

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

NÁTĚROVÉ HMOTY S VYŠŠÍMI UŽITNÝMI VLASTNOSTMI

Autor: Bc. Michal Zoubek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Akademický rok: 2014/2015

ČVUT v Praze, Fakulta strojí

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Bc. Michala ZOUBKA

Program: Strojní inženýrství

Obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Název: Nátěrové hmoty s vyššími užitnými vlastnostmi

Název anglicky: Coatings with enhanced properties

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky technologie nátěrových hmot
2. Vliv disperzace na vlastnosti nátěrových hmot
3. Porovnání vlastností nátěrových hmot s vyššími užitnými vlastnostmi
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Konzultant: prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 10. 4. 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 19. 6. 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

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

Zadání diplomové práce převzal dne: 27. 4. 2015

Loubek

Student

Kudláček

Vedoucí ústavu



u Růžičky

Děkan

V Praze

dne 8. 4. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci „Nátěrové hmoty s vyššími užitnými vlastnostmi“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím podkladů a informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu citované literatury na konci práce.

V Praze dne 19. června 2015

.....
Bc. Michal Zoubek

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za cenné rady a konzultace při řešení praktické části této práce. Dále bych rád poděkoval konzultantovi prof. Ing. Tomášovi Jiroutovi, Ph.D. za umožnění přípravy kompozitních nátěrových hmot na zařízeních Ústavu procesní a zpracovatelské techniky ČVUT v Praze a za jeho odborné informace a poznatky v oblasti procesu míchání suspenzí.

Tato práce byla vypracována na základě podpory projektu SGS13/187/OHK2/3T/12 „Výzkum a vývoj v oblasti progresivních strojírenských technologií“ a dále za podpory centra kompetence CVPU (Centrum výzkumu povrchových úprav).

Nátěrové hmoty s vyššími užitnými vlastnostmi

ANOTACE

Cílem této diplomové práce je stanovení vhodné metody dispergace částic plniva nátěrových hmot na bázi epoxidové pryskyřice se specifickými funkčními vlastnostmi povlaku (odolnost proti opotřebení, elektrická vodivost) a vytvoření elektricky vodivého (antistatického) povlaku na bázi vodou ředitelné nátěrové hmoty. V prvním případě byly porovnávány metody dispergace ultrazvukovým homogénizátorem, zubovým míchadlem a míchadlem rotor – stator při různých parametrech nastavení těchto procesů. V rámci práce byly výsledné povlaky podrobeny celé řadě zkoušek ke stanovení jejich funkčních a ochranných vlastností. V případě nátěrové hmoty se zvýšenou odolností proti opotřebení bylo jako plniva použito vícečetných uhlíkových nanotub, v druhém případě pro zvýšení elektrické vodivosti byly použity mikročástice grafitu. V případě povlaku se zvýšenou elektrickou vodivostí na bázi vodou ředitelné nátěrové hmoty bylo jako plniva použito vícečetných uhlíkových nanotub a grafitu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nátěrová hmota, otěruvzdornost, elektrická vodivost, dispergace, MWCNT, grafit.

Coatings with enhanced properties

ANNOTATION

The aim of this thesis is to determine the appropriate dispersing method of a filler in epoxy resin based coatings with specific functional properties (wear resistance, electrical conductivity) and a creation of an electrically conductive (antistatic) coating based on water-based coatings. In the first case there are compared methods of dispersion by an ultrasonic homogenizer, by a toothed stirrer and by a rotor – stator stirrer when setting various parameters of these processes. Within the work final coatings were subjected to a variety of tests to determine their functional and protective properties. In the case of coatings with an increased wear resistance there were used multiwall carbon nanotubes as a filler, in the second case to increase the electrical conductivity there were used microparticles of graphite. In the coatings with the increased electrical conductivity based on water-based coatings there were used multiwall carbon nanotubes and graphite as fillers.

KEYWORDS

Coating, Wear Resistance, Eletrical Conductivity, Dispergation, MWCNT, Graphite,

Obsah

1	Úvod	10
2	Nátěrové hmoty	11
2.1	Nátěrové systémy	12
2.2	Protikoroziční ochrana	13
2.2.1	Mechanismy koroze	13
2.2.2	Typy korozního napadení	15
2.2.3	Korozní prostředí	17
2.2.4	Klasifikace korozní agresivity	19
2.2.5	Namáhání vlivem prostředí	22
2.3	Složení nátěrových hmot	23
2.3.1	Filmotvorné složky	23
2.3.2	Pigmenty	23
2.3.3	Plniva	25
2.3.4	Těkavé složky - ředidla	25
2.3.5	Ostatní přísady (aditiva)	26
2.4	Druhy nátěrových hmot	26
2.4.1	Dělení nátěrů dle ČSN EN ISO 12944:2007	28
2.5	Nejběžnější typy nátěrových hmot	29
2.5.1	Alkydové nátěrové hmoty	29
2.5.2	Epoxidové nátěrové hmoty	29
2.5.3	Chlorkaučukové nátěrové hmoty	30
2.5.4	Polyuretanové nátěrové hmoty	30
2.5.5	Vodou ředitelné nátěrové hmoty	31
2.5.6	Souhrn vlastností nejběžnějších typů nátěrových hmot	32
2.6	Mechanismy zasychání nátěrových hmot	33
2.7	Technologie nanášení nátěrových hmot	34
2.7.1	Ruční nanášení nátěrových hmot	34
2.7.2	Pneumatické stříkání	35
2.7.3	Vysokotlaké stříkání	37
2.8	Životnost organického povlaku	38
2.8.1	Konstrukční úpravy a předúprava povrchu	38
2.9	Vady a defekty	40
2.10	Zkoušení vlastností nátěrových hmot a organických povlaků	41
3	Progresivní nátěrové hmoty	42
3.1	Nanomateriály a organické nátěrové hmoty	42
3.2	Rozdělení nanoobjektů	43
3.2.1	0 dimenzionální nanoobjekty	43
3.2.2	1 dimenzionální nanoobjekty	43
3.2.3	2 dimenzionální nanoobjekty	44
3.3	Nanoplňiva a účel použití	44
3.3.1	Nanočástice stříbra	44
3.3.2	Uhlíkové nanomateriály	45
3.3.3	Nanočástice TiO ₂	47
3.3.4	Nanočástice ZnO	47

3.3.5	Nanočástice Al ₂ O ₃	47
3.3.6	Nanočástice TiN	47
3.3.7	Nanočástice Zn	48
3.3.8	Další typy nanokovů	48
3.4	Otěruvzdorné povlaky	48
3.5	Povlak se zvýšenou elektrickou vodivostí	49
4	Teorie míchání	50
4.1	Disperzní soustavy	50
4.1.1	Dispergace	51
4.2	Míchadla	51
4.3	Rotační míchadla	52
4.3.1	Pomaloběžná míchadla	53
4.3.2	Rychloběžná míchadla	53
4.4	Míchadla rotor - stator	54
4.5	Ultrazvukový homogenizátor	54
5	Experimentální část	55
5.1	Příprava vzorků	56
5.2	Charakteristiky použitých produktů	56
5.2.1	LV EPS 620	57
5.2.2	LV BU 45 N	57
5.2.3	EPOCYL XCR 128-06	57
5.2.4	CP55	58
5.2.5	AQUACYL 0301	58
5.2.6	Grafit Fichema	59
5.3	Funkce jednotlivých složek otěrůzdorné nátěrové hmoty	59
5.4	Funkce jednotlivých složek antistatické nátěrové hmoty	59
5.5	Příprava nátěrových hmot	60
5.5.1	Epoxidové nátěrové hmoty	60
5.5.2	Vodou ředitelné nátěrové hmoty	61
5.6	Vliv dispergace na vlastnosti epoxidových nátěrových hmot s vyššími užitnými vlastnostmi	61
5.6.1	Značení jednotlivých vzorků	61
5.6.2	Metody dispergace – podstata experimentu	63
5.6.3	Dispergace zubovým míchadlem	63
5.6.4	Dispergace míchadlem rotor – stator	64
5.6.5	Dispergace ultrazvukovým homogenizátorem	64
5.6.6	Aplikace nátěrových hmot a vytvrzení povlaku	64
5.7	Zkoušky epoxidových nátěrových systémů	66
5.7.1	Vícekritériální hodnocení aplikačních a vzhledových vlastností	67
5.7.2	Zkouška přilnavosti povlaku	69
5.7.3	Stanovení zrcadlového lesku pod úhlem 60°	71
5.7.4	Zkouška ohybem na kónické trnu	72
5.7.5	Stanovení vnitřního elektrického odporu povlaku	73
5.7.6	Rozložení grafitu v povrchové vrstvě	74
5.7.7	Zkouška abrazivní odolnosti otěrůzdorných povlaků	75
5.7.10	Vyhodnocení vhodné metody dispergace	78
5.8	Antistatické vodou ředitelné nátěrové hmoty	81

5.8.1	Značení vzorků a povlaků.....	81
5.8.3	Způsob přípravy.....	82
5.8.4	Aplikace nátěrových hmot.....	83
5.8.5	Vytvrzení	83
5.8.6	Stanovení tloušťky povlaku.....	84
5.8.7	Vzhled povlaků.....	84
5.8.8	Vnitřní elektrický odpor povlaků.....	85
5.8.9	Zkouška přilnavosti povlaku.....	85
5.9	Technicko-ekonomické zhodnocení	87
6	Závěr.....	89
7	Seznam použitých zdrojů	90
8	Seznam obrázků.....	94
9	Seznam tabulek.....	96
10	Seznam grafů.....	98
12	Seznam použitých zkratk	99
13	Seznam jednotek	100
14	Přílohy.....	101

1 Úvod

Nátěrové hmoty s vyššími užitnými vlastnostmi v současné době představují vývojový trend plynoucí především z rozvoje nanotechnologií a nanomateriálů. Organické nátěrové hmoty představují nejstarší a nejběžnější druh povlaků, k jejichž hojnému využívání přispívá především výborná dostupnost, jednoduchost aplikace a vysoký ochranný účinek. Povlak, jenž je vytvořený pomocí nátěrové hmoty, propůjčuje výrobkům zcela specifické vlastnosti, jenž plynou především z povahy použitého plniva – pevných částic. Volbou vhodného plniva lze docílit kromě bariérové ochrany předmětu proti působení okolní atmosféry i zcela unikátních vlastností, mezi které lze zahrnout například: antibakteriální účinky, reflexní či termoindikační vlastnosti, samočistící schopnosti povlaku, zvýšenou ošetrivost, elektrickou vodivost, tepelnou odolnost a další. V rámci práce bylo použito právě pro zlepšení funkčních vlastností epoxidové a vodou ředitelné nátěrové hmoty vícevrstevných uhlíkových nanotub, jenž představují velmi perspektivní plnivo z řady nanomateriálů. Použitím těchto nanočástic došlo ke zvýšení ošetrivých a elektricky vodivých vlastností vytvořených povlaků. O spolehlivosti, životnosti, ale i o atraktivitě výrobku dnes velkou měrou rozhoduje právě její povrchová úprava, která díky použití progresivních technologií a materiálů může vykazovat doposud nevídané vlastnosti.

2 Nátěrové hmoty

Funkce ochrany povrchu předmětu organickými povlaky před nepříznivými vlivy okolního prostředí je založena především na bariérovém způsobu ochrany. Nátěrová hmota představuje prostředek, který slouží k vytvoření povlaku (nátěru), jenž ošetřenému povrchu propůjčuje své ochranné a funkční vlastnosti. Docent Kreibich ve skriptu Korozie a technologie povrchových úprav definuje nátěrovou hmotu následovně: „Nátěrovými hmotami nazýváme tekuté až pastovité hmoty, které jsou-li naneseny na povrch předmětu vytvářejí souvislý film.“ rovněž norma ČSN EN ISO 4618:2007 – Nátěrové hmoty – Termíny a definice dává jasnou představu o pojmu nátěrová hmota a jejím vztahu k tvorbě funkčního povlaku: „Nátěrová hmota je pigmentovaný materiál, určený k povlakování (natírání), který poté, co byl nanesen na podklad vytváří neprůhledný film, vyznačující se ochrannými, dekorativními nebo jinými vlastnostmi.“[3][8]

Organické povlaky lze vytvářet nejen pomocí tekutých nátěrových hmot, ale i formou práškových makromolekulárních látek, jenž umožňují vytvoření pryžového či plastového povlaku. Vzhledem k nízkým nárokům na aplikační technologii a dostatečným ochranným vlastnostem představují organické povlaky nejrozšířenější povrchovou úpravu konstrukcí a součástí.[1][3]

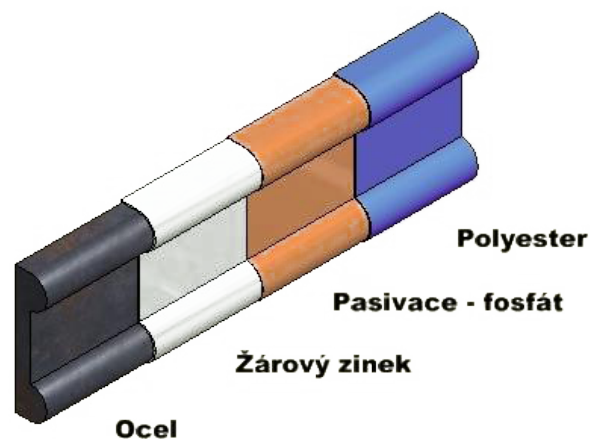
Požadované vlastnosti povlaku definují charakter a složení nátěrové hmoty. Tyto požadavky plynou jednak z materiálu povlakovaného předmětu, povahy prostředí (předmět je například vystaven abrazivnímu opotřebení), korozní agresivity prostředí (interiéry budov, chemické provozy, aj.) ve kterém se bude chráněný předmět nacházet, jeho požadované funkce a vlastností, ale i z požadavků koncového zákazníka (speciální funkce, struktura, atp.). Mezi požadavky na organické povlaky obecně patří korozní odolnost, odolnost proti povětrnostním vlivům, UV záření, chemikáliím či vzhledové požadavky (odstín, lesk, struktura). Požadavky, jenž jsou kladeny především na samotnou nátěrovou hmotu, mohou plynout například z hlediska ekologičnosti procesu, možností aplikační technologie, reologických vlastností, doby zpracovatelnosti a v neposlední řadě finanční dostupnosti.[19][5]

2.1 Nátěrové systémy

Jak již bylo uvedeno výše, nátěrová hmota představuje prostředek ke zhotovení nátěru. Nátěrový systém pak představuje soubor vlastností, definovaných charakterem použitých povlaků (anorganické, organické), jejich tloušťkou a počtem. Z této definice plyne rozdělení nátěrových systémů na:

- nátěrové systémy jednovrstvé,
- nátěrové systémy vícevrstvé,
- nátěrové systémy kombinované (duplexní).

Kombinovaný nátěrový systém představuje velmi účinnou povrchovou úpravu ocelových konstrukcí. Vzhledem k pórovitosti a propustnosti organických nátěrových hmot, jež s časem vlivem degradace narůstá, je chráněný předmět navíc opatřen anorganickým povlakem, jež představuje galvanickou ochranu povrchu součásti. Systém se tak skládá z několika vrstev (kovový povlak substrátu tvoří základní vrstvu), přičemž tloušťka a počet jednotlivých povlaků je odvozen od účelu použití konstrukce, požadované životnosti a agresivity prostředí, v němž se bude nacházet. V případě duplexního systému ošetření ocelové konstrukce (např. ocel S335), jsou jednotlivé povlaky řazeny následovně: ocelový substrát – zinkový povlak – pasivační vrstva – organický povlak. Z hlediska životnosti duplexního systému je běžně udávaná hodnota 1,5 až 2,3 násobku součtu životností jednotlivých vrstev.[6][7]



Obr. 1 - Duplexní systém [9]

2.2 Protikorozní ochrana

V předchozích odstavcích se několikrát objevila slova koroze, korozní prostředí a jeho agresivita. Při stanovení vhodné povrchové úpravy představují společně s materiálem chráněného předmětu výše uvedené pojmy výchozí kritéria pro povahu a parametry povlaku. Z tohoto důvodu se považuje za vhodné definovat toto názvosloví ve vztahu k navrhování povrchových úprav organickými povlaky.

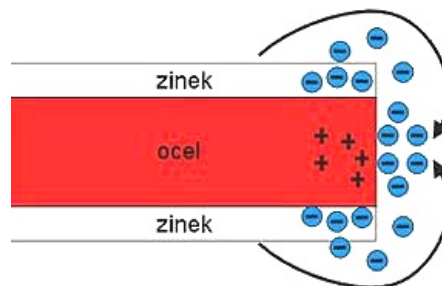
2.2.1 Mechanismy koroze

Koroze představuje nežádoucí samovolné, postupné a nezvratné znehodnocení materiálu vlivem fyzikálně – chemické nebo chemické interakce s prostředím. Samovolnost tohoto děje je dána snahou korozní soustavy (materiál x prostředí) o stav termodynamické rovnováhy. Z termodynamického hlediska je dosažení rovnovážného stavu soustavy doprovázeno růstem entropie, přičemž rovnováhy (zastavení samovolného děje) je dosaženo tehdy, dosáhne-li hodnota entropie maxima. Znehodnocení předmětu korozí představuje změna jeho fyzikálních a mechanických vlastností, úbytek materiálu vznikem korozních zplodin, narušení soudržnosti materiálové struktury a změna vzhledových vlastností. Základní rozdělení koroze je určeno podle mechanismu korozních dějů na korozi elektrochemickou a chemickou. [3][10]

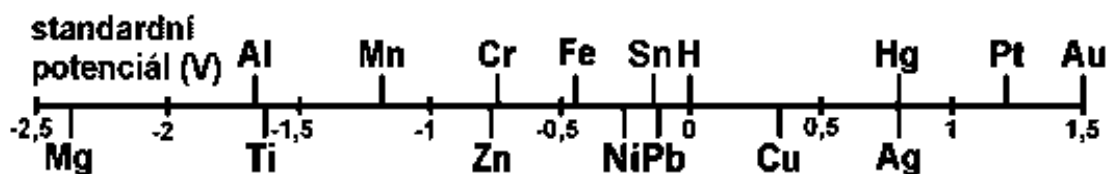
Chemická koroze probíhá v prostředích elektricky nevodivých, převážně plynných a za zvýšených teplot. Při styku plynu s kovem dochází k disociaci plynu na ionty, jenž absorbují na povrchu kovu a chemickou reakcí s kovem vytváří korozní produkty pokrývající povrch substrátu. Korozní napadení způsobují plyny s oxidačním charakterem, které vytvářejí reakcí s kovem na povrchu vrstvu iontových nebo valenčních korozních zplodin, a nebo redukčním charakterem, které většinou difundují do kovu a reagují s jeho nekovovými složkami. V případě oceli dochází k chemické korozi například při tepelném zpracování, korozní produkty zde představují okuje. [3][12][6]

Elektrochemická koroze představuje souhrn elektrochemických reakcí mezi kovem a prostředím, jenž je v tomto případě elektricky vodivé (elektrolyt). Mechanismus koroze v tomto prostředí je popsán pomocí galvanického korozního článku. Reakce mezi anodou a katodou v elektrolytu je oxidačně – redukční. Oxidační (anodová) reakce

představuje korozi kovu. Ionty kovu přechází z anody do elektrolytu, zatímco v kovu zůstávají elektrony. Toto elektrické rozvrstvení způsobuje vznik přitažlivých sil, a tím brždění průběhu koroze. Tento stav je označován jako polarizace. K dalšímu rozpouštění je třeba zrušit přitažlivé síly odstraněním elektronů na katodě (depolarizace). Katodová reakce spotřebovává elektrony, buď vybitím iontů vodíku (depolarizace vodíková), nebo redukcí kyslíku v elektrolytu (depolarizace kyslíková). Z dvojice kovů v galvanickém bimetalickém článku koroduje kov, který je anodou (dochází k oxidaci). Anodu z této dvojice představuje kov, který má pro dané prostředí (chemická povaha, teplota) nižší elektroodový potenciál. Elektroodový potenciál charakterizuje elektrochemickou ušlechtilost kovů, tj. jejich snahu přecházet do iontového (oxidovaného stavu) a uvolňovat elektrony. Všechny kovy lze seřadit podle elektrochemické ušlechtilosti do elektrochemické řady napětí (viz. obr. 3), kde je za nulu považován potenciál standardní vodíkové elektrody. Znalost mechanismů elektrochemické koroze je zcela zásadní pro navrhování povrchových úprav, a to jak z hlediska negativních dopadů koroze – vznik korozního makročlánku (např. šroubové spojení Cu – Fe), tak pozitivních jako například v případě povlakování oceli méně ušlechtilými kovy.[11][3][6]



Obr. 2 - Galvanický bimetalický článek Zn – Fe [16]



Obr. 3 - Elektrochemická řada napětí [17]

2.2.2 Typy korozního napadení

Dle povahy korozního prostředí bude chráněný předmět zatěžován nepříznivými vlivy tohoto prostředí jedním, případně kombinací obou mechanismů koroze uvedených výše. Projevy koroze tohoto předmětu budou záviset především na jeho materiálovém složení. Vzhledem k potřebě popisu projevů korozního napadení, odhalení jeho příčin a mechanismů existuje celá řada hledisek pro dělení koroze. Korozní napadení tak lze třídit například podle korozního systému, fyzikálních podmínek vzniku, vzhledu, korozních produktů, rozsahu poškození, druhu chemické reakce a celé řady dalších parametrů. Většinu technicky významných projevů koroze kovů lze charakterizovat pomocí dělení korozního napadení na korozi rovnoměrnou a nerovnoměrnou.[13]

Koroze rovnoměrná

Rovnoměrné korozní napadení je charakteristické stejnoměrným úbytkem kovu po celém povrchu. To umožňuje snadné stanovení rychlosti úbytku materiálu a tím i stanovení případné životnosti nechráněné konstrukce. Z hlediska spolehlivosti konstrukce představuje rovnoměrná koroze nejpříznivější typ korozního napadení.[3]

Koroze nerovnoměrná

Koroze nerovnoměrná probíhá intenzivněji pouze na určitých částech povrchu předmětu případně uvnitř předmětu vlivem rozdílného materiálové složení (např. lokální vměstky) či působení okolní atmosféry (např. teplotní gradient). K nerovnoměrné korozi může dojít také na rozhraní kapalného a plynného prostředí při rozdílné agresivitě jednotlivých skupenství daného prostředí. Vzhledem k možnosti korozního napadení, jenž není pouhým okem viditelné, představuje nerovnoměrná koroze značné nebezpečí z hlediska spolehlivosti a bezpečnosti konstrukce. Nerovnoměrné korozní napadení představuje například koroze důlková, bodová, laminární, mezikrystalová, transkrystalová a selektivní.[3]

V publikaci *Koroze a ochrana materiálu – druhy koroze*[13] doporučuje autor článek dělení koroze v elektrolytech v případě koroze nerovnoměrné na následujících osm druhů: koroze působením galvanických makročlánků, šterbinová, bodová, mezikrystalová, selektivní, erozní, prostředím vyvolané praskání a poškození vodíkem.

Důlková a bodová koroze

Důlková a bodová koroze se projevuje vznikem menších či větších důlků na povrchu kovu. K napadení dochází především u pasivovaných materiálů nebo při porušení ochranných povlaků. Koroze v tomto případě může zasahovat do značné hloubky pod povrchem. Rozlišení mezi bodovou a důlkovou korozí plyne z poměru průměru ku hloubce napadení, kdy v případě důlkové koroze je průměr důlků větší než jejich hloubka.[7][3]

Laminární koroze

Laminární koroze se vyskytuje především u vrstvených a válcovaných materiálů, kdy korozní napadení postupuje přednostně po hranicích jednotlivých vrstev, které se pak oddělují v šupinách.[7]

Mezikrystalová koroze

Mezikrystalová koroze je způsobena větší rychlostí koroze po hranách krystalů, než korozí vlastního krystalu. Napadením ztrácí materiál pevnost, houževnatost a může dojít k jeho rozpadu. Společně s korozí transkrystalovou představuje nejnebezpečnější formu korozního napadení, a to z důvodů velmi obtížné detekce.[3]

Transkrystalová koroze

Pokud dojde k přechodu korozního napadení z oblasti hranic krystalů na samotné krystaly, hovoří se o tzv. transkrystalové korozi.[3]

Selektivní koroze

Selektivní korozi je označováno korozní napadení vícesložkových slitinových kovů, kdy jedna ze složek je působením vnějšího prostředí přednostně napadena.[7]

Štěrbinová koroze

Ke vzniku štěrbinové koroze dochází vlivem rozdílné koncentrace elektrolytu ve štěrbině a mimo štěrbinu. Nejčastěji se vyskytuje u přírubových spojů, mezi dvěma plechy spojenými nýty, ve šroubových spojích, pod podložkami apod.[13]

2.2.3 Korozní prostředí

Jak již bylo uvedeno výše, lze korozi dělit například podle povahy prostředí. Tímto způsobem je korozní napadení materiálů děleno na korozi v elektricky vodivých a elektricky nevodivých prostředích (viz. kapitola 2.2.1). Podle druhu korozního prostředí lze dále korozi rozdělit například na korozi atmosférickou, půdní, ve vodě, v betonu atp. S přihlédnutím na specifikaci nátěrových hmot, jež jsou použity v praktické části této diplomové práce, považuji za vhodné popsat, jak jsou běžná korozní prostředí definována a jaké kladou nároky na ochranu ocelových konstrukcí.

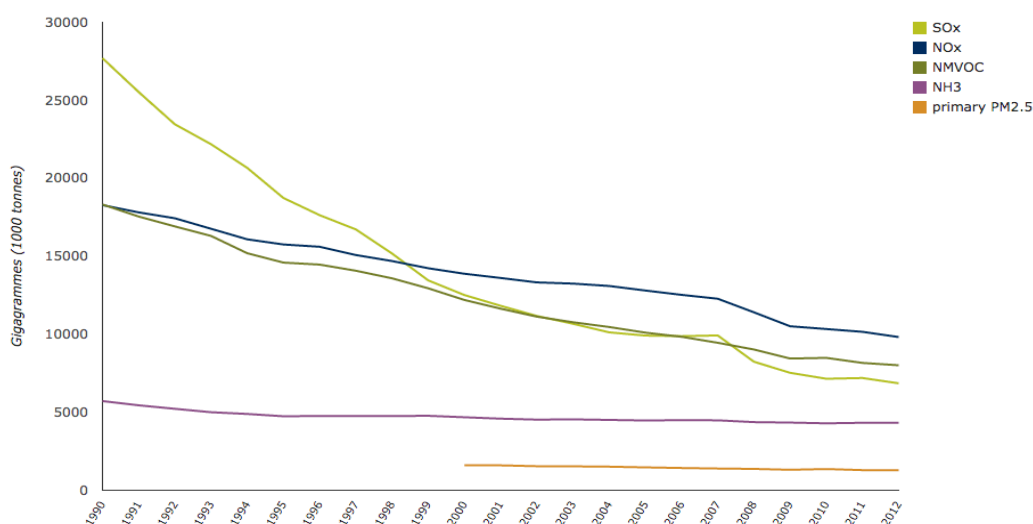
Atmosférická koroze

Atmosférické korozi je vystavena většina předmětů. Koroze v atmosféře ve většině případů vzniká na povrchu předmětu přítomností vrstvy elektrolytu (vlhkosti). Rychlost korozních procesů je závislá především na relativní vlhkosti a teplotě. Dále je třeba brát v úvahu další činitele, mezi které patří atmosférické srážky (a jejich chemické složení), chemické složení atmosféry (dané zeměpisnou polohou), sluneční záření a biologické činitele (působení mikroorganismů apod.). Během srážek dochází ke zvýšenému koroznímu napadení materiálu a následně během ovlhčení vzrůstá. Literatura [13] udává, že k výrazné korozi dochází při vzrůstu relativní vlhkosti nad 60 – 80% a teploty nad 0°C, naopak při teplotách nižších než 0°C se koroze prakticky zastavuje. Základní katodickou reakcí při atmosférické korozi kovů je redukce kyslíku. Na katodické reakci se v případě železa také může podílet redukce rzi (FeOOH) na magnetit, který je následně oxidován vzdušným kyslíkem zpět na rez.[14][3][13]

Atmosférická koroze představuje až 80% ztrát způsobených korozi. Korozní působení je, jak již bylo uvedeno, způsobeno přítomností vlhkosti. Působení atmosféry v dané lokalitě je popsáno tzv. dobou ovlhčení povrchu, jež představuje dobu, po kterou je vlhkost vzduchu nadkritická za teplot, při kterých dochází ke vzniku kapalného elektrolytu. Dle ČSN EN ISO 12944-2:2007 *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí*, představují tyto podmínky relativní vlhkost nad 80% současně za teploty vyšší jak 0°C. V České republice se doba ovlhčení pohybuje v rozmezí 3200 – 4000 hodin za rok.[15]

Z hlediska složení atmosféry je nutné přihlédnout k zeměpisné poloze zamýšleného působiště povrchově upraveného předmětu. Složky atmosféry zvyšující její korozní agresivitu představují především SO_2 , NaCl , CO_2 , O_3 , NO_2 , H_2S , NH_3 , Cl_2 a další. Vzhledem ke značnému zlepšení kvality ovzduší po roce 1989 v České republice a zavedení celé řady legislativních norem a opatření došlo obecně ke značnému snížení prvků škodlivin v atmosféře na území ČR. Vzhledem k exportnímu charakteru českého průmyslu je však nutné s vlivy těchto prvků a agresivity prostředí počítat a přizpůsobit tak vhodně povrchovou úpravu pro danou lokalitu (Indie, Čína aj.). V přímořských oblastech mají na agresivitu prostředí převažující vliv chloridy (chlorid sodný). V případě Evropské unie mají největší zastoupení v atmosféře oxidy dusíku (NO_x , především NO_2 a NO). Podíl jednotlivých prvků a jejich klesající podíl v atmosféře EU předkládá obrázek 5. Koroze kovů v atmosféře je dále ovlivňována obsahem složek jako je prach, jenž usnadňuje kondenzaci, částic solí, které mohou být hygroskopické či působit erozivně, a částic, jenž mohou tvořit galvanický článek urychlující korozi substrátu (viz. obr. 3).[3][14]

Běžné vnitřní prostory jsou z hlediska korozní agresivity atmosféry pro kovové materiály příznivější. Důvodem jsou především stabilní hodnoty teploty a vlhkosti. V uzavřených prostorách lze kovy chránit zvýšením teploty v daném prostoru (pokles relativní vlhkosti pod kritickou hodnotu) nebo odstraněním vlhkosti ze vzduchu (pohlčovače vlhkosti apod.).[14]



Obr. 4 - Graf průběhu emisního znečištění vzdušnými polutanty v EU (SO_x – oxidy síry, NO_x – oxidy dusíku, NMVOC – nemetanové těkavé organické sloučeniny, NH_3 – amoniak, primární jemné částice $\text{PM}_{2,5}$)[14]

Koroze v půdě

Půda jako korozní prostředí je tvořena fází tuhou, kapalnou a plynnou. Význam z hlediska koroze má především fáze kapalná, jež představuje vodný roztok elektrolytu s různým podílem rozpuštěného plynu. Dále koroze v půdě závisí na obsahu minerálních látek, jejich druhu a původu, přítomnosti organických látek a kyslíku. V důsledku rozdílné koncentrace kyslíku způsobené různým stupněm provzdušnění půdy se mohou tvořit korozní články. K hodnocení korozní agresivity půd se používá hodnota rezistivity (měrného odporu), jež jako kritérium slouží při volbě katodické ochrany obětovanou anodou. Hodnota rezistivity, kdy je půda považována za neagresivní, má hodnotu $> 100 \Omega \cdot m$. Vodivost půdy je závislá na druhu a vrstvení půdy, teplotě a vlhkosti.[7][18]

Koroze ve vodě

Při korozi ve vodě se jedná o mechanismus elektrochemické koroze, kde voda představuje vodný roztok elektrolytu. Významný vliv na průběh koroze má typ vody (sladká, mořská, minerální či brakická), množství a povaha rozpuštěných látek a obsah kyslíku a oxidu uhličitého. Dále může být koroze ve vodě urychlována působením mikroorganismů a porůstáním předmětu rostlinami.[7]

2.2.4 Klasifikace korozní agresivity

Korozní agresivitu definuje norma ČSN EN ISO 8044:2000 „Koroze kovů a slitin – slovník“ jako schopnost prostředí vyvolávat korozi v daném korozním systému. Při navrhování vhodné povrchové úpravy a výběru nátěrového systému je tedy nutné definovat činitele, jež budou na ošetřený předmět působit. Je třeba vhodně přiřadit korozní prostředí, ve kterém se bude předmět nacházet, ale i celou řadou specifických faktorů daného působiště, mezi které se řadí například:

- ovlhčení a teplota (provozní teplota, teplotní gradienty),
- UV záření,
- působení chemických látek (chemické provozy, sanita, chemický posyp aj.),
- mechanické opotřebení.

