Aplikaci bylo možné na tomto malém vzorku provést jednou rukou. Což lze pozorovat i na obrázku C), kde je odlepována podkladová textilie od hlavní netkané textilie. Na obrázku D) je znázorněn detailní záběr povrchu, na kterém lze pozorovat vtisknutou strukturu jak samotné netkané textilie, tak podkladové textilie. Obě tyto vrstvy tedy ovlivňují aplikaci a výsledný reliéf, který lze pozorovat v celé ploše na obrázku E).

Ostatní vzorky byly dále přelakovány dvěma vrstvami epoxidového základu a výsledek byl ihned po aplikaci opět zdokumentován. Fotografie pořízené čerstvě po nalakování druhé a třetí vrstvy základního nástřiku jsou vloženy v příloze B. Na obr. č. 21 je referenční vzorek, u kterého nebyly aplikovány žádné netkané vrstvy a byly použity běžné postupy podle technických listů, jako u běžného lakování. Povrch referenčního vzorku je hladký a již po třetí vrstvě základního nátěru téměř uniformní bez výrazných defektů.



Obr. č. 21 Referenční vzorek bez vláknenné vrstvy



Obr. č. 22 Vzorek PP zvlákněný technologií meltblown

Z podkladového tvrdého voskovaného papíru, na který byla zvlákněna PP vrstva, se odebírala NT nekomfortně. U této tlustší MB vrstvy je výhodné aplikovat první vrstvu základního nástřiku ve větší tloušťce. Eventuálně použít pro základní nástřik trysku do stříkací pistole o průměru 1,7mm. Tím by se urychlil proces aplikace a byl by ušetřen jeden technologický krok.



Obr. č 23 Vzorek PVDF zvlákněný technologií elektrického zvláknování

Na obr. č. 23 je možné vidět velice hladkou strukturu povrchu. Na omak stejně hladký jako referenční vzorek a nanášení probíhalo bez problémů. Přečnívající kraje bylo možné po zaschnutí snadno odloupnout, utrhnout bez poškození souvislé vrstvy.



Obr. č. 24 Vzorek PA6 zvlákněný střídavým elektrickým zvlákněním.

U tohoto vzorku na obr. č. 24 jsou vidět místa shluknutých vláken, která opticky nedosahují optických kvalit jako referenční vzorek, či vzorek PVDF. Aplikace probíhala bez obtíží.



Obr. č. 25 Vzorek PA6 zvlákněný stejnosměrným el. stat. zvlákňováním na obr. č. 25 jsou vidět shrnutá vlákna od špatného nanesení vrstvy a místa shluknutých vláken. Povrch jinak nevykazuje žádné další vady.



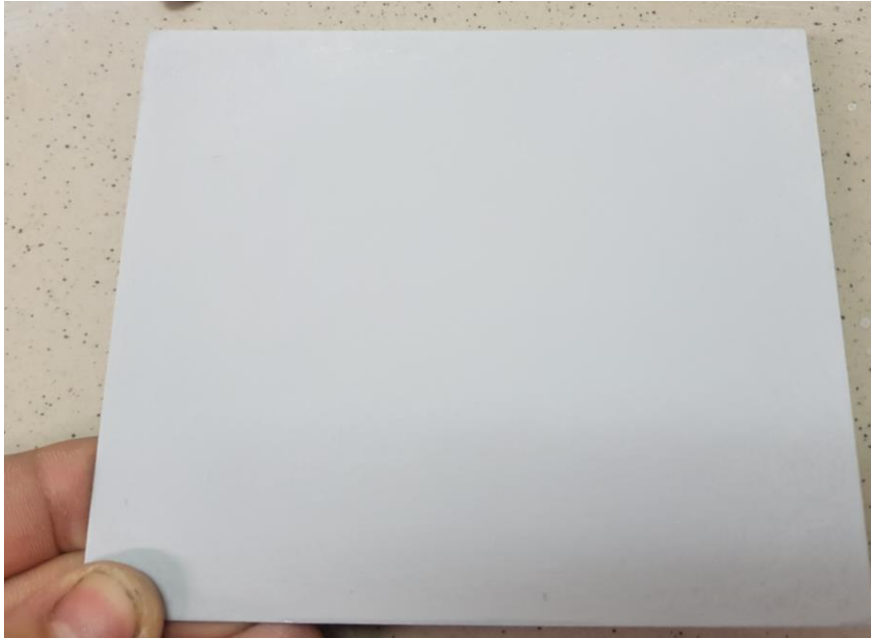
Obr. č. 26 Vzorek PA6 s příměsí zinku zvlákněný střídavým elektrickým zvlákňováním. Z obrázku č. 26 Je možné pozorovat vláknennou strukturu. Povrch je ale na omak hladký a uniformní bez rýh apod.

U většiny vzorků bylo dosaženo finální struktury, aby nebyla výsledná tloušťka všech vrstev moc vysoká a bylo možné pozorovat případné výhody/nevýhody aplikace vlákenné vrstvy. Zároveň bylo do procesu vloženo méně proměnných.

Jeden vzorek od každého testovaného materiálu obsahoval všechny běžné vrstvy. Následně bylo proto provedeno zdrsnění, zmatování povrchu červeným Scotchbitem a následně byl povrch odmaštěn, zbaven nečistot a byl aplikován stříkací tmel. Ten velice dobře zakryl nedokonalosti u všech vzorků netkaných textilií. Nejdokonalejšího povrchu bylo dosaženo po přebroušení, zmatování stříkacího tmelu. Vzhledově nejhorší netkaná textilie vyrobená technologií meltblown – obr. č. 27 dosahovala po aplikaci a zbrúšení tmelu srovnatelných výsledků, jako vzorek referenční viz obr č. 28. Ostatní vzorky jsou uvedeny v příloze C. Ostatní vzorky byly již k nerozeznání od referenčního vzorku. Na omak působily vzorky s NT dojmem hladšího, uniformnějšího povrchu než referenční vzorek. To nelze ovšem jednoznačně tvrdit. Musel by být vyroben větší počet vzorků a ten předložit respondentům na posouzení a získaná data dále pomocí statistiky zpracovat.



Obr. č. 27 Zbrúšený povrch stříkacího tmelu, aplikován na NT vyrobenou technologií meltblown z PP



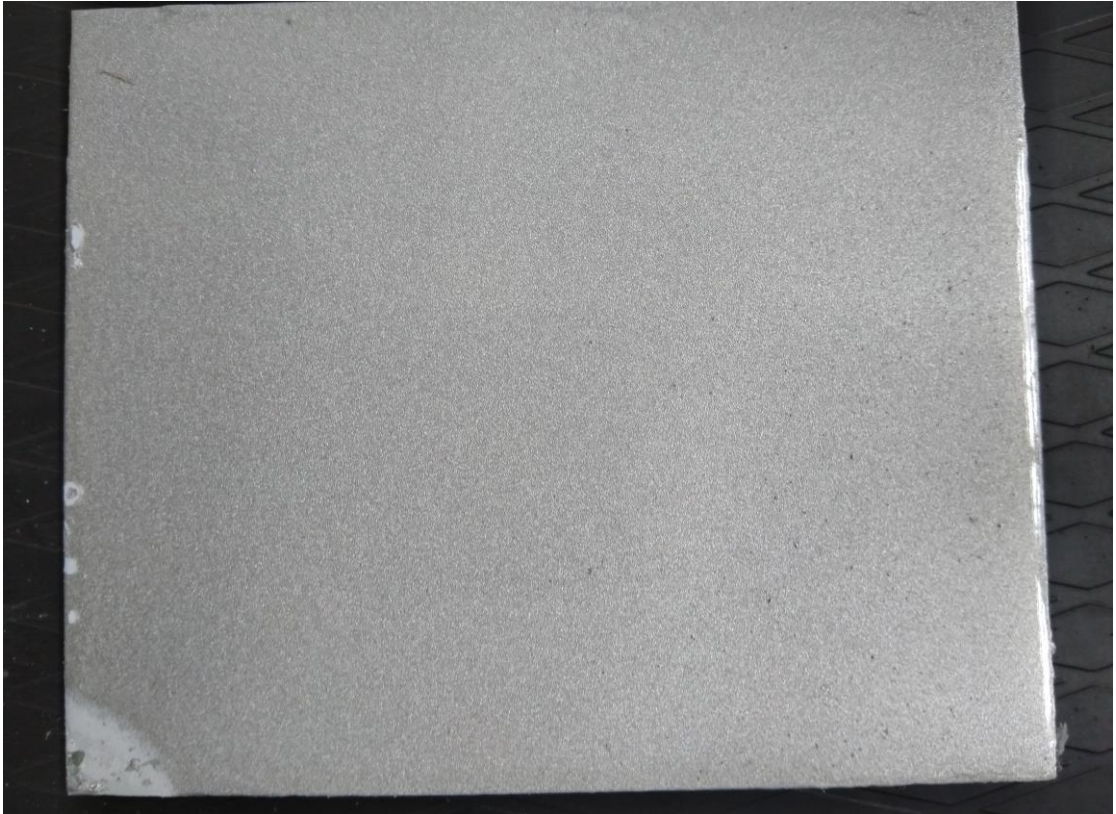
Obr. č. 28 Zbroušený povrch stříkacího tmelu, aplikován na referenční vzorek bez vlákenné vrstvy

Výsledný vzhled po broušení plnicího tmelu byl nejlepší u PVDF – srovnatelný, dokonce i lepší než referenční vzorek. Povrch byl uniformní, hladký, bez probrusů. Byly přítomny lehké vady u okrajů, což bylo způsobeno i manipulací se vzorkem. S materiálem se pracovalo velice dobře.

