

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2018

**Bc. ANDREJ
ZASIMENKO**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VYUŽITÍ NANOČÁSTIC V ANTISTATICKÝCH

NÁTĚROVÝCH HMOTÁCH

Autor: Bc. Andrej Zasimenko

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

Konzultant: Ing. Michal Zoubek

Akademický rok 2017 / 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zasimenko** Jméno: **Andrej** Osobní číslo: **408799**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití nanočástic v antistatických nátěrových hmotách

Název diplomové práce anglicky:

Use of nanoparticles in antistatic coatings

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor problematiky nátěrových hmot
2. Vliv nanočástic na antistatické vlastnosti
3. Porovnání elektrické vodivosti vytvořených povlaků
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

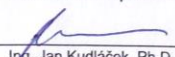
Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS


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

Datum zadání diplomové práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.08.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **10.08.2018**


Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


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

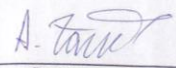

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

02.05.2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci Využití nanočástic v antistatických nátěrových hmotách jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím podkladů a informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu citované literatury na konci práce.

V Praze dne 10. 08. 2018

.....
Bc. Andrej Zasimenko

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Kudláčkovi a odbornému specialistovi Ing. Michalovi Zoubkovi za cenné rady a konzultace při řešení praktické části této práce. Rád bych poděkoval prof. Ing. Tomášovi Jiroutovi, Ph.D. za umožnění přípravy kompozitních nátěrových hmot na zařízení Ústavu procesní a zpracovatelské techniky ČVUT v Praze, za jeho odborné informace a poznatky v oblasti procesu míchání suspenzí. Poděkování také patří mé manželce Elišce Zasimenkové za podporu a trpělivost v době zpracování této práce.

Tato práce byla vypracována za podpory centra kompetence CVPÚ (Centrum výzkumu povrchových úprav) – aktivita WP5 TE02000011V018.

VYUŽITÍ NANOČÁSTIC V ANTISTATICKÝCH NÁTĚROVÝCH HMOTÁCH

ANOTACE

Diplomové práce se zabývá rozborem základních znalostí o nátěrových hmotách, popisem bezpečnosti a hygieny na pracovišti, zkoušení nátěrových hmot a nanočástic. V diplomové práci jsou shrnuty poznatky o elektrické vodivosti nátěrových hmot a problematice antistatických nátěrů. Hlavním cílem této práce je snížení vnitřního elektrického odporu u epoxidových nátěrových hmot s přídavkem nanočástic. Epoxidová matrice nátěrové hmoty byla obohacena pro snížení vnitřního elektrického odporu o vodivý polymer, grafit, nanotuby, grafen a částice mědi v různých poměrech. Výsledné zhotovené povlaky byly podrobeny doplňujícím mechanickým zkouškám, ke zhodnocení ostatních funkčních a ochranných vlastností.

KLÍČOVÁ SLOVA

nátěrová hmota, zkoušení nátěrových hmot, elektrická vodivost povlaků, antistatický nátěr, vodivý polymer, grafit, grafen, MWCNT, nanotuby

USE OF NANOPARTICLES IN ANTISTATIC COATINGS

ANNOTATION

This thesis deals with analysis of basic knowledge of coatings, description of safety and hygiene in the workplace, testing of coatings and nanoparticles. Also there are summarized information about the electrical conductivity of coatings and the problems of antistatic coatings. The main aim is the determination electrical conductivity of epoxy coatings with the addition of nanoparticles and conductive polymer. The epoxy primer of the coating was enriched to increase the electrical conductivity with conductive polymer, graphite, nanotubes (MWCNT), graphene and particles of cuprum in different ratios. The completed coatings were subjected to additional mechanical tests to evaluate the other functional and protective properties.

KEYWORDS

coatings, testing of coatings, electrical conductivity of coating, antistatic coatings, graphene, conductive polymer, graphite, graphene, MWCNT, nanotubes

1	Úvod.....	8
2	Nátěrové hmoty.....	8
2.1	Základní suroviny pro výrobu nátěrových hmot.....	9
2.2	Technologické vlastnosti nátěrového filmu.....	9
2.3	Životnost nátěru.....	9
2.4	Vady nátěrových hmot.....	10
2.5	Vady nátěrů při zasychání.....	11
2.6	Vady přilnavosti a stárnutí nátěrů.....	12
2.7	Zkoušení nátěrových hmot.....	12
2.7.1	Bezpečnost a hygiena při práci s nátěrovými hmotami.....	13
2.7.2	Prohlídka a příprava zkušebních vzorků.....	14
2.7.3	Stanovení tloušťky nátěru.....	15
3	Antistatické nátěry.....	15
3.1	Elektrický náboj.....	15
3.2	Elektrický odpor.....	16
3.2.1	Měrný elektrický odpor.....	17
3.3	Elektrická vodivost.....	17
3.4	Statický náboj.....	18
3.4.1	Důvody pro antistatické nátěry.....	18
3.4.2	Vznik statického náboje.....	19
3.4.3	Charakter statického náboje.....	20
3.4.3.1	Elektrická kapacita.....	20
3.4.4	Faktory ovlivňující statickou elektřinu.....	21
3.4.4.1	Faktor vlhkosti.....	21
3.4.4.2	Faktor materiálu.....	21
3.4.4.3	Faktor druhu operace.....	21
3.4.4.4	Faktor změny teploty.....	21
3.4.5	Způsoby eliminace statického náboje.....	22
3.4.6	Měření měrného elektrického odporu povlaků.....	22
3.5	Antistatická plniva povlaků.....	23
3.5.1	Kovová plniva.....	23
3.5.1.1	Měď a slitiny mědi.....	24
3.5.1.2	Hliník a slitiny hliníku.....	24
3.5.1.3	Stříbro.....	24

3.5.1.4	Zinek	24
3.5.1.5	Nikl.....	24
3.5.1.6	Železo a ocel	25
4	Nanomateriály	25
4.1	Obecné poznatky o nanomateriálech	26
4.1.1	Typy nanoobjektů.....	27
4.2	Uhlíkové alotropické modifikace	28
4.2.1.1	Uhlíkové saze	28
4.2.1.2	Grafit.....	28
4.2.1.3	Grafen.....	29
4.2.1.4	Uhlíkové nanotuby	30
4.2.1.5	Fullereny.....	32
4.3	Nanočástice kovových sloučenin.....	33
4.3.1	Nanočástice TiO ₂	33
4.3.2	Nanočástice ZnO.....	33
4.3.3	Nanočástice Al ₂ O ₃	33
4.3.4	Nanočástice TiN.....	33
4.4	Rizika nanomateriálu	34
5	Teorie míchání	35
5.1	Dělení disperzních soustavy	35
5.2	Míchání nátěrových hmot.....	36
6	Experimentální část.....	37
6.1	Popis použitých látek.....	37
6.1.1	Epoxidová nátěrová hmota CHS-EPOXY 200 V 55	37
6.1.2	Vodivý polymer CLEVIOS PEDOT PH 500, KV2.....	37
6.1.3	AQUACYL 0301	38
6.1.4	Grafit.....	38
6.1.5	Grafen.....	38
6.1.6	Telalit 180	39
6.1.7	Částice mědi	39
6.2	Funkce jednotlivých složek v nátěrové hmotě	39
6.3	Názvosloví a rozpis vytvořených nátěrových hmot	39
6.4	Příprava nátěrových hmot.....	41

6.4.1	Nátěrové hmoty s označením: K1-RS, K1-VJ.....	42
6.4.2	Nátěrové hmoty s označením: K2-RS, K3-RS, K4-RS.....	42
6.4.3	Nátěrové hmoty s označením: K1-LM, K2-LM, K4-LM.....	43
6.4.4	Nátěrové hmoty s označením: N1-RS, N0,5-RS	43
6.4.5	Nátěrová hmota s označením: N1:1-LM.....	44
6.4.6	Nátěrové hmoty s označením: Gi5-RS, Gi10-LM	45
6.4.7	Nátěrová hmota s označením Gn1:1-LM.....	45
6.4.8	Nátěrové hmoty s označením Cu5-LM a Cu10-LM.....	46
6.5	Dispergace vzorků	46
6.5.1	Lopatkové míchadlo	46
6.5.2	Míchadlo rotor - stator	47
6.5.3	Míchadlo visco – jet.....	47
6.5.4	Ultrazvukový homogenizátor	48
6.6	Podmínky dispergace.....	48
6.7	Tužení nátěrových hmot	49
6.8	Aplikace nátěrových hmot na podklady	51
6.9	Vizuální zhodnocení povlaků	52
6.9.1	Povlak K1-RS	52
6.9.2	Povlak K1-VJ.....	53
6.9.3	Povlaky K2-RS, K3-RS, K4-RS.....	54
6.9.4	Povlaky K1-LM, K2-LM, K4-LM.....	55
6.9.5	Povlaky N1-RS a N0,5-RS	56
6.9.6	Povlak N1:1-LM	56
6.9.7	Povlaky Gi5-RS a Gi10-LM.....	57
6.9.8	Povlak Gn1:1-LM	57
6.9.9	Povlaky Cu5-LM a Cu10-LM.....	58
6.9.10	Diskuze k vizuálnímu zhodnocení povlaků	59
6.10	Zkoušky vytvořených povlaků	59
6.10.1	Měření vnitřního elektrického odporu povlaku	60
6.10.1.1	Stanovení vnitřního elektrického odporu povlaků	61
6.10.1.2	Diskuze k výsledným hodnotám vnitřního elektrického odporu.....	63
6.10.2	Měření tloušťky povlaků na skle.....	65
6.10.2.1	Stanovení tloušťky povlaků na skle	65
6.10.2.2	Diskuze k výsledkům hodnot tloušťky povlaků na skle	66
6.10.3	Měření tloušťky povlaků na plechu.....	67
6.10.3.1	Stanovení tloušťky povlaků na plechu.....	68

6.10.3.2	Diskuze k výsledkům hodnot tloušťky povlaků na plechu	69
6.10.4	Mřížková zkouška přilnavosti a křížový řez	69
6.10.4.1	Diskuze k výsledkům mřížkové zkoušky přilnavosti a křížového řezu	71
6.10.5	Zkouška hloubením	71
6.10.5.1	Diskuze k výsledkům zkoušky hloubením	73
6.11	Technicko – ekonomické zhodnocení	73
6.11.1	Diskuze k technicko – ekonomickému zhodnocení	77
7	Závěr	79
8	Citovaná literatura	81
9	Seznam obrázků	88
10	Seznam tabulek	90
11	Seznam použitých zkratk	92
12	Seznam použitých jednotek	94
13	Přílohy	95

1 Úvod

Nátěrové hmoty patří k nejběžnějším povrchovým funkčním systémům, které slouží k ochraně základního materiálu před jeho degradací a zlepšují jeho vlastnosti. Mezi výhody nátěrových hmot patří jejich dostupnost, snadná a variabilní aplikace, dobrý ochranný účinek a možnost různorodého vnějšího optického vzhledu. Povlaky z nátěrových hmot mohou mít velmi unikátní vlastnosti, které budou uzpůsobeny požadavkům funkčního prostředí. Mezi tyto vlastnosti lze zařadit například dobrou otěruvzdornost, antibakteriální účinky, zvýšenou elektrickou vodivost, tepelnou odolnost a další.

Antistatické povlaky musí sloužit jako ochrana základního materiálu, a také pro odvod elektrického náboje z povrchu součástí. Případná nahromaděná statická elektřina způsobuje výrobní problémy, hrozí riziko výbuchu a požáru v prostředích, kde jsou k tomu vhodné podmínky. Antistatické povlaky nalézají uplatnění především v potravinářském, petrochemickém, elektrotechnickém a automobilovém průmyslu.

Aby byl povlak dobře elektricky vodivý, je vhodné využít některé pigmenty a plniva pro zvýšení vodivosti. Mezi klasická plniva patří především kovová a polymerní.

S rozvojem nanotechnologií a nanomateriálu se objevují nové možnosti pro zvýšení elektrické vodivosti. Mezi taková progresivní plniva patří grafit, nanotuby a grafen, které byly v rámci této práce použity pro vytvoření antistatického povlaku se zvýšenou elektrickou vodivostí.

2 Nátěrové hmoty

Nátěrové hmoty jsou všechny hmoty, jejichž hlavní součástí jsou filmotvorné látky. Aplikují se ve stavu tekutém, gelovém, práškovém a pastovitém. Nanášejí se v jedné nebo více vrstvách na povrch výrobku, na němž se po jisté době vytvoří tuhý, pružný film – tzv. nátěr. Ten chrání povrch předmětu a současně zlepšuje i jeho další vlastnosti. Vhodnou kombinací jednotlivých nátěrů se zhotovuje nátěrový systém. [1]

Podle toho, k jakému účelu nátěr slouží, se rozeznávají nátěry vnitřní, vnější, antikorozní, ohnivzdorné, antivegetační, elektroizolační, odolné proti agresivnímu chemickému prostředí, vlhkosti, vysokým teplotám apod. [1]

2.1 Základní suroviny pro výrobu nátěrových hmot

▪ Filmotvorné látky

Hlavní složkou nátěrového filmu je filmotvorná složka, která slouží jako pojivo. Je nejdůležitější složkou v nátěru, která rozhoduje o tom, jak kvalitní a s jakou životností bude výsledný nátěr. Mezi tyto látky patří tuhnutí a polo tuhnutí syntetické oleje, pryskyřice, celulóza, kaučuk, asfalty, smoly a další.

▪ Pigmenty

Pigment stanoví barevný odstín výsledné nátěrové hmoty. Přidává se ve formě jemně rozemletých nerozpustných barevných látek. Mezi pigmenty patří kovové prášky, přírodní nebo syntetické látky a luminofory.

▪ Plniva

Plniva upravují technologické vlastnosti nátěru, zvyšují pevnost, tvrdost, odolnost proti korozi, a také usazování. Jako plnivo se přidává křída, mastek a další. Mezi přidávané složky patří také rozpouštědla, která slouží k úpravě konzistence nátěrových hmot. Dále to jsou sušidla, která urychlují schnutí nátěrových hmot. Nebo zvláčňovadla, které zlepšují pružnost a tažnost nátěrového filmu.

2.2 Technologické vlastnosti nátěrového filmu

Tloušťka suchého nátěru ovlivňuje jeho životnost a korozní odolnost. Dostatečná elasticita zaručuje dlouhodobou životnost nátěru. Přínavost nátěru k podkladu je základ ochranné účinnosti každého nátěrového systému. Optické vlastnosti nátěru jsou například zrcadlový lesk, difuzní lesk, kryvost nátěrů nebo barevný odstín. Dalšími vlastnostmi jsou odolnost proti otěru, nasákavost, pórovitost atd. [2]

2.3 Životnost nátěru

Zkoušky životnosti nátěru patří k časově nejnáročnějším. Příkladem může být zkouška odolnosti ve vlhkostní komoře, v neutrální solné mlze a dlouhodobé atmosférické zkoušky. Zkoušky se provádějí často bez vlivu skutečného prostředí, ve kterém bude nátěrová hmota použita. V těchto situacích se nátěrová hmota vystavuje zvýšenému mechanickému nebo jinému namáhání, a to může ve výsledku zkrátit dobu životnosti. Po zkoušce na životnost se

nátěrová hmota zařadí do skupiny s nízkou životností 2-5 let, střední 5-15 let nebo vysokou životností, která je stanovená na více jak 15let. Respektive se jedná o dobu, než je nutné provést první opravu nátěru. [3]

2.4 Vady nátěrových hmot

Bezbarvé laky, fermeže a další pojidla, musí být dodávány ke zpracování čiré. Zákal v látce obvykle signalizuje vadu nebo nežádoucí příměs, která může způsobit zhoršení kvality výchozího produktu. Velmi mírný zákal, obvykle nijak neovlivní výchozí produkt.

Netěsnost obalů, nedůsledné uzavírání plechovek a sudů při manipulaci a skladování vede k odpaření těkavých látek. U materiálů fyzikálně zasychajících, znamená tato ztráta pouhé zahoustnutí, které se před nanášením upravuje přidáním ředidla. I přesto, že k chybám ve výrobě a během dopravy nátěrových hmot dochází, jsou tyto chyby spíše výjimečné. Znamená to, že zakoupený produkt je skoro vždy v pořádku. Chyby se vyskytují častěji během aplikace, obzvláště v silně znečištěném prostředí.

Usazování pigmentů a plniv, případně dalších komponentů, lze posoudit jako závadu pouze tehdy, pokud jsou velmi těžko rozmíchatelné. Takto znehodnocená nátěrová hmota není vhodná k dalšímu zpracování, protože dojde k porušení poměru tekutých a pevných složek. Výsledný nátěr by vykazoval sníženou krycí schopnost, antikorozi účinnost a případně další chyby. Některé nátěrové hmoty mají sklon k sedimentaci, proto vyžadují dodatečnou péči, jako je přidávání antisedimentačního aditiva, jejich účinnost je ale omezena. Při skladování se musí počítat s dodržováním požadovaných skladovacích parametrů, jako je teplota nebo občasné promíchání. Proto by se neměly nátěrové hmoty skladovat dlouhodobě a výroba by měla být dle aktuální poptávky.

Při nanášení štětcem není dodržena rovnoměrnost nátěru, nátěr nemá po aplikaci dostatečné vlastnosti. Tenký nátěr nemá vyhovující krycí schopnost, tlustý není dostatečně vytvrzený a později dochází k odlupování nebo poškození nátěru. Při pneumatickém nanášení je obvyklou chybou nesprávný tlak, kontaminovaný aplikační vzduch nebo znečištěný vzduch v prostředí, špatně zvolená tryska, špatná vzdálenost trysky od povrchu, nečistoty na povrchu a také nevhodná nátěrová hmota.

U otevřených van, které jsou určeny pro ponor velkých těles, dochází k odpařování těkavých látek a nežádoucímu zahušťování. Tím se po ponoření na povrchu usazuje silnější vrstva povlaku, než je žádoucí. Ta při vynoření z vany nepravidelně stéká a vytváří nepravidelný povlak. Díky sedimentaci se těžší látky usazují a lehčí se pohybují v horní části nádoby, tím nátěrová hmota ztrácí svoji homogenitu. Na povrchu nátěru vznikají různé druhy lesku a

odstínů. Do vany se zanášejí nečistoty z okolí a z povrchu základního materiálu, proto je nutné průběžně kontrolovat stav nátěrové hmoty. [3]



Obrázek 1: Vada nátěru: tvorba nerovnoměrného povlaku stékáním [4]

2.5 Vady nátěrů při zasychání

Nadměrná tloušťka nánosu nátěrové hmoty má rozhodující vliv na rychlost zasychání a na zhoršenou kvalitu filmu, obzvláště u olejových a syntetických na vzduchu schnoucích nátěrových hmot. Nátěr se rychle potáhne tenkou povrchovou blánou, která zadržuje rozpouštědla uvnitř nátěru a brání přístupu vzdušného kyslíku. Zasychání se tímto prodlužuje a brání dalšímu zpracování. Nadměrná tloušťka vrstvy nátěrové hmoty se projevuje svažováním, stékáním na svislých plochách a citlivostí na mechanické namáhání. Opožděné zasychání vede k ovlivnění nátěru zvenčí, například vodou, vlhkostí, chemickými nebo pevnými nečistotami.

U fyzikálně zasychajících nátěrových hmot je při zvýšené tloušťce nátěr dlouho měkký, lepkavý a odstínově nepřesný. To vše kvůli vyplavování pigmentu.

Chemicky vytvrzované nátěrové hmoty jsou ještě více ovlivněny nadměrnou tloušťkou nátěru, jelikož zde dochází k chemickým reakcím v celé jeho tloušťce.

Nátěry zasychající a vytvrzované zvýšenou teplotou mají vady v důsledku nesprávného zasychacího režimu nebo v důsledku použití nevhodného zařízení. Převážná část rozpouštědel má z nátěru vytékat ještě za normální teploty a potom má následovat přisušení nebo vytvrzování. Vysoká koncentrace výparu v prostoru sušárny zpomaluje vytvrzování nátěru, protože působí jako izolační plášť. Přepálené nátěry vykazují sníženou odolnost proti vnějším činitelům, obzvláště těm chemickým. [3]



Obrázek 2: Vada nátěru: svrašťení [5]



Obrázek 3: Vada nátěrů: odlupování [6]

2.6 Vady přilnavosti a stárnutí nátěrů

Přilnavost je síla, která drží nátěr na základním materiálu. Síly působící proti přilnavosti mají svůj původ již při tvorbě filmu. Smršťováním zasychajícího povlaku vznikají pnutí v nátěru. Tato tendence je tím větší, čím je tlustší nátěr. Tlustší vrstva není východiskem k lepší přilnavosti nátěru. Sníženou přilnavost vykazují nátěry, které jsou umístěny v prostředí, ke kterému nebyly určeny. Obzvláště u nátěrů, které jsou pro vnitřní použití, ale byly použity jako venkovní. U kovového materiálu se snižuje přilnavost hlavně v oblastech zasáhnutých korozí. Nejdůležitější pro přilnavost je vysoká míra čistoty základního materiálu a drsnost povrchu. Při stárnutí nátěru se posuzuje lesk, který přirozeně ztrácí na svých vzhledových vlastnostech, díky fyzikálnímu a chemickému namáhání. Takové namáhání může být například sluneční svit, termický účinek nebo účinek vody s obsahem agresivních látek. Mechanické namáhání výrazně urychluje stárnutí nátěru. Destrukce nátěru začíná od povrchu, nejdříve dochází ke ztrátě lesku. Dále následuje tvorba trhlinek a odprýskávání od podkladu. [3]

2.7 Zkoušení nátěrových hmot

Základem kvalitního povlaku je splnění technologie nanášení. Musí být provedena vhodná úprava konstrukce a předúprava povrchu před nanášením. Nátěrová hmota musí mít požadované vlastnosti již před nanášením. Musí být zvolená správná technologie nanášení, a musí být zvoleny správné podmínky. Nátěrový film musí být dostatečně zaschlý.

Měření různých charakteristik nátěrových hmot není jednoznačné. Problematice nahrává také fakt, že nátěrové hmoty se vyskytují v různých fyzikálních stavech, jako jsou roztoky, emulze, tuhé pasty atd. Pokud zavedeme časové hledisko, je to další problém, protože se měří nátěrové

hmoty před, během i po nanášení. Také po uplynutí doby na vyzrání nátěru, anebo až po delší době, kdy už nátěr byl ovlivněn vnějším okolím.