Z hlediska specifikace nároků na organické povlaky pro určitá prostředí jsou normou ČSN EN ISO 12944-2:2007 předkládány klasifikace vnějšího prostředí při atmosférické korozi a korozi ve vodě a půdě.

Korozní agresivita atmosféry

Vnější prostředí je normou ČSN EN ISO 12944-2:2007 klasifikováno šesti stupni korozní agresivity. Norma navíc předkládá informativní příklady typických představitelů těchto prostředí. Jednotlivé stupně představující korozní agresivitu atmosféry (a s ní spojený úbytek hmotnosti, tloušťky materiálu): C1 (velmi nízká), C2 (nízká), C3 (střední), C4 (vysoká), C5-I (velmi vysoká, průmyslová), C5-M (velmi vysoká, přímořská). Stupně korozní agresivity atmosféry a příklady typických prostředí tak, jak je definuje norma ISO 12944-2:2007 předkládá tabulka 1.[19]

Tabulka 1: Stupně korozní agresivity atmosféry dle ČSN EN ISO 12944-2:2007

Stupně korozní agresivity	Úbytky hmotnosti na jednotku plochy / úbytky tloušťky (pro první rok expozice)			
	Uhlíková ocel		Zinek	
	Úbytek hmotnosti g/m ²	Úbytek tloušťky μm	Úbytek hmotnosti g/m ²	Úbytek tloušťky μm
C1 velmi nízká	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1
C2 nízká	> 10 až 200	> 1,3 až 25	> 0,7 až 5	> 0,1 až 0,7
C3 střední	> 200 až 400	> 25 až 50	> 5 až 15	> 0,7 až 2,1
C4 vysoká	> 400 až 650	> 50 až 80	> 15 až 30	> 2,1 až 4,2
C5-I velmi vysoká (průmyslová)	> 650 až 1500	> 80 až 200	> 30 až 80	> 4,2 až 8,4
C5-M velmi vysoká (přímořská)	> 650 až 1500	> 80 až 200	> 30 až 80	> 4,2 až 8,4
Poznámky: 1. Hodnoty úbytků pro stupně korozní agresivity jsou identické s údaji ISO 9223. 2. V teplých přímořských prostředích a vlhkých zónách mohou úbytky hmotnosti nebo tloušťky překročit limity stupně C5-M; při volbě ochranných nátěrových systémů ocelových konstrukcí tedy musí být vzaty v úvahu speciální požadavky.				
Stupně korozní agresivity	Příklady typických prostředí			
	Venkovní		Vnitřní	
C1 velmi nízká			Vytápěné budovy s čistou atmosférou, např. kanceláře, obchody, školy, hotely	
C2 nízká	Atmosféry s nízkou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí		Nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci, např. sklady, sportovní haly	
C3 střední	Průmyslové a městské atmosféry s mírným znečištěním oxidem siřičitým ; přímořské prostředí s nízkou salinitou		Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, např. výroby potravin, prádelny, pivovary, mlékárny	
C4 vysoká	Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s mírnou salinitou		Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží	
C5-I velmi vysoká (průmyslová)	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou		Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší	

C5-M velmi vysoká (přímořská)	Přímořské prostředí s vysokou salinitou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a vysokým znečištěním ovzduší
-------------------------------------	---	---

Korozní agresivita vody a půdy

Norma ČSN EN ISO 12944-2 klasifikuje tři stupně prostředí dle agresivity v případě vody a půdy. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2.3, je v případě těchto prostředí značně obtížné definovat plošně korozní agresivitu. Vlivem rozdílného složení bývá v těchto prostředích koroze obvykle místní. Stupně korozní agresivity vody a půdy jsou uvedeny v tabulce 2.[19]

Tabulka 2: Kategorie korozních prostředí vody a půdy dle ČSN EN ISO 12944-2:2007

Stupeň	Prostředí	Příklady prostředí a konstrukcí
Im1	Sladká voda	Vodní stavby, vodní elektrárny
Im2	Mořská nebo poloslaná voda	Ocelové stavby v přístavech jako stavidla, výpusti, plavební komory, plovoucí plošiny
Im3	Půda	V zemi uložené nádrže, ocelové potrubí, ocelové piloty

V předchozí kapitole bylo uvedeno, že korozní agresivitu půdy lze stanovit také podle její rezistivity. Tabulka 3 uvádí střední hodnoty rezistivity půdy tak jak jsou uvedeny v normě ČSN 33 2005-5-54:2011 *Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné vodiče*.

Tabulka 3: Střední hodnoty rezistivity běžných druhů půd dle ČSN 33 2005-5-54:2011[20]

Druh zeminy	Rezistivita [$\Omega \cdot m$]
Rašelina	30
Ornice	100
Vlhký písek	200 až 300
Vlhký štěrk	300 až 500
Suchý písek nebo štěrk	1 000 až 3 000
Suchá kamenitá půda	3 000 až 10 000

2.2.5 Namáhání vlivem prostředí

Namáhání vlivem prostředí představuje negativní projevy způsobující namáhání konstrukce, související se zvýšenými nároky na odolnost povrchové úpravy. Jedná se především o působení[19]:

- **UV záření,**
- **chemikálií,**
- **mechanického namáhání**

V případě mechanického opotřebení v atmosféře se vyskytuje úběrové namáhání (eroze) pevnými částicemi zviřenými větrem. Mechanické namáhání ve vodě je způsobeno především pevnými předměty (kameny, naplaveniny apod.), abrazivním působením jemných částic (písek), působením vln apod. Velikost mechanického namáhání také závisí na síle hnacího média.

- **namáháním vlivem zvýšené nebo vysoké teploty,**

Za zvýšené teploty považuje norma ČSN EN ISO 12944:2007 takové, jenž se pohybují v rozmezí +60°C až +150°C, a za vysoké teploty ty, které se pohybují v rozmezí +150°C až +400°C.

- **bakterií, plísní, porosty rostlin.**

Ve většině případů reálných aplikací je povlakovaný předmět vystaven kombinaci výše uvedených namáhání.

2.3 Složení nátěrových hmot

Mezi základní složky nátěrového systému se řadí filmotvorné látky, pigmenty, plniva, těkavé složky (ředidla, rozpouštědla) a ostatní přísady (aditiva). Pigmentované nátěrové hmoty s krycí schopností jsou označovány jako barvy, naopak bezbarvé případně kolorované nekryvé nátěry se označují jako laky.

2.3.1 Filmotvorné složky

Filmotvorné složky tvořené pojivy a změkčovadly umožňují vznik tuhého souvislého filmu různé tloušťky. Jedná se o netěkavé anorganické látky, které mají svými vlastnostmi vliv na ochrannou účinnost a životnost nátěrového systému. Chemické vazby látek obsažených ve filmotvorné složce s okolním prostředím určují především odolnost nátěru. Přílnavost a další vlastnosti nátěru jsou ovlivněny chemickou a fyzikální povahou polární skupiny filmotvorných látek.[3][1]

Filmotvornou složku v nátěrových hmotách mohou představovat vysychavé oleje (lněný, tungový), přírodní pryskyřice (kalafuna, šelak, kopály), deriváty celulózy (nitrocelulóza, acetylcelulóza), deriváty kaučuku (chlorovaný, cyklizovaný kaučuk), asfalty (přírodní, ropné) či syntetické pryskyřice (alkalidy, epoxidy, vinylové polymery).[21][3]

Do skupiny filmotvorných látek jsou dále řazena změkčovadla, jenž sama o sobě nezasychají a nevytvářejí tuhý souvislý film. Rozpouštěním, nebo naopak nabobtnáváním filmotvorné složky změkčovadly dochází k modifikaci nátěru, a to především jeho křehkosti, tvrdosti, vláčnosti a pružnosti. Mezi změkčovadla patří například dibutylftalát, chlorovaný parafin a chlorovaný bifenylyl.[3]

2.3.2 Pigmenty

Pigmenty jsou rozdělovány podle jejich charakteru a chemické povahy. Jedná se o barevné prášky anorganického, organického nebo smíšeného původu nerozpustné v pojivech a rozpouštědlech. Pigmenty dodávají nátěrovým hmotám barevný odstín a ovlivňují jejich krycí schopnost neboli kryvost (schopnost nátěru zakrýt daný podklad).[3][1]

Dle funkce při ochraně předmětu proti korozi jsou pigmenty děleny do následujících tří skupin:

- inhibiční pigmenty (zpomalující korozi),
- stimulující pigmenty (urychlující průběh koroze),
- neutrální pigmenty (bez vlivu na průběh koroze).

V porovnání podle složení mají anorganické pigmenty oproti organickým (syntetickým) pigmentům větší odolnost proti působení chemikálií a povětrnostním vlivům. Ovšem vyznačují se vyšší hustotou, menší barvicí silou a menší čistotou odstínů.[1]

Anorganické bílé pigmenty[3]

Titanová běloba (TiO_2 – oxid titaničitý)

Jedná se o dominující bílý pigment z důvodů abnormální kryvosti, vyjasňovací schopnosti (barvivost) a odolnosti proti povětrnostním vlivům.

Zinková běloba (ZnO – oxid zinečnatý)

Zvyšuje tvrdost nátěrového filmu a trvalost lesku.

Litopon

Litopon představuje bílý prášek, směs sulfidu zinečnatého ZnS a síranu barnatého $BaSO_4$. Vzhledem k degradaci slunečním zářením je nevhodný pro užití do venkovních nátěrových hmot.

Anorganické pestré pigmenty[3]

Chromanové pigmenty

Chromové žlutě, oranže, červeně a zeleně, z důvodů toxicity těchto prvků bylo ustoupeno od jejich užívání.

Železité pigmenty

V současné době je z přírodních železitých pigmentů používán pouze okr, ostatní jsou získávány synteticky ze solí železa. Tyto pigmenty dobře odolávají atmosférickým vlivům, alkáliím (zásadám) a vyznačují se vysokou krycí schopností a barvivostí.

Mezi další anorganické pigmenty se řadí:

- grafit,
- saze,
- kovové bronzy,
- pigmenty ze slitin mědi,
- železitá slída.

Jak již bylo uvedeno, inhibiční pigmenty zpomalují průběh koroze. Jedná se tedy o samostatnou skupinu tzv. antikoročních pigmentů. Jde především o suřík (Pb_3O_4 – oxid olovnato-olovičitý), suboxid olova (Pb_2O) a zinkovou žluť (podvojná sůl chromanu zinečnatého a dichromanu draselného, jejíž složení lze zobrazit vzorcem $4\text{ZnO} \cdot 4\text{CrO}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), jenž na rozhraní kov – nátěr vytvářejí prostředí ve kterém je koroze kovu výrazně zpomalena. Vzhledem k toxicitě těchto pigmentů resp. sloučenin olova a šestimocného chromu bylo ustoupeno od jejich užívání, které je vázáno řadou omezení. Z tohoto důvodu byly vyvinuty různé netoxické antikoroční pigmenty, které se bohužel oproti svým předchůdcům vyznačují menší účinností ochrany povrchu, a tím i nutností aplikace větších tloušťek nátěru. Největšího uplatnění dosáhly typy na bázi fosforečnanu zinečnatého a kovový zinek (tzv. zinkový prášek), které jsou v současné době v EU řazeny do skupiny látek škodících životnímu prostředí.[1][22]

2.3.3 Plniva

Pro plniva platí v podstatě stejná kritéria jako pro pigmenty. Vyznačují se však podstatně nižším indexem lomu a nižší cenou. Proto kde je to technologicky možné, tvoří kostru nátěrových filmů. Pevnými částicemi ve formě plniva je podstatně zesilována struktura povlaku. V případě plniv je kladen vyšší důraz na jejich chemickou stálost, což dostatečně splňují chemické sloučeniny jako například síran barnatý, síran vápenatý, křemičitan hořečnatý (mastek), vápenec, dolomit, křída apod.[3][1]

2.3.4 Těkavé složky - ředidla

Ředidla jsou rozpouštědla nebo jejich směsi, které slouží k úpravě viskozity (tekutosti či konzistence) nátěrové hmoty. Naředěním nátěrové hmoty výrobcem doporučeným ředidlem (a poměrem ředění) dochází k vhodné úpravě viskozity pro danou technologii nanášení, a tím i dosažení lepších aplikačních a vzhledových vlastností.

Další přítomnost těchto látek v nátěru není žádoucí. V případě setrvání i nepatrných zbytků těkavých složek v nátěrovém filmu dochází k zhoršení jeho odolnosti, zejména v případě styku s agresivním kapalným prostředím.[3]

Rozpouštědla se volí podle rozpustnosti filmotvorných složek a v závislosti na rychlosti odpařování jsou dělena na lehká, střední a těžká. Nejběžněji používané jsou rozpouštěcí technické benziny (benzinové frakce), lakový benzin (ropná frakce), aromatické uhlovodíky (toluen, xylen), alkoholy (etylalkohol, butylalkohol), estery, (etylacetát, butylacetát), ketony (aceton), glykolétery a terpentýnové silice.[3][1]

Ředidla jsou rozpouštědla nebo jejich směsi, které slouží k úpravě viskozity (tekutosti či konzistence) nátěrové hmoty tak, aby byla umožněna její aplikace na povrch chráněného předmětu zvolenou technologií nanášení.[3]

2.3.5 Ostatní přísady (aditiva)

Vysoké požadavky kladené na vlastnosti nátěrových hmot způsobily užívání dalších pomocných látek označovaných jako přísady (aditiva). Aditiva tvoří přibližně jedno procento látek zastoupených v nátěrovém systému, avšak jejich účinek je podstatně významnější. Aditiva umožňují například rychlejší dispergaci pigmentů a jejich stabilizaci v nátěrové hmotě či zamezení jejího pění. Dále se aditiva zlepšuje rozliv, odolnost proti povětrnostním vlivům, napadení mikroorganismy a další.[1]

2.4 Druhy nátěrových hmot

Vzhledem ke značnému rozvoji chemického průmyslu a s ním i řadou změn v oblasti nátěrových hmot, prošla terminologie používaná v tomto odvětví řadou změn, a to především z nutnosti přizpůsobit se mezinárodním normám a odbouráním názvů používaných v příbuzných oborech. Jednotlivé pojmy a definice z oblasti nátěrových hmot uvádí v současnosti norma ČSN EN ISO 4618:2007 – Nátěrové hmoty – Termíny a definice.[1][8]

Obecně lze nátěrové hmoty dělit z celé řady hledisek, například podle:

Charakteristických vlastností

Podle charakteristických vlastností můžeme nátěrové hmoty rozdělit do dvou skupin na:

- laky – transparentní nátěrové hmoty vytvářející průsvitný až průhledný film,

- pigmentované nátěrové hmoty – jenž zpravidla tvoří neprůhledný film (emaly, barvy a tmely).

Účelu použití

V závislosti na účelu použití bývají nátěrové hmoty děleny na:

- vnitřní – které zpravidla neodolávají vlivům venkovní atmosféry (především slunečnímu záření),
- venkovní – poměrně odolné vůči působení slunečního záření a účinkům povětrnosti,
- speciální – které zahrnují skupinu nátěrových hmot vhodných pro ochranu před působením např. pohonných hmot, kyselin, alkálií, apod.

Pořadí v nátěrovém systému

Podle použití a pořadí při tvorbě nátěrového dělíme nátěrové hmoty na:

- napouštěcí (v případě aplikace na savé podklady),
- základní,
- vyrovnávací,
- podkladové,
- svrchní,
- maskovací.

Surovinové báze

Z hlediska dělení nátěrových hmot podle surovinové báze výrobku je určující pojivová složka. Takto lze jednotlivé nátěrové hmoty rozdělit například podle počátečního písmene, jenž udává pojivovou bázi (neplatí v případě lihových, vodou ředitelných a nátěrových hmot skupiny N, kdy je pro označení užitá těkavá látka) na:

- A – asfaltové nátěrové hmoty,
- B – polyesterové nátěrové hmoty,
- C – celulósovité nátěrové hmoty,
- E – práškové nátěrové hmoty,
- H – chlorkaučukové nátěrové hmoty,
- K – silikonové nátěrové hmoty,
- L – lihové nátěrové hmoty,

- N – nátěrové hmoty pro povrchovou úpravu plastů,
- S – syntetické nátěrové hmoty,
- U – polyuretanové nátěrové hmoty,
- V – vodové a emulzní nátěrové hmoty,
- P – pomocné přípravky.

Za písmenem udávané čtyřmístné číslo udává informace o druhu nátěrové hmoty:

- 1000 – fermeže a bezbarvé, popř. transparentně obarvené laky,
- 2000 – nátěrové hmoty pigmentované,
- 3000 – pasty,
- 4000 – nástřikové a vyrovnávací hmoty,
- 5000 – tmely,
- 6000 – ředidla,
- 7000 – sušidla, tvrdidla, katalyzátory,
- 8000 – pomocné přípravky,
- 9000 – pryskyřice.

Další číslice čtyřmístného čísla slouží jako pořadové.

Dále je možné dělení například podle mechanismu zasychání, fyzikálního stavu (disperze, roztok, emulze, prášek), obsahu sušiny či specifických vlastností (žáruvzdorné, antibakteriální, otěruvzdorné apod.) nátěrové hmoty (respektive povlaku).[3][1]

Běžné je značení nátěrových hmot dané výrobcem, popřípadě zvyklostmi dané země, ze které výrobce pochází. Pro identifikaci barevných odstínů v globálním měřítku se vžila především stupnice RAL. Vzorník barev RAL představuje čtyřmístné číselné označení jednotlivých barevných odstínů.[1]

2.4.1 Dělení nátěrů dle ČSN EN ISO 12944:2007

Jak již bylo uvedeno výše, lze nátěrové hmoty rozdělit dle celé řady kritérií. Norma ČSN EN ISO 12944 resp. část 5 *Ochranné nátěrové systémy*[23], klasifikuje nátěrové hmoty jako rozpouštědlové, vodou ředitelné nebo bezrozpouštědlové, jenž dále dělí podle způsobu zasychání a vytvrzování a dále do podskupin dle typu pojiva.

2.5 Nejběžnější typy nátěrových hmot

Běžný uživatel i technolog má dnes k dispozici nepřeberné množství nátěrových hmot. Při rozhodování o vhodnosti dané nátěrové hmoty mohou být brána v potaz různá kritéria, jako například aplikační možnosti, doba zasychání, potřeba ředění, obsah organických těkavých látek (VOC), či uživatelská náročnost (dvou a více složkové nátěrové hmoty). Níže jsou popsány charakteristiky nejběžnějších typů nátěrových hmot.

2.5.1 Alkydové nátěrové hmoty

Alkydové pryskyřice jsou syntetické polyesterové pryskyřice vznikající polykondenzační reakcí mastných kyselin nebo triglyceridů (olejů), polykyselin a vícesytných alkoholů. Vlastnosti alkydových nátěrových hmot závisí na množství a druhu modifikující složky. Modifikace se provádí přidáním jiného druhu pryskyřice (amonová pryskyřice, epoxidová pryskyřice, aj.), kyseliny či oleje. Používány jsou kyselina monokarboxylová, polykarboxylová, izofalová, z alkoholů glycerol, trimethylpropan, dále například styren, izokyanáty či polyamidy. Alkydové nátěrové hmoty představují jednu z nejrozšířenějších skupin rozpouštědlových nátěrových hmot. Alkydové pryskyřice jsou děleny podle podílu mastných kyselin či olejů na krátké alkydy (< 40 % hm.), střední alkydy (40 – 60 % hm.) a dlouhé alkydy (> 60 % hm.). Jednotliví výrobci nabízejí celou řadu produktů alkydových pryskyřic, mimo jiné i bezrozpouštědlové a vysokosušivé. Modifikované alkydové pryskyřice a alkydové nátěrové hmoty nacházejí uplatnění jako základní nátěry, protikorozní nátěry, impregnace, laky, atd.[24][25]

2.5.2 Epoxidové nátěrové hmoty

Epoxidové pryskyřice představují skupinu polymerů (reaktoplastů), které přecházejí z lineárního stavu do stavu zesíťovaného nevratnou chemickou reakcí po smísení s tvrdidly. Monomery sloužící pro výrobu epoxidových pryskyřic jsou nejčastěji bisfenol A (2,2-bis-p-hydroxyfenilpropan), dichlorhydrin a epichlorhydrin. Vytvrzování epoxidových pryskyřic představuje proces, kdy látky tvrdidla reagují s epoxidovými, či hydroxylovými skupinami přítomnými v pryskyřici a vytváří trojrozměrnou strukturní síť. Tvrdidla epoxidů lze rozdělit na polyadiční a polymerační dle toho, zda se při vytvrzování stávají nebo nestávají součástí sítě. Polyadiční tvrdidla jsou například polyaminy, polykyseliny, polysulfidy a polyfenoly. Jak je patrné, epoxidovou

nátěrovou hmotu je nutné před samotnou aplikací smísit s tvrdící složkou ve výrobcem stanoveném poměru. Při přípravě těchto nátěrových hmot je nutné dbát na dokonalé promíchání obou složek a při aplikaci na dobu její zpracovatelnosti. Epoxidové dvousložkové nátěrové hmoty nachází uplatnění v aplikacích protikorozní bariérové ochrany, základních nátěrů, podlahových nátěrů. Povlaky získávají požadované vlastnosti především volbou vhodného tužidla. Vynikají vysokou tvrdostí, přilnavostí a odolností alkáliím a vodě. Dále jsou epoxidové pryskyřice používány jako zalévací tmely, lepidla či matrice kompozitů.[26][10]

2.5.3 Chlorkaučukové nátěrové hmoty

Pro výrobu chlorkaučukových filmotvorných složek se používá přírodní kaučuk rozpuštěný v chloridu uhličitém. Vzniklé kopolymery vinylchloridu a vinyl acetátu se dále modifikují změkčovadly a pryskyřicemi ke zlepšení mechanických vlastností nátěrového filmu. Chlorkaučukové nátěrové hmoty vynikají zejména vysokou chemickou odolností. Z hlediska korozní odolnosti vykazují značnou pórovitost a nutnost většího počtu vrstev. Dále se chlorkaučukové nátěrové hmoty používají v kombinaci se zinkovým práškem, který jako plnivo slouží ke zvýšení protikorozní ochrany povlaku.[1]

2.5.4 Polyuretanové nátěrové hmoty

Polyuretanové nátěrové hmoty mohou být jednosložkové nebo dvousložkové. Polyuretany jsou polymerní látky, které vznikají polyadičními reakcemi vícefunkčních izokyanátů s látkami obsahujícími aktivní vodík. Tyto dvě reakční složky jsou pak spojeny uretanovou vazbou. Jednosložkové polyuretanové nátěrové hmoty se vytvrzují vzdušnou vlhkostí, kdy molekuly vody reagují s volnými izokyanátovými skupinami filmotvorné látky. Dvousložkové nátěrové hmoty obsahují v jedné složce pryskyřice s obsahem hydroxylových skupin, případně pigment, a ve druhé složce je obsažena polyizokyanátová pryskyřice (tužidlo). Obě složky se před zpracováním mísí v poměru daném výrobcem nátěrové hmoty. Povlaky z polyuretanových nátěrových hmot vykazují vysokou odolnost proti UV záření a chemikáliím.[27]

2.5.5 Vodou ředitelné nátěrové hmoty

Vodou ředitelné nátěrové hmoty zaznamenávají značný rozmach daný především snahou o snížení obsahu organických těkavých látek (VOC) v nátěrových hmotách a šetrností k životnímu prostředí. Voda v těchto nátěrech představuje médium, do kterého jsou rozptýleny částice polymeru. Jedná se tak o disperze případně emulze. Vzniku homogenního filmu je docíleno použitím vhodných aditiv. Proces vzniku povlaku zjednodušeně spočívá ve spojení jednotlivých částic polymeru vlivem odpařování vody a přítomnosti rozpouštědla. Částice se během odpařování vody přibližují a vlivem působení povrchového napětí a vnitřních sil deformují na mnohostěny. Homogenní nátěrový film tak vzniká několik dní. Mezi hlavní výhody vodou ředitelných nátěrových hmot patří nízký obsah VOC (< 5 %) a relativně krátká doba schnutí. Mezi nejpoužívanější disperze patří styren akrylátové, acetátové, alkydové, polyuretanové a epoxidové. S vodou ředitelnými nátěrovými hmotami je spojena problematika bleskové koroze (tj. vznik korozních skvrn po nanesení vodou ředitelné nátěrové hmoty na podklad ze železných kovů).[28][8]

2.5.6 Souhrn vlastností nejběžnějších typů nátěrových hmot

Tabulka 4 uvádí souhrn obecných vlastností a použití jednotlivých typů nátěrových hmot. Informace uvedené v tabulce jsou pouze informativního charakteru a vycházejí z normy ČSN EN ISO 12944-5:2007.

Tabulka 4: Základní vlastnosti a použití jednotlivých typů nátěrových hmot dle ČSN EN ISO 12 944[29]

Symboly pro vlastnost: ○ výborná ▲ dobrá ● nevyhovuje - není důležitá	Typy nátěrových hmot										
	Vinychloridové kopolymer	Chlorované kaučuky	Akryláty	Bitumeny	Alkydy	Polyestery, Vinylestery	Polyuretany, 2K-akryláty	Epoxidy	Zinksiilikáty	Epoxidehy	Vionidehy
Stálost lesku	▲	▲	○	●	▲	○●	○	●	-	●	●
Stálost barevného odstínu	▲	▲	○	●	▲	○●	○	●	-	-	-
Odolnost											
Trvalý/střídavý ponor	▲	▲	●	○	●	●	▲●	○	▲	○	○
Atm.srážky, kondenzace	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	○
Rozpouštědla-ponor	●	●	●	●	●	○▲	●	▲	○	●	●
Rozpouštědla-oplach	●	●	●	●	▲	○	○▲	○	○	●	●
Anorg.kyseliny	●	●	●	●	●	○▲	●	●	●	●	●
Anorg.kyseliny-oplach	▲	▲	▲	●	●	○▲	▲	▲	●	▲	●
Hydroxidy	●	●	●	●	●	▲●	●	○	●	▲	●
Hydroxidy-oplach	▲	▲	▲	▲	●	▲●	○	○	●	○	▲
Odolnost suché teplotě											
60 až 70 °C	▲	▲	○	▲	○	○	○	○	○	○	○
70 až 120 °C	●	●	○▲	●	▲	○	○	○	○	▲●	●
120 až 150 °C	●	●	●	●	●	○▲	▲	▲	○	●	●
> 150 °C	●	●	●	●	●	▲●	●	●	○	●	●
Odolnost vlhké teplotě											
35 až 40 °C	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	▲	▲
40 až 60 °C	●	●	●	●	●	○	○	○	○	▲	●
60 až 80 °C	●	●	●	●	●	○▲	▲	○▲	○▲	●	●
> 80 °C	●	●	●	●	●	▲●	●	▲●	▲●	●	●
Fyzikálně-mechanické vlastnosti											
Odolnost oděru	●	●	●	●	▲	○	▲	○	○	▲	●
Odolnost proti úderu	▲	▲	▲	▲	●	○	○	▲	●	○	▲
Pružnost	▲	▲	▲	▲	●	▲	○	○▲	●	▲	▲
Tvrдость	▲	▲	▲	▲	○	○	▲	○▲	○	▲	●
Způsob aplikace											
Štětce	▲	▲	▲	○	○	▲	▲	○	●	▲	▲
Váleček	●	●	●	○	○	▲	▲	▲	●	▲	▲
Vysokotlaké stříkání	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

2.6 Mechanizmy zasychání nátěrových hmot

Podle způsobu tvorby nátěrového filmu se nátěrové hmoty dělí na zasychající[21]:

Chemickými pochody

Tvorba nátěrového filmu je doprovázena chemickými pochody, při kterých dochází ke změně původních nízkomolekulárních látek na makromolekuly (například reakcí se vzdušným kyslíkem, polymerací apod.). Do této kategorie spadají například fermeže, olejové, epoxidové, polyuretanové a vypalovací nátěrové hmoty,

Fyzikálními pochody

V tomto případě probíhá zasychání odpařováním rozpouštědel nebo tuhnutím před aplikací roztavené hmoty. Typickými představiteli jsou nátěrové hmoty asfaltové, nitrocelulozové či lihové.

2.7 Technologie nanášení nátěrových hmot

V průmyslové praxi se lze setkat s celou řadou technologií nanášení nátěrových hmot. Vzhledem k rozdílné náročnosti na obsluhu, cenové dostupnosti, technickým požadavkům a možnostem jednotlivých technologií je důležité znát vhodnosti a výhody jejich použití. Značná část defektů a neuspokojivých provedení organických povlaků je zapříčiněna právě nesprávnou aplikací nátěrové hmoty a nedodržení technologické kázně. Mezi běžně užívané technologie aplikace nátěrových hmot se řadí nanášení štětcem, válečkem, stěrkou, aplikátory, pneumatické stříkání, vysokotlaké stříkání, máčení, polévání, válcování, elektrostatické nanášení, fluidní nanášení či elektrochemické nanášení.[1][3]

2.7.1 Ruční nanášení nátěrových hmot

Ruční nanášení nátěrových hmot představuje nejdostupnější technologii zhotovování organických povlaků. Do této kategorie jsou řazeny aplikace pomocí štětce, válečku, stěrek či pomocí speciálních aplikátorů.

Štětec, váleček

Nanášení štětcem vzhledem k nízké produktivitě práce je vhodné především v případě dílenských zpracování při opravách, montážích a při povlakování těžce přístupných míst konstrukce. Nanášení štětcem je dále užíváno v případě aplikací nátěrových hmot, jejichž povaha neumožňuje použití produktivnější aplikační techniky. Nátěrová hmota je ve svazku vláken štětce držena kapilárními silami a tahem štětce po ploše substrátu podtlakem roztírána. Samotná aplikace nátěrové hmoty by měla být prováděna tzv. do kříže, tj. nanesena na jedno namočení štětce v jednom směru a následně rozetřena ve směru druhém. Aplikace válečkem zvyšuje produktivitu práce oproti aplikaci štětcem až dvojnásobně. Nátěrová hmota je pohlcena potahovým materiálem válečku a přebytečné množství před aplikací setřeno pomocí stírací mřížky. Následná aplikace na plochu 1 m² se provádí například nanesením tří svislých pruhů v rozestupu dle velikosti válečku s následným roztíráním v obou úhlopříčných směrech, dokud nebude celá plocha rovnoměrně pokryta nátěrovou hmotou. Nanášení válečkem je nevhodné pro rychle schnoucí nátěrové hmoty.[3]

Stěrka

Pomocí stěrky lze aplikovat nátěrové hmoty na rovinné plochy. Nanášení pomocí stěrky se provádí především ve stavebnictví například při tvorbě podlahových systémů. Stěrka umožňuje rovnoměrné rozprostření nátěrové hmoty za předpokladu dostatečné předúpravy podkladu (odstranění hrubých nečistot, prachu a mastnoty).