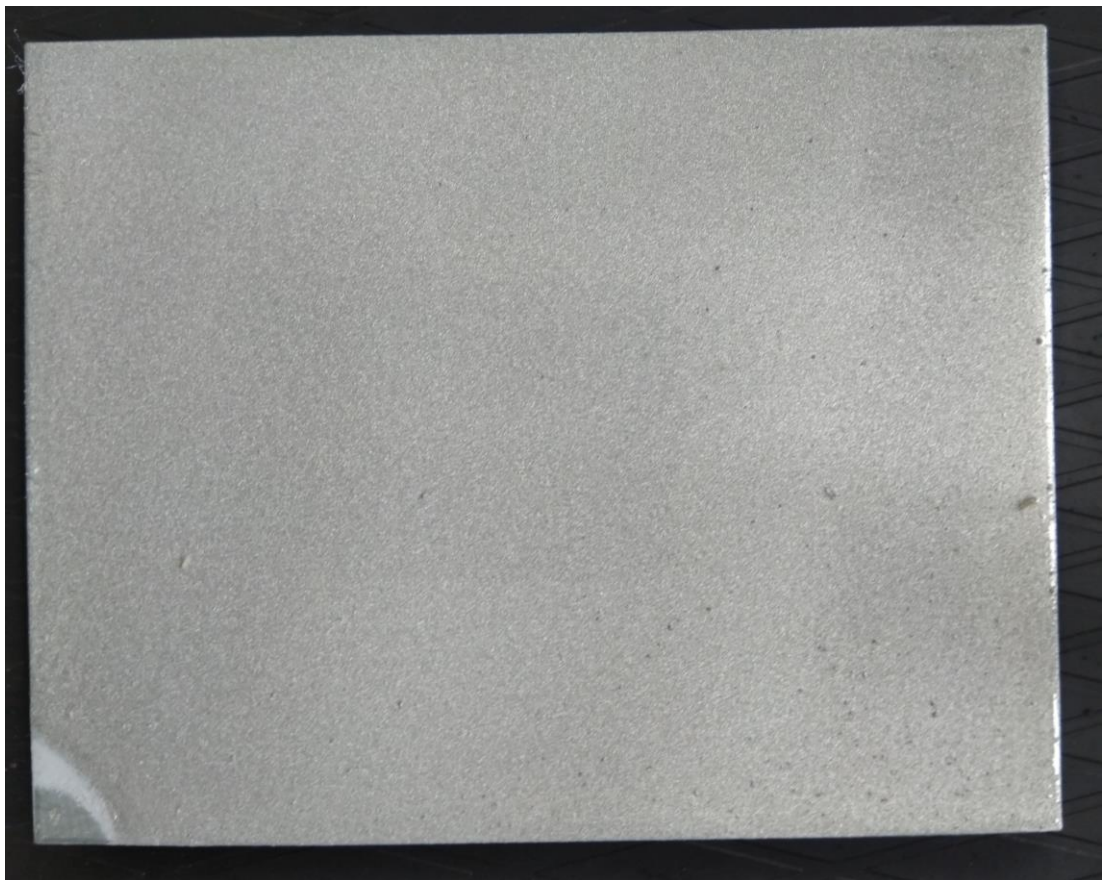
Netkaná textilie z PA6 a PA6 se zinkem, která byla vyrobena elektrickým zvlákňováním, dosahovala po přebroušení výborné hladké, uniformní struktury. U některých vzorků byly patrné lehké vady u okrajů vlivem manipulace (nechtěné chycení hrany). Vzorky byly vzhledově totožné s referenčním vzorkem.

Vzorky z PA6 zpracované stejnosměrným elektro statickým zvlákňováním a PP vzorky zpracované technologií meltblown vykazovaly mírné defekty (dolíky) v místech, kde se nacházely dřívější nerovnosti (shrnutá vrstva NT). Defekty by bylo možné odstranit další vrstvou stříkacího tmelu.

Následně byla aplikována jednosložková stříbrná báze ve dvou vrstvách. Stříkání proběhlo s druhou pistolí stejného typu při stejných technických parametrech. Poslední krok byl završen nástřikem dvousložkového bezbarvého laku. Vzhled všech vzorků byl téměř totožný, což lze pozorovat i na dříve nejhorším vzorku PP z techn. meltblown – obr. č. 29, v porovnání s referenčním vzorkem na obr. č 30. Byly patrné jen drobné odlišnosti v lesku, ale to mohlo být způsobeno i nerovnoměrností nástřiku na takto malých vzorcích. Detailní fotografie NT se všemi vrstvami laku jsou uvedeny v příloze D.



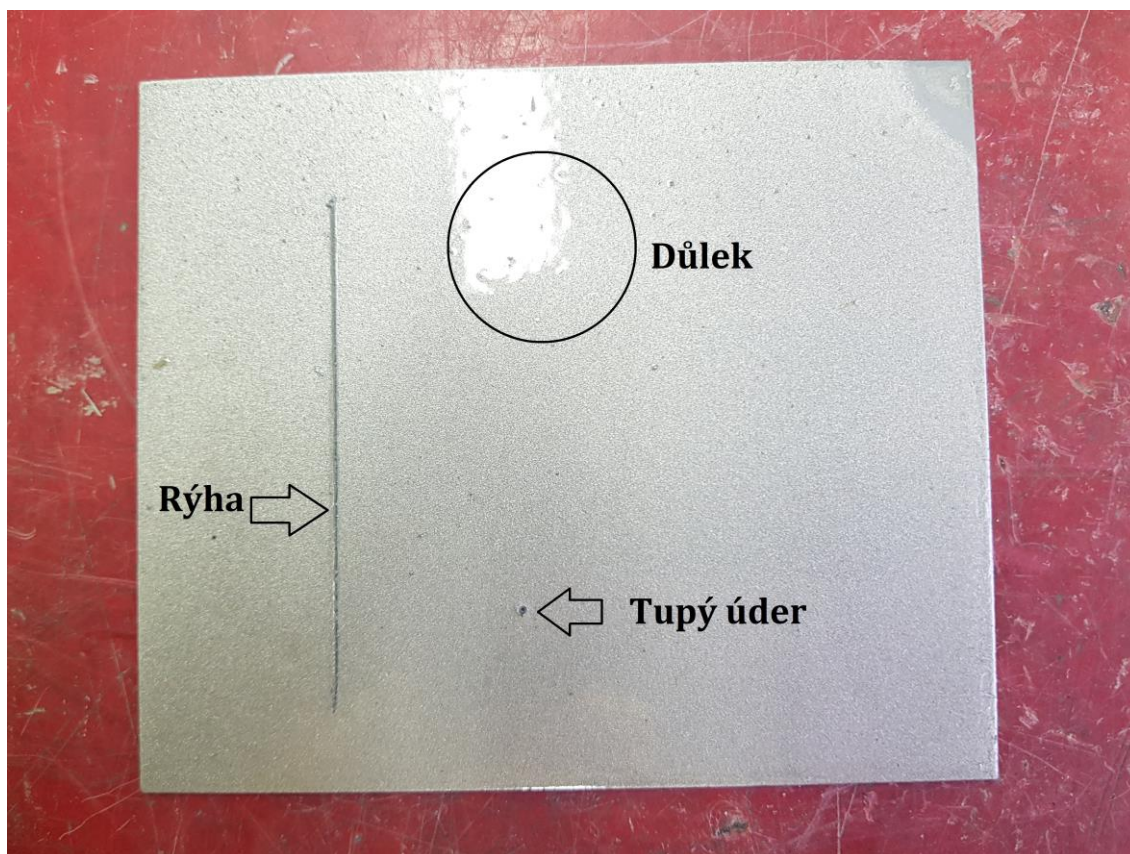
Obr. č 29 Vzorek s netkanou textilií z PP, vyrobeno technologií meltblown



