

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Studium transparentních nanopovlaků pro aplikaci na ocelový substrát

Study of the Colourless Nanocoatings for Application on Steel Substrate

Student:

Bc. Aleš Nykl

Vedoucí diplomové práce :

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Nykl**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Téma: Studium transparentních nanopovlaků pro aplikaci na ocelový substrát
Study of the Colourless Nanocoatings for Application on Steel Substrate

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti organických povlaků na bázi nátěrových hmot.
2. Prostudujte současný stav vývoje nanopovlaků a jejich aplikaci na ocelový substrát.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proved'te experimentální práce a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu v rozsahu minimálně 35 stran.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

KOLASINSKI, K. W.: *Surface Science. Foundations of Catalysis and Nanoscience*. John Wiley and Sons, LTD, England, 2002. 300 s. ISBN 0-471-49245-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 13.05.2011

..... *Alis Myhel*

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 13.05.2011



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Aleš Nykl

Adresa trvalého pobytu autora práce: Aloise Gavlase 38/14
700 30 Ostrava - Dubina

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Nykl, A. *Studium transparentních nanopovlaků pro aplikaci na ocelový substrát*. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 81 s. Diplomová práce, vedoucí: Podjuklová, J.

Teoretická část práce uvádí základní informace k hodnocení povrchu materiálů, vlastnosti organických povlaků a vlastnosti pigmentů v mikro a nanorozměrech.

Experimentální část práce je zaměřena na porovnání výsledků vzorků povrchů válcované trubky a broušeného plechu Standard. Na tyto povrchy vzorků byl nanesen transparentní antikoroziční lak na bázi alkydové pryskyřice dvěma různými způsoby - štětcem a pneumatickým stříkáním. Do nátěrového systému byl vmíchán antikoroziční pigment fosforečnan zinečnatý „fosfát zinku ZP10“, jehož velikost částic se pohybovala v nanorozměrech, o obsahu 3-5% a 6-9%. Vzorky s aplikovanými nátěrovými systémy byly podrobeny mřížkové zkoušce přilnavosti a korozní zkoušce. Dosažené výsledky byly poté zaznamenány a vyhodnoceny.

ANNOTATION OF THE THESIS

Nykl, A. *Study of the Colourless Nanocoatings for Application on Steel Substrate*. Ostrava: Department of Mechanical Engineering Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2011, 81 p. Thesis, head: Podjuklová J.

The theoretical part provides basic information on evaluation of surface materials, organic coating properties and pigment properties in micro- and nanoscale.

The experimental part focuses on the comparison of the results of surface samples of wrought pipes and brushed sheet metal Standard. The surfaces of these samples were coated with transparent anticorrosive varnish based on alkyd resins in two different ways – by a brush and by air spraying. The coating system was mixed with anticorrosive pigment “zinc phosphate ZP10”, containing particles in the nano-size of 3-5% and 6-9%. Samples with applied coating systems were subjected to a cross hatch test of adhesion and to a corrosion test. The results were then recorded and analyzed.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....	8
1. ÚVOD.....	9
2. POVRCH KOVOVÉHO A NEKOVVÉHO MATERIÁLU.....	10
2.1 GEOMETRICKÉ VLASTNOSTI POVRCHU	10
2.1.1 Změna struktury povrchu	11
2.1.2 Drsnost povrchu	12
2.1.3 Hodnocení drsnosti povrchu	13
2.2 ROZDĚLENÍ POVRCHOVÝCH ÚPRAV	13
2.2.1 Čištění a úprava povrchu	13
2.2.2 Mechanická úprava povrchu	14
2.2.3 Chemická povrchová předúprava	15
2.3 ADHEZE POVLAKU K OCELOVÉMU SUBSTRÁTU	15
3. VLASTNOSTI A SLOŽENÍ ORGANICKÝCH POVLAKŮ.....	16
3.1 SLOŽENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT	17
3.2 VLASTNOSTI PIGMENTŮ	20
3.2.1 Barva, barvicí schopnost.....	20
3.2.2 Krycí mohutnost pigmentu	21
3.2.3 Morfologické vlastnosti	21
3.3 APLIKACE POVLAKU NA POVRCHU	26
4. NANOTECHNOLOGIE POVLAKŮ	27
4.1 DEFINICE POJMU "NANOTECHNOLOGIE"	27
4.2 NANOTECHNOLOGIE V POVRCHOVÝCH ÚPRAVÁCH	28
4.2.1 Příprava nanočástic kovů	28
4.2.2 Nové vlastnosti povrchů	29
4.3 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ NANOTECHNOLOGIE V OBLASTI NANÁŠENÍ BAREV	30
4.3.1 Nanonátěry s novými funkcemi	30
4.3.2 Trendy vývoje barev a pigmentů	31
4.3.3 Budoucnost ve vývoji nanopovlaků.....	32
5. SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	33
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	34
6.1 CÍL EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI, POUŽITÉ MATERIÁLY	34

6.2	NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRÁČÍ	34
7.	PRAKTICKÁ ČÁST EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE	35
7.1	CHARAKTERISTIKA PODKLADOVÉHO MATERIÁLU	35
7.1.1	Hodnocení zaprašení povrchu dle ČSN ISO 8502-3	37
7.2	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU DLE ČSN EN ISO 4287	39
7.2.1	Měření drsnosti na vzorcích válcované trubky	41
7.2.2	Měření drsnosti na vzorcích plechu Standard	42
8.	CHARAKTRISTIKA A APLIKACE NÁTĚROVÉ HMOTY	44
8.1	CHEMICKÁ ANALÝZA A FOTODOKUMENTACE ZP10	44
8.1.1	Chemická analýza a fotodokumentace povrchu vzorku	45
8.2	APLIKACE NÁTĚRU	48
8.2.1	Vytvrzování nátěrů	48
8.2.2	Měření tloušťky suché vrstvy dle ČSN EN ISO 2808	48
8.2.3	Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN ISO 16276-2	49
8.2.4	Hodnocení mřížkové zkoušky	51
8.2.5	Zkouška křížovým řezem dle ČSN ISO 16276-2	52
8.2.6	Hodnocení zkoušky křížovým řezem	53
8.3	FÁZOVÉ ROZHRAŇÍ OCELOVÉHO SUBSTRÁTU A NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU	55
8.3.1	Fotodokumentace fázového rozhraní válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10. Aplikace - štětcem	55
8.3.2	Fotodokumentace fázového rozhraní válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10. Aplikace - pneumatickým stříkáním	57
8.4	ZKOUŠKA SOLNOU MLHOU DLE ČSN EN ISO 9227	60
8.4.1	Provozní podmínky solné komory LIEBISCH S400 M-TR	60
8.4.2	Fotodokumentace a vyhodnocení vzorků s nátěry aplikovanými štětcem na počátku a na konci cyklu korozní zkoušky	61
8.4.3	Vyhodnocení degradace nátěru (aplikace štětcem)	65
8.4.4	Fotodokumentace a vyhodnocení vzorků s nátěry aplikovanými pneumatickým stříkáním na počátku a na konci cyklu korozní zkoušky	67
8.4.5	Vyhodnocení degradace nátěru (aplikace pneumatickým stříkáním)	71
8.4.6	Výsledné vyhodnocení degradace nátěru	73
9.	ZÁVĚR	75
10.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	78
11.	SEZNAM PŘÍLOH	81

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Co	kobalt
Mn	mangan
Ni	nikl
Fe	železo
Cu	měď
Cr	chrom
H	vodík
C	uhlík
O	kyslík
N	dusík
μm	mikrometr- délková míra
nm	nanometr – délková míra
$\alpha \beta \gamma \varepsilon \omega$	řecká abeceda
90°	úhlová míra
A	asfalty
B	polyester
C	celulóza
H	chlórkaučuk
K	silikon
L	láh
O	olej
S	syntetika
U	polyuretan
V	emulze (vodní)
PKO	protikorozní ochrana
$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$	fosforečnan zinečnatý
TiO_2	oxid titaničitý
SiO_2	oxid křemičitý
NaCl	chlorid sodný

1. Úvod

Kvalitní povrchová úprava materiálů významně ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti výrobků, ale také náklady týkající se údržby a obnovy po celou dobu jejich životnosti.

Materiály pro povrchovou úpravu jsou neustále předmětem vývoje. Mnohé odzkoušené materiály bývají často vylučovány z dalšího používání ekologickou legislativou.

Základním ochranným mechanismem povlaků je vytvoření bariéry mezi chráněným materiálem a korozním prostředím. Aby povrchová úprava byla pro určité časové období kvalitní, musí být vždy stanovené podmínky pro předúpravu povrchu. Volba povlaku je závislá na předpokládané nebo plánované životnosti chráněného celku, dostupnosti dílčího prvku pro budoucí údržbu a předpokládaném termínu provádění systému ochrany, a z něj vyplývající technologická rizika, optimalizaci nákladů na pořízení a údržbu ochranného povlaku po dobu plánované životnosti.

V tomto tvoří nedílnou součást urychlené laboratorní zkoušky a ty vytváří současnou kontrolu kvality zhotovené protikorozní ochrany (PKO). Tyto zkoušky mohou plnit minimálně dvě odlišné funkce:

Za prvé slouží k ověření kvality PKO, tj. kvality materiálu a technologie zhotovení povrchové úpravy a jejich schválení příslušnými orgány.

Za druhé k vývoji nových povlakových materiálů a technologií. Nejrozšířenějším postupem povrchové ochrany kovových materiálů je způsob, při kterém je pomocí organických povlaků vytvořených z nátěrových hmot zabezpečena chemická nebo elektrochemická reakce antikorozního pigmentu.

Volbou vhodných pigmentů se zvyšují mechanické vlastností a odolnosti nátěrů při teplotních změnách. Organické nátěrové systémy tvoří přibližně 90 procent všech systémů protikorozní ochrany.

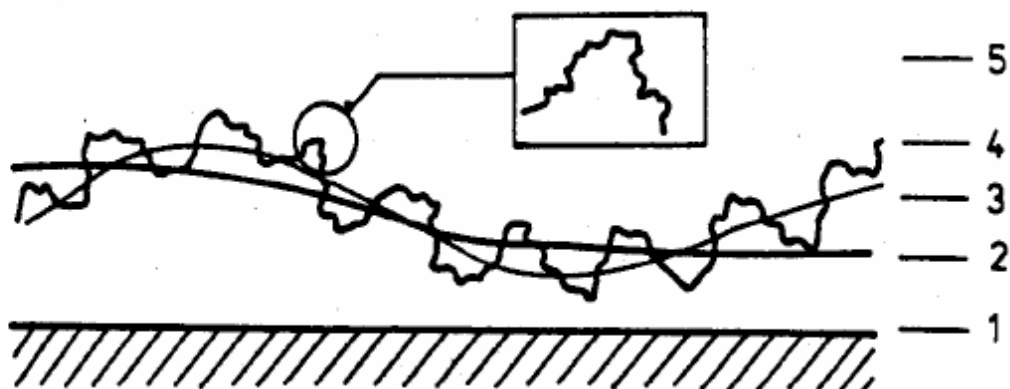
Na kvalitu výsledného filmu mají vliv takové faktory, jako je morfologie a distribuce, velikosti částic jednotlivých plniv a pigmentů.

2. Povrch kovového a nekovového materiálu

2.1 Geometrické vlastnosti povrchu

Zvyšují se nároky na kvalitu povrchu materiálu určených pro další zpracování, zpřísňují se geometrické a rozměrové parametry. Jedním z důležitých parametrů povrchu plechu je mikrogeometrie, tu můžeme ovlivnit vytvořením zvláštního typu morfologie na povrchu plechu. [6]

Mikrogeometrie povrchu na jedné straně prostřednictvím tribologických podmínek ovlivňuje proces lisování, na druhé straně určuje vzhled povrchu hotového výrobků po lakování. Pro výrobce jsou charakteristické stále se zvyšující nároky na mikrogeometrii povrchu. V současnosti není technologicky možné vyrobít ideálně rovné a hladké povrchy, protože mají odchylky tvaru, polohy a drsnosti. Na obr.1 je znázorněno schéma geometrických odchylek od ideálně hladkého povrchu řezu. [6]

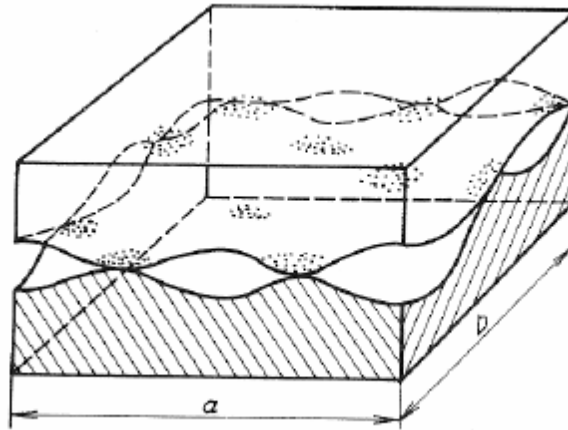


Obr.1 Schématické znázornění geometrie povrchu v řezu [29]

Na obr.1 je znázorněn průběh geometrie povrchu řezu:

- 1 - ideálně rovný povrch,
- 2 - odchylky tvaru povrchu,
- 3 - vlnitost povrchu,
- 4 - mikroskopické drsnosti,
- 5 - submikroskopické nerovnosti.

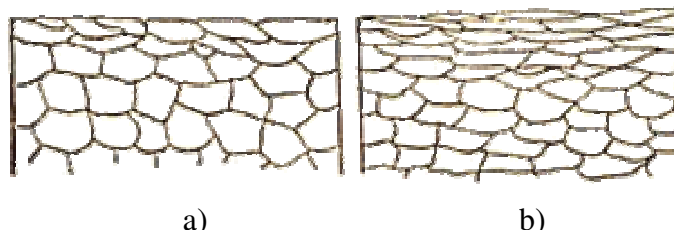
Na obr.2 je znázorněn plošný rozdíl mezi obrysovou plochou styku S_c ($S_c=a \cdot b$) a skutečnou plochou styku S_r , kde se setkávají výčnělky povrchu dvou dotýkajících povrchů.



Obr.2 Znázornění rozdílu styku skutečné plochy a obrysové plochy povrchu [29]

2.1.1 Změna struktury povrchu

Při obrábění kovů dochází k tomu, že krystalická zrna materiálu jsou namáhána, deformují se a zpevňují. Tyto jevy se projevují i při válcování a tažení za studena. [6]



Obr. 3 Deformace povrchových zrn kovu při řezání (a) a při tažení za studena (b) [1]

Změna struktury povrchu je znázorněna na obr.3. Na obr.3a) se nachází kov, který byl vystaven malému účinku deformace a zároveň byl chemicky upravován – mořen. Je patrné, že mezery mezi zrny na povrchu jsou větší, tzn. zrna jsou otevřená. Na obr.3b) je znázorněn povrch kovu, kde jsou zrna protáhlá a velmi zdeformovaná. Můžeme předpokládat, že tento kov byl válcován nebo tažen za studena. [6]

Pro další úpravu povrchu je výhodnější použít povrch vyobrazený na obr. 3a), jelikož se povlak lépe naváže, nebo-li přilne k základnímu materiálu, a tím získá lepší odolnost. [6]

2.1.2 Drsnost povrchu

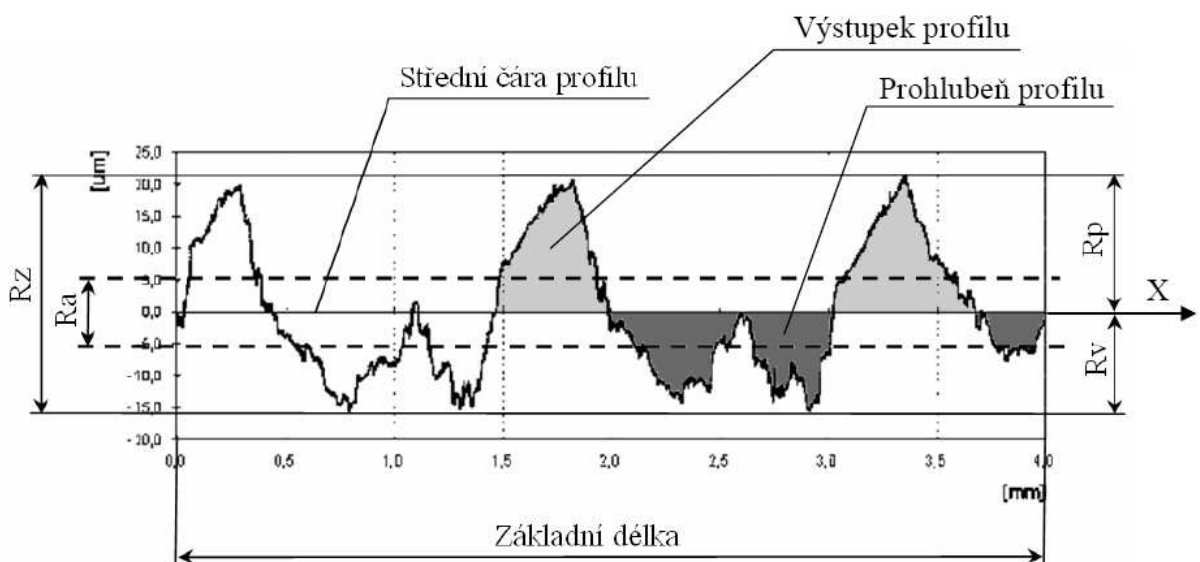
Tvar nerovnosti povrchu se odvíjí od technologického postupu výroby daného výrobku a je ovlivňován mnoha činiteli.

Drsnost povrchu je členěna na jednotlivé složky podle rozteče příslušných nerovností. Jde o složku s nejmenší roztečí tvořící drsnost povrchu, dále složku nazvanou vlnitost a složku s největší roztečí nerovností určenou základním profilem. Parametry drsnosti definuje norma ČSN EN ISO 4287. [2]

Kvalitu povrchu obvykle hodnotíme dle drsnosti. Drsnost je střední aritmetická odchylka od střední čáry profilu R_a . [6]

R_a – střední hodnota vzdálenosti bodů zjištěného profilu y_1, y_2 až y_n od střední čáry (viz obr. 4). [6]

$$R_a = \frac{1}{L} \int_A^B |y| dx \quad \text{přibližně} \quad R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n} \quad [1]$$



Obr.4 Profil drsnosti povrchu [1]

Drsnost povrchu je charakterizována různými parametry. K nejdůležitějším patří [2]:

- Ra - střední aritmetická úchylka profilu [μm],
- Ry - největší výška profilu [μm],
- Rz - největší výška profilu [μm],
- Rq - průměrná kvadratická úchylka profilu [μm],
- Rt - celková výška profilu [μm],
- Rp - největší výška výstupku profilu [μm],
- Rv - největší hloubka prohlubně profilu [μm],
- Rku - špičatost posuzovaného profilu [-],
- Rlo - délka rozvinutého profilu [mm],
- Rsk- šikmost posuzovaného profilu [-].

2.1.3 Hodnocení drsnosti povrchu

Parametry drsnosti povrchu je možno zjišťovat různými měřicími metodami a přístroji.

Rozeznáváme dva způsoby [9]:

a) *Kvantitativní hodnocení drsnosti povrchu* – grafickým záznamem nebo přímo měřicím zařízením.

b) *Kvalitativní hodnocení drsnosti povrchu* – povrch hodnocený srovnáním s kontrolními etalony, nebo nepřímo provedením otisku povrchu s následným hodnocením otisku povrchu ve srovnání s etalony.

2.2 Rozdělení povrchových úprav

Podle účelu dělíme povrchové úpravy na předběžné úpravy a čištění, úpravy zvyšující odolnost proti korozi, vzhled výrobků a zajišťující specifické funkční vlastnosti povrchu. [1]

2.2.1 Čištění a úprava povrchu

Povrch kovu je nutné před povrchovou úpravou nejdříve očistit od všech nečistot. Nečistoty, které jsou chemicky navázané na povrch, jako jsou mastnoty, zbytky různých past a prachu se musí odstranit chemickým čištěním, tj. odmašťováním. Nečistoty vzniklé

chemickou přeměnou povrchových vrstev jako okuje, rez atd. se odstraňují mechanicky (broušením, otryskáváním atd.) nebo chemicky (odmašťováním, mořením). [6]

2.2.2 Mechanická úprava povrchu

Do mechanických úprav povrchu zařazujeme otryskávání, omílání, broušení, leštění a kartáčování. Tyto úpravy slouží k odstranění nežádoucích korozních produktů, oxidačních vrstev a mechanického znečištění. [6]

Otryskávání materiálu

Otryskáním povrchu materiálu dochází k odstraňování nečistot, které vznikly během technologického procesu výroby nebo následně po jeho skladování. Povrch je vystaven kinetické energii otryskanému materiálu, který je unášen proudem vzduchu. Přílišné zdrsnění je nežádoucí, vrcholky struktury kovu jsou zakryty jen malou vrstvou povlaku barvy. [10]

Nejčastěji jsou používány tyto materiály pro otryskání: křemičitý písek, ocelové broky, sekaný drát, korund a další. Otryskáním dochází k lokálnímu zpevnění materiálu, struktura je odvislá od použitého materiálu. Otryskaný povrch se vyznačuje velkou reaktivitou s okolním prostředím, proto musí být dodržena předepsaná doba mezi otryskáním a následnou další úpravou. Následující obr. 5 ukazuje používané tryskové média.



Obr. 5 Otryskávací materiál, ocelová drť a sekaný drát [30]

2.2.3 Chemická povrchová předúprava

Technologie chemické předúpravy je prováděna základními operacemi:

- odmašťováním,
- mořením,

Odmašťováním se rozumí odstraňování všech druhů ulpěných nečistot z povrchu materiálu.

Moření je technologický proces, při kterém dochází k odstraňování ulpívajících nečistot na povrchu, ale také korozních a oxidačních zplodin během chemické reakce.

Tyto operace jsou používány za různých podmínek teplotních, koncentračních, kvality účinných lázní, jejich pohybu vzhledem k výrobku apod. [6]

2.3 Adheze povlaku k ocelovému substrátu

Adheze neboli přilnavost je soubor chemických, fyzikálních a mechanických sil vztažených na jednotku plochy, kterými jsou dvě rozdílné fáze vázány k sobě.

Je to schopnost nátěrového systému a ocelového substrátu vytvářet mezi sebou pevnou vazbu. [31]

Adheze je velmi důležitou vlastností systému tenká vrstva – substrát. Závisí na druhu substrátu a nátěrového systému, na technologii nanášení nátěrového systému a v nemalé míře také na předúpravě povrchu substrátu. Adheze je podle vzniku popsána pěti následujícími mechanismy [32]:

- mechanická adheze – jde o tzv. suchý zip, kdy dvě fáze do sebe čistě mechanicky zapadají,
- chemická vazba – dvě fáze vzájemně vytváří sloučeninu a tak drží pohromadě,
- elektrostatická přitažlivost – vzniká mezi dvěma opačně nabitými povrchy,
- difuzní adheze – fáze vzájemně difundují do sebe,
- disperzní adheze – je dána přitažlivostí Van der Walsových sil.