Aplikátory

V oboru povrchových úprav se lze setkat s celou řadou aplikátorů pro rychlé nanášení nátěrové hmoty při zhotovování zkušebních vzorků či vyhodnocování rozlivu nátěrové hmoty. Aplikátory – nanášecí (natahovací) pravítka umožňují rovnoměrné nanášení nátěrové hmoty na rovinné plochy vzorku pomocí štěrbin o definované světlosti (μm), jenž určuje tloušťku aplikovaného filmu. Existuje celá řada konstrukcí nanášecích pravítek (např. spirálové, hranolové, válcové). Někteří výrobci nabízejí automatizovaná pravítka, případně pravítka s aplikátory. Válcové nanášecí pravítko Baker a princip tvorby nátěrového filmu tímto aplikátorem je patrný z obrázku 5.[30]



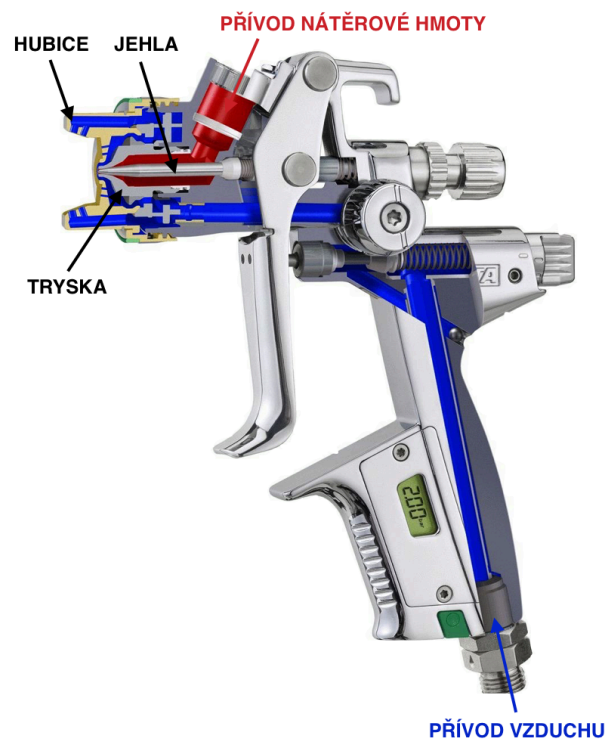
Obr. 5 - Nanášecí pravítko Baker (vlevo), jednotlivé velikosti štěrbin v μm (uprostřed), princip aplikace (vpravo)[30]

2.7.2 Pneumatické stříkání

Pneumatické (vzduchové) stříkání je pro zhotovování organických povlaků nejrozšířenější aplikací nátěrových hmot, a to především z důvodů cenové dostupnosti v kombinaci s vysokou produktivitou práce a dobrou kvalitou povrchu povlaku. Ruční proces aplikace je možné automatizovat, případně robotizovat. Princip technologie spočívá v nanášení nátěrové hmoty pomocí stlačeného vzduchu za použití stříkací pistole. Trysková soustava je tvořena hubicí, tryskou a jehlou (viz. obr. 6). Stlačený vzduch je veden tělem pistole a v závislosti na konstrukčním provedení pistole lze regulovat jeho tlak. Nátěrová hmota je přivedena do trysky pistole a po vysunutí trysky vytéká ven z pistole, kde je strhávána proudem vzduchu, jenž je vyveden v těsném okolí trysky. V závislosti na konstrukčním provedení plnění

pistole nátěrovou hmotou rozlišují výrobci stříkací pistole se svrchním (gravitačním) a spodním plněním. Regulaci tvaru stříkového paprsku obstarává přídavný vzduch, který je vyveden otvory na výstupcích hubice. Dynamickým účinkem přídavného vzduchu může mít stříkaný proud tvar od kulatého po eliptický plochý. Dávkování nátěrové hmoty je provedeno velikostí vysunutí jehly. Velikost tryskové sady a způsob plnění jsou hlavními parametry stříkacích pistolí. Tlak vzduchu při použití klasické metody se pohybuje v rozmezí 200 – 400 kPa. Nevýhodou technologie vzduchového stříkání jsou nároky na dodržení hygienických a ekologických aspektů provozu (účinné odsávání, filtrace a úprava vzduchu z prostoru stříkacích kabin), přestřík a nároky na čistotu pracoviště. V případě technologie vzduchového stříkání je třeba dbát na kvalitu stlačeného vzduchu (zbavení nečistot, mastnoty a vlhkosti) a platných legislativních předpisů a doporučení pro práci v lakovnách.[30][31]

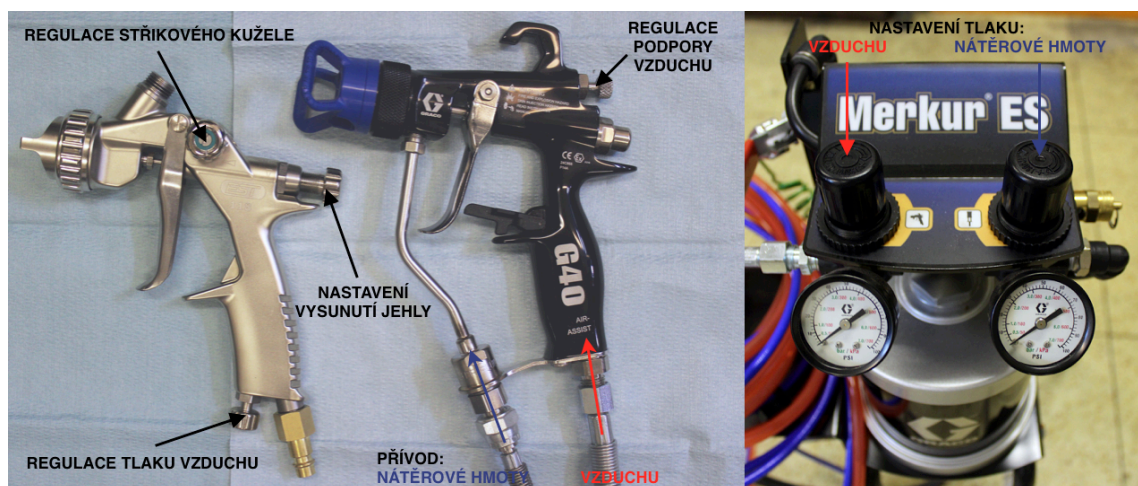
V současné době je nejefektivnějším způsobem aplikace vzduchovým stříkáním metoda HVLP (High Volume Low Pressure), která konstrukcí pistole umožňuje aplikaci nátěrové hmoty velkým objemem vzduchu za nízkého tlaku (< 70 kPa). Výsledkem je snížení velikosti přestříku a zvýšení efektivity procesu.[32]



Obr. 6 - Stříkací pistole HVLP a jednotlivé prvky tryskové soustavy (černě)[32]

2.7.3 Vysokotlaké stříkání

Vysokotlaké stříkání (též. bezvzduché, anglicky Airless) se od pneumatického liší ve způsobu podávání nátěrové hmoty do trysky provedeném tlakem na nátěrovou hmotu. Rozprašování je v tomto případě provedeno čistě mechanickým způsobem. Jednotka pro vysokotlaké stříkání se sestává z vysokotlakého pístového čerpadla poháněného stlačeným vzduchem. Jako hlavní parametr pro vysokotlaká zařízení je udáván převodový poměr vstupního tlaku vzduchu na výstupní tlak nátěrové hmoty (> 10 MPa). Mezi výhody vysokotlakého stříkání patří možnost nanášení vysoce viskózních nátěrových hmot, dále nanášení vícesložkových nátěrových hmot kontinuálním procesem, vysoká kvalita nástřiku, nižší přestřik a vysoká produktivita práce. Časté je i konstrukční řešení vysokotlaké pistole s podporou vzduchu, jenž umožňuje regulaci tvaru stříkového kužele.



Obr. 7 - Klasická vzduchová stříkací pistole EST+ 118 (vlevo), pistole Graco G40 pro vysokotlaké stříkání s podporou vzduchu (uprostřed) a zařízení pro vysokotlaké stříkání Graco MINIMERKUR ES 30:1 (vpravo)

2.8 Životnost organického povlaku

Životnost organického povlaku je závislá na celé řadě parametrů. Základním nedostatkem negativně ovlivňujícím životnost může být již samotné konstrukční provedení povlakované součásti či konstrukce. Další úskalí představuje výchozí stav povrchu a jeho předúprava, volba jednotlivých složek nátěrového systému a jejich aplikace včetně podmínek při aplikaci a následném vytvrzení. Kvalita výše uvedených činností se velmi výraznou měrou podílí na životnosti povrchové úpravy a její protikorozi ochrany. Norma ČSN EN ISO 12944-5:2007. *Nátěrové hmoty – Protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 5: Ochranné nátěrové systémy* považuje životnost za údaj, jenž má pomoci vlastníkovi zařízení sestavit plán jeho údržby, nikoliv za záruční dobu vymahatelnou po zhotoviteli povlaku. Norma dále klasifikuje životnost do tří pásem a předkládá informativní sestavení nátěrových systémů (včetně orientační doby jejich životnosti) vhodných pro aplikace v korozních prostředích definovaných v druhé části normy ČSN EN ISO 12944:2007. Jednotlivá období životnosti jsou touto normou definována jako nízká (2 až 5 let), střední (5 až 15 let) a vysoká (více jak 15 let).[23]

2.8.1 Konstrukční úpravy a předúprava povrchu

Konstrukční provedení výrobku by mělo být řešeno nejen z pevnostního hlediska a požadované funkce, ale i s přihlédnutím na dosažení teoretické životnosti nátěrového systému, zabezpečení jeho protikorozi ochrany, a tím i spolehlivosti celé konstrukce. Samotný tvar konstrukce, proces montáže a další vlivy (teplotní gradient, lokální působení abrazivních částic apod.) mohou být zdrojem vzniku korozního napadení. Konstruktor by měl návrhem především[19]:

- zajistit přístupnost ploch a jejich dosažitelnost,
- minimalizovat spáry případně volit vhodné utěsnění,
- zamezit zadržování vody a úsad,
- zaoblit ($r > 2\text{mm}$), případně zkosit hrany,
- vhodně upravit svarové plochy a svary,
- upravit vhodně výztuhy a prohlubně,
- vhodně volit materiálovou skladbu včetně spojovacího materiálu (nebezpečí vzniku korozního galvanického článku),
- optimalizovat konstrukci z hlediska manipulace, dopravy a montáže.

Výše uvedené konstrukční úpravy jsou definovány normou ČSN EN ISO 12944:2007 resp. částí 3 – *Navrhování*, zde jsou dále jednotlivé úpravy odůvodněny a vyobrazeny.

Norma ČSN EN ISO 12944:2007 dále popisuje jednotlivé metody předúpravy (přípravy) povrchu pro aplikaci nátěrových hmot. Způsob předúpravy a kvalita provedení má zcela zásadní vliv na přilnavost, kvalitu, životnost a funkční vlastnosti povlaku. Cílem předúpravy povrchu je odstranění okují, nečistot, rzi, mastnoty a dalších látek včetně modifikace povrchu za účelem zvýšení přilnavosti povlaku. Metod předúpravy povrchu existuje značné množství založených na způsobu, jenž jsou vhodně voleny v závislosti na materiálu povlakovaného předmětu, druhu povlaku, procesu tvorby povlaku, velikosti povlakovaného předmětu, dostupnosti technologie apod. Jednotlivé metody lze obecně rozdělit do kategorií na mechanické, chemické nebo elektrochemické. Možné způsoby předúpravy povrchu a jejich klasifikaci udává norma ČSN EN ISO 12944:2007 *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část. 4 – Typy povrchů podkladů a jejich příprava*.

2.9 Vady a defekty

Vad nátěru způsobených během procesu aplikace či vytvrzení a defektů povlaku v průběhu stárnutí existuje značné množství. ČSN EN ISO 4618, řada publikací (atlasy vad nátěrů), včetně poznatků výrobců nátěrových hmot vyobrazují a popisují nedostatky nátěrových filmů a možné příčiny jejich vzniku. Níže jsou uvedeny popisy některých vad a defektů.[8]

Dolepování

Vlastnost filmu vykazovat po normálním vytvrzování nebo vysušování lepivý povrch.

Krvácení

Difuze barviv z podkladu do povlaku a povlakem tak, že vytváří nežádoucí skvrny nebo zbarvení.

Slepení

Nežádoucí adheze mezi dvěma povrchy, z nichž alespoň jeden je opatřen povlakem při jejich kontaktu pod zatížením po uplynutí doby jejich zasychání.

Vykvétání

Vytváření úsad na povrchu filmu.

Zbělení

Vznik mléčného vzhledu během tvorby filmu v důsledku kondenzace vzdušné vlhkosti a nebo vylučování jedné nebo více pevných složek povlaku.

Křehkost

Rozpad filmu na drobné kousky jako důsledek ztráty pružnosti.

Bronzování

Změna barvy povrchu filmu odpovídající vzhledu zestárlého bronzu.

Zvedání

Měknutí, bobtnání a oddělování suchého filmu od podkladu způsobené nanesením další vrstvy povlaku nebo působením rozpouštědel.

Pomerančová kůra

Vzhled filmu připomínající strukturu pomerančové kůry.

Odlupování

Samovolné oddělování povlaku od podkladu.

2.10 Zkoušení vlastností nátěrových hmot a organických povlaků

Nátěrové hmoty a organické povlaky jsou testovány celou řadou zkušebních metod. Jedná se o metody zjišťování stavu nátěrové hmoty před samotnou aplikací (konzistence, doba zpracovatelnosti) a během aplikace (rozliv, stékavost, zasychání). V případě testování organických povlaků se jedná o stanovení mechanických vlastností povlaku (tloušťka, tvrdost, otěruvzdornost), optických vlastností (lesk, barevný odstín), specifických vlastností (elektrická vodivost), degradace a životnosti povlaku (korozní zkoušky). Níže předkládám soupis některých běžně používaných zkušebních metod a jejich identifikaci dle norem ČSN EN ISO.

Zkoušky nátěrových hmot

Zkouška povrchového zasychání	ČSN EN ISO 9117-3:2010
Zkouška zasychání do stavu bez otisku	ČSN EN ISO 9117-6:2012
Stanovení stavu proschnutí a doba proschnutí	ČSN EN ISO 9117-1:2009

Zkoušky nátěrů

Stanovení tloušťky povlaku – magnetická metoda	ČSN ISO 2178:1994
Stanovení tloušťky nátěru	ČSN EN ISO 2808:2007
Stanovení povrchové tvrdosti nátěru tužkami	ČSN EN ISO 13523-4:2001
Odtrhová zkouška přilnavosti	ČSN EN ISO 4624:2004
Mřížková zkouška	ČSN EN ISO 2409:2013
Stanovení zrcadlového lesku nátěru bez obsahu kovových pigmentů při úhlu 20°, 60° a 85°	ČSN EN ISO 2813:2015
Zkouška v solné mlze	ČSN EN ISO 9227:2006
Stanovení odolnosti proti kapalinám	ČSN EN ISO 2812-2:2013

Výše uvedený přehled je pouze informativní a nezahrnuje zdaleka veškeré zkušební metody v oboru povrchových úprav organickými nátěrovými hmotami.

3 Progresivní nátěrové hmoty

Rozvoj v oblasti nátěrových hmot a zvýšení jejich užitných vlastností úzce souvisí s rozvojem v oblasti nanotechnologií, především díky znalostím unikátních vlastností nanomateriálů a zefektivnění procesu jejich výroby. V současné době se použití nanotechnologií a nanomateriálu významně rozšiřuje do stále rostoucího počtu komerčních aplikací, zahrnujících prakticky všechny obory lidské činnosti.

3.1 Nanomateriály a organické nátěrové hmoty

Nátěrová hmota představuje kompozitní materiál a svojí povahou je vhodná k rozptýlení nanoobjektů do jejího objemu za účelem zvýšení korozní odolnosti, přilnavosti či získání unikátních vlastností povlaku (samočistící efekt, optické a reflexní vlastnosti, teplotní odolnost apod.). Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.3, má na užitné vlastnosti nátěrové hmoty vliv především volba pojiva a pevných částic pigmentů / plniv. Nanočástice jako plnivo nátěrových hmot znamenají přínos pro perspektivní využití nových nátěrových systémů, zvýšení jejich životnosti a užitných vlastností.

Doc. Ing. Jan Hošek Ph.D. ve skriptu Úvod do nanotechnologie[4] definuje nanomateriály následovně: „Za nanomateriály lze označit pouze takové materiály, systémy, jejich aplikace nebo způsoby tvorby, které splňují následující podmínky:

1. Mají alespoň jeden rozměr nebo svoji vnitřní strukturu v intervalu velikostí 1 – 100 nm (0,001 – 0,1 μm).
2. Využívají fyzikálních nebo chemických vlastností na úrovni atomů a molekul, takže mají neobvyklé charakteristiky v porovnání se stejným materiálem nebo systémem, který nemá složky s nanorozměry.
3. Mohou být kombinovány tak, aby vytvářely větší struktury s důsledky do makrosvěta.“

V praktické části této diplomové práce bylo cíleně použito vícestěnných uhlíkových nanotub – MWCNT (Multi Wall Carbon Nanotubes) ve dvou případech. V prvním případě byly MWCNT použity jako plnivo za účelem zvýšení ořezuvzdornosti nátěrové hmoty LV EPS 620 (Synpo a.s.) na bázi epoxidové pryskyřice a zkoumán vliv dispergace těchto částic na finální vlastnosti povlaku. Ve druhém případě bylo tohoto plniva použito k odsazení vodivých vlastností povlaku na bázi vodouředitelné nátěrové hmoty CP 55 (Viton s.r.o.)

3.2 Rozdělení nanoobjektů

Norma ČSN P CEN ISO/TS 27687:2008 Nanotechnologie – *Termíny a definice nanoobjektů* – *Nanočástice, nanovláknů a nanodeska* dělí nanoobjekty dle jejich charakteristického tvaru do třech skupin:

- 0 dimenzionální nanoobjekty (0D),
- 1 dimenzionální nanoobjekty (1D),
- 2 dimenzionální nanoobjekty (2D).

Toto rozdělení spočívá v počtu souřadnic, ve kterých nanoobjekty překračují interval „nano“ rozměru (1 – 100 nm), čímž se vzájemně liší jejich fyzikální vlastnosti, možnosti aplikace i následné využití.[4][33]

3.2.1 0 dimenzionální nanoobjekty

0 dimenzionální nanoobjekty obecně označované jako nanočástice dosahují nanorozměru ve všech třech souřadných osách. Do této kategorie lze dále řadit nanoobjekty typu:[4]

- vrstev, povlaků a objemů tvořených z nanokrystalů,
- porézních nanomateriálů a načpěn,
- kvantových teček.

3.2.2 1 dimenzionální nanoobjekty

1D nanoobjekty dosahují nanorozměru ve dvou souřadných osách. Mezi 1 dimenziální nanoobjekty se řadí:[4][34]

- nanovláknů (mající poměr délky k průměru v poměru min. 3:1),
- nanopásky (nanovláknů přibližně pravoúhlého tvaru mající poměr délky k rozměru průřezu 2:1),
- nanotyče (plná nanovláknů),
- nanotrubičky (dutá nanovláknů),
- nanodráty (elektricky vodivá nebo polovodivá nanovláknů),
- kvantové dráty (mající vlastnosti závislé na rozměrech drátu, které jsou dané kvantovým omezením),
- pilíře (nanotyče nebo nanotrubičky rostoucí kolmo k základně).

3.2.3 2 dimenzionální nanoobjekty

Jedná se o objekty mající nanorozměr pouze v jedné souřadné ose, obecně nazývané jako nanodesky. Do této kategorie spadají následující typy nanoobjektů:[4]

- tenké vrstvy (povlaky),
- deskovité nanokrystaly,
- kvantové jámy,
- nanostěny,
- rovinné makromolekuly.

3.3 Nanoplniva a účel použití

V oboru povrchových úprav se jedná především o nanoobjekty typu nanočástic, nanovláken nanotubic a nanotyčí. Používané jsou již nanomateriály s antibakteriálními a antivirovými účinky především TiO_2 , SiO_2 a stříbro. Další oblastí je sledování vlivu nanomateriálů na změnu funkčních a mechanických vlastností nátěrových systémů a to především zvýšení korozní odolnosti, otěruvzdornosti, přilnavosti k podkladu, změnu elektrické případně tepelné vodivosti aj. Vysokého uplatnění také dosáhly nanovrstvy a nanopovlaky vytvářené technologiemi fyzikální nebo chemické depozice pro pokovování například obráběcích nástrojů. Tyto povlaky (TiAlN , TiC , W , SiO_2 a další) vyznačující se extrémní tvrdostí, otěruvzdorností a výbornou tepelnou vodivostí zvyšují trvanlivost nástrojů a zlepšují jejich obráběcí schopnosti. Někteří zástupci nanoplniv a dopad jejich přítomnosti na vlastnosti povlaku jsou popsány níže.

3.3.1 Nanočástice stříbra

Aplikačně a komerčně nejrozšířenějším kovovým nanomateriálem je stříbro. Nanočástice stříbra které vykazují velmi dobré elektromagnetické vlastnosti vynikají především významnými antibakteriálními a antivirovými účinky, aniž by byly toxické pro makroskopické organismy. Nanostříbro vyráběno chemickým přístupem nachází uplatnění například v povrchových úpravách plastů, filtrů, mobilních telefonů nebo v antibakteriálních produktech ve formě sprejů a laků.[4][35]

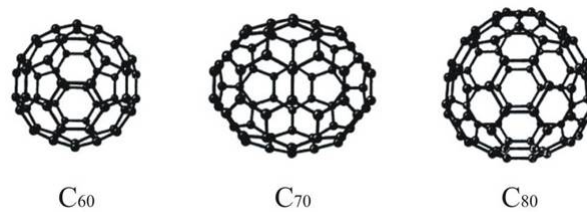
3.3.2 Uhlíkové nanomateriály

Diamant

Uhlíkové materiály vykazují velmi unikátní vlastnosti již v makroskopické podobě. Díky polymorfním vlastnostem jsou všeobecně známy dvě krystalové formy uhlíku – grafit a diamant. Nejdůležitějšími vlastnostmi uhlíku jsou vysoká teoretická pevnost (až 153 GPa), chemická stálost, tvrdost, ošetrivost, kluzné vlastnosti aj. Uhlíkové nanomateriály díky tomuto představují jedny z nejperspektivnějších typů nanomateriálů, jejichž uplatnění je právě závislé na formě uhlíku. Objevení fullerenu (molekuly přímých nebo cyklických uhlíkových struktur) dává možnost průmyslově vyrábět diamanty, a tedy i nanodiamanty. Pro výrobu nanočástic diamantu lze použít metodu chemické depozice CVD. Využití tyto nanočástice nacházejí v automobilových lacích, kde zvyšují odolnost proti poškrábání, dále jako plnivo pneumatik, nebo v podobě povlaků na obráběcích nástrojích, kluzných vedeních, a to za účelem snížení opotřebení, a tím zvýšení jejich životnosti. Vzhledem k výborným kluzným vlastnostem se vyskytují v aplikacích jako jsou strojní, motorové oleje, maziva apod.[4]

Fullereny

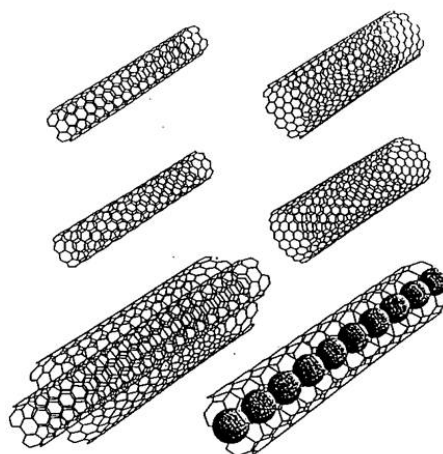
Fullereny představují obrovskou skupinu uhlíkových molekul prostorových tvarů začínajících uhlíkem C_{20} a s horní hranicí těžko definovatelnou, představující prostorově deformovaný grafénový list více či méně kulového tvaru. Pojmenování fullereny získaly na počest amerického architekta Buckminstera Fullera, který se proslavil stavbami kulových tvarů složených z pětiúhelníků a šestiúhelníků. Za objev fullerenu byl v roce 1996 oceněn Harold Kroton Nobelovou cenou za chemii. Nejvýznamnějším představitelem fullerenu je C_{60} mající nejstabilnější a nejsymetričtější tvar, vykazující celou řadu zajímavých vlastností jako například, mechanickou odolnost a snadnou reaktivitu s řadou molekul. Nejrozšířenější aplikací fullerenu je jejich použití jako materiálu pro výrobu syntetických diamantů a diamantových povlaků, solárních článků a LED diod.[4][11]



Obr. 8 - Fullereny C₆₀, C₇₀ a C₈₀ [38]

CNT a další nanoobjekty

Lineárním stočením grafémového listu do válcové trubice vznikají 1 dimenzionální nanočástice zvané uhlíkové nanotuby – CNT (Carbon Nano Tube). Podle počtu stěn trubice lze tyto nanotuby dále dělit na jednostěnné SWCNT (Single Wall CNT) označované též SWNT, dvojtěnné DWCNT (Dual Wall CNT) též DWNT a na vícestěnné MWCNT (Multi Wall CNT) nebo také MWNT. Nanotuby se vyznačují vlastnostmi, kterými překonávají všechny doposud známé materiály. Jde především o extrémní pevnost v tahu, vysokou tepelnou a elektrickou vodivost, tepelnou odolnost a vysokou mechanickou poddajnost. Nejvyšších pevností dosahují dvojtěnné nanotuby, přičemž s roztoucím počtem stěn pevnost klesá a postupně se přibližuje vlastnostem grafitu. Různé typy uhlíkových nanotub vykazují různé elektrické vlastnosti, kdy se některé chovají jako kovy a jiné jako polovodiče. Uhlíkové nanočástice tak nacházejí uplatnění především v elektrotechnice, v materiálovém inženýrství, biomedicinském inženýrství a dalších oborech.[1][33]



Obr. 9 - Různé typy nanotub [38]

3.3.3 Nanočástice TiO_2

Oxid titaničitý byl již zmiňován v kapitole pigmentů nátěrových hmot, kde se používá ve formě bílého prášku zvaném titanová běloba. Nanoobjekty TiO_2 ve formě nanočástic, nanotubic, nanodrátu a nanopovlaků jsou v oblasti nátěrových hmot používány především pro své fotoelektrochemické a hydrofilní vlastnosti (v případě ulpívající kapaliny na ošetřený povrch se vytváří souvislý průhledný film), které jsou vyvolány působením UV záření. Působením UV záření vznikají na povrchu volné aktivní radikály O^- , O_3^- , OH a řada dalších které atakují látky ulpívající na povrchu včetně bakterií a virů. Vzhledem ke své zdravotní nezávadnosti nachází uplatnění v potravinářském průmyslu, zdravotnictví, stavebnictví ale i v elektrotechnice (solární články, baterie).[4][33]

3.3.4 Nanočástice ZnO

ZnO – oxid zinečnatý je druhým nejpoužívanějším nanomateriálem ze skupiny oxidů. Jedná se o levnou sloučeninu vykazující podobné vlastnosti jako má oxid titaničitý. Vyznačuje se vysokou biokompatibilitou, polovodičovým chováním (polovodič typu n) a rovněž antibakteriálními účinky. Využití nachází v elektrotechnickém průmyslu, biomedicíně a materiálovém inženýrství a také v oboru povrchových úprav.[4]

3.3.5 Nanočástice Al_2O_3

Al_2O_3 oxid hlinitý, v makroskopickém měřítku znám také jako korund, tedy materiál s vysokou tvrdostí, chemickou, tepelnou a mechanickou odolností. V případě nanomateriálu Al_2O_3 tyto vlastnosti dosahují ještě vyšších hodnot. Nanočástice Al_2O_3 se používají jako aditivum do kapalin (zvýšení tepelné vodivosti) nebo jako abrazivo do leštících past.[4]

3.3.6 Nanočástice TiN

Vstvy TiN povlakované chemickými nebo fyzikálními metodami se používají především na řezných nástrojích, kde několikanásobně zvyšují odolnost proti opotřebení, a tím i jejich životnost.[36]

3.3.7 Nanočástice Zn

Nanoobjekty Zn použité jako plnidlo nátěrových hmot umožňují zvýšení korozní odolnosti pomocí funkce katodické ochrany. V kombinaci s nitridy v podobě dalších nanoobjektů může být dosaženo podstatně větší přilnavosti, oděruvzdornosti, teplotní odolnosti a chemické stálosti nátěrového systému.[37]

3.3.8 Další typy nanokovů

Mezi další zkoumané a používané typy kovových nanomateriálů patří především W, Ni, Pd, In, Mo, Ta ve formě nanočástic, nanotyčů, tenkých desek a nanovrstev. Díky vysoké chemické stabilitě těchto kovů nacházejí uplatnění především jako katalyzátory, materiály solárních a palivových článků, v elektrotechnice atd. Nanokovy Fe, Cu, Al, Co, Ti a další jsou používány v různých formách chemických látek především z důvodu vysoké chemické reaktivity s kyslíkem. Výsledkem jsou potom sloučeniny typu FeO, Fe₂O₃, CuO, CoO a další, o vysoké reaktivitě a schopnostech rozkládat nebezpečné látky. Bimetalické nanočástice jako například Fe/Pd, Fe/Pt, Fe/Ag, Fe/Co, Fe/Ni a další, které také vykazují chování galvanických nanočlánků, se hojně využívají pro dekontaminační procesy, při kterých dochází ke katalytickému rozkladu chemických látek.[4]

3.4 Otěruvzdorné povlaky

V rámci řešení projektu TA02010648 „Vývoj nových kompozitních povlaků na bázi 1D nanoobjektů“ na Ústavu strojírenské technologie ČVUT v Praze byly v posledních letech vyvíjeny nátěrové systémy na bázi epoxidové pryskyřice se zvýšenou odolností proti oděru. Cílem vývoje bylo stanovení vhodné matrice na bázi epoxidové pryskyřice, optimálního množství MWCNT, nalezení vhodného způsobu dispergace plniva, ověření funkčnosti a stanovení technologických postupů pro dosažení funkčních a vzhledových vlastností povlaku. Z celé řady experimentů byla vyhodnocena jako nejvhodnější matrice nátěrová hmota LV EPS 620, do které jsou zakomponovány vícestěnné uhlíkové nanotuby, o podílu 1 hm.%. Nanotuby jsou do systému přidávány ve formě koncentrované směsi EPOCYL XCR 128-06 na bázi bisfenolu A s obsahem 5 hm. % MWCNT belgického výrobce Nanocyl. Vyvinutý nátěrový systém vytváří na chráněném povrchu bariérovou ochranu proti koroznímu napadení a zároveň odolávat účinkům abraze a eroze. Další pozitivně ovlivněnou vlastností povlaku

je přilnavost k základnímu materiálu. Optimalizace procesu dispergace plniva a jeho vliv na funkční a vzhledové vlastnosti tohoto nátěrového systému je předmětem praktické části této diplomové práce.[39][40]

3.5 Povlak se zvýšenou elektrickou vodivostí

Nátěrové systémy se zvýšenou elektrickou vodivostí jsou vhodné díky antistatickým vlastnostem povlaku pro prostředí, ve kterých je potřeba na ošetřených plochách předmětu potlačit negativní důsledky tvorby elektrostatického náboje při zachování protikorozní ochrany. Jedná se především o negativní jevy, kterými je statická přitažlivost (akumulace prachu a nečistot na povrchu vlivem elektrického náboje) a statické vybíjení (elektrické výboje nastávající při vybíjení). Tvorba elektrostatického náboje například ve výbušných prostředích představuje značné riziko, jenž je třeba eliminovat. Jednou z forem eliminace tak představují antistatické nátěry, které jednak zamezují tvorbě náboje, ale umožňují i jeho odvedení. V případě antistatických úprav nátěrové hmoty se jedná o snížení elektrického odporu (rezistivity) nátěrového filmu jeho modifikací vhodnými plnidly. Antistatické nátěrové systémy se vyznačují schopností odvádět elektrostatický náboj z povrchu ošetřené součásti. Tohoto jevu je docíleno změnou měrného elektrického odporu povlaku na hodnotu $\leq 1 \cdot 10^6 \Omega$. [41]

V rámci řešení projektu TA02010648 „Vývoj nových kompozitních povlaků na bázi 1D nanoobjektů“ byla modifikována nátěrová hmota LV EPS 620 pomocí vodivých sazí CHEZACARB B (Unipetrol RPA) a částicemi grafitu FICHEMA (FICHEMA s.r.o.). Vhodnou dispergací těchto částic je dosaženo požadovaných antistatických vlastností při zachování korozní ochrany.[42] Vlivem dispergace na vlastnosti povlaku s příměsí grafit se zabývám v praktické části této práce.