Obecné zkoušky u kapalných nátěrových hmot před aplikací:

- a) Analytické metody
 - stanovení kyselosti, obsahu rozpustných kovů, celkového obsahu rtuti, zkoušení pigmentu a plniv
- b) Technologické zkoušky
 - stanovení bodu vzplanutí, hustoty, vlastností sedimentu, jemnosti tření
- c) Další zkoušky
 - stanovení těkavých a netěkavých látek, objemové sušiny, výtokové doby z výtokového pohárku, viskozity

Zhotovitele nátěru nejvíce zajímají vlastnosti nátěrových hmot před a během aplikace.

Před nanášením se provádí především tužení barvy, ředění, filtrace, ohřev apod. Nejdůležitější vlastnosti před nanášením jsou konzistence a ředitelnost. Během aplikace jsou nejdůležitější vlastnosti: roztíratelnost, slévateľnost, stříkatelnost a vydatnost, stupeň rozlivu a stupeň stékavosti.

2.7.1 Bezpečnost a hygiena při práci s nátěrovými hmotami

Nátěrové hmoty jsou látky škodlivé lidskému zdraví a mohou mít vlastnosti jedů a otravných látek. Mohou způsobit dočasné nebo trvalé poškození pokožky, sliznice a dalších částí lidského těla. Při jejich výrobě a manipulaci musí být dodrženy zásady ochrany lidského zdraví. Rozpouštědla obsažená v nátěrových hmotách a jejich páry způsobují dýchací a jiné problémy. Proto v prostorech pracoviště musí být odvětrávání těchto par, které jsou mimo jiné i výbušné. Skladování nátěrových hmot nesmí být v otevřených nebo nedokonale uzavřených nádobách. Při manipulaci se musí postupovat opatrně, aby nedocházelo ke zbytečnému těkání nátěrové hmoty nebo potřísnění pracovníka.

Pracovník by měl používat ochranné pomůcky, stanovené pro jeho pracoviště. Do těla pronikají látky hlavně inhalací par nebo prachu. Otrava výparů způsobuje akutní i chronická zranění, působí na krevní oběh a svalstvo. Nebezpečí hrozí u látek, které při kombinaci s jinou látkou způsobí požár nebo výbuch. Například kombinace iniciátorů a urychlovačů.

Zaměstnanci musí být řádně proškoleni a obeznámeni s nebezpečím a zásadami ochrany zdraví. Pracovníci v nebezpečných prostorech, by se měli podrobit pravidelné lékařské prohlídce. Na pracovišti se nesmí jíst, pít, kouřit a ukládat jakékoliv požitaviny. V pracovním prostoru musí být umístěna lékárnička a pracovníci by měli znát zásady první pomoci. [3]

2.7.2 Prohlídka a příprava zkušebních vzorků

Norma ČSN EN ISO 1513 stanoví postup předběžné prohlídky jednotlivého vzorku dodaného ke zkouškám. Mimo to, stanoví postup přípravy zkušebního vzorku mísením a redukcí množství ze souboru vzorků, který je reprezentativní pro dodané nebo celkové množství nátěrové hmoty. Je důležité prohlédnout stav obalu a zaznamenat případná poškození a netěsnosti. Pokud je možné, že došlo k ovlivnění obsahu, vzorek musí být zamítnut.

Při otvírání obalu pozor na výrobky, které mají sklony k vytváření plynů nebo tlaku uvnitř obalu. Obaly je zapotřebí otvírat opatrně, zejména pokud je vidět, že víko nebo dno obalu je vyduté. Obal se opatrně otevře tak, aby nedošlo ke zvržení obsahu.

Během vizuální prohlídky je zaznamenána přítomnost jakéhokoliv škráloupu na povrchu a to, zda škrálop je souvislý, tvrdý, měkký, tenký nebo velmi tlustý. Pokud se na vzorku škrálop vyskytuje, je vhodné vzorek vyřadit. Pokud to není proveditelné, škrálop se co nejúplněji oddělí, popřípadě je odstraněn filtrací. Posoudí se konzistence vzorku, jestli je tixotropní nebo zgelovatělý. Zaznamená se, jestli došlo k rozdělení vzorku do vrstev. Vzorek se také prohlédne na nečistoty, a pokud je to možné, nečistoty se odstraní. U laků, ředitel, roztoků katalyzátorů atd. se zaznamená čírost a barevný odstín vzorku. Zaznamená se typ usazeniny (pokud nějaká je). Zgelovatělé vzorky nebo s tvrdou suchou usazeninou se nepoužijí, protože nedojde k homogenizaci.

U výrobků ve formě prášku se obvykle jen zaznamenají zvláštnosti, jako neobvyklý barevný odstín, přítomnost velkých nebo tvrdých hrudek nebo přítomnost cizorodých látek.

Kapalné a pastovité výrobky se po důkladném promíchání každého vzorku přelijí nebo jinak převedou do čistého suchého obalu vhodné velikosti a důkladně se smísí mícháním, protřepáním atd. Ze smíchaného homogenního vzorku se odebere redukovaný vzorek podle ISO 15528. Redukovaný vzorek se převede do jednoho nebo několika čistých suchých obalů tak, aby zůstal volný prostor asi 5 % objemu. Poté se obaly uzavřou, označí štítky a v případě potřeby utěsní.

Na štítky se uvede: výrobce a popis výrobku, datum výroby, velikost dávky a podrobnosti o ní, místo a datum vzorkování a jméno pracovníka, který jej provedl, referenční číslo šarže, označení skladovací nádrže, sudu, atd., ze kterého vzorek byl odebrán, datum smísení vzorku a pracovníka, který je provedl a odkaz na normu 1513. [5]

2.7.3 Stanovení tloušťky nátěru

Měření tloušťky filmu závisí na kalibraci měřicího přístroje, ověření přístroje, nastavení přístroje a samotném měření. Norma ČSN EN ISO 2808 popisuje řadu metod, které lze použít pro měření tloušťky povlaků nanesených na podklad. Uvádí metody pro stanovení tloušťky mokrého i suchého filmu a nevytvrzených práškových nátěrových hmot.

Ve všech mechanických metodách, je v jednom místě měřicí přístroj v kontaktu s povrchem podkladu a v dalším místě je v kontaktu přes vrstvu povlaku, výsledná tloušťka je rozdíl mezi dvěma hodnotami na stupnici. Tento postup je vhodný pro všechny kombinace podklad-nátěr. Běžně se k měření tloušťky mokrého povlaku používá měřicího hřebene, měřicího kolečka nebo číselníkového úchylkoměru. Dále je možné použít gravimetrické metody, stanovení tloušťky na základě rozdílu hmotnosti nebo na základě tepelných vlastností. K měření tloušťky suchého filmu na základě rozdílu celkové tloušťky a tloušťky podkladu se používá mikrometr nebo číselníkový úchylkoměr. Může se jednat o destruktivní metodu, kdy se změří celková tloušťka a poté tloušťka podkladu po odstranění povlaku. Výsledná tloušťka je jejich rozdíl. Při nedestruktivní metodě se nejdříve změří tloušťka podkladu a po nanesení povlaku celková tloušťka. Jejich rozdíl je opět výsledná tloušťka povlaku. Dále je možnost stanovit tloušťku pomocí mikrometrického hloubkoměru nebo číselníkového hloubkoměru. Ke stanovení tloušťky se také využívají přístroje na měření profilu povrchu. Další způsoby jsou optické metody, metody příčného řezu, metody řezem, metody klínovým řezem, magnetické metody, vířivé proudy a ultrazvuk. [2] [6]

3 Antistatické nátěry

Statická elektřina nahromaděná na povrchu materiálu negativně ovlivňuje provoz a ohrožuje zdraví pracovníků. V krajních případech hrozí výbuch nebo požár, a to zejména v místech s vhodnými podmínkami. Jedním ze způsobů, jak odstranit negativní vlivy statické elektřiny je použití antistatických nátěrů, které mají uplatnění v potravinářském, petrochemickém, elektrotechnickém a automobilovém průmyslu.

3.1 Elektrický náboj

Látky kolem nás jsou složeny z atomů. Atomy obsahují v jádře protony a neutrony. V obalu atomu jsou elektrony. Protony a elektrony jsou nositelem elektrického náboje. Náboj protonu je kladný a elektronu záporný, pro neutron platí, že jeho náboj je neutrální.

Proton a elektron mají stejnou velikost elektrického náboje. Náboj má však opačnou polaritu. Jestliže je počet protonů a elektronů stejný, elektrický náboj se navenek neprojevuje.

V případě, že počet protonů převyšuje počet elektronů, je celkový náboj kladný. Naopak v případě převahy elektronů, je celkový náboj záporný.

Při zelektrizování těles přecházejí některé elektrony z jednoho tělesa na druhé. Těleso s nadbytečnými elektrony je nabito záporně a těleso s nedostatkem elektronů je nabito kladně. Avšak platí, že celkový počet elektronů se v soustavě nemění, a tedy platí zákon zachování elektrického náboje. [7] [8]

Dvě látky, které mají stejný náboj, se odpuzují a látky s opačným nábojem se přitahují. Silové působení mezi dvěma tělesy je závislé na velikosti jejich nábojů. Elektrický náboj nepatří mezi základní veličiny soustavy SI. Jeho označení je zpravidla Q a jeho jednotkou je coulomb, která je odvozena. Definice říká, že náboj jednoho coulombu projde průřezem vodiče při proudu jednoho ampéru za jednu sekundu. [7] [8]

Materiály, kde se nejbližší elektrony od jádra velmi snadno odpoutají, jsou vodiče. Naopak materiály, které mají pevně vázané elektrony na atomy, jsou izolanty. Izolanty nemají volné elektrony, které by se mohly přemisťovat z jednoho místa na druhé. Žádný materiál, není dokonalým izolantem a postupně se elektrické vlastnosti tělesa vytráčí. [7] [8]

3.2 Elektrický odpor

Provedeme-li experiment, kde kovový vodič je upevněný mezi pevné svorky, ponořený do chladicí kapaliny a je připojen k regulovatelnému zdroji stejnosměrného napětí. Získáme díky postupnému zvětšování svorkového napětí volt-ampérovou závislost. Díky této závislosti zjistíme, že proud procházející vodičem je přímo úměrný napětí mezi konci vodiče. Tento poznatek se nazývá Ohmův zákon.

$$\frac{U}{I} = konst.$$

U – napětí [V]

I – proud [A]

Získaná veličina R

$$R = \frac{U}{I}$$

se nazývá elektrický odpor (rezistence). Jednotkou této veličiny je ohm [Ω]. Hlavním faktorem pro elektrický odpor je druh materiálu a teplota materiálu. U vodičů platí, že s rostoucí teplotou roste i jejich elektrický odpor. S rostoucím tlakem se snižuje rezistivita. Pokud vzniká v materiálu mechanické zatížení, tak mechanické napětí mění směr rezistivity, a to ve směru působící síly. Rezistivita je významně ovlivněna strukturním složením. Čím je horší struktura, tím je rezistivita menší. [8] [9]

3.2.1 Měrný elektrický odpor

Měrný elektrický odpor se nazývá rezistivita. Značí se řeckým písmene ρ (ró) a její jednotkou je ohmmetr [$\Omega \cdot m$]. Je vztažen na délku jednoho metru vodiče o průřezu 1 mm^2 . Jedná se o fyzikální veličinu, která charakterizuje vodivost nebo odporové vlastnosti látek, kterými prochází elektrický proud.

S rostoucí teplotou vodiče roste i jeho rezistivita. Důvodem jsou rozptyly usměrněně se pohybujících elektronů jako důsledek interakce s atomy a poruchami krystalické vazby. [8] [9]

Tabulka 1: Měrný elektrický odpor vybraných materiálů

Látka	ρ při 20°C (ρ_{20}) [$10^{-6} \Omega \cdot m$]
Měď	0,017
Hliník	0,027
Wolfram	0,053
Ocel	0,1-0,2

3.3 Elektrická vodivost

Převrácený poměr elektrického odporu je elektrická vodivost (konduktivita). Elektrická vodivost se označuje velkým písmenem G a její jednotkou je siemens [S].

$$G = \frac{I}{U} = \frac{1}{R}$$

Konduktivita je úměrná koncentraci volných nosičů elektrického náboje v elektrickém poli. Z výše uvedeného vzorce je patrné, že snižováním elektrického odporu získáme vyšší hodnoty elektrické vodivosti. [8]

3.4 Statický náboj

Statická elektřina se nachází na místech, kde se nevodivé věci o sebe třou, řežou, přesypají, rolují nebo se oddělují. Vzniklý elektrický náboj, může ohrozit zdraví osob a také provoz.

3.4.1 Důvody pro antistatické nátěry

V průmyslových podnicích vznikají komplikace, které jsou důsledkem elektrostatického výboje. Jedním z problémů je přitahování částic (statická přitažlivost), které ve farmaceutickém nebo tiskařském průmyslu zvyšuje zmetkovitost, a to v důsledku akumulace prachu a nečistot na povrchu produktu. Dalšími komplikacemi jsou nesprávné chování materiálu a elektrické údery působící na obsluhu. Vlivem statické elektřiny mohou pracovníci pociťovat zvýšenou únavu, zhoršuje se jim soustředěnost k práci a mohou být náchylnější k onemocnění. I přes opatření, která mají zajistit, aby nevznikala nepříznivá statická elektřina, může dojít k výbuchu hořlavých par či plynů.

Elektronická zařízení jsou taktéž ohrožena. Elektrostatický výboj může způsobit potíže v integrovaných obvodech s vysokým vnitřním odporem, kde výboj může obvod zničit.

V domácnosti dochází také ke statickým výbojům. Postačujícím činitelem k vytvoření náboje je nevhodné oblečení nebo obutí. Dále to jsou povrchy, které mají vysoký izolační odpor, nízkou relativní vlhkost, která zvyšuje pravděpodobnost výskytu výboje. Pokud je lidské tělo vystaveno častým výbojům, může dojít i k nenávratnému poškození lidského organismu.

Ve většině případů je elektrický výboj negativní jev, kterému je nutné předejít. Vodivé povlaky podporují odvod elektrického náboje z ochráněného předmětu.

Výhod elektrostatické výboje, lze naopak využít například v nanášení nátěrových hmot v elektrostatickém poli. Také se využívá v tiskárnách nebo kopírovacích strojích.

Aby byl povlak vhodný pro antistatické účely, je nutné jeho měrný elektrický odpor snížit pod hodnotu menší než $1 \cdot 10^6 \Omega$. [10] [11] [12] [13] [14]

3.4.2 Vznik statického náboje

Statická elektřina je výsledkem nevyrovnaností mezi negativními a pozitivními náboji v objektu. Tyto náboje vznikají a kumulují se na povrchu objektu, dokud si nenajdou cestu, jak se odpojit nebo vybit. Tím vzniká statický výboj.

Statický náboj vzniká třením, oddělením nebo indukci. V závislosti na postavení materiálu v triboelektrické řadě, se materiál bude nabíjet kladně nebo záporně. Postavení některých látek zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 2: Triboelektrická řada [15]

↑	+	vzduch
		lidské tělo
		sklo
		vlna
		hliník
		ocel
		dřevo
		a další
↓	-	měď
		zlato
		polystyrén
		polyetylén
		vinyl
		silikon
		teflon
		a další

Množství náboje záleží na:

- a) elektrické vodivosti
- b) permitivitě
- c) množství a hustotě kontaktních míst
- d) rychlosti, kterou se případné povrchy pohybují
- e) teplotě povrchu [16]

Statický náboj může být objemový nebo povrchový, rozdílem je místo výskytu. Objemový náboj se vyznačuje tím, že je v celém objemu tělesa, povrchový náboj je pouze na jeho povrchu. V praxi způsobuje více škod povrchový náboj, který se vyskytuje častěji. [11] [17]

3.4.3 Charakter statického náboje

Pokud materiál obsahuje kladný či záporný náboj, je možné tento náboj označit za statický. Statický náboj se nedrží v materiálu konstantě, ale s časem klesá. Vyprchání statického náboje je relativní, neboť doba poklesu této hladiny samovolně poklesne s časem. Doba uvolnění statického náboje záleží na odporu materiálu. Materiály, které mají velký odpor, udržují statický náboj po dlouhou dobu. Materiály, které mají nízký odpor, udržují statický náboj jen po krátkou dobu.

Existují dva faktory pro velikost náboje. Prvním je množství náboje v materiálu a druhým je elektrická kapacita materiálu. Ze vztahu $Q = C \cdot U$ [C], kde Q zastupuje náboj, C [F] je elektrická kapacita materiálu a U [V] značí napětí. Tento vztah poukazuje, že pro daný náboj materiálu bude platit, čím nižší kapacita, tím vyšší napětí a naopak. U materiálu s nízkou hodnotou elektrické kapacity, jako jsou například plasty a obecně izolanty plastů, bude hodnota napětí vysoká a statický náboj bude mít vysokou hodnotu napětí. Naopak u materiálu s vysokou elektrickou kapacitou, jako jsou kovy a obecně vodiče, bude hodnota napětí nízká a statický náboj bude mít nízkou hodnotu napětí. Elektrický výboj velmi ohrožuje součástky s nízkou elektrickou kapacitou jako je dioda, tranzistor, nebo integrovaný obvod. [10] [11] [18]

3.4.3.1 Elektrická kapacita

Elektrická kapacita vyjadřuje schopnost vodiče uchovat elektrický náboj. Čím větší kapacita materiálu, tím větší množství náboje může na vodiči být. Kapacita je závislá na velikosti a tvaru vodiče. Elektrická kapacita je poměr velikostí elektrického náboje k hodnotě elektrického napětí. Čím vyšší elektrický náboj, tím vyšší napětí. Kapacita vodiče vyjadřuje schopnost vodiče hromadit v sobě náboj. [11] [19] [20] [21]

3.4.4 Faktory ovlivňující statickou elektřinu

Mezi hlavní faktory, které zvyšují pravděpodobnost výskytu statického náboje, patří: vlhkost v prostředí, typ používaného materiálu, změny teplot a druh operace, který náboj způsobuje. Pracovníci s elektronikou, hlavně ve výrobě, využívají elektrostatických náramků, aby se předcházelo poškození elektrických zařízení. [10] [11]

3.4.4.1 Faktor vlhkosti

Čím vyšší vlhkost v prostředí, tím je nižší výskyt statického náboje. Důvodem je obsah vlhkosti v atmosféře. Díky tomu je na všech površích malé množství vody, které působí jako vodič a odvádí náboj do míst s dostatečným elektronovým zásobníkem, kde se náboj vybije. Naopak v prostředích, která vykazují nízkou míru vlhkosti, je výskyt statického náboje vyšší. [11]

3.4.4.2 Faktor materiálu

Dle postavení materiálu v triboelektrické řadě, se materiál nabíjí buď kladně, nebo záporně. Pokud je sledovaný materiál v záporně se nabíjecí části a tře se s kladně nabíjecím se materiálem, bude pro sledovaný materiál výsledný náboj záporný. Pokud se bude třít s materiálem, který se více nabíjí záporně, bude výsledný náboj sledovaného materiálu kladný. Tento faktor ovlivňuje směr přestupu elektronů. Kladně nabitý materiál má tendenci uvolňovat povrchové elektrony, naopak záporně nabitý materiál je přitahuje. Lidské tělo bude vůči oceli nabito kladně, a proto náboj bude směřovat z lidského těla na ocelovou konstrukci. Čím více budou materiály blíže u sebe, tím budou probíhat přestupy elektronu intenzivněji. Pokud se v blízkosti sebe vyskytnou předměty, které mají samy o sobě nízkou hladinu statického náboje, tak při uskupení do většího celku vytvářejí silnější náboj. [11]

3.4.4.3 Faktor druhu operace

Úkony, které se opakují, zvyšují míru vytvořeného povrchového náboje. Čím vyšší bude míra opakovatelnosti, tím vyšší je i míra vytvořeného povrchového náboje. Tento jev se vyskytuje například u přesýpacích operací nebo transportních akcích. [11]

3.4.4.4 Faktor změny teploty

Materiál, který chladne z vyšších teplot, než je teplota pracoviště, má tendenci se nabíjet. Náboj se při chlazení přemísťuje skrz celý objem na povrch výrobku. U izolantu se náboj přemísťuje velmi pomalu a statický náboj může být uchován po velmi dlouhou dobu. Naopak u vodičů se

náboj přemístí za krátkou dobu. Některé teplé výrobky jsou elektricky neutrální, ale po zchladnutí vykazují povrchový statický náboj. [11]

3.4.5 Způsoby eliminace statického náboje

Všechny metody pro neutralizaci mají stejný technický základ. Pokud je materiál nabit kladně, převažují protony. Pro vyrovnání elektrických nábojů je nutné dodat elektrony. Naopak tomu platí, pokud je materiál celkově nabitý záporně a panuje převaha elektronu. V takovém případě se musí elektrony odvést, aby došlo k vyrovnání nábojů.

Dodání nebo odstranění elektronů probíhá třemi způsoby:

- a) pohybem elektronů v samotném materiálu
- b) pohybem elektronů prostřednictvím jiného povrchu, s kterým je v kontaktu
- c) pohybem elektronu pomocí ionizovaného vzduchu. [11] [17]

Mezi praktické metody eliminace statického náboje patří:

- a) použití dobře vodivého izolantu, jako jsou antistatické povlaky s příslušnými plnivými
- b) ionizace, kdy se doplňuje náboj opačného náboje
 - mezi základní tři typy ionizátorů patří: ionizátor napájen vysokým napětím, ionizátor využívající radioaktivní nebo UV záření a neutralizátory pracující na základě indukce
- c) zvýšení kapacity systému
- d) snižování rychlosti posuvu a otáček stroje
- e) vyvolání opačných nábojů v materiálu
- f) vytváření kontaktních ploch ze stejných materiálů [11] [16] [17]

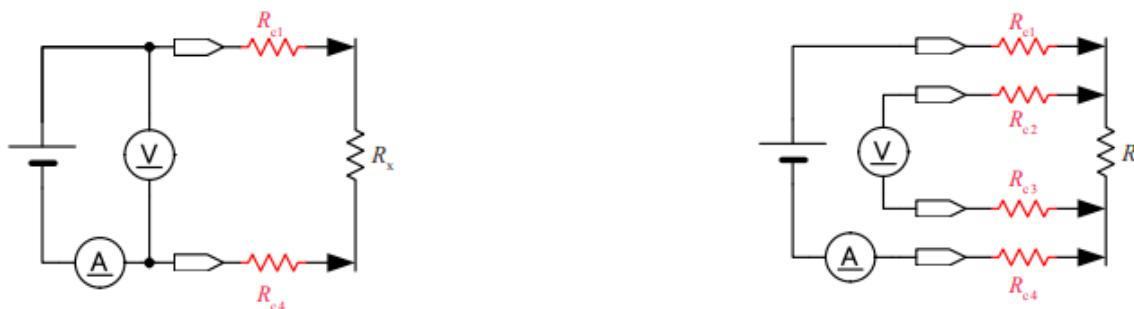
3.4.6 Měření měrného elektrického odporu povlaků

Pro měření měrného elektrického odporu na vzorcích s povlakem se využívají hlavně dvě metody, metoda dvoubodová a čtyřbodová.