3. Vlastnosti a složení organických povlaků

Organické povlaky vytváříme o tloušťce řádově několik desítek mikrometrů. Proto je důležité znát důkladně jeho složení. Když víme z čeho se povlak skládá, jsme schopni určit jaké vlastnosti daný nátěrový systém bude mít. Každá složka nátěrového systému má své specifické vlastnosti. [14]

Podle množství v jakém se vyskytuje v povlaku můžeme zvolit jeho vhodnost pro dané prostředí, zda v daném prostředí bude plnit svoji funkci. Ke zlepšení nám pomáhají prášky kovů TiO₂, SiO₂, sulfátu baria, oxidy hliníku, zirkonu a zinku. Zinkové antikorozi pigmenty nahrazují olovo, chrom a do nátěrů jsou dodávány ve formě fosforečnanu zinečnatého, oxidu zinečnatého nebo jejich modifikací. Fosforečnan zinečnatý je ekologicky nezávadný antikorozi pigment. [11] Pro jeho účinky je velice důležitá krystalová voda. Vysoký obsah zinku zajišťuje vodivý kontakt mezi částicemi zinkového prachu a ocelovým povrchem. V průběhu stárnutí dochází k vysrážení oxidu zinečnatého na povrchu oceli, což vede k vytvoření vrstvy s velkou adhezí. Tyto reakční produkty dokážou dokonale zatěsnit všechny původní póry v nátěru. Oxid zinečnatý je nazýván zinkovou bělobou, jde o čistě bílý pigment, absorbující UV záření. Je náchylný na vymývání dešťovou vodou z povrchové vrstvy nátěru. V rámci výzkumných prací bylo zjištěno, že plnění povlaků částicemi jejichž rozměry nepřesahují 100nm, se jeví jako efektivní, a to jak pro zvýšení výsledné tvrdosti, tak pro zlepšení bariérových vlastností. Podmínkou pro správnou funkci povlaku je výběr částic z hlediska tvaru a velikosti a jejich dokonalé rozmíchání v pojivu. [12]

Organické nátěrové hmoty jsou nejstarším, nejužívanějším a stále nejekonomičtějším prostředkem ve všech průmyslových odvětvích. Tvoří až 90% všech povlaků. Organický povlak lze definovat jako systém tvořený polymerní maticí, která vzniká chemickou reakcí dvou či více složek, pigmenty a plnivy. Dalšími složkami systému jsou aditiva, které zabezpečující požadované vlastnosti systému. Tyto nátěrové systémy mají poměrně vysoký ochranný účinek a snadno se vytvářejí. Jejich aplikace nevyžaduje složité a komplikované zařízení, nejsou omezená tvarem a velikostí výrobku, nátěry jsou poměrně dobře opravitelné. Hlavním účelem používání nátěrových hmot je ochranný účinek proti povětrnostním vlivům, mořské vodě atd. [17] Nikdy však nejsou bezpórovité, a proto jsou složeny tak, aby zpomalily, případně zastavily průběh koroze.

Vnější prostředí je dle ČSN EN ISO 12944 klasifikováno šesti stupni korozní agresivity [3] viz tab. 1:

Tab.1: Stupně korozní agresivity

Stupeň	Korozní agresivita	Výskyt
C1	Velmi nízká	Vnitřní klimata s řízenými podmínkami.
C2	Nízká	Vnitřní klimata s neřízenými podmínkami s výjimkou vlhkých klimatických oblastí.
C3	Střední	Vnější klimata v suchých, chladných klimatických oblastech, provětrávané přístřešky v mírných klimatických oblastech.
C4	Vysoká	Vnější klimata v mírných klimatických oblastech, neprovětrávané přístřešky ve vlhkých klimatických oblastech.
C5-I	Velmi vysoká (průmyslová)	Venkovní průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou, vnitřní budovy nebo prostory s převážně trvalou kondenzací a vysokým znečištěním ovzduší.
C5-M	Velmi vysoká (přímořská)	Venkovní přímořské prostředí s vysokou salinitou.

3.1 Složení nátěrových hmot

Nátěrová hmota je pojem pro všechny výrobky používané k provádění nátěrů. Jsou to organické látky různých druhů, které jsou nanášeny v tekutém nebo těstovitém stavu a vytvářejí na předmětu film požadovaných vlastností. [6]

Nátěrové hmoty se dělí:

- transparentní
- pigmentované

Složky nátěrových hmot [6] :

a) filmotvorné složky (pojiva) jsou netěkavé látky mající schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu a vázat dispergované částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. Různá pojiva se od sebe odlišují v chemickém složení, fyzikálními vlastnosti.

Filmotvorné látky jsou:

- vysychavé oleje,
- přírodní živice,
- umělé živice,
- deriváty celulózy,
- deriváty kaučuku,
- asfalty.

b) těkavé složky (rozpouštědla) se používají na rozpouštění pojiv při výrobě nátěrových hmot a na úpravu jejich viskozity. Nejběžnější rozpouštědla jsou:

- benziny,
- benzen a jeho homology,
- alkoholy,
- ketony,
- estery,
- glykolétery,
- terpentýnové silice.

c) pigmenty jsou organické nebo anorganické částičky, které jsou jemně rozptýleny v pojivu.

Možno je rozdělit do tři skupin:

- inhibitorové pigmenty,
- neutrální pigmenty,
- stimulující pigmenty.

d) plnidla jsou jemně rozemleté minerální látky nerozpustné v pojivech, které vhodně upravují technologické vlastnosti nátěrového povlaku.

e) aditiva - patří sem různá sušidla, emulgátory, stabilizátory a zvláčňovadla, které jsou přísadou do nátěrových hmot obsahující vysychavé oleje.

Rozdělení nátěrových hmot

Požadavky na vlastnosti nátěrových hmot a možnosti jejich aplikace jsou velmi rozmanité, a proto dnešní sortiment výrobků je velmi široký. Nátěrové hmoty můžeme rozdělit [1]:

1. podle filmotvorných složek

- A- asfaltové,
- B- polyesterové,
- C- Celulózové,
- H - chlorkaučukové,
- K - silikonové,
- L - lihové,
- O - olejové,
- S - syntetické,
- U - polyuretanové,
- V - emulzní – vodové.

2. podle obsahu pigmentu

- pigmentované,
- transparentní.

3. podle způsobu nanášení

- stříkací,
- nanášené štětcem,
- nanášené stěrkou,
- nanášené elektroforézou,
- nanášení máčením a poléváním.

4. podle zasýchání

- fyzikálně zasýchající,
- fyzikálně chemicky zasýchající.

5. podle teploty zasýchání

- zasychající na vzduchu,
- vypalovací.

6. podle klimatické odolnosti

- vnitřní,
- venkovní.

7. podle pořadí nátěrových vrstev

- napouštěcí,
- základní,
- podkladové,
- vrchní.

3.2 Vlastnosti pigmentů

Pigmenty dodávají nátěrové hmotě barevný odstín, tvrdost, zvyšují tepelnou a korozní odolnost, vytváří krycí schopnost a jsou rozptýleny v pojivu. Patří zde organické, anorganické, antikorozi a celá další řada efektivních pigmentů. [4]

Některé druhy pigmentů mohou při účinku ultrafialového složky slunečního záření měnit svou barvu, změnit vlastnosti nátěru. Dalším faktorem, který je nutno znát, je odolnost vůči povětrnostním vlivům. Není tím myšlena pouze odolnost samotného pigmentu, ale spíše jak se pigment chová v celém systému nátěrové hmoty, zda je pigment rozpustný za účinku deště či za spolupůsobení vzdušného oxidu uhličitého a nebo také za působení kyselých dešťů. Je možno konstatovat, že organické pigmenty jsou méně odolné než anorganické. U organických pigmentů dochází vlivem slunečního záření k napadení organické molekuly, následuje roztržení základních molekulárních vazeb a tím poté dochází k destrukci původního pigmentu. [4]

Dle různých hledisek můžeme pigmenty rozdělit na: organické, anorganické, směsné nebo podle barevného odstínu a zda jsou tyto pigmenty určené k ochraně proti korozi. [4]

3.2.1 Barva, barvicí schopnost

Barevnost látek je určena absorpcí a odrazem záření ve viditelné části spektra. Je vyvolána přítomností chromoforu, kde v případě anorganických pigmentů patří ionty přechodových kovů (Co, Mn., Ni, Fe, Cu, Cr) a u organických barviv násobné vazby (konjugované systémy). V obou případech dochází k přenosu elektronů mezi sousedními

atomy a molekulami. Barevnost zvyšují auxochromy a v organických barvivech jsou to hlavně skupiny – OH, C=O, -N=N- a –NH₂, v anorganických pigmentech je to přítomnost síry a kyslíku. Barvicí schopnost pigmentu je schopnost obarvit bílý pigment nebo v případě světlého pigmentu zesvětlit barevný pigment. Pro černé pigmenty je to schopnost ztmavit bílý pigment. Barvicí schopnost je specifická vlastnost pro každý pigment a nezávisí na velikosti částic. [6]

3.2.2 Krycí mohutnost pigmentu

Z nejdůležitějších vlastností pigmentu je krycí mohutnost, která charakterizuje schopnost pigmentu zakrýt podklad. Závisí na indexu lomu pigmentu, na rozdílu mezi indexem lomu pigmentu a pojiva. Krycí mohutnost je tím větší, čím je tento rozdíl větší, současně je ovlivněna velikostí zrn pigmentu. Pro každý pigment existuje optimální velikost zrna, pro kterou je kryvost největší.[5] Obecně platí, že hrubozrné pigmenty se získávají třením– rozmělnováním. Zmenšování velikosti zrna pod velikost srovnatelnou s vlnovou délkou viditelného světla se kryvost opět zmenšuje. Taktéž krystalická struktura částic zvyšuje kryvost. Amorfni struktura naopak snižuje kryvost v důsledku zmenšení odrazu světla. [6]

3.2.3 Morfologické vlastnosti

Jsou jednou ze základních vlastností pro pozorování vzorku a je posuzována podle homogenity, velikosti a tvaru částic, charakteru jejich povrchu, štěpnosti ,přítomnosti agregátu, krystalického tvaru a soustavy. [6]

Homogenita

Poskytuje informaci, zda byl použit jeden nebo více pigmentů, zda použitý pigment obsahuje příměsi, což je jediný způsob rozlišení přírodního a syntetického pigmentu. [6]

Velikost částic

Je založena na stanovení průměru částice nebo agregátu, jako rozměr se používá jednotka μm (10^{-6}m). Klasifikační schéma průměrných velikosti částic ukazuje tab.2. [5]

Tab.2: Klasifikace velikosti částic

označení	[μm]
Hrubé	nad 10
Velké	10 - 3
Střední	3 - 1
Jemné	1 – 0,3
Velmi jemné	pod 0,3

Při určování pigmentů polarizační mikroskopií reálných vzorků je možné se orientačně řídit následujícím hodnocením velikosti částic, které jsou uvedeny v tab.3. [5]

Tab.3: Klasifikace velikosti částic reálných vzorků

označení	[μm]
Velmi hrubé	40 a více
Hrubé	20 - 40
Velké	10 - 20
Střední	3 - 10
Jemné	1 – 3
Velmi jemné	pod 1

Tvar částic

Poměr délky k šířce není větší než 5:1 a tloušťka je úměrná šířce. Destičkovité částice mají výrazně sníženou tloušťku. Pokud je tato tloušťka snížena extrémně, používá se název lístkové částice nebo vločky. Sloupcové, jehličkovité a vláknité částice mají poměr délky k šířce vyšší než 5:1 a tloušťku podobnou šířce (např. zinková běloba, jejíž tvar je znázorněn na obr.6). [6]



Obr.6 Zinková běloba – Oxid zinečnatý jako bílá práškovitá látka [37]

Charakter povrchu

Povrch drsný a hladký. Drsný povrch může být nepravidelný s charakteristickými znaky, např. proužky, štěpné plochy, lasturový lom. [6]

Štěpnost

Je charakterizovaná minimální soudružností, která se projevuje mírou oddělitelnosti. Rozlišujeme štěpnost velmi dokonalou, dobrou, nedokonalou, špatnou a žádnou. [6]

Agregáty

Práškové materiály mohou být různého charakteru. Dendrity s větvenou strukturou krystalu. Sférolity jsou trojrozměrné útvary, kde více jehličkovitých krystalů vychází prostorově z jednoho bodu. Hvězdčovitě agregáty jsou tvořeny dvojrozměrnou verzí sférolitu. Kulovitá agregace bez rozeznatelného uspořádání se označuje jako globulární. V případě vláknitých seskupení jako je azbest jsou jednotlivé částice spojeny v rovnoběžném seskupení. Pro saze je charakteristické seskupení ve formě řetězu. [6]

Krystalický tvar a soustava

Pokud se ve zkoumaném vzorku najde dokonalý krystalický tvar, je možná jeho identifikace podle příslušnosti k některé z krystalografických soustav: kubická, trigonální, tetragonální, hexagonální, rombická, monoklinická a triklinická. [6]

Optické vlastnosti

Podle šíření světelného paprsku pevným prostředím dělíme látky na izotropní (světlo se šíří ve všech směrech stejnou rychlostí) a anizotropní, kde je rychlost světla závislá na směru šíření.

Opticky izotropní jsou látky amorfní a látky krystalizující v kubické soustavě. Látky anizotropní krystalizují v ostatních soustavách. Podle počtu směrů (optických os), se anizotropní látky dělí na opticky jednoosé a dvouosé. [6]

Propustnost světla

Podle intenzity absorpce světla při průchodu částicí rozeznáváme látky průhledné (transparentní), s nepatrnou absorpcí, průsvitné (translucentní) a neprůhledné, které nepropouštějí světlo, pouze ve velmi tenkých vrstvách mohou být průsvitné a neprůsvitné (opakní), které si zachovají neprůhlednost i v tenkých vrstvách. [6]

Barva, pleochroismus

Zbarvení částic je výsledkem absorpce některých částic viditelného spektra. Intenzita barvy závisí na absorpční charakteristice, na její tloušťce, velikosti a agregátním stavu. Izotropní látky mají absorpci ve všech směrech stejnou. Anizotropní barevné krystaly mají v polarizovaném světle různou absorpci. Pleochroismus - změna intenzity a odstínu barvy. Jednoosé krystaly vykazují dvě polohy barevných změn ve vzdálenosti 90° , nazývají se dichroické, dvojosé krystaly mají různou absorpci ve třech směrech, nazývají se trichroické. [6]

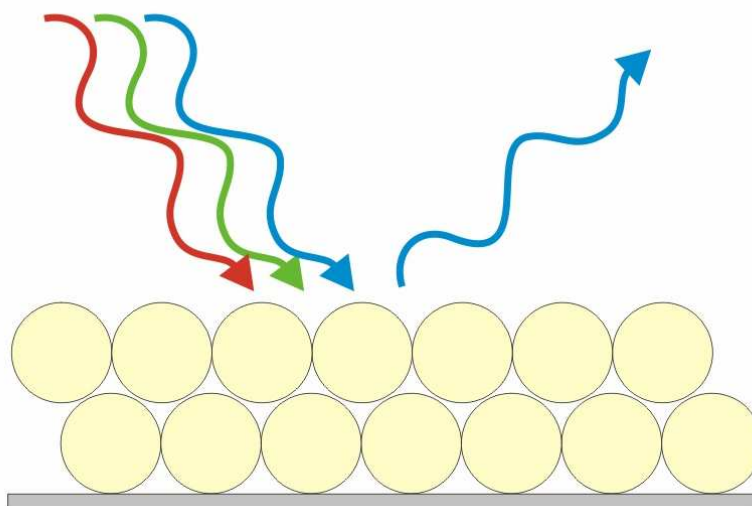
Index lomu, reliéf

Index lomu n je poměr rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí. Její hodnota je vždy vyšší než 1,00. Čím je index lomu látky vyšší, tím se v ní světlo šíří pomaleji. Index lomu může být nízký (pod 1,55), střední (1,55- 1,66), vysoký (1,66-2,00), velmi vysoký (nad 2,00).

Látky izotropní mají jeden index lomu. Látky anizotropní mají dva hlavní indexy lomu (ξ, ω). Látky opticky dvojosé mají tři indexy lomu (α, β, γ). Pokud je index lomu částice blízký indexu lomu prostředí, světelný paprsek bude procházet částicí s malou odchylkou a částice bude téměř viditelná. Když je tento rozdíl větší, světlo se na okraji ohýbá a okraj se jeví jako tmavý. Stupeň viditelnosti částice v okolním médiu se nazývá reliéf. [6]

Optické vlastnosti

Propustnost světla, barva, pleochroismus, index lomu, reliéf, dvojlom, zhášení, změna barevnosti při pozorování s Chelsea filtrem, interferenční barvy, charakter zóny, optický charakter na obr.7. [6]



Obr.7 Vznik barvy odražením specifických vlnových délek světla [33]

Anorganické pigmenty bílé [5]:

- titanová běloba – má vysokou kryvost a barvivost (nedochází k šednutí, ztrátě lesku, žloutnutí), používá se při výrobě vrchních a základních nátěrů, a na nátěry v agresivním prostředí;
- zinková běloba – zvyšuje tvrdost nátěru, zpomaluje žloutnutí a křídování. Používá se do základních nátěrů, není vhodná do agresivního prostředí chemických závodů.

Anorganické pigmenty pestré [5]:

- grafit – má světelnou stabilitu a tepelnou odolnost, používá se pro elektricky vodivé nátěry, nevýhodou je jeho měkkost a černý odstín, používá se do vrchních nátěrových hmot,
- chromanové pigmenty – jsou to chromové žlutě, oranže, červeně a zeleně, mají odolnost proti povětrnostním vlivům a čistý odstín,

- železité pigmenty – dají se připravit různé odstíny (žlutá, červená, hnědá, aj.), dobře odolávají atmosférickým vlivům a alkáliím,
- hliníkový bronz – používá se ve formě prášku nebo pasty, je vhodný na nátěry odolné žáru a odrážející světlo, má antikorozi schopnost.

Antikorozi pigmenty [17]:

- suřík – oxid olovnato - olovičitý, má výborné antikorozi vlastnosti, ale je toxický a proto se dnes již nepoužívá,
- fosforečnan zinečnatý – je netoxický, nerozpustný, nepodporuje puchýřkování nátěru, nátěry jsou dobře přilnavé, není vhodný do silně kyselých prostředí a proto musí nátěrová hmota obsahovat sloučeniny, které neutralizují kyselé produkty,
- zinkový prach – ochranný mechanismus nátěru je elektrochemický, používá se na nátěr spodní části karosérií, na mostní konstrukce a na povrchy, které jsou vystaveny mořské vodě.

3.3 Aplikace povlaku na povrch

Pro správnou funkčnost a jakost povlaku je důležité zvolit vhodný způsob nanášení nátěrových hmot na povrch. Základním ochranným mechanismem povlaků je vytvoření bariéry mezi chráněným materiálem a koroziním prostředím. Aby povrchová úprava byla pro určité časové období kvalitní, musí být vždy stanovené podmínky pro předúpravu povrchu. Volba povlaku je závislá na předpokládané nebo plánované životnosti chráněného celku, na dostupnosti dílčího prvku pro budoucí údržbu, na předpokládaném termínu provádění systému ochrany, a z něj vyplývající technologická rizika, optimalizace nákladů na pořízení a údržbu ochranného povlaku po dobu plánované životnosti. [10]

Hlediska, která nám ovlivní použití technologie pro aplikaci nátěrové hmoty, můžeme rozdělit následovně [10]:

- pracnost a ekonomické zatížení jednotlivých technologií nanášení, kvalita povrchu materiálu,

- vlastnosti použitých nátěrových hmot (jak rychle zasychají, tekutost, slévatelnost atd.),
- velikost, tvar a množství upravovaných předmětů,
- požadované konečné vlastnosti povlaku (tloušťka, vzhled atd.).

Způsoby nanášení nátěrových hmot [1]:

- nanášení štětcem,
- nanášení stěrkou,
- nanášení za pomoci elektrických sil,
- nanášení elektroforézou,
- nanášení stříkáním,
- nanášení máčením a poléváním,
- nanášení navalováním.

4. NANOTECHNOLOGIE POVLAKŮ

Jako nanotechnologie se obecně označuje technický obor, který se zabývá tvorbou a využíváním technologií v měřítku řádově nanometrů (obvykle cca 1-100 nm), tzn. 10^{-9} m (biliontiny metru), což je přibližně tisícina tloušťky lidského vlasu. [6]

4.1 Definice pojmu "Nanotechnologie"

Je vědní obor, který se zabývá studiem a použitím materiálů, zařízení a systémů o rozměrech řádově nanometrů. Nanotechnologii si lze představit jako vše zahrnující popis aktivit na úrovni atomů a molekul, které mají uplatnění v reálném světě, obor výzkumu a vývoje zaměřený na řízení struktury materiálů v nanorozměrech (0,1 - 100 nm, alespoň v jednom rozměru). [6]

Nanotechnologie je rovněž skupina rozvíjejících se technologií (technologie z oblasti pevné fáze, biotechnologie, chemické technologie aj.), které metodami shora dolů (top-bottom) a zdola nahoru (bottom-up) konvergují k nanorozměrům. [6]

4.2 Nanotechnologie v povrchových úpravách

4.2.1 Příprava nanočástic kovů

Nanočástice kovů můžeme připravovat dvěma různými způsoby [14]:

- a) Fyzikální metodou (mechanickým dělením kovových agregátů).
- b) Chemickou metodou (nukleací a růstem zárodků).

Výhodou chemické metody je snadnější kontrola výsledné velikosti nanočástic během jejich přípravy. Fyzikální metodou jsme schopni připravit částice o průměru 10 nm a více. Nanočástice je možno připravit mechanickým mletím hrudkových materiálů a stabilizací vzniklých částic přidáním chránících činidel. Tato metoda se v praxi příliš nevyužívá, produkovat částice požadované velikosti je poměrně obtížné.

Příklady přípravy nanočástic [14]:

- kondenzace v neutrálním plynu,
- těžká plastická deformace – v tomto případě jde o deformaci makrostruktur při nízkých teplotách a vysokých tlacích,
- vysokoenergetické mletí kulovým mlýnem – jde zde o rozbití hrubých kovových zrn na mikro nebo nano částice,
- ultrazvukové brokování – jedná se o výrobu nanočástic za pomoci vysokofrekvenčních ultrazvukových zařízení, struktura zrn je rozrušována ultrazvukem.

Chemické metody přípravy nanočástic jsou nejpoužívanějšími metodami. Principem těchto metod je postupný vznik a růst jednotlivých kovových jader. Za pomoci vhodných podmínek lze připravit nanočástice požadovaných tvarů a velikostí. [14]

Příklady chemických metod [14]:

- *redukce v plynné fázi* – jde o redukci vodíkem při vysoké teplotě postupným ochlazením, částice jsou přeneseny v plynné fázi do vody a na jejich povrchu se vytvoří oxidační skořápka, částice se suší a dále se mohou modifikovat,
- *elektrochemická metoda* – při použití této metody jsme schopni připravit nanočástice požadované velikosti ve velkém měřítku, při tomto postupu dochází k oxidaci iontů kovů, dále dojde k jejich redukcí a nakonec stabilizované částice agregují okolo kovových jader a poté se vysráží nanočástice,
- *řízené chemické spolusrážení* – do roztoku jsou přidávána srážedla, která zajišťují kontrolované chemické srážení, nanočástice se dotvářejí stárnutím, filtrací, praním a sušením,
- *chemická kondenzace par* – kondenzace částic v řízené atmosféře,
- *sprejování tekutým plamenem* – principem této metody je rozstříkávání taveniny prvku do plamene,
- *redukce v kapalně fázi*.