Vynikající elektrickou vodivost vykazují uhlíkové nanočástice (viz. kap. 3.3.2). Vlivem MWCNT na vodivé vlastnosti povlaku vytvořeného za pomoci tímto plnivem modifikované vodou ředitelné nátěrové hmoty Viton CP55 (Viton s.r.o.) se zabývám v praktické části mé diplomové práce.

4 Teorie míchání

Pro vznik kompozitního povlaku dobrých mechanických, funkčních a ochranných vlastností má zásadní vliv dispergace funkčních částic do matrice, kterou v tomto případě představuje nátěrová hmota. Rovnoměrné rozptýlení pevných částic v matrici znamená předpoklad rovnoměrného rozložení těchto částic v povlaku a splnění funkčních požadavků celé ošetřené plochy. Dispergací za optimálních podmínek vhodným ústrojím lze dále vhodně modifikovat rozměr použitých mikročástic, případně překonat silové účinky nanočástic a odstranit nežádoucí shluky plniva. Naopak nedostatečné rozptýlení či nevhodný rozměr plniva (cca > 25 μm) může zcela znehodnotit finální produkt.

4.1 Disperzní soustavy

Disperzní soustava představuje systém složený nejméně ze dvou složek. Jedna ze složek představuje disperzní prostředí ve kterém je rozptýlena (dispergována) látka druhá v podobě malých částic (disperzum). Podle skupenství disperzního prostředí a dispergované látky jsou nazývány disperzní soustavy dle tabulky 5.[43][44]

Tabulka 5: Rozdělení disperzních soustav

Disperzní prostředí	Disperzum	Disperzní soustava
Plynné	plynné kapalné tuhé	aerodisperzní systém aerosol
Kapalné	plynné kapalné tuhé	pěna emulze kapalná suspenze lyosol
Tuhé	plynné kapalné tuhé	tuhá pěna tuhá emulze tuhý sol

4.1.1 Dispergace

Dispergace pevných pevných látek představuje v kapalném prostředí fyzikální proces, kde pevné částice a jejich shluky jsou rozptylovány pomocí procesů míchání v tekutině k dosažení homogenní suspenze. Proces míchání má v soustavě kapalina – pevná fáze vliv na přenos hmoty, vzhled pevných částic, začlenění plovoucích částic, dispergaci shluků částic a modifikaci rozměru částic smykovým třením. Na výslednou povahu suspenze má vliv cirkulace vsádky, způsob dodávání jednotlivých složek, jejich vlastnosti a velikost, geometrie nádoby, geometrie míchadla a parametry procesu (obvodová rychlost, teplota soustavy). Nutnou podmínkou pro vytvoření optimálních podmínek při míchání je velikost obvodové rychlosti míchadla. Obvodová rychlost míchadla musí být větší, než pádová rychlost částic. Velikost dispergovaných částic má vliv na kvalitu suspenze. U částic < 100 nm, je účinek gravitační síly na částic zanedbatelný a převládají koloidní síly mezi povrchy částic. V technické praxi se při tvorbě suspenzí – nátěrových hmot používají rychloběžná rotační míchadla, vibrující míchadla, pneumatická či hydraulická míchadla, zařízení na principu rozprašování směsi tryskami, případně vytváření suspenzí a emulzí pomocí ultrazvuku.[43][44]

4.2 Míchadla

Při použití rotačních míchadel je charakter proudění v kapalině odvozen od průměru míchadla a jeho frekvenci otáčení pomocí Reynoldsova čísla – Re_M (1). Pro $Re_M < 10$, dochází k promíchávání laminárně proudící kapaliny. Při $Re_M > 100$ se významným způsobem projevuje setrvačnost tekutiny - je rozháněna odstředivou silou po vsadce za přítomnosti turbulentního proudění. K zabránění tomuto jevu a zefektivnění procesu zvýšením účinnosti proudění se nádoby opatřují nárážkami. Průměr míchadla (d) a průměr nádoby (D) se navrhuje v poměru $d/D = 0,1$ až $0,5$. Při vysokých rychlostech a příkonu míchadla může docházet k přeměně dodané energie na teplo, a tím docházet k nepříznivému ovlivnění jednotlivých složek soustavy.[43]

$$Re_M = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu} [-] \quad (1)$$

Re_M ...Reynoldsovo číslo, ρ ... hustota média, μ ...viskozita média

$$\mu_s = \mu_v \cdot (1 + k \cdot c_v) [\text{Pa}\cdot\text{s}] \quad (2)$$

μ_s ...viskozita suspenzí, μ_v ... viskozita čisté kapaliny, k ...konstanta tvaru částice (= 2,5 koule, > 2,5 obecný tvar), c_v ...objemová koncentrace

4.3 Rotační míchadla

Rotační míchadla představují skupinu nejvíce rozšířených dispergačních zařízení. Rozdělení těchto míchadel je založeno na druhu proudu, jenž vytvářejí v tekutině, a to na míchadla s axiálním charakterem proudění, radiálním charakterem proudění a tangenciálním charakterem proudění.

Axiální charakter proudění

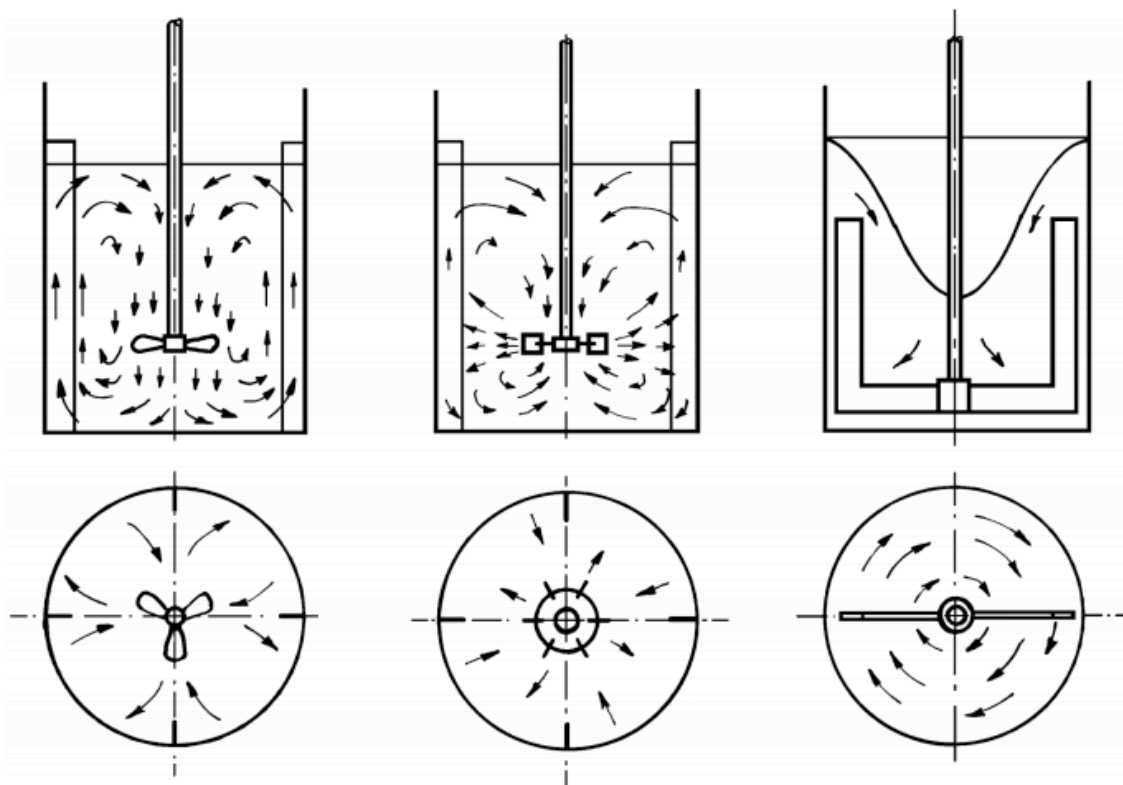
Charakter proudění vytváří proudnice převážně rovnoběžně s osou nádoby. Hlavními představiteli jsou míchadla vrtulová, šroubová.

Radiální charakter proudění

Charakter proudění vytváří proudnice převážně rovnoběžně kolmé na osu míchadla. Jedná se o míchadla turbínová.

Tangenciální charakter proudění

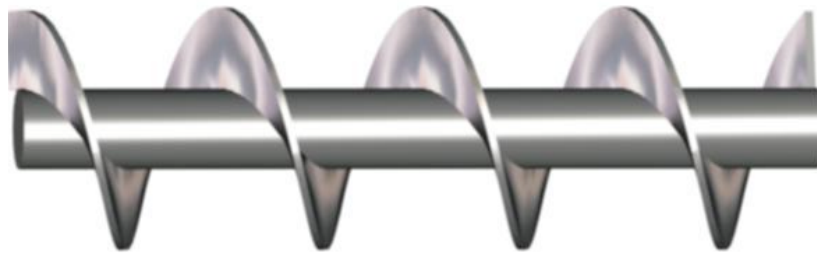
Charakter proudění vytváří tangenciální proudnice v rovinách kolmých k ose míchadla. Hlavními představiteli jsou pomaloběžná míchadla lopatková a kotvová.



Obr. 10 - Axiální proudění, nádoba s narážkami (vlevo), radiální proudění, nádoba s narážkami (uprostřed) a tangenciální proudění (vpravo)[45]

4.3.1 Pomaloběžná míchadla

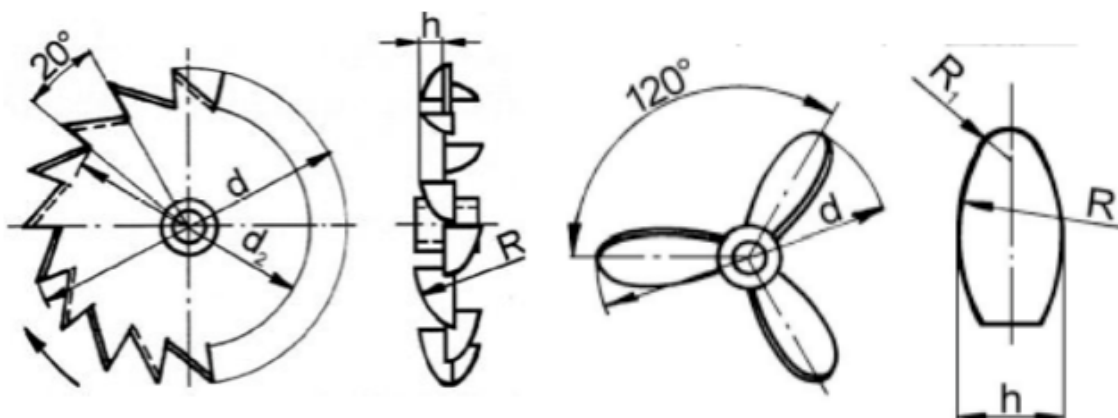
Mezi hlavní typy pomaloběžných míchadel se řadí míchadlo kotvové, šroubové, pásové, listové a lopatkové. Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.1.1 má zásadní vliv na kvalitu procesu dispergace obvodová rychlost. Z tohoto důvodu jsou jako dispergační ústrojí volena míchadla rychloběžná.[45]



Obr. 11 - Pomaloběžné šroubové míchadlo[46]

4.3.2 Rychloběžná míchadla

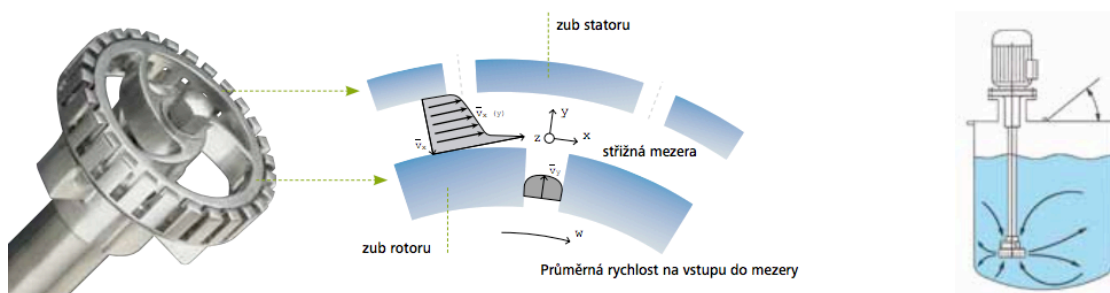
Mezi hlavní představitele rychloběžných míchadel se řadí míchadlo turbinové, se šikmými lopatkami, vrtulové a zubové. Zubové míchadlo bylo použito jako jedno z porovnávaných zařízení v praktické části této diplomové práce. Zubové míchadlo disperguje směs pomocí vzniku vysokého smykového napětí, čímž je vytvořena suspenze i za přítomnosti velmi malých částic. Míchadlo je vhodné do hladké nádoby vložit excentricky mimo osu nádoby tak, aby bylo zamezeno přisávání vzduchových bublin vlivem středového víru.[45]



Obr. 12 - Zubové míchadlo (vlevo), vrtulové míchadlo (vpravo) a jejich charakteristické rozměry [45]

4.4 Míchadla rotor - stator

Míchadlo rotor – stator představuje vysoce účinné zařízení pro výrobu emulzí a suspenzí. Tato zařízení jsou díky svému konstrukčnímu provedení vhodná pro míchání, emulgaci a dispergaci volně proudících kapalných médií. Vysoká obvodová rychlost rotoru vytváří smykové síly, které jsou nezbytné k redukci pevných částic nebo kapek. Díky konstrukčnímu provedení vzniká uložení mezi rotorem a státorem úzká střižná mezera ve které navíc dochází k extrémně vysoké turbulenci. Rotor i stator jsou opatřeny zuby, jimiž při procesu dispergace proudí kapalina vystavená působení velmi vysokého tlaku, stříhu a tření. Kapalina je nasávána axiálně směrem do dispergačního ústrojí a následně vytlačena mezerou mezi rotorem a státorem. Vlivem vysokých otáček rotoru dochází k cirkulaci směsi, a tedy k rovnoměrnému rozptýlení částic do celého objemu vsádky. Princip zařízení rotor – stator firmy IKA je vyobrazen na obrázku 13.[47]



Obr. 13 - Princip míchadla rotor – stator IKA [47]

4.5 Ultrazvukový homogenizátor

Ultrazvukový homogenizátor generuje ultrazvukové pole o vysoké intenzitě a amplitudě, které je přenášeno pomocí sondy (sonotrody) do kapaliny. Ultrazvukové homogenizátory nacházejí uplatnění v celé řadě aplikací od extrakce buněčných komponent, vytváření emulzí, homogenizaci a dispergaci látek či urychlování chemických reakcí. Díky vysoké energii dodané do směsi jsou velmi vhodným zařízením pro dispergaci nanoobjektů. Rozhodujícím parametrem ultrazvukové homogenizace je amplituda vyzařujícího povrchu sonotrody, objem vsádky a nastavený výkon zařízení.[48]

5 Experimentální část

Experimentální část této diplomové práce je jednak zaměřena na sledování vlivu metody dispergace nanočástic MWCNT a mikročástic grafitu jako plniva epoxidové nátěrové hmoty LV EPS 620 (Synpo a.s.) - MWCNT jsou v tomto případě do uvedené matrice přidávány za účelem zvýšení otěruvzdornosti, mikročástice grafitu k docílení vodivých vlastností povlaku - dále byl v rámci řešení experimentální práce zjišťován vliv MWCNT a grafitu na vodivé vlastnosti povlaku vytvořeného za pomoci těchto plniv modifikované vodou ředitelné nátěrové hmoty CP55 (Viton s.r.o.). Vlastnosti vytvořených povlaků byly porovnávány s vlastnostmi výchozí matrice. Všechny povlaky byly vytvořeny metodou klasického vzduchového stříkání na Ústavu strojírenské technologie ČVUT v Praze. Dispergace pomocí metod rotor – stator a zubovým míchadlem probíhala ve spolupráci s Ústavem procesní a zpracovatelské techniky pod vedením prof. Ing. Tomáše Jirouta, Ph.D.

Jednotlivé typy použitých nátěrových hmot v experimentální části:

Epoxidové nátěrové hmoty

LV EPS 620 – Synpo a.s., Pardubice, Česká republika

Vodou ředitelné nátěrové hmoty

CP55 – Viton s.r.o., Veselí nad Lužnicí, Česká republika

Nátěrové hmoty vytvořené za účelem sledování vlivu metody dispergace na aplikační, vzhledové a funkční vlastnosti povlaku:

Epoxidové nátěrové hmoty

LV EPS 620

LV EPS 620 – 1 hm. % MWCNT

LV EPS 620 – 8 hm. % grafit

Nátěrové hmoty vytvořené v rámci sledování vlivu plniva na elektricky vodivé vlastnosti povlaku (antistatické nátěrové hmoty):

Vodou ředitelné nátěrové hmoty

CP55

CP55 – 8 hm. % grafit

CP55 – 0,1; 0,5; 1,0 a 1,5 hm. % MWCNT

5.1 Příprava vzorků

V experimentální části byly použity dva typy vzorků. Jedná se o broušené ocelové plechy firmy Q – panel (provedení standard, materiál S235JRG1) a kruhové výstřižky z konstrukční oceli S235.

Přehled použitých typů vzorků:

- Q – panel (102 mm x 102 mm x 0,5 mm)
- Kruhový výstřižek (\varnothing 105 mm x 1,2 mm)

Vzorky Q – panel byly před aplikací nátěrové hmoty zbaveny konzervačního olejového filmu pomocí technického benzínu. Kruhové výstřižky byly předupraveny technologií tryskání ocelovou drtí. Stav předúpravy těchto vzorků odpovídal dle ISO 8501-1 stupni Sa 3 (okuje, rez, nátěry a cizí látky byly odstraněny a povrch měl jednotný kovový vzhled). Parametry povrchu tryskaných vzorků dle ČSN EN ISO 4287:1997 udává tabulka 6.

Tabulka 6: Parametry povrchu tryskaných vzorků – drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4287:1997

Průměrná drsnost povrchu	Ra	Rq	Rz
μm	4,7	5,96	28,02

Poznámka: měření drsnosti bylo provedeno na přístroji Mitutoyo SJ – 301, všechny hodnoty měření jsou zaznamenány v tabulce Měření drsnosti viz. přílohy.

5.2 Charakteristiky použitých produktů

Jak již bylo uvedeno v úvodu experimentální části, byly použity dvě různorodé nátěrové hmoty. LV EPS 620 dvousložková epoxidová antikorozi základová nátěrová hmota a vodou ředitelná samozákladující antikorozi nátěrová hmota CP55. Plnidla jednotlivých hmot byla volena s ohledem na chemickou povahu těchto hmot a metody přípravy. V případě plniva MWCNT do epoxidové nátěrové hmoty LV EPS 620 se jednalo o produkt Epocyl XCR 128-06 belgického výrobce Nanocyl S.A. Pro nátěrovou hmotu CP55 posloužilo jako plnivo obsahující vícečetné nanotuby Aquacyl 0301, rovněž od výrobce Nanocyl S.A. V případě použití grafitu jako plniva pro antistatické nátěrové hmoty bylo použito grafitu Fichema (Fichema a.s.). V případě epoxidové pryskyřice LV EPS 620 bylo použito záměrně grafitu jemného (25 μm), v případě CP55 grafitu pudrového (7 μm). Vyšší zrnitosti grafitu v případě LV EPS 620 bylo použito z důvodu experimentálního zjišťování modifikace rozměru plniva

použitými metody dispergace. Níže uvádím základní charakteristiku použitých produktů, materiálové a bezpečnostní listy jsou součástí příloh této práce.

5.2.1 LV EPS 620

Jedná se o základní antikorozi dvousložkovou epoxidovou nátěrovou hmotu na železné a neželezné kovy českého výrobce Synpo a.s. Jako tvrdidlo slouží LV BU 45 N přidávané v poměru 6:1 ve prospěch epoxidové pryskyřice. K ředění slouží speciální ředidlo pro epoxidové nátěrové hmoty LV PA 600. Výrobce udává velikost naředění maximálně 10 %.

Tabulka 7: LV EPS 620

Hustota	1,3	g.cm ⁻³	ČSN 673012
Organická rozpouštědla	0,44	1	---
Organický uhlík	0,3	1	---
Obsah netěkavých složek (2h/140 °C)	39	%	EN ISO 3251
Objem sušiny aplikační směsi	30	%	--

Poznámka: Parametry výrobků jsou převzaty z aplikačních listů výrobce.

5.2.2 LV BU 45 N

Tvrdidlo (tužidlo) pro systémy Akrilmetal a Vermomix výrobce Synpo a.s. vhodné k vytvrzování LV BU 45 N v poměru 6 dílů objemu pryskyřice ku 1 dílu objemu tužidla.

Tabulka 8: LV BU 45 N

Hustota	0,995	g.cm ⁻³	---
Obsah celkového organického uhlíku	0,389	1	---
Barva	Max. 3	Gardner	EN ISO 4630-2

Poznámka: Parametry výrobků jsou převzaty z aplikačních listů výrobce.

5.2.3 EPOCYL XCR 128-06

EPOCYL XCR 128-06 je produkt belgického výrobce Nanocyl S.A. tzv. master batch – koncentrovaná pastovitá směs obsahující uhlíkové mnohastěnné nanotuby (MWCNT). Tyto nanoobjekty jsou vázány v epoxidové pryskyřici na bázi Bisfenolu A obsahující další doprovodné prvky jako jsou například aditiva zabraňující shlukování

a sedimentaci nanočástic (tzv. dispersant). Množství nanočástic nepřesahuje 5 % hmotnostního podílu směsi.

Tabulka 9: EPOCYL XCR 128-06

Bisfenol A	50 – 99 %
Dispersant	< 15 %
MWCNT	< 5%
Glycidoxypropyltrimethoxysilen	< 1 %

Poznámka: Parametry výrobků jsou převzaty z aplikačních listů výrobce.

5.2.4 CP55

CP 55 je samozákladující vodou ředitelná antikorozi náteřová hmota na kov (ocelové konstrukce, haly, palety, dopravníky, stavební stroje aj.) pro venkovní a vnitřní prostředí. CP 55 lze nanášet vzduchovým stříkáním, štětcem či válečkem.

Tabulka 10: CP55

Hustota	1,2 – 1,4	g.cm ⁻³	ČSN 673012
Butoxyethanol	< 0,1	%	---
Obsah netěkavých složek	67	%	EN ISO 3251
Obsah VOC	75	g/l	--

Poznámka: Parametry výrobků jsou převzaty z informací na obalu produktu.

5.2.5 AQUACYL 0301

AQUACYL 0301 je produkt belgického výrobce Nanocyl S.A. Jedná se o kapalnou suspenzi obsahující MWCNT. Nanoobjekty jsou rozptýleny ve vodném roztoku obsahujícím další doprovodné prvky – dispersant (aditiva zabraňující shlukování a sedimentaci nanočástic). Množství nanočástic nepřesahuje 5 % hmotnostního podílu směsi.

Tabulka 11: AQUACYL 0301

Voda	> 90 %
Dispersant	< 5 %
MWCNT	< 5%

Poznámka: Parametry výrobků jsou převzaty z aplikačních listů výrobce.

5.2.6 Grafit Fichema

Grafit Fichema (Fichema s.r.o.) je díky svým vodivým vlastnostem vhodný jako plnivo do kompozitních materiálů za účelem zvýšení kluzných vlastností a elektrické vodivosti. V rámci práce byly použity dva typy grafitu Fichema. Jemně mletý grafit o zrnitosti 25 μm a grafit pudrový o zrnitosti 7 μm . Materiálové listy obou produktů jsou obsaženy v přílohách na konci práce.

5.3 Funkce jednotlivých složek otěruvzdorné nátěrové hmoty

- I. Epoxidová nátěrová hmota LV EPS 620 slouží jako matrice pro plnivo EPOCYL XCR 128-06.
- II. Tvrdivlo LV BU 45 N slouží k vytvrzení systému.
- III. Nanočástice MWCNT slouží k dosažení otěruvzdorných vlastností nátěrové hmoty.
- IV. Ředidlo LV PA 600 slouží ke změně viskozity systému, k usnadnění jejich aplikace, očištění zařízení a pomůcek.

Výsledek = epoxidová nátěrová hmota se zvýšenou odolností proti otěru.

5.4 Funkce jednotlivých složek antistatické nátěrové hmoty

Na bázi epoxidové pryskyřice

- I. Epoxidová nátěrová hmota LV EPS 620 slouží jako matrice pro vodivé plnivo grafit Fichema – jemný.
- II. Tvrdivlo LV BU 45 N slouží k vytvrzení systému.
- III. Grafit Fichema jemný slouží k dosažení vodivých vlastností nátěrové hmoty.
- IV. Ředidlo LV PA 600 slouží ke změně viskozity systému, k usnadnění jejich aplikace, očištění zařízení a pomůcek.

Výsledek = epoxidová nátěrová hmota se zvýšenou elektrickou vodivostí.

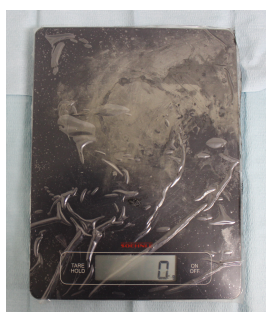
Na bázi vodou ředitelné nátěrové hmoty

- I. Vodou ředitelná nátěrová hmota CP55 slouží jako matrice pro vodivé plnivo grafit Fichema – pudrový nebo AQUACYL 0301.
- II. Grafit Fichema - pudrový a nanočástice MWCNT slouží k dosažení vodivých vlastností nátěrové hmoty.

Výsledek = vodou ředitelná nátěrová hmota se zvýšenou elektrickou vodivostí.

5.5 Příprava nátěrových hmot

Příprava nátěrových hmot představovala odvážení jednotlivých složek, případně ohřátí na teplotu zpracovatelnosti (EPOCYL XCR 128-06) a jejich smísení v plastových nádobách o objemu 1l (epoxidové nátěrové hmoty). K odvážení byla použita váha SOEHNLE Page Evolution 66178 (přesnost ± 1 g). Následně byl proveden proces dispergace. V případě epoxidových nátěrových hmot byla vytvořená suspenze před nanášením natužena pomocí LV BU 45 N. V případě míchání nátěrových hmot neobsahujících použítá plniva a vodou ředitelných nátěrových hmot bylo smísení provedeno ručně ve skleněné nádobě o objemu 1l.



Obr. 14 - Váha SOEHNLE Page Evolution 66178

5.5.1 Epoxidové nátěrové hmoty

Vzhledem k vysoké viskozitě koncentrované směsi EPOCYL XCR 128-06 bylo nutné její ohřátí na teplotu 70°C před smísením jednotlivých složek nátěrové hmoty. V případě použití grafítu Fichema nebylo nutné jednotlivé složky upravovat. Byly vytvořeny následující epoxidové nátěrové hmoty:

Tabulka 12: Složení epoxidových nátěrových hmot

Matrice [hmotnost]	Plnivo [hmotnost]	Hmotnostní podíl plniva
LV EPS 620	---	---
LV EPS 620 [485 g]	Grafit Fichema 25 μ m [41 g]	8 hm. %
LV EPS 620 [404 g]	EPOCYL XCR 128-06 [121 g]	1 hm. % (MWCNT)

Poznámka: V případě epoxidových nátěrových hmot byla pro každou metodu dispergace vytvořena samostatná směs.

5.5.2 Vodou ředitelné nátěrové hmoty

V případě vodou ředitelných nátěrových hmot byly vytvořeny následující suspenze:

Tabulka 13: Složení vodou ředitelných nátěrových hmot

Matrice [hmotnost]	Plnivo [hmotnost]	Hmotnostní podíl plniva
CP55	---	---
CP55 [400 g]	Grafit Fichema 7 μm [32 g]	8 hm. %
CP55 [590 g]	AQUACYL 0301 [10 g]	0,1 hm. % (MWCNT)
CP55 [450 g]	AQUACYL 0301 [50 g]	0,5 hm. % (MWCNT)
CP55 [400 g]	AQUACYL 0301 [100 g]	1,0 hm. % (MWCNT)
CP55 [230 g]	AQUACYL 0301 [100 g]	1,5 hm. % (MWCNT)

5.6 Vliv dispergace na vlastnosti epoxidových nátěrových hmot s vyššími užitnými vlastnostmi

V několika následujících kapitolách se budu dále věnovat pouze epoxidovým nátěrovým hmotám a vlivu použité metody dispergace na aplikační, vzhledové a funkční vlastnosti nátěrové hmoty (resp. povlaku). Jak již bylo několikrát zmíněno, jedná se o nátěrovou hmotu se zvýšenou odolností proti opotřebení LV EPS 620 – 1 hm. % MWCNT a antistatickou nátěrovou hmotu LV EPS 620 – 8 % grafit Fichema – jemný. Problematikou volby vhodné matrice a optimální koncentrace MWCNT ve formě plniva jsem se zabýval již ve své bakalářské práci – *Vliv nanočástic na vlastnosti nátěrové hmoty*[40]. Problematika antistatických nátěrových systémů je blíže popsána v bakalářské práci Jakuba Svobody – *Povlaky z nátěrových hmot se zvýšenou vodivostí*[42], kde autor jako jednu z možných variant „zvodivění“ povlaku formuluje kombinaci nátěrové hmoty LV EPS 620 a jemného grafitu Fichema.

5.6.1 Značení jednotlivých vzorků

Vzhledem ke značnému množství dispergovaných vzorků nátěrových hmot jsou jednotlivé vzorky značeny následovně (tabulka 14). Systém značení vzorků spočívá v označení použitého plniva (G8 – grafit, MWCNT – uhlíkové vícečetné nanotuby), použité metody dispergace (Z – zubové míchadlo, SR – stator / rotor, US – ultrazvukový homogenizátor). Poslední číslice, případně kombinace písmen a číslic značí dobu dispergace (platí pouze pro zubové míchadlo) nebo jeho pořadí.

Tabulka 14: Značení vzorků epoxidových nátěrů, metody dispergace a použité parametry míchání

značení: vzorek proces	metoda dispergace	frekvence otáček [min ⁻¹]	čas [min]	značení: vzorek proces	metoda dispergace	frekvence otáček [min ⁻¹]	čas [min]
620	ručně	X	X	620	ručně	X	X
G8Z1	zubové míchadlo	3 600	1	MWCNTZ2	zubové míchadlo	3 600	2
G8Z5	zubové míchadlo	3 600	5	MWCNTZ10	zubové míchadlo	3 600	10
G8SRVZ1	stator rotor	12 000	10	MWCNTSRVZ1	stator rotor	10 000	10
G8SRVZ2	stator rotor	11 000	5	MWCNTSRVZ2	stator rotor	7 000	5
G8SRVZ3	stator rotor	13 000	1,5	MWCNTSRVZ3	stator rotor	10 000	1,5
G8USVZ1	ultrazvuk. homogen.	X	5	MWCNTUSVZ1	ultrazvuk. homogen.	X	5
G8USVZ2	ultrazvuk. homogen.	X	1,5	MWCNTUSVZ2	ultrazvuk. homogen.	X	1,5

5.6.2 Metody dispergace – podstata experimentu

Cílem experimentu bylo stanovení vhodné metody a parametrů procesu dispergace. Parametry procesů tak, jak jsou uvedeny v tabulce 14, jsou zvoleny zcela záměrně. Podstatou experimentu je otázka, jakou roli v procesu dispergace hrají časy jednotlivých procesů a zdali není vhodnější s vytvořit v suspenzi takové podmínky (volbou velmi vysokých otáček), které by vedly ke zkrácení doby procesu dispergace a dosažení znatelně lepších výsledků v chování a vlastnostech nátěrové hmoty (resp. povlaku). Porovnávány byly metody dispergace zubovým míchadlem, rotor – stator míchadlem a ultrazvukovým homogenizátorem. Nátěrové hmoty s příměsí EPOCYL XCR 128-06 byly před dispergací ohřáty na teplotu ~ 65°C. Nátěrové hmoty příměsí grafitu nebyly temperovány.