U dvoubodové se připojí zdroj vnějšího proudu do měřícího obvodu a na vzorku se odečítá napětí. Tato metoda je jednodušší a je vhodná pro měření velkých odporů v porovnání s přechodovými odpory.

Pro měření s lepší přesností se využívá metoda čtyřbodová, kde jsou odděleny proudové a napěťové kontakty. Dva z kontaktů zajistí proudové napájení a dva kontakty měří hodnoty napětí.

Měření povrchového a vnitřního odporu řeší norma ČSN EN 61340-2-3 Elektrostatika - Část 2-3: Metody zkoušek pro stanovení rezistance a rezistivity tuhých rovinných materiálů, používaných k zabránění akumulace elektrostatického náboje. Schémata zapojení pro měření dvoubodovou a čtyřbodovou metodou zobrazuje následující obrázek. [22] [23]



Obrázek 4: Schéma zapojení pro dvoubodovou (vlevo) a čtyřbodovou (vpravo) metodu měření měrného elektrického odporu [22]

3.5 Antistatická plniva povlaků

Antistatika jsou přísady, které zvýší elektrickou vodivost. Plniva nesmí ovlivnit funkční vlastnosti povlaku jako protikorozní ochranu, přilnavost aj. Antistatická plniva mají původ buď organický, nebo anorganický. Významnější jsou antistatika anorganického původu. Příkladem anorganických antistatik jsou kovy ve formě prášků, sulfidů, solí, oxidů a uhličitánů. Dále také aluminosilikáty a různé modifikace uhlíků, který je alotropickou látkou a vykazuje velmi dobrou elektrickou vodivost. Základním kovem pro antistatická plniva povlaku je obvykle měď a slitiny mědi, hliník a jeho slitiny, stříbro, zinek, nikl, železo a ocel. Mezi používanější kovové sloučeniny nanočástic patří TiO_2 , ZnO , Al_2O_3 a TiN a další méně využívané sloučeniny. V menší míře se používají wolfram, indium, molybden a tantal, tyto materiály jsou v podobě nanočástic, nanotrubiček a nanovrstev. [16] [24] [25] [26]

3.5.1 Kovová plniva

Kovové nanomateriály mají potenciál pro široké uplatnění, kde lze využít jejich vlastností, jako jsou vynikající pevnost a elasticita. Více se však využívají materiály keramické a polymerní, které jsou plněny kovovými částicemi. Obecně se kovové částice využívají díky svým elektromagnetickým vlastnostem v elektronice a optických aplikacích. Pokud jsou částice ve formě nanočástic, jejich příprava je potom uskutečňovaná například metodami laserové ablace, atomizací kovové taveniny, kondenzací z plynné fáze a dalšími. [27] [28]

3.5.1.1 Měď a slitiny mědi

Měď má charakteristickou načervenalou barvu, která vytváří lesklý pohledově zajímavý vzhled povrchu. Je to poměrně těžký a dobře tvárný kov. Kvůli špatné slévateľnosti, se vytvářejí její slitiny jako bronz nebo mosaz. Reaguje se sírou, která se nesmí vyskytovat v základní matici. Měď musí být dobře uchovaná v základní matici, aby nedocházelo ke znečištění a vytváření povrchových solí, které snižují vodivostní vlastnosti. [27] [28]

3.5.1.2 Hliník a slitiny hliníku

Hliník je stříbrně bílý, lesklý, měkký a lehký kov, který má vysokou tepelnou i elektrickou vodivost. Patří díky své ceně a vlastnostem k nejrozšířenějšímu plnivu vůbec. Příměsi obsažené v hliníku, snižují jeho elektrickou vodivost. Hliník na vzduchu vytváří na svém povrchu oxid hliníku, který ho chrání před korozi. Elektrická vodivost hliníku je menší než u mědi. Hliník má také větší teplotní roztažnost. [27] [28]

3.5.1.3 Stříbro

Stříbro je ušlechtilý, měkký a tvárný kov, má velmi vysokou tepelnou i elektrickou vodivost. Tento materiál je velmi využíván v elektrotechnice, kde se spotřebuje až polovina veškerého vyrobeného stříbra na světě. Další významné využití je v antibakteriálních a antivirových aplikacích, kterých se využívá v potravinářském a textilním průmyslu. V technickém odvětví se nanočástice stříbra využívají v produkci katalyzátorů, molekulárních senzorů, elektrooptických zařízení a v jiných aplikacích. [27] [28]

3.5.1.4 Zinek

Zinek je namodrale bílý a lesklý kov. Na vzduchu reaguje a pokrývá se oxidy. Elektrická vodivost je 3 krát menší než u mědi. Hlavně se využívá jako chemický přídatek a při protikorozní ochraně kovů. Lze ho využít i jako plnivo pro vodivostní nátěry. [27] [28]

3.5.1.5 Nikl

Nikl je bílý, těžký, kujný a tavný kov. Elektrickou vodivost má srovnatelnou se zinkem. Nikl za normálních podmínek dobře odolává korozi na vzduchu i ve vodě. Pro průmysl je tento kov naprosto nepostradatelný, neboť se hojně využívá k legování železa u výroby korozivzdorné a žáruvzdorné oceli. Není žádný jiný materiál, který by jeho vlastnosti zastoupil s dostatečnou účinností nebo srovnatelnou cenou. Přibližně 65 % niklu se využívá k tomuto účelům.

Přidáním niklu do železa se stabilizuje austenitická struktura oceli. 20 % niklu se využívá k vytvoření ocelí ve formě neželezné slitiny a super slitin, které odolávají vysokým teplotám a tlakům nebo mají vysokou elektrickou vodivost. [29]

3.5.1.6 Železo a ocel

Chemický prvek železo je šedobílý, lesklý, středně tvrdý, feromagnetický kov. Železo a ocel jsou nejdůležitějším kovem. V minulých i současných dobách se hojně využívaly pro utváření lidské civilizace. Z výše zmíněných kovů má železo nejnižší elektrickou vodivost. Na druhou stranu patří tento prvek k nejlevnějším pigmentovým plnivům. Ale kvůli vysoké hustotě nejsou kovové částice nejvhodnějším plnivem. [27] [28]

Tabulka 3: Vodivostní vlastnosti vybraných materiálů

Materiál	Měrná tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Elektrická vodivost [10 ⁷ .S.m ⁻¹]	Měrný elektrický odpor [10 ⁻⁶ .Ω.m]
Stříbro	419	6,3	0,015
Měď	225	6,1	0,017
Hliník	385	3,8	0,028
Zinek	11	1,7	0,060
Nikl	91	1,4	0,069
Železo	80	1,0	0,101

4 Nanomateriály

Nové poznatky o nanomateriálech vedly k prudkému nárůstu jejich využití v progresivních inovacích. Rozvoj je opodstatněný díky unikátním vlastnostem, které nanočástice poskytují výslednému produktu, v porovnání s konvenčními přístupy. V současné době se použití rozrůstá do mnoha odvětví lidské činnosti, jako je automobilový a letecký průmysl, elektronika a komunikace, chemie a materiály, farmacie aj. Nanomateriály umožňují dosáhnout lehčích materiálů, vyšší odolnosti nátěrových povlaků proti korozi, zlepšení trvanlivosti pneumatik, výkonnějších paměťových zařízení, nových druhů léků a mnoho dalšího.

Základem výsledných nanočástic může být obvykle uhlík, oxid kovu, polymer aj. Na první pohled běžný materiál získá ve formě nanočástic zcela nové unikátní vlastnosti.

Díky nanomateriálům, lze dosáhnout lepších technologických a ekonomických výsledků. Trh s nanočásticemi se rozrůstá a jeho hodnota v roce 2014 dosáhla 2,6 miliardy amerických dolarů. Do budoucna se trend růstu trhu s nanomateriály bude stále rozrůstat a nabídne mnoho pracovních, vědeckých i technických možností. Nanoprodukty se stanou dostupnější, díky postupnému snižování ceny nanomateriálu. [30]

4.1 Obecné poznatky o nanomateriálech

Za nanomateriál se považuje objekt, kde jsou vnitřní či vnější rozměry pod hranicí 100 nm. U nanomateriálu se sleduje kromě jejich velikosti, také tvar a počet. [30]

Za nanotechnologii a její systémy lze označit ty, které splňují následující kritéria: [31]

- a) mají alespoň jeden rozměr v rozměru 1 až 100 nm
- b) využívají fyzikálních nebo chemických vlastností na úrovni atomů a molekul
- c) mohou být kombinovány tak, aby vytvářely větší struktury s důsledky do makrosvěta

Nanomateriály, které se blíží hodnotám rozměru pod 20 nm, respektive pod 5 nm už začínají vykazovat kvantové jevy. U takto malých materiálů nelze pohlížet na jejich strukturu jako na několikanásobně zmenšené zrnko písku, které má svůj pevný tvar. Povrch takto malých struktur je už spíše kontinuem, kde záleží na vzájemné konfiguraci celku.

Nanomateriály se dělí do tří skupin dle jejich struktur.

- a) Nanočástice s definovanými vlastnostmi: rozměry, tvarem, atomovou strukturou, mezifázovým rozhraním a chemickým složením. Rozměry jsou limitovány v oblasti od molekul k pevným částicím menším než 100 nm. Vlivem malých rozměrů v některých případech počet povrchových atomů převyšuje počet atomů ve vnitřním objemu.
- b) Shluky velmi různorodě uspořádané v makroskopických multiklastrových materiálech. Chemicky identické částice mohou být těsně uspořádané, samostatné nebo podléhající koalescenci. Mohou vytvářet nanodrátky, nanotrubičky, nanokompozity, keramické nebo jiné tenké filmy a vrstvy.
- c) Souvislé celky, které mohou sloužit pro vytváření rozměrnějších struktur a materiálů vhodných pro technické aplikace.

Vliv na vlastnosti nanomateriálu má především velikost nanočástic a jejich ochota utvářet větší funkční celky. Výjimečné vlastnosti nanomateriálu jsou způsobeny množstvím fázových hranic. S klesajícím rozhraním jich přibývá a mají rostoucí vliv na výsledné vlastnosti. Částice o velikosti 100 nm mají z celkového objemu zpravidla jen několik procent fázových rozhraní. Pro částice pod hranicí 20 nm, hraje větší roli hrana než plocha částice. U rozměrů částic pod 5 nm tvoří fázová rozhraní až 50 % z celkové mikrostruktury. Mnoho zcela unikátních vlastností nanomateriálu je získáno právě počtem styčných oblastí a položením atomů na povrchu nanokrystalu. Nanověda sleduje hlavně neobvyklé elektrické, magnetické, tepelné, optické a mechanické vlastnosti. [32] [33] [34] [35]

4.1.1 Typy nanoobjektů

Objektů, které splňují podmínku rozměru mezi 1 - 100 nm, se vyskytuje obrovské množství. Tyto nanoobjekty, lze dále dělit dle různých kvalitativních parametrů, avšak základním parametrem, dle normy ISO/TS 80004-2 (Nanotechnologies – Vocabulary – Part 2: Nano-objects), je třídění dle počtu rozměrů, které jsou v intervalu 1 – 100 nm. Z výše zmíněného vznikají 3 skupiny: [31]

a) 0 dimenzionální nanoobjekty

Mají nanorozměry ve všech třech souřadných osách, mezi které patří:

- porézní nanomateriály a nanopěny
- kvantové tečky
- objemné nanomateriály a nanostroje složené z makromolekul

b) 1 dimenzionální nanoobjekty

Mají nanorozměry ve dvou souřadných osách, mezi které patří:

- nanovlákna – obecné protáhlé nanočástice s velikostí ve dvou souřadnicích s nanorozměry a poměrem délky třetího rozměru větším než 3:1
- nanopásky – poměr rozměrů je větší než 2:1
- nanotyče – přímá plná nanovlákna
- nanotuby – dutá nanovlákna
- nanodráty – elektricky vodivá nebo polovodivá nanovlákna
- kvantové dráty, pilíře

c) 2 dimenzionální nanoobjekty

Mají nanorozměry pouze v jedné souřadné ose, mezi které patří:

- tenké vrstvy

- deskovité nanokrystaly
- kvantové jámy
- nanostěny
- rovinné makromolekuly

4.2 Uhlíkové alotropické modifikace

Alotropické látky mají schopnost vyskytovat se v několika různých strukturních formách, které mají odlišné fyzikální vlastnosti. Struktury se liší typem krystalové soustavy, fyzikálními, chemickými a mechanickými vlastnostmi. Uhlík byl již dříve známým prvkem, ale teprve díky výzkumu v posledních desetiletích v submikronové oblasti, se objevily další formy uhlíku.

Z pohledu elektrické vodivosti je zajímavý uhlík v podobě sazí, grafitu, grafenu, uhlíkových nanotub a fulleru. [31]

4.2.1.1 Uhlíkové saze

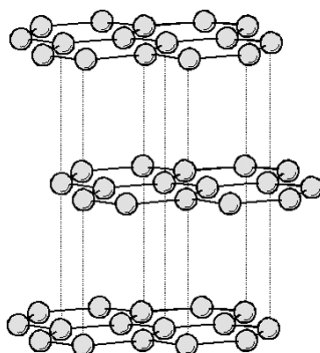
Saze jsou látky s obsahem amorfního uhlíku nad 97 %. U průmyslově vyráběných sazí se pohybuje jejich rozměr mezi 0,1 – 0,4 μm . Saze jsou v podstatě tvořeny elementárním uhlíkem, který má mnohem méně uspořádanou strukturu. Saze neexistují v podobě diskretních částic, ale v průběhu výrobního procesu se primární částice shlukují do formy řetězců. Velikost vzniklých primárních částic určuje hlavní charakteristiky sazí. Čím menší primární částice, tím jsou saze hůře dispergovatelné, ale mají vyšší vodivost a dobře absorbují UV záření. Gumárenský průmysl spotřebuje až 90 % vyrobených sazí, které se uplatní při výrobě pneumatik díky ztužujícím vlastnostem. Až 5 % se použije v plastikářském průmyslu jako plnivo pro ovlivnění elektromagnetických nebo elektro vodivostních charakteristik. U průmyslových sazí hrozí riziko výbuchu a jsou toxické. [36]

4.2.1.2 Grafit

Jedná se o nejrozšířenější přírodní modifikaci uhlíku. Základní strukturální jednotkou je grafenová vrstva, což je dvojrozměrná periodická síť uhlíkových atomů uspořádaných do šestiúhelníků s vazebnými úhly 120° . V grafitu jsou atomy uhlíku uspořádány do vrstev. V jednotlivých vrstvách jsou pevně vázány v šestiúhelnících za pomoci kovalentních vazeb. Se sousední vrstvou mají slabou vazbu.

Vrstvená struktura grafitu je anizotropní, dochází zde k preferenci směru. Tato anizotropie ovlivňuje elektrickou a tepelnou vodivost, ve směru vrstev je větší než kolmo k nim. Kvůli

kolmým slabým vazbám je grafit měkký, dobře se štěpí a snadno se otírá o jiné předměty. Grafit je dobrým tepelným i elektrickým vodičem. Taví se až při teplotách přes 2800 °C. Uspořádání stavebních částic grafitu může být narušeno a vznikají poruchy. Ty jsou bodové, čárové, plošné a prostorové. Díky zmíněným vlastnostem se využívá v žáruvzdorných aplikacích, při výrobě barviv, gumy a mazadel. V jaderných reaktorech slouží jako pohlcovač neutronů. [36]



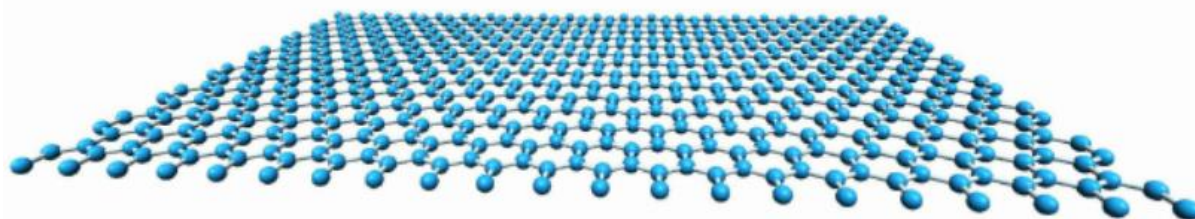
Obrázek 5: Schéma postavení uhlíku v grafitu [37]

4.2.1.3 Grafen

Grafen tvoří jednu vrstvu uhlíků. Vrstva grafenu je vytvořená z vázaných atomů složených do šestiúhelníkové struktury. Přenáší elektrony s obrovskou rychlostí a vede elektrický proud lépe než křemík. Zároveň velmi dobře vede teplo. Jeho tepelná vodivost je $5000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Tohoto faktoru lze využít hlavně u zařízení, kde je nutné odvádět mnoho vzniklého tepla, jako jsou integrované obvody.

Grafen má velmi dobré elektro-vodivostní vlastnosti, toho lze využít v detekčních zařízeních. Také by mohly vzniknout výkonnější typy tranzistorů, které by dosahovaly vyšších frekvencí. Dále lze grafen využít pro zlepšování pevnostních vlastností materiálu.

V současné době je na masovou výrobu grafen složitý a jeho cena i za malé množství je vysoká. [38] [39] [40]



Obrázek 6: Schéma uspořádání uhlíků v jedné vrstvě grafenu [41]

4.2.1.4 Uhlíkové nanotuby

Nanotuby (CNTs – carbon nanotubes) vznikly na konci 20 století, kdy byly náhodně objeveny při procesu nového způsobu přípravy fullerenu. Strukturu a stavbu nanotub lze přirovnat ke srolovanému listu grafenu. Existují tři způsoby utváření nanotub (viz Obrázek 8: 3 možné způsoby orientace nanotub, zleva: armchair, zigzag, chiral). Výsledná chiralita (asymetrie) nanotub určuje elektrické, mechanické, optické, chemické a další vlastnosti nanotub.

Konstrukce nanotub může být základní jednostěnná (SWNT – single walled nanotube) nebo systém o dvou a více stěnách (MWNTs – multi walled nanotubes), které jsou vloženy do sebe. Oproti jednostěnným jsou mnohem tužší, obzvláště v tlaku. [43]

Minimální průměr stabilní samostatné jednostěnné nanotuby je limitován zakřivením a vzniklým zatížením na přibližně 0,4 nm. Délka pro všechny druhy nanotub se může velmi lišit, a to od několika nanometrů až k řádu milimetrů. U víceštěnných nanotub je vnější průměr běžně větší než 30 nm. Mechanické vlastnosti nanotub jsou velmi příznivé. Modul pevnosti v tahu je větší než 100 GPa. Hustota činí $1350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a je tedy 2 krát lehčí než hliník. Elektrický odpor je $10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}^{-1}$. [43]

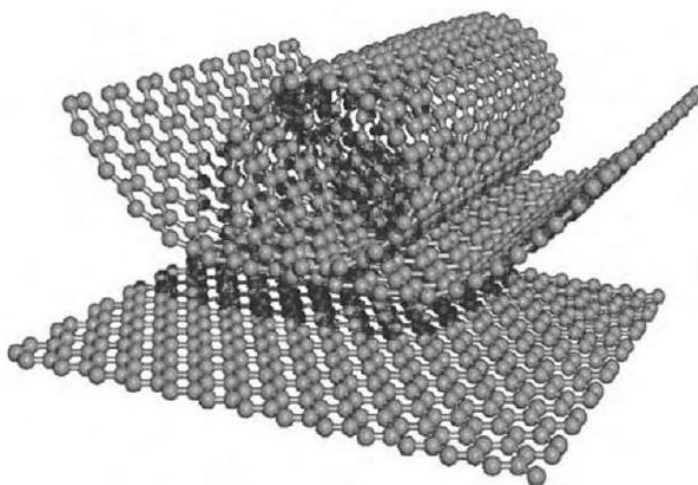
Nanotuby se připravují pomocí chemické depozice z plynné fáze, sono-chemicky, laserovou ablací, elektrickým obloukovým výbojem nebo elektrolýzou. Dané metody přinášejí jiné výsledné uhlíkové nanotuby. Dnes se nejvíce využívá chemická depozice z plynné fáze, neboť lze během procesu dobře kontrolovat orientaci, uspořádání, délku, průměr, čistotu a hustotu.

I přes unikátní vlastnosti nanotub, je nutné v praxi, pro většinu aplikací přidat funkcionalizační jednotky. Znamená to upravení uhlíkových nanotub tak, aby na sebe vázaly další funkční prvky a s tím měnily své výsledné vlastnosti. Usměrnění vlastností lze rozdělit do dvou skupin.

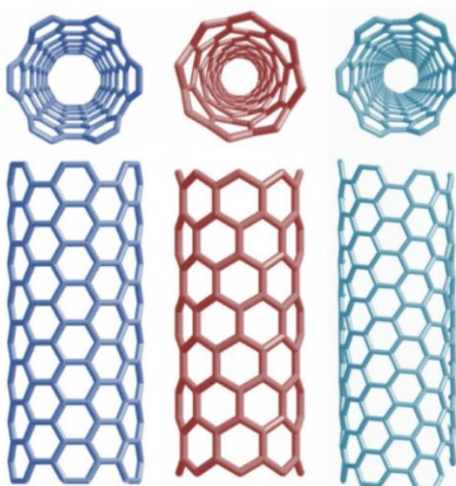
- a) vnitřní usměrnění – nanotuby jsou funkcionalizovány jejich spontánním nebo chemickým vyplněním nanočásticemi
- b) vnější usměrnění – zde jsou funkcionalizovány stěny nanotub

Kvůli nedokonalé výrobě se vyrábějí nanotuby s defekty a musejí být podrobeny čištění. Některé ze vzniklých defektů jsou výhodné a využívá se jejich vlastností ve funkčním prostředí.