4.2.2 Nové vlastnosti povrchů

Poznatky získané v laboratořích, se přenášejí do každodenního života. Každý povrch má své vlastnosti. Prostřednictvím vrstev založených na chemické nanotechnologii je možné tyto vlastnosti modifikovat a upravovat tak, aby co nejlépe vyhovovaly našim potřebám a díky nanotechnologii se mohou během několika okamžiků proměnit v povrchy s novými vlastnostmi. [34]

Jednoduchost čištění a samočisticí schopnost , odpudivost

Povrch je nelepivý, odpudivý vůči vodě, olejům, mastnotám i běžným nečistotám. Nečistoty nemají možnost se přichytit na povrch a případný déšť nebo oplach vytvoří tzv. samočisticí efekt. [35]

Odolnost proti oděru a poškrábání

Plochy s těmito povlaky se stávají mechanicky i chemicky velmi odolnými. [35]

Ochrana proti korozi

Podle získaných průzkumů je prokázáno, že ošetřené plochy nanopovlaky mají několikrát vyšší odolnost proti korozi než plochy ošetřené běžným nátěrovým systémem.[35]

Odolnost proti plísním a bakteriím

Tyto povrchy svou schopností také zamezují usazování plísní a bakterií, což nám způsobuje, že tyto předměty se stávají nejen čisté, ale i hygienické. Hlavní uplatnění v potravinářském a lékařském průmyslu. [35]

Ochrana proti stárnutí materiálu

Nanopovlaky chrání materiály před agresivním prostředím, slunečnímu záření, chemickými a mechanickými vlivy a vodě, což jsou hlavní příčiny stárnutí materiálů. Prodlužují životnost ošetřených substrátů a ploch. [35]

4.3 Praktické využití nanotechnologie v oblasti nanášení barev

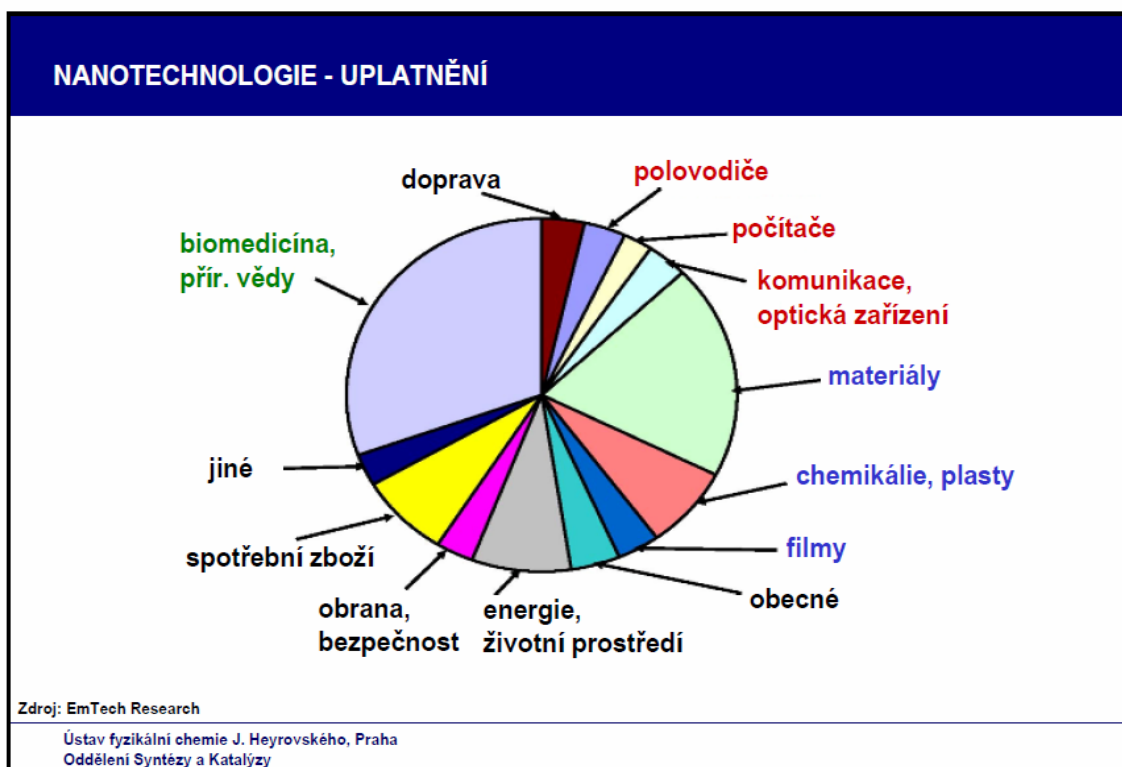
4.3.1 Nanonátěry s novými funkcemi

Konvenční nátěr je složen z organických molekul s dlouhými uhlíkovými řetězci. Nanonátěr však obsahuje anorganické křemíkové částice, vázané organickými polymery. Anorganické částice mohou být vzhledem k jejich velikosti hustě propojeny, což má za následek zvýšenou tvrdost a odolnost proti poškrábání. Mimo nabízenou ochranu proti potenciálně ničivým mechanickým procesům, mohou křemíko-organické nanonátěry pomoci v boji s korozi. Mohou poskytnout bariéru, chránící proti vodní páře a chemikáliím. Tato bariéra může být navíc zkonstruována tak, aby vyhověla jakýmkoli potřebám. A konečně nanonátěry mohou plnit i širokou paletu nových funkcí mimo obvyklou ochranu. Použití superhydrofilních a superhydrofobních povrchů otevírá cestu k vytváření snadno čistitelných produktů, jako jsou např. samočisticí ráfky kol. Změnou elektrického pole lze pak přeuspořádáním pigmentů v nanobarvách změnit i vlastní odstín nátěrů. [6]

4.3.2 Trendy vývoje barev a pigmentů

Požadavky na kvalitu povrchů materiálů jsou u externích aplikací mnohem vyšší než při použití ve vnitřním prostředí. Vědecko výzkumná činnost zabývající se oblastí speciálních, anorganických a ekologicky bezproblémových pigmentů, většího výběru sortimentu pigmentů, odolnosti proti povětrnostním vlivům, barevnosti a kvalitě povrchů. Konkurenční firmy si vytvářejí vlastní řady pigmentů odolných povětrnostním vlivům a splňujících nejpřísnější kritéria. Nanotechnologický vývoj vytváří materiály v oblasti molekul s manipulací jednotlivých atomů. Výzkum se snaží o ochranu zdraví a životního prostředí, o navázání volných atomů a jejich stabilizací, aby se zabránilo jejich uvolnění. [6]

Nanotechnologie povede v budoucích letech k početným inovacím, protože jde o interdisciplinární oblast, jež bude ku prospěchu ve všech oblastech kolem nás. Nové uplatnění Nanotechnologie zobrazuje obr. 8. [6]

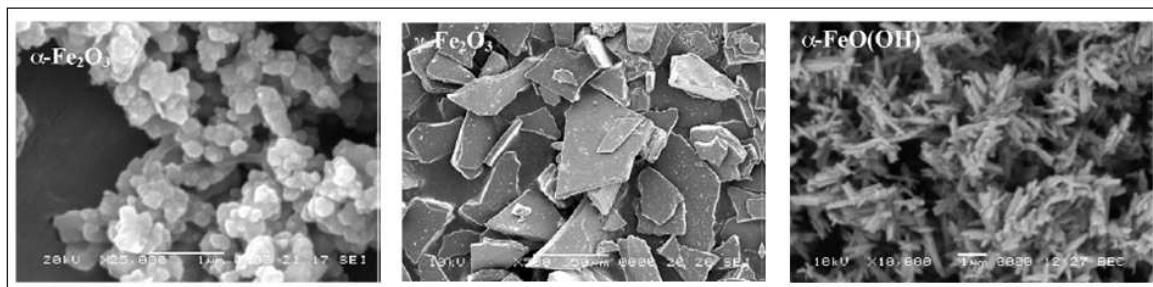


Obr.8 - Nanotechnologie – Uplatnění [36]

4.3.3 Budoucnost ve vývoji nanopovlaků

Do budoucna se počítá s tím, že se s nanotechnologií budeme setkávat každodenně, při všech běžných činnostech. Často se však mezi odborníky zmiňuje, zda jsou nanočástice nebo nanomateriály zdravotně nezávadné. Jelikož je výzkum na svém začátku, nejsme schopni říci, jaký vliv budou mít tyto částice na lidský organismus v budoucnu. Částice jsou tak malé, že mají schopnost dostat se do krevního oběhu a usazovat se na plicích nebo dokonce v mozku. To by mohlo negativně ovlivňovat lidský organismus. Ačkoliv vykazují nanočástice a nanomateriály výborné vlastnosti, které jsou s klasickými systémy nesrovnatelné, je potřeba brát ohled i na možnost ovlivňování lidského organismu jejich působením. [14]

Nanočástice Fe, Fe₂O₃, Fe₃O₄ a FeO přinášejí kvalitativní skok do mnoha oborů pro jejich elektrické, magnetické a optické vlastnosti, které jsou odlišné od klasických mikročástic. [10]



Obr. 9. Oxidy železa [15]

V rámci doposud prováděných experimentálních zkoušek bylo ověřeno, že plnění nátěru částicemi, jejichž rozměry nepřesahují 100 nm, se jeví jako efektivní, a to jak pro zvýšení výsledné tvrdosti, tak pro zlepšení bariérových vlastností. Při použití nanočástic o objemu jednotlivých hmotnostních procent lze ovlivnit výsledné vlastnosti až o desítky procent. Podmínkou pro správnou funkci nátěru je pečlivý výběr částic (tvar, velikost, povrchová úprava) a jejich dokonalé rozmíšení v pojivu. Ke zlepšení vlastností pomáhají nanoprášky kovu, SiO₂, TiO₂, sulfát baria, oxidy hliníku, zirkonu a zinku. Zinkové antikorozi pimenty nahrazují olovo, chrom, do nátěrů jsou dodávány ve formě fosforečnanu zinečnatého, oxidu zinečnatého nebo jejich modifikací. [10]

5. Shrnutí teoretické části

Současný celosvětový vývoj a výzkum se zaměřuje na nátěrové systémy, které obsahují určité hmotnostní procento prvků s nano nebo makrorozměry.

Teoretická část je rozdělena do několika dílčích částí. Jejím obsahem je popsání poznatků geometrických vlastností povrchu kovových materiálů, povrchové úpravy, vlastnosti organických povlaků a vědní obor nanotechnologie.

Z výše uvedeného vyplývá, že velikost, tvar a rozmístění, použitých částic (pigmentu) v nátěrových hmotách významně ovlivňují konečné vlastnosti nátěru, jejich mechanické vlastnosti, barvenou skladbu a zajištění minimálního průniku korozního prostředí k ocelovému substrátu.

Nanosvět není zcela prozkoumán, vývoj nátěrových systémů nadále pokračuje a je trendem současné doby.

6. Experimentální část

6.1 Cíl experimentální části, použité materiály

Cílem této práce je porovnání přilnavosti transparentních nanopovlaků na jednotlivých typech dodaných podkladů. Byly dodány vzorky se dvěma různými podklady. Nátěry byly nanášeny různými technologiemi (štetcem a pneumatickým stříkáním) a s různými obsahy pigmentů ZP10 v antikoročním nátěrovém laku. Výsledky těchto zkoušek přinesou další poznatky v oblasti ochrany materiálů nátěrovými systémy.

6.2 Návrh metodiky experimentálních prací

Experimentální materiál

- válcovaná trubka za tepla jakosti S355J2H,
- plech broušený Standardní S46 – testovací.

Hodnocení povrchu substrátu

- chemický rozbor povrchu vzorků vyhodnocen pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (SEM),
- hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502 – 3 (samolepicí páskou),
- měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287 (drsnoměrem Mitutoyo Surftest – 301).

Zkouška nátěrů

- stanovení přilnavosti nátěrového systému dle ČSN EN ISO 16276-2 - sada (šablona, řezný nástroj a lepicí páska ELCOMETER ADHESIVE),
- korozní zkouška nátěrů dle ČSN EN ISO 9227 (vyhodnocení proběhlo dle ČSN EN ISO 4628),
- stanovení tloušťky mokrého nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808 – nátěrová měrka,
- stanovení tloušťky suchého nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808 -ELCOMETER 456.

7. Praktická část experimentální práce

7.1 Charakteristika podkladového materiálu

Vzorek 1 Válcovaná trubka

Vzorky za tepla válcovaných trub dodány firmou VÁLCOVNA TRUB TŽ, a.s. o rozměrech 100 x 150 x 6,3 byly vyrobeny z materiálu S355J2H. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny níže v tab.4 a v tab.5.

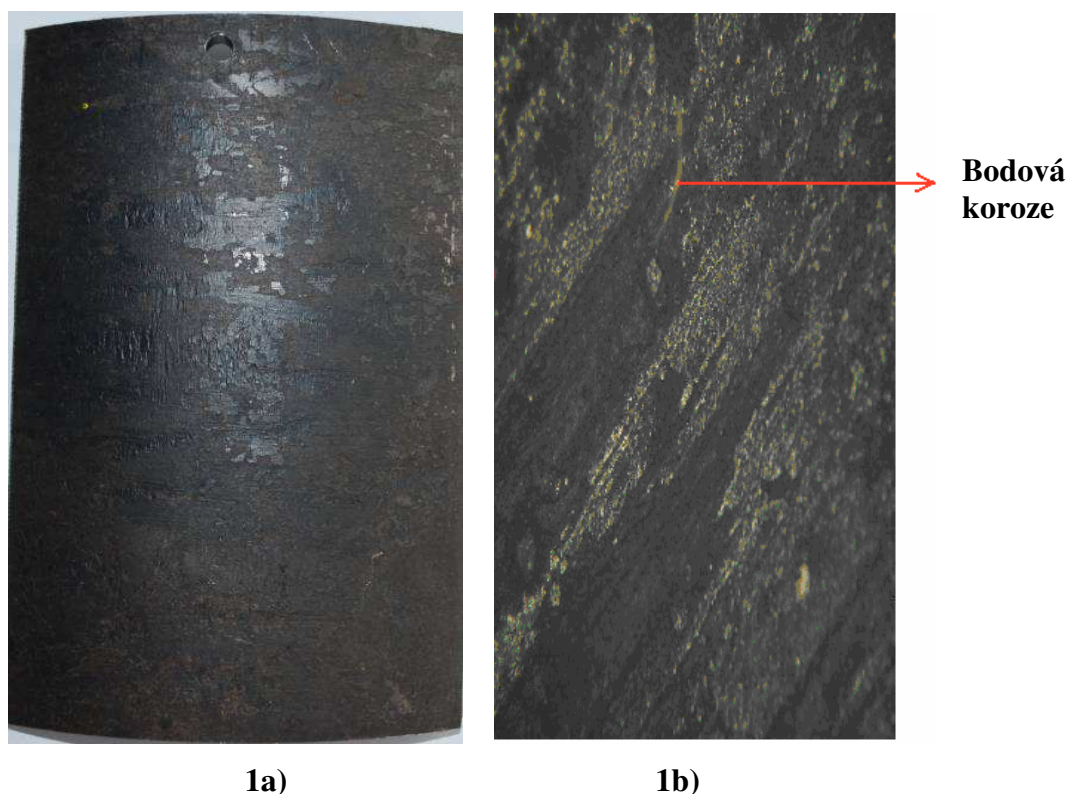
Tab.4: Mechanické vlastnosti oceli S355J2H

Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu R_e min [MPa]	355
Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	470 - 630
Tažnost A_5 [%]	22

Tab.5: Chemické složení oceli S355J2H

Chemické složení						
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Al
Obsah [%]	0,022 max.	1,60 max.	0,55 max.	0,03 max.	0,03 max.	0,02 min.

Na obr. 10 snímky materiálu povrchu válcované trubky.



Obr.10 1a) Vzorek válcované trubky, 1b) Detail povrchu válcované trubky (foceno na mikroskopu NEOPHOT 2, zvětšeno 100x).

Vzorek 2 STANDARD

Standardní testovací kovové panely – Q-LAB CORPORATION pro nanášení barvy a laků byly dodány firmou LABIMEX CZ s.r.o. Jedná se o vzorky s označením S46 o rozměrech 102 x 152 x 0,8 mm. Vzorky jsou vyrobeny z nízkouhlíkové oceli s označením dle firmy LABIMEX CZ s.r.o. CRS SAE 1008/1010 a jsou dodávány ve stavu očištěném a odmaštěném. Mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno níže v tab.6 a v tab.7.

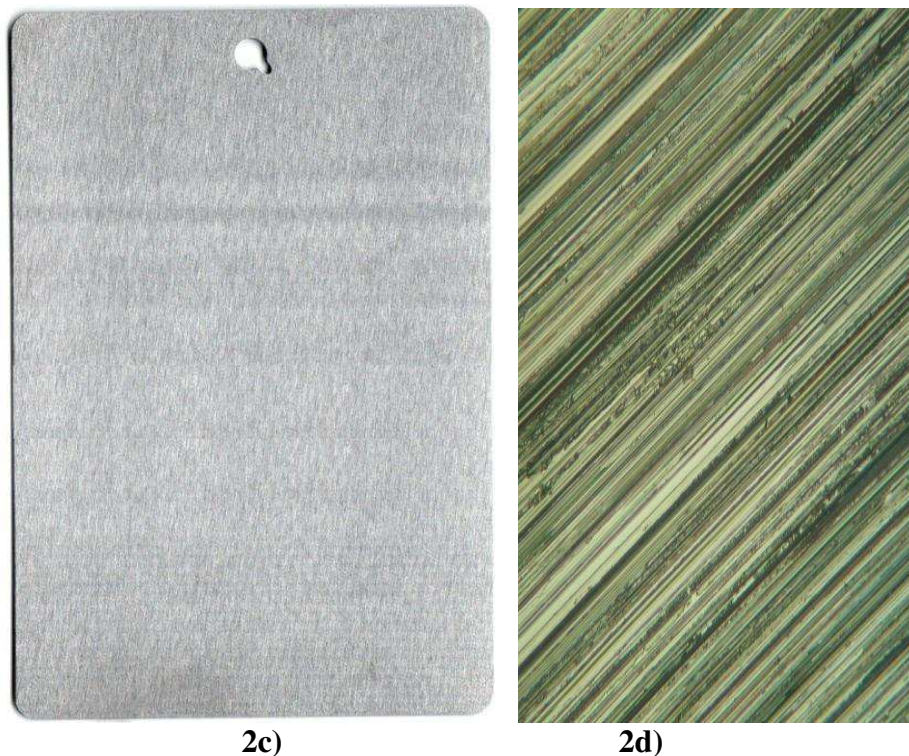
Tab.6: Mechanické vlastnosti nízkouhlíkové oceli CRS SAE 1008/1010

Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu R_e min [MPa]	173
Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	275
Tažnost A_5 [%]	30

Tab.7: Chemické složení nízkouhlíkové oceli CRS SAE 1008/1010

Chemické složení				
Prvek	C	Mn	P	S
Obsah[%]	0,13 max	0,25-0,60 max	0,04	0,05

Fotodokumentace povrchu testovacího broušeného vzorku STANDARD na obr. 11.



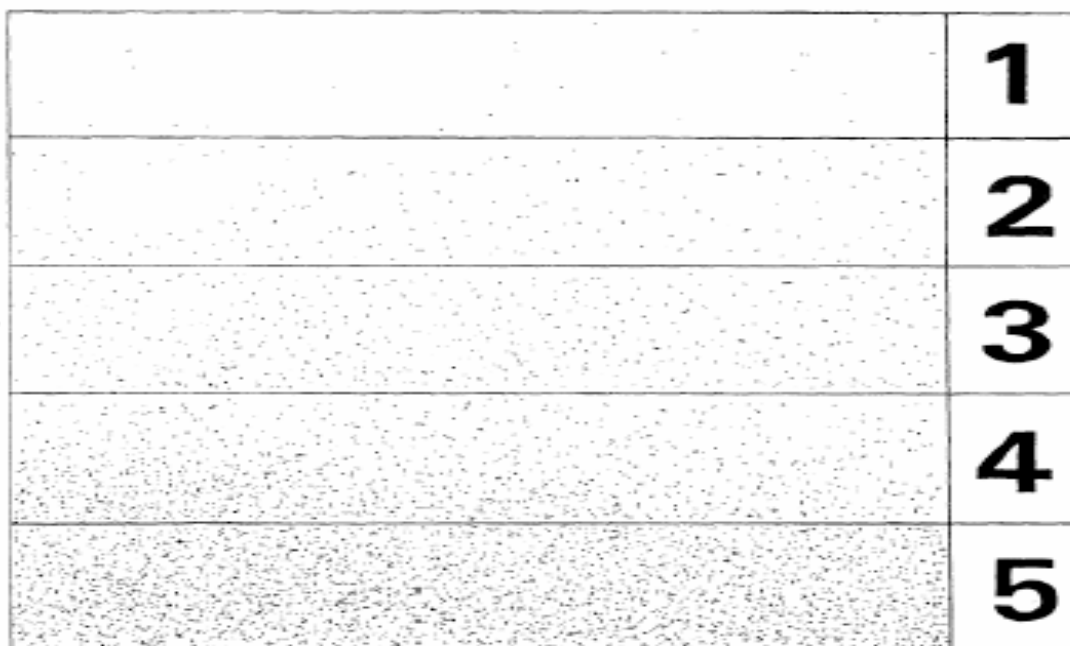
2c)

2d)

Obr.11 2c) - Fotodokumentace povrchu broušeného vzorku,
2d) Detail povrchu broušeného vzorku - zvětšeno 100x (foceno na mikroskopu NEOPHOT).

7.1.1 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3

Touto normou jsem hodnotil stupeň ulpění zbytků prachu na ocelovém povrchu vzorku. Součástí této normy byly obrazové stupnice odpovídající množství prachu viz obr.12 a stupnice tříd velikosti povrchových částic (viz tab. 9).



Obr. 12 Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle ISO 8502-3 [18]

Tab.9: Třídy velikosti povrchových částic dle ISO 8502-3 [18]



Třída	Popis prachových částic
0	Částice neviditelná při zvětšení 10x
1	Částice viditelná při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 μ m v průměru)
2	Částice již viditelná prostým okem (obvykle částice mezi 50 μ m a 100 μ m v průměru)
3	Částice jasně viditelná prostým okem (částice do 0,5 mm v průměru)
4	Částice mezi 0,5 mm a 2,5 mm v průměru
5	Částice větší než 2,5mm v průměru

Při této zkoušce se na vzorek nalepila samolepicí adhezní páska o šířce 25 mm a délce cca 200 mm, která se k ocelovému povrchu přitlačila a poté se z povrchu strhla pod úhlem 180° a byla nalepena na podklad, kterým byl bílý papír.

Následovalo vizuální posouzení množství zachyceného prachu a vyhodnocení velikosti prachových částic pomocí optické lupy se zvětšením 10x.

Výsledky vizuálního posouzení dodaných a posuzovaných vzorků dle normy ISO 8502-3 jsou uvedeny v tab.10.

Tab.10: Výsledky hodnocených vzorků

Vzorek 1 - Válcovaná trubka	
Stupeň zaprášení	4
Třída velikosti částic	4
Vzorek 2 - STANDARD	
Stupeň zaprášení	1
Třída velikosti částic	0

Z výsledku hodnocení zaprášení povrchu válcované trubky a plechu Standard viz tab.10 je patrné, že Vzorek 2 - Standard nevykazoval známky ulpění zbytků prachu na ocelovém povrchu vzorku. Tato zkouška je ovlivněna úpravou povrchu dodaného vzorku.