Obr. 15 - Použité dispergátory: zubové míchadlo (vlevo), rotor – stator (uprostřed), ultrazvukový homogenizátor (vpravo)

5.6.3 Dispergace zubovým míchadlem

Dispergace byla provedena zubovým míchadlem (CVS 69 1038.1) o průměru 50 mm. Frekvence otáček byly zvoleny pro všechny nátěrové hmoty shodně – 3 600 min⁻¹. Míchadlo bylo do nádoby vloženo excentricky, aby nedocházelo k nasávání vzduchu vlivem osového víru. Zubovým míchadlem byly dispergovány tyto nátěrové hmoty:

- G8 Z1 t = 1 min,
- G8 Z5 t = 5 min,
- MWCNT Z2 t = 2 min,
- MWCNT Z10 t = 10 min.

5.6.4 Dispergace míchadlem rotor – stator

V rámci experimentu bylo použito zařízení IKA T25 Digital, osazené míchadlem SR – 25G (obr. 15 uprostřed vpravo). Toto zařízení umožňuje dosažení velmi vysokých obvodových rychlostí míchadla a tvarem dispergačního ústrojí vynikající předpoklady pro vytvoření homogenní suspenze. Míchadlem rotor – stator byly připraveny následující nátěrové hmoty při těchto parametrech míchání:

- G8 SRVZ1 frekvence otáček – 12 000 min⁻¹, t = 10 min,
- G8 SRVZ2 frekvence otáček – 11 000 min⁻¹, t = 5 min,
- G8 SRVZ3 frekvence otáček – 13 000 min⁻¹, t = 1,5 min,
- MWCNT SRVZ1 frekvence otáček – 10 000 min⁻¹, t = 10 min,
- MWCNT SRVZ2 frekvence otáček – 7 000 min⁻¹, t = 5 min,
- MWCNT SRVZ3 frekvence otáček – 10 000 min⁻¹, t = 1,5 min.

5.6.5 Dispergace ultrazvukovým homogenizátorem

Při použití ultrazvukového homogenizátoru byla směs podrobena nejprve mechanickému ručnímu promíchání. K samotné dispergaci byl použit ultrazvukový homogenizátor Bedelin Sonopuls HD 3400 osazený sondou VS 200T o průměru 25 mm. Proces probíhal při výkonu generátoru pulsů 300 W a parametrech pulsu (0,8 s ON / 1,0 s OFF). Dispergaci ultrazvukovým homogenizátorem byly podrobeny tyto nátěrové hmoty:

- G8 USVZ1 t = 5 min, 300 W,
- G8 USVZ2 t = 1,5 min, 300 W,
- MWCNT USVZ1 t = 5 min, 300 W,
- MWCNT USVZ2 t = 1,5 min, 300 W.

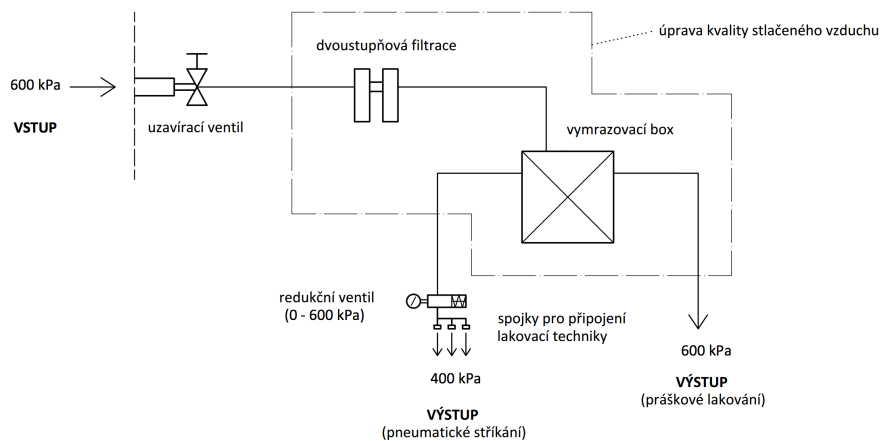
5.6.6 Aplikace nátěrových hmot a vytvrzení povlaku

Jednotlivé nátěrové hmoty byly po dispergaci naneseny s časovým odstupem 24 hodin, technologií pneumatického stříkání. Proces aplikace probíhal za teploty 20°C a relativní vlhkosti vzduchu 45 %. K aplikaci bylo použito stříkací pistole EST 116 českého výrobce EST+ (dnes Dürr Systems ČR). Jedná se o profesionální rovnotlakou stříkací pistoli, osazenou tryskovým kompletem 18 (průměr trysky 1,8 mm) se svrchním plněním.

U všech nanášených nátěrů byly výchozí parametry procesu nastaveny shodně (pracovní tlak 3,8 bar), přičemž bylo zaznamenáváno chování nátěrové hmoty (potřeba zvýšení pracovního tlaku, rozstřík, rozliv, vlastnosti po natužení, vzhled). Vytvrzení probíhalo volně na vzduchu, přičemž první zkoušky byly provedeny týden po aplikaci nátěru. Pracovní box, schéma pracoviště a použitá aplikační pistole zobrazují obrázky 16 a 17.



Obr. 16 - Lakovací box (vlevo), stříkací pistole EST+ 116 (vpravo nahoře), dvoustupňový filtr Donaldsen (uprostřed), vymrazovací box MTA Dry Energy DE103 (vpravo dole)



Obr. 17 - Schéma rozvedení a úpravy stlačeného vzduch v laboratoři Ú12133

5.7 Zkoušky epoxidových nátěrových systémů

Všechny nátěry na bázi epoxidové nátěrové hmoty LV EPS 620 byly podrobeny následujícím zkouškám:

Tabulka 15: Zkoušky povlaků epoxidových nátěrových hmot

Název metody	Norma	Sledovaná vlastnost
Vícekritériální hodnocení	---	Aplikační a vzhledové
Odrhová zkouška přilnavosti	ČSN EN ISO 4624:2004	Přilnavost
Stanovení zrcadlového lesku nátěru bez obsahu kovových pigmentů pod úhlem 60°	ČSN ISO 2813:2015	Lesk
Zkouška ohybem na kónickém trnu	ČSN EN ISO 6860:2006	Odolnost proti praskání a odlupování

Antistatické povlaky byly dále testovány:

Tabulka 16: Zkoušky antistatických povlaků

Název metody	Norma	Sledovaná vlastnost
Stanovení vnitřního elektrického odporu	---	Vodivost
Optické vyhodnocení povlaku	---	Rozložení grafitu v povrchové vrstvě

Otěrzdorné povlaky byly navíc testovány:

Tabulka 17: Zkoušky otěrzdorných povlaků

Název metody	Norma	Sledovaná vlastnost
Zkouška abrazivní odolnosti	ASTM D4060	Abrazivní odolnost

Poznámka: zkouška abrazivní odolnosti byla provedena na přístroji Taber Abraser.

Ke stanovení tloušťky jednotlivých povlaku bylo použito měřicího zařízení CM-8826F – Digitální tloušťkoměr pro měření tloušťky vrstvy na kovovém feromagnetickém podkladu. Výsledky jednotlivých měření jsou součástí příloh na konci práce.

5.7.1 Vícekriteriální hodnocení aplikačních a vzhledových vlastností

Během aplikace nátěrových hmot byly zaznamenávány údaje charakterizující jejich chování. Po vytvrzení byly tyto údaje doplněny o zhodnocení vzhledu povlaku. Ze získaných poznatků byly jednotlivé varianty porovnány metodou vícekriteriálního hodnocení. Je nutné dodat, že se jedná o hodnocení značně subjektivní. Jednotlivé parametry byly bodovány v rozpětí 1 – 5, přičemž nižší hodnota představuje kladné hodnocení. Hodnotící kritéria a jejich značení udává tabulka 18. Bodové ohodnocení je zaneseno do tabulky 19 a 20.

Tabulka 18: Porovnávané parametry a jejich značení

Parametr	Značení
Vlastnosti po natužení	A
Potřeba ředění	B
Pracovní tlak	C
Vzhled mokré vrstvy	D
Vzhled po vytvrzení	E

Tabulka 19: Vícekriteriální zhodnocení aplikačních a vzhledových vlastností antistatických povlaků

Povlak	A	B	C	D	E	Σ
G8 Z1	2	2	1	2	2	9
G8 Z5	3	1	1	3	2	10
G8 SRVZ1	2	1	1	1	2	7
G8 SRVZ2	3	1	1	3	2	10
G8 SRVZ3	1	1	1	1	1	5
G8 USVZ1	2	2	2	3	4	13
G8 USVZ2	2	2	2	2	4	12
Povlak	A	B	C	D	E	Σ
MWCNT Z2	2	1,5	2	1	2	8,5
MWCNT Z10	3	1	2	2	3	11
MWCNT SRVZ1	1	1,5	2	1	1,25	6,75
MWCNT SRVZ2	1,5	1	1	1	2,5	7
MWCNT SRVZ3	3	1	1,5	1	2	8,5
MWCNT USVZ1	2	1,5	2	2	2	9,5
MWCNT USVZ2	2	2	2	2	2,5	10,5

Diskuse výsledků zkoušky

Jak je z tabulky patrné 19, nejlepších výsledků dosahovaly nátěrové hmoty připravované technologií rotor - stator. Takto dispergované nátěrové hmoty vykazovaly nejlepší aplikační vlastnosti při dosažení vysoce kvalitního jednolitého povrchu bez viditelných shluků. Nejlépe v hodnocení dispergace antistatických nátěrů dopadla varianta G8 SRVZ3 ($13\ 000\ \text{min}^{-1}$, 1,5 min). V případě otěruvzdorných systémů dopadla v hodnocení nejlépe varianta MWCNT SRVZ1 ($10\ 000\ \text{min}^{-1}$, 10 min). Suspenze vytvořené míchadlem vykazovaly jednolitý vzhled a nižší viskozitu v porovnání s ostatními. Výsledky této zkoušky nelze brát zcela doslovně z důvodu subjektivního či nepřesného zhodnocení chování nátěrových hmot a vzhledu povlaků.

5.7.2 Zkouška přilnavosti povlaku

Zkouška přilnavosti nátěrové hmoty k substrátu byla realizována odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624:2004. Veškeré odtrhy byly realizovány na nátěrových hmotách nanesených na tryskané kruhové výstřižky. Úprava povrchu tryskáním nejen že odstraňuje z povrchu veškeré nečistoty (korozní produkty, mastnotu apod.), ale přispívá i ke zvýšení přilnavosti organických nátěrových hmot k substrátu. Odtrhová zkouška spočívá v nalepení zkušebního tělíska o průměru 20 mm zvoleným lepidlem na nátěr a po jeho zaschnutí v odtržení tělíska odtrhoměrem. Během odtrhu je zaznamenáván nárůst tahového napětí, jenž dosáhne maximální hodnoty s odtrhem tělíska. Hodnota tohoto napětí je následně spolu s typem lomu určující k vyhodnocení zkoušky. Při odtržení může dojít k lomu adheznímu nebo koheznímu. Při testování přilnavosti kompozitních nátěrových hmot bylo použito vteřinového lepidla 3M Scotch-Weld SF100 a odtrhového zařízení Comtest OP2, s elektromechanickým pohonem. Hodnoty odtrhových napětí pro jednotlivé kompozitní povlaky jsou uvedeny v tabulce 20 (aritmetický průměr ze tří měření pro každý typ povlaku, hodnoty jednotlivých odtrhů a charakter lomu jsou uvedeny v části příloh).



Obr. 18 - Odtrhoměr Comtest OP2



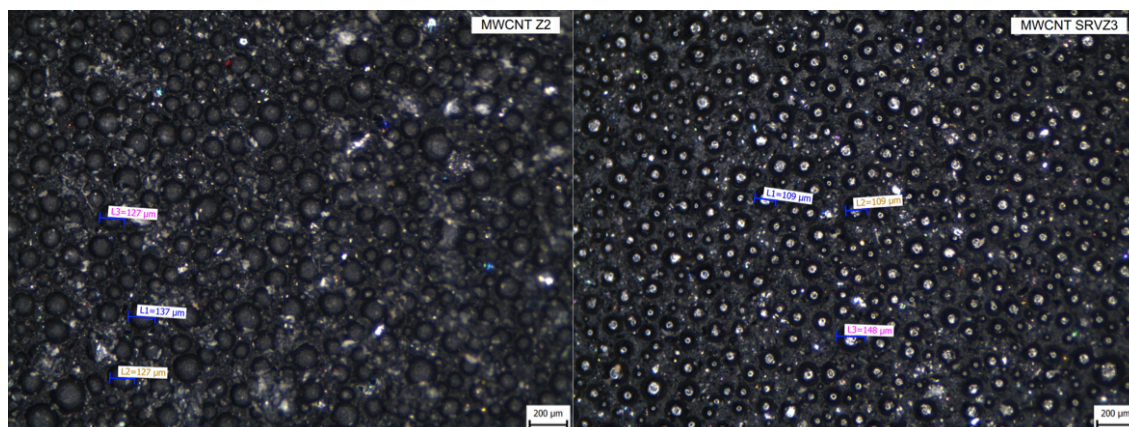
Obr. 19 - Zkušební tělísko na vzorku G8 SRVZ3

Tabulka 20: Zkouška přilnavosti – průměrná velikost odtrhového napětí (ČSN EN ISO 4624:2004)

Odrhové napětí jednotlivých nátěrových systémů [MPa]							
G8							
LV EPS 620	Z1	Z5	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
3,624	3,313	3,697	3,318	3,994	3,116	3,576	3,937
MWCNT							
LV EPS 620	Z5	Z10	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
3,624	2,781	3,179	3,897	4,883	5,509	4,563	4,312

Diskuse výsledků zkoušky přilnavosti

K odtržení tělíška došlo ve všech případech minimálně ze 70 % v nátěrové hmotě. Jak je patrné z průměrných hodnot odtrhových napětí z tabulky 20, příměs grafitu mírně snižuje soudržnost nátěru (v porovnání s odtrhovým napětím matrice LV EPS 620). Z mikroskopických snímků lomové plochy ovšem nejsou patrné žádné znatelné rozdíly v povaze lomu. V případě otěruvzdorných nátěrů dosáhly nejnižších hodnot varianty, u kterých byla dispergace provedena pomocí zubového míchadla. Při hledání odpovědi na otázku, čím je způsoben pokles napětí, je třeba porovnat snímky lomové plochy vyhotovené pomocí optického mikroskopu Olympus SZ61 (Infinity 1, Lumenera). Příčina je patrná z obrázku 20, kde je porovnán při stejném zvětšení vzhled plochy s nejnižším napětím (MWCNT Z2) a nejvyšším napětím (MWCNT SRVZ3). Na snímcích lze pozorovat kulové vrchlíky v lomové ploše matrice způsobené přítomností plynu. Tím dochází k zeslabení matrice, a tím i nižším hodnotám odtrhového napětí. Přítomnost plynu je patrná u všech povlaků s MWCNT. Tento jev si je možné vysvětlit teplotní degradací (odpařováním) některé ze složek vytvořené nátěrové hmoty. Zvýšenou teplotou při procesu dispergace (počáteční teplota ~ 65°C) a lokálním přehříváním v oblasti dispergačního ústrojí je možné, že je odpařován například Xylen, jenž je obsažen v LV EPS 620 či některá z aditivních látek Epocylu XCR 128-06. Dále je možné, že je plyn při procesu dispergace vmícháván do suspenze, ovšem žádná z nátěrových hmot s příměsí grafitu připravovaných za normálních teplot nevykazuje v matrici přítomnost plynu. Detailní mikroskopické snímky výše uvedeného problému jsou součástí přílohy na konci práce.



Obr. 20 - Lomová plocha MWCNT Z2 (vlevo) a MWCNT SRVZ3 (vpravo)

5.7.3 Stanovení zrcadlového lesku pod úhlem 60°

Ke stanovení lesku nátěru pod úhlem 60° dle normy ČSN ISO 2813:2015 bylo použito zařízení GL0010 výrobce QLC. Přístroj po kalibraci měří lesk povrchu v jednotkách lesku [GU], přičemž za vysoký lesk je pod úhlem dopadu osvětlovacího paprsku 60° považována hodnota >70 GU. Zrcadlový lesk černého skla s refrakčním indexem 1,567 má hodnotu 100 GU. Myšlenka porovnání jednotlivých povlaků vychází z faktu, že při použití grafitu jako plnidla dochází k poklesu lesku oproti původní nátěrové hmotě LV EPS 620, zatímco při použití plniva EPOCYL XCR 128-06 obsahující uhlíkové víceštěnné nanotuby dochází naopak ke zvýšení lesku. Tímto způsobem lze tedy nepřímou určit k jak dokonalému rozptýlení plniva při dispergaci došlo. Průměrné hodnoty lesku z tří měření na daném povlaku udává tabulka 21, jednotlivá měření jsou součástí příloh.

Tabulka 21: Stanovení lesku nátěru (ČSN ISO 2813:2015)

Lesk vrstvy povlaku [GU]							
	G8__						
LV EPS 620	Z1	Z5	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
24,9	5,2	4,9	4,2	4,4	4,8	5,7	9,8
	MWCNT__						
LV EPS 620	Z2	Z10	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
24,9	38,0	42,8	46,9	63,2	70,8	62,7	59,8

Diskuse výsledků zkoušky zrcadlového lesku pod úhlem 60°

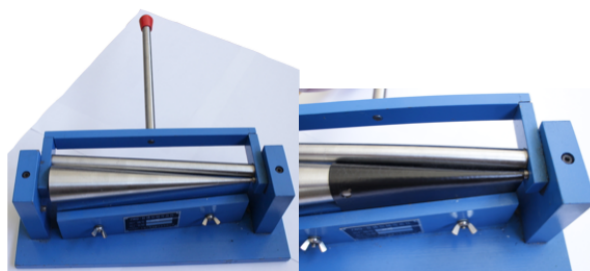
Při vyhodnocování této zkoušky je patrné, že nejnižších hodnot (největšího zmatnění) v případě antistatického nátěrového systému bylo dosaženo u vzorků dispergovaných pomocí míchadla rotor - stator. Nejnižší hodnoty (hodnota aritmetického průměru ze tří měření) dosahuje varianta G8 SRVZ1, což indikuje dobré rozptýlení plnidla do matrice nátěru. V případě otěruvzdorného nátěrového systému dosahuje největšího lesku, a tím i nejvyššího stupně rozptýlení plniva varianta MWCNT SRVZ3, přičemž nejhorších výsledků jako u předchozí zkoušky přilnavosti dosahuje vzorek MWCNT Z2. Z výsledků je tedy patrné, že dispergace zubovým míchadlem v tomto případě nebyla dostatečná.



Obr. 21 - Stanovení zrcadlového lesku pod úhlem 60° na povlaku MWCNT SRVZ3

5.7.4 Zkouška ohybem na kónickém trnu

Ohybová zkouška byla realizována na vzorcích Q-Panel pomocí kónického trnu válcového trnu podle normy dle ČSN EN ISO 6860:2006 bez opatření povlaku podélnými řezy ve vzdálenosti 20 mm. Mezi testovanými povlaky nebyly patrné znatelné rozdíly při zatížení povlaku ohybem. Jediné, co lze z provedeného porovnávacího měření konstatovat je, že u nátěrů nedocházelo k viditelnému odlupování od substrátu, praskání povlaku či porušení soudržnosti vlivem vyvolaného pnutí v povlaku.



Obr. 22 - Zařízení pro zkoušku ohybem na kónickém trnu (vlevo), testovaný povlak MWCNT SRVZ2 (vpravo)

5.7.5 Stanovení vnitřního elektrického odporu povlaku

K určení vnitřního elektrického odporu nátěrů se zvýšenou elektrickou vodivostí bylo použito zařízení TESPO 1. Jedná se o měření přímou dvoubodovou metodou, kdy se rozsah měřitelných hodnot pohybuje v rozmezí $10^4 - 10^{11} \Omega$. Pomocí zařízení TESPO1 lze měřit i na válcových plochách, pokud je poloměr zakřivení menší než 20 mm. Během měření je třeba dbát na správné dotlačení sondy na povrch povlaku. Zařízení při měření zobrazuje číselný údaj 0 – 1999, který lze následně převést pomocí převodního vztahu (individuální pro každé zařízení) nebo tabulky na hodnotu elektrického odporu. Převodní vztah pro použitou sondu a zařízení: $R = 59,2 \cdot 10^6 (1999/\text{údaj} - 1)$. Výsledky průměrných hodnot vnitřního elektrického odporu jsou uvedeny v tabulce 20. Jedná se o průměrnou hodnotu ze šesti měření pro každý povlak, tabulky naměřených hodnot jsou součástí příloh.



Obr. 23 - Měření vnitřního elektrického odporu zařízením TESPO 1

Tabulka 22: Vnitřní elektrický odpor povlaku

Vnitřní elektrický odpor povlaku [Ω]						
G8__						
Z1	Z5	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
$9,3 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^5$	$7,6 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^8$

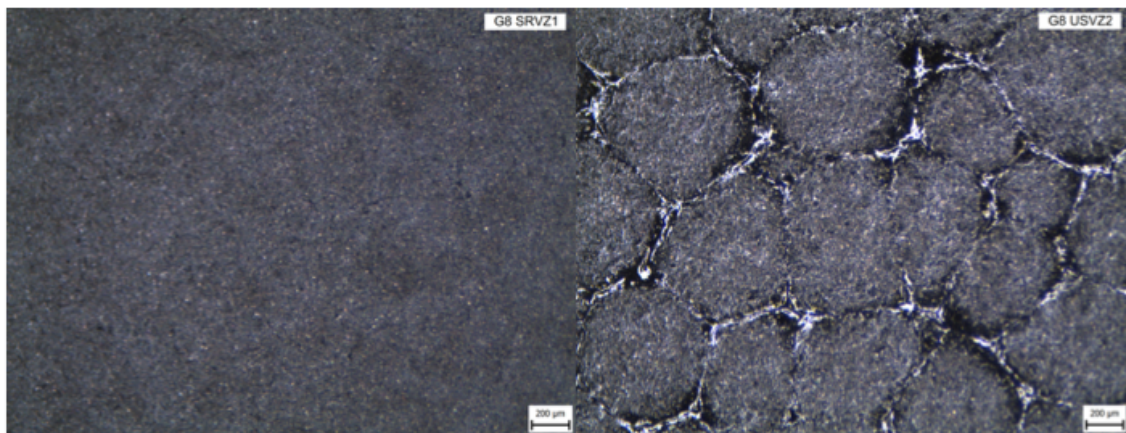
Diskuse výsledků měření vnitřního elektrického odporu

Z naměřených hodnot vyplývá, že nejlepší vodivosti dosahuje povlak G8 SRVZ1. Zbylé dva povlaky připravené metodou rotor – stator vykazují velmi dobré výsledky „zvodivění“ matrice. Z tabulky by se mohlo zdát, že dostatečné vlastnosti prokazuje i povlak US VZ1, ovšem zde je měření zkresleno z důvodu nerovnoměrného rozložení

grafitu v povrchové vrstvě tohoto povlaku. Povlak tak vykazuje v určitých částech uspokojivé vlastnosti elektrické vodivosti, ovšem nedochází při tomto měření k hodnocení vodivosti povlaku, nýbrž shluku mikročástic grafitu. Dále jsou z výsledků měření patrné nedostatky metody dispergace pomocí zubového míchadla.

5.7.6 Rozložení grafitu v povrchové vrstvě

Snímky elektricky povrchové vrstvy vodivých povlaků ve velkém zvětšení poskytují představu o příčinách rozdílných hodnot lesku (5.7.3), vodivosti povlaku (5.7.5) a vhodnosti jednotlivých metod pro dispergaci mikročástic grafitu. Snímky byly pořízeny pomocí optického mikroskopu Olympus SZ61 (Infinity 1, Lumenera) a jsou součástí příloh na konci práce. Na obrázku 24 jsou zobrazeny povrchy povlaků G8 SRVZ1 a G8 USVZ2. Ze snímku jasně je patrné, že nedošlo pomocí ultrazvukového homogenizátoru k dostatečné modifikaci rozměru grafitu (původní velikost částic 25 μm), a tím je povrchová vrstva nejednotná a nehomogenní. Tento stav povrchu způsobuje vyšší hodnoty lesku, nižší hodnoty elektrické vodivosti a dává jasný závěr o nevhodnosti ultrazvukové homogenizace při daných parametrech pro tuto aplikaci.



Obr. 24 - Rozložení grafitu v povrchové vrstvě vzorků G8 SRVZ1 (vlevo) a G8 USVZ2 (vpravo)

5.7.7 Zkouška abrazivní odolnosti otěruvzdorných povlaků

Ke zjištění odolnosti nátěrů vůči abrazivnímu opotřebení (ASTM D4060) bylo použito zařízení Taber – Abraser. Princip zkoušky spočívá v abrazivním účinku otěrových kotoučů (definované hrubosti), jenž jsou na vzorek, který se otáčí, přitlačovány závažím definované hmotnosti. U zkoušených vzorků kruhového tvaru byl sledován hmotnostní úbytek po 10, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 750 a 1 000 zátěžových cyklech. Ke stanovení hmotnosti vzorků bylo použito digitálních vah Ohaus Explorer Pro sloužících k předvážení a analytických vah Mettler H64 ke zjištění přesné hmotnosti. Před zahájením experimentu byl vzorek zvážen a následně zarovnan 10 cykly. Po opětovném zvážení vzorku bylo provedeno očištění brusných kotoučů jemným kartáčem a pokračováno v měření. Tento proces byl opakován až do konečné hodnoty 1 000 cyklů. Při tomto experimentu bylo použito brusných kotoučů Taber Industries H-10 přitlačovaných na vzorek závažím o hmotnosti 500 g. Test pomocí zařízení Taber Abraser byl proveden za účelem identifikace odolnosti povlaků vůči opotřebení. Průběh hmotnostních úbytků a jejich vynesení do grafu je uvedeno v grafu 1. Naměřené hodnoty hmotností, hmotnostních úbytků a tloušťky povlaků jsou uvedeny v přílohách na konci práce, tabulka 23 udává hodnoty hmotnostních úbytků jednotlivých typů povlaků po 1 000 zátěžových cyklech.

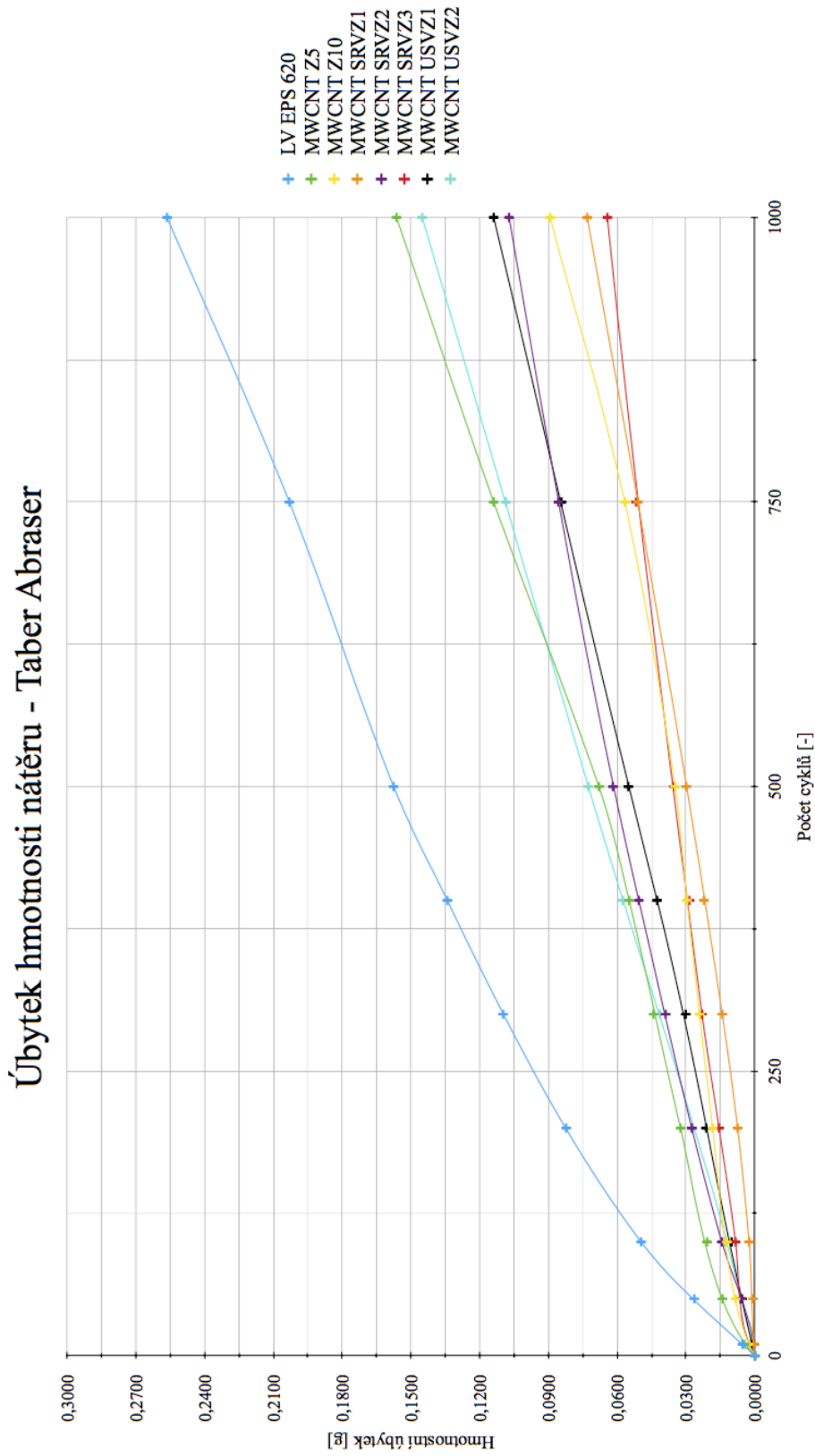


Obr. 25 - Digitální váhy Ohaus Explorer Pro (vlevo), analytické váhy Mettler H64 (uprostřed), Taber Abraser (vpravo)

Tabulka 23: Hmotnostní úbytky otěruvzdorných povlaků po 1 000 zátěžných cyklech

Hmotnostní úbytek povlaku po 1 000 zátěžných cyklech [g]							
620	MWCNT_						
	Z2	Z10	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
0,2564	0,1563	0,0893	0,0731	0,1072	0,0643	0,1139	0,1451

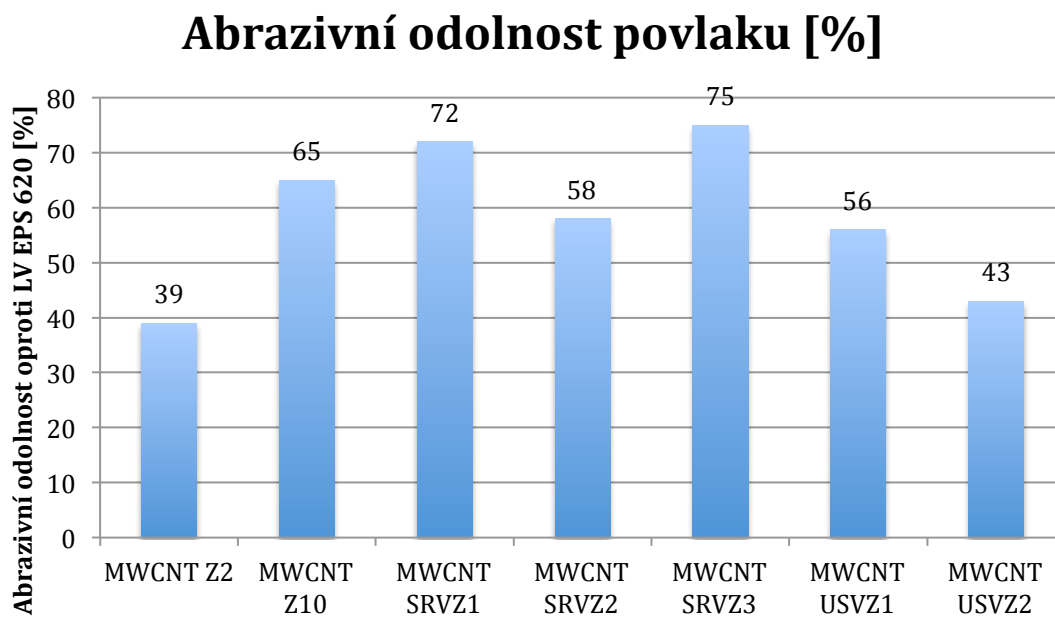
Graf 1: Průběh hmotnostních úbytků v závislosti na počtu zátěžných cyklů



Diskuse výsledků abrazivní odolnosti

Zkouška prokázala zvýšení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení nátěrové hmoty LV EPS 620 při použití MWCNT jako plniva. Nejvyšší abrazivní odolnost vykazuje povlak MWCNT SRVZ3, jenž vykazuje navýšení otěruvzdornosti o 74,9 %. Velmi dobrých výsledků dále dosahují nátěry MWCNT SRVZ1 (71,5 %) a MWCNT Z10 (65,2%) . Nejnižší hodnotu abrazivní odolnosti vykazuje povlak MWCNT Z2, jehož otěruvzdornost je oproti matrici LV EPS 620 větší o 39 %. Zvýšení abrazivní odolnosti jednotlivých povlaků je zobrazen v grafu 2. Vzhledem k charakteru zkoušky a stavu jednotlivých vzorků (rozdílná rovinnost, vzhled pomerančové kůry, přítomnost bublin plynu, hustota aj.) je nutné při finálním rozhodování o vhodné metodě dispergace z důvodů těchto nepříznivých vlivů přihlídnout k výsledkům ostatních metod a nerozhodovat pouze na základě výsledků zkoušky abrazivní odolnosti.