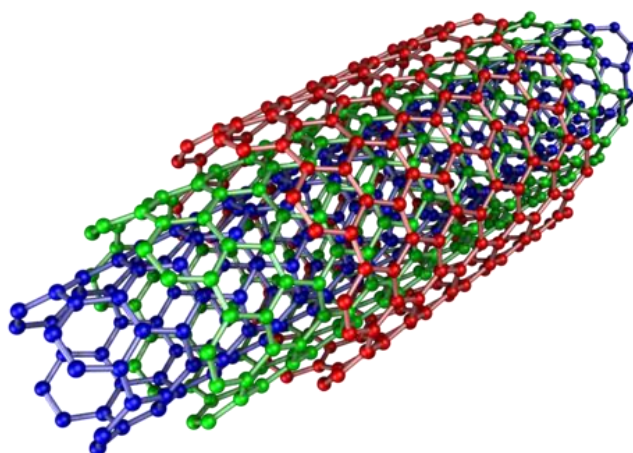
Možné využití uhlíkových nanotub je velice široké. Dle správného vytvoření výsledných struktur lze různé nanotuby využít pro vodivé vrstvy, solární články, palivové články, superkondenzátory, tranzistory, displeje, filtry, čisticí systémy, senzory aj. [31] [36]



Obrázek 7: Vizualizace přetvoření listu grafenu na nanotuby [44]



Obrázek 8: 3 možné způsoby orientace nanotub, zleva: armchair, zigzag, chiral [42]



Obrázek 9: Vizualizace vícevrstvých MWNTs [45]

4.2.1.5 Fullereny

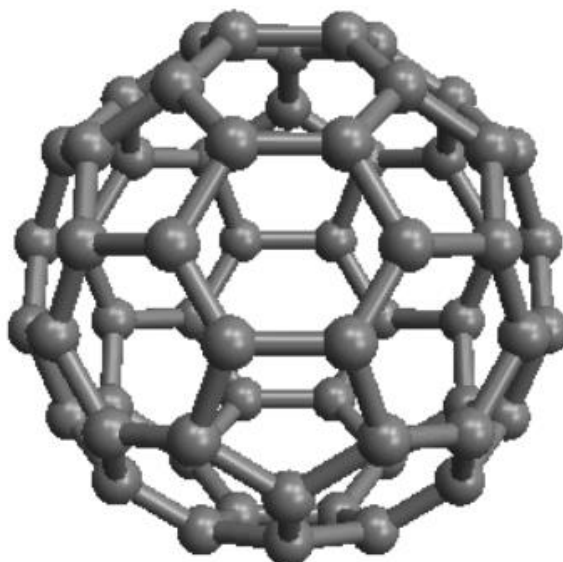
Podobně jako u nanotub se jedná o další formu uspořádání grafenu. Vrstvy jsou v tomto případě zabaleny do uzavřeného tvaru. Fullereny mohou být složeny z menšího počtu uhlíku (např. C_{20} , který obsahuje 20 atomů uhlíku) až po sta uhlíkové formy.

Hlavním specifikem u fullerenu je jejich rozměr 1,1 nm. Nejvýznamnějším představitelem je fulleren C_{60} , který je ze všech fullerenů nejstabilnější, nejsymetričtější a vzdálenosti mezi jednotlivými atomy jsou prakticky stejné. Průměr molekuly fullerenu C_{60} činí 0,706 nm, pokud se započítají i Van der Waalsovy vazby, průměr zvětší na hodnotu 1 nm. [31]

Jsou odolné vůči působení teploty a tlaku. Mohou mít magnetické vlastnosti i supravodivost. Vážou se s jinými funkčními skupinami, vytvářejí antioxidantní a antibakteriální struktury.

Fullereny se připravují mnoha metodami. Základní metodou je odpařování grafitu vzniklého v elektrickém oblouku mezi grafitovými elektrodami v atmosféře hélia, za sníženého tlaku a následnou extrakcí.

V porovnání s grafenem nebo uhlíkovými nanotubami nemají fullereny takové uplatnění, ale využívají se ve fotovoltaických člancích, organických polymerech, během přípravy syntetických diamantů, mazivech a velké uplatnění mají v medicíně. [31] [36]



Obrázek 10: Vizualizace fullerenu C_{60} [46]

4.3 Nanočástice kovových sloučenin

4.3.1 Nanočástice TiO₂

TiO₂ v rozměrech 250 až 300 nm je rozšířeným polotovarem na trhu a má uplatnění jako pigment při výrobě nátěrových hmot. Uplatňuje se v potravinářském průmyslu, kvůli zdravotní nezávadnosti a v dalších odvětvích.

Hlavní využití nanočástic TiO₂ je ve slunečních krémech při ochraně proti UV záření. Díky hydrofilnímu charakteru oxidu titaničitého vytváří voda na povrchu uzavřený film, ve kterém jsou snadno odváděny znečišťující látky a produkty rozkladu. [47] [48]

4.3.2 Nanočástice ZnO

Nanočástice ZnO jsou průhledné a fungují jako fyzická protekce UV záření. Této vlastnosti se podobně jako u TiO₂ využívá ve slunečních opalovacích prostředcích a ochranných povlacích na textilie, dřevo a plastové produkty. Velikost částic v opalovacích prostředcích se pohybuje v rozmezí 20 až 60 nm. Charakteristická pro ZnO je dobrá biokompatibilita a jeho antibakteriální účinky. [49]

4.3.3 Nanočástice Al₂O₃

Pro tento materiál je typická fázová stabilita, vysoká tvrdost a rozměrová stálost, která se využívá v produkci plastů, keramiky, žáruvzdorných produktech. Dalšími vlastnostmi jsou tepelná odolnost proti únavě, odolnost proti tečení a opotřebení. Uplatnění nanočástic Al₂O₃ lze nalézt v kosmetických produktech, výrobě monokrystalů, leštících materiálů, nátěrových hmotách a v leteckém průmyslu. [50]

4.3.4 Nanočástice TiN

Velikost nanočástic TiN se pohybuje v rozmezí od 10 do 80 nm, v závislosti na požadavcích. Mezi příklady využití této látky patří antistatické povlaky například u folií, které se využívají pro minimalizování elektrostatického výboje.

Výhodné vlastnosti vykazuje TiN v oblasti mazání. Snižuje tření u olejů a maziv, kde vytváří velice hladký povrch, který celkově minimalizuje tření. Nanočástice TiN lze využít v protiplísňových a antimikrobiálních aplikacích, dále i v biomedicíně.

Několika vrstevové systémy TiN se využívají pro povlakování obráběcích nástrojů. Přispívají v důsledku snižování tření ke snižování opotřebování a tím prodlužují životnost nástroje. [51] [52] [53] [54]

4.4 Rizika nanomateriálu

I přes obrovský přínos nanomateriálu pro vědu, průmysl i každodenní život, se nesmějí opomíjet hrozby spojené s jeho využitím. Věda zabývající se riziky plynoucími z využití nanočástic, se nazývá nanotoxikologie. Toxikologie je obecně věda, která zkoumá vliv látek na organismus. Nanotoxikologie se v současné době nachází na počátku poznání vlivu nanočástic na živé organismy a celkově na životní prostředí. V popředí výzkumu jsou vlivy nanočástic na neurodegenerativní procesy, kardiovaskulární děje, karcinogenitu a vlivy na imunitu.

Nanomateriály mohou vznikat přirozeně v přírodě, jsou úmyslně vyráběny s cílem budoucího využití anebo jako vedlejší produkt v důsledku průmyslových procesů. Dvě poslední zmíněné oblasti vzniku nanočástic, povedou v budoucnu k hromadění nanomateriálu v životním prostředí. I přesto, že v minulosti se nanočástice vyskytovaly v lidském okolí, v současné době je obrovské tempo růstu tohoto sektoru hrozbou. [35] [55]

Nanočástice díky svým rozměrům pronikají do lidského organismu mnohem snáze než objekty větších rozměrů. Do lidského organismu se nanočástice můžou dostat skrze inhalaci, potravu nebo pokožkou. Mohou prostoupit až k lidským tkáním jako je mozek, ale nejvíce zasaženým orgánem jsou plíce. Může dojít k poškození důležitých molekul DNA, RNA a přenést skrze placentu poškození i do dalších generací. [56]

Nanotuby mají z hlediska zdravotního rizika obdobné vlastnosti jako azbest. Existují obavy, že nanotuby mohou způsobovat plicní rakovinu nebo maligní mezoteliom, podobně jako rakovina. [30]

Problémem nanočástic je také skutečnost, že lépe vážou toxické látky, než látky o větších rozměrech. Z pohledu toxicity je méně příznivé menší množství jemnějších částic v těle než větší množství objemnějších částic. Existují též materiály, které jsou při větších rozměrech netoxické, ale ve formě nanočástic se pro organismus toxické stávají. [30] [35] [55]

5 Teorie míchání

Soustavy o dvou a více látkách, které se mají dostat do stavu homogenity, jsou nazývané disperzní soustavou. V této soustavě je dominantní složkou disperzní prostředí a vmíchávané látky jsou disperzní podíly. Cílem dispergace je dostat tyto látky do stavu homogenity. Disperzní podíly jsou obvykle celé pevné částice nebo shluky částic. Disperzní soustavy tvoří buď homogenní prostředí, kdy je disperzní podíl i disperzní prostředí ve stejné fázi nebo je systém nehomogenní a prostředí od podílu je odděleno fázovým rozhraním. [57] [58]

Použitá metoda pro dispergaci, hraje zásadní roli pro koncovou velikost částic. Aby došlo k dosažení požadované velikosti, je nutné vložit do disperzní soustavy odpovídající množství energie. [58]

Zvolená metoda pro dispergaci nátěrových hmot má vliv na výsledný povlak, jeho mechanické a funkční vlastnosti. Díky rovnoměrné velikosti částic a jejich rozložení v povlaku, dojde k dobrému rozložení vlastností po celé ošetřené ploše. V případě nesprávné nebo nedokonalé dispergace celého systému, může dojít ke znehodnocení finálního produktu.

Volbou vhodné technologie a parametrů procesu míchání kapalných suspenzí, je možné zefektivnit samotný proces míchání nátěrové hmoty. Díky tomu, lze dosáhnout vyšších užitných vlastností nátěrové hmoty, při snížení materiálové a časové náročnosti. [13]

5.1 Dělení disperzních soustav

Existuje mnoho disperzních soustav, které jsou hodnoceny z různých hledisek: [57]

- a) podle skupenství disperzního prostředí a disperzního podílu

Tabulka 4: Dělení disperzních soustav dle skupenství prostředí [57]

Disperzní prostředí	Disperzní podíl	Disperze	
		Kaloidní	Hrubé
Plynné	plynný	-----	-----
	kapalný	aerosoly (mlhy)	děšť, mlhy
	tuhý	aerosoly (dýmy)	prach, dýmy
Kapalné	plynný	pěny	bubliny, pěny

	kapalný	emulze	emulze
	tuhý	lyosoly	suspenze
Tuhé	plynný	tuhé pěny	tuhé pěny
	kapalný	tuhé emulze	tuhé emulze
	tuhý	tuhé soli	tuhé směsi

- b) podle počtu molekul v části disperzního podílu
- systémy molekulární: analytické disperze a roztoky makromolekul
 - systémy polymolekulární: asociativní kaloidy, lyofobní soli a hrubé disperze
- c) podle velikosti částic disperzního podílu
- hrubé disperze, kaloidní disperze, analytické disperze
- d) podle tvaru částic
- globulární, laminární, fibrilární disperze
- e) podle struktury disperzního podílu
- disperzní podíly ve formě částic
 - gely
- f) podle rozdělení velikosti částic
- monodisperzní, paucidisperzní, polydisperzní

5.2 Míchání nátěrových hmot

Míchání je hydrodynamický proces, kde dochází k vzájemnému pohybu mezi částicemi míchané vsádky. Mícháním se dosáhne homogenizace vzájemně rozpustných kapalin, suspenzaci zrnitého materiálu, dispergaci, intenzifikaci, sdílení hybnosti, tepla a hmoty. Míchadla působící na vsádku, převádí část vlastní hybnosti kapalině, vzniká cirkulace kapaliny v nádobě. Převod hybnosti nastává tlakem lopatek míchadla na kapalinu před sebou. Tím část kapaliny před lopatkou proniká do okolní kapaliny a část se jí dostává do pohybu ve směru otáčení míchadla. Za lopatkou vzniká podtlak, který způsobuje přisávání kapaliny z okolí míchadla. Vytlačováním a přisáváním kapaliny vzniká okolo lopatek turbulentní víření. [59]

V praxi, při tvorbě dispergovaného systému kapaliny a pevné látky, kdy vzniká homogenizovaná suspenze, se používají rotační míchadla, pneumatická míchadla, hydraulická míchadla, vibrační míchadla a případně zařízení na principu ultrazvuku. [60]

V případě dispergace vodivých aditiv do disperzního prostředí, musí dojít ke správnému rozmíchání, aby byl elektrický potenciál rovnoměrně rozložený. [61]

6 Experimentální část

Hlavním cílem experimentální části je snížení elektrického odporu nátěrové hmoty v závislosti na druhu a poměru plniva. Dále posouzení vlivu metody dispergace na vodivostní vlastnosti výsledné nátěrové hmoty. Důvodem pro snížení elektrického odporu povlaku, je odvod elektrického náboje z povrchu ochráněné plochy, a tím zvýšení ochrany proti statickým výbojům.

V tomto experimentu byla jako matrice použita vodná disperze epoxidové pryskyřice pod označením CHS-EPOXY 200 V 55 od společnosti SYNPO a.s. Pro snížení elektrického odporu povlaků bylo využito vodivého polymeru PEDOT, nanotub, grafitu, grafenu a částic mědi. Pro natužení suspenze byl použit Telalit 180. Dispergace probíhala pomocí míchadel rotor – stator a visco – jet ve spolupráci s Ústavem procesní a zpracovatelské techniky pod vedením prof. Ing. Tomáše Jirouta, Ph.D. Dispergování lopatkovým míchadlem a nanášení povlaků natahovacím pravítkem probíhalo na Ústavu strojírenské technologie ČVUT v Praze. U výsledných nanosených povlaků byly ověřeny funkční a ochranné vlastnosti.

6.1 Popis použitých látek

6.1.1 Epoxidová nátěrová hmota CHS-EPOXY 200 V 55

CHS-EPOXY 200 V 55 je vodná disperze roztoku středněmolekulární epoxidové pryskyřice (jako pomocné rozpouštědlo a koalescenty obsahuje směs kyslíkatých rozpouštědel). V kombinaci s Telalitem 180 tvoří suroviny pro výrobu ředitelných dvousložkových epoxidových nátěrových hmot. Jedná se o prototyp rozpouštědlových systémů založených na středněmolekulárních epoxidových pryskyřicích. Tužidlo se přidává v poměru 100 : 6,1 ve prospěch epoxidové matrice. Nátěrovou hmotu dodala společnost Synpo a.s., Pardubice, Česká republika.

6.1.2 Vodivý polymer CLEVIOS PEDOT PH 500, KV2

Suspenze KV2 je vnitřně elektricky vodivý polymer PEDOT – polyethyldioxythiofen. Podíl vodivého polymeru v suspenzi jsou 2 % (sušina 2 %). PEDOT je polymer získaný z ethylenu dioxythiofenového monomeru. Ke snížení elektrického odporu u tohoto polymeru dochází

v důsledku překrývání π vazeb, kde je vysoká elektronová hustota a dochází ke vzniku pohyblivé vazby (delokalizované vazby π). Další významnou vlastností u polymeru PEDOT je vysoká průhlednost (Transparency $T > 90$ %). Těto vlastnosti se využívá v antistatice, fotovoltaice, u senzorů a dalších aplikací. Distribuce velikosti částic DVČ (DPS – distribution particle size) je $D_{50} = 30$ nm. [62] [63] [64] [65]

6.1.3 AQUACYL 0301

Kapalná suspenze AQUACYL 0301 obsahuje víceštěnné uhlíkové nanotuby (MWCNTs). Nánočástice jsou rozptýlené ve vodném roztoku, který je doprovázen dalšími prvky – disperzantem, tedy aditivem zabraňujícím shlukování a sedimentaci. Množství nanočástic v suspenzi nepřesahuje hodnotu 5 hm. %. Výrobcem této suspenze je společnost Nanocyl S.A..

Tabulka 5: parametry AQACYLU 0301

Voda	> 90 %
Dispersant	< 5 %
MWCNTs	< 5 %

Poznámka: parametry produktu jsou převzaty z technických listů výrobce

6.1.4 Grafit

V experimentu byl použit pudrový grafit Fichema s čistotou 99,5 %. Zrnitost grafitu je menší než 7 μ m. Obsah popelu ve směsi je menší než 0,5 %. Dodavatelem grafitu byla společnost FICHEMA s.r.o. [66]

6.1.5 Grafen

Jedná se o vodní disperzi grafenu s hmotnostní koncentrací 1 %. Grafen byl připraven oxidací obohaceného grafitu a upraven Hummersovou metodou. Dodavatelem grafenu byla společnost Nano Carbon Sp. z o o. [67]

Tabulka 6: Chemické složení vodní disperze grafenu

Prvek	C	H	N	O	další
[%]	>45,0	<2,5	<0,5	<49	<4

6.1.6 Telalit 180

Telalit 180 je transparentní, žlutohnědé, aminové tvrdidlo, pro systémy epoxidových pryskyřic. Tento produkt je modifikovaný vodný epoxidový roztok se směsí aminu se střední viskozitou. CHS-EPOXY 200 V 55 a Telalit 180, jsou suroviny určené pro výrobu vodou ředitelných dvousložkových epoxidových nátěrových hmot. Dávkování tvrdidla v toleranci $\pm 10\%$ nemá negativní vliv na vlastnosti nátěrového filmu. Tvrdidlo Telalit 180 poskytla společnost Synpo a.s.

6.1.7 Částice mědi

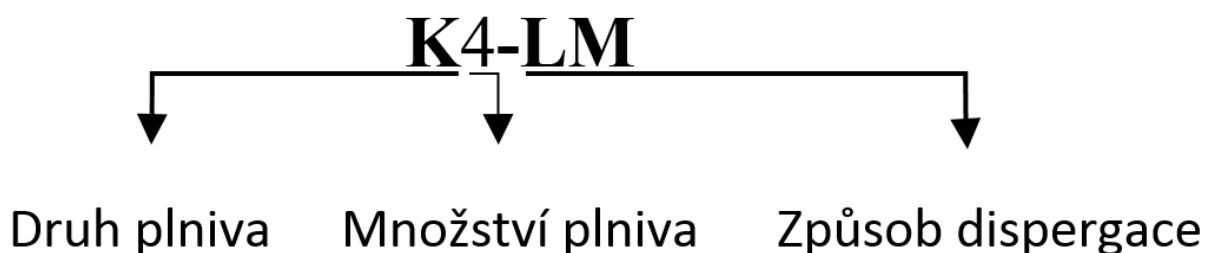
V experimentu byly použity částice mědi v práškovém stavu s čistotou 99 %. Velikost částic byla 8-11 μm . Dodavatelem plniva byla společnost Thermo Fisher GmbH.

6.2 Funkce jednotlivých složek v nátěrové hmotě

- Epoxidová nátěrová hmota CHS-EPOXY 200 V 55 slouží jako matrice pro vodivá plniva.
- Vodivý polymer KV2, AQUACYL 0301, grafit, grafen a částice mědi slouží ke snížení elektrického odporu nátěrové hmoty.
- Tvrdidlo Telalit 180 slouží k vytvrzení systému.

6.3 Návosloví a rozpis vytvořených nátěrových hmot

V tomto experimentu bylo zavedeno následující značení připravených nátěrových hmot.



Obrázek 11: Způsob značení nátěrových hmot

Tabulka 7: Názvosloví vzorků

Použitý symbol	Význam symbolu
Cu10	plnivo: částice mědi, hmotnostní podíl částic mědi 10 %
Cu5	plnivo: částice mědi, hmotnostní podíl částic mědi 5 %
Gi10	plnivo: grafit, hmotnostní podíl grafitu 10 %
Gi5	plnivo: grafit, hmotnostní podíl grafitu 5 %
Gn1:1	plnivo: grafen, objemový podíl grafenu k matrici v poměru 1:1
K1	plnivo: polymer KV2, obsah plniva dle doporučení Synpo a.s.
K2	plnivo: polymer KV2, obsah plniva 2 krát vyšší než doporučení Synpo a.s.
K3	plnivo: polymer KV2, obsah plniva 3 krát vyšší než doporučení Synpo a.s.
K4	plnivo: polymer KV2, obsah plniva 4 krát vyšší než doporučení Synpo a.s.
LM	NH se dispergovala lopatkovým míchadlem
N0,5	plnivo: nanotuby, hmotnostní podíl nanotub 0,5 %
N1	plnivo: nanotuby, hmotnostní podíl nanotub 1 %
N1:1	plnivo: nanotuby, objemový podíl nanotub k matrici v poměru 1:1
RS	NH se dispergovala míchadlem rotor - stator
VJ	NH se dispergovala míchadlem visco - jet

Tabulka 8: Rozpis vytvořených nátěrových hmot

Označení vzorků	Matrice	Plnivo	hm. % plniva	Tužidlo	Míchadlo
K1-RS	CHS EPOXY 200 V 55	KV2	18,5	Telalit 180	rotor - stator
K1-VJ					visco - jet
K1-LM					lopatkové míchadlo
K2-RS					rotor - stator
K2-LM					lopatkové míchadlo
K3-RS					rotor - stator

K4-RS					rotor - stator
K4-LM			47,3		lopatkové míchadlo
N1-RS		Nanotuby (MWCNTs)	20,0		rotor - stator
N0,5-RS			10,0		rotor - stator
N1:1-LM			1:1*		lopatkové míchadlo
Gi5-RS		Grafit	5,0		rotor - stator
Gi10-LM			10		lopatkové míchadlo
Gn1:1-LM		Grafen	1:1*		lopatkové míchadlo
Cu5-LM		Měď	5		lopatkové míchadlo
Cu10-LM			10		lopatkové míchadlo

* poměr matrice a plniva je 1:1 objemových dílů

6.4 Příprava nátěrových hmot

Před vyhotovením nátěrových hmot, byly dodané hmoty zkontrolovány na nedostatky s negativním výsledkem. Matrice CHS-EPOXY 200 V 55 byla vždy před navážením hmoty a spojením s dalším aditivem ručně zamíchána ve skladovací nádobě, aby došlo ke zhomogenizování objemu s ohledem na to, aby do hmoty nebyl zanesen atmosferický vzduch z okolí a jiné nečistoty.