7.2 Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287

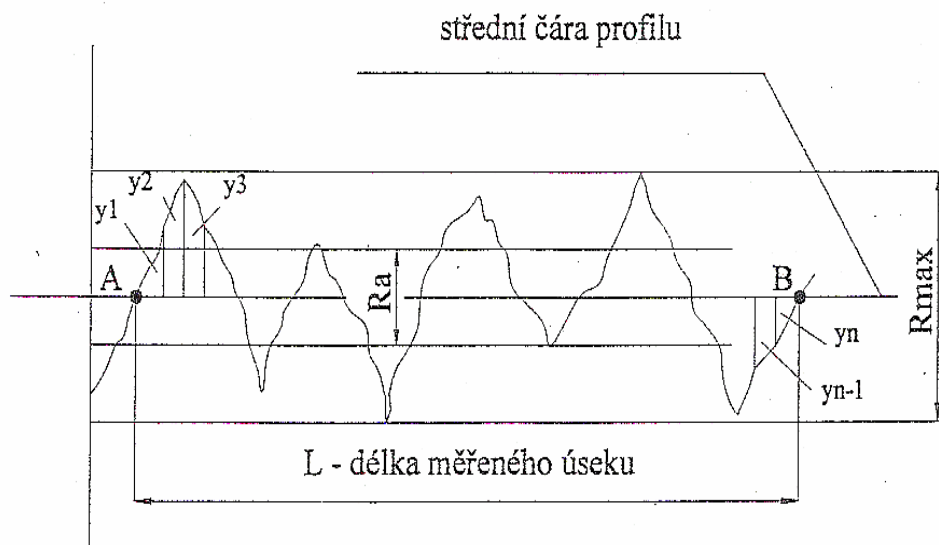
Měření profilu drsnosti povrchu bylo provedeno přenosným drsnoměrem Mitutoyo SurfTest SJ-301 na (obr. 13) dle ČSN EN ISO 4287. Tato norma stanovuje termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu (drsnosti vlnitosti a základního profilu) profilovou metodou. Profil povrchu substrátu je získáván dotykem diamantového snímacího hrotu. [19]

**Obr. 13** Měřicí přístroj Mitutoyo SurfTest SJ-301

Kvalitu povrchu obvykle hodnotíme dle drsnosti. Drsnost je střední aritmetická odchylka od střední čáry profilu R_a .

R_a – střední hodnota vzdálenosti bodů zjištěného profilu y_1, y_2 až y_n od střední čáry.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_A^B |y| dx \quad \text{přibližně} \quad R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n} \quad [1]$$



Obr. 14 Hodnocení drsnosti povrchu [1]

Drsnost povrchu je charakterizována různými parametry. K nejdůležitějším patří [1]:

- R_a - střední aritmetická úchylka profilu [μm]
- R_y - největší výška profilu [μm],
- R_z - největší výška profilu [μm],
- R_q - průměrná kvadratická úchylka profilu [μm],
- R_t - celková výška profilu [μm],
- R_p - největší výška výstupku profilu [μm],
- R_v - největší hloubka prohlubně profilu [μm],
- R_{ku} - špičatost posuzovaného profilu [-],
- R_{lo} - délka rozvinutého profilu [mm],
- R_{sk} - šikmost posuzovaného profilu [-].

7.2.1 Měření drsnosti na vzorcích válcované trubky

Nastavení přístroje:

- měření probíhalo dle ISO 1997, $\lambda_c = 2,5\text{mm}$, $L = 12\text{mm}$,
 λ_c – filtr profilu – definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
 L – délka měřeného úseku

V tab.11 základní parametry měření vzorků *Válcované trubky*.

Tab.11: Parametry měření

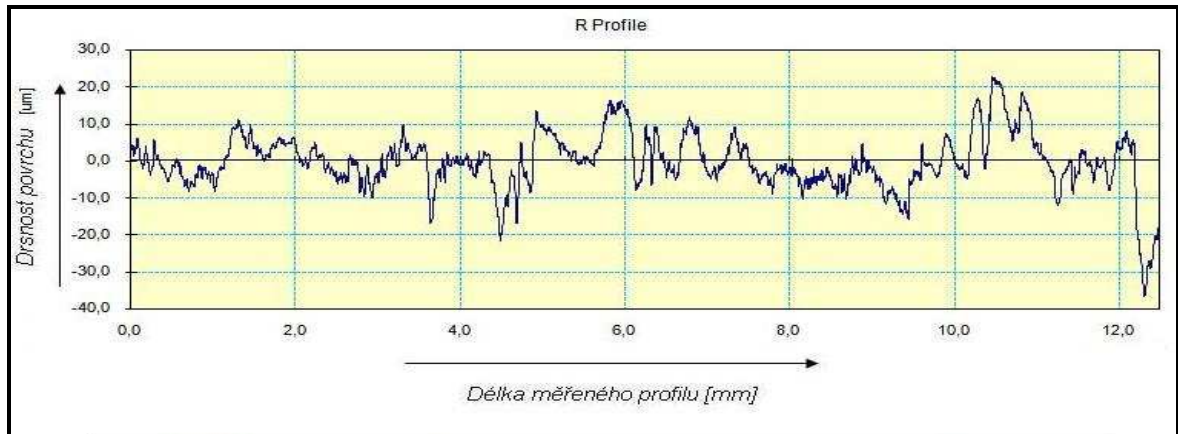
Parametry měření			
Standard	ISO 97	L	12mm
Profile	R	λ_c	2,5mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS

V tab.11.1 jsou zaznamenána jednotlivá měření a dosažené hodnoty materiálu válcované trubky.

Tab.11.1: Naměřené parametry drsnosti trubky válcované za tepla

Hodnoty drsnosti – Válcovaná trubka						
Počet měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	6,82	36,91	8,6	19,6	0,21	2,79
2	6,31	36,25	7,84	20,99	0,46	3,14
3	5,15	31,73	6,64	15,51	-0,26	3,91
4	5,21	30,02	6,50	17,29	0,23	4,10
5	8,32	44,37	10,28	20,18	-0,38	3,04
6	5,73	3,36	7,18	15,92	0,22	2,68
7	5,06	28,63	6,08	14,18	-0,16	2,74
8	4,41	27,96	5,53	12,72	-0,39	2,95
9	5,89	30,01	7,28	16,27	0,24	2,59
10	5,46	32,27	7,14	14,11	-0,30	3,19
Průměrné hodnoty	5,84	30,15	7,31	16,68	-	3,11

Na obr.15 je záznam vyhodnocení modelového profilu zaznamenaného drsnoměrem Mitutoyo Surfptest SJ - 301 použitého k měření drsnosti válcované trubky.



Obr. 15 Přehled modelového profilu povrchu drsnosti z přístroje Mitutoyo Surfptest SJ-301 pro vzorek válcované trubky.

7.2.2 Měření drsnosti na vzorcích plechu Standard

Nastavení přístroje:

- měření probíhalo dle ISO 1997, $\lambda_c = 0,8\text{mm}$, $L = 4\text{mm}$,
 λ_c – filtr profilu – definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
 L – délka měřeného úseku

Dalším zkoumaným vzorkem byl **plech Standard** a jeho základní parametry měření jsou uvedeny v tab. 12.

Tab.12: Parametry měření

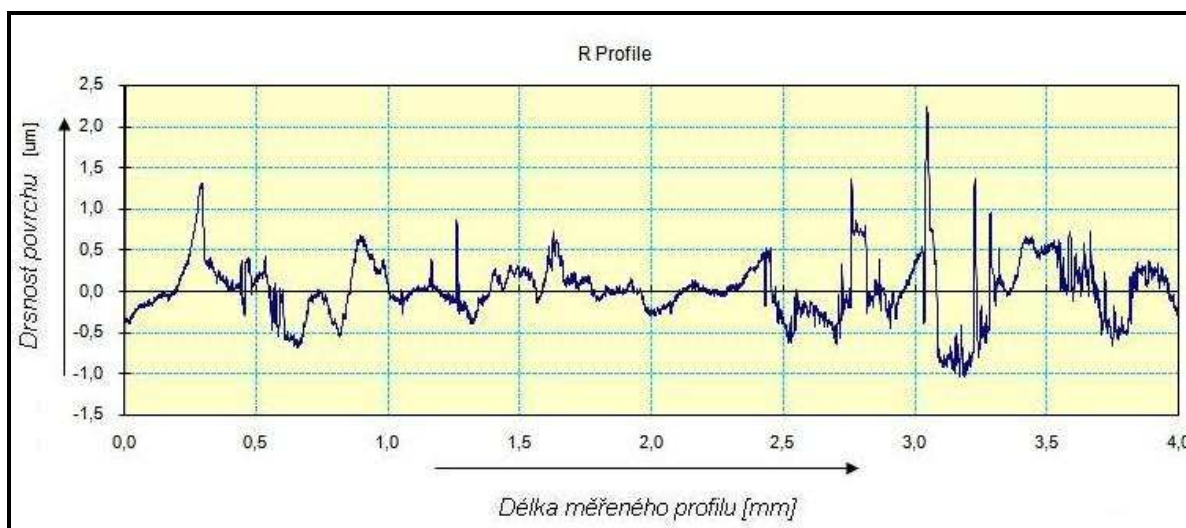
Parametry měření			
Standard	ISO 97	L	4mm
Profile	R	λ_c	0,8mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS

V tab.12.1 jsou zaznamenána jednotlivá měření a dosažené hodnoty materiálu plechu Standard.

Tab.12.1: Naměřené drsnosti plechu Standard

Hodnoty drsnosti - plechu STANDARD						
Počet měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,35	2,54	0,50	1,62	1,02	6,9
2	0,27	2,47	0,38	1,62	1,02	8,83
3	0,52	3,04	0,70	1,71	0,30	3,26
4	0,22	1,86	0,33	1,29	1,86	7,37
5	0,36	2,49	0,46	1,50	0,50	3,71
6	0,44	3,34	0,65	2,03	0,57	6,71
7	0,34	2,61	0,49	1,69	0,40	5,60
8	0,32	1,64	0,40	0,96	0,12	2,57
9	0,38	2,19	0,46	1,12	-0,48	2,75
10	0,26	2,00	0,35	1,29	0,79	4,17
Průměrné hodnoty	0,35	2,42	0,47	1,48	+	5,19

Na obr.16 je záznam vyhodnocení modelového profilu zaznamenaného drsnoměrem Mitutoyo Surfptest SJ - 301 použitého k měření drsnosti plechu Standard.



Obr.16 Přehled modelového profilu povrchu drsnosti z přístroje Mitutoyo Surfptest SJ-301 pro vzorek plechu Standard.

8. Charakteristika a aplikace nátěrové hmoty

Nátěrová hmota byla dodána firmou DENAS Color, a.s., jedná se o transparentní nátěrový systém na bázi alkydové pryskyřice, bez obsahu VOC látek. Tato transparentní nátěrová hmota byla v obsahovém poměru 3-5% a 6-9% obohacena pigmentem nanočástic ZP10 (fosforečnanu zinečnatého).

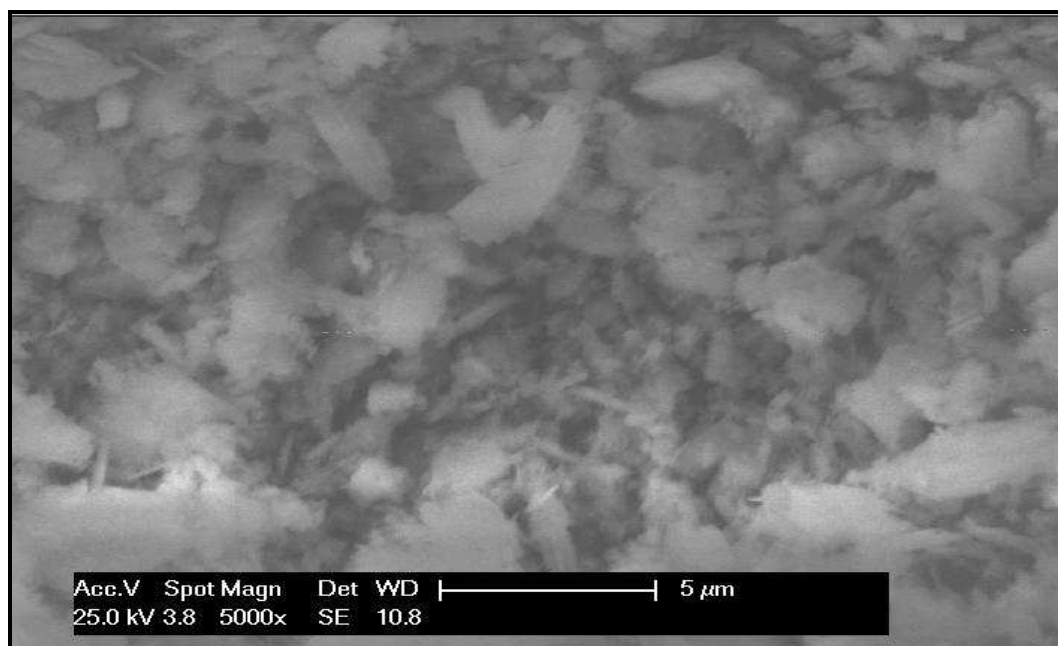
8.1 Chemická analýza a fotodokumentace ZP10

Chemická analýza a fotodokumentace povrchů vzorků byla provedena v Centru nanotechnologií, které sídlí na VŠB – TUO v Ostravě. Pro analýzu povrchu vzorků byl použit skenovací elektronový mikroskop (SEM) PHILIPS XL 30, mikroanalýzou pomocí rentgenového záření (EDAX). Materiálový list pigmentu ZP10 viz příloha č. 1.

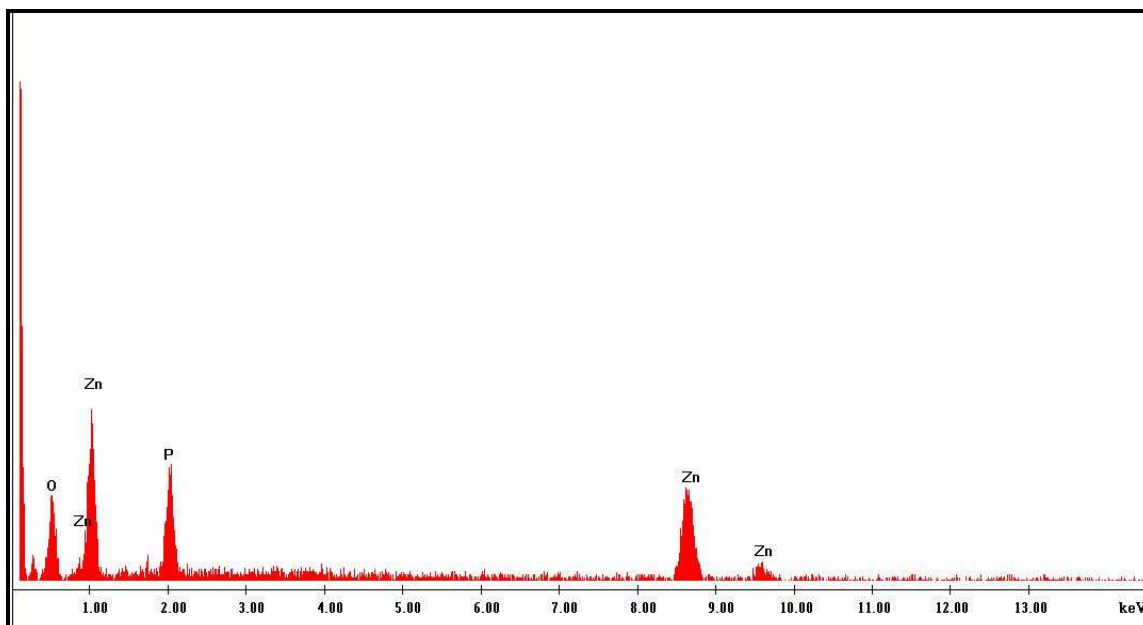
Tab.13: Chemický rozbor ZP10 v nanorozměru

Chemický rozbor ZP10 v nanorozměru	
Prvek	Váhové množství Wt [%]
O	38,36
P	15,24
Zn	46,40

Částice ZP10 v nanorozměrech



Obr.17 Fotodokumentace nanočástic fosfátu zinku ZP10 (foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 5000x).



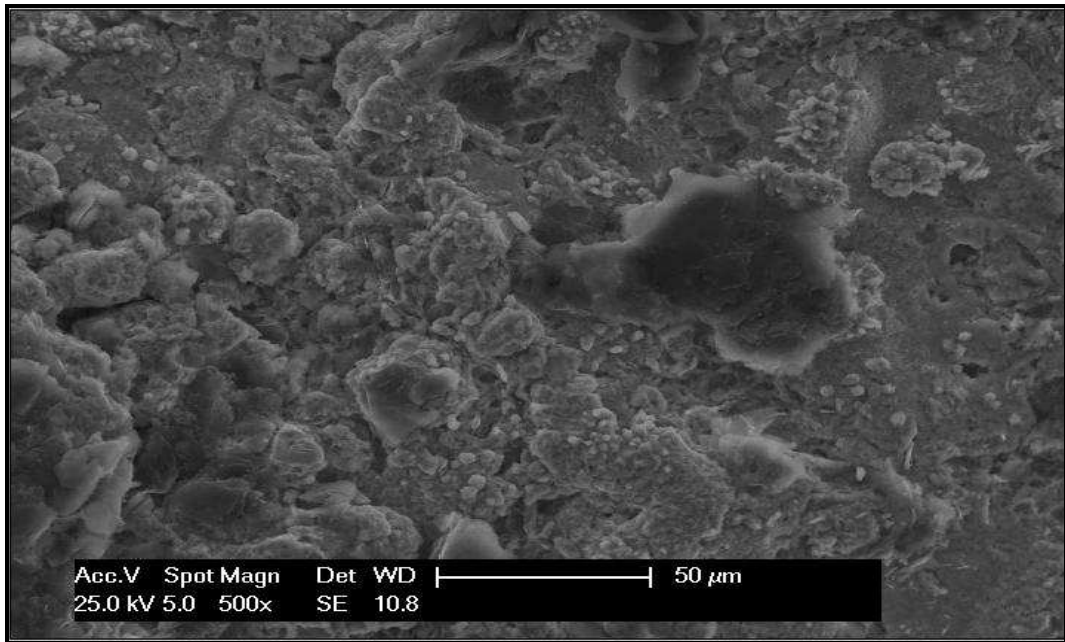
Obr.17.1 Chemický rozbor nanočástic fosfátu zinku ZP10, graficky v píicích.

8.1.1 Chemická analýza a fotodokumentace povrchu vzorku

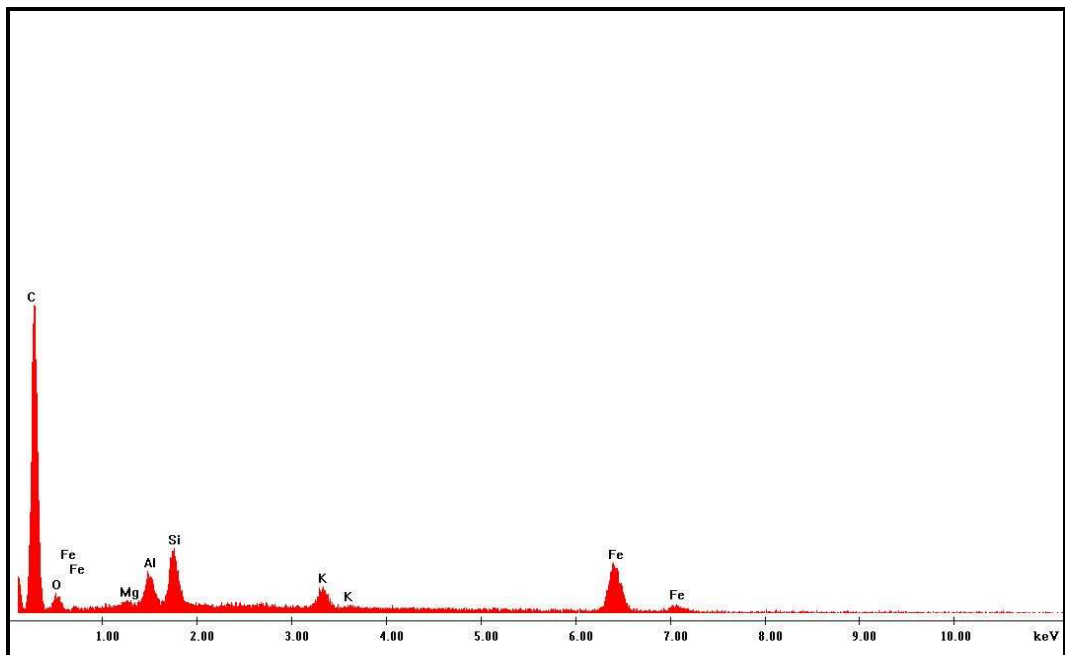
Chemická analýza a fotodokumentace povrchu vzorku byla provedena v Centru nanotechnologií, které sídlí na VŠB – TUO v Ostravě. Pro Analýza povrchu vzorků byl použit skenovací elektronový mikroskop (SEM) PHILIPS XL 30, mikroanalýzou pomocí rentgenového záření(EDAX).

Tab.14: Chemická analýza povrchu *válcované trubky*

Vzorek 1 - válcovaná trubka	
Prvek	Váhové množství Wt [%]
C	83,14
O	7,03
Mg	0,20
Al	1,18
Si	2,03
K	0,85
Fe	5,57



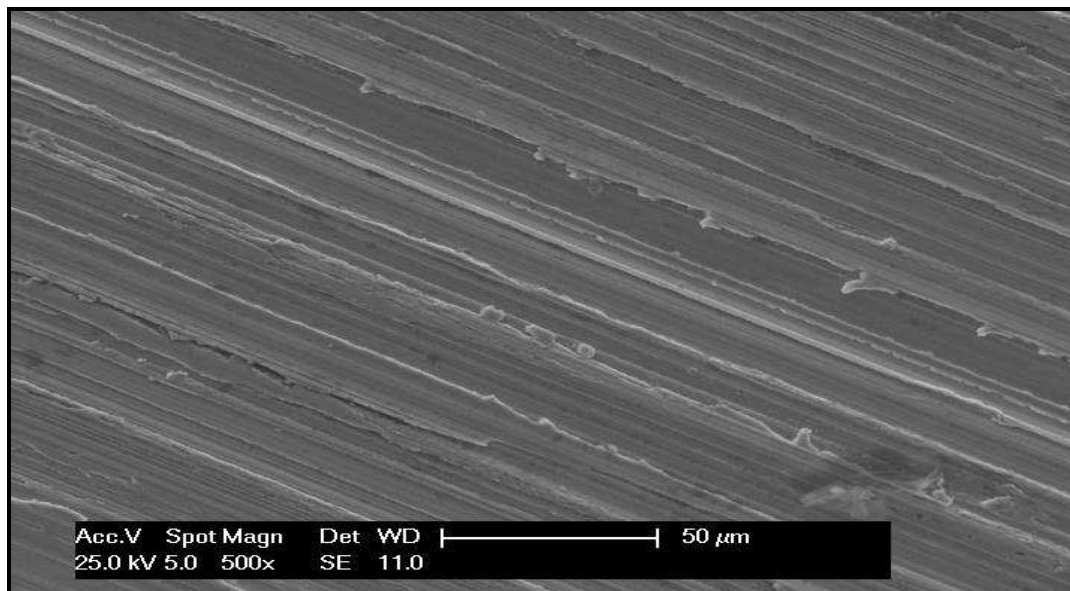
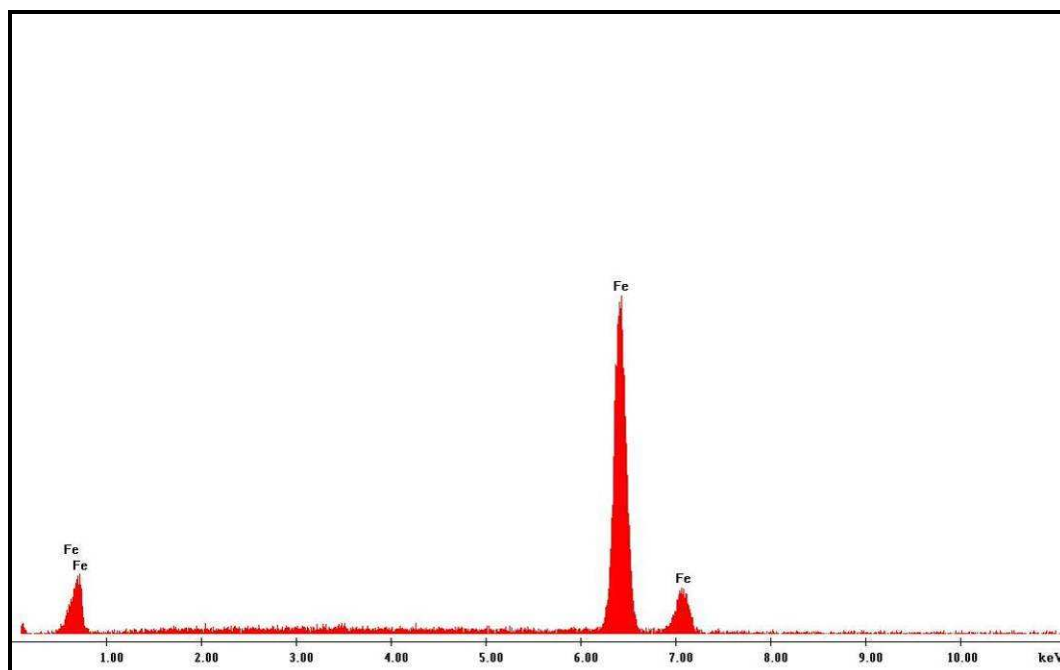
Obr.18 Detail povrchu válcované trubky (foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 500x).