Graf 2: Zvýšení abrazivní odolnosti povlaků na bázi epoxidové pryskyřice

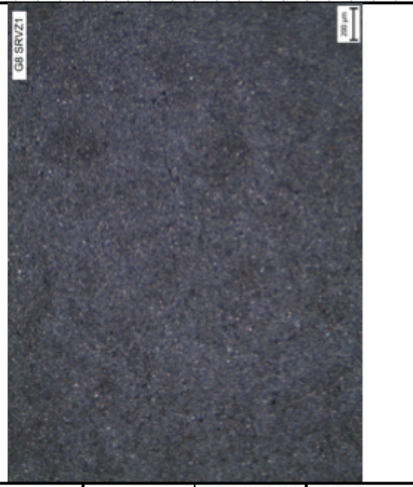



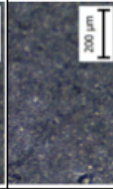

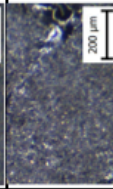
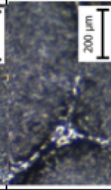


5.7.10 Vyhodnocení vhodné metody dispergace

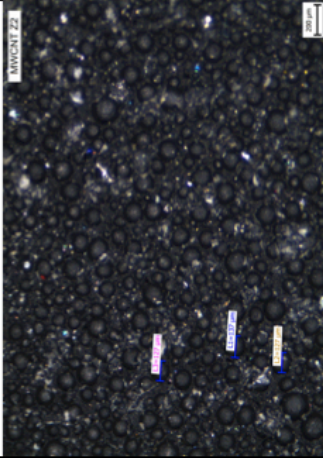
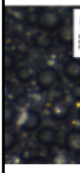
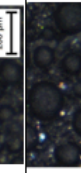
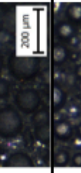
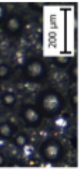
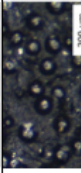
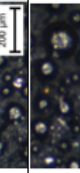
Jak je patrné z výsledků výše provedených zkoušek má metoda dispergace a její parametry zcela zásadní vliv na vlastnosti nátěrové hmoty. Z provedených experimentů je patrné, že zcela nejlepší výsledků dosahovaly vzorky připravené metodou rotor – stator. Při vyhodnocování optimálních parametrů dispergace je důležité stanovit, která z proměnných (frekvence otáček, čas, obvodová rychlost, disipovaná energie, disipovaný příkon atd.) má největší vliv na dispergaci a modifikaci rozměru plniva, a tím i na finální vlastnosti povlaku. Tabulky 24 a 25 shrnují výše uvedené poznatky vzhledových a funkčních vlastností povlaku a jsou dále doplněny o poznatky z teorie míchání poskytnuté Ústavem procesní a zpracovatelské techniky ČVUT v Praze. Jedná se o velikost disipované energie do míchané vsádky, měrný disipovaný příkon v dispergační zóně a velikost obvodové rychlosti míchadla. Při porovnání těchto parametrů a výsledků realizovaných zkoušek z tabulky jasně vyplývá jako hlavní parametr ovlivňující kvalitu dispergace obvodová rychlost. Při vysoké obvodové rychlosti nejsou zapotřebí pro vytvoření kvalitní disperze dlouhé doby trvání procesu. Tím je jednak snížena vliv tepelného ovlivnění matrice (vlivem disipované energie) procesem dispergace.

V případě optimalizace procesu dispergace suspenze epoxidové pryskyřice LV EPS 620 a mikročástic grafitu Fichema je vhodné volit metodu rotor – stator, při minimální obvodové rychlosti $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zvýšením obvodové rychlosti na hodnotu $> 17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, lze provádět proces dispergace po velmi krátký čas s uspokojivým výsledkem. Obdobný závěr lze konstatovat i v případě dispergace suspenze obsahující MWCNT, kdy vzhledem zvýšené teplotě směsi a možné degradaci matrice či směsi EPOCYL XCR 128-06 je zcela žádoucí proces dispergace co nejvíce zkrátit případně do procesu začlenit chlazení vsádky.

Tabulka 24: Souhrn výsledků zkoušek a poznatků z teorie míchání pro antistatické nátěrové hmoty

vzorek	metoda dispergace	frekvence otáček [min ⁻¹]	čas [min]	E_c [J.kg ⁻¹]	ϵ_p [W.kg ⁻¹]	obvodová rychlost	apikační vlastnosti [-]	pevnost v tahu [MPa]	lesk [GU]	vnitřní elektrický	rozložení grafitu v povrchové vrstvě
620	ručně	X	X	X	X	X	5	3,624	24,9	X	
G8Z1	zubové míchadlo	3 600	1	2 536	629	9,4	9	3,313	5,2	$9,3 \cdot 10^8$	
G8Z5	zubové míchadlo	3 600	5	14 086	629	9,4	10	3,697	4,9	$1,8 \cdot 10^8$	
G8SRVZ1	stator rotor	12 000	10	30 738	7 148	15,7	7	3,318	4,2	$1,5 \cdot 10^5$	
G8SRVZ2	stator rotor	11 000	5	12 571	5 622	14,4	10	3,994	4,4	$7,6 \cdot 10^6$	
G8SRVZ3	stator rotor	13 000	1,5	5 696	8 915	17,0	5	3,116	4,8	$3,8 \cdot 10^6$	
G8USVZ1	ultrazvuk. homogen.	X	5	33 208	31 773	X	13	3,576	5,7	$4,8 \cdot 10^6$	
G8USVZ2	ultrazvuk. homogen.	X	1,5	11 053	37 773	X	12	3,937	9,8	$2,0 \cdot 10^8$	

Tabulka 25: Souhrn výsledků zkoušek a poznatků z teorie míchání pro otěrzdorné nátěrové hmoty

vzorek	metoda dispergace	frekvence otáček [min ⁻¹]	čas t [min]	E_i [J.kg ⁻¹]	ϵ_0 [W.kg ⁻¹]	obvodová rychlost	aplikační vlastnosti [-]	pevnost v tahu [MPa]	lesk [GU]	hmotnostní úbytek	lomová plocha (otěrná zkouška ČSN EN ISO 4624)
620	ručně	X	X	X	X	X	5	3,624	24,9	0,2564	X
MWCNTZ2	zubové míchadlo	3 600	2	6 030	629	9,4	8,5	2,781	38,0	0,1563	
MWCNTZ10	zubové míchadlo	3 600	10	26 269	629	9,4	11	3,179	42,8	0,0893	
MWCNTRVZ1	stator rotor	10 000	10	17 169	4 322	13,09	6,75	3,897	46,9	0,0731	
MWCNTRVZ2	stator rotor	7 000	5	3 234	1 615	9,16	7	4,883	63,2	0,1072	
MWCNTRVZ3	stator rotor	10 000	1,5	2 726	4 322	13,09	8,5	5,509	70,8	0,0643	
MWCNTUSVZ1	ultrazvuk. homogen.	X	5	41 005	31 773	X	9,5	4,563	62,7	0,1139	
MWCNTUSVZ2	ultrazvuk. homogen.	X	1,5	12 163	31 773	X	10,5	4,312	59,8	0,1451	

5.8 Antistatické vodou ředitelné nátěrové hmoty

Druhá část mé diplomové práce je zaměřena na možnosti použití vodivých plniv v matrici CP55. Jak již bylo uvedeno v úvodu praktické části, jedná se o vodou ředitelnou samozákladovací nátěrovou hmotu na kov od firmy Viton s.r.o. Za funkční plnivo byly zvoleny v prvním případě grafit Fichema – pudrový (7 μm), v druhém případě suspenze obsahující MWCNT AQUACYL 0301. Popis těchto produktů je uveden v kapitole 5.3, funkce jednotlivých složek je popsána v kapitole 5.4. V rámci ověření antistatických vlastností povlaku, bylo provedeno měření vnitřního elektrického odporu jednotlivých povlaků pomocí zařízení TESPO 1.

V rámci experimentu byly vytvořeny následující suspenze:

Tabulka 26: Složení antistatických vodou ředitelných nátěrových hmot

Matrice [hmotnost]	Plnivo [hmotnost]	Hmotnostní podíl plniva
CP55	---	---
CP55 [400 g]	Grafit Fichema 7 μm [32 g]	8 hm. %
CP55 [590 g]	AQUACYL 0301 [10 g]	0,1 hm. % (MWCNT)
CP55 [450 g]	AQUACYL 0301 [50 g]	0,5 hm. % (MWCNT)
CP55 [400 g]	AQUACYL 0301 [100 g]	1,0 hm. % (MWCNT)
CP55 [230 g]	AQUACYL 0301 [100 g]	1,5 hm. % (MWCNT)

5.8.1 Značení vzorků a povlaků

Jednotlivé antistatické vodou ředitelné nátěrové hmoty a výsledné povlaky jsou značeny dle tabulky 27.

Tabulka 27: Značení antistatických vodou ředitelných nátěrových hmot

Matrice	Hmotnostní podíl plniva	Značení
CP55	---	CP55
CP55	8 hm. % (grafit – pudrový)	CP55G8
CP55	0,1 hm. % (MWCNT)	CP55-0,1
CP55	0,5 hm. % (MWCNT)	CP55-0,5
CP55	1,0 hm. % (MWCNT)	CP55-1,0
CP55	1,5 hm. % (MWCNT)	CP55-1,5

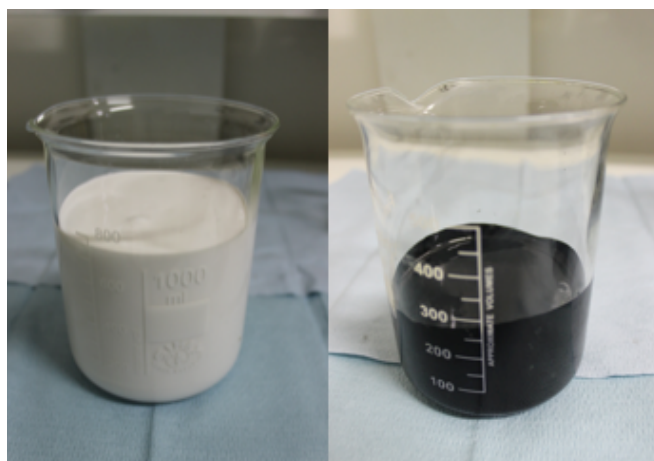
5.8.3 Způsob přípravy

Nátěrová hmota CP55 dodaná v objemu 5 l, byla nejprve promíchána pomocí pneumatického vrtulového míchadla Dürr PM 504m. Jednotlivé složky dle tabulky 26 byly odváženy pomocí digitální váhy SOEHNLE Page Evolution 66178 (přesnost ± 1 g) do laboratorní skleněné válcové nádoby o objemu 1 l. Následně byl proveden proces dispergace, v tomto případě pomocí čtyřlopatkového míchadla se šikmými lopatkami o průměru 50 mm. Dispergace probíhala na zařízení WiseStirr HS-D. Volba tohoto zařízení byla především z důvodu nízké vizkozity obou složek a pro zjištění disperzních možností této metody. Míchadlo bylo do nádoby vloženo mírně mimo osu nádoby, aby bylo co možná nejvíce minimalizováno přisávání vzduchu z okolního prostředí.

Parametry procesu (dobu dispergace a frekvenci otáček míchadla) udává tabulka 28.

Tabulka 28: Parametry dispergace antistatických vodou ředitelných nátěrových hmot

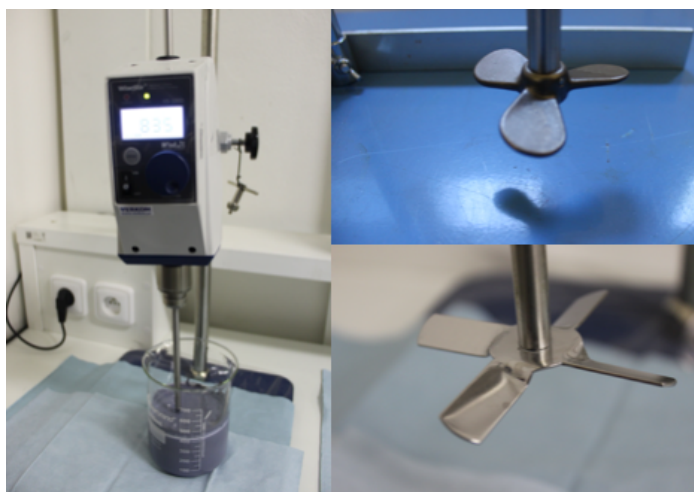
Vzorek	Frekvence otáček [m.s^{-1}]	Čas [min]
CP55	---	---
CP55G8	575	5
CP55-0,1	735	5
CP55-0,5	655	5
CP55-1,0	560	5
CP55-1,5	560	5



Obr. 26 - Nátěrová hmota CP55 (vlevo), AQUACYL 0301 (vpravo)



Obr. 27 - Grafít FICHEMA – pudrový (7 μm)



Obr. 28 - Zařízení WiseStirr HS-D (vlevo), pneumatické vrtulové míchadlo Dürr PM 504m (vpravo nahoře) a lopátkové míchadlo se šikmými lopatkami (vlevo dole)

5.8.4 Aplikace nátěrových hmot

Aplikace nátěrových systémů probíhala za teploty 22°C a relativní vlhkosti vzduchu 45 % tlakovým stříkáním pomocí stříkací pistole EST+ 166 pouze s rozdílným nastavením tlaku stlačeného vzduchu na 300 kPa (více kap. 5.5.6.).

5.8.5 Vytvrzení

Vytvrzení povlaků bylo provedeno volně na vzduchu za pokojové teploty (~ 20°C) po dobu 48 hodin.

5.8.6 Stanovení tloušťky povlaku

Ke stanovení tloušťky jednotlivých povlaku bylo použito měřicího zařízení CM-8826F – Digitální tloušťkoměr pro měření tloušťky vrstvy na kovovém feromagnetickém podkladu. Výsledky jednotlivých měření jsou součástí příloh na konci práce.



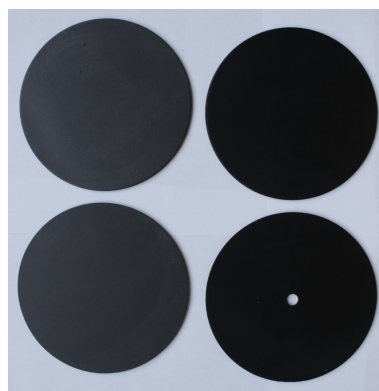
Obr. 29 - Digitální tloušťkoměr CM-8826F

5.8.7 Vzhled povlaků

Vytvořené povlaky vykazovaly jednolitý povrch bez viditelných známek vad povlaku.. Vlivem příměsí AQUACYL 0301 a grafitu došlo pouze ke změnám barevného odstínu.



Obr. 30 - Povlak CP55 (vlevo) a CP55 – 1,5 hm. % MWCNT (vpravo)



Obr. 31 - CP55 – 8 hm. % grafitu Fichema 7 μm (vlevo) a CP55 – 1,5 hm. % MWCNT (vpravo)

5.8.8 Vnitřní elektrický odpor povlaků

K určení vnitřního elektrického odporu nátěrů bylo použito zařízení TESPO 1, převodní vztah číselné hodnoty pro použitou sondu a zařízení: $R = 59,2 \cdot 10^6 (1999/\text{údaj} - 1)$. Výsledky průměrných hodnot vnitřního elektrického odporu jsou uvedeny v tabulce níže. Jedná se o průměrnou hodnotu ze šesti měření pro každý povlak, tabulky naměřených hodnot jsou součástí příloh na konci práce.

Tabulka 29: Vnitřní elektrický odpor povlaků antistatických vodou ředitelných hmot

Vzorek	Tespo 1	Vnitřní elektrický odpor povlaku [Ω]
CP55	0	---
CP55G8	1 400	$2,53 \cdot 10^7$
CP55-0,1	2	$5,91 \cdot 10^{10}$
CP55-0,5	3	$3,93 \cdot 10^{10}$
CP55-1,0	1577	$1,58 \cdot 10^7$
CP55-1,5	1989	$2,97 \cdot 10^5$

Diskuse výsledků měření vnitřního elektrického odporu

Z výsledků měření je patrné, že MWCNT ve formě suspenze AQUACYL 0301 představují velmi zajímavé pojivo pro dosažení vodivých vlastností povlaku. Jak je patrné z tabulky 29 s rostoucí koncentrací MWCNT se značně snižuje hodnota vnitřního elektrického odporu povlaku. Zajímavá je změna o pět řádů v případě porovnání podílu 0,5 hm. % a 1 hm. % MWCNT. Povlak s příměsí grafitu v tomto případě nedosahuje vodivosti, jakých bylo dosaženo u epoxidové pryskyřic, ovšem je třeba brát v potaz, že použitá metoda dispergace pomocí lopatkového míchadla nedosahuje takových parametrů jako míchadla rotor – stator. Lze předpokládat, že užitím poznatků o přípravě suspenzí v kapitole 5.7.11 lze dosáhnout mnohem lepších výsledků, při nižších koncentracích plniva. Použití AQUACYLU 0301 se jeví oproti grafitu FICHEMA jako vhodnější, a to především z důvodu snazší přípravy a vlastnostem použitých částic.

5.8.9 Zkouška přilnavosti povlaku

Zkouška přilnavosti nátěrové hmoty k substrátu byla realizována odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624:2004 na vzorcích s příměsí MWCNT a povlaku výchozí nátěrové hmoty CP55. Cílem zkoušky bylo ověření, zda použití AQUACYLU 0301 nemá negativní vliv na přilnavost výsledného povlaku obsahujícího MWCNT. Veškeré

odtrhy byly realizovány na vzorcích typu Q – panel (102 mm x 102 mm x 0,5 mm) – více viz. kap. 5.1. Při testování přilnavosti antistatických vodou ředitelných nátěrových hmot bylo použito vteřinového lepidla 3M Scotch-Weld SF100 a odtrhového zařízení Comtest OP2 s elektromechanickým pohonem. Hodnoty odtrhových napětí pro jednotlivé povlaky jsou uvedeny v tabulce 30 (aritmetický průměr ze čtyř měření pro každý typ povlaku, hodnoty jednotlivých odtrhů a charakter lomu jsou uvedeny v části příloh na konci práce).

Tabulka 30: Vliv MWCNT (resp. suspenze AQUACYL 0301) na přilnavost antistatického povlaku

Vzorek	Odrhové napětí [MPa]
CP55	3,975
CP55-0,1	4,170
CP55-0,5	3,834
CP55-1,0	3,975
CP55-1,5	3,401



Obr. 32 - CP55 (vlevo) a CP55-1,5 (vpravo)

Diskuse výsledků měření vnitřního elektrického odporu

Průměrné hodnoty odtrhových napětí uvedené v tabulce 30 nenaznačují významné negativní ovlivnění matrice CP55 v případě použití suspenze AQUACYL 0301. Při přihlédnutí k charakterům jednotlivých lomů (součástí přílohy na konci práce) a k obrázku 32 docházelo u povlaků s obsahem MWCNT ve větší míře k lomům v povlaku. Je nutné dodat, že použité vzorky Q – panel nejsou pro odtrhovou zkoušku vzhledem k tloušťce 0,5 mm zcela vhodné. Pro eliminaci průhybu a tím i negativního ovlivnění výsledků zkoušky, bylo použito u zařízení Comtest OP2 opěrné podložky.

5.9 Technicko-ekonomické zhodnocení

Vzhledem k rostoucím nárokům na ekologičnost nátěrových hmot a provozů lakoven, legislativním opatřením, snaze o konkurenceschopnost produktů a efektivitu výroby je hlavní snahou v oblasti organických nátěrových hmot snížení výše nákladů na jejich výrobu a použití surovin (pojiva, pigmenty, plnidla), jenž uspokojí tyto náročné požadavky. Ekonomické zhodnocení technologie výroby a její případná optimalizace představuje náročný proces s celou řadou vstupních proměnných. Cílem níže provedeného ekonomického hodnocení je stanovení ceny finálního produktu na bázi epoxidové nátěrové hmoty LV EPS 620 (Synpo a.s.) v závislosti na použitých surovinách (grafitu Fichema jemný 25 a MWCNT - EPOCYL XCR 128-06) a jejich porovnání. Pro nátěrovou hmotu CP55 a její plniva nebylo ekonomické zhodnocení provedeno, a to z důvodu, že se jedná prozatím o vývojový produkt fi. Viton a.s.

Ceny (včetně DPH) za kilogram použitých produktů udává tabulka 31.

Tabulka 31: Cena za kilogram použitých produktů

Produkt	Účel	Cena [Kč.kg ⁻¹]
LV EPS 620	Nátěrová hmota – matrice	310,97
LV BU 45 N	Tužidlo (tvrdidlo)	491,53
LV PA 600	Ředidlo	153,08
FICHEMA Grafít jemný 25μm	Plnivo – antistatické vl.	79,84
EPOCYL XCR 128-06	Plnivo MWCNT	1305,60

Pozn.: uvedené ceny LV EPS 620, LV BU 45 N a LV PA 600 odpovídají stavu pro rok 2014, v případě EPOCYLU XCR 128-06 není v ceně zahrnuta doprava.

Nátěrová hmota LV EPS 620 a vytvořené funkční nátěrové hmoty jsou dvousložkové (tj. směs nátěrové hmoty a tužidla). Tužení se provádí pomocí tužidla TU BU 45 N v objemovém poměru 6:1 ve prospěch tužidla. Tabulky 32, 33 a 34 uvádí jednotlivé složky nátěrových hmot a cenu na 1 kg výsledné směsi.

Tabulka 32: Cena za kilogram nátěrové směsi LV EPS 620

Složky	Popis	Množství [kg]	Cena [Kč]
LV EPS 620	Epoxidová n.h.	1,000	310,97
LV BU 45 N	Tužidlo (tvrdidlo)	0,127	62,42
SUMA		1,127	373,39
Cena za 1 kg ... 331,31 Kč (včetně DPH 21%)			

Pozn.: hustoty produktů použité při výpočtu – LV EPS 620: 1,3 g.m⁻³, LV BU 45 N: 0,995 g.m⁻³.

Tabulka 33: Cena za kilogram antistatické nátěrové hmoty na bázi LV EPS 620

Složky	Popis	Množství [kg]	Cena [Kč]
LV EPS 620	Epoxidová n.h.	1,000	310,97
LV BU 45 N	Tužidlo (tvrdidlo)	0,127	62,42
Grafit Fichema	Plnivo 25 µm	0,141	11,25
SUMA		1,268	384,64
Cena za 1 kg ... 303,34 Kč (včetně DPH 21%)			

Pozn.: plnivo grafit Fichema jemný představuje 8 hm. % směsi LV EPS 620 a LV BU 45N.

Tabulka 34: Cena za kilogram otěruvzdorné nátěrové hmoty na bázi LV EPS 620

Složky	Popis	Množství [kg]	Cena [Kč]
LV EPS 620	Epoxidová n.h.	0,4040	124,63
LV BU 45 N	Tužidlo (tvrdidlo)	0,0813	39,96
EPOCYL XCR 128-06	Suspenze MWCNT	0,1210	157,97
SUMA		0,6063	322,56
Cena za 1 kg ... 532,01 Kč (včetně DPH 21%)			

Pozn.: plnivo MWCNT představuje 1 hm. % směsi LV EPS 620 a LV BU 45N.

Diskuse ekonomického zhodnocení

Jak je z výše uvedených tabulek patrné, představuje EPOCYL XCR 12-06 největší nákladovou položku z použitých složek nátěrových hmot. Vzhledem ke značnému pokroku v oblasti výroby nanomateriálů, lze očekávat snížení jejich ceny, a tím i větší uplatnění v průmyslových aplikacích. Tabulka 33 udává cenu antistatického nátěrového systému na bázi epoxidové pryskyřice s příměsí grafitu Fichema - jemný, vzhledem k přepočtu ceny směsi na 1 kg je díky snížení podílu použitých složek matrice a tužidla výsledná cena nižší o 27,97 Kč. Z hlediska použitých metod dispergace jsou pořizovací náklady nejnižší v případě metody zubovým míchadlem, dále následuje metoda rotor – stator a ultrazvukový homogenizátor. Orientačně se cena jednotlivých laboratorních zařízení pohybuje následovně: zubové míchadlo (včetně zařízení) < 50 000 Kč, míchadlo stator rotor a ultrazvukový homogenizátor ~ 100 000 Kč až 150 000 Kč. Uvedené částky jsou pouze informativního charakteru a slouží pro přiblížení finanční náročnosti při pořízení jednotlivých metod.

6 Závěr

Z dosažených výsledků komentovaných v předchozích kapitolách lze konstatovat, že cíle této diplomové práce byly splněny. V případě nátěrových systémů se zvýšenou odolností proti opotřebení a antistatických nátěrových systémů na bázi epoxidové pryskyřice se podařilo prokázat přímou souvislost mezi metodou a způsobem dispergace částic plniva (resp. obvodovou rychlostí míchadla) na aplikační, vzhledové a funkční vlastnosti finálního produktu. Bylo zjištěno, že prodlužování doby dispergace při nízké obvodové rychlosti míchadla je zcela neefektivní a nedochází k uspokojivým výsledkům. Naopak se podařilo stanovit podmínky potřebné k urychlení procesu dispergace s velmi dobrými výsledky na homogenitu suspenze a její užitné vlastnosti. Bylo zjištěno, že dispergací pomocí míchadla rotor – stator, při obvodové rychlosti míchadla $> 17 \text{ m.s}^{-1}$ lze zkrátit čas potřebný pro dispergaci směsi o objemu $\sim 1\,000 \text{ ml}$ na $< 1,5 \text{ min}$. Tento fakt má význam nejen z časového a ekonomického hlediska, ale i technologický v případě dispergace degradabilních materiálů za zvýšených teplot. Dále bylo zjištěno, že v případě otěruvzdorné nátěrové hmoty LV EPS 620 – 1 hm. % MWCNT je vlivem zvýšené teploty během procesu dispergace odpařována některá ze složek. Tento jev má ve finálním důsledku vliv na značné snížení pevnosti povlaku vlivem jeho provzdušnění. Dále bylo zjištěno, že vhodným procesem dispergace (rotor – stator, vysoká obvodová rychlost) lze zvýšit odolnost opotřebení této nátěrové hmoty až o 75 % (vůči výchozí matici) a až o 39 % povlaku připraveném pomocí zubového míchadla. Kombinace vysoké obvodové rychlosti míchadla rotor – stator a krátkého času dispergace se ukázala jako vhodný přístup při tvorbě antistatických systémů na bázi epoxidové pryskyřice. Tato metoda nejen že dosahuje nejlepších výsledků vzhledových vlastností, ale z hlediska požadavku na jeho elektrickou vodivost dosahuje snížení hodnoty elektrického odporu o tři řády vůči ostatním metodám (ultrazvukový homogenizátor, zubového míchadlo).

Dále práce splnila požadavek na vytvoření nátěrového systému se zvýšenou elektrickou vodivostí na bázi vodou ředitelné nátěrové hmoty. Použitím MWCNT v suspenzi AQUACYL 0301 bylo dosaženo vynikajících vodivých vlastností povlaku CP55 při použití 1,5 hm.% těchto částic. Oproti vodivým povlakům, v nichž jsou jako plnivo použity vodivé saze či grafit, nemají vyvinuté povlaky obsahující MWCNT tendenci při dotyku „špinit“ a jsou snadno aplikovatelné metodou vzduchového stříkání.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] KUBÁTOVÁ, Hana. *Nátěry kovů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2000, 101 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-9035-1
- [2] HERRMAN, František a Marek SCHILLER. *Zkoušení nátěrových hmot a ochranných povlaků*. In: Sdružení českých zkušeben a laboratoří [online]. 2006 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://www.sczl.cz/dokumenty/k06_04.pdf
- [3] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a Technologie Povrchových úprav* 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1984. 270 s.
- [4] HOŠEK, Jan. *Úvod do nanotechnologie*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2010. str. 170s. ISBN 978-80-01-04555-8.
- [5] SEDLÁČEK, Vladimír. *Povrchy a povlaky kovů*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1992, 176 s. ISBN 80-01-00799-5.
- [6] KUKLÍK, Vlastimil a Jan KUDLÁČEK. *Žárové zinkování*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014, 199 s. ISBN 978-80-905298-2-3
- [7] ČESKÁ REPUBLIKA – ŘEDITELSTVÍ VODNÍCH CEST ČR. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. 2013. In: TKP ŘVC ČR [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://www.rvccr.cz/public/data/downloads/dokumenty/TKP-Protikorozn%C3%AD_ochrana_ocelov%C3%BDch_konstrukce%C3%AD.pdf
- [8] ČSN EN ISO 4618:2007. *Nátěrové hmoty - Termíny a definice*. 2007. Praha: ÚNMZ
- [9] POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVU. *Povrchové úpravy kovu | Ploty Bohumín* [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.plotybohumin.cz/povrchove-upravu/>
- [10] MACEK, Karel, Petr ZUNA a kol. *Nauka o materiálu*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999.
- [11] NOVÁK, Pavel a Milan KOUŘIL. *Elektrochemická koroze kovů – Koroze a degradace kovových materiálů* [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT v Praze. Praha [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_1.pdf
- [12] NOVÁK, Pavel. *Korozní prostředí – Koroze a degradace kovových materiálů* [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT v Praze. Praha [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_1.pdf

- [13] NOVÁK, Pavel. Druhy koroze kovů. *Koroze a ochrana materiálu*. 2005, [online]. (4). [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF
- [14] Emissions of the main air pollutants. *European Environment Agency* [online]. 2012 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/emission-trends-for-the-main-1#tab-chart_3
- [15] NOVÁK, Pavel. *Korozní účinky prostředí na kovy* [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT v Praze. Praha [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_3.pdf
- [16] Katodická ochrana. *Dekmetal: Pozinkované plechy* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://dekmetal.cz/pozinkovane-plechy-19>
- [17] Elektrochemická koroze kovů: Standardním potenciál. *Základní pojmy z elektrochemie pro popis korozních reakcí* [online]. VŠCHT v Praze [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/t_elchem.htm
- [18] MALČÁK, Tomáš. *Zemní odpor zemniče, rezistivita půdy: Návod do měření*. [online]. 2009. Ostrava: Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB – TU Ostrava. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FAST/1-Mereni_zemniho_odporu.pdf
- [19] ČSN EN ISO 12944-2:2007. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí. 2007. Praha: ÚNMZ
- [20] ČSN 33 2005-5-54:2011 Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné vodiče. 2011. Praha: ÚNMZ
- [21] KREIBICH, Viktor. *Povrchové úpravy* 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1981. 149 s
- [22] BENEŠOVÁ, Jaroslava a Miroslav SVOBODA. *Možnost predikce chování nátěrů v atmosférických podmínkách na základě laboratorních urychlených zkoušek*. Povrcháři.cz [online]. 2011, č. 3 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://povrchari.cz/kestazeni/201103_povrchari.pdf>.
- [23] ČSN EN ISO 12944-5:2007. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 5: Ochranné nátěrové systémy. 2007. Praha: ÚNMZ
- [24] KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. *Technologie povrchových úprav: Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. 328 s. ISBN 80-7194-691-5.