Matrice a plniva byly odváženy na požadované množství na laboratorní váze KERN KB 360-3N (přesnost $\pm 0,05$ g). Matrice a plniva byly následně sloučeny do jedné plastové uzavíratelné nádoby o objemu 0,5 l. Po sloučení hmot byla provedena dispergace. U objemového sloučení vzorku N1:1-LM a Gn1:1-LM byly použity laboratorní skleněné válce s mililitrovou stupnicí.

Po dispergaci vytvořených nátěrových hmot bylo přidáno tužidlo Telalit 180.

6.4.1 Nátěrové hmoty s označením: K1-RS, K1-VJ

Tyto výchozí kombinace obsahují matrici CHS-EPOXY 200 V 55 a vodivý polymer KV2 v hmotnostním poměru doporučeným společností Synpo, a.s. Poměr je 100: 22,51 hmotnostním dílcům ve prospěch matrice.

Vodivý polymer byl zamíchán na lopatkovém míchadle s šikmými lopatkami o průměru 50 mm na zařízení WiseStirr HS-D po dobu 5 minut při 300 ot.min⁻¹. Při těchto otáčkách se ve vsádce neutvářel vzdušný vír. Hřídel míchadla byla umístěna mimo osu vůči nádobě.

Hmotnostní poměry pro utvořené nátěrové hmoty K1-RS a K1-VJ zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 9: Hmotnostní složení vzorku K1-RS a K1-VJ

Označení vzorku	Matrice [g]	Vodivý polymer KV2 [g]
K1-RS	249,6	57,3
K1-VJ	462,3	105,2

6.4.2 Nátěrové hmoty s označením: K2-RS, K3-RS, K4-RS

Tyto nátěrové hmoty byly vyvinuty za účelem dosažení nižšího vnitřního elektrického odporu, zvýšením vodivého plniva KV2.

Vodivý polymer byl zamíchán na lopatkovém míchadle s šikmými lopatkami o průměru 50 mm na zařízení WiseStirr HS-D po dobu 5 minut při 300 ot.min⁻¹. Při těchto otáčkách se ve vsádce neutvářel vzdušný vír. Hřídel míchadla byla umístěna mimo osu vůči nádobě. Teplota polymeru v nádobě před mícháním byla 25,5 °C a po míchání 25,8 °C.

Ihned po ukončení působení lopatkového míchadla byl vodivý polymer zhomogenizován na ultrazvukovém homogenizátoru Bedelin Sonopuls HD 3400 osazeném sondou VS 200T o průměru 25 mm. Polymer byl vystaven pulsování po dobu 5 minut, při příkonu 250 W a charakter pulsu byl 1:1 (sonda je zapnuta 1 sekundu a 1 sekundu vypnuta). Sonda byla ponořena 10 mm pod hladinu. V nádobě bylo 750 g vodné disperze polymeru. Uvnitř nádoby se zvýšila teplota v důsledku působení ultrazvuku z výchozích 25,8 °C na výsledných 34,8 °C.

Hmotnostní poměry pro utvořené nátěrové hmoty K2-RS, K3-RS, K4-RS zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 10: Hmotnostní složení vzorku K2-RS, K3-RS a K4-RS

Označení vzorku	Matrice [g]	Vodivý polymer KV2 [g]
K2-RS	410,4	180,4
K3-RS	407,2	276,9
K4-RS	299,6	268,8

6.4.3 Nátěrové hmoty s označením: K1-LM, K2-LM, K4-LM

Nátěrové hmoty K1-LM, K2-LM, K4-LM byly vyvinuty hlavně za účelem srovnání se vzorky K1-RS, K1-VJ, K2-RS, K3-RS a K4-RS. Mělo zde dojít k porovnání vlivu způsobu použitého míchadla během dispergace, na vliv snížení elektrického odporu ve výsledném povlaku. Nebyla připravena hmota K3-LM, která by byla srovnávána s nátěrovou hmotou s označením K3-RS. Hmota K3-RS byla v důsledku dispergace velmi pórovitá a z mechanického hlediska nevhodná.

Vodivý polymer byl zamíchán na lopatkovém míchadle se šikmými lopatkami o průměru 50 mm na zařízení WiseStirr HS-D po dobu 5 minut při 300 ot.min⁻¹. Při těchto otáčkách se ve vsádce neutvářel vzdušný vír. Hřídel míchadla byla umístěna mimo osu vůči nádobě.

Hmotnostní poměry pro utvořené nátěrové hmoty K1-LM, K2-LM, K4-LM zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 11: Hmotnostní složení vzorku K1-LM, K2-LM a K4-LM

Označení vzorku	Matrice [g]	Vodivý polymer KV2 [g]
K1-LM	410,4	180,4
K2-LM	407,2	276,9
K4-LM	299,6	268,8

6.4.4 Nátěrové hmoty s označením: N1-RS, N0,5-RS

Zkušební hmota N1-RS obsahovala 1 % nanotub v celkovém objemu nátěrové hmoty v kombinaci s matricí. Zkušební hmota N0,5-RS obsahovala 0,5 % nanotub v celkovém objemu

nátěrové hmoty v kombinaci s matricí. U obou vzorků se předpokládá, že koncentrace nanutub v AQUACYLu 0301 je právě 5 %.

Kapalná suspenze AQUACYL 0301 byla zamíchána na lopatkovém míchadle s šikmými lopatkami o průměru 50 mm na zařízení WiseStirr HS-D po dobu 10 minut při 445 ot.min⁻¹. Při těchto otáčkách se ve vsádce neutvářel vzdušný vír. Hřídel míchadla byla umístěna mimo osu vůči nádobě. Teplota polymeru v nádobě před mícháním byla 25,5 °C a po míchání 25,7 °C.

Ihned po ukončení působení lopatkového míchadla, byla kapalná suspenze AQUACYL 0301 zhomogenizována na ultrazvukovém homogenizátoru Bedelin Sonopuls HD 3400 osazeném sodou VS 200T o průměru 25 mm. Polymer byl vystaven pulsování po dobu 5 minut, při příkonu 250 W a charakter pulsu byl 1:1 (sonda je zapnuta 1 sekundu a 1 sekundu vypnuta). Sonda byla ponořena 10 mm pod hladinu. V nádobě bylo 150 g suspenze. Uvnitř nádoby se zvýšila teplota v důsledku působení ultrazvuku z výchozích 25,7 °C na výsledných 58,0 °C. U vodivého polymeru i u kapalně suspenze AQUACYL 0301 došlo ke zvýšení vnitřní teploty. Do obou vsádek byla vnesena stejná energie, avšak u vodivého polymeru, se teplota rozmístila do většího objemu a nedošlo k tak výraznému navýšení vnitřní teploty.

Hmotnostní poměry pro vytvořené nátěrové hmoty N1-RS a N0,5-RS zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 12: Hmotnostní složení vzorku N1-RS, N0,5-RS

Označení vzorku	Matrice [g]	AQUACYL 0301 [g]
N1	306,5	78,8
N0,5	314,4	34,2

6.4.5 Nátěrová hmota s označením: N1:1-LM

Vzorek N1:1-LM obsahuje matrici a AQUACYL 0301 v objemovém poměru 1:1. Tento vzorek byl vytvořen za účelem sledování vlivu na snížení elektrického odporu u epoxidové nátěrové hmoty CHS-EPOXY 200 V 55, pro případ vysokého obsahu nanotub v nátěrové hmotě.

Kapalná suspenze AQUACYL 0301 byla zamíchána na lopatkovém míchadle s šikmými lopatkami o průměru 50 mm na zařízení WiseStirr HS-D po dobu 10 minut při 445 ot.min⁻¹. Při těchto otáčkách se ve vsádce neutvářel vzdušný vír. Hřídel míchadla byla umístěna mimo osu vůči nádobě.

Objemy pro vytvořenou nátěrovou hmotu N1:1-LM zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 13: Objemové složení vzorku N1:1-LM

Označení vzorku	Matrice [ml]	AQUACYL 0301 [ml]
N1:1-LM	120	122

6.4.6 Nátěrové hmoty s označením: Gi5-RS, Gi10-LM

Hmoty s označením Gi5-RS a Gi10-LM obsahují v matrici grafit, který tvoří 5 % a 10 % z celkové hmotnosti sloučené nátěrové hmoty. Tyto vzorky byly vytvořeny za účelem sledování vlivu grafitu na snížení elektrického odporu u epoxidové nátěrové hmoty CHS-EPOXY 200 V 55. Grafit byl v práškovém stavu a přímo se vsypal do matrice.

Hmotnostní poměry pro vytvořené nátěrové hmoty Gi5-RS a Gi10-LM zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 14: Hmotnostní složení vzorku Gi5-RS a Gi10-LM

Označení vzorku	Matrice [g]	Grafit [g]
Gi5-RS	301,7	14,9
Gi10-LM	191,0	21,5

6.4.7 Nátěrová hmota s označením Gn1:1-LM

Vzorek Gn1:1-LM obsahuje matrici a vodnou disperzi grafenu v objemovém poměru 1:1. Tento vzorek byl vytvořen za účelem sledování vlivu na snížení elektrického odporu u epoxidové nátěrové hmoty CHS-EPOXY 200 V 55.

Vodná disperze grafenu byla zhomogenizována na ultrazvukovém homogenizátoru Bedelin Sonopuls HD 3400 osazeném sodou VS 200T o průměru 25 mm. Disperze byla vystavena pulsování po dobu 5 minut, při příkonu 250 W a charakter pulsu byl 1:1 (sonda je zapnuta 1 sekundu a 1 sekundu vypnuta). Sonda byla ponořena 10 mm pod hladinu. V nádobě bylo

500 ml disperze. Uvnitř nádoby se zvýšila teplota v důsledku působení ultrazvuku z výchozích 27,5°C na výsledných 61,3 °C.

Objemy pro vytvořenou nátěrovou hmotu Gn1:1-LM zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 15: Objemové složení vzorku Gn1:1-LM

Označení vzorku	Matrice [ml]	Grafen [ml]
Gn1:1-LM	150	150

6.4.8 Nátěrové hmoty s označením Cu5-LM a Cu10-LM

Hmoty s označením Cu5-RS a Cu10-LM obsahují v matrici částice mědi, které tvoří 5 % respektive 10 % z celkové hmotnosti sloučené nátěrové hmoty. Tyto vzorky byly vytvořeny za účelem sledování vlivu mikročástic mědi na snížení elektrického odporu u epoxidové nátěrové hmoty CHS-EPOXY 200 V 55. Částice mědi byly v práškovém stavu a přímo byly vloženy do matrice.

Hmotnostní poměry pro vytvořené nátěrové hmoty Cu5-RS a Cu10-LM zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 16: Hmotnostní složení vzorku Cu5-LM a Cu10-LM

Označení vzorku	Matrice [g]	Cu [g]
Cu5-LM	190,0	10
Cu10-LM	197,0	22,8

6.5 Dispergace vzorků

Dispergace s pomocí lopatkového míchadla a ultrazvukového homogenizátoru probíhala na Ústavu strojírenské technologie ČVUT v Praze. Dispergace pro metodu rotor – stator a visco – jet, probíhala na Ústavu procesní a zpracovatelské techniky ČVUT v Praze.

6.5.1 Lopatkové míchadlo

Pro lopatkové míchadlo bylo použito zařízení WiseStirr HS-D, které má digitální ovládací panel pro nastavení požadovaných otáček míchadla. Rozsah otáček je od 200 do 3000 ot.min⁻¹. Zařízení má jemný rozběh, aby nedocházelo k rozstříkům tekutiny. Je vhodné pro tekutiny s viskozitou do 50 000 mPa.s. Pro účely míchání bylo použito čtyřlopatkové

míchadlo o průměru 50 mm se šikmými lopatkami. Čtyřlopatkové míchadlo se šikmými lopatkami způsobuje axiální proudění. [68]

6.5.2 Míchadlo rotor - stator

V experimentu bylo využito míchacího stroje IKA T25 Ultra Turrax s dispergačním nástavcem S 25 N – 25 G. Průměr statoru byl 25 mm s 12 zuby. Průměr rotoru byl 17 mm s 2 zuby. Mezera mezi rotorem a státorem byla 0,5 mm. Tento dispergační nástavec je vhodný pro objemy do 2 litrů.

Dispergování metodou za pomoci nástavce rotor – stator je vhodné pro míchání, emulgaci a dispergaci volně proudících kapalných medií. V úzké štěrbině mezi rotorem a státorem dochází k vysoké turbulenci. Mezi zuby rotoru a statoru je proudící kapalina vystavena tlaku, stříhu a tření. Díky axiálnímu nasávání kapaliny k míchadlu rotor – stator, vytlačování kapaliny mezi zuby statoru a vysokým otáčkám míchadla, dochází k rovnoměrnému rozptýlení částic v celém objemu vsádky.

[69] [70]



Obrázek 12: Dispergační nástavec IKA S 25 N - 25G [69]

6.5.3 Míchadlo visco – jet

V experimentu byl použit nástavec se dvěma kuželovými míchadly o celkovém průměru 60 mm. Míchadlo visco – jet je ideální pro zhomogenizování základních produktů a mísení složek. Nástavce jsou podobné kuželům s oběma průchozími konci. Rotací kuželů nad a pod rovinou otáčení, jsou v přední části produkovány tlakové vlny, tím se vytváří silné proudy cirkulující nad a pod směšovací hlavou. Zrychlené laminární toky na výstupu kužele a reverzní turbulence vytvoří u vstupu kužele dynamický tlak. [71]



Obrázek 13: Vizualizace míchadel visco - jet (vlevo - dvou kuželové, vpravo - tři kuželové) [72]

6.5.4 Ultrazvukový homogenizátor

V experimentu byl použit ultrazvukový homogenizátor Sonopuls HD 3400 s použitým výkonem 250 W. Použitá sonda měla průměr 25 mm. Ultrazvukový homogenizátor generuje ultrazvukové pole o vysoké intenzitě a amplitudě, které je přenášeno pomocí sondy do kapaliny. Frekvence u ultrazvuku jsou vyšší jak 18 kHz. Vliv na homogenizační účinek má použitý výkon, objem vsádky, doba působení a časový charakter pulsu. [70]



Obrázek 14: Ultrazvukový homogenizátor Sonopuls HD 3400 [73]

6.6 Podmínky dispergace

Pro správnou dispergaci metodou rotor – stator byly zvoleny vysoké otáčky 10 000 ot.min⁻¹. U míchání lopatkovým míchadlem byly zvoleny nízké otáčky 200 ot.min⁻¹, protože při vyšších otáčkách se utvářel v sádce vír a hrozilo by zavzdušnění nátěrové hmoty. Rozpis podmínek pro jednotlivé vytvořené nátěrové hmoty zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 17: Rozpis podmínek dispergace

Označení nátěrové hmoty	Použité míchadlo k dispergaci	Doba dispergace [min]	Otáčky [ot.min ⁻¹]
K1-RS	rotor - stator	5	10 000
K1-VJ	visco - jet	5	600
K1-LM	lopatkové míchadlo	5	200
K2-RS	rotor - stator	2	10 000
K2-LM	lopatkové míchadlo	5	200
K3-RS	rotor - stator	2	10 000
K4-RS	rotor - stator	2	10 000
K4-LM	lopatkové míchadlo	5	200
N1-RS	rotor - stator	2	10 000
N0,5-RS	rotor - stator	2	10 000
N1:1-LM	lopatkové míchadlo	5	200
Gi5-RS	rotor - stator	2	10 000
Gi10-LM	lopatkové míchadlo	5	200
Gn1:1-LM	lopatkové míchadlo	5	200
Cu5-LM	lopatkové míchadlo	5	200
Cu10-LM	lopatkové míchadlo	5	200

6.7 Tužení nátěrových hmot

Ze všech nátěrových hmot po dispergaci byla odebrána část, která byla zvážena v nové nádobě a následně bylo přidáno tužidlo Telalit 180. Nátěrové hmoty byly po aplikaci tužidla dispergovány čtyřlopatkovým míchadlem po dobu 1 minuty, při 200 ot.min⁻¹.

U nátěrových hmot K1-RS, K1-VJ a K1-LM byl dodržen poměr, dle doporučení Synpo a.s., a to 100 : 22,51 : 6,1 v pořadí zleva matrice, vodivý polymer a tužidlo.

U nátěrových hmot s označením K2-RS, K3-RS, K4-RS se v důsledku zvyšování podílů vodivého polymeru měnil podíl tužidla. Nátěrové hmoty s označením K2-RS a K2-LM obsahovaly 2 krát více vodivého polymeru, než nátěrové hmoty K1-RS, K1-VJ a K1-LM, ale bylo přidáno jen 1,5 krát více tužidla než dle doporučení Synpa a.s. Nátěrová hmota s označením K3-RS obsahovala 3 krát více vodivého polymeru, než nátěrové hmoty K1-RS, K1-VJ a K1-LM, ale bylo přidáno jen 1,75 krát více tužidla než dle doporučení Synpa a.s. Nátěrové hmoty s označením K4-RS a K4-LM obsahovaly 4 krát více vodivého polymeru, než nátěrové hmoty K1-RS, K1-VJ a K1-LM, ale bylo přidáno jen 2 krát více tužidla, než dle doporučení Synpa a.s.

Pro vytvořené nátěrové hmoty s nanotubami, grafitem, grafenem a částicemi mědi byl zvolen poměr pouze vůči matrici tak, aby byl zachován poměr 20 : 1 v neprospěch tužidla.

Množství přidaného tužidla pro každou nátěrovou hmotu zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 18: Rozpis aplikovaného tužidla Telalit 180 ve vytvořených nátěrových hmotách

Označení nátěrové hmoty	Hmotnost odebrané nátěrové hmoty z dispergační nádoby [g]	Hmotnost přidaného tužidla [g]
K1-RS	72,9	3,7
K1-VJ	160,4	8,1
K1-LM	225,8	10,6
K2-RS	270,0	9,2
K2-LM	308,0	10,5
K3-RS	224,3	6,6
K4-RS	253,0	6,6
K4-LM	384,0	10,3
N1-RS	172,0	6,6

N0,5-RS	155,3	6,8
N1:1-LM	240,0 ml ¹⁾	11,5
Gi5-RS	150,0	7,1
Gi10-LM	212,5	9
Gn1:1-LM	300,0 ml ²⁾	12,4
Cu5-LM	200	9
Cu10-LM	219,8	9,4

¹⁾z 240 ml celkové směsi tvořila 209 g matrice

²⁾z 300 ml celkové směsi tvořila 261 g matrice

6.8 Aplikace nátěrových hmot na podklady

Pro nanesení rovnoměrného povlaku o tloušťce 120 μm na podklad, bylo použito natahovací pravítko TQC Baker film applicator. V případě vytvoření tloušťky 180 μm byla použita distanční fólie o změřené tloušťce 120 μm v kombinaci s natahovacím pravítkem, kde byla využita strana pravítka s tloušťkou 60 μm .



Obrázek 15: Natahovací pravítko TQC Baker film applicator [74]

Pro měření elektrického odporu, byly povlaky nanášeny na skleněný nevodivý podklad. U všech povlaků nanesených na skleněný podklad byla tloušťka mokrého filmu 120 μm .

Pro měření ostatních vlastností vytvořených povlaků, byl zvolen ocelový plech R-46 (rozměr: 102 mm x 152 mm x 0,81 mm) od společnosti Q-LAB. Drsnost povrchu u ocelového plechu byla změřena drsnoměrem Mitutoyo SJ-210. Drsnost byla 3 krát změřena kolmo ke směru válcování. Rychlost posuvu snímacího čidla byla $v = 0,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Mezní vlnová délka byla $\lambda_c = 0,25$. Naměřené hodnoty ocelového plechu udává následující tabulka.

Tabulka 19: Hodnoty drsnosti pro ocelový plech R-46

	měření č. 1 [μm]	měření č. 2 [μm]	měření č. 3 [μm]	\varnothing [μm]
Ra	0,498	0,479	0,390	0,455
Rq	0,615	0,591	0,478	0,561
Rz	2,583	2,479	2,123	2,395

U prvních vytvořených nátěrových hmot s označením K1-RS a K1-VJ byla nanášena tloušťka na plechový podklad 180 μm . Protože tyto vzorky vykazovaly po zaschnutí vysokou míru popraskání, v důsledku zvolené nadměrné tloušťky povlaku, byla zvolena pro všechny ostatní nátěrové hmoty tloušťka 120 μm mokrého filmu.

Tabulka 20: Rozpis tlouštěk pro všechny utvořené povlaky

Označení nátěrové hmoty	Podklad	Utvořená tloušťka mokrého filmu [μm]
Všechny	sklo	120
K1-RS, K1-VJ	ocelový plech	180
Všechny, bez: K1-RS, K1-VJ	ocelový plech	120

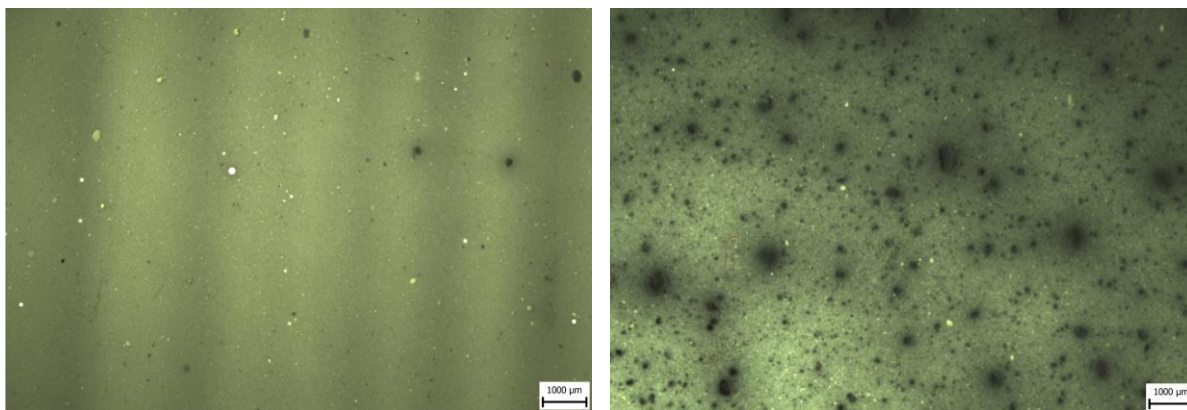
Aplikace nátěrových hmot probíhala za teploty okolí 24 °C a relativní vlhkosti vzduchu 52 %.

6.9 Vizuální zhodnocení povlaků

Aby nanášené povlaky dostatečně zaschly a projevíly se jejich charakteristiky, byly ponechány v klidu minimálně 7 dní. Doba 7 dní platí pro povlaky na skle i na ocelovém plechu. Usilovalo se o co nejuvěrohodnější vizuální popis zaschlých povlaků, avšak vizuální kontrola vždy vykazuje míru subjektivního hodnocení.