Obr. č 30 Referenční vzorek bez netkané textilie

15 Solná komora

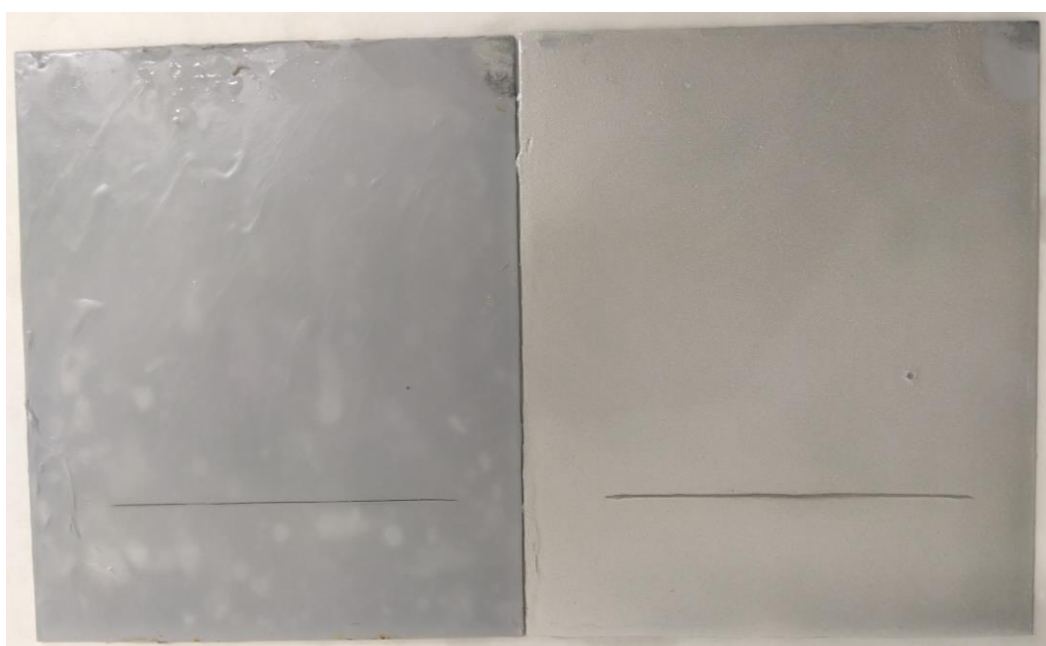
Lak po lakování zrál přibližně týden a poté byl mechanicky poškozen rýhou, tupým úderem a důlkem. Poškození bylo u vzorků s vláknennou vrstvou provedeno obtížněji, než u referenčního vzorku. Vzorky byly vloženy do solné komory. Kontrola uložených vzorků probíhala obden. Test probíhal 14 dní a poté musel být bohužel přerušen vlivem vládního nařízení – vyhlášení karantény, kvůli rozšiřující se nemoci SARS-COVID19. Vzorky za takto krátký časový úsek plně nezdegradovaly. Došlo pouze k pasivaci rýhy a tupého úderu u všech vzorků, což je možné sledovat na obr. č. 31. Ostatní fotografie vzorků pořízené po 14 dnech jsou vloženy v příloze E. Nebylo možné provést měření přírůstků koroze podél rýhy, z důvodu krátkého časového úseku, jak již bylo zmíněno



Obr. č. 31 Referenční vzorek po 14 dnech v solné komoře s legendou umělých poškození

16 Klimatická komora s kyselými výpary

Komora byla připravena podle návodu, popisu v experimentální části. Po pravidelných kontrolách a doplňování roztoku kyseliny bylo vypořádáno u všech vzorků se základním nástřikem poškození. Došlo k vytvoření bublinek a degradaci nástřiku od kyseliny. Zdegradovaná místa je možné vidět na obr. č 32. Z časových důvodů nemohlo testování dále probíhat. Pro přesnější analýzu degradovaných míst by bylo vhodné provést delší testování, následně delaminaci vrstev a provést analýzu postiženého místa. Tím by mohl být určen případný nárůst ochrany proti kyselému prostředí vlivem vložení vlákně vrstvy.



Obr. č. 32 Vzorek s netkanou textilií z PVDF, technologie elektrického zvlákňování, vystavený ponoru a výparům kyseliny chlorovodíkové o koncentraci 16 hm%.

Vzorky ošetřené všemi vrstvami laku toto poškození nevykazovaly. Což je možné vidět na obr. č. 32. Vzorek PVDF vykazoval nejmenší velikost vzniklých „map“, rozsah optického poškození. Vrstvy tmelu, báze a laku tedy významně chrání vzorky před vlivy kyselého prostředí. Fotografie všech vzorků jsou vloženy v příloze F.

V. Závěr

Cílem práce bylo zpracování rešerše na dané téma, navrhnout vhodné materiály, suroviny a vyrobit vlákenné materiály pro zvýšení antikorozi ochrany plechů pro karoserie automobilů. Bylo vyrobeno a použito šest netkaných textilií. Byly použity technologie meltblown a stejnosměrné, střídavé elektrické zvlákňování. Materiál pro výrobu vrstev byl zvolen: polypropylen, polyvinylbutyral, polyvinylidenfluorid, polyamid 6 a polyamid 6 s příměsí zinkových částic pro zvýšení antikorozi ochrany. Tyto vlákenné vrstvy byly poté dále testovány. Konkrétní kombinace technologie/materiál:

- Meltblown/PP
- Střídavé elektrické zvlákňování/PVB, PA6, PA6+zinek
- Stejnosměrné elektrické zvlákňování/PVDF, PA6.

Byl zkoumán vliv organických rozpouštědel a tvrdidel na vlákenné vrstvy. Jediný polyvinylbutyral neobstál v testu rozpouštědlového systému. Z tohoto důvodu nebyly vrstvy PVB dále testovány a použity. Ostatní polymery test rozpouštědel zvládly bez problémů.

Vyrobené vlákenné vrstvy byly úspěšně nanášeny na kovový pozinkovaný plech pomocí navrženého postupu. Aplikace byla podobná lepení náplastí ve zdravotnictví. Byl zjištěn vliv podkladové textilie na morfologii vl. vrstvy. Jednoduchost/složitost aplikace je výrazně ovlivněna použitou podkladovou textilií. V průběhu lakování byly zkoumány vlivy technologických postupů na vlákenné vrstvy a odlišnosti struktury od referenčního vzorku. Nedokonalosti vlákenné vrstvy vyplnil stříkáčím tmel a po přebroušení nebyl pozorován znatelný rozdíl mezi vzorky s vl. vrstvou a referenčním vzorkem. Vzorky s vlákennou vrstvou a nastříkanou barevnou bází lakem dosahovaly stejných i lepších optických vlastností než referenční vzorek.

Vyrobené vzorky byly mechanicky, uměle poškozeny vrypem, tupým úderem a důlkem. Dále byla zkoumána antikorozi ochrana vzorků v solné komoře po dobu 14 dní. Testování bylo přerušeno vládním nařízením, karanténou způsobenou nemocí SARS Covid-19. Růst koroze bylo možné pozorovat pouze na hranách

vzorků. Na všech vzorcích došlo k zapasivování místa poškozeného rýhou a tupým úderem. U vzorků s ochranou úpravou v podobě vláken nebyly zaznamenány v tomto krátkém období žádné další významné viditelné změny.

Testování bylo završeno testem odolnosti proti kyselinám, kyselému prostředí. Vzorky byly vystaveny kyselině chlorovodíkové o koncentraci 16 %hm po dobu 14 dnů. U všech vzorků ošetřených pouze základním nátěrem došlo k zdegradování natřené vrstvy. Vzorky ošetřené všemi vrstvami laku odolaly vlivu působení kyselin bez většího poškození. Vzorek s vl. vrstvou z PVDF vykazoval nejmenší velikost vzniklých „map“, optického poškození.

Doporučení dalšího postupu

V průběhu práce bylo zjištěno velké množství faktorů, které mohou výrobu a testování vyrobených vzorků ovlivnit. Bylo by vhodné zjistit, jak ovlivňuje rozpouštědlový lakýrnický systém organických/vodou ředitelných rozpouštědel morfologii vláken z krátkodobého i dlouhodobého hlediska.

Dále se pokusit vyrobit například bikomponentní vlákna typ jádro/plášť a do jádra umístit inhibitory koroze, které by v případě poškození fungovaly, jako řízený systém léčiv.

Takto zpracované materiály by mohly být použity i pro designové účely. Případně zpracovat tento kompozitní charakter k výrobě baterií. Ty by byly součástí samotného skeletu elektromobilu a tím by byla navýšena kapacita baterií a využit stávající povrch se zachováním prostoru uvnitř kabiny.

VI. Zdroje

[1] KOCH, Gerhardus, Jeff VARNEY, Neil THOMPSON, Oliver MOGHISSI, Melissa GOULD a Joe PAYER. NACE, International measures of prevention, application and economics of corrosion technology, NACE International, 2016. *Nace International* [online]. ©NACE International, 2016, 8.3.2016 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <http://impact.nace.org/documents/Nace-International-Report.pdf>

[2] VŠCHT, *Korozní inženýrství* [online]. 2009, poslední revize 20.11.2009 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/3_2.pdf

[3] TANG, Zhenglin. A review of corrosion inhibitors for rust preventative fluids. *Current Opinion in Solid State and Materials Science* [online]. Elsevier, 2019, August 2019, **23**(4), 1 [cit. 2020-02-06]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2019.06.003>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359028619300774?via%3Dihub>

[4] AJMERI, J.R. a C.J. AJMERI. *Advances in Technical Nonwovens: 8 - Developments in nonwoven materials for medical applications*. Woodhead Publishing, 2016, 227-256. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100575-0.00008-5>. ISBN 9780081005750. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005750000085>

[5] LIU, S. a G. SUN. *Handbook of medical textiles: Bi-funtional textiles*. Woodhead publishing limited, 2011, 336-359. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100575-0.00008-5>. ISBN 9780081005750.

[6] SHIBLI, S.M.A., B.N. MEENA a R. REMYA. A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process. *Surface and Coatings Technology*. Jan 2015, **262**(25), 210-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.12.054>.