- [25] UNIVERZITA JANA EVANGELISTY PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM. *Studijní text - Alkydové pryskyřice* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/POLYESTERY.pdf>
- [26] LIDAŘÍK, M. *Epoxidové pryskyřice*. Praha: SNTL. 1983
- [27] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery. Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 1. vyd. VŠCHT Praha, 1995. 354 s. ISBN 95-166-34/95.
- [28] ZDENĚK, Tůma. Stav a trendy vývoje průmyslových NH. In: *Časopis Transfer. VÝZKUMNÝ A ZKUŠEBNÍ LETECKÝ ÚSTAV, A.S.*, 2014. Dostupné také z: <http://www.vzlu.cz/download.php?file=902>
- [29] Betonstav: Základní vlastnosti a použití jednotlivých typů nátěrových hmot podle ČSN EN ISO 12 944. *Betonstav: Základní vlastnosti nátěru* [online]. [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.bestonstav.cz/!fs/docs/zakladni-vlastnosti-nateru-2.pdf>
- [30] PROINEX.CZ,. Aplikace nátěru. *Natahovací pravítko BAKER* [online]. [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/natahovaci-pravitko-baker.html>
- [31] NAVARA, Václav a Miroslav UTĚŠENÝ. *Trysková soustava stříkací pistole*. [Patent]. č. 86598a. 1957.
- [32] SATA GERMAN ENGINEERING. *SATAjet4000 B HVLP* [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: www.sata.com/index.php?id=satajet4000bhvlp
- [33] FOJTÍK, Anton. *Nano - fascinující fenomén současnosti: nanočástice, nanostruktury a nanotechnologie - důmyslné formy hmoty : od objevu fenoménu po biomedicínské aplikace*. 1. vyd. Praha [i.e. Dobruška]: COMTES FHT, 2014, 288 s. ISBN 978-80-260-7135-8.
- [34] REILLY, R. M. *Carbon Nanotubes: Potential Benefits and Risks of Nanotechnology in Nuclear Medicine*. *Journal of Nuclear Medicine* [online]. 2007-07-01, vol. 48, issue 7, s. 1039-1042 [cit. 2015-05-30]. DOI: 10.2967/jnumed.107.041723. Dostupné z: <http://jnm.snmjournals.org/cgi/doi/10.2967/jnumed.107.041723>.
- [35] KVÍTEK, Libor. *Nanotechnologie dneška - koloidní stříbro*. [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://fch.upol.cz/vyzkum/srozum/nanotechnologie.pdf>
- [36] NANOSTRUCTURED & AMORPHOUS MATERIALS, Inc. *Titanium Nitride* [online]. 2011. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.nanoamor.com/inc/pdetail?v=1&pid36911>
- [37] NANOSTRUCTURED & AMORPHOUS MATERIALS, Inc. *Zinc powder 80 nm*. [online]. 2011. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.nanoamor.com/inc/sdetail/16018>
- [38] WTEC. *Opportunities In Self-Assembly*. WTEC Hyper-Librarian. [online]. [cit. 2015-05-30] Dostupné z: http://www.wtec.org/loyola/nano/04_03.htm

- [39] POUR, Petr. *Využití 1D nanomateriálů pro nátěrové systémy*. Praha, 2013. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
- [40] ZOUBEK, Michal. *Vliv nanočástic na vlastnosti nátěrové hmoty*. Praha, 2013. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
- [41] KUDLÁČEK, Jan, Michal ZOUBEK, Viktor KREIBICH, Miroslav VALEŠ a František HERRMANN. *Aplikace nátěrových systémů se zvýšenou elektrickou vodivostí*. Povrcháři. 2014, č. 7. [cit. 2015-05-30] Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201407_povrchari.pdf
- [42] SVOBODA, Jakub. *Povlaky z nátěrových hmot se zvýšenou vodivostí*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
- [43] RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. *Hydromechanické procesy II*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005, 167 s. ISBN 80-01-03302-3.
- [44] JANALÍK, Jaroslav. *Potrubní hydraulická a pneumatická doprava*. Ostrava : VŠB Ostrava, 1998. 196 s. ISBN 80-7078-595-0.
- [45] JIROUT, Tomáš. *Míchání v kapalném prostředí* [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/tomas.jirout/vyuka/hmz/hmz9.pdf>
- [46] TJSKL.org. *Screw mixing device* [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z http://www.tjskl.org.cn/images/cza5bbe1-pz1a7e37e-top_into_the_mixing_device_stirring_device_topintothemixingdevice.html
- [47] IKA. *Zkušební a vývojová zařízení* [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: http://www.neotec.cz/ika/download/201101_IKA_Pilots_IWS_CZ.pdf
- [48] ULTRAZVUK. *Ultrazvukové homogenizátory* [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.ultrazvuk-sro.cz/produkty/ultrazvuk-laboratore-medicinu/uz-homogenizatory>

8 Seznam obrázků

- Obr. 1 – Duplexní systém [9]
- Obr. 2 – Galvanický bimetalický článek Zn – Fe [16]
- Obr. 3 – Elektrochemická řada napětí [17]
- Obr. 4 – Graf emisního znečištění vzdušnými polutanty v EU (SO_x – oxidy síry, NO_x – oxidy dusíku, MNVOC – nemetanové těkavé organické sloučeniny, NH₃ – amoniak, primární jemné částice PM_{2,5})[14]
- Obr. 5 – Nanášecí pravítko Baker (vlevo), jednotlivé velikosti štěrby v μm (uprostřed), princip aplikace (vpravo)[30]
- Obr. 6 – Stříkací pistole HVLP a jednotlivé prvky tryskové soustavy (černě)[32]
- Obr. 7 – Klasická vzduchová stříkací pistole EST+ 118 (vlevo), pistole Graco G40 pro vysokotlaké stříkání s podporou vzduchu (uprostřed) a zařízení pro vysokotlaké stříkání Graco MINIMERKUR ES 30:1 (vpravo)
- Obr. 8 – Fullereny C₆₀, C₇₀ a C₈₀ [38]
- Obr. 9 – Různé typy nanotub [38]
- Obr. 10 – Axiální proudění, nádoba s nárážkami (vlevo), radiální proudění, nádoba s nárážkami (uprostřed) a tangenciální proudění (vpravo) [45]
- Obr. 11 – Pomaloběžné šroubové míchadlo [46]
- Obr. 12 – Zubové míchadlo (vlevo), vrtulové míchadlo (vpravo) a jejich charakteristické rozměry [46]
- Obr. 13 – Princip míchadla rotor – stator IKA [47]
- Obr. 14 – Váha SOEHNLE Page Evolution 66178
- Obr. 15 – Použité dispergátory: zubové míchadlo (vlevo), rotor – stator (uprostřed), ultrazvukový homogenizátor (vpravo)
- Obr. 16 – Lakovací box (vlevo), stříkací pistole EST+ 116 (vpravo nahoře), dvoustupňový filtr Donaldsen (uprostřed), vymrazovací box MTA Dry Energy DE103 (vpravo dole)
- Obr. 17 – Schéma rozvedení a úpravy stlačeného vzduchu v laboratoři Ú12133
- Obr. 18 – Odtrhoměr Comtest OP2
- Obr. 19 – Zkušební tělísko na vzorku G8 SRVZ2
- Obr. 20 – Lomová plocha MWCNT Z2 (vlevo) a MWCNT SRVZ3 (vpravo)
- Obr. 21 – Stanovení zrcadlového lesku pod úhlem 60° na povlaku MWCNT SRVZ3
- Obr. 22 – Zařízení pro zkoušku ohybem na kónickém trnu (vlevo), testovaný povlak MWCNT SRVZ2 (vpravo)

- Obr. 23 – Měření vnitřního elektrického odporu zařízením TESPO 1
- Obr. 24 – Rozložení grafitu v povrchové vrstvě vzorků G8 SRVZ1 (vlevo) a G8 USVZ2 (vpravo)
- Obr. 25 – Digitální váhy Ohaus Explorer Pro (vlevo), analytické váhy Mettler H64 (uprostřed), Taber Abraser (vpravo)
- Obr. 26 – Nátěrová hmota CP55 (vlevo), AQUACYL 0301 (vpravo)
- Obr. 27 – Grafit FICHEMA – pudrový (7 μm)
- Obr. 28 – Zařízení WiseStirr HS-D (vlevo), pneumatické vrtulové míchadlo Dürr PM 504m (vpravo nahoře) a lopátkové míchadlo se šikmými lopatkami (vlevo dole)
- Obr. 29 – Digitální tloušťkoměr CM-8826F
- Obr. 30 – Povlak CP55 (vlevo) a CP55 – 1,5hm. % MWCNT (vpravo)
- Obr. 31 – CP55 – 8 hm. % grafitu Fichema 7 μm (vlevo) a CP55 – 1,5 hm. % MWCNT (vpravo)
- Obr. 32 – CP55 (vlevo) a CP55-1,5 (vpravo)
- Obr. 33 – Značení vrstev při vyhodnocování typu lomu
- Obr. 34 – LV EPS 620 (vlevo), MWCNT Z2 (vpravo)
- Obr. 35 – MWCNT Z10 (vlevo), MWCNT SRVZ1 (vpravo)
- Obr. 36 – MWCNT SRVZ2 (vlevo) a MWCNT SRVZ3 (vpravo)
- Obr. 37 – MWCNT USVZ1 (vlevo) a MWCNT USVZ2 (vpravo)
- Obr. 38 – Vzorky po ohybové zkoušce – s příměsí grafitu (nahore), s příměsí MWCNT (dole)
- Obr. 39 – Vzorky opatřené povlakem CP 55
- Obr. 40 – Vzorky CP55 s příměsí MWCNT – 0,1 hm. % (vlevo nahoře), 0,5 hm. % (vpravo nahoře), 1,0 hm. % (vlevo dole) a 1,5 hm. % (vlevo dole)
- Obr. 41 – Vzorky po odtrhové zkoušce (MWCNT)
- Obr. 42 – Vzorky po odtrhové zkoušce (grafit)
- Obr. 43 – Rozložení grafitu v povrchové vrstvě
- Obr. 44 – Ovlivnění matrice plynem
- Obr. 45 – Vzorky po odtrhové zkoušce CP55

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Stupně korozní agresivity atmosféry dle ČSN EN ISO 12944-2:2007

Tabulka 2: Kategorie korozních prostředí vody a půdy dle ČSN EN ISO 12944-2:2007

Tabulka 3: Střední hodnoty rezistivity běžných druhů půd dle ČSN 33 2005-5-54:2011

Tabulka 4: Základní vlastnosti a použití jednotlivých typů nátěrových hmot dle ČSN EN ISO 12 944[29]

Tabulka 5: Rozdělení disperzních soustav

Tabulka 6: Parametry povrchu tryskaných vzorků – drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4287:1997

Tabulka 7: LV EPS 620

Tabulka 8: LV BU 45 N

Tabulka 9: EPOCYL XCR 128-06

Tabulka 10: CP55

Tabulka 11: AQUACYL 0301

Tabulka 12: Složení epoxidových nátěrových hmot

Tabulka 13: Složení vodou ředitelných nátěrových hmot

Tabulka 14: Značení vzorků epoxidových nátěrů, metody dispergace a použité parametry míchání

Tabulka 15: Zkoušky epoxidových nátěrových hmot

Tabulka 16: Zkoušky antistatických povlaků

Tabulka 17: Zkoušky otěruvzdorných povlaků

Tabulka 18: Zkouška přilnavosti – velikost odtrhového napětí

Tabulka 19: Vícekriteriální zhodnocení aplikačních a vzhledových vlastností antistatických povlaků

Tabulka 20: Zkouška přilnavosti – průměrná velikost odtrhového napětí

Tabulka 21: Stanovení lesku nátěru (ČSN ISO 2813:2015)

Tabulka 22: Vnitřní elektrický odporu povlaku

Tabulka 23: Hmotnostní úbytky otěruvzdorných povlaků po 1 000 zátěžných cyklech

- Tabulka 24: Souhrn výsledků zkoušek a poznatků z teorie míchání pro antistatické nátěrové hmoty
- Tabulka 25: Souhrn výsledků zkoušek a poznatků z teorie míchání pro otěruvzdorné nátěrové hmoty
- Tabulka 26: Složení antistatických vodou ředitelných nátěrových hmot
- Tabulka 27: Značení antistatických vodou ředitelných nátěrových hmot
- Tabulka 28: Parametry dispergace antistatických vodou ředitelných nátěrových hmot
- Tabulka 29: Vnitřní elektrický odpor povlaků antistatických vodou ředitelných hmot
- Tabulka 30: Vliv MWCNT (resp. suspenze AQUACYL 0301) na přilnavost antistatického povlaku
- Tabulka 31: Cena za kilogram použitých produktů
- Tabulka 32: Cena za kilogram nátěrové hmoty LV EPS 620
- Tabulka 33: Cena za kilogram antistatické nátěrové hmoty na bázi LV EPS 620
- Tabulka 34: Cena za kilogram otěruvzdorné nátěrové hmoty na bázi LV EPS 620
- Tabulka 35: Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287:1997
- Tabulka 36: Zkouška přilnavosti č.1 – pro povlaky LV EPS 620 a její modifikace
- Tabulka 37: Zkouška přilnavosti č.2 – pro povlaky LV EPS 620 a její modifikace
- Tabulka 38: Zkouška přilnavosti č.3 – pro povlaky LV EPS 620 a její modifikace
- Tabulka 39: Naměřené hodnoty lesku povlaků na bázi epoxidové pryskyřice
- Tabulka 40: Naměřené hodnoty vnitřního elektrického odporu povlaků na bázi LV EPS 620
- Tabulka 41: Zkouška odolnosti proti abrazivnímu opotřebení Taber Abraser
- Tabulka 42: Vnitřní odpor povlaků na bázi vodou ředitelné nátěrové hmoty CP55
- Tabulka 43: Odtrhová zkouška přilnavosti povlaků na bázi CP55
- Tabulka 44: Tloušťka povlaků na bázi CP55
- Tabulka 45: Tloušťka povlaků na bázi LV EPS 620 (odtrhová zkouška)
- Tabulka 46: Tloušťka povlaků na bázi LV EPS 620 (Taber Abraser)

10 Seznam grafů

Graf 1: Průběh hmotnostních úbytků v závislosti na počtu zátěžných cyklů

Graf 2: Zvýšení abrazivní odolnosti povlaků na bázi epoxidové pryskyřice

12 Seznam použitých zkratek

MWCNT – Multi Wall Carbon Nanotubes (vícestěnné uhlíkové nanotuby)

UV – Ultra Violet (ultrafialové záření)

Zn – zinek (Zincum)

S335 – konstrukční ocel dle EN10027:2004

Cu – měď (Cuprum)

Fe – železo (Ferrum)

°C – Celsiův stupeň (jednotka teploty)

ČR – Česká republika

EU – Evropská unie

SO₂ – oxid siřičitý

NaCl – chlorid sodný

CO₂ – oxid uhličitý

O₃ – ozon

NO₂ – oxid dusičitý

NO – oxid dusíku

H₂S – sulfan

NH₃ – amoniak (čpavek)

SO_x – oxidy síry

NO_x – oxidy dusíku

MNVOC – nemetanové těkavé organické sloučeniny

PM_{2,5} – primární jemné částice

ZnO – oxid zinečnatý

ČSN – Česká technická norma

ASTM – American Society for Testing and Materials

DIN – Deutsches Institut für Normung

Al₂O₃ – oxid hlinitý

TiN – nitrid titanu

TiO₂ – oxid titaničitý

13 Seznam jednotek

$^{\circ}\text{C}$ – Celsiův stupeň (jednotka teploty)

$\Omega\cdot\text{m}$ – Ohm metr (jednotka měrného odporu - rezistivity)

g – gram (jednotka hmotnosti), $1\text{ g} = 0,001\text{ kg}$

m – metr (jednotka délky)

mm – milimetr (jednotka délky), $1\text{ mm} = 0,001\text{ m}$

Pa – Pascal (jednotka tlaku), $100\,000\text{ Pa} = 100\text{ kPa} = 1\text{ bar}$

l – litr (jednotka objemu), $1\text{ l} = 1\,000\text{ ml}$

GU – gloss unit (jednotka lesku)

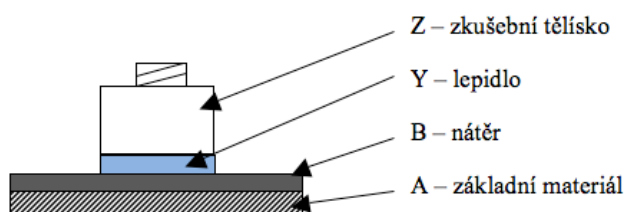
$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ – metr za sekundu (jednotka rychlosti)

min – minuta (jednotka času)

14 Přílohy

Tabulka 35: Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287:1997

Měření	Ra [μm]	Rq [μm]	Rz [μm]
1	5,27	6,69	32,06
2	5,49	6,53	27,41
3	5,46	7,17	36,28
4	4,10	5,35	25,43
5	3,14	4,11	20,17
6	4,75	5,93	26,82
\bar{x}	4,70	5,96	28,03
s_x	1,04	1,24	6,18



Obr. 33 - Značení vrstev při vyhodnocování typu lomu

Tabulka 36: Zkouška přilnavosti č.1 – pro povlaky LV EPS 620 a její modifikace

Odrhová zkouška přilnavosti 1		Lepidlo:		3M Scotch-Weld SF100			
Vzorek	Odrhové napětí [Mpa]	Typ lomu [%]					Σ
		Z/Y	Y/B	B/A	B	Y	
G8Z1	3,057	10	0	0	90	0	100
G8Z5	4,310	18	0	0	82	0	100
G8SRVZ1	2,800	20	0	0	80	0	100
G8SRVZ2	4,176	0	15	0	85	0	100
G8SRVZ3	3,850	0	0	0	100	0	100
G8USVZ1	3,419	0	0	0	100	0	100
G8USVZ2	3,025	20	0	0	80	0	100
MWCNTZ10	3,342	20	0	0	80	0	100
MWCNTZ2	3,608	10	0	0	90	0	100
MWCNTSRVZ1	4,284	0	0	0	100	0	100
MWCNTSRVZ2	5,212	15	0	0	85	0	100
MWCNTSRVZ3	4,208	0	10	0	90	0	100
MWCNTUSVZ1	4,189	5	0	0	95	0	100
MWCNTUSVZ2	3,657	0	0	0	100	0	100
620	3,729	20	0	0	80	0	100

Tabulka 37: Zkouška přilnavosti č.2 – pro povlaky LV EPS 620 a její modifikace

Odrhová zkouška přilnavosti 2		Lepidlo:		3M Scotch-Weld SF100			
Vzorek	Odrhové napětí [Mpa]	Typ lomu [%]					Σ
		Z/Y	Y/B	B/A	B	Y	
G8Z1	3,896	10	0	10	80	0	100
G8Z5	3,640	0	0	0	80	20	100
G8SRVZ1	3,675	10	20	0	80	0	100
G8SRVZ2	3,38	50	0	0	50	0	100
G8SRVZ3	2,672	30	0	0	70	0	100
G8USVZ1	4,159	15	0	0	85	0	100
G8USVZ2	4,321	5	0	0	90	0	100
MWCNTZ10	3,132	15	0	5	80	0	100
MWCNTZ2	1,130	1	0	0	99	0	100
MWCNTSRVZ1	2,882	20	0	0	60	20	100
MWCNTSRVZ2	3,622	0	0	20	80	0	100
MWCNTSRVZ3	6,135	5	0	70	25	0	100
MWCNTUSVZ1	4,59	0	0	0	100	0	100
MWCNTUSVZ2	4,536	0	0	0	100	0	100
620	3,995	0	0	0	100	0	100

Tabulka 38: Zkouška přilnavosti č.3 – pro povlaky LV EPS 620 a její modifikace

Odrhová zkouška přilnavosti 3		Lepidlo:		3M Scotch-Weld SF100			
Vzorek	Odrhové napětí [Mpa]	Typ lomu [%]					Σ
		Z/Y	Y/B	B/A	B	Y	
G8Z1	2,986	6	0	0	94	0	100
G8Z5	3,142	0	20	0	80	0	100
G8SRVZ1	3,478	0	0	0	100	0	100
G8SRVZ2	4,425	0	0	0	100	0	100
G8SRVZ3	2,827	0	0	0	100	0	100
G8USVZ1	3,151	0	0	0	100	0	100
G8USVZ2	4,464	5	0	0	95	0	100
MWCNTZ10	3,605	0	0	0	80	0	100
MWCNTZ2	3,062	0	0	0	100	0	100
MWCNTSRVZ1	4,526	0	0	0	100	0	100
MWCNTSRVZ2	5,816	0	0	0	100	0	100
MWCNTSRVZ3	6,183	5	0	0	95	0	100
MWCNTUSVZ1	4,909	10	0	0	90	0	100
MWCNTUSVZ2	4,744	10	0	0	90	0	100
620	3,148	4	0	0	96	0	100

Tabulka 39: Naměřené hodnoty lesku povlaků na bázi epoxidové pryskyřice

Měření lesku pod úhlem 60° [GU]								
Měření	620	G8 Z1	G8 Z5	G8 SRVZ1	G8 SRVZ2	G8 SRVZ3	G8 USVZ1	G8 USVZ2
1	25,3	5,5	5,0	4,0	4,3	4,8	5,7	9,6
2	24,7	4,9	4,8	4,1	4,6	4,9	5,6	9,9
3	24,8	5,2	4,9	4,5	4,3	4,8	5,8	10,0
\bar{x}	24,9	5,2	4,9	4,2	4,4	4,8	5,7	9,8
s_x	0,3	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Měření	620	CNT Z2	CNT Z10	CNT SRVZ1	CNT SRVZ2	CNT SRVZ3	CNT USVZ1	CNT USVZ2
1	24,9	37,5	40,9	46,7	60,4	71,9	63,7	57,4
2	23,5	37,3	42,8	46,8	64,5	70,0	62,8	61,2
3	24,2	39,1	44,7	47,1	64,6	70,4	61,6	60,9
\bar{x}	24,2	38,0	42,8	46,9	63,2	70,8	62,7	59,8
s_x	0,7	1,0	1,9	0,2	2,4	1,0	1,1	2,1

Tabulka 40: Naměřené hodnoty vnitřního elektrického odporu povlaků na bázi LV EPS 620

HODNOTA TESPO 1 [-]							
Měření	G8Z1	G8Z5	GRSRVZ1	GRSRVZ2	GRSRVZ3	G8USVZ1	G8USVZ2
1	129	490	1995	1770	1885	1855	450
2	117	495	1994	1772	1890	1860	455
3	118	500	1992	1785	1872	1833	453
4	117	500	1992	1790	1880	1837	450
5	115	482	1995	1750	1865	1855	455
6	119	490	1995	1771	1873	1850	451
\bar{x}	119,17	492,83	1993,83	1773,00	1877,50	1848,33	452,33
s_x	5,0	6,9	1,5	14,0	9,2	10,9	2,3
Vnitřní odpor [Ω]	9,34E+08	1,81E+08	1,53E+05	7,55E+06	3,83E+06	4,83E+06	2,02E+08

Tabulka 41: Zkouška odolnosti proti abrazivnímu opotřebení Taber Abraser

Průběh hmotnosti v závislosti na počtu zátěžných cyklů [g]								
Počet cyklů	620	MWCNT Z2	MWCNT Z10	MWCNT SRVZ1	MWCNT SRVZ2	MWCNT SRVZ3	MWCNT USVZ1	MWCNT USVZ2
0	133,4897	135,5599	133,9819	133,0723	135,1527	133,3894	133,2508	130,2578
10	133,4843	135,5553	133,9790	133,0718	135,1524	133,3865	133,2496	130,2567
50	133,4633	135,5458	133,9736	133,0714	135,1465	133,3832	133,2452	130,2515
100	133,4401	135,5391	133,9698	133,0698	135,1383	133,3810	133,2407	130,2445
200	133,4074	135,5275	133,9635	133,0648	135,1252	133,3738	133,2296	130,2306
300	133,3799	135,5157	133,9578	133,0581	135,1138	133,3664	133,2207	130,2164
400	133,3556	135,5051	133,9523	133,0501	135,1021	133,3609	133,2082	130,2003
500	133,3321	135,4919	133,9471	133,0424	135,0908	133,3541	133,1956	130,1852
750	133,2867	135,4460	133,9252	133,0213	135,0670	133,3376	133,1665	130,1492
1000	133,2333	135,4036	133,8926	132,9992	135,0455	133,3251	133,1369	130,1127
Hmotnostní úbytek [g]								
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0054	0,0046	0,0029	0,0005	0,0003	0,0029	0,0012	0,0011
50	0,0264	0,0141	0,0083	0,0009	0,0062	0,0062	0,0056	0,0063
100	0,0496	0,0208	0,0121	0,0025	0,0144	0,0084	0,0101	0,0133
200	0,0823	0,0324	0,0184	0,0075	0,0275	0,0156	0,0212	0,0272
300	0,1098	0,0442	0,0241	0,0142	0,0389	0,0230	0,0301	0,0414
400	0,1341	0,0548	0,0296	0,0222	0,0506	0,0285	0,0426	0,0575
500	0,1576	0,0680	0,0348	0,0299	0,0619	0,0353	0,0552	0,0726
750	0,2030	0,1139	0,0567	0,0510	0,0857	0,0518	0,0843	0,1086
1000	0,2564	0,1563	0,0893	0,0731	0,1072	0,0643	0,1139	0,1451
Úbytek [mg]	256	156	89	73	107	64	114	145
Index Taber Abraser [-]								
TABER (m)	256	156	89	73	107	64	114	145

Tabulka 42: Vnitřní odpor povlaků na bázi vodou ředitelné nátěrové hmoty CP55

HODNOTA TESPO 1 [-]						
Měření	CP55	CP55-0,1	CP55-0,5	CP55-1,0	CP55-1,5	CP55-G8
1	1	1	4	1533	1987	1400
2	1	2	3	1620	1985	1455
3	2	1	3	1625	1991	1397
4	2	1	3	1460	1991	1405
5	2	2	3	1526	1990	1398
6	2	2	2	1710	1992	1345
\bar{x}	1,67	1,50	3,00	1579,00	1989,33	1400,00
s_x	0,5	0,5	0,6	89,5	2,7	34,9
Vnitřní odpor [Ω]	7,09E+10	7,88E+10	3,94E+10	1,57E+07	2,88E+05	2,53E+07

Tabulka 43: Odrhová zkouška přilnavosti povlaků na bázi CP55

Odrhová zkouška přilnavosti		Lepidlo:		3M Scotch-Weld SF100			
Vzorek	Odrhové napětí [Mpa]	Typ lomu [%]					Σ
		Z/Y	Y/B	B/A	B	Y	
0	4,517	20	0	75	0	0	100
0	4,230	10	0	90	0	0	100
0,1	3,930	10	0	90	0	0	100
0,1	4,276	20	0	80	0	0	100
0,5	4,574	35	0	50	0	0	100
0,5	3,713	80	0	20	0	0	100
1,0	4,300	5	0	95	0	0	100
1,0	4,119	20	0	80	0	0	100
1,5	3,570	15	0	75	5	0	100
1,5	3,384	15	0	75	5	0	100
0	3,200	15	0	85	0	0	100
0	3,953	10	0	90	0	0	100
0,1	4,374	15	0	85	0	0	100
0,1	4,100	0	0	80	20	0	100
0,5	4,224	0	0	15	75	0	100
0,5	2,823	0	0	15	75	0	100
1,0	3,776	15	0	0	75	0	100
1,0	3,705	15	0	0	75	0	100
1,5	3,051	5	0	75	20	0	100
1,5	3,600	5	0	75	20	0	100

Tabulka 44: Tloušťky povlaků na bázi CP55

Měření	Tloušťka povlaků [μm]				
	CP55	CP55-0,1	CP55-0,5	CP55-1,0	CP55-1,5
1	152	95	98	70	70
2	143	100	85	71	72
3	136	113	81	61	67
4	149	104	87	76	67
5	144	108	89	74	70
6	131	114	84	61	78
7	143	102	94	73	64
8	130	111	85	77	73
9	131	112		68	76
\bar{x}	140	107	88	70	71
s_x	8,2	6,6	5,6	5,9	4,5

Tabulka 45: Tloušťka povlaků na bázi LV EPS 620 (odtrhová zkouška)

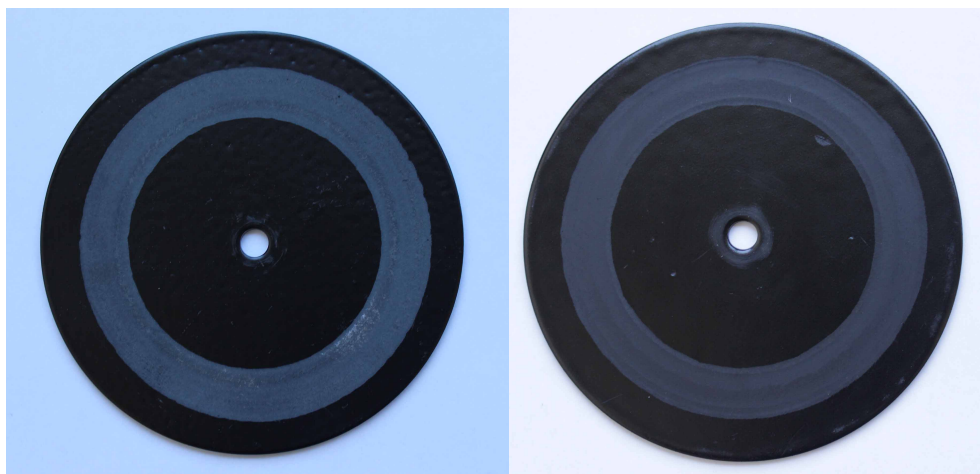
Měření	Tloušťka povlaků [μm]							
	620	G8 Z1	G8 Z5	G8 SRVZ1	G8 SRVZ2	G8 SRVZ3	G8 USVZ1	G8 USVZ2
1	50	138	147	100	141	95	100	113
2	82	149	152	90	138	93	97	114
3	59	135	142	92	146	101	91	118
4	61	146	154	86	143	94	83	111
5	55	138	143	98	145	99	81	107
6	71	146	144	98	142	100	85	109
\bar{x}	63	142	147	94	143	97	90	112
s_x	11,6	5,7	5,0	5,5	2,9	3,4	7,8	3,9
Měření	Tloušťka povlaků [μm]							
	620	CNT Z2	CNT Z10	CNT SRVZ1	CNT SRVZ2	CNT SRVZ3	CNT USVZ1	CNT USVZ2
1	50	133	185	123	99	84	116	105
2	82	131	202	111	92	94	112	107
3	59	130	197	118	82	103	99	117
4	61	131	199	112	90	83	117	109
5	55	137	207	125	77	87	109	115
6	71	132	205	124	88	84	114	101
\bar{x}	63	132	199	119	88	89	111	109
s_x	11,6	2,5	7,9	6,2	7,7	7,9	6,6	6,1

Pozn.: vzorky MWCNT jsou značeny v tabulce jako CNT.