Obr. 18 Chemický rozbor povrchu *válcované trubky*.

Tab.14: Chemická analýza povrchu *plechu Standard*

Vzorek 2- plech Standard	
Prvek	Wt [%]
Fe	100

**Obr.19** Detail povrchu plechu Standard (foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 500x).**Obr.19** Chemický rozbor povrchu *plechu Standard*

8.2 Aplikace nátěru

Experimentální vzorky byly natřeny příslušným nátěrovým systémem navrženým ve vzájemné spolupráci VŠB – TUO a dodávající firmou. Aplikace nátěrové hmoty na jednotlivé vzorky byla provedena štětcem a pneumatickým stříkáním na požadovanou tloušťku mokrého filmu 203 μ m. Tato tloušťka byla průběžně kontrolována hřebenovou měrkou (obr. 17) dle ČSN EN ISO 2808. [20]



Obr.17 Měřicí hřeben BASTRO

8.2.1 Vytvrzování nátěrů

Po nanesení následovalo pozvolné zavadnutí na vzduchu, poté byly vzorky vloženy do pece PREMEDIK G-100/250 na vytvrzování na dobu 6 hodin při teplotě 80°C. Po vyjmutí a ochlazení na vzduchu bylo provedeno měření tloušťky suché vrstvy.

8.2.2 Měření tloušťky suché vrstvy dle ČSN EN ISO 2808

Měření tloušťky suché vrstvy nátěrového systému jsem prováděl dle normy ČSN EN ISO 2808. Vytvrzená suchá vrstva nátěrového systému byla měřena pomocí přístroje ELCOMETER 456 (obr.18) nedestruktivní metodou založenou na principu elektromagnetické indukce. Bylo provedeno 10 měření. Průměrné výsledky hodnocených vzorků byly zaznamenány viz tab.13.



Obr.18 Měřicí přístroj ELCOMETER 456

Tab.13: Výsledky měření tloušťky suché vrstvy válcované trubky a plechu Standard způsobem nanášení štětcem a pneumatickým stříkáním s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10.

Vzorek	Průměrná tloušťka vytvrzené vrstvy 3-5%		Průměrná tloušťka vytvrzené vrstvy 6-9%	
	štětec	pneumatické stříkání	štětec	pneumatické stříkání
Vzorek 1 – Válcovaná trubka	30,2	53,3	33,4	48,2
Vzorek 2 – Standard	32,3	57,8	35,7	60,1

Z výsledku měření tloušťky suché vrstvy válcované trubky a plechu Standard způsobem nanášení nátěrové hmoty štětcem a pneumatickým stříkáním s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10 viz tab.13 je patrné, že vzorek Standard dosahuje lepších výsledků než vzorek 1 - válcovaná trubka. Nejlepší hodnoty bylo dosaženo u vzorků Standard při aplikaci pneumatickým stříkáním s obsahem pigmentu 6-9% ZP10. Výsledek této zkoušky je ovlivněn důsledkem úpravy povrchu vzorku Standard a přilnavostí ochranných povlaků k povrchu.

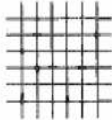
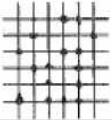

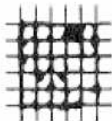
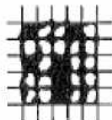
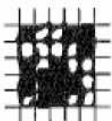
8.2.3 Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN ISO 16276-2

Pro zjištění přilnavosti nanesených a již vytvrzených nátěrů byla zvolena mřížková metoda dle ČSN ISO 16276-2, která se odkazuje na ČSN ISO 2409 a popisuje postup při hodnocení odolnosti nátěrových systémů do nichž je proveden mřížkový řez nebo v podobě křížového řezu tak, aby pronikl k podkladovému materiálu.

Postup zkoušky

Principem zkoušky bylo provedení šesti rovnoběžných řezů v podélném a kolmém směru. Pomocí šablony a řezného nástroje byl proveden příslušný počet řezů až na základní materiál a poté otočená šablona o 90° a postup zopakován. Rozestupy mezi jednotlivými řezy byly zvoleny dle tloušťky povlaku 1mm. Měkkým štětcem byly odstraněny nečistoty po řezném nástroji. Na vzniklou mřížku nalepena samolepící páska, po zajištění dobrého kontaktu s nátěrem byla sejmuta pod úhlem 60°. Bezprostředně po stažení pásky se provedlo vizuální hodnocení. Klasifikace výsledků dle ČSN ISO 1627-2, která se odkazuje na ČSN ISO 2409 viz tab.14.



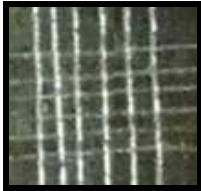
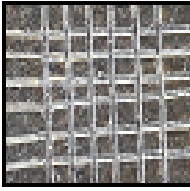
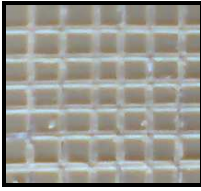
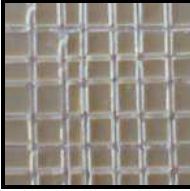
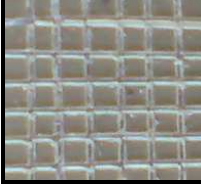

Tab. 14 Klasifikační tabulka [21]

Klasifikace	Popis	Schéma
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %	
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen o více než 5% a méně než 15% celkové plochy	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně, nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15%, ale menší než 35%.	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35%, ale méně než z 65%.	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4 (více než 65%)	

8.2.4 Hodnocení mřížkové zkoušky

Vyhodnocení přilnavosti a stanovení stupně poškození transparentní nátěrové hmoty na vzorcích válcované trubky a plechu Standard. Transparentní nátěrová hmota byla obohacena pigmentem nanočástic ZP10 v obsahovém poměru 3-5% a 6-9% při aplikaci štětcem a pneumatickým stříkáním. Výsledné vyhodnocení je uvedeno v tab.15.

Tab.15: Výsledky *mřížkové zkoušky* válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10. **Aplikace – štětcem a pneumatickým stříkáním.**

Vzorek	Aplikace – štětcem		Aplikace – pneumatické stříkání	
	Fotodokumentace	Stupeň poškození nátěru	Fotodokumentace	Stupeň poškození nátěru
Vzorek 1 – Válcovaná trubka s obsahem 3-5% ZP10		3		4
Vzorek 1 – Válcovaná trubka s obsahem 6-9 % ZP10		2		0
Vzorek 2 – Standard s obsahem 3-5 % ZP10		0		0
Vzorek 2 – Standard s obsahem 6-9 % ZP10		0		1

Z výsledku mřížkové zkoušky přilnavosti nátěrového systému na vzorky válcované trubky a plechu Standard způsobem nanášení štětcem a pneumatickým stříkáním s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10 viz tab.15 je patrné, že Vzorek 2 - Standard dosahuje mnohem lepších výsledků při aplikaci nátěrového systému štětcem s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10. Při aplikaci pneumatickým stříkáním dosahoval Vzorek 2 - Standard s obsahem 3-5% ZP10 vyhovujících výsledků. Vzorek 1 – válcovaná trubka dosahuje uspokojených výsledků při aplikaci nátěrového systému pneumatickým stříkáním s obsahem 6-9% ZP10. Tato zkouška je ovlivněna důsledkem úpravy povrchu a přilnavostí ochranných povlaků k povrchu. Dle klasifikační stupnice vykazoval nátěr nanášený pneumatickým stříkáním při obsahu 3-5% ZP10 na vzorek válcovaná trubka stupně č.4 – poškození mřížky. To je ovlivněno kvalitou povrchu dodaného vzorku.







8.2.5 Zkouška křížovým řezem dle ČSN ISO 16276-2

Pro zjištění přilnavosti nanesených a již vytvrzených nátěrů byla zvolena metoda křížového řezu dle ČSN ISO 16276-2, která se odkazuje na ČSN ISO 2409 a popisuje postup při hodnocení odolnosti nátěrových systémů, do nichž je proveden křížový řez X tak, aby pronikl k podkladovému materiálu.

Postup zkoušky

Principem zkoušky bylo provedení křížového řezu v úhlu 30 – 45°. Pomocí šablony a řezného nástroje byl udělán řez ve tvaru X až na základní materiál. Na vzniklý kříž nalepena samolepící páska a pro zajištění dobrého kontaktu s nátěrem tlakem prstů zajištěno dokonalého přilnutí. Působení 5 minut a poté za volný konec páska stažena pod úhlem přibližně 60°. Bezprostředně po stažení pásky se provedeno vizuální hodnocení. Klasifikace výsledků dle ČSN ISO 1627-2, která se odkazuje na ČSN ISO 2409 viz tab.17.

Tab.17: Hodnocení výsledků křížového řezu [22]

 <p>Stupeň 0 Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.</p>	 <p>Stupeň 1 Velmi malé odlupování podél řezů nebo jejich průsečíku.</p>
 <p>Stupeň 2 Roztřepené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5mm na každé straně.</p>	 <p>Stupeň 3 Roztřepené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm na obou stranách.</p>
 <p>Stupeň 4 Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.</p>	 <p>Stupeň 5 Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.</p>


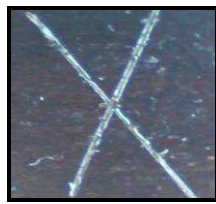





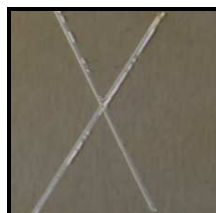
8.2.6 Hodnocení zkoušky křížovým řezem

Výsledky zkoušky křížovým řezem a stanovení stupně poškození nátěru transparentní nátěrové hmoty na vzorcích válcované trubky a plechu Standard.

Transparentní nátěrová hmota byla obohacena pigmentem nanočástic ZP10 v obsahovém poměru 3-5% a 6-9% při aplikaci štětcem a pneumatickým stříkáním. Výsledné vyhodnocení je uvedeno v tab.18.

Tab.18: Výsledky zkoušky křížovým řezem válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10.

Aplikace – štětcem a pneumatickým stříkáním.

Vzorek	Aplikace – štětcem		Aplikace – pneumatické stříkání	
	Fotodokumentace	Stupeň poškození nátěru	Fotodokumentace	Stupeň poškození nátěru
Vzorek 1 – Válcovaná trubka s obsahem 3-5% ZP10		1		3
Vzorek 1 – Válcovaná trubka s obsahem 6-9 % ZP10		1		1
Vzorek 2 – Standard s obsahem 3-5 % ZP10		0		0
Vzorek 2 – Standard s obsahem 6-9 % ZP10		1		0

Z výsledku zkoušky křížovým řezem přilnavosti válcované trubky a plechu Standard způsobem nanášení štětcem a pneumatickým stříkáním s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10 viz tab.18 je patrné, že Vzorek 2 - Standard dosahuje mnohem lepších výsledků při aplikaci nátěrového systému štětcem s obsahem 3-5% ZP10 a při aplikaci pneumatickým stříkáním dosahoval Vzorek 2 - Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 uspokojivých výsledků. Tato zkouška je ovlivněna důsledkem úpravy povrchu a přilnavostí ochranných povlaků k povrchu. Dle klasifikační stupnice vykazoval nátěr

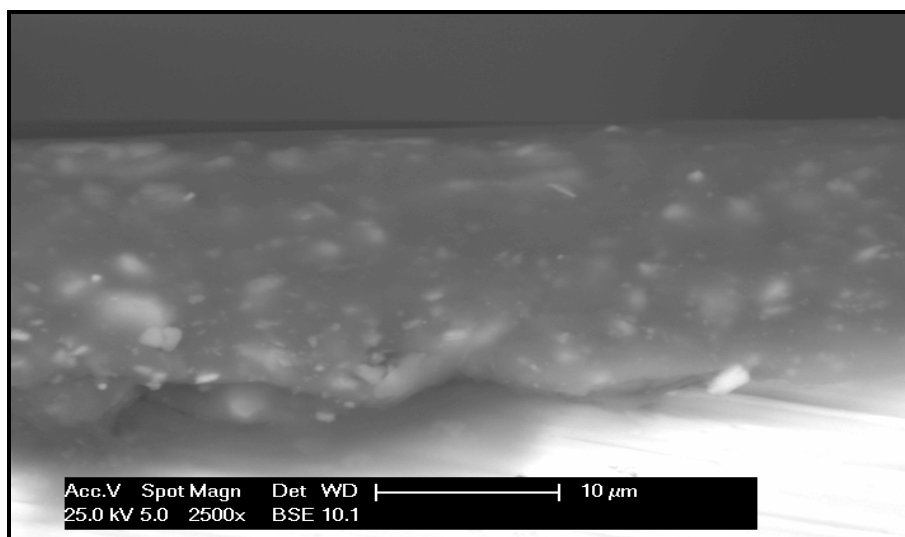
nanášený pneumatickým stříkáním při obsahu 3-5% ZP10 na vzorek válcovaná trubka stupně č.3 – odlupy podél celé délky řezů. Ovlivněno kvalitou povrchu dodaného vzorku a způsobem aplikace nátěrové hmoty.

8.3 Fázové rozhraní ocelového substrátu a nátěrového systému

V Centru nanotechnologií, které sídlí na VŠB – TUO v Ostravě, byly pořízeny snímky vytvrzeného nátěru při zvětšení 650x, 800x a 2500x skenovacím elektronovým mikroskopem (SEM) EDAX Phillips XL30. Je na nich patrné rozhraní mezi podkladovým materiálem válcované trubky a plechu Standard a transparentní nátěrovou hmotou, která byla obohacena pigmentem nanočástic ZP10 v obsahovém poměru 3-5% a 6-9% při aplikaci štětcem a pneumatickým stříkáním.

8.3.1 Fotodokumentace fázového rozhraní válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10. Aplikace – štětcem.

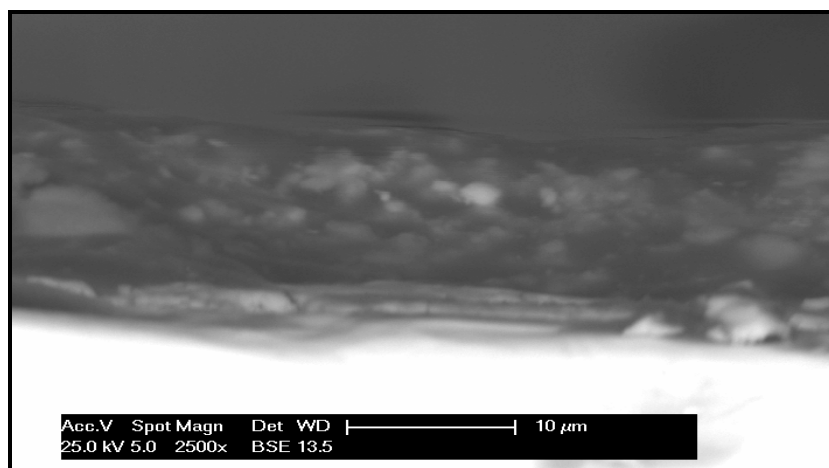
Na obrázku 19 je snímek vytvrzeného nátěru s nanočásticemi. Nátěr se jeví jako celistvý a kompaktní po celém povrchu. U většího zvětšení je patrné, že dochází ke shlukům nanočástic. Vytvářejí se aglomeráty. Částice v nátěru nesedimentují k povrchu podkladového materiálu, ale zůstávají ve vznosu.



Obr.19 Snímek *válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% ZP10* pořízený elektronovým mikroskopem Phillips XL30 na Nanocentru VŠB-TUO; zvětšení 2500x.

Aplikace – štětcem.

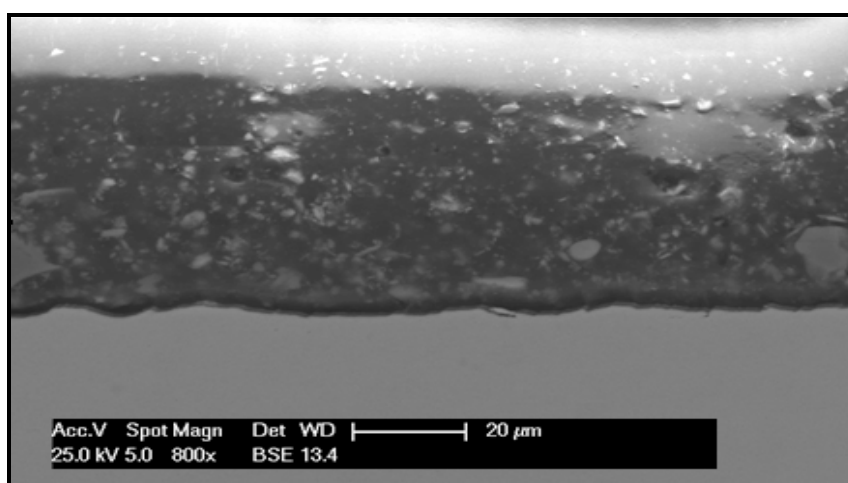
Na obrázku 20 je snímek vytvrzeného nátěru s nanočásticemi. Nátěr se jeví jako celistvý a kompaktní po celém povrchu. U většího zvětšení je patrné, že dochází ke shlukům nanočástic. Vytvářejí se aglomeráty. Částice v nátěru nesedimentují k povrchu podkladového materiálu, ale zůstávají ve vlnosu.



Obr.20 Snímek *válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 6-9% ZP10* pořízený elektronovým mikroskopem Phillips XL30 na Nanocentru VŠB-TUO; zvětšení 2500x.

Aplikace – štětcem.

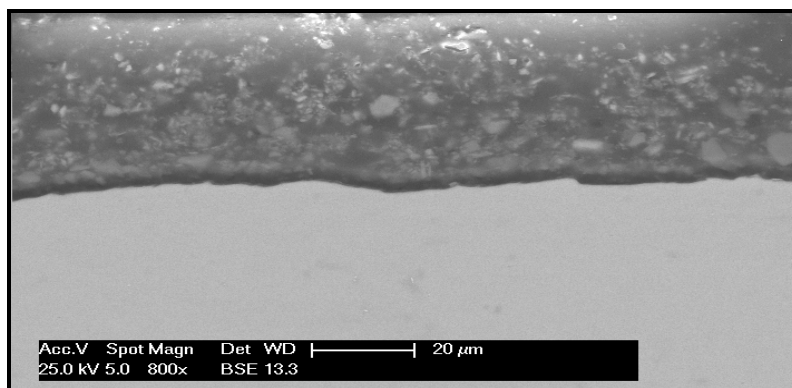
Na obrázku 21 je snímek vytvrzeného nátěru s nanočásticemi. Je viditelné rozhraní mezi kovem a nátěrem. Na snímku je patrné, že dochází ke shlukům nanočástic. Částice v nátěru nesedimentují k povrchu podkladového materiálu, ale zůstávají ve vlnosu.



Obr.21 Snímek *plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% ZP10* pořízený elektronovým mikroskopem Phillips XL30 na Nanocentru VŠB-TUO; zvětšení 800x.

Aplikace – štětcem.

Na obrázku 22 je snímek vytvrzeného nátěru s nanočásticemi. Je viditelné rozhraní mezi kovem a nátěrem. Vytvářejí aglomeráty. Na snímku je patrné, že dochází ke shlukům nanočástic. Částice v nátěru nesedimentují k povrchu podkladového materiálu, ale zůstávají ve vznosu.



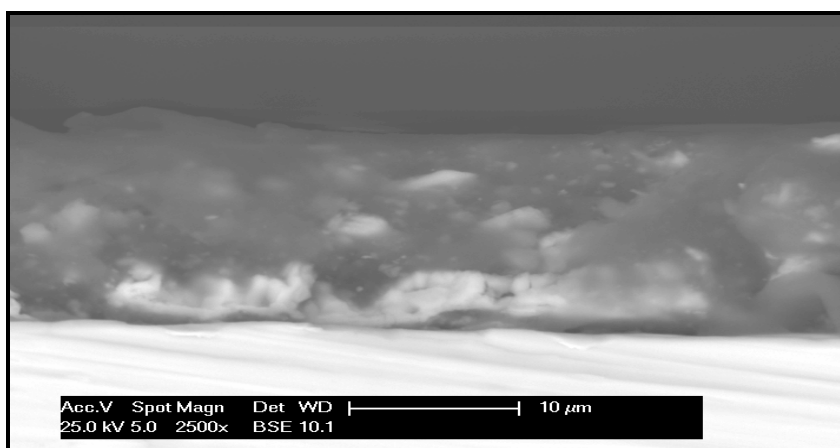
Obr. 22 Snímek *plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 6-9% ZP10* pořízený elektronovým mikroskopem Phillips XL30 na Nanocentru VŠB-TUO; zvětšení 800x.

Aplikace – štětcem.

8.3.2 Fotodokumentace fázového rozhraní válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10.

Aplikace – pneumatickým stříkáním.

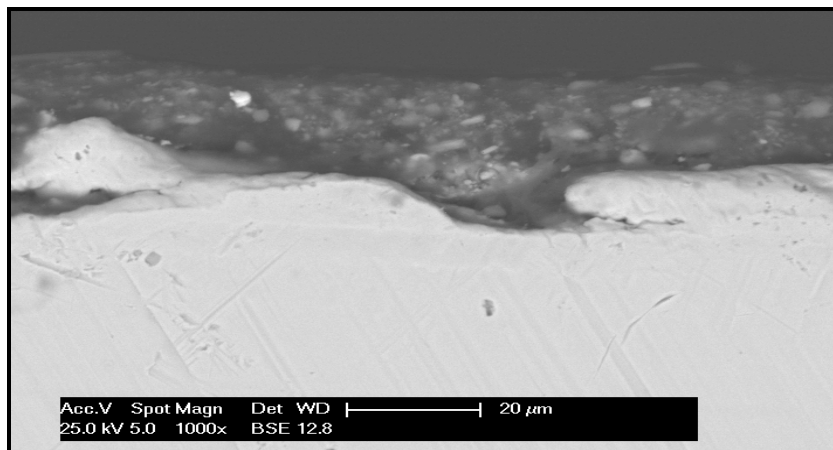
Na obrázku 23 je snímek vytvrzeného nátěru s nanočásticemi. Je viditelné rozhraní mezi kovem a nátěrem. Vytvářejí se aglomeráty. Na snímku je patrné, že dochází ke shlukům nanočástic. Částice v nátěru sedimentují k povrchu podkladového materiálu.