Dostupné také z :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897214011980?via%3Dihub>

[7] QIU, Shihui, Cheng CHEN, Mingjun CUI, Wei LI, Haichao ZHAO, Liping WANG a . Corrosion protection performance of waterborne epoxy coatings containing self-doped polyaniline nanofiber. *Applied Surface Science* [online]. June 2017, June 2017, (407), 213-222 [cit. 2020-08-09]. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.02.142>. Dostupné

z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433217305159?via%3Dihub>

[8] PULIKKALPARAMBIL, Harikrishnan, Suchart SIENGCHIN a Jyotishkumar PARAMESWARANPILLAI. Corrosion protective self-healing epoxy resin coatings based on inhibitor and polymeric healing agents encapsulated in organic and inorganic micro and nanocontainers. *Nano-Structures & Nano-Objects* [online]. October 2018, (16), 381-395 [cit. 2020-08-09]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2018.09.010>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352507X18301082?via%3Dihub>

[9] KUMANO, Naomi, Kanji MORI, Makoto KATO a Masahiko ISHII. Degradation of scratch resistance of clear coatings by outdoor weathering. *Progress in Organic Coatings* [online]. October 2019, (135), 574-581 [cit. 2020-08-09]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.06.034>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944019303078?via%3Dihub>

[10] HEARLE, J.W.S. a A.R. HORROCKS. *Handbook of Textile Fibre Structure: 13 - Thermally and chemically resistant fibres: structure and properties* [online]. 2. Woodhead Publishing, 2009, s. 450-457 [cit. 2020-08-09]. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781845697310.3.450>. ISBN 9781845697303. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845697303500135>

[11] ČSN EN ISO 8044. *Koroze kovů a slitin - Základní termíny a definice*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 44 s. Dostupné také z: http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/03/57898/57898_nahled.htm

[12] BARTONÍČEK, Robert. *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. Praha: Academia, 1966.

[13] NOVÁK, P. Druhy koroze kovů: Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha. *Věda a výzkum: Koroze a ochrana materiálu* [online]. 2005, 49(4), 75-82 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/21653593-Druhy-koroze-kovu-novak-p-ustav-kovovych-materialu-a-korozniho-inzenyrstvi-vscht-praha.html>

[14] ČERNÝ, Miroslav, et al. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 264 s. L13-B2-V-31/22629.

[15] ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Praha: Academia, 1999. ISBN 80-200-0671-0.

[16] MICHNA, Štefan, et al. *Encyklopedie hliníku*. 1. vyd. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. 700 s. ISBN 80-89041-88-4.

[17] ČSN 03 8137. *Ochrana proti korozi. Kovy, slitiny a kovové povlaky. Metalografické vyhodnocování korozního napadení*. Praha: Český normalizační institut, 1990, 20 s.

[18] GUO, Shuaicheng, Ruiz HE, Qingli DAI, Zhanping YOU, Yunxiang MA a Jiaqing WANG. A critical review of corrosion development and rust removal techniques on the structural/environmental performance of corroded steel bridges. *Journal of Cleaner Production* [online]. Elsevier, 2019, October 2019, (233), 126-146 [cit. 2020-02-06]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.023>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619319766?via%3Dihub>

[19] LIU, Youping. *Modeling the Time-to Corrosion Cracking of the Cover Concrete in Chloride Contaminated Reinforced Concrete Structures* [online]. Virginia, 1996-10-21, , 128 [cit. 2020-02-07]. DOI: <http://hdl.handle.net/10919/30541>. Dostupné z: <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/30541/etd.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

[20] DAWN, Tracy. *Characterization of Chloride-Induced Corrosion Products that form in Steel-Reinforced Cementitious Materials* [online]. Ontario, Kanada, 2001 [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/694/NQ65251.pdf?sequence=1>. Disertace. University of Waterloo.

[21] KÖLIÖ, Arto, Mari HONKANEN, Luka LAHDENSIVU, Minnamari VIPPOLA a Matti PENTTI. Corrosion products of carbonation induced corrosion in existing reinforced concrete facades. *Cement and Concrete Research* [online]. Elsevier, December 2015, **2015**(78), 200-207 [cit. 2020-02-07]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.07.009>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884615001982>

- [22] RAMAN, A, A RAZVAN, B KUBAN, K. A. CLEMENT, W. E. GRAVES a . Characteristics of the Rust from Weathering Steels in Louisiana Bridge Spans. *Corrosion: The journal of science and engineering* [online]. 1986, august 1985, **42**(8), 447-455 [cit. 2020-02-06]. DOI: <https://doi.org/10.5006/1.3583050>. Dostupné z: <https://corrosionjournal.org/doi/10.5006/1.3583050>
- [23] RUDNICK, Leslie R. *Lubricant Additives: Chemistry and Applications, Second Edition* [online]. 2. vydání. Boca Raton: CRC Press, 2009, 790 s. [cit. 2020-02-06]. ISBN 9780429137334. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781420059656>
- [24] TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005 [cit. 2020-02-06]. ISBN 80-214-3062-1. Dostupné z: <http://kramerius4.nkp.cz/search/i.jsp?pid=uuid:633c01b0-03f4-11e7-aa6c-005056827e52>
- [25] FONTANA, Mars G. *Corrosion engineering* [online]. 3rd. Singapore: MCGraw-Hill Book, 1987 [cit. 2020-02-07]. ISBN 0-07-100360-6. Dostupné z: <https://automaterials.files.wordpress.com/2019/01/corrosion-engineering.pdf>
- [26] COOK, Tom. Myths and truths in hot dip galvanizing. *Metal Finishing* [online]. June 1991, **89**(9), 107-108 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0026173219&origin=inward>
- [27] SA-NGUANMOO, Run, Ekasit NISARATANAPORN a Yuttanant BOONYONGMANEERAT. Hot-dip galvanization with pulse-electrodeposited nickel pre-coatings. *Corrosion Science* [online]. Jan 2011, **53**(1), 122-126 [cit. 2020-08-03]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.09.031>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010938X10004622>
- [28] REUMONT, G., J.B. VOGT, A. IOST, J. FOET a . *Surface coating technology*. **139**(2000), 265.
- [29] SERÉ, P. R. et al. Factores que afectan a la estructura de los recubrimientos de cinc obtenidos por inmersión. **Revista de Metalurgia**, [S.l.], v. 33, n. 6, p. 376-381, dec. 1997. ISSN 1988-4222. Disponible en: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/artic>

[e/view/832/845](#)>. Fecha de acceso: 03 aug. 2020

doi:<http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.1997.v33.i6.832>.

[30] FELIU JR., S. a V. BARRANCO. XPS study of the surface chemistry of conventional hot-dip galvanised pure Zn, galvaneal and Zn–Al alloy coatings on steel. *Acta Materialia* [online]. Oct 2003, **51**(18), 5413-5424 [cit. 2020-08-03]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(03\)00408-7](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(03)00408-7). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645403004087>

[31] D. Horstmann, 4th Int. Galv. Conf. Milan, 1956.

[32] JORDAN, C.E. a A.R. MARDER. Fe-Zn phase formation in interstitial-free steels hot-dip galvanized at 450 °C. Part II 0.20 wt% Al-Zn baths. *Journal of Materials Science* [online]. 1997, **32**(21), 5603-5610 [cit. 2020-08-03]. DOI: 10.1023/A:1018632709739. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0031270295&origin=inward>

[33] KOZDRAS, M. S. a P. NIESSEN. Surface effects in batch galvanizing of silicon containing steels. *Materials Science and Technology (United Kingdom)* [online]. Aug 1990, **6**(8), 681-686 [cit. 2020-08-03]. DOI: 10.1179/mst.1990.6.8.681. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0025474175&origin=inward>

[34] Y. Boonyongmaneerat, K. Saengkiattiyut, P. Rattanawaleedirojn, C. Angkaprasert, J. Wanichsampan, S. Saenapitak, J. Iron Steel Res. Int. **17** (8) (2011) 74.

[35] SHIBLI, S.M.A. a R. MANU. Process and performance improvement of hot dip zinc coating by dispersed nickel in the under layer. *Surface and Coatings Technology* [online]. July 2005, **197**(1), 103-108 [cit. 2020-08-03]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.10.115>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897204011235>

[36] COOK, Tom. Myths and truths in hot dip galvanizing. *Metal Finishing* [online]. June 1991, **89**(9), 108-110 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0026173219&origin=inward>

[37] R.P. Krepski, *Mat. Finish.* 87 (10) (1989) 37.

[38] MANNA, M. Effect of fluxing chemical: An option for Zn–5wt.%Al alloy coating on wire surface by single hot dip process. *Surface and Coatings Technology* [online]. March 2011, **205**(12), 3716-3721 [cit. 2020-08-03]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.01.026>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897211000387>

[39] L. Allegra, J.C. Zoccola, *Mater. Perform.* 22 (1983) 5.