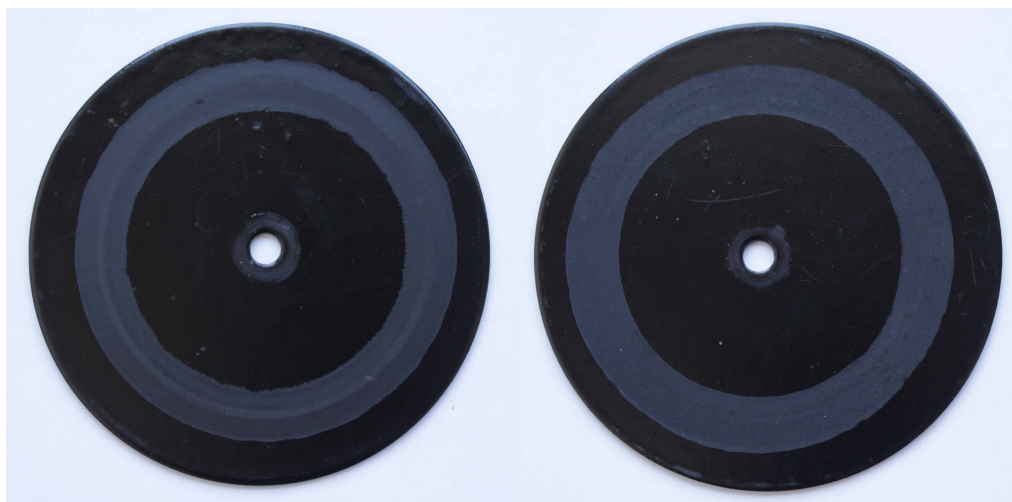
Tabulka 46: *Tloušťka povlaků na bázi LV EPS 620 (Taber Abraser)*

Tloušťka povlaků [μm]								
Měření	620	CNT Z2	CNT Z10	CNTRVZ1	CNTRVZ2	CNTRVZ3	CNT USVZ1	CNT USVZ2
1	72,6	186	165	140	130	109	114	120
2	67,6	206	162	144	123	105	116	129
3	55,9	211	159	144	124	102	109	127
4	61,1	184	157	116	122	90	105	133
5	63,5	194	173	120	116	89	102	108
6	55,3	197	178	116	122	101	101	102
7	68,7	194	160	111	120	107	109	114
8	71,9	201	169	139	125	111	117	127
\bar{x}	65	197	165	129	123	102	109	120
s_x	6,7	9,3	7,4	14,2	4,0	8,3	6,2	11,0

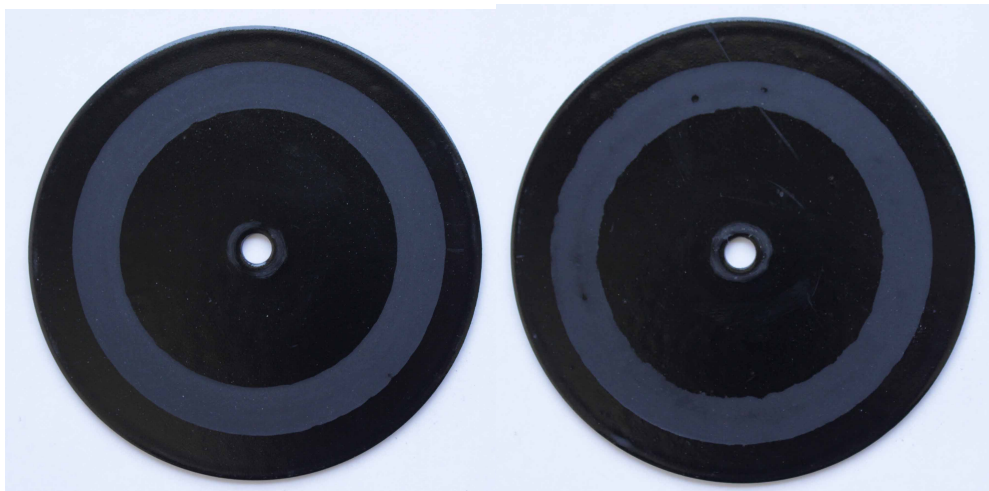
Pozn.: vzorky MWCNT jsou značeny v tabulce jako CNT.

Fotodokumentace vzorků

Obr. 34 - LV EPS 620 (vlevo), MWCNT Z2 (vpravo)



Obr. 35 - MWCNT Z10 (vlevo), MWCNT SRVZ1 (vpravo)



Obr. 36 - MWCNT SRVZ2 (vlevo) a MWCNT SRVZ3 (vpravo)



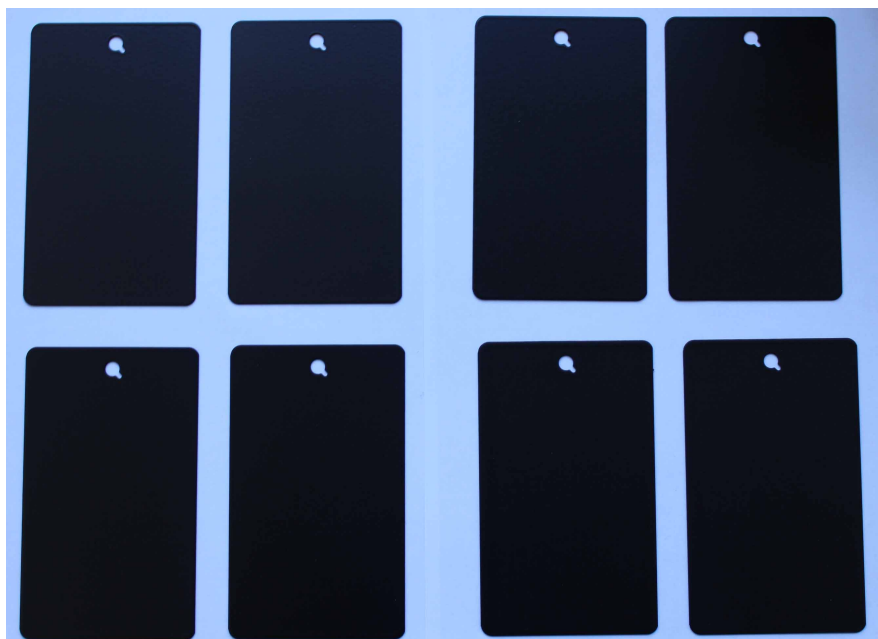
Obr. 37 - MWCNT USVZ1 (vlevo) a MWCNT USVZ2 (vpravo)



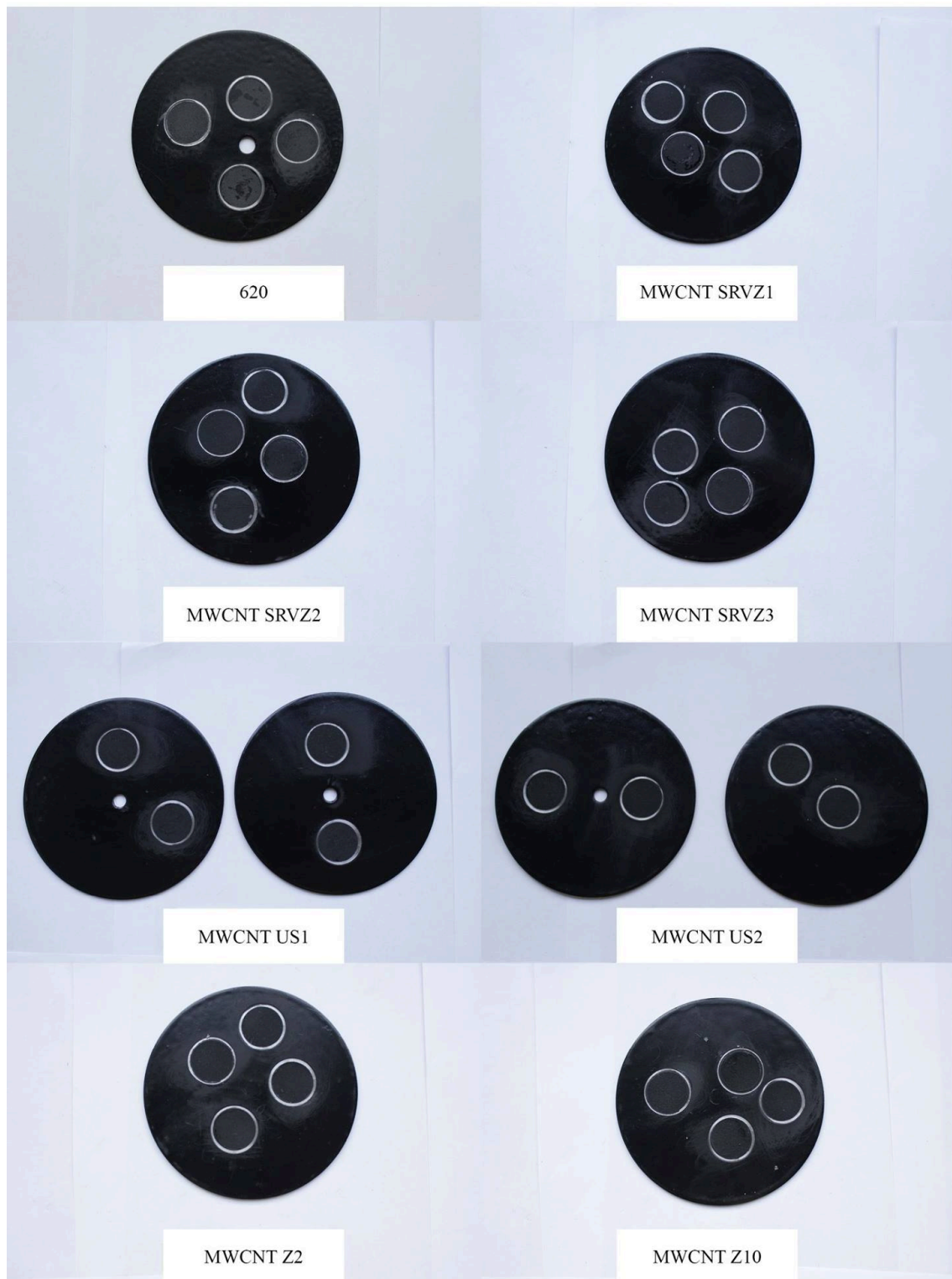
Obr. 38 - Vzorky po ohybové zkoušce – s příměsí grafitu (nahore), s příměsí MWCNT (dole)



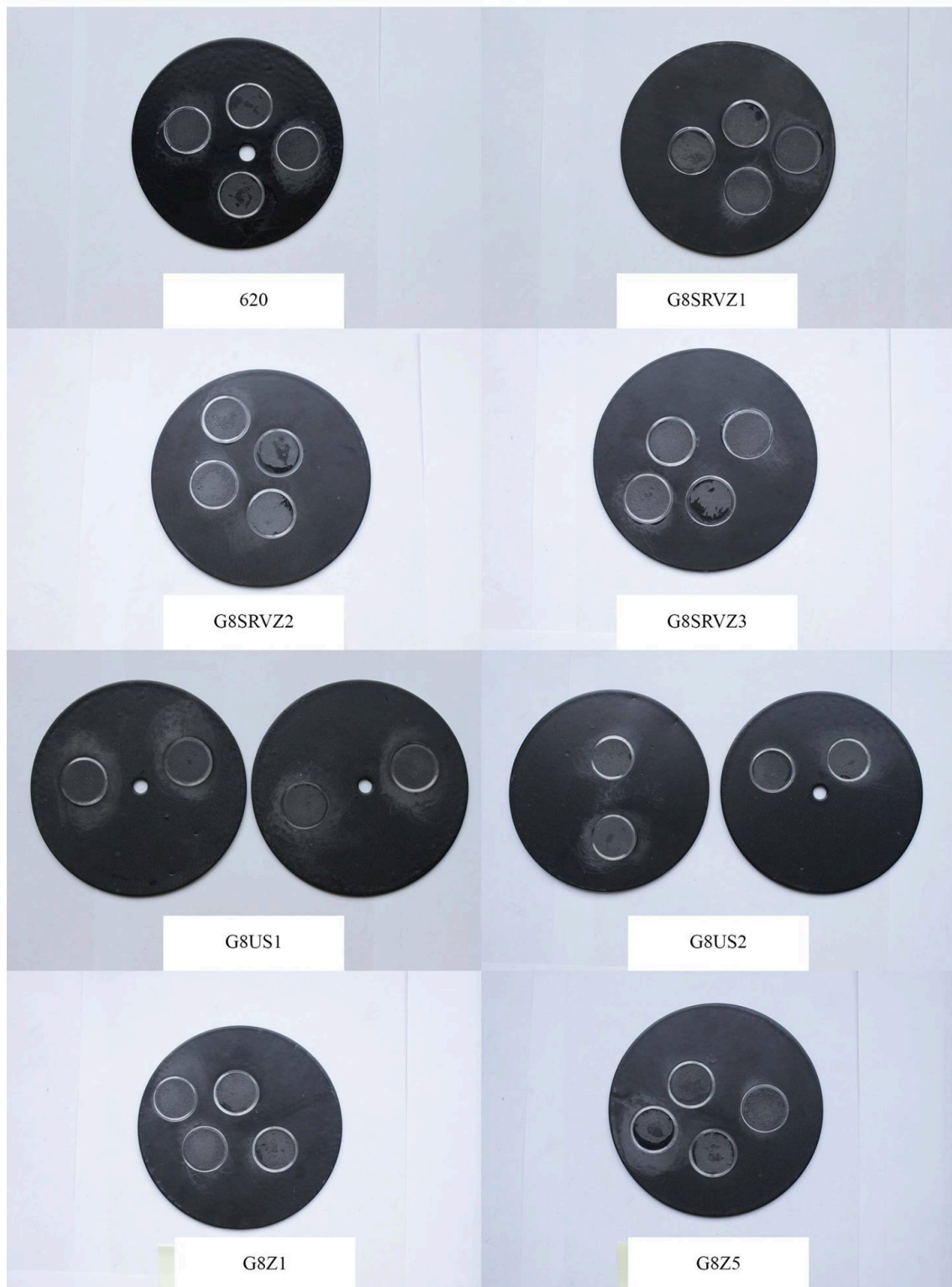
Obr. 39 - Vzorky opatřené povlakem CP 55



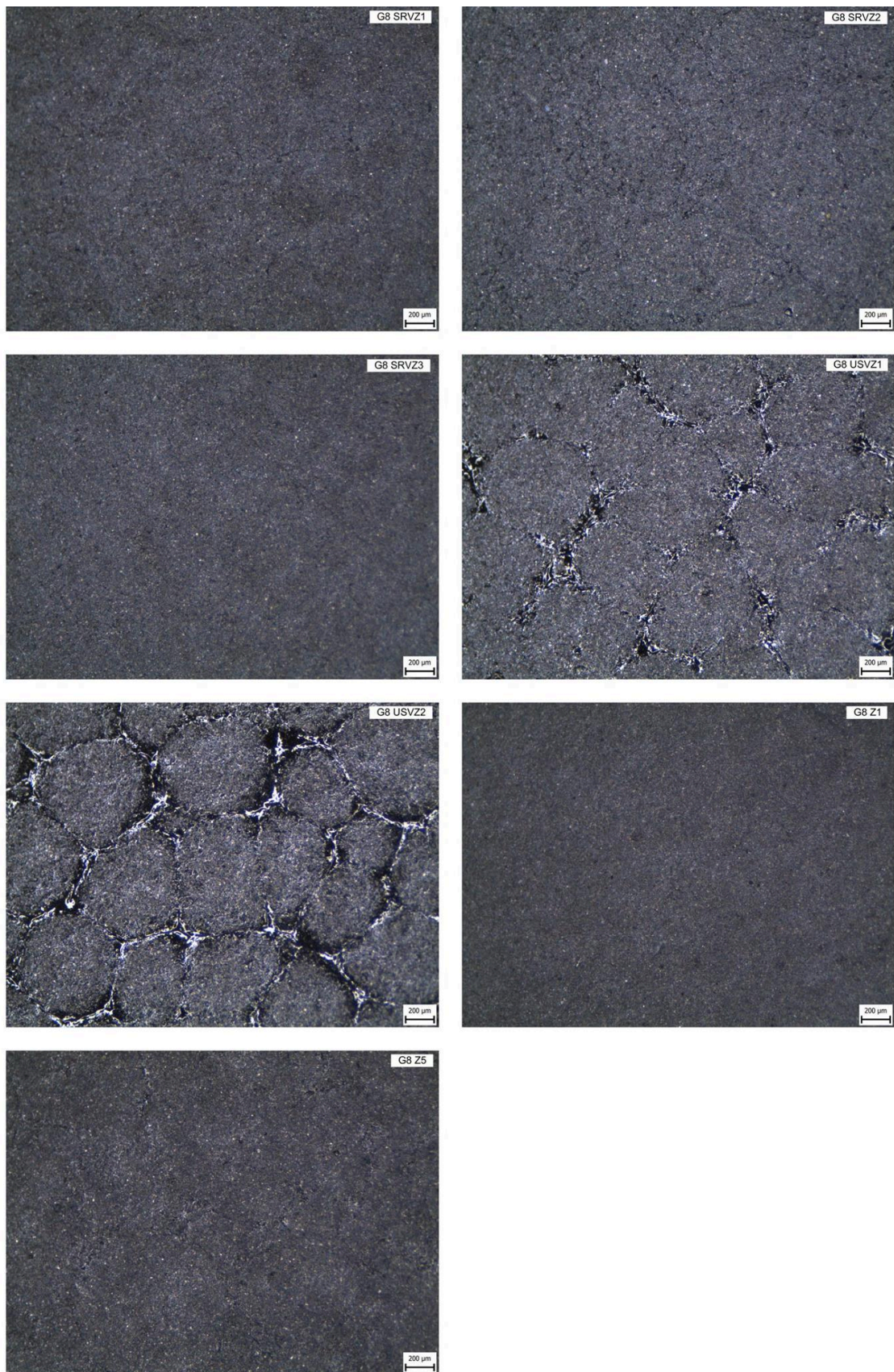
Obr. 40 - Vzorky CP55 s příměsí MWCNT – 0,1 hm. % (vlevo nahoře), 0,5 hm. % (vpravo nahoře), 1,0 hm. % (vlevo dole) a 1,5 hm. % (vlevo dole)



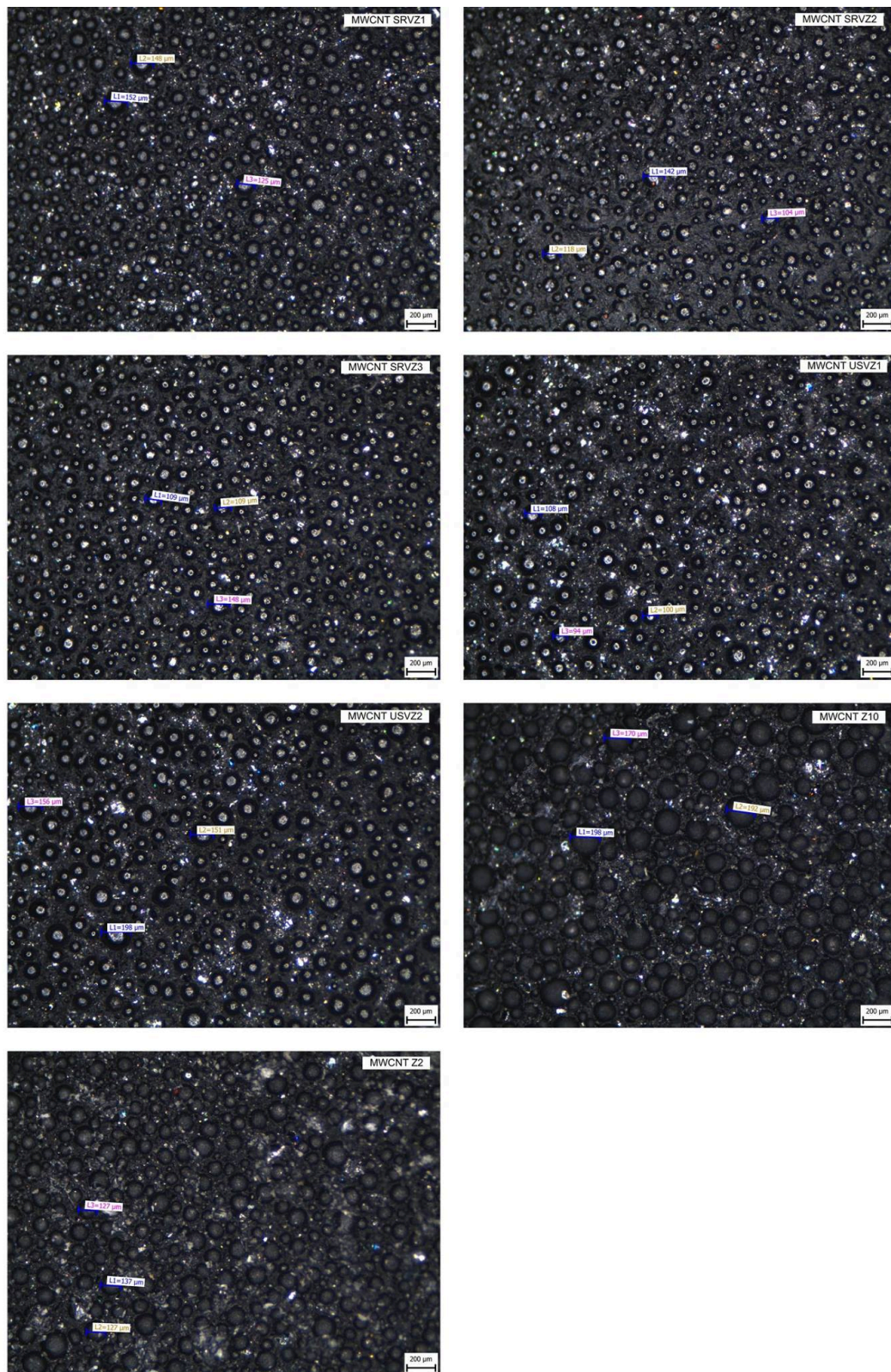
Obr. 41 - Vzorky po odtrhové zkoušce (MWCNT)



Obr. 42 - Vzorčky po odtrhové zkoušce (grafit)



Obr. 43 - Rozložení grafitu v povrchové vrstvě



Obr. 44 - Ovlivnění matrice plynem



Obr. 45 - Vzorčky po odtrhové zkoušce CP55

*Technické listy***Grafit jemně mletý 0,025 mm****KRYSTALICKÝ GRAFIT PAM**
(floatovaný - mikromletý)**96 / 98**

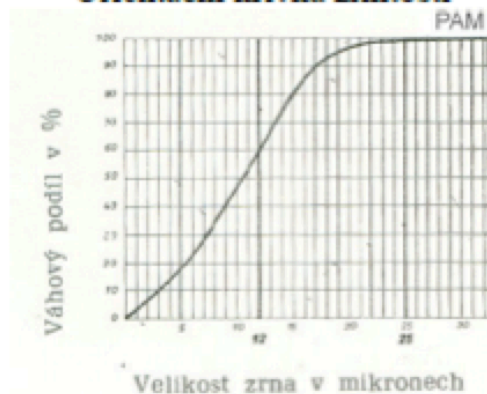
Uhlík (C)	%	96-98
Popel	%	4-2
Celková síra (S)	% max.	0,25
Vlhkost	% max.	0,80

Zrnitost:

Zbytek na síti o světlosti oka 0,025 mm - max 10 %.

Orientační analýzy popela (vztahené na celkový vzorek)

SiO ₂	%	1,90
Al ₂ O ₃	%	0,62
Fe ₂ O ₃	%	0,51
z toho Fe rozpustné	%	0,43
CaO	%	0,16
MgO	%	0,10
K ₂ O	%	0,04
Na ₂ O	%	0,01
TiO ₂	%	0,02
Počátek spékání	°C	1100
Počátek tavení	°C	1200

Orientační křivka zrnitosti



Grafit PMM 7

KRYSTALICKÝ GRAFIT PMM
(mikromletý)

min. 99,5

Uhlík (C)%		min. 99,5
Popel	%	max. 0,5
Celková síra (S) % max.		0,10
Vlhkost	% max.	0,50

Zrnitost:	d50 (µm)	d90 (µm)
PMM 7	max. 7,5	max. 14

LV EPS 620					
Barva epoxidová 2K základní antikorozivní					
Použití	základní nátěr předmětů z železných (např. ocel), lehkých a neželezných kovů a předmětů upravených pozinkováním; teplotní odolnost nátěru max. 130°C				
VOC g/l (obsah org. rozpouštědel v AS)	< 450 (kategorie - B/c)				
Podklad	dokonale očištěné a odmaštěné povrchy				
Tužení	6 : 1 obj. dílů; tužidlo LV BU 45 N				
Ředění	0 – 10 % obj. ředidlo LV PA 600				
Konzistence aplikační směsi	21 ¹⁾ – 45 ²⁾ s/4mm při 20°C				
Vydatnost aplikační směsi	8 - 12 m ² /kg				
Způsob nanášení	HVLP ¹⁾ , AIRLESS ²⁾				
Počet nástřiků	2, doba odtékání mezi vrstvami 15 min. při 20°C				
Doporučená tloušťka	20 - 30 μm <i>max. Co/So/Fe</i>				
Doba zpracování aplikační směsi	6 hodin při 20°C				
Zasychání	3-4 hod. při 20°C, 20-30 min. při 60°C				
hustota produktu g/cm ³	obsah organických rozpouštědel kg/kg	obsah celkového organického uhlíku kg/kg	obsah netěkavých látek-sušiny % obj.	obj.sušina aplikační směsi % obj.	obsah těžkých kovů
1,3	0,44	0,3	39	30	neobsahuje
Upozornění	Při práci s výrobkem je třeba dodržovat všechna bezpečnostní opatření, uvedená v bezpečnostním listě a na etiketě. Hořlavá kapalina II. třídy nebezpečnosti. Obsahuje organická rozpouštědla. Výrobek skladujte v suchém prostředí od 10°C do 25°C.				

SYNPO, akciová společnost
S. K. Neumanna 1316, 532 07 Pardubice
Tel: 466 067 250 Fax: 466 067 249
e-mail: synpo@synpo.cz

Platnost od června 2007



BEZPEČNOSTNÍ LIST Akrylmetal LV EPS 620

Strana 1 (celkem 5)

BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle přílohy 2 nařízení 1907/2006/ES

Datum vydání: 15.10.2006

Evidenční číslo: -

Datum revize: 5.11.2008

1. Identifikace látky nebo přípravku a výrobce nebo dovozce

1.1 Chemický název látky / obchodní název přípravku : Akrylmetal LV EPS 620

Číslo CAS :

Číslo ES (EINECS) :

Další názvy látky / přípravku : LV EPS 620

Doporučený účel použití látky nebo přípravku : Základní nátěr kovových výrobků

1.2. Identifikace výrobce/dovozce :

Jméno nebo obchodní jméno : SYNPO, akciová společnost

1.3. Místo podnikání nebo sídlo : S.K.Neumanna, 1316, Zelené předměstí, 532 07 Pardubice, Česká republika

Identifikační číslo : 46 5047 11

Telefon : 466067111

Telex : -

Fax : 466067260

1.4. Nouzové telefonní číslo : Toxikologické informační středisko, Na Bojišti 1, 128 08 Praha 2.

Tel : (24 h / den) 224 91 92 93, 224 91 54 02, 224 91 45 75.

2. Údaje o nebezpečnosti látky nebo přípravku

Klasifikace a označení látky/přípravku:

- hořlavý



Xn – zdraví škodlivý

Nejzávažnější nepříznivé účinky na zdraví člověka při používání výrobku :

Škodí zdraví při inhalaci a požití. Vysušuje pokožku. Páry rozpouštědel působí narkoticky. Hořlavá kapalina II. třídy nebezpečnosti.

Nejzávažnější nepříznivé účinky na životní prostředí při používání výrobku :

Výrobek neobsahuje toxické látky. Může ovlivnit kvalitu vody, půdy a ovzduší.

Možné nesprávné použití výrobku : Nemá předpoklad

Další údaje : nejsou k dispozici.

3. Informace o složení látky nebo přípravku

Chemická charakteristika výrobku :

Disperze anorganických a organických pigmentů v roztoku epoxidové pryskyřice v organických rozpouštědlech .

Výrobek obsahuje tyto nebezpečné látky:

Název látky	CAS	ES (EINECS)	Index. č.	Obsah [%]	Symbol nebezp.	R-věty	S-věty
2-methoxy-1-methylethylacetát	108-65-6	203-603-9	607-195-00-7	25	Xi	10-36	(2)-25
butylacetát	123-86-4	204-658-1	607-025-00-1	15-20	-	10-66-67	(2)-25
xylen	1330-20-7	215-535-7	601-022-00-9	7-10	Xn	10-20/21-38	(2)-25



nanocyl
THE CARBON NANOTUBE SPECIALIST

NANO-ENGINEER YOUR FUTURE

EPOCYL

Date: 04 June 2010
Revision N°1

EPOCYL™ XCR 128-06 / MSDS / Page 1/7
Supersedes: /

EPOCYL™ XCR 128-06 Material Safety Data Sheet

1. Identification of the product and the company

Trade Name: EPOCYL™ XCR 128-06
 Type of product: Carbon/epoxy resin mixture

Company: Nanocyl sa
 Rue de l'Essor, 4
 B-5060 Sambreville
 Belgium

Phone: + 32 71 750 380 (office hour)
 Fax: + 32 71 750 390
 E-mail: info@nanocyl.com

2. Hazards identification

Hazard designation: **XI** Irritant
N Dangerous for the environment

Health hazards: **R36/38** Irritating to eyes and skin.
R43 May cause sensitization by skin contact.
R51/53 Toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.

3. Composition/information on ingredients


Components	N° CAS	% (wt.)	Classification
Epoxy Resin (Bisphenol-A-epichlorhydrin)	25068-38-6	50 - 99 %	Xi, N R36/38 R43 R51/53
Dispersant	Proprietary	< 15%	/
Synthetic graphite (Carbon nanotubes)	7782-42-5	< 5 %	/
Glycidoxypropyltrimethoxysilane	2530-83-8	< 1%	Xn, Xi, Xn Muta. Cat 3 R22 R36 R68

Nanocyl S.A.
 Rue de l'Essor 4
 B-5060 Sambreville
 BELGIUM

Tel +32 71 750 380
 Fax +32 71 750 390
 sales@nanocyl.com

US contact
 info-us@nanocyl.com

www.nanocyl.com



NANO-ENGINEER YOUR FUTURE

AQUACYL

Date: 15 July 2009 **AQUACYL™ 0301 / MSDS / Page 1/5**
Revision N°1 Supersedes: /

AQUACYL™ 0301 Material Safety Data Sheet

1. Identification of the product and the company

Trade Name: AQUACYL™ 0301
 Type of product: Carbon/Water mixture

Company: Nanocyl sa
 Rue de l'Essor, 4
 B-5060 Sambreville
 Belgium

Phone: + 32 71 750 380 (office hour)
 Fax: + 32 71 750 390
 E-mail: info@nanocyl.com

2. Hazards identification

This product is not dangerous product for health and environment.

3. Composition/information on ingredients

Components	N° CAS	% (wt.)	Classification
Water	7732-18-5	> 90 %	/
Dispersant	/	< 5%	/
Synthetic graphite (Carbon nanotubes)	7782-42-5	< 5 %	/

4. First aid measures

After skin contact: In case of contact with product, immediately rinse thoroughly with soap and plenty of water. Obtain medical attention if irritation persists.

Eye contact: Hold the eyes open and rinse with water for a sufficiently long period of time (at least 10 minutes). Obtain medical attention if pain, blurred vision, swelling, burning or redness persist.

Nanocyl S.A.
 Rue de l'Essor 4
 B-5060 Sambreville
 BELGIUM

US contact
 info-us@nanocyl.com

www.nanocyl.com