6.9.1 Povlak K1-RS

Povlaky nanášené na sklo byly ucelené a dobře zaschlé. Plnivo KV2 bylo v matrici dobře rozprostřeno. Porovnání rozmístění vodivého polymeru v matrici v závislosti na způsobu dispergace zobrazuje následující mikrosnímek.

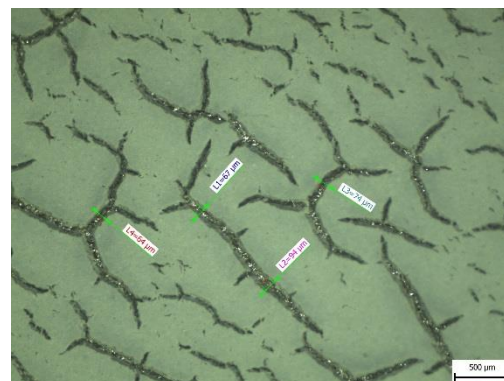


Obrázek 16: Porovnání rozprostření vodivého polymeru v matrici dle metody dispergace (vlevo: metoda rotor - stator, vpravo: metoda visco - jet), nasnímáno na mikroskopu Olympus SZ2-ST

Povlaky na ocelovém plechu měly lokální korozi, ale vždy na okraji povlaku, kde se projevil efekt hrany nebo nechráněný povrch. U nátěrové hmoty K1-RS byla koroze rozsáhlejší. Dalším defektem na ocelovém plechu byla vysoká míra popraskání celého povlaku. Popraskání bylo pravděpodobně způsobeno nadměrnou tloušťkou naneseného povlaku 180 µm. Pro další povlaky na ocelovém plechu byla tloušťka upravena na 120 µm.



Obrázek 17: Korozní produkty a popraskání na vzorku K1-RS



Obrázek 18: Mikroskopický snímek prasklin v povlaku na vzorku K1-RS

6.9.2 Povlak K1-VJ

Oba povlaky nanesené na skleněný podklad nebyly popraskané a zároveň byly dobře zaschlé. Pod mikroskopem byla viditelná porozita v povlaku. Rozprostření vodivého polymeru v matrici bylo méně rovnoměrné než v případě dispergace metodou rotor – stator, a zároveň byl polymer shluklý do větších uskupení.

Povlaky nanesené na ocelovém plechu byly popraskané, avšak méně než v případě dispergace metodou rotor – stator. U metody visco – jet jsou čtyři z šesti plechů bez koroze.

6.9.3 Povlaky K2-RS, K3-RS, K4-RS

Povlaky s označením K2-RS a K4-RS nanesené na skleněný podklad, vykazovaly menší míru porozity, než v případě hmoty s označením K3-RS. K2-RS vykazovala stopy napětí. K3-RS byla výrazně neucelená a porézní. K4-RS byla neucelená, avšak méně než v případě K3-RS.

U povlaků nanesených na kovový podklad došlo k redukci popraskání, oproti vzorkům K1-RS a K1-VJ. Přesto ve vzorcích zůstala porozita, jako v případě povlaků nanesených na skle. Porovnáním mezi danými povlaky na skle a plechu, byla menší míra porozity u plechu. Pro vzorky K2-RS, K3-RS a K4-RS narostla míra korozních produktů. Vizuálním pozorováním byla zjištěna, tím větší přítomnost korozních produktů, čím větší byl objem vodivého polymeru v matrici. K2-RS obsahovala 2 krát více polymeru a měla méně korozních produktů než u vzorku K3-RS. K3-RS měla méně korozních produktů než K4-RS. Koroze na ocelovém podkladu v porovnání s K1-RS a K1-VJ nebyla pouze na okrajích, ale ve větším množství na celé ploše povlaků. Korozní porovnání mezi K2-RS, K3-RS a K4-RS zobrazují tři následující obrázky.



Obrázek 19: Vzorek K2-RS
na plechu



Obrázek 20: Vzorek K3-RS
na plechu



Obrázek 21: Vzorek K4-RS
na plechu

6.9.4 Povlaky K1-LM, K2-LM, K4-LM

Povlaky na skle byly ucelené, bez popraskání a porozity. Viditelný byl různý způsob rozprostření vodivého polymeru v matrici. U vzorku K1-LM byl polymer rozprostřený rovnoměrně a tvořil s matricí homogenní nátěrovou hmotu. Vzorek K2-LM byl podobný vzorku K1-LM, ale už se objevovaly malé shluky částic. Výrazné shluky částic byly patrné na vzorku K4-LM. Rozdíl v dispergaci vodivého polymeru v matrici zobrazují následující tři obrázky.



*Obrázek 22: Vzorek K1-LM
na skle*



*Obrázek 23: Vzorek K2-LM
na skle*

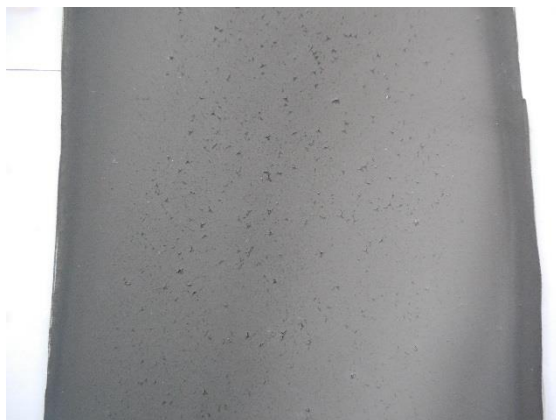


*Obrázek 24: Vzorek K4-LM
na skle*

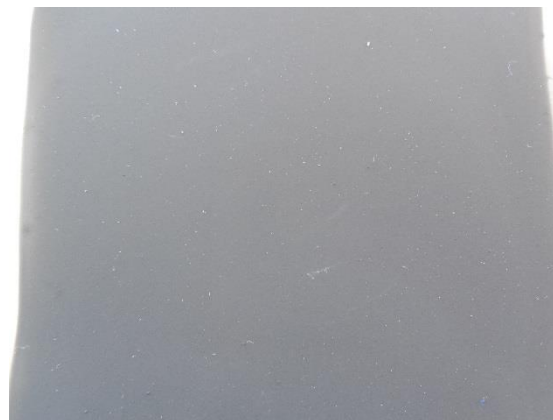
Povlaky na ocelovém plechu byly ucelené a nepopraskané. Rozmístění polymeru KV2 je obdobné jako na skleněných podkladech. Při porovnání se všemi předešlými povlaky na plechových podkladech, se nenacházela ani na jednom podkladu koroze.

6.9.5 Povlaky N1-RS a N0,5-RS

Povlaky pro vzorky N1-RS na skle byly na obou krajích v podélném směru barevným odstínem tmavší než střed povlaku. Uprostřed povlaku došlo k popraskání. Povlaky pro N0,5-RS byly v celé ploše ucelené, rovnoměrné a bez defektů.



Obrázek 25: Vzorek N1-RS na skle



Obrázek 26: Vzorek N0,5-RS na skle

Povlaky aplikované na plech byly ucelené a bez defektů, pro obě nátěrové hmoty.

6.9.6 Povlak N1:1-LM

Povlak aplikovaný na skle měl malé praskliny, tyto praskliny byly rozmístěny po celé délce povlaku. Povlaky na ocelovém podkladu byly bez prasklin, ale v místě odkud se začínala natahovat nátěrová hmota, došlo u všech povlaků na ocelovém podkladu k popraskání. V ostatních částech povlaku, již nebyly pozorovány prasklinky ani při použití zvětšovacích optických zařízení.



Obrázek 27: Praskliny v povlaku N1:1-LM na skle



Obrázek 28: Praskliny v počátku nátěru u vzorku N1:1-LM na plechu

6.9.7 Povlaky Gi5-RS a Gi10-LM

Povlaky Gi5-RS a Gi10-LM byly z vizuálního hlediska nejlepší ze všech povlaků aplikovaných na skleněný i ocelový podklad. Povlaky byly velmi ucelené a hladké, bez žádných znaků defektů.



Obrázek 29: Vzorek Gi5-RS na skle



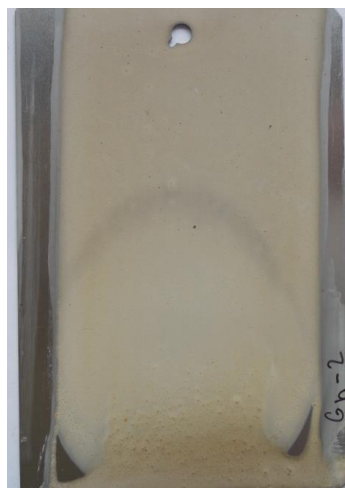
Obrázek 30: Vzorek Gi5-RS na plechu

6.9.8 Povlak Gn1:1-LM

Povlak s obsahem grafenu byl bez prasklin a ucelený na obou typech podkladu. V celé ploše povlaku, na všech vzorcích, neměl jednotný barevný odstín. Na skleněném podkladu jsou pozorovatelné malé shluky grafenu.



Obrázek 31: Vzorek Gn1:1-LM na skle



Obrázek 32: Vzorek Gn1:1-LM na plechu

6.9.9 Povlaky Cu5-LM a Cu10-LM

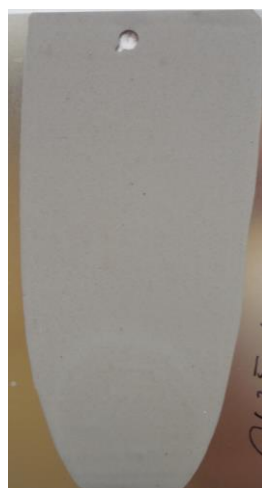
Povlaky aplikované na sklo byly strukturou homogenní, částice mědi se rozprostřely rovnoměrně. Na skle vznikly dvě oblasti s odlišným barevným odstínem. První oblast měla bílou barvu a druhá byla do červena. Tento rozdíl vznikl pravděpodobně v důsledku odlišného rozmístění částic mědi v průběhu aplikace nátěrové hmoty na skleněný podklad, kdy se na začátku povlaku přichytily těžší částice s vyšším obsahem mědi a dále ty lehčí části nátěrové hmoty.



Obrázek 33: Vzorek Cu5-LM na skle



Obrázek 34: Vzorek Cu10-LM na skle



Obrázek 35: Vzorek Cu5-LM na plechu



Obrázek 36: Vzorek Cu10-LM na plechu

Povlaky na plechu s obsahem částic mědi měly zbarvení do červena. Všechny povlaky na plechu měly ucelenou, rovnoměrnou a homogenní strukturu. Na rozdíl od povlaku na skleněném podkladu nedošlo na ocelovém podkladu k dvojímu barevnému odstínu.

6.9.10 Diskuze k vizuálnímu zhodnocení povlaků

Z vizuálního pozorování je patrné, že metoda visco – jet špatně disperguje plnivo KV2 v matrici. Proto byla tato metoda u dalších nátěrových hmot vyloučena. U povlaků s aplikovanou tloušťkou mokrého filmu 180 μm dochází k výraznému popraskání, proto byla tato tloušťka upravena na 120 μm .

Zvyšování vodivého polymeru v matrici vedlo u kovových podkladů k častějšímu výskytu koroze. Zvýšená koroze je pravděpodobně důsledkem vyššího obsahu vodné báze v celkovém objemu nátěrové hmoty.

Vyšší obsah vodivého polymeru způsobil, že po dispergaci metodou rotor – stator vznikl horší povlak, než při nižším obsahu, a to z hlediska vzhledového, ochranného a porozity.

U míchání pouze lopatkovým míchadlem došlo k dobrému promísení mezi polymerem a matricí, při dodržení doporučeného poměru. Pokud byl přidán vyšší obsah polymeru, lopatkové míchadlo nebylo schopno, při stejných podmínkách docílit stavu homogenity vsádky a v matrici zůstaly shluky nerozptýleného plniva.

Při porovnání korozních produktů na povlacích K2-RS, K3-RS, K4-RS a K1-LM, K2-LM, K4-LM došlo k potlačení vysoké míry koroze, pravděpodobně v důsledku metody dispergace.

I přesto, že nátěrové hmoty s označením N1-RS a N0,5-RS byly utvářeny při stejných podmínkách a aplikovány stejným způsobem, došlo v případě povlaku N1-RS na skle v jedné části k popraskání a u povlaku N0,5-RS na skle nedošlo k žádným defektům. K rozsáhlejšímu popraskání na skle došlo i u nátěrové hmoty s označením N1:1-LM. Předpokládaným důvodem popraskání nátěrových hmot N1-RS a N1:1-LM je obsah více jak 1 hm. % nanotub v objemu.

Vzorky s obsahem grafitu a mědi byly z optického hlediska velmi dobré a bez defektů. Vzorky s obsahem grafenu Gn1:1-LM měly dobrou strukturu, ale neměly v celé ploše jednotný barevný odstín.

6.10 Zkoušky vytvořených povlaků

Vytvořené povlaky byly podrobeny zkouškám, které zobrazuje následující tabulka. Zkoušky a použité zařízení jsou blíže popsány dále v textu.

Tabulka 21: Provedené zkoušky vytvořených povlaků

Název zkoušky	Sledovaná vlastnost	Dle normy
Měření vnitřního elektrického odporu	Vnitřní elektrický odpor	-
Měření tloušťky povlaků na skle	Tloušťka suchého filmu	ČSN EN ISO 2808:2007
Měření tloušťky povlaků na plechu	Tloušťka suchého filmu	ČSN EN ISO 2178:2017
Mřížková zkouška přilnavosti	Přilnavost	ČSN EN ISO 2409:2013
Křížový řez	Přilnavost	ČSN EN ISO 16276-2:2008
Zkouška hloubením	Praskání, odtržení	ČSN EN ISO 1520:2007

6.10.1 Měření vnitřního elektrického odporu povlaku

Pro účely měření vnitřního elektrického odporu povlaků bylo použito zařízení Tespo 1 od společnosti JEVAN. Zařízení je uzpůsobeno pro měření přímou dvoubodovou metodou. Sonda obsahuje dvě pružné elektrody, které umožňují měření na povrchu s odchylkami rovinnosti. Lze měřit i válcové plochy se zakřivením menším než 20 mm. Dále lze měřit kulové plochy se zakřivením menším než 100 mm. Je nutné dbát na dostatečné dotlačení sondy k povrchu.

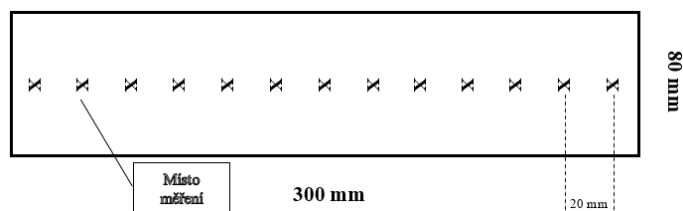
Aby došlo k odečtení správné hodnoty, musí být minimální rozměry měřené plochy 10 x 20 mm. Tento rozměr byl v experimentu vždy splněn. Zařízení po přiložení sondy na povrch zobrazuje číselné hodnoty v rozsahu 0-1999. Tyto čísla je nutné převést na skutečnou hodnotu povrchového odporu v Ω . Pro převod číselného údaje na hodnotu odporu slouží vztah: $R = 59,2 \cdot 10^6 \cdot (1999/\text{údaj} - 1)$. Hodnota 59,2 v sobě zahrnuje konstantu sondy.



Obrázek 37: Měřicí zařízení Tespo 1

6.10.1.1 Stanovení vnitřního elektrického odporu povlaků

Každý povlak byl dlouhý minimálně 300 mm a široký 80 mm, dle šířky aplikátoru. Na každém povlaku bylo změřeno 10 míst. Místa byla uprostřed povlaku s rozestupy 20 až 30 mm.



Obrázek 38: Přibližné schéma povlaku na skle a míst měření

Z deseti naměřených údajů, byl statistickým Grubsovým T-testem s přesností 97,5 %, stanoven výsledný průměr vnitřního elektrického odporu v měřeném povlaku. Všechny naměřené hodnoty a statistické vyhodnocení k jednotlivým povlakům jsou uvedeny v příloze. Dále jsou v tabulce uvedeny pouze výsledné hodnoty vnitřního elektrického odporu.

Tabulka 22: Vnitřní elektrický odpor povlaku

Označení	Označení povlaku	Plnivo	Koncentrace [hm. %]	Míchadlo	Otáčky [ot.min ⁻¹]	Vnitřní elektrický odpor [Ω]
K1-RS	a	KV2	18,5	RS	10 000	1,7.10 ⁹
	b					1,7.10 ⁹
K1-VJ	a			VJ	600	1,2.10 ¹¹
	b					1,2.10 ¹¹
K1-LM	-	Lopatkové	200	4,2.10 ⁹		

K2-RS	a	Nanotuby (MWCNTs)	31,0	RS	10 000	$7,8 \cdot 10^8$
	b					$9,7 \cdot 10^8$
K2-LM	-		Lopatkové	200	$3,2 \cdot 10^9$	
K3-RS	a		40,3	RS	10 000	$7,4 \cdot 10^8$
	b					$6,8 \cdot 10^8$
K4-RS	a		47,3	RS	10 000	$3,1 \cdot 10^8$
	b			$1,6 \cdot 10^8$		
K4-LM	-	Lopatkové	200	$4,3 \cdot 10^8$		
N1-RS	a	Nanotuby (MWCNTs)	20	RS	10 000	$2,6 \cdot 10^9$
	b					$2,1 \cdot 10^9$
N0,5-RS	a		10	RS	10 000	$6,2 \cdot 10^{10}$
	b					$5,9 \cdot 10^{10}$
N1:1-LM	-		1:1 obj.	Lopatkové	200	$2,0 \cdot 10^6$
Gi5-RS	a		Grafit	5	RS	10 000
	b				$1,2 \cdot 10^{11}$	
Gi10-LM	-	Grafen	10	Lopatkové	200	$1,6 \cdot 10^8$
Gn1:1-LM	-		1:1 obj.	Lopatkové		$1,2 \cdot 10^{11}$
Cu5-LM	-	Částice mědi	5	Lopatkové	200	$1,2 \cdot 10^{11}$
Cu-10-LM	-		10	Lopatkové		$1,2 \cdot 10^{11}$

RS: míchadlo typu rotor – stator, VJ: míchadlo typu visco – jet

6.10.1.2 Diskuze k výsledným hodnotám vnitřního elektrického odporu

Z výše uvedené tabulky je patrné, že vnitřní elektrický odpor ovlivňuje druh plniva, jeho množství a způsob dispergace v matrici.

Nejhorší hodnoty vykazovaly nátěrové hmoty Gi5-RS, Gn1:1-LM, Cu5-LM a Cu10-LM, které byly přibližně 2 krát horší, než nejbližší hodnoty u další nátěrové hmoty. Tyto hodnoty naznačují, že vodivost nejvíce ovlivňuje druh plniva a jeho množství.

Špatné hodnoty odporu měly nátěrové hmoty, které byly dispergované metodou visco – jet. Hodnoty odporu u této metody byly až 70 krát horší, než hodnoty vzorků, které vznikly při stejných podmínkách, ale byly dispergované metodou rotor – stator.

Předpokládá se, že metoda visco – jet přispívá k lepšímu rozmístění plniva v matrici, než v případě lopatkového míchadla. V tomto případě hodnoty u vzorku s označením K1-LM dispergovaný lopatkovým míchadlem ukazují, že jsou přibližně 30 krát lepší než u vzorku dispergovaným metodou visco – jet. Tyto údaje stanovují, že metodu visco – jet není vhodné používat k dispergaci nátěrové hmoty CHS-EPOXY 200 V 55 s vodivým polymerem KV2.

Pro vodivý polymer dispergovaný metodou rotor - stator platí, že čím je jeho hmotností obsah v matrici vyšší, tím je vnitřní elektrický odpor nižší. Mezi jednotlivými stupni je vidět skok k nižší hodnotám odporu. Výjimku tvoří nátěrová hmota K3-RS, která sice má nižší hodnoty odporu, ale odstup od K2-RS je malý. Tento malý odstup bude pravděpodobně způsobený špatnou texturou povlaku, která byla neucelená a nepravidelná. Texturu nátěrové hmoty K3-RS zobrazuje následující obrázek.



Obrázek 39: Hrubá neucelená textura povlaku s označením K3-RS

Vliv metody dispergace na vnitřní elektrický odpor je dobře pozorovatelný při porovnání metod rotor – stator a lopatkového míchadla. Vzorky K1-RS, K2-RS a K4-RS mají přibližně 2 až 3 krát nižší hodnoty odporu, než jejich ekvivalent dispergovaný lopatkovým míchadlem, tedy než vzorky K1-LM, K2-LM a K4-LM.

Nejnižších hodnot vnitřního elektrického odporu, při použití plniva KV2, bylo dosaženo u vzorku K4-RS, kde hmotnostní obsah plniva byl 47,3 %. Stejných hodnot jako nátěrová hmota K4-RS dosáhla hmota Gi10-LM, a to při použití dostupnějšího plniva a při nižším hmotnostním poměru.

Nátěrové hmoty s nanotubami neměly při hmotnostním obsahu 0,5 a 1 % nanotub uspokojivé hodnoty. Nátěrová hmota N0,5-RS měla vnitřní elektrický odpor v řádu $10^{10} \Omega$. Nátěrová hmota N1-RS měla srovnatelné hodnoty jako hmota K1-RS. Jejich vnitřní elektrický odpor v řádu $10^9 \Omega$ není uspokojivý. Nejnižšího vnitřního elektrického odporu bylo dosaženo u povlaku N1:1-LM s objemovým podílem 50 % plniva v matrici. Hodnota odporu u nátěrové hmoty N1:1-LM byla v řádu $10^6 \Omega$.

6.10.2 Měření tloušťky povlaků na skle

K optickému stanovení tloušťky klínovým řezem na skle bylo použito zařízení Elcometer A121/4-P.I.G. Měření proběhlo dle normy ČSN EN ISO 2808:2007. [6]

Klínovým nožem se provede skrze povlak řez. Protože má nůž klínový profil, vytvoří se v oblasti řezu průřez povlakem se sklonem. Ze stupnice v hledí měřicího zařízení se odečte hodnota délky sklonu povlaku, která se převede na skutečnou tloušťku povlaku.

V experimentu byl vždy použit nůž s označením 4. Každý změřený milimetr na stupnici v hledí, představuje ve skutečnosti 10 μm tloušťky povlaku.