[40] SHIBLI, S.M.A., A.C. JAYALEKSHMI a R. REMYA. Electrochemical and structural characterization of the mixed oxides-reinforced hot-dip zinc coating. *Surface and Coatings Technology* [online]. May 2017, **201**(16-17), 7560-7565 [cit. 2020-08-03]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.02.028>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S025789720700148X>

[41] LIBERSKI, P., K. HENRYK, P. PODOLSKI a A. GIEREK. *Ochrona przed Korozja* [online]. 2004, **47**, 264-269 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-32544453428&origin=inward>

[42] SERÉ, P.R., J.D. CULCASI, C.I. ELSNER a A.R. DI SARLI. Relationship between texture and corrosion resistance in hot-dip galvanized steel sheets. *Surface and Coatings Technology* [online]. Dec 1999, **122**(2-3), 143-149 [cit. 2020-08-03]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00325-4](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00325-4). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897299003254>

- [43] PISTOFIDIS, N., G. VOURLIAS, S. KONIDARIS, EI. PAVLIDOU, A. STERGIOU a G. STERGIOUDIS. The effect of bismuth on the structure of zinc hot-dip galvanized coatings. *Materials Letters* [online]. Feb 2007, **61**(4-5), 994-997 [cit. 2020-08-03]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.06.029>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X06007312>
- [44] STREITBERGER, Hans-Joachim a Karl-Friedrich DÖSSEL. *Automotive Paints and Coatings: Pretreatment of Multimetal Car Bodies*. 2. KGaA, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, 2008, 61-75. ISBN 978-3-527-30971-9.
- [45] RAUSCH, W. (1990). *The phosphating of metals*. Finishing Publications. <http://books.google.com/books?id=8RRUAAAAMAAJ>.
- [46] DEPNATH, N. C. a G. N. BHAR. (2002) *European Coating Journal*. **46**.
- [47] A Review of the Practical Considerations Associated with Different Rust Removal Technologies. *Safetykleen* [online]. Brenford UK, ©2020, 2018 [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.safetykleen.eu/uk/news/from/2018-01-01/to/2018-12-31>
- [48] SINGH, Ashish Kumar a M. A. QURAIISHI. Investigation of the effect of disulfiram on corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution. *Corrosion Science* [online]. 2011, April 2011, **53**(4), Pages 1288-1297 [cit. 2020-02-07]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.01.002>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X11000114>
- [49] ZHENG, X, M GONG, Q LI a L GUO. Corrosion inhibition of mild steel in sulfuric acid solution by loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) leaves extract. *Scientific Reports* [online]. 2018, June 2018, **8**(1) [cit. 2020-02-07]. DOI: 10.1038/s41598-018-27257-9. Dostupné z: <https://europepmc.org/article/med/29904168>
- [50] ROSS, T.K. a R. A. FRANCIS. The treatment of rusted steel with mimosa tannin. *Corrosion Science* [online]. 1978, 1978, **18**(4), 351-361 [cit. 2020-02-07]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(78\)80049-3](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(78)80049-3). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X78800493>
- [51] RAMAN, A.; NASZRAZADANI, S. Corrosion problems in some Louisiana bridges and suggested remedies. *Louisiana State University, Baton Rouge, La*, 1989.

[52] CHAVES, Igor A., Robert JEFFREY a Robert E. MELCHERS. Technical Note: Rust Removal from Steel Coupons After Short-Term Marine Immersion. *CORROSION* [online]. 2015, March 2015, **71**(7), 811-818 [cit. 2020-02-07]. DOI: <https://doi.org/10.5006/1649>. ISSN 0010-9312. Dostupné z: <https://corrosionjournal.org/doi/10.5006/1649>

[53] BERNAL, J. D., D. R. DASQUPTA a A. L. MACKAY. The oxides and hydroxides of iron and their structural inter-relationships. *Clay Minerals Bulletin* [online]. 1959, August 1959, **4**(21), 15-30 [cit. 2020-02-07]. DOI: <https://doi.org/10.1180/claymin.1959.004.21.02>. Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/journals/clay-minerals-bulletin/article/oxides-and-hydroxides-of-iron-and-their-structural-interrelationships/1A8DB4DC3200532161238AB35416F7F7>

[54] ZAKROCZYMSKI, T. a Z. SZKLARSKA-SMIALOWSKA. Activation of the Iron Surface to Hydrogen Absorption Resulting from a Long Cathodic Treatment in NaOH Solution. *Journal of The Electrochemical Society* [online]. 1985, 1985, **132**(11) [cit. 2020-02-07]. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.21113621>. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1.21113621>

[55] OTERO, E., J. GONZALEZ, A. COBO a M. GONZALEZ. Electrochemical chloride removal from reinforced concrete structures and its ability to repassivate prerusted steel surfaces. *Corrosion* [online]. 2001, **52**(8), 581-589 [cit. 2020-02-09].

[56] URRÉJOLA, S., J. LORA a R. DEVESA-REY. Optimization of Electrolytic Cleaning of Low Carbon Steels. *European Journal of Sustainable Development* [online]. 2016, **5**(3), 197-206 [cit. 2020-02-07]. DOI: [10.14207/ejsd.2016.v5n3p197](https://doi.org/10.14207/ejsd.2016.v5n3p197). ISSN 2239-5938. Dostupné z: Urrejola, S.R., Garcíaís, J.L., Devesa-Rey, R., 2016. Optimization of electrolytic cleaning of low carbon steels. *Eur. J. Sustain. Dev.* **5** (3), 197e206.

[57] WADE, S. A. a Y. LIZAMA. *CLARKE'S SOLUTION CLEANING USED FOR CORROSION PRODUCT REMOVAL: EFFECTS ON CARBON STEEL SUBSTRATE* [online]. November 2015 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/284179329_CLARKE'S_SOLUTION_CLEANING_USED_FOR_CORROSION_PRODUCT_REMOVAL_EFFECTS_ON_CARBON_STEEL_SUBSTRATE/citations

[58] MILLER, Trent C., Michael J. CHAJES, Dennis R. MERTZ a Jason N. HASTINGS. Strengthening of a Steel Bridge Girder Using CFRP Plates. *Journal of Bridge Engineering* [online]. 2001, December 2001, **6**(6), 514-522 [cit. 2020-02-09]. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2001\)6:6\(514\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2001)6:6(514)). Dostupné z: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%291084-0702%282001%296%3A6%28514%29>

[59] FANG, C. K. a T. H. CHUANG B. Surface morphologies and erosion rates of metallic building materials after sandblasting. *Wear* [online]. 1999, May 1999, **230**(2), 156-164 [cit. 2020-02-09]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00097-6). ISSN 0043-1648. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164899000976>

[60] GENG, Shaoning, Junsheng SUN a Lingyu GUO. Effect of sandblasting and subsequent acid pickling and passivation on the microstructure and corrosion behavior of 316L stainless steel. *Materials & Design* [online]. 2015, December 2015, **88**(25), 1-7 [cit. 2020-02-09]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.08.113>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264127515303646>

[61] VINIK, Paul, Ray BOTTENBERG, Charlie BROWN, Justin OCEL, Tom SCHWERDT, Mike TODSEN a Sudhir PALLE. Successful Preservation Practices for Steel Bridge Coatings: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *The National Academies of sciences, engineering and medicine* [online]. 2016, October 2016, , 1-102 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP20-68A_15-03.pdf

[62] ASMUS, J.F. Light cleaning: laser technology for surface preparation in the arts.: Thirty-seven years of lasers in the conservation of art. *Technology for conservation* [online]. 1978, , 1-6 [cit. 2020-02-09]. ISSN 0253-9268. Dostupné z: <http://www.revistacubanadefisica.org/RCFextradata/OldFiles/2010/vol.27-No.1/RCF27-1-2010-3.pdf>

[63] LU, Y. F., Y. P. LEE, M. H. HONG a T. S. LOW. Acoustic wave monitoring of cleaning and ablation during excimer laser interaction with copper surfaces. *Applied Surface Science* [online]. 1997, September 1997, **119**(1-2), 137-146 [cit. 2020-02-09]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-4332\(97\)00188-8](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(97)00188-8). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433297001888>

[64] READY, John F. *Effects of High-Power Laser Radiation* [online]. New York, Londod: Academic Press, 1971 [cit. 2020-02-09]. ISBN 77-137597. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=15GFz3mVCjkC&oi=fnd&pg=PP1&ots=Ir1zdWuhGZ&sig=PAFWmAD5kD8uRpQ8_Tpz0zDWEiE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

[65] CHAN, Cholik a J. MAZUMDER. One-dimensional steady-state model for damage by vaporization and liquid expulsion due to laser-material interaction. *Journal of Applied Physics* [online]. 1987, 1987, **62**(11), 4579-4586 [cit. 2020-02-09]. DOI: 10.1063/1.339053. Dostupné z:

<https://arizona.pure.elsevier.com/en/publications/one-dimensional-steady-state-model-for-damage-by-vaporization-and>

[66] ADEN, M., E. BEYER a G. HERZIGER. Laser-induced vaporisation of metal as a Riemann problem. *Journal of Physics D: Applied Physics* [online]. 1990, 1990, **23**, 655 [cit. 2020-02-09]. DOI: <https://doi.org/10.1088/0022-3727/23/6/004>. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/23/6/004>

[67] STEEN, William, Jyotirmoy MAZUMDER a . *Laser Material Processing* [online]. 4th. London: Springer, 2010 [cit. 2020-02-09]. ISBN 978-1-84996-062-5. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=gPsq0HHAU4UC&oi=fnd&pg=PA1&ots=TI9i1xOQrp&sig=jrQsEu3vu771n-_YiXYjSCzZeSM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

[68] SIATOU, A., D. CHARALAMBOUS, V. ARGYROPOULOS a P. POULI. A Comprehensive Study for the Laser Cleaning of Corrosion Layers due to Environmental Pollution for Metal Objects of Cultural Value: Preliminary Studies on Artificially Corroded Coupons. *Lasers in the Preservation of Cultural Heritage* [online]. 2006, 2007, , 7 [cit. 2020-02-09]. DOI: <https://doi.org/10.1155/2006/85324>. Dostupné z: <http://downloads.hindawi.com/archive/2006/085324.pdf>

[69] WATKINS, Kenneth G. Mechanisms of laser cleaning. *High-Power Lasers in Manufacturing* [online]. 2000, (3888) [cit. 2020-02-09]. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.377013>. Dostupné z: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/3888/0000/Mechanisms-of-laser-cleaning/10.1117/12.377013.short?SSO=1>

[70] WANG, Zemin, Xiaoyan ZENG a Weiling HUANG. Parameters and surface performance of laser removal of rust layer on A3 steel. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2003, March 2003, **166**(1), 10-16 [cit. 2020-02-09]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(02\)00736-3](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00736-3). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897202007363>