Obr. 23 Snímek *válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% ZP10* pořízený elektronovým mikroskopem Phillips XL30 na Nanocentru VŠB-TUO; zvětšení 2500x.

Aplikace – pneumatickým stříkáním.

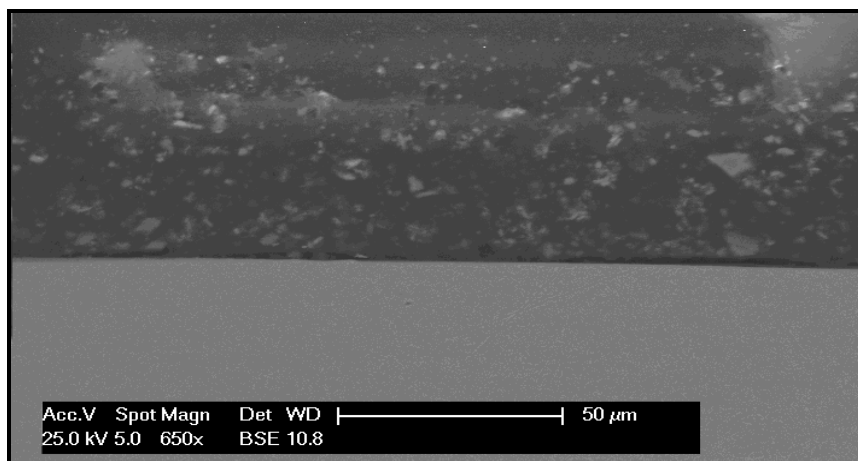
Na obrázku 24 je snímek vytvrzeného nátěru s nanočásticemi. Je viditelné rozhraní mezi kovem a nátěrem. U většího zvětšení je patrné, že dochází rovnoměrnému rozdělení nanočástic, které vytvářejí ochrannou vrstvu oddalující vznik koroze.



Obr.24 Snímek *válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 6-9% ZP10* pořízený elektronovým mikroskopem Phillips XL30 na Nanocentru VŠB-TUO; zvětšení 1000x.

Aplikace – pneumatickým stříkáním.

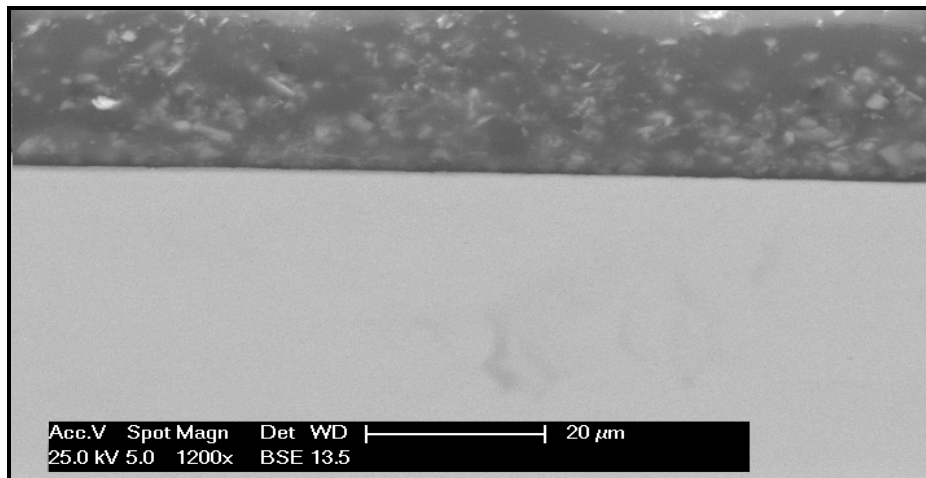
Na obrázku 25 je snímek vytvrzeného nátěru s nanočásticemi. Je viditelné rozhraní mezi kovem a nátěrem. Ze snímku je patrné téměř homogenní rozmístění nanočástic.



Obr. 25 Snímek *plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% ZP10* pořízený elektronovým mikroskopem Phillips XL30 na Nanocentru VŠB-TUO; zvětšení 650x.

Aplikace – pneumatickým stříkáním.

Na obrázku 26 je snímek vytvrzeného nátěru s nanočásticemi. Je viditelné rozhraní mezi kovem a nátěrem. U většího zvětšení je patrné, že dochází ke shlukům nanočástic, za vzniku aglomerátu.



Obr.26 Snímek *plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 6-9% ZP10* pořízený elektronovým mikroskopem Phillips XL30 na Nanocentru VŠB-TUO; zvětšení 1200x.

Aplikace – pneumatickým stříkáním.

8.4 Zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227

Zkouška v neutrální solné mlze probíhala dle normy ČSN EN ISO 9227 v korozní komoře značky Liebisch S 400 M-TR a vyhodnocení pak dle ČSN EN ISO 4628. Před umístěním vzorku do solné komory byla korozně slabá místa, tj. hrany, otvor pro zavěšení a strana s číselným označením izolovány odolnou lepicí páskou.

Na předem vyčleněné vzorky se poté řezným nástrojem vytvořil vertikální řez o délce 70 mm až na podklad substrátu dle ISO 17872. Vzorky byly umístěny do speciálně upraveného stojanu, který zaručoval předepsaný sklon vzorku během expozice. Vizuelní hodnocení probíhalo po 0, 8, 24, 48, 72 hod. Výsledné výsledky jsou zdokumentovány na přiložených fotografiích viz příloha č. 2.

8.4.1 Provozní podmínky solné komory LIEBISCH S400 M-TR:

- Tlak vzduchu 3 ÷ 4 bar
- Tlak vody 2,5 ÷ 3 bar
- Průtok vody 0,45 l/hod
- Teplota prostředí 35 ± 2 °C
- Teplota navlhčovače 55 °C
- Vlhkost 100 %
- Solná mlha – 5 % roztok NaCl

Transparentní nátěrová hmota obohacena pigmentem nanočástic ZP10 v obsahovém poměru 3-5% a 6-9% při aplikaci štětcem a pneumatickým stříkáním, který je na vzorcích nanesen má sloužit jako krátkodobá korozní ochrana. V tab.19 byla vypočtena reálná doba, po kterou jednotlivé vzorky odolávaly prvním známkám koroze.

Tab.19: Korozní odolnost [23]

Korozní odolnost	
Simulovaná doba v korozní komoře	Realita- Skutečnost
720 h	cca 10 let
72 h	cca 1 rok
6 h	cca 1 měsíc

8.4.2 Fotodokumentace a vyhodnocení vzorků s nátěry aplikovanými štětcem na počátku a na konci cyklu korozní zkoušky

Kompletní fotodokumentace korozní zkoušky vzorků při jednotlivých cyklech po 0, 8, 24, 48, 72 hod. viz příloha č.2.

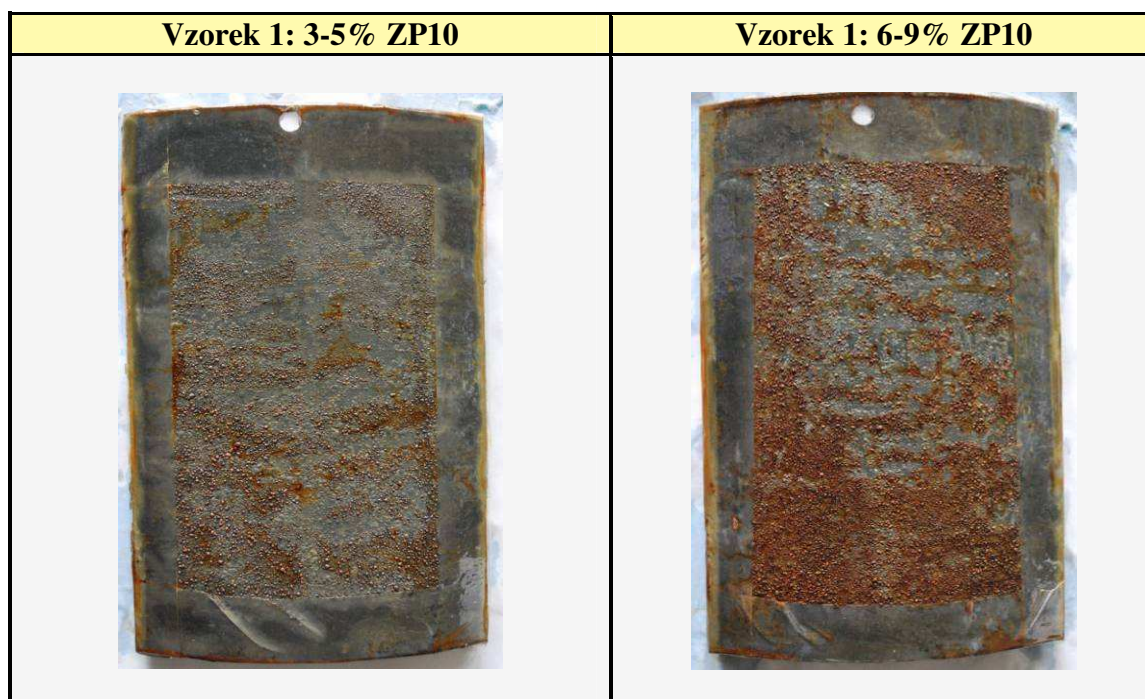
Tab.20: Fotografické snímky degradace nátěru válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 **před vložením** do korozní komory (*bez řezu*).

Aplikace- štětcem.



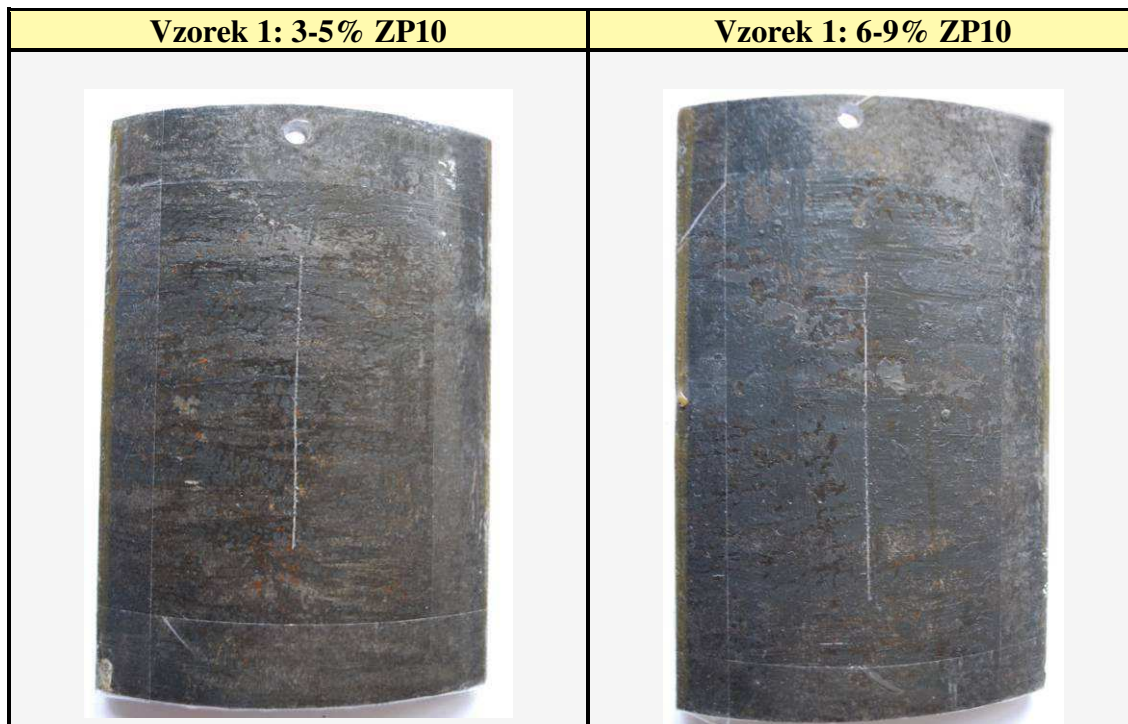
Tab.20.1: Fotografické snímky degradace nátěru válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9 % ZP10 **po 72h** expozice v korozní komoře (*bez řezu*).

Aplikace- štětcem.



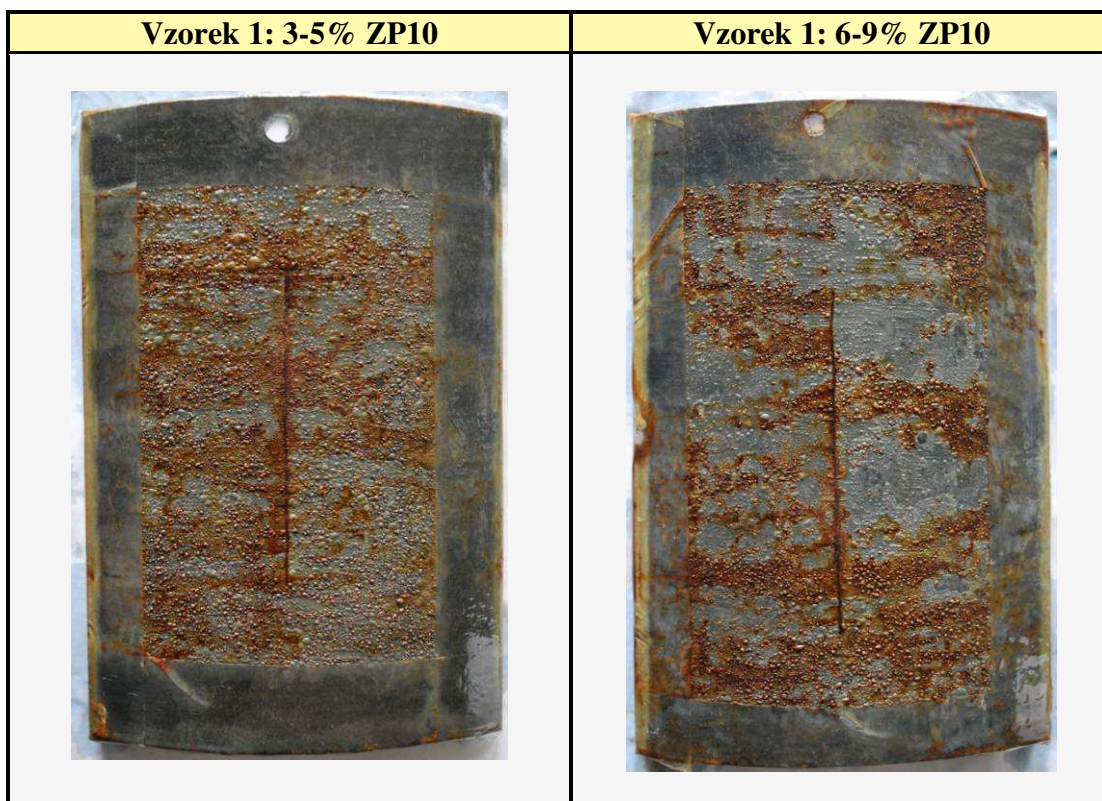
Tab.21: Fotografické snímky degradace nátěru válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 před vložením do korozní komory (*s řezem*).

Aplikace- štětcem.



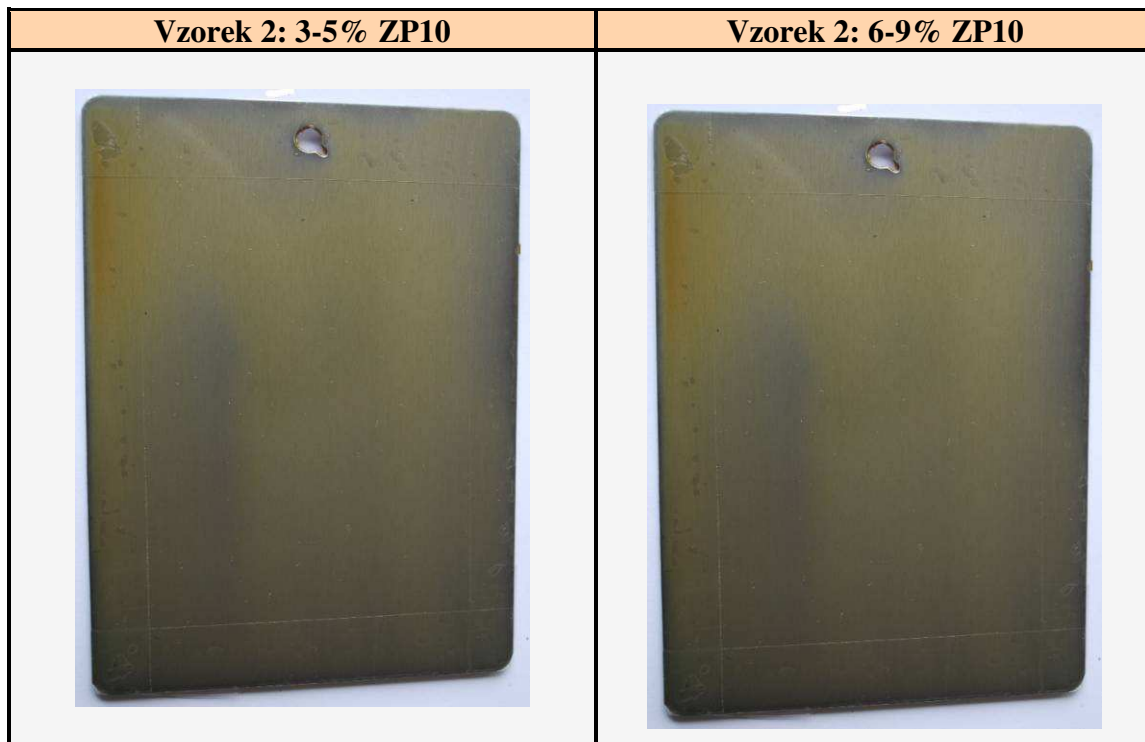
Tab.21.1: Fotografické snímky degradace nátěru válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 **po 72h** expozice v korozní komoře (*s řezem*).

Aplikace- štětcem.



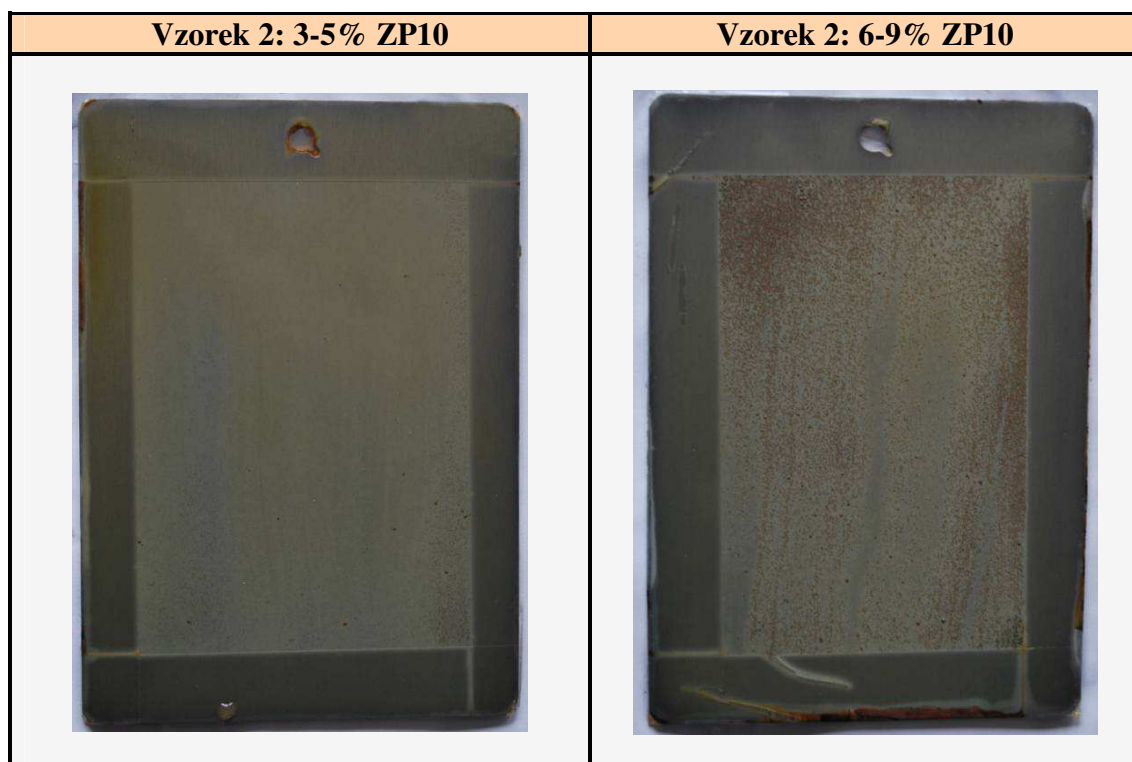
Tab.22: Fotografické snímky degradace nátěru plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 před vložením do korozní komory (*bez řezu*).

Aplikace- štětcem.



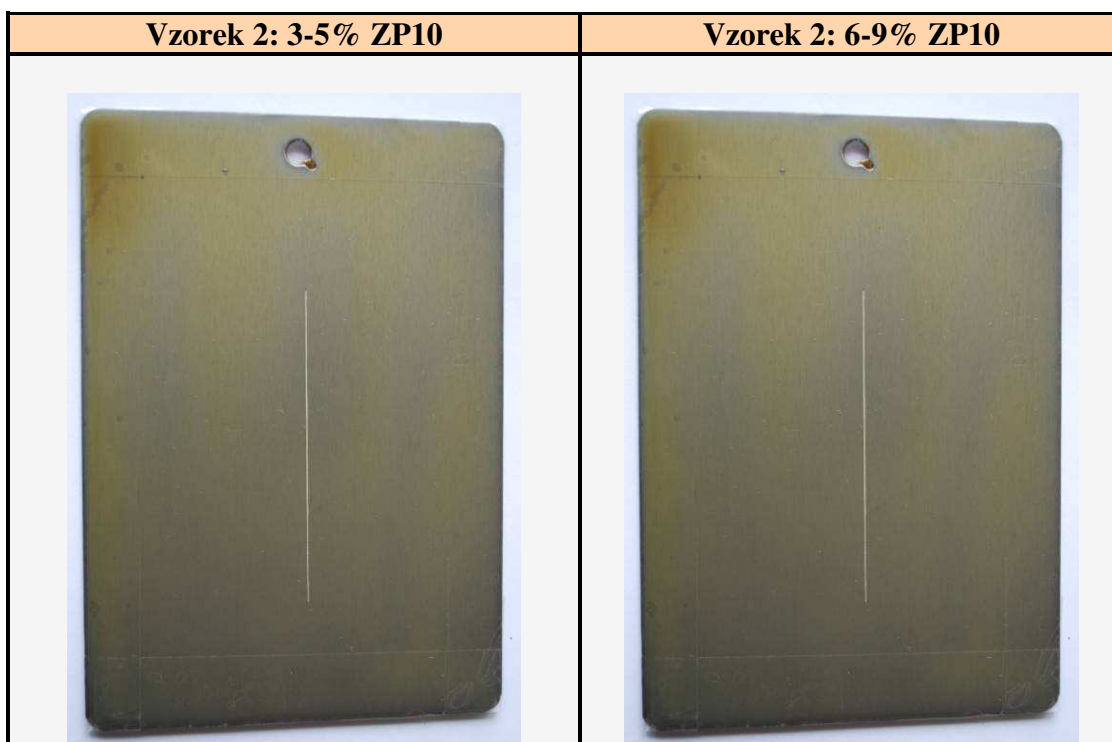
Tab.22.1: Fotografické snímky degradace nátěru plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 **po 72h** expozice v korozní komoře (*bez řezu*).

Aplikace- štětcem.