Obrázek 40: Zařízení Elcometer A121/4-P.I.G



Obrázek 41: Provedený klínový řez, vzorek K2-LM na skle

6.10.2.1 Stanovení tloušťky povlaků na skle

U nátěrových hmot, kde byly vytvořeny dva zkušební vzorky, bylo provedeno měření tloušťky na obou povlacích a v tabulce níže, je uvedena jejich průměrná hodnota a dopočítána redukce.

Redukce je tloušťka povlaku, o kterou se suchý film povlaku zmenšil v porovnání s mokřým filmem při nanášení. Redukce je vyjádřena v procentech.

Tabulka 23: Tloušťka povlaků na skle

Vzorek	K1-RS	K1-VJ	K1-LM	K2-RS
Odečtená hodnota	4,0	4,0	2,2	2,3
Tloušťka DFT [μm]	40	40	22	23
Tloušťka WFT [μm]	120			
Redukce tl. [μm]	80	80	98	97
Redukce [%]	66	66	81	80
Vzorek	K2-LM	K3-RS	K4-RS	K4-LM
Odečtená hodnota	2,5	1,5	2,0	2,0
Tloušťka DFT [μm]	25	15	20	20
Tloušťka WFT [μm]	120			
Redukce tl. [μm]	95	105	100	100
Redukce [%]	79	88	83	83
Vzorek	N1-RS	N0,5-RS	N1:1-LM	Gi5-RS
Odečtená hodnota	3,0	3,0	4,0	5,0
Tloušťka DFT [μm]	30	30	40	50
Tloušťka WFT [μm]	120			
Redukce tl. [μm]	90	90	80	70
Redukce [%]	75	75	66	58
Vzorek	Gi10-LM	Gn1:1-LM	Cu5-LM	Cu10-LM
Odečtená hodnota	4,5	3,0	5,5	5,0
Tloušťka DFT [μm]	45	30	55	50
Tloušťka WFT [μm]	120			
Redukce tl. [μm]	75	90	65	70
Redukce [%]	63	75	54	58

6.10.2.2 Diskuze k výsledkům hodnot tloušťky povlaků na skle

Vzorky K1-RS a K1-VJ, které byly brány jako výchozí s doporučeným poměrem matrice, plniva KV2 a tužidla dle výrobce, měly stejnou redukci tloušťky povlaků v nezávislosti na metodě dispergace. Vzorek K1-LM měl stejné složení jako nátěrové hmoty K1-RS a K1-VJ, ale redukce byla o 15 % vyšší. Tato vyšší redukce může být ovlivněna v důsledku jiné metody dispergace.

U nátěrových hmot K2-RS, K2-LM, K3-RS, K4-RS a K4-LM byla redukce v rozmezí 79 až 88 %. Vyšší hodnoty redukcí u těchto povlaků oproti povlakům K1-RS a K1-VJ budou způsobeny vyšším obsahem vodné disperze KV2. Na míru redukce neměla zásadně vliv metoda dispergace. Pro metody dispergace rotor – stator a lopatkové míchadlo jsou redukce tloušťek povlaků podobné. Při porovnání vlivu tloušťky na vnitřní elektrický odpor u hmot K2-RS, K2-LM, K3-RS, K4-RS a K4-LM má zásadnější postavení obsah vodivého polymeru a způsob dispergace než tloušťka suchého povlaku.

Redukce u vzorků N1-RS a N0,5-RS byla shodná i přes různý obsah plniva AQUACYL 0301. Nátěrová hmota N1:1-LM měla objemový poměr nanotub k matrici 1:1 a došlo u ní ke snížení redukce o 9 % v porovnání s N1-RS a N0,5-RS. Vyšší tloušťky povlaku u vzorků s nanotubami nepřispěly k nižším hodnotám vnitřního elektrického odporu.

Při porovnání vzorku Gn1:1-LM s obsahem grafenu a vzorku N1:1-RS, které měly objemový poměr plniva k matrici 1:1, měl vzorek s grafenem vyšší redukci v důsledku vyššího obsahu vodné báze v objemu plniva.

Ze všech nátěrových hmot měly vzorky s obsahem grafitu a mědi nejnižší hodnoty redukce. Vyšší tloušťka povlaků byla způsobena obsahem pevných částic namísto vodné disperze, která způsobuje vyšší redukci povlaku.

6.10.3 Měření tloušťky povlaků na plechu

Ke stanovení tloušťky pro kovové podklady bylo použito zařízení DeFelsko PosiTector se sondou 6000. Toto zařízení je vhodné pro měření nátěrů, práškových hmot atd. Jedná se o velmi univerzální zařízení s velmi rychlým měřením a vyhodnocením. Měření proběhlo dle normy ČSN EN ISO 2178:2017. [75]

V tomto experimentu, při měření tloušťky na ocelových podkladech, bylo vždy změřeno 10 míst. Místa byla zvolena rovnoměrně po celé ploše povlaku, ale s odstoupením minimálně 10 mm od hrany povlaku. Z deseti měření přístroj zaznamenal nejvyšší a nejmenší naměřenou hodnotu, dopočítal průměrnou hodnotu tloušťky a směrodatnou odchylku.



Obrázek 42: Zařízení PosiTector 6000

6.10.3.1 Stanovení tloušťky povlaků na plechu

U vzorků K1-RS a K1-VJ nebyla, z důvodu vysoké míry popraskání povlaku, měřena tloušťka suchého filmu na ocelovém plechu.

Hodnoty tlouštěk vzorků K2-RS, K3-RS, K4-RS, N1-RS, N0,5-RS a Gi5-RS byly vytvořeny z měření na 4 podkladech, u ostatních zbylých hmot na 3 podkladech. Tabulka níže zobrazuje naměřené hodnoty tlouštěk povlaků a dopočítané redukce.

Redukce je tloušťka povlaku, o kterou se suchý film povlaku zmenšil v porovnání s mokrým filmem při nanášení. Redukce je vyjádřena v procentech.

Tabulka 24: Tloušťka povlaků na ocelovém plechu

Vzorek	K1-RS	K1-VJ	K1-LM	K2-RS
Ø tloušťka [μm]	-	-	39	37
Ø max. tloušťka [μm]	-	-	56	64
Ø min. tloušťka [μm]	-	-	27	25
Tloušťka WFT [μm]	120			
Redukce [%]	-	-	68	68
Vzorek	K2-LM	K3-RS	K4-RS	K4-LM
Ø tloušťka [μm]	37	43	42	43
Ø max. tloušťka [μm]	68	68	76	56
Ø min. tloušťka [μm]	25	24	22	11
Tloušťka WFT [μm]	120			
Redukce [%]	69	64	65	64

Vzorek	N1-RS	N0,5-RS	N1:1-LM	Gi5-RS
∅ tloušťka [μm]	50	56	27	48
∅ max. tloušťka [μm]	68	82	40	60
∅ min. tloušťka [μm]	35	41	21	42
Tloušťka WFT [μm]	120			
Redukce [%]	58	53	77	60
Vzorek	Gi10-LM	Gn1:1-LM	Cu5-LM	Cu10-LM
∅ tloušťka [μm]	54	31	54	54
∅ max. tloušťka [μm]	61	48	68	62
∅ min. tloušťka [μm]	45	23	45	47
Tloušťka WFT [μm]	120			
Redukce [%]	63	74	55	55

6.10.3.2 Diskuze k výsledkům hodnot tloušťky povlaků na plechu

Vzorky K1-LM, K2-RS a K2-LM s nižším obsahem plniva KV2 mají na plechu vyšší redukci, než vzorky K3-RS, K4-RS a K4-LM.

Redukce na plechu u vzorků s obsahem nonotub AQUACYL byla tím vyšší, čím vyšší byl obsah plniva v matrici. Redukce povlaků s nanotubami byla nižší, než v případě vodivého polymeru KV2.

Vzorek Gi5-RS a Gi10-LM měly podobnou redukci povlaků na skle i na ocelovém plechu.

U vzorku Gn1:1-LM s obsahem grafenu ve vodní disperzi, došlo k redukci 74 %. Tato hodnota je srovnatelná se vzorkem N1:1-LM, kde byl také objemový poměr plniva k matrici 1:1.

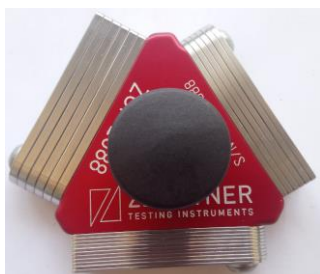
Povlaky Cu5-LM a Cu10-LM měly nízkou hodnotu redukce, u obou shodně 55 %

6.10.4 Mřížková zkouška přilnavosti a křížový řez

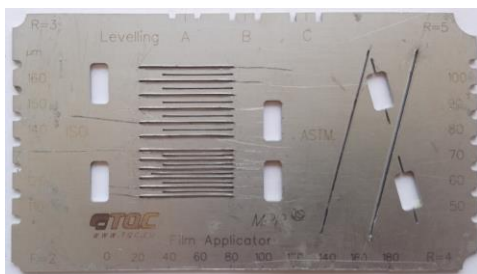
Mřížková zkouška přilnavosti byla provedena dle normy ČSN EN ISO 2409:2013 a křížový řez proběhl dle normy ČSN EN ISO 16276-2:2008. [76] [77]

Na každém testovaném vzorku byly připraveny 2 místa (mříž. 1 a mříž. 2), pro mřížkovou zkoušku a jedno místo pro křížový řez.

K vytvoření mřížek a křížového řezu bylo použito zařízení ZCF 2088 Cross-cut tester od společnosti ZEHNTHER, šablona TQC Cross Cut Adhesion Test KIT, řezací nůž Stanley FatMax a lepicí páska 3M 3939 o šířce 48 mm.



Obrázek 43: ZCF 2088



Obrázek 44: TQC Cross Cut



Obrázek 45: Lupa Ballcon

K hodnocení byla použita zvětšovací lupa Ballcon. Hodnocení pro každé místo udává následující tabulka.

Tabulka 25: Vyhodnocení mřížkové zkoušky a křížového řezu

Pozice	K1-RS	K1-VJ	K1-LM	K2-RS
mříž. 1	3	2	2	2
mříž. 2	4	3	2	2
kříž. řez	3	3	1	2
Pozice	K2-LM	K3-RS	K4-RS	K4-LM
mříž. 1	2	1	2	1
mříž. 2	2	2	2	0
kříž. řez	2	2	2	1
Pozice	N1-RS	N0,5-RS	N1:1-LM	Gi5-RS
mříž. 1	1	2	2	1
mříž. 2	2	2	2	1
kříž. řez	1	2	3	1
Pozice	Gi10-LM	Gn1:1-LM	Cu5-LM	Cu10-LM
mříž. 1	2	1	1	1
mříž. 2	2	1	2	1
kříž. řez	1	1	1	1

6.10.4.1 Diskuze k výsledkům mřížkové zkoušky přilnavosti a křížového řezu

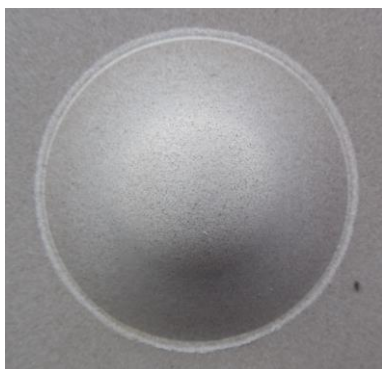
Plechý Q-LAB R-42, na kterých byly zkoušky přilnavosti prováděny, měly drsnost Ra průměrně 0,455 μm . Na těchto podkladech měly nátěrové hmoty nepříznivou přilnavost. Lze předpokládat dosažení lepších hodnot v případě použití podkladů s vyšší drsností. Žádný z plechů neměl zcela bezdefektní hodnocení.

Pro obě zkoušky platí, že nejlepších výsledků dosáhly nátěrové hmoty Cu5-LM, Cu10-LM, Gi5-RS a K4-LM. Nejhůře dopadly nátěrové hmoty K1-RS a K1-VJ, v důsledku aplikované tloušťky mokrého filmu 180 μm . Nátěrové hmoty s obsahem nonatub měly v těchto zkouškách průměrné výsledky.

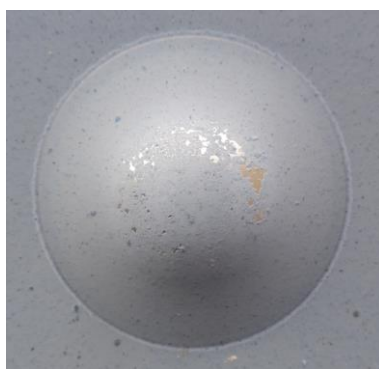
6.10.5 Zkouška hloubením

Principem zkoušky hloubení je vtlačování ocelové koule o průměru 20 mm do testovaného plechu. V experimentu byla koule vtlačována do plechu ve třech místech z nepovlakované strany. Zkouška se prováděla na hloubení do předdefinované hloubky 6,5 mm, která byla stanovena hloubením povlaku K4-LM, který měl nejlepší hodnoty v mřížkové zkoušce přilnavosti. Po provedení hloubení byl každý vzniklý vrchol 1 krát otřen jemným štětcem. Pro danou zkoušku byl použit přístroj TQC SP 4400. Zkouška byla provedena dle ČSN EN ISO 1520:2007. [78]

Pro hodnocení vzorků byla zvolena stupnice 0-5. Hodnota 0 platí pro nejlepší vzniklý vrchol po hloubení na vzorku Cu10-LM. Hodnota 5 platí pro nejhorší vzniklý vrchol na vzorku N1:1-LM. Hodnotící stupnici zobrazují následující obrázky.



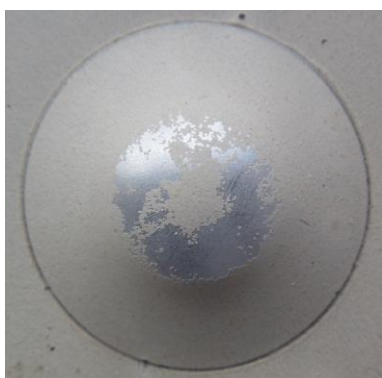
Obrázek 46: Stup. hodnocení 0



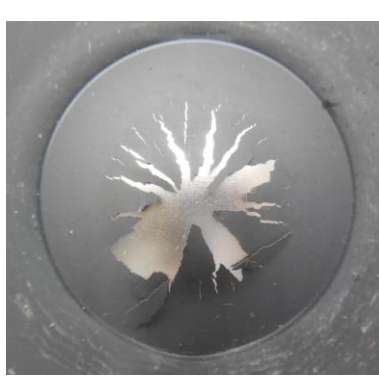
Obrázek 47: Stup. hodnocení 1



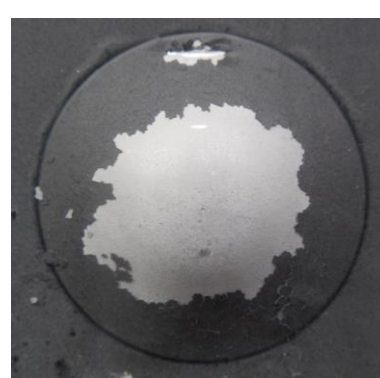
Obrázek 48: Stup. hodnocení 2



Obrázek 49: Stup. hodnocení 3



Obrázek 50: Stup. hodnocení 4



Obrázek 51: Stup. hodnocení 5

U vzorků K1-RS a K1-VJ, z důvodu vysoké míry popraskání povlaku, nebyla provedena zkouška hloubením. Vyhodnocení pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 26: Vyhodnocení zkoušky hloubením

Pozice	K1-RS	K1-VJ	K1-LM	K2-RS
vrchol 1	-	-	4	4
vrchol 2	-	-	2	4
vrchol 3	-	-	1	4
Pozice	K2-LM	K3-RS	K4-RS	K4-LM
vrchol 1	4	2	2	2
vrchol 2	4	1	1	1
vrchol 3	4	0	0	0
Pozice	N1-RS	N0,5-RS	N1:1-LM	Gi5-RS
vrchol 1	4	3	5	4
vrchol 2	3	3	5	3
vrchol 3	2	3	5	3

Pozice	Gi10-LM	Gn1:1-LM	Cu5-LM	Cu10-LM
vrchol 1	2	3	0	0
vrchol 2	1	3	0	0
vrchol 3	1	3	0	0

6.10.5.1 Diskuze k výsledkům zkoušky hloubením

V dané zkoušce nejlépe obstály nátěrové hmoty s částicemi mědi Cu5-LM a Cu10-LM. Další hmoty s uspokojivými výsledky byly K3-RS, K4-RS, K4-LM. Tyto nátěrové hmoty obsahují vyšší podíl vodivého polymeru KV2. Vzorky s nižším obsahem vodivého polymeru měly podprůměrné a neuspokojivé hodnoty. Výjimku tvoří povlak K1-LM, který se v jednom zkoušeném místě výrazně odtrhnul od podkladu, ve dvou ostatních místech pouze popraskal, ale neodtrhnul se.

Povlaky N0,5-RS, N1-RS a N1:1-LM měly tím horší hodnoty, čím vyšší byl obsah nanotub. Povlak N1:1-LM měl u všech zkoušených míst nejhorší stupeň hodnocení.

Povlak Gi5-RS s obsahem grafitu 5 % měl v této zkoušce neuspokojivé hodnocení. Povlak Gi10-LM s obsahem 10 % měl lepší hodnocení až o dva stupně. Nátěrová hmota s grafenem měla neuspokojivé hodnocení, kde stupeň hodnocení pro všechny vrcholy byl 3.

6.11 Technicko – ekonomické zhodnocení

Při vývoji nátěrových hmot, jako i při vývoji jiných produktů se hledí na cenu výsledného produktu. Cílem tohoto zhodnocení je posoudit dosažených vlastností povlaků s ohledem k vynaloženým finančním nákladům.

U epoxidové nátěrové hmoty CHS-EPOXY 200 V 55 není stanovena komerční cena, neboť je nátěrová hmota ve stavu vývoje. I když se poměr matrice nepatrně liší, lze pro zjednodušení výpočtu zanedbat její cenu.

Pro vodivý polymer CLEVIOS PEDOT PH 500 nebyla dohledatelná cena, proto byla zvolena cena pro obdobný produkt CLEVIOS PEDOT PH 1000.

Ceny pro zakoupené množství u jednotlivých plniv zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 27: Ceník nakoupených plniv

Plnivo	Zakoupené množství	Cena za množství [Kč]
AQUACYL 0301	5 kg	5250 [79]
Částice mědi	50 g	916* [80]
Grafen	500 ml	5 083* [81]
Grafit Fichema	800 g	299 [66]
PEDOT PH 1000	100 ml	4 291* [64]

*cena byla přepočítána ze zahraničních měn, dle aktuálního kurzu ČNB: 26,5 CZK / EUR, 22,1 CZK / USD, 28,8 CZK / GBP [82]

Cenu nanočástic silně ovlivňuje nákup v maloobchodním nebo velkoobchodním měřítku. Při nákupu několika desítek gramů / mililitrů se cena za jednotku pohybuje vysoko, ale pokud se nakupuje velkoobchodně, může cena spadnout až na desetinu za stejnou jednotku.

Porovnání maloobchodní a velkoobchodní ceny proběhlo u mědi a grafitu. U grafitu bylo velkoobchodní zlevnění 56 % a u částic mědi až 94 %.

Aby byly produkty porovnatelné, byla dopočítána velkoobchodní cena pro plniva PEDOT PH 1000 a grafenu, při velkoobchodní slevě 56 %.

Tabulka 28: Cena plniv při maloobchodní ceně a velkoobchodní ceně

Plnivo	MO cena za 1 g / 1 ml [Kč]	VO cena za 1 g / 1 ml [Kč]	Zlevnění pro VO [%]	VO cena 100 g / 100 ml [Kč]
Grafit Fichema	0,84	0,37	56	37
Částice mědi	18,30	0,96	94	96
AQUACYL 0301	-	1,05	-	-
PEDOT PH 1000	42,91	18,88	56	1 888
Grafen	10,10	4,47	56	447

K porovnání cen jednotlivých povlaků byla spočítána cena plniva, která by byla použita ve 100 g směsi. Hodnoty cen pro jednotlivé povlaky, zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 29: Cena plniva ve 100 g směsi

	K1-RS	K1-VJ	K1-LM	K2-RS
Cena plniva ve 100 g směsi [Kč]	345	345	345	583
Množství dílců matrice	82	82	82	69
	K2-LM	K3-RS	K4-RS	K4-LM
Cena plniva ve 100 g směsi [Kč]	583	705	890	890
Množství dílců matrice	69	60	53	53
	N1-RS	N0,5-RS	N1:1-LM	Gi5-RS
Cena plniva ve 100 g směsi [Kč]	22	11	53 ³	2
Množství dílců matrice	80	90	50	95
	Gi10-LM	Gn1:1-LM	Cu5-LM	Cu10-LM
Cena plniva ve 100 g směsi [Kč]	4	223 ³	5	10
Množství dílců matrice	90	50	95	90

³)Cena plniva ve 100 ml směsi

Pro posouzení mezi dosaženými výsledky zhotovených hmot a jejich cenou byla vytvořena tabulka s vícekritériálním hodnocením. Stupnice byla stanovena v rozmezí 0-5. Stupeň 0 odpovídá nejlepšímu hodnocení. Stupeň 5 odpovídá nejhoršímu hodnocení. V této práci je nejsledovanější kritériem vnitřní elektrický odpor a cena. Proto budou mít vyšší váhu, ostatní kritéria mají nižší váhu. Tabulky hodnocení pro každé kritérium jsou uvedeny v příloze.

Tabulka 30: Váha kritérii ve vícekritériálním hodnocení

Kritérium	Váha kritéria
Vnitřní elektrický odpor, cena	2
Ostatní	1

Tabulka 31: Vícekritériální hodnocení povlaků

Kritérium	K1-RS	K1-VJ	K1-LM	K2-RS
Optické	1	1	1	2
Vn. elektrický odpor	3	5	3	2
Redukce sklo	2	2	4	4
Redukce plech	-	-	3	3
Přilnavost	3	3	2	2
Hloubení	-	-	2	4
Cena	2	2	2	3

Kritérium	K2-LM	K3-RS	K4-RS	K4-LM
Optické	1	4	4	1
Vn. elektrický odpor	3	2	2	2
Redukce sklo	4	5	4	4
Redukce plech	3	2	2	2
Přilnavost	2	2	2	1
Hloubení	4	1	1	1
Cena	3	4	5	5
Kritérium	N1-RS	N0,5-RS	N1:1-LM	Gi5-RS
Optické	3	2	3	0
Vn. elektrický odpor	3	4	0	5
Redukce sklo	3	3	2	1
Redukce plech	1	0	5	1
Přilnavost	1	2	2	1
Hloubení	3	3	5	3
Cena	0	0	0	0
Kritérium	Gi10-LM	Gn1:1-LM	Cu5-LM	Cu10-LM
Optické	0	2	2	2
Vn. elektrický odpor	2	5	5	5
Redukce sklo	1	3	0	1
Redukce plech	2	4	0	0
Přilnavost	2	1	1	1
Hloubení	1	3	0	0
Cena	0	1	0	0

V následující tabulce je vypočítáno výsledné hodnocení, pro vícekriteriální tabulku. Čím je hodnota nižší, tím by měla být nátěrová hmota vhodnější.