[71] DAURELIO, Giuseppe, Massimo CINQUEPALMI a Giuseppe CHITA. New laser surface treatments: cleaning, derusting, deoiling, depainting, deoxidizing, and degreasing. *Lasers in Material Processing* [online]. 1997, 1997, **3097** [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: https://www.academia.edu/28796567/_title_New_laser_surface_treatments_cleaning_derusting_deoiling_depainting_deoxidizing_and_degreasing_title_

VII. Přílohy

A Použité chemikálie a přístroje, nástroje

Použité materiály:

Voda

Destilovaná voda

Ethanol Penta

Aceton Penta

Kyselina chlorovodíková 33% Penta

Kyselina octová Penta

Kyselina mravenčí Penta

Dimethylformamid Sigma

Polyamid 6, Ultramid B27 BASF

Polyvinylidenfluorid Kinar 720 Arkema

Polyvinylbutyral Mowital B60H Kuraray

Polypropylen Exxon 500 Borealis

Zinková pasta Zinga

Ředidlo zinkové pasty Zinga

Neutralizátor koroze Brunox

Stříkáč tlmel protect 2K Novol

Tvrdidlo tmelu H5520 Novol

Antikorozní epoxidový základní nátěr 2K Novol

Tvrdidlo H5950 Novol

Barevná bezmetalická báze 1K Lechler

Akrylový bezbarvý lak 2K Novol

Tvrdidlo bezbarvého laku H5120 Novol

Brusný papír P240, P400, P600 Sia

Pozinkovaný ocelový plech tl. 1mm Kondor

Brusná rohož střední Scotchbrite

Sítka na nečistoty pro barvy a laky Silco

Lakýrnická maska 3M

Přístroje a programy

Kompresor

Sheppach

Odlučovač oleje a nečistot

Extol premium

Stříkáč pistole, průměr trysky 1,4mm

Mago profi

Odsávání nezdravých výparů

Lavam

Zlatička

Quorum Q150 ES (Quorum)

Elektronový mikroskop

Vega 3 SB – Easy Probe (Tescan)

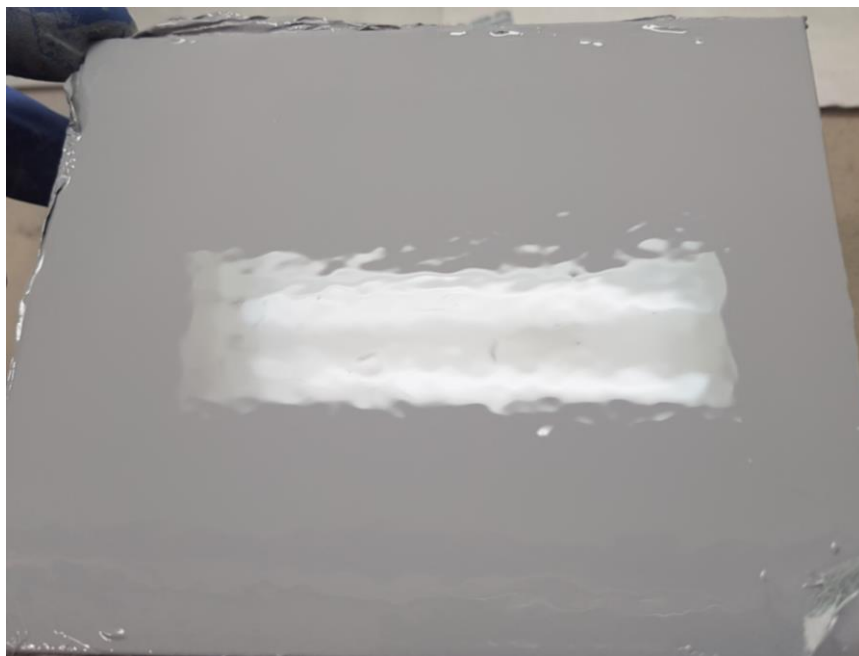
B Vzhled vzorků po aplikaci druhé a třetí vrstvy epoxidového základního nástřiku



PA6 + Zinek, technologie elektrického zvlákňování



PP, technologie meltblown



PVDF, technologie elektrického zvlákňování



PA6, technologie elektrostatického zvlákňování

C Ostatní vzorky po nástřiku a zbrúšení stříkacího tmelu



PA6, technologie elektrického zvlákňování

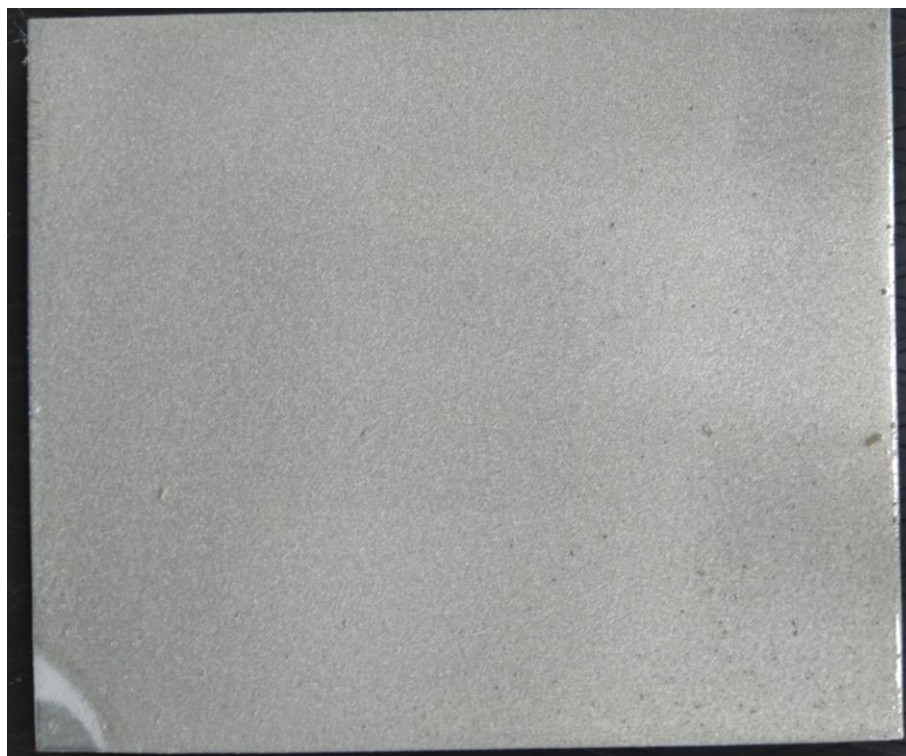


PA6 + Zinek, technologie elektrického zvlákňování



PA6, technologie elektrostatiského zvlákňování

D Nalakované vzorky se všemi vrstvami laku



Referenční vzorek bez vlákné vrstvy



PP, technologie meltblown



PA6, technologie elektrického zvlákňování



PA6 + Zinek, technologie elektrického zvlákňování



PA6, technologie stejnosměrného elektrostatického zvlákňování



PVDF, technologie elektrického zvlákňování

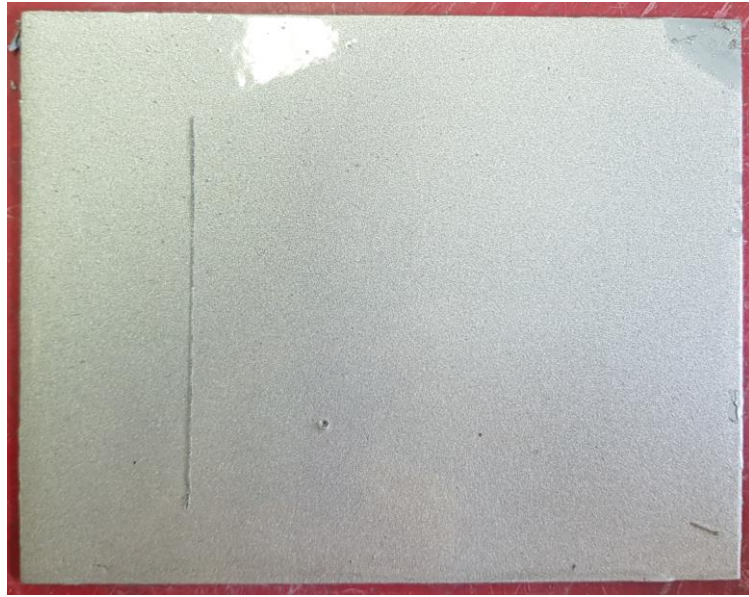
E Vzorky po 14 dnech v solné komoře



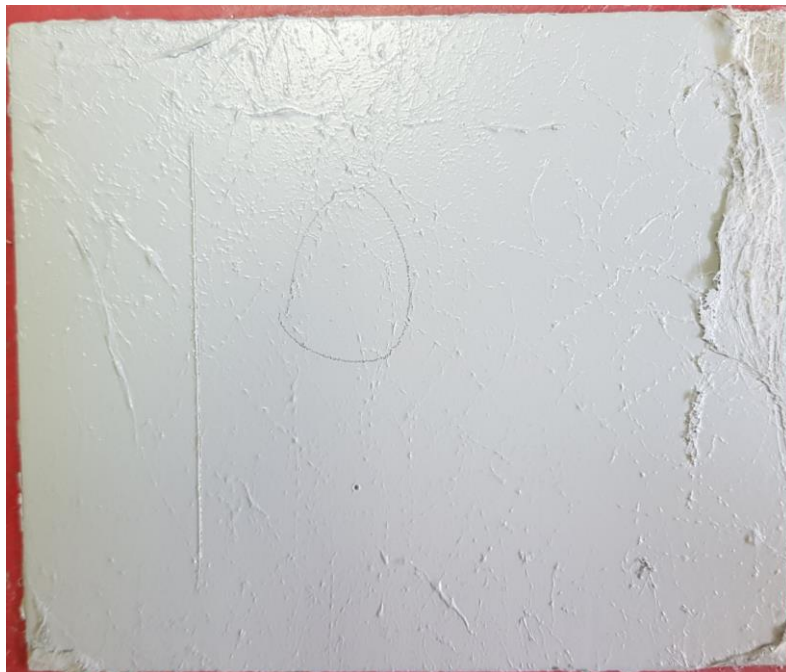
Referenční vzorek, všechny vrstvy po testování v klimatické komoře