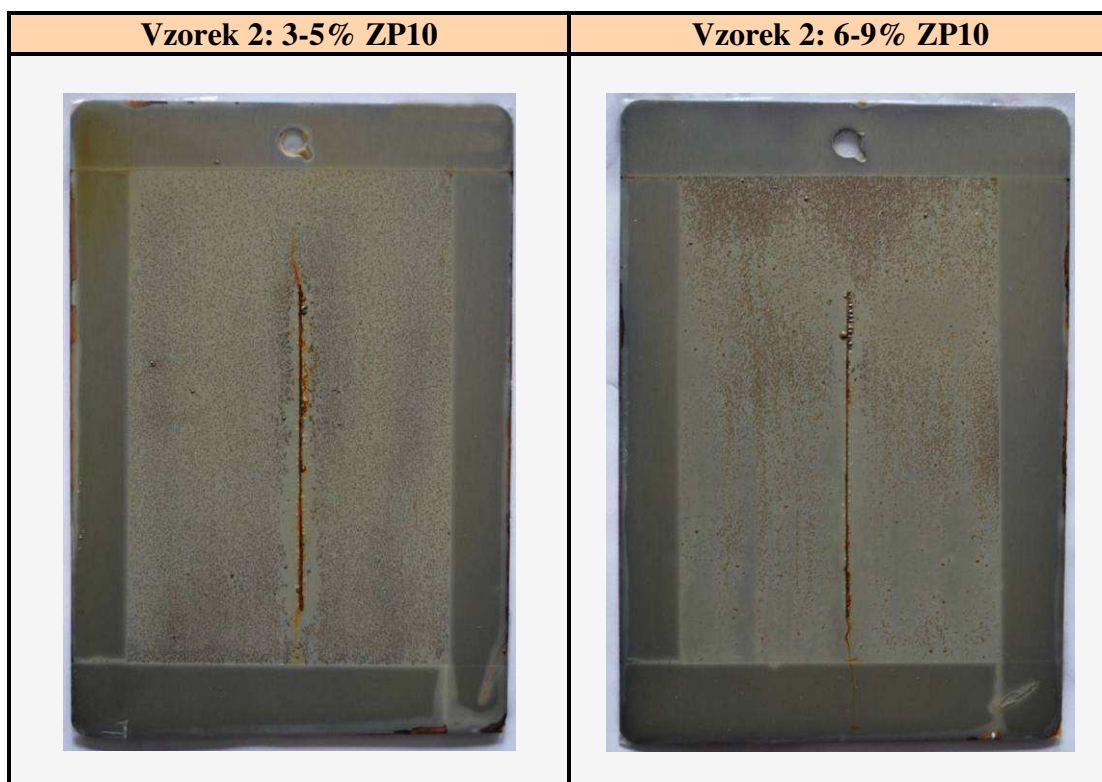
Tab.23: Fotografické snímky degradace nátěru plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 před vložením do korozní komory (*s řezem*).

Aplikace- štětcem.



Tab.23.1: Fotografické snímky degradace nátěru plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 **po 72h** expozice v korozní komoře (*s řezem*).

Aplikace- štětcem.



8.4.3 Vyhodnocení degradace nátěrů (aplikace štětcem)

Tab.24: Vyhodnocení degradace nátěrů válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 dle ČSN EN ISO 4628 (vzorky bez řezu)

Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Intenzita změn
0 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	0 (S0)	Ri2 (S2)	0
Vzorek 1 – 6-9 % ZP10	0 (S0)	Ri1 (S1)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
8 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	0 (S0)	Ri1 (S1)	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	0 (S0)	Ri3 (S3)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	4 (S2)	Ri0 (S2)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	3 (S2)	Ri0 (S2)	0
24 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	1 (S1)	Ri1 (S1)	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	3 (S3)	Ri5 (S4)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	0 (S0)	Ri1 (S1)	0
48 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	4 (S3)	Ri5 (S4)	0
Vzorek 1 – 6-9 % ZP10	4 (S4)	Ri5 (S4)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	1 (S1)	Ri0 (S0)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	3 (S2)	Ri5 (S3)	0
72 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	4 (S3)	Ri5 (S3)	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	5 (S4)	Ri5 (S4)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	1 (S1)	Ri1 (S1)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	2 (S1)	Ri5 (S1)	0

Legenda:

Vzorek 1 - Válcovaná trubka s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10.

Vzorek 2 - Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10.

Tab.25: Vyhodnocení degradace nátěrů válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 dle ČSN EN ISO 4628 (*vzorky s řezem*)

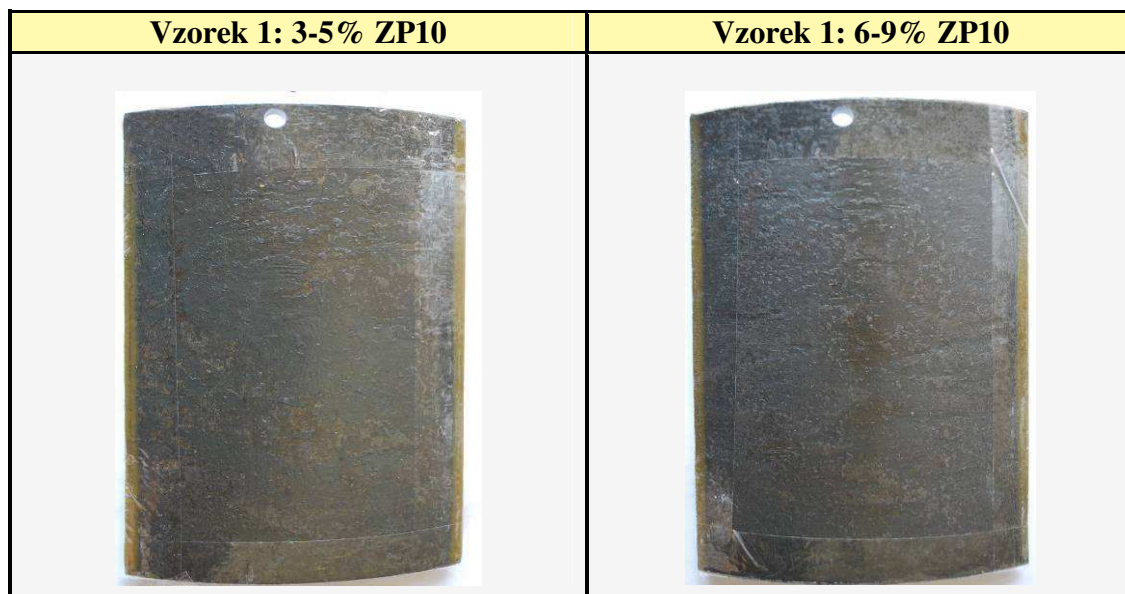
Vzorek	Stupeň puchýřkování v okolí řezu	Delaminace/koroze	Intenzita změn
0 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	0 (S0)	0/0	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	0 (S0)	0/0	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	0 (S0)	0/0	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	0 (S0)	0/0	0
8 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	4 (S2)	2/2	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	1 (S1)	1/1	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	1 (S0)	1/0	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	0 (S0)	0/0	0
24 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	2 (S2)	2/3	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	2 (S1)	1/2	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	1 (S1)	0/0	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	1 (S1)	1/0	0
48 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	3 (S2)	3/3	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	1 (S1)	1/1	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	1 (S1)	1/1	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	2 (S2)	1/2	0
72 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	4 (S4)	3/2	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	3 (S3)	2/3	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	3 (S1)	2/1	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	3 (S3)	2/2	0

8.4.4 Fotodokumentace a vyhodnocení vzorků s nátěry aplikovanými pneumatickým stříkáním na počátku a na konci cyklu korozní zkoušky

Kompletní fotodokumentace korozní zkoušky vzorků při jednotlivých cyklech po 0, 8, 24, 48, 72 hod. viz příloha č.2.

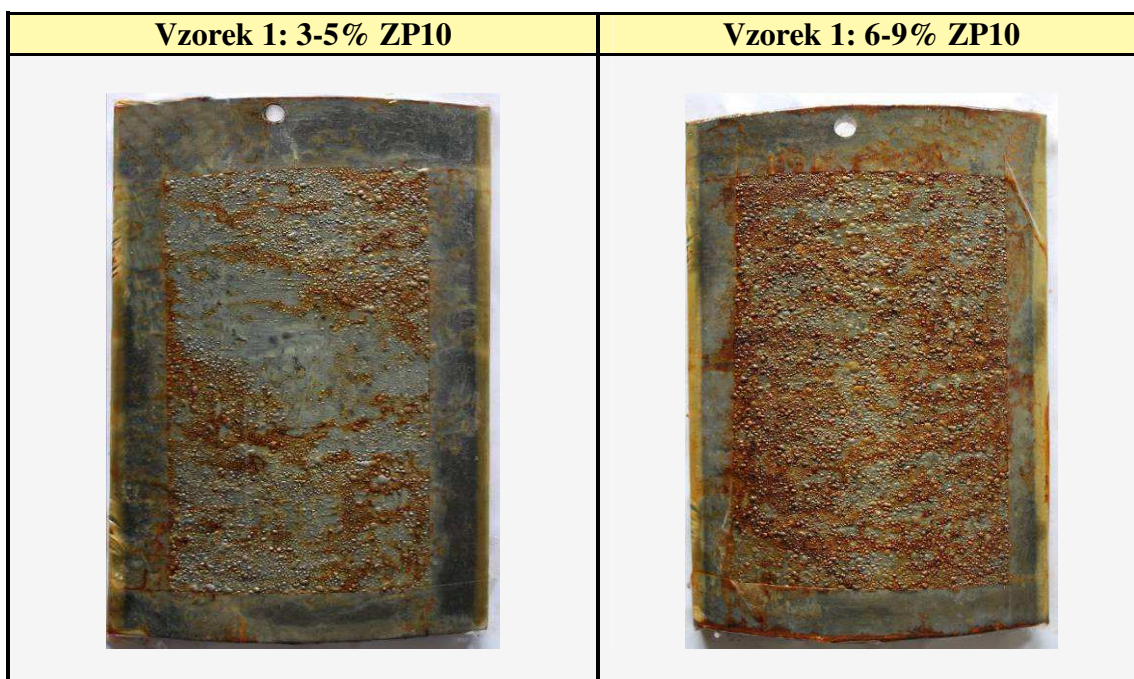
Tab.26: Fotografické snímky degradace nátěru válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 **před vložením** do korozní komory (*bez řezu*).

Aplikace- pneumatickým stříkáním.



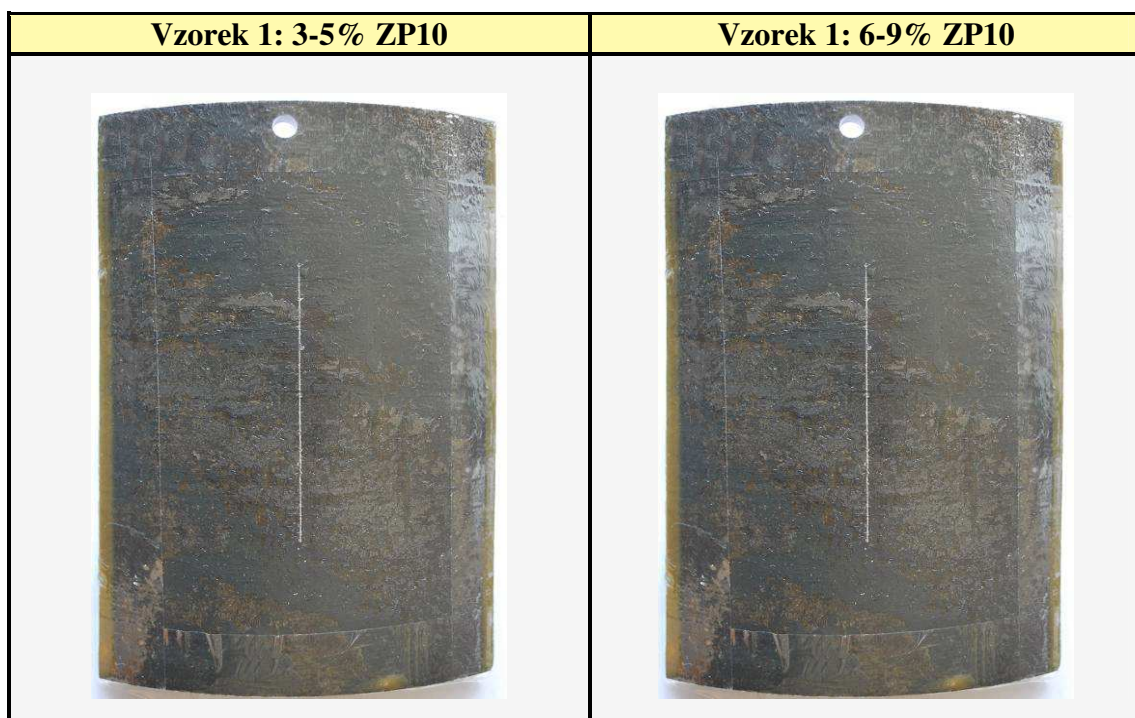
Tab.26.1: Fotografické snímky degradace nátěru válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 **po 72h** expozice v korozní komoře (*bez řezu*).

Aplikace- pneumatickým stříkáním.



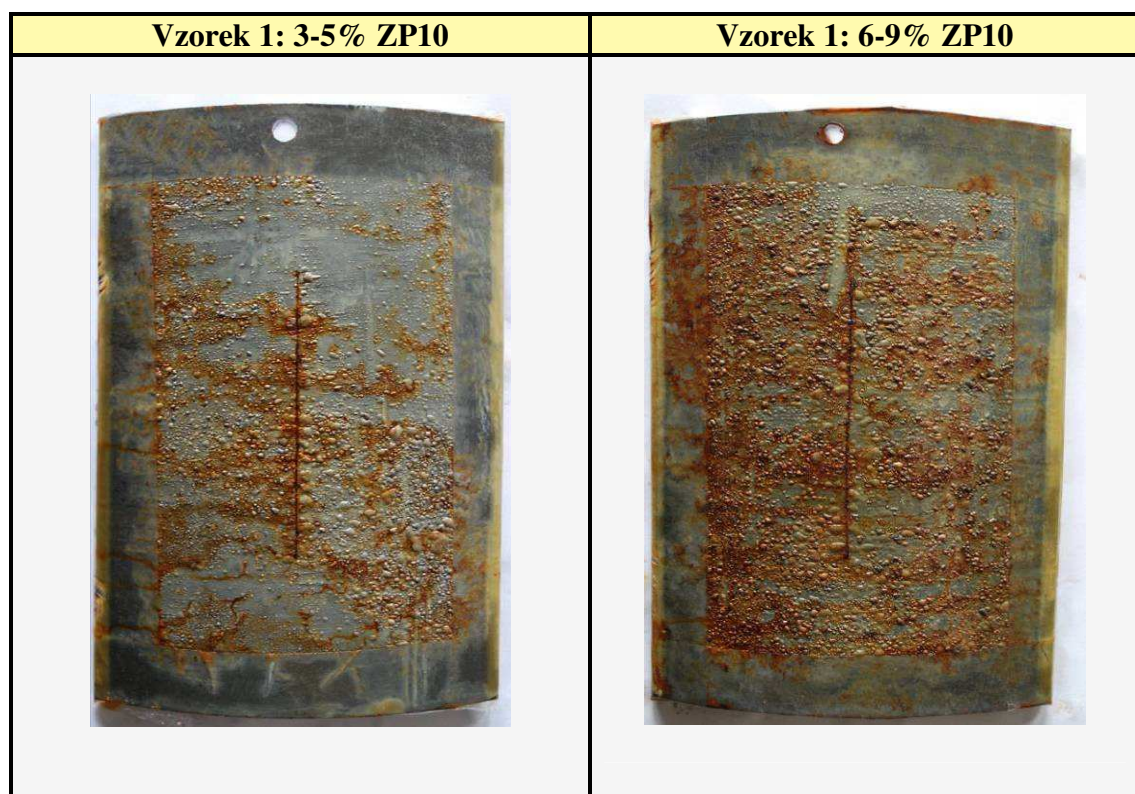
Tab.27: Fotografické snímky degradace nátěru válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 před vložením do korozní komory (*s řezem*).

Aplikace- pneumatickým stříkáním.

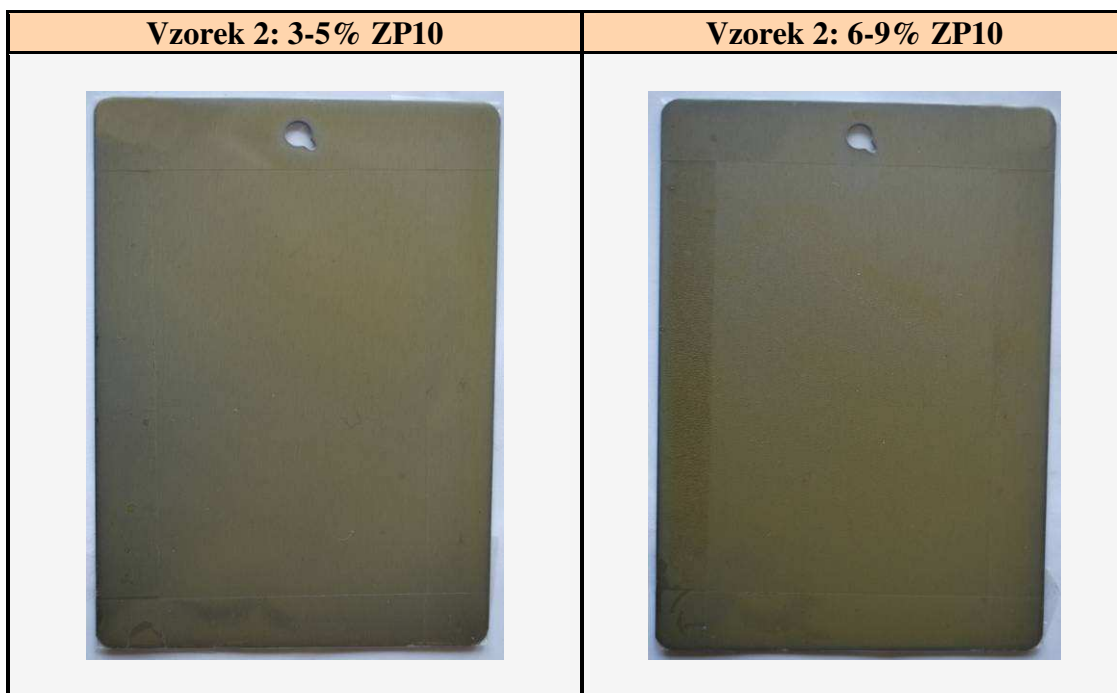


Tab.27.1: Fotografické snímky degradace nátěru válcované trubky s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 **po 72h** expozice v korozní komoře (*s řezem*).

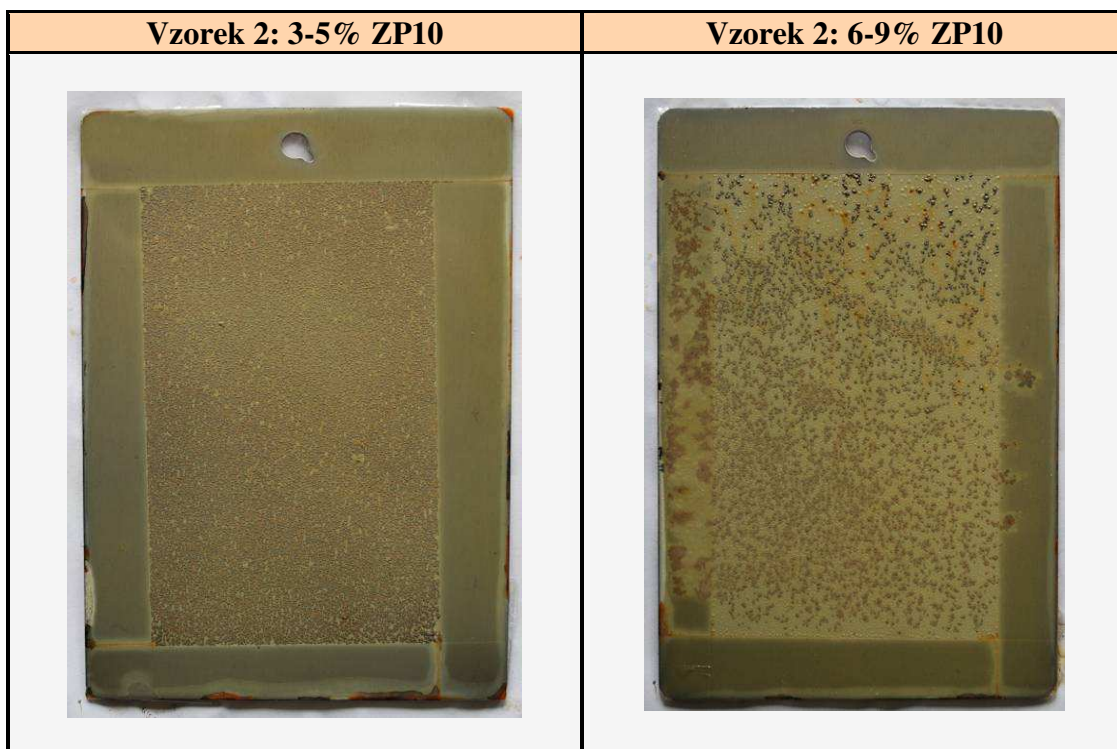
Aplikace- pneumatickým stříkáním.



Tab.28: Fotografické snímky degradace nátěru plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 před vložením do korozní komory (*bez řezu*). Aplikace-
pneumatickým stříkáním.

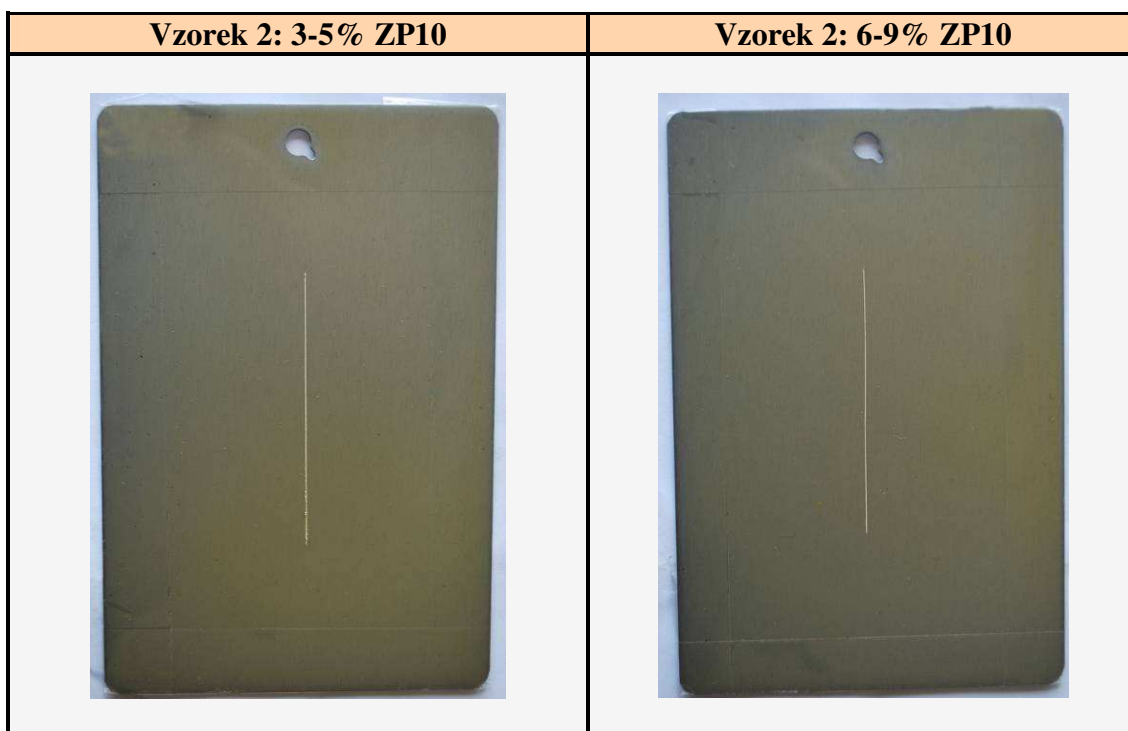


Tab.28.1: Fotografické snímky degradace nátěru plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 **po 72h** expozice v korozní komoře (*bez řezu*).
Aplikace- pneumatickým stříkáním.