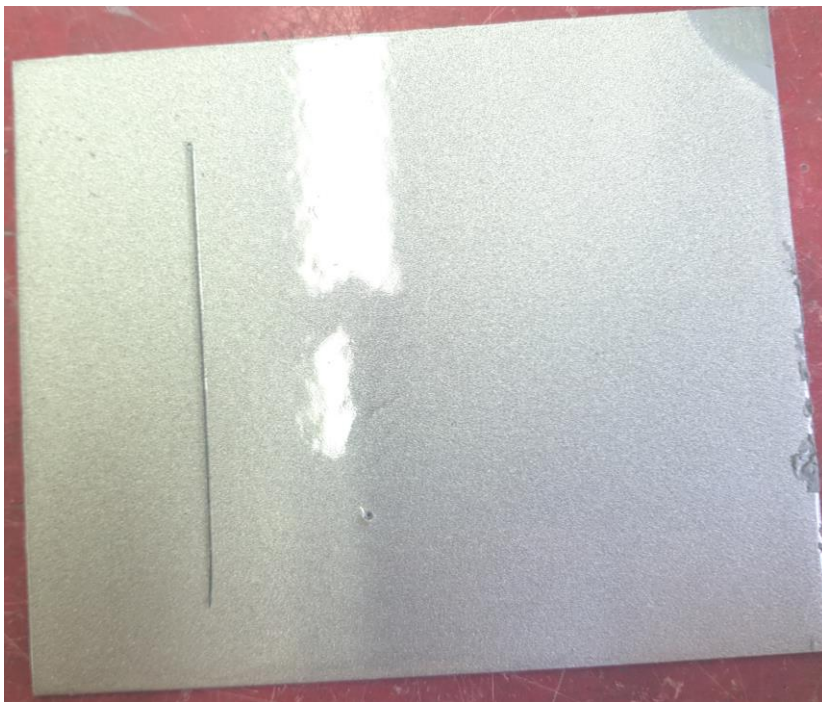
Referenční vzorek, pouze základní nástřik



PP, technologie meltblown, všechny vrstvy



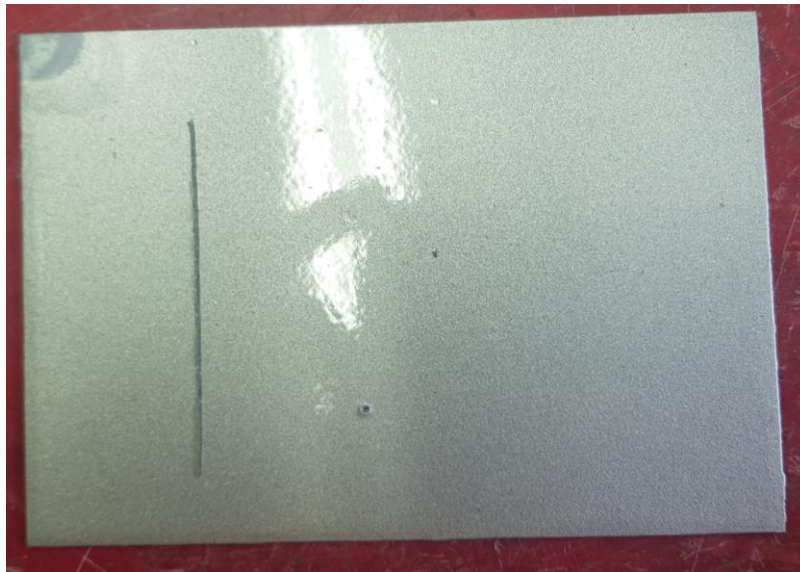
PP, technologie meltblown, základní nástřik



PA6 + Zinek, technologie elektrického zvlákňování, všechny vrstvy



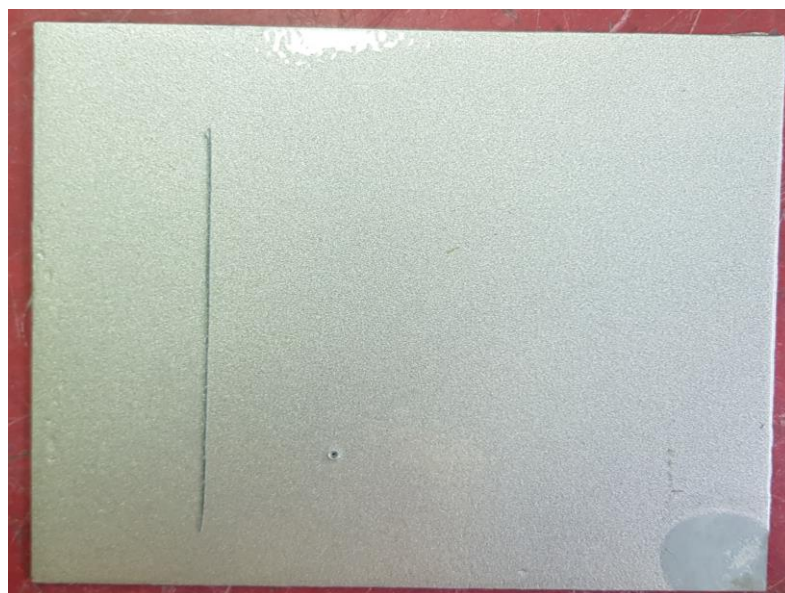
PA6 + Zinek, technologie elektrického zvlákňování, základní nástřik



PA6, technologie elektrického zvlákňování, všechny vrstvy



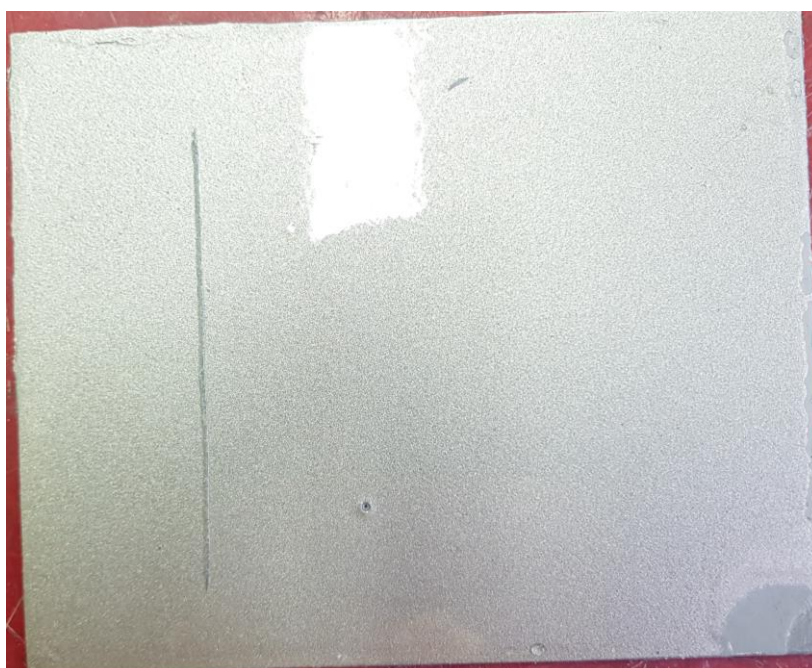
PA6, technologie elektrického zvlákňování, základní nástřik



PA6, technologie elektrostatického zvlákňování, všechny vrstvy



PA6, technologie elektrostatického zvlákňování, základní nástřik

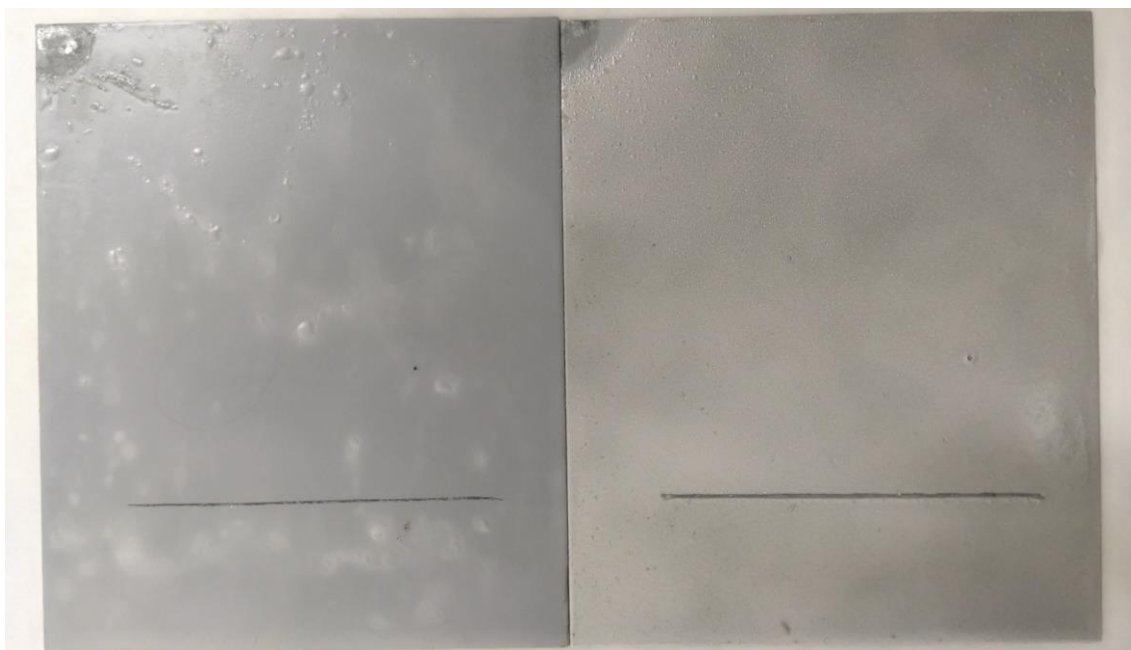


PVDF, technologie elektrického zvlákňování, všechny vrstvy

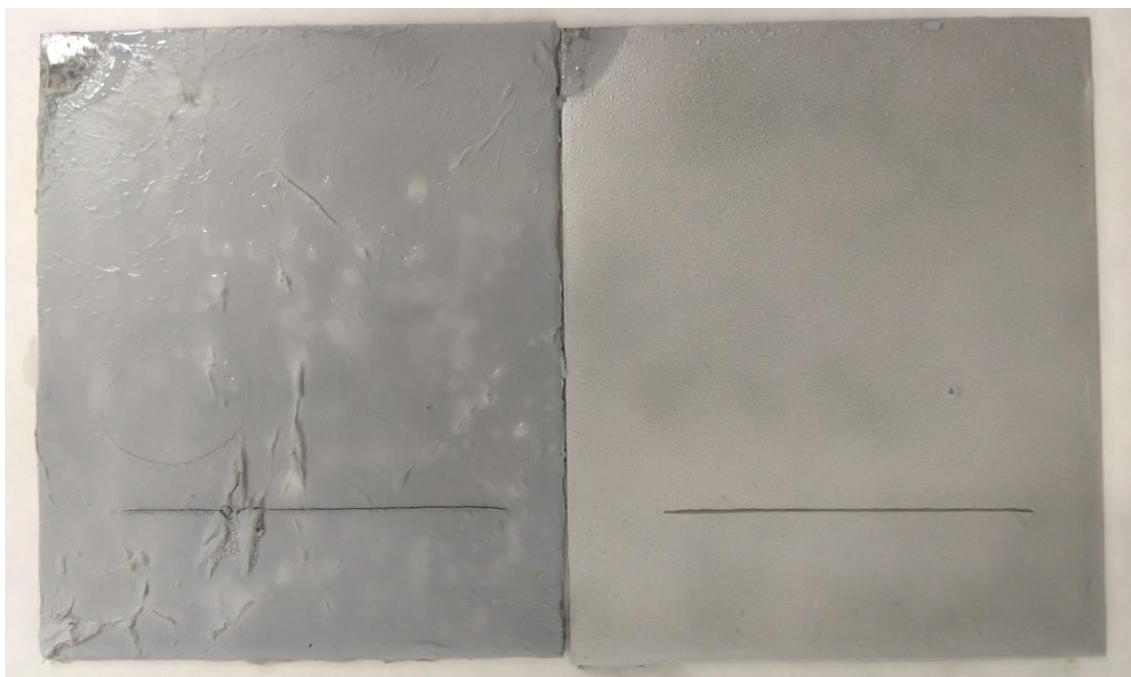


PVDF, technologie elektrického zvlákňování, základní nástřik

F Klimatická komora s kyselými výpary



Referenční vzorek, vlevo základní nástřík, vpravo všechny vrstvy



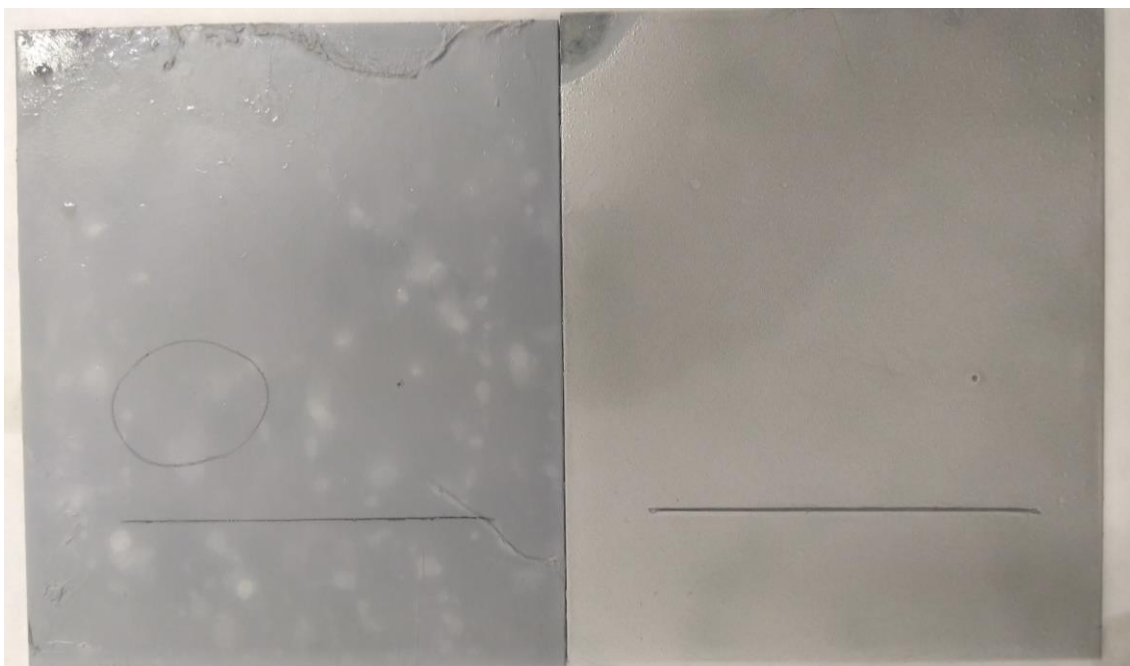
PP, technologie meltblown, vlevo základní nástřík, vpravo všechny vrstvy



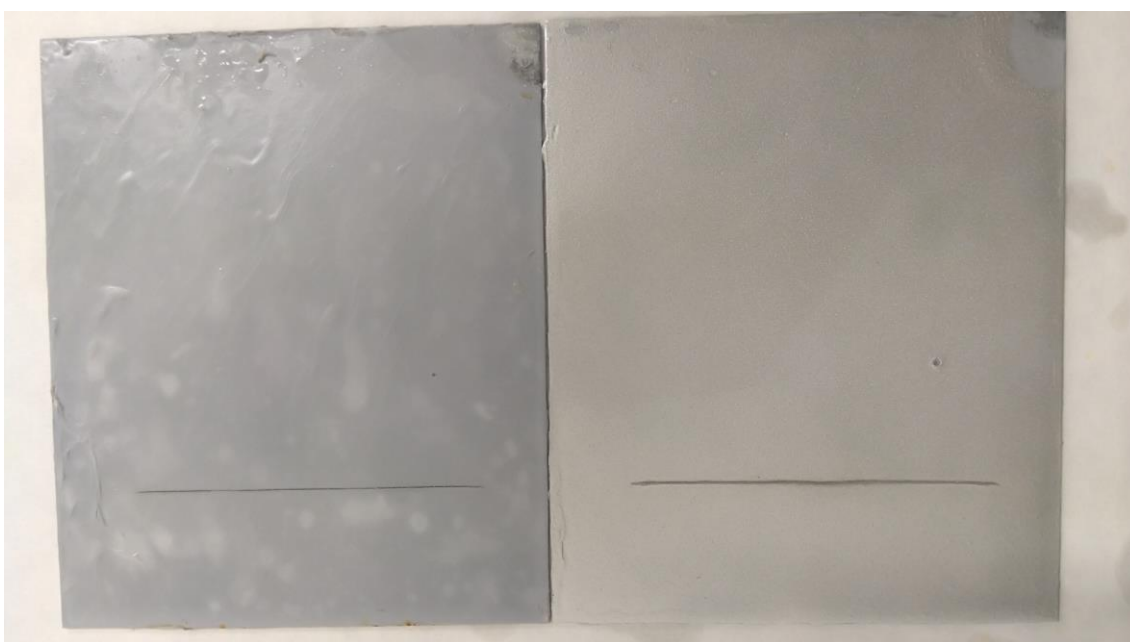
PA6, tech. elektrostatického zvlákňování, vlevo základní nástřik, vpravo všechny vrstvy



PA6, tech. střídavého elektrického zvlákňování, vlevo základní nástřik, vpravo všechny vrstvy



PA6 + Zinek, tech. střídavého elektrického zvlákňování, vlevo základní nástřik, vpravo všechny vrstvy



PVDF, technologie elektrického zvlákňování, vlevo základní nástřik, vpravo všechny vrstvy

G Obsah příloženého CD

Text diplomové práce: DP_Sabol_2020.pdf