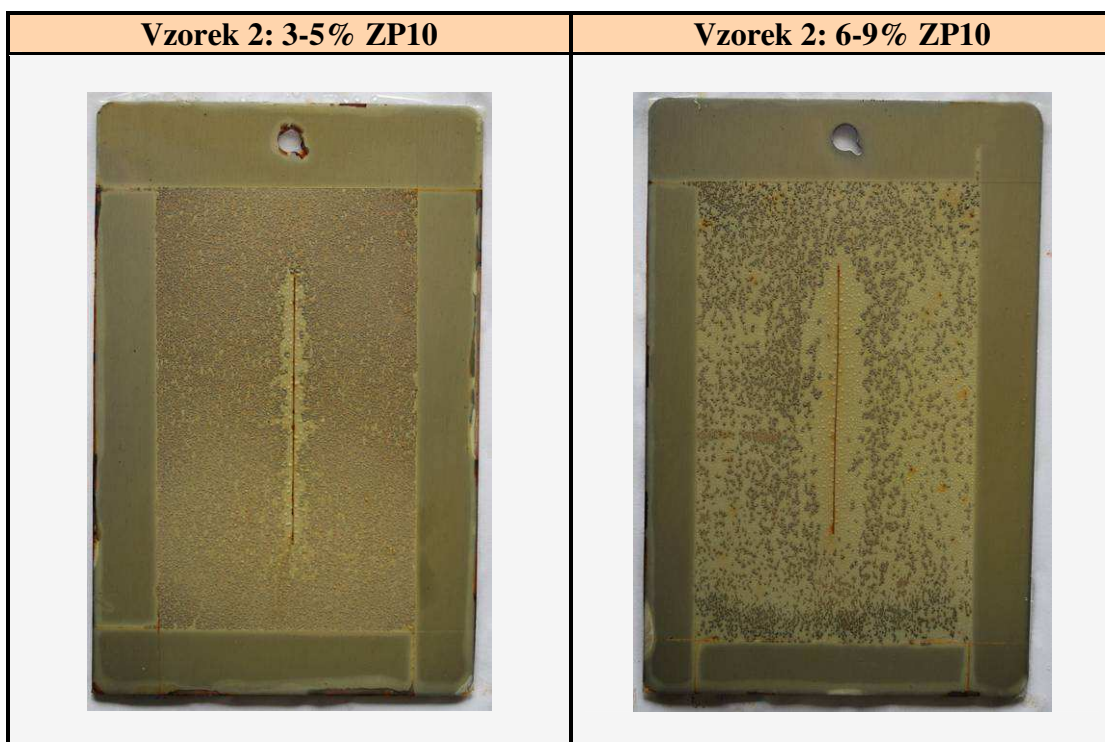
Tab.29.: Fotografické snímky degradace nátěru plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 před vložením do korozní komory (*s řezem*).

Aplikace- pneumatickým stříkáním.



Tab.29.1: Fotografické snímky degradace nátěru plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 **po 72h** expozice v korozní komoře (*s řezem*).

Aplikace- pneumatickým stříkáním.



8.4.5 Vyhodnocení degradace nátěrů (aplikace pneumatickým stříkáním)

Tab.30: Vyhodnocení degradace nátěrů válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 dle ČSN EN ISO 4628 (vzorky bez řezu)

Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Intenzita změn
0 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
8 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	2 (S2)	Ri0 (S0)	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	2 (S2)	Ri0 (S0)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	3 (S2)	Ri0 (S2)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	3 (S2)	Ri0 (S1)	0
24 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	3 (S2)	Ri0 (S1)	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	5 (S2)	Ri4 (S2)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	5 (S2)	Ri0 (S2)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	4 (S2)	Ri1 (S2)	0
48 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	3 (S2)	Ri4 (S2)	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	5 (S3)	Ri5 (S3)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	5 (S2)	Ri1 (S2)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	4 (S2)	Ri2 (S2)	0
72 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	4 (S3)	Ri5 (S3)	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	5 (S4)	Ri5 (S4)	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	5 (S1)	Ri1 (S2)	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	5 (S2)	Ri1 (S2)	0

Legenda:

Vzorek 1 - Válcovaná trubka s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10.

Vzorek 2 - Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10.

Tab.31: Vyhodnocení degradace nátěrů válcované trubky a plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 dle ČSN EN ISO 4628 (*vzorky s řezem*)

Vzorek	Stupeň puchýřkování v okolí řezu	Delaminace/koroze	Intenzita změn
0 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5 % ZP10	0 (S0)	0/0	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	0 (S0)	0/0	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	0 (S0)	0/0	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	0 (S0)	0/0	0
8 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	0 (S0)	1/0	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	0 (S0)	1/0	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	0 (S0)	0/0	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	0 (S0)	0/0	0
24 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	1 (S1)	1/1	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	2 (S2)	2/2	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	1 (S1)	0/0	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	0 (S0)	0/0	0
48 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5 % ZP10	3 (S2)	1/2	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	3 (S2)	2/2	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	0 (S1)	0/1	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	0 (S1)	0/1	0
72 h expozice v korozní komoře			
Vzorek 1 – 3-5% ZP10	4 (S2)	2/2	0
Vzorek 1 – 6-9% ZP10	4 (S2)	2/2	0
Vzorek 2 – 3-5% ZP10	2 (S2)	0/1	0
Vzorek 2 – 6-9% ZP10	2(S2)	0/0	0

8.4.6 Výsledné vyhodnocení degradace nátěrů

Válcovaná trubka a plech Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 po 72 hod. expozice v korozní komoře dle ČSN EN ISO 4628 (vzorky bez řezu a s řezem). Aplikace – štětcem a pneumatickým stříkáním.

Po 72 hodinách expozice v korozní komoře byly vyhodnoceny zkoumané vzorky. Nejlepších výsledků vykazoval Vzorek 2- Standard s nátěrovým systémem v obsahovém poměru 3-5% a 6-9% ZP10. Dosažené hodnoty jsou uvedeny viz tab.32.

Tab.32: Vyhodnocení degradace nátěru plechu Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10 po 72 hod.expozice v korozní komoře dle ČSN EN ISO 4628 (vzorky bez řezu a s řezem)

Vzorky bez řezu			Vzorky s řezem	
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň puchýřkování v okolí řezu	Delaminace/koroze
72 h expozice v korozní komoře - při aplikaci štětcem				
Vzorek 2-3-5% ZP10	1 (S1)	Ri1 (S1)	3 (S1)	2/1
Vzorek 2-6-9% ZP10	2 (S1)	Ri5 (S1)	3 (S3)	2/2
72 h expozice v korozní komoře - při aplikaci pneumatickým stříkáním				
Vzorek 2-3-5% ZP10	5 (S1)	Ri1 (S2)	2 (S2)	0/1
Vzorek 2-6-9% ZP10	5 (S2)	Ri1 (S2)	2 (S2)	0/0

- aplikace štětcem -bez řezu

Dle vizuálního hodnocení dosahoval nejlepších výsledků vzorek 2 - Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% ZP10. Vzorek vykazoval minimální stupeň puchýřkování a prorezavění.

- aplikace štětcem - s řezem

Dle vizuálního hodnocení dosahoval nejlepších výsledků vzorek 2 - Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% ZP10. Vzorek vykazoval minimální stupeň puchýřkování a prorezavění v okolí řezu.

- aplikace pneumatickým stříkáním -bez řezu

Dle vizuálního hodnocení dosahoval nejlepších výsledků vzorek 2 - Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% a 6-9% ZP10. Vzorek o obsahu 6-9% ZP10 vykazoval dle klasifikační stupnice menší stupeň prorezivění než vzorek o obsahu 3-5% ZP10.

- aplikace pneumatickým stříkáním - zkouška s řezem

Dle vizuálního hodnocení dosahoval nejlepších výsledků vzorek 2 - Standard s nátěrovým systémem o obsahu 3-5% ZP10. Korozní prorezivění v okolí řezu bylo minimální.

9. Závěr

Diplomová práce se zabývá studiem transparentních nanopovlaků pro aplikaci nátěrového systému na ocelový substrát. Je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části jsou popsány základní informace k hodnocení povrchu materiálů, vlastnosti organických povlaků, vlastnosti pigmentů v mikro a nanorozměrech a vědní obor nanotechnologie.

Praktická část byla zaměřena na laboratorní testování nanopovlaků aplikovaných na ocelový substrát s vyhodnocením jejich korozní odolnosti. K danému účelu byly poskytnuty dva druhy vzorků, vzorek 1 - válcovaná trubka a vzorek 2 – plech Standard. Vzorky Standard byly dodány s definovanou povrchovou úpravou a drsností, používané pro laboratorní zkoušky a pro vývoj nátěrových hmot. Vzorky válcované trubky byly po válcování bez povrchové úpravy.

Jako nátěrový systém byl použit vodou ředitelný transparentní lak na bázi alkydové pryskyřice s nízkým obsahem VOC látek, který byl obohacen pigmentem nanočástic v obsahovém poměru 3-5% a 6-9% ZP10. Nátěrový systém byl na povrchy jednotlivých vzorků aplikován štětcem a pneumatickým stříkáním na požadovanou tloušťku mokrého filmu 203 μm .

Bylo hodnoceno zaprášení povrchu prachovými částicemi dle normy ČSN ISO 8502-3. Z výsledků hodnocení zaprášení povrchu válcované trubky a plechu Standard viz tab.10 je patrné, že vzorek 2 - Standard nevykazoval známky ulpění zbytků prachových částic na ocelovém povrchu vzorku. Vzorek 1 - válcovaná trubka byla povrchově znečištěna.

Při hodnocení parametrů drsnosti dle normy ČSN EN ISO 4287 vykazoval povrch válcované trubky vyšší hodnoty drsnosti než u vzorků plechu Standard. Průměrná drsnost u vzorků válcovaných trub dosahovala hodnot $R_a = 5,84 \mu\text{m}$, $R_z = 30,15 \mu\text{m}$. Povrch plechu Standard dosahoval průměrné hodnoty drsností $R_a = 0,35 \mu\text{m}$, $R_z = 2,42 \mu\text{m}$. Drsnosti povrchu jednotlivých vzorků prokázaly, že nátěrový systém s vyšším obsahem nanočástic je vhodný pro drsnější povrchy, s nižším obsahem nanočástic pro menší drsnosti povrchu. Z pohledu spotřeby nátěrového systému bude tedy na vzorky válcované trubky potřeba větší množství nátěru, než na vzorky plechu Standard, protože je nutné docílit toho, aby se zakryly nejvyšší vrcholky nerovností na povrchu. Problémem může být i ta skutečnost, že nanočástice pigmentů se nemusí zcela uchytit na vrcholcích drsností

a zůstanou uchyceny v prohlubni vzhledem k fyzikálním jevům, které působí mezi nanočásticemi, pojivovou složkou a substrátem.

V další fázi práce proběhla aplikace nátěrového systému na povrch dodaných vzorků, následovalo vytvrzování nátěrového systému po dobu 6 hodin při teplotě 80°C a měření tloušťky suché vrstvy dle normy ČSN EN ISO 2808.

Z výsledků měření tloušťky suché vrstvy válcované trubky a plechu Standard při aplikaci nátěrové hmoty štětcem a pneumatickým stříkáním s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10 uvedené v tabulce 13 je patrné, že vzorek 2-Standard dosahoval lepších výsledků než vzorek 1 - válcovaná trubka. Nejlepší hodnoty bylo dosaženo u vzorku Standard při aplikaci nátěru pneumatickým stříkáním s obsahem pigmentu 6-9% ZP10. Výsledek této zkoušky byl ovlivněn důsledkem úpravy povrchu vzorku Standard a přilnavostí ochranných povlaků k danému povrchu.

Nátěrový systém na jednotlivých vzorcích byl dále podroben mřížkové zkoušce přilnavosti křížovým řezem dle normy ČSN ISO 16276-2.

Z výsledku mřížkové zkoušky přilnavosti nátěrového systému na vzorcích válcované trubky a plechu Standard způsobem aplikace nátěru štětcem a pneumatickým stříkáním s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10 viz tab.15 je patrné, že Vzorek 2 - Standard dosahuje mnohem lepších výsledků při aplikaci nátěrového systému štětcem s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10.

Při aplikaci pneumatickým stříkáním dosahoval Vzorek 2 - Standard s obsahem 3-5% ZP10 vyhovujících výsledků. Vzorek 1 – válcovaná trubka dosahovala při aplikaci nátěrového systému pneumatickým stříkáním s obsahem 6-9% ZP10 uspokojivých výsledků. Tato zkouška byla ovlivněna úpravou povrchu a přilnavostí ochranných povlaků k povrchu. Dle klasifikační stupnice vykazoval nátěr nanášený pneumatickým stříkáním při obsahu 3-5% ZP10 na vzorek válcovaná trubka stupně č.4 – poškození mřížky.

Z výsledku zkoušky křížovým řezem přilnavosti válcované trubky a plechu Standard způsobem nanášení štětcem a pneumatickým stříkáním s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10 viz tab.18 je patrné, že Vzorek 2 - Standard dosahuje mnohem lepších výsledků při aplikaci nátěrového systému štětcem s obsahem 3-5% ZP10 a při aplikaci pneumatickým stříkáním dosahoval Vzorek 2 - Standard s obsahem 3-5% a 6-9% ZP10 uspokojivých výsledků.

Dle klasifikační stupnice vykazoval nátěr nanášený pneumatickým stříkáním při obsahu 3-5% ZP10 na vzorek válcovaná trubka stupně č.3 – odlupy podél celé délky řezů.

Zhoršení přilnavosti nátěrového systému, ale i chemické složení povrchu podkladového materiálu hodnocené metodou SEM, může negativně ovlivnit korozní odolnost protikorozní ochrany. Vzhledem k tomu, že se nevyžaduje u válcovaných trub předúprava povrchu, lze předpokládat s nízkou přilnavostí nátěrového systému, což v konečném důsledku ovlivní životnost nátěru. Proces výroby válcované trubky ovlivnil zvýšené množství uhlíku v jejích povrchové vrstvě a dosáhl hodnoty 80%.

Hlavní část laboratorních zkoušek probíhala v korozní komoře dle normy ČSN EN ISO 9227 se solnou mlhou za vizuálního vyhodnocení odolnosti nátěrového systému v cyklu po 0, 8, 24, 48 a 72 hodinách. Doba ponechání vzorku v korozní komoře byla zvolena na základě požadavku pro krátkodobou korozní odolnost C5 a dobu simulující 3-6 měsíců ve skutečných podmínkách.

Při vyhodnocování degradace nátěrů u vzorků bez řezu nám po 72 hodinách expozice v korozní komoře vykazoval nejlepší výsledky transparentní lak na bázi alkydové pryskyřice s příměsí 3-5% fosfátu zinku ZP10 aplikovaný štětcem a pneumatickým stříkáním na vzorek 2 – Standard.

Při vyhodnocování degradace nátěrů u vzorků s řezem jsme také dospěli k výsledkům, že vzorek 2 – plech Standard s aplikací nátěru pneumatickým stříkáním v obsahovém poměru 6-9% ZP10 má znatelně lepší korozní odolnosti než vzorek 1 – válcovaná trubka, který po 72 hod. expozice v korozní komoře vykazoval zvýšený stupeň prorezivění a puchýřkování v okolí řezu.

Všechny vzorky testované v solné komoře vykazovaly uspokojivé výsledky. Vizuální změny nátěrového systému aplikované štětcem a pneumatickým stříkáním u vzorků válcovaných trub se projevily v mezi 24-48 hod. testovací expozice.

Výsledky zkoušek prověřily kvalitu nátěrového systému na dvou rozdílných vzorcích povrchů materiálů a je možno konstatovat, že dodané nátěrové systémy, které byly obohacené pigmentem nanočástic v obsahovém poměru 3-5% ZP10 jsou schopny na základě dalších experimentálních vyhodnocení poskytovat krátkodobou protikorozní ochranu v korozním prostředí C5 po dobu 3-6 měsíců.

10. Seznam použité literatury

- [1] MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2000. 156 s. ISBN 80-7078-953-0.
- [2] Tichá, Š.: *Strojírenská metrologie – část I*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008. 79 s. ISBN 978-80-248-0671-6.
- [3] ČSN EN ISO 12944-2 (03 8241). *Nátěrové hmoty – protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. 1998.
- [4] Šimůnková, E.: *Pigmenty*. Praha. 1999, ISBN 80-902668-1-9.
- [5] Šimůnková, E.: *Pigmenty, barviva a metody jejich identifikace*. VŠCHT Praha. 1993, ISBN 80-7080-194-8.
- [6] Nykl, A.: *Studium vlivu vstupních surovin na vlastnosti nátěrových povlaků*. Ostrava 2009, 57 s. Bakalářská práce na VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechanické technologie, vedoucí bakalářské práce Podjuklová J.
- [7] Podjuklová, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 1994. 76 s. ISBN 80-7078-235-8.
- [8] Kubátová, H.: *Nátěry kovů*. Praha: Grada Publishing, spol. s.r.o., 2000. 104 s. ISBN 80-247-9035-1.
- [9] Bumbálek, B.; Odvody, V.; Ošřádal, B.: *Drsnost povrchu*. SNTL 1989.
- [10] MOHYLA, Miroslav.: *Technologie povrchových úprav kovů*. 3.vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [11] DOBROVODSKÁ, L., PODJUKLOVÁ, J., HRABOVSKÁ, K., LANÍK, T., PELIKÁNOVÁ, K., MENŠIKOV, V. V.: *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků*. 1. ročník konference s mezinárodní účastí Nanocon 2009. Rožnov pod Radhoštěm, říjen 2009, č. př. 89, ISBN 978-80-87294-12-3.
- [12] Söhnel, O.: *Průmyslové technologie III*. Ústí nad Labem 1999: Fakulta životního prostředí UJEP. 80-7044-278-6.
- [13] Barabaszová, K.: *NANOTECHNOLOGIE A NANOMATERIÁLY*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita. ISBN 80-248-1210-X.
- [14] Drozdová, V.: *Studium povlaků s obsahem částic malých rozměrů*. Ostrava 2010, 84 s. Diplomová práce na VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechanické technologie, vedoucí diplomové práce Podjuklová J.
- [15] Čerpáno z vědecko – výzkumné práce „*Rozpracování ekologických procesu přípravy povrchu kovových výrobku k aplikaci nátěru*“ autora K. G. Bogoslovského, NII LKP Chřkovo, Ruská federace, 2008, 48 str.
- [16] KRAUS, V.: *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. 174 s. ISBN 80-7082-668-1.
- [17] POLEDNO, M.; KALEDOVÁ, A.: *Antikorozní pigmenty pro ekologické nátěrové hmoty*. CHEMAGAZÍN. 2002, XII, 3, s. 10-12. ISSN 1210-7409.
- [18] ČSN ISO 8502-3 : *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a*

- obdobných výrobků – zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání.* Praha : Český normalizační institut, Srpen 1999. 12 s.
- [19] ČSN EN ISO 4287 :*Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – struktura povrchu: Profilová metoda – termíny, definice a parametry struktury povrchu.* Praha : Český normalizační institut, Březen 1999. 22 s.
- [20] ČSN EN ISO 2808 :*Nátěrové hmoty – stanovení tloušťky nátěru.* Praha : Český normalizační institut, Říjen 2007. 40 s.
- [21] ČSN EN ISO 2409 : *Nátěrové hmoty – mřížková zkouška.* Praha : Český normalizační institut, Říjen 2007. 16 s.
- [22] ČSN EN ISO 16276-2 : *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – hodnocení a kritéria přijetí adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část2: Mřížková zkouška a křížový řez.* Praha : Český normalizační institut, Leden 2008. 16 s.
- [23] PODJUKLOVÁ, J. *Komplexní systém krátkodobé a dlouhodobé antikorozi ochrany materiálů hutní produkce.* Ostrava, 2010. 89 s. Průběžná zpráva projektu ME 08083 za rok 2009 NANO - 07. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie 345, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba.
- [24] ČSN EN ISO 9227 : *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – zkoušky solnou mlhou.* Praha : Český normalizační institut, Březen 2007. 24 s.
- [25] ČSN EN ISO 4628-1: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 1: Obecný úvod a systém klasifikace.* Praha : Český normalizační institut, Duben 2004. 7 s.
- [26] ČSN EN ISO 4628-2: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování.* Praha : Český normalizační institut, Duben 2004. 15 s.
- [27] ČSN EN ISO 4628-3: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prorezavění.* Praha : Český normalizační institut, Duben 2004. 19 s.
- [28] ČSN EN ISO 4628-8: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu.* Praha : Český normalizační institut, Listopad 2005. 11 s.

WEBOVÉ STRÁNKY NA INTERNETU:

- [29] *Povrchy povlaků* [online].[cit.2009-20-10]. Dostupné na WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/povrchy%20povlaku.pdf>.
- [30] *Idda* [online].[cit.2011-18-4]. Dostupné na WWW: <<http://www.idda.cz/oceloved.htm>>,
<http://www.idda.cz/drat.htm>>.
- [31] *Encyklopedie WIKIPEDIE – Adheze*. [online]. [cit 2011-18-4]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Adheze>>.
- [32] TOMKOVÁ, Blanka. *Vlastnosti kompozitů (mechanismy adheze)* [online]. Dostupné na WWW: http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20091014/03_Prednaska.pdf.
- [33] *Minerální pigmenty a barviva* [online].[cit.2009-20-10].Dostupné na WWW:
<http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/pigmenty_barviva.html>.
- [34] Košťáková, E.: *1. přednáška – Úvod do nanomateriálů a nanotechnologie*.21. 2. 2008, [citováno 18. 4. 2011].URL: <<http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nanotex/nanotex.htm>>.
- [35] *Oren*. [online].c2007, [cit.2011-18-4]. Dostupné na WWW:
<http://www.nanoren.cz/index.php?page=i_vyuziti>.
- [36] Čejka,J.: *Microsoft PowerPoint – 2008 NANO Škola.PPT* [online].[cit.2009-20-10].Dostupné na WWW: http://www.jh-inst.cas.cz/3nastroje/data/dokument/soubor/Cejka_lecturepresentation_LS2008.pdf.
- [37] *Airsoft pzrotechnika- Chemikálie a podobné – Oxid zinečnatý*. [online].[cit 2011-18-4]. Dostupné na WWW:<
<http://www.airsoftovapyrotechnika.estranky.cz/clanky/chemikalie-a-podobne/>>.
- [38] *Způsoby hodnocení materiálu z hlediska pórovitosti* [online].[cit.2009-20-10].Dostupné na WWW:
http://fmfi10.vsb.cz/635/dokumenty/pdf/materialy_pro_studenty/keramicke_materialy_cviceni.pdf>.
- [39] *Pigmenty* [online].[cit.2009-20-10]. Dostupné na WWW:
<<http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/barva/a/p.htm>>.

11. Seznam příloh

Příloha č. 1 – Materiálový list pigmentu ZP10

Příloha č. 2 – Fotodokumentace vzorků s nátěry po korozní zkoušce