Tabulka 32: Vícekriteriální hodnocení povlaků - seřazené výsledky

Pořadí	H.	Vzorek	P.	H.	Vzorek	P.	H.	Vzorek	P.	H.	Vzorek
1.	1,4	Gi10-LM	5.	2,4	N1-RS	9.	3,2	K1-RS	13.	3,7	K2-LM
2.	1,9	Cu5-LM	6.	2,4	N1:1-LM	10.	3,3	K4-LM	14.	3,7	K3-RS
3.	2,0	Cu10-LM	7.	2,6	N0,5-RS	11.	3,6	K2-RS	15.	3,9	K4-RS
4.	2,3	Gi5-RS	8.	3,1	K1-LM	12.	3,6	Gn1:1-LM	16.	5,1	K1-VJ

6.11.1 Diskuze k technicko – ekonomickému zhodnocení

V experimentu se cena vodivého polymeru KV2 pohybovala až 20 krát výš, při porovnání s plnivem grafit, měď a Aquacyl 0301. Oproti grafenu byla cena přibližně 4 krát výše. Cena vodivého polymeru je vysoká, lze však očekávat výrazné snížení ceny při velkoobchodním nákupu do výroby, a také pokles ceny v důsledku rozvoje tohoto plniva.

Vysoká cena, průměrné hodnoty vnitřního elektrického odporu a podprůměrné hodnoty z mechanických zkoušek řadí všechny nátěrové hmoty s vodivým plnivem KV2 až do druhé poloviny celkového hodnocení.

Nejlepší hmotou s vodivým polymerem byla K1-LM, která měla dobré výsledky z mechanických zkoušek. Kvůli nízkému obsahu polymeru nepatřila cena k nejvyšším. Vnitřní elektrický odpor byl v řádu $10^9 \Omega$.

Lépe dopadly hodnoty pro vzorky s nanotubami. Lepšího hodnocení dosáhly v důsledku nízké ceny. I přes dobré hodnocení vzorků N1-RS a N0,5-RS v celkovém srovnání, nejsou tyto hmoty vhodnou volbou k aplikaci, kvůli špatným výsledkům u důležitého kritéria elektrického odporu.

Vzorky Cu5-LM a Cu10-LM se zařadily do první čtyřky v hodnocení, protože ve většině kritérií měly jedny z nejlepších hodnot. Ale kvůli velmi vysokým hodnotám elektrického odporu, jsou tyto hmoty méně vhodné než N1-RS a N0,5-RS.

Na prvním a čtvrtém místě v hodnocení jsou hmoty s grafitem. Důvodem je nízká pořizovací cena a dobré mechanické vlastnosti. Nátěrová hmota Gi5-RS měla nevyhovující hodnoty pro vnitřní elektrický odpor. Hmota Gi10-LM je při posouzení ceny, hmotnostního poměru plniva

(jen 10 % ve směsi) a nízkého vnitřního elektrického odporu, nejvhodnější volbou pro další aplikace.

Vzorek s grafenem se umístil v celkovém hodnocení až na 12 místě, měl špatné hodnoty vnitřního elektrického odporu a cena daného plniva byla až 5 krát vyšší než tři nejlevnější plniva. Kvůli vysokému elektrickému odporu by bylo vhodné tuto nátěrovou hmotu zařadit až na konec hodnocení.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo snížení vnitřního elektrického odporu epoxidové nátěrové hmoty. Pro dosažení daného cíle byla použita plniva vodivého polymeru, nanotub, grafitu, grafenu a částic mědi v různých poměrech vůči matrici. V rámci této práce došlo k posouzení vlivu dispergace na snížení odporu nátěrových hmot a redukci mokrého filmu. V práci byly provedeny zkoušky povlaků, pro ověření mechanických vlastností.

Z výsledků zhodnocených v předchozích kapitolách lze konstatovat, že cíle této práce byly splněny. V práci došlo k vývoji nátěrových hmot s využitím plniv, pro snížení vnitřního elektrického odporu. Nátěrové hmoty byly dispergované na míchadlech rotor – stator, visco – jet a na lopatkovém míchadle.

Vnitřní elektrický odpor u epoxidové nátěrové hmoty CHS-EPOXY 200 V 55 ovlivňuje druh plniva, jeho množství a způsob dispergace v matrici. Vysoký podíl nanotub u vzorků N1:1-RS dokazuje, že více ovlivňuje elektrický odpor množství plniva než způsob dispergace. Hodnota odporu $2 \cdot 10^6 \Omega$ u N1:1-RS byla 80 krát nižší než nejbližší hodnota $1,6 \cdot 10^8 \Omega$ u vzorků K4-RS a Gi10-LM. Povlaky s nízkým obsahem nanotub měly vysoký vnitřní elektrický odpor. Nátěrová hmota N1-RS měla odpor v řádu $10^9 \Omega$ a nátěrová hmota N0,5-RS měla odpor v řádu $10^{10} \Omega$.

U vzorků s vodivým polymerem dispergovaným metodou rotor – stator byly hodnoty vnitřního elektrického odporu nižší, než v případě vzorků, které byly dispergované lopatkovým míchadlem.

Metoda visco – jet špatně rozprostřela plnivo v matrici a výsledné hodnoty odporu povlaku byly v řádu $10^{11} \Omega$. Nátěrová hmota Gi5-RS s hmotnostním obsahem 5 % grafitu měla také vysoký odpor v řádu $10^{11} \Omega$. Hmota Gi10-LM měla z mechanických zkoušek nejlepší hodnoty, dále příznivou cenu a vnitřní elektrický odpor $1,6 \cdot 10^8 \Omega$. Tato hmota by byla nejvhodnější volbou pro aplikaci a další výzkum.

Vzorek Gn1:1-LM s plnivem grafenu měl z mechanických zkoušek průměrné hodnoty, vysokou cenu a vysoký elektrický odpor. Pro další výzkum lze doporučit grafen ve formě pasty nebo prášku. Nátěrové hmoty s částicemi mědi měly hodnoty vnitřního elektrického odporu v řádu $10^{11} \Omega$, ale v mechanických zkouškách prokázaly dobré vlastnosti.

Nanočástice u epoxidové nátěrové hmoty CHS-EPOXY 200 V 55 dokázaly snížit vnitřní elektrický odpor, a to z řádu $10^{11} \Omega$ až do řádu $10^6 \Omega$ na nevodivém skleněném podkladu.

V experimentu byla použita vodná suspenze s obsahem sušiny vodivého polymeru KV2 2 % a množství nanočástic v suspenzi AQUACYL 0301 nepřesáhlo podíl 5 %. Pro vytvoření povlaku s matricí CHS-EPOXY 200 V 55 a nízkým vnitřním elektrickým odporem povlaku, je při použití KV2 nebo AQUACYlu 0301 nutné použít vysoké podíly plniva k matrici, a to až k hranici 1:1 objemového podílu. Jaký bude mít vliv použití suspenze s vyšším podílem vodivých částic na snížení množství použitého plniva, je nutno ověřit v další experimentální práci.

8 Citovaná literatura

- [1] V. Zeman, *Rychleschnocí nátěrové hmoty*, Praha: ČVUT, Fakulta strojní, 2015.
- [2] F. HERRMANN a M. Schiller, „Zkoušení nátěrových hmot a ochranných povlaků,“ Sdružení českých zkušeben a laboratoří, z.s., [Online]. Available: https://www.sczl.cz/dokumenty/k06_04.pdf. [Přístup získán 25. 7. 2015].
- [3] L. LUKAVSKÝ, V. FIALA a S. Bouška, *Nátěrové hmoty*, Praha: Merkur, 1993, ISBN: 80-7032-469-4.
- [4] „Paint defects,“ CCS Coating Consultants for Superyachts, [Online]. Available: <http://www.ccsyacht.com/paint-facts/paint-defects-runs-sags-curtains/>. [Přístup získán 20. 06. 2018].
- [5] *ČSN EN ISO 1513: Nátěrové hmoty - Prohlídka a příprava zkušebních vzorků*, SVÚOM s.r.o., 2010.
- [6] *ČSN EN ISO 2808: Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru*, Praha: SVÚOM, 2007.
- [7] „5 jednoduchých tipů, jak se vypořádat se statickou elektřinou,“ *Elektřina.cz*, 10. 02. 2016. [Online]. Available: <https://www.elektřina.cz/jak-se-zbavit-staticke-elektřiny>. [Přístup získán 05. 05. 2018].
- [8] O. LEPIL a P. ŠEDIVÝ, *Fyzika pro gymnázia: elektřina a magnetismus. 5., přeprac. vyd.*, Praha: Prometheus, 2000, ISBN: 8071962023.
- [9] J. LEUCHTER, „user.unob.cz,“ [Online]. Available: https://user.unob.cz/leuchter/3_P%C5%98_BAK_VODI%C4%8CE.pdf. [Přístup získán 12. 05. 2018].
- [10] M. Dufkova, „Fyzika a klasická energetika,“ 20. 2. 2014. [Online]. Available: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/634-tema-elektrostaticky-naboj>. [Přístup získán 12. 05. 2018].
- [11] „O statickém náboji - Limex-Technik,“ 2008. [Online]. Available: <http://limex-technik.cz/meech/o-statickem-naboji>. [Přístup získán 16. 05. 2018].
- [12] „Conductive Coatings,“ [Online]. Available: <https://www.gelest.com/applications/conductive-coatings/>. [Přístup získán 16. 05. 2018].
- [13] M. Zoubek, J. Kudláček, V. Kreibich, T. Jirout a F. Matas, „Vliv míchání na elektrickou vodivost povlaků,“ 12. 09. 2015. [Online]. Available: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vliv-michani-na-elektřickou-vodivost-povlaku.html>. [Přístup získán 20. 04. 2018].

- [14] J. Kudláček, M. Zoubek, V. Kreibich, M. Valeš a F. Herrmann, „Aplikace nátěrových systémů se zvýšenou elektrickou vodivostí,“ 12. 2014. [Online]. Available: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201407_povrchari.pdf. [Přístup získán 28. 04. 2018].
- [15] A. Capulli, „Tribocharge,“ Soft Matter, 2011. [Online]. Available: <http://soft-matter.seas.harvard.edu/index.php/Tribocharge>. [Přístup získán 05. 05. 2018].
- [16] P. ČAUČÍK, Prísady do plastov, Bratislava: Alfa, 1985, ISBN 63-040-85.
- [17] J. Lonský, „Statická elektřina,“ 12. 2011. [Online]. Available: https://www.lontech.cz/files/simco_nl/staticka_elektrina_elektro_12-2011.pdf. [Přístup získán 20. 04. 2018].
- [18] „How does static electricity work?,“ Apple Computers, [Online]. Available: <https://www.loc.gov/rr/scitech/mysteries/static.html>. [Přístup získán 20. 04. 2018].
- [19] „Kapacita vodiče, kondenzátor,“ Encyklopedie fyziky, [Online]. Available: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/231-kapacita-vodice-kondenzator>. [Přístup získán 10. 05. 2018].
- [20] „ELEKTRICKÁ KAPACITA,“ Energyweb, [Online]. Available: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&sl_mode=hrch&slovník_page=el_kapac.html. [Přístup získán 25. 04. 2018].
- [21] „Kapacita vodiče, kondenzátor,“ FYZIKA 007, [Online]. Available: <http://www.fyzika007.cz/elektrina-a-magnetismus/elektricky-naboj-a-elektricke-pole/kapacita-vodice-kondenzator---zapis-do-sesitu>. [Přístup získán 01. 05. 2018].
- [22] „Introduction to resistance Measurement,“ HIOKI, [Online]. Available: http://hiokiusa.com/wp-content/uploads/pdf/18771-UG_TN_Resist_vol1_E1-4ZM.pdf. [Přístup získán 21. 06. 2018].
- [23] ČSN EN 61340-2-3: *Elektrostatika - Část 2-3: Metody zkoušek pro stanovení rezistance a rezistivity tuhých rovinných materiálů, používaných k zabránění akumulace elektrostatického náboje*, Praha: ÚNMZ, 2001.
- [24] J. KAZELLE, S. HAVLÍČEK, J. JIRÁK, K. LIEDERMANN, Z. ROZSÍVALOVÁ, M. SEDLAŘÍKOVÁ a J. VANĚK, *Elektrotechnické materiály a výrobní procesy*, Brno: Elektronické texty, 2003.
- [25] „Plastics Additives & Compounding: New developments in antistatic and conductive additives,“ 2008. [Online]. Available: <http://www.vorbeck.com/downloads/New%20developments%20in%20antistatic%20additives.pdf>.
- [26] I. WHEELER, *Metallic Pigments in Polymers*, Shawbury: Rapra, Technology Limited, 1999, ISBN: 1-85957-166-2.
- [27] „Elektricky vodivé materiály,“ [Online]. Available: <https://publi.cz/books/353/04.html>. [Přístup získán 05. 05. 2018].

- [28] „Přechodné kovy,“ Xenon, electron configuration, [Online]. Available: <http://www.prvky.com/prechodne-kovy.html>. [Přístup získán 06. 05. 2018].
- [29] „Nikl: Kov, bez kterého by průmysl nebyl průmyslem,“ Zpravodajský portál pro investory, 28. 1. 2013. [Online]. Available: <https://www.investicniweb.cz/2013-1-28-nikl-kov-bez-ktereho-prumysl-nebyl-prumyslem/>. [Přístup získán 20. 05. 2018].
- [30] M. HOSOKAWA, Nanoparticle technology handbook, Boston: Elsevier, 2007, ISBN 978-0-444-53122-3.
- [31] J. HOŠEK, Úvod do nanotechnologie, Praha: České vysoké učení technické, 2010, ISBN 978-80-01-04555-8.
- [32] P. SKŘEHOT a M. RUPOVÁ, Nanobezpečnost, Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2011, ISBN 978-80-86973-89-0.
- [33] „Pracovní skupina - Keramika,“ [Online]. Available: http://old.vscht.cz/sil/keramika/Ceramic_Technology/SM-Lect-14-C.pdf. [Přístup získán 15. 05. 2018].
- [34] B. KRATOCHVÍL, V. ŠVORČÍK a D. VOJTĚCH, Úvod do studia materiálů, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, ISBN 80-7080-568-4.
- [35] J. Charvát, „Nanočástice: Technologický zázrak, nebo hrozba pro lidské zdraví?,“ Lidovky.cz, 26. 02. 2013. [Online]. Available: http://ceskapozice.lidovky.cz/nanocastice-technologicky-zazrak-nebo-hrozba-pro-lidske-zdravi-pw1-/tema.aspx?c=A130223_005001_pozice_98382. [Přístup získán 30. 04. 2015].
- [36] Z. WEISS, G. SIMHA-MARTYNKOVÁ a O. ŠUSTAI, Nanostruktura uhlíkatých materiálů, Ostrava: Repronis, 2005, ISBN 80-7329-083-9.
- [37] „Grafit,“ Research – Group of Coordination and Bioinorganic Chemistry, [Online]. Available: <http://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/mineral/grafit.html>. [Přístup získán 10. 05. 2018].
- [38] „Aplikační možnosti sazí CHEZACARB vyráběných v UNIPETROL RPA,“ 2008. [Online]. Available: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2008_04_274-278.pdf. [Přístup získán 10. 05. 2018].
- [39] D. VELEBIL, „Grafit, C,“ [Online]. Available: <http://www.velebil.net/minerally/grafit>. [Přístup získán 30. 04. 2018].
- [40] „Grafit :: C,“ Informační systém Masarykovy univerzity, [Online]. Available: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js10/minerals/web/minerally/elementy_grafit.html. [Přístup získán 01. 05. 2018].
- [41] G. Gardiner, „Graphene edges closer to widespread production and application,“ CompositesWorld, 10. 08. 2016. [Online]. Available:

- https://www.researchgate.net/figure/230662177_fig6_Fig-18-The-structure-of-monolayer-and-multilayer-graphene-carbon-nanotubes-and. [Přístup získán 02. 06. 2018].
- [42] „A Primer On Carbon Nanotubes,“ nzjuice.club, [Online]. Available: <http://nzjuice.club/armchair-zigzag-and-chiral-nanotubes/a-primer-on-carbon-nanotubes-part-1-phlebas-armchair-zigzag-and-chiral-nanotubes/>. [Přístup získán 02. 06. 2018].
- [43] Y. Gogotsi, Nanotubes and nanofibers, Boca Raton, FL: CRC Taylor & Francis, 2006, ISBN 0-8493-9387-6.
- [44] „Carbon Nanotubes and Other Carbon Materials Part 1,“ whatwhenhow RSS, [Online]. Available: <http://what-when-how.com/nanoscience-and-nanotechnology/carbon-nanotubes-and-other-carbon-materials-part-1-nanotechnology/>. [Přístup získán 02. 06. 2018].
- [45] „Multi-walled Carbon Nanotube,“ Wikimedia Commons, 27. 12. 2010. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Multi-walled_Carbon_Nanotube.png. [Přístup získán 02. 06. 2018].
- [46] „C60 Isomers,“ [Online]. Available: <http://www.nanotube.msu.edu/fullerene/fullerene.php?C=60>. [Přístup získán 02. 06. 2018].
- [47] „Proces výroby nanoTiO2 a jeho uplatnění,“ Advanced Materials-JTJ s. r.o., [Online]. Available: <http://www.amjtj.com/projekty/proces-vyroby-nanotio2-a-jeho-uplatneni/>. [Přístup získán 16. 05. 2018].
- [48] „Titanium Dioxide - Material Information,“ DECHEMA e.V., [Online]. Available: <https://nanopartikel.info/en/nanoinfo/materials/titanium-dioxide>. [Přístup získán 17. 05. 2018].
- [49] „Zinc Oxides - Material Information,“ DECHEMA e.V., [Online]. Available: <https://nanopartikel.info/en/contact>. [Přístup získán 17. 05. 2018].
- [50] „Aluminum Oxide Al2O3 Nanopowder / Nanoparticles (Al2O3, alpha, 99+%, 80nm),“ US Research Nanomaterials, Inc., [Online]. Available: <https://www.us-nano.com/inc/sdetail/208>. [Přístup získán 18. 05. 2018].
- [51] „Tin Nanoparticles/nanopowder (Sn, 99.7%, 100nm),“ SkySpring Nanomaterials, Inc., [Online]. Available: https://ssnano.com/inc/sdetail/tin_nanoparticles/275. [Přístup získán 18. 05. 2018].
- [52] „Tin Nanoparticles,“ American Elements, [Online]. Available: <https://www.americanelements.com/tin-nanoparticles-7440-31-5>. [Přístup získán 18. 05. 2018].
- [53] „TiN Nanoparticles,“ American Elements, [Online]. Available: <https://www.americanelements.com/tin-nanoparticles-7440-31-5>. [Přístup získán 05. 2018].

- [54] „Trendy v povlakování slinutých karbidů,“ MM Průmyslové spektrum, 07. 11. 2001. [Online]. Available: <https://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>. [Přístup získán 05. 04. 2018].
- [55] B. Simonet a M. Valcárcel, „Monitoring nanoparticles in the environment,“ *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, pp. 17-21, 2009.
- [56] D. Nohavica, „Ústav fotoniky a elektroniky, Akademie věd ČR, v.v.i.,“ [Online]. Available: <https://www.ufe.cz/sites/default/files/Media/nohavica-rizika-nanomaterialu-2011.pdf>. [Přístup získán 20. 05. 2018].
- [57] L. Bartovská a M. ŠIŠKOVÁ, „disperzní systém,“ [Online]. Available: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/disperzni_system.html. [Přístup získán 20. 05. 2018].
- [58] L. KVÍTEK a A. PANÁČEK, *Základy koloidní chemie*, Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, ISBN 978-80-244-1669-4.
- [59] „Abstrakty k úlohám z laboratoří chemického inženýrství,“ [Online]. Available: <https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Mlet%C3%AD%2C+m%C3%ADch%C3%A1n%C3%AD%2C+elektrodial%C3%BDza%2C+usazov%C3%A1n%C3%AD%2C+zektifikace%2C+sd%C3%ADlen%C3%AD+tepla.pdf?redirected>. [Přístup získán 21. 05. 2018].
- [60] F. RIEGER, V. NOVÁK a T. JIROUT, *Hydromechanické*, Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005, ISBN 80-01-03302-3.
- [61] S. PEGEL, P. PÖTSCHKE, G. PETZOLD, I. ALIG, S. M. DUDKIN a D. LELLINGER, „Dispersion, agglomeration, and network formation of multiwalled carbon nanotubes in polycarbonate melts,“ 2007. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Gudrun_Petzold/publication/223859595_Dispersion_agglomeration_and_network_formation_of_multiwalled_carbon_nanotubes_in_polycarbonate_melts/links/00463533e4934778e7000000.pdf. [Přístup získán 21. 05. 2018].
- [62] J. Reichl, „Vazba sigma a vazba pí,“ [Online]. Available: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1622-vazba-sigma-a-vazba-pi>. [Přístup získán 23. 06. 2018].
- [63] W. Quiros-Salano, N. Gaio, C. Silvestri, G. Pandraud a P. Sarro, „ScienceDirect,“ 2016. [Online]. Available: https://ac.els-cdn.com/S1877705816337158/1-s2.0-S1877705816337158-main.pdf?_tid=8975f6db-e885-4c81-ab55-db570a19b9cc&acdnat=1530210310_0a1e2265f8a42959f7297c591224db52. [Přístup získán 25. 06. 2018].
- [64] „PEDOT:PSS,“ Ossila, [Online]. Available: <https://www.ossila.com/products/pedot-pss>. [Přístup získán 25. 06. 2018].

- [65] A. Andreas Elschner, S. Kirchmeyer, W. Lovenich, U. Merker a K. Reuter, PEDOT: Principles and Applications of an Intrinsically Conductive Polymer, Boca Raton: CRC Press, 2010, ISBN 9781420069112.
- [66] „Grafit pudrový 7 mikro,“ FICHEMA, [Online]. Available: <http://www.fichema.cz/grafit-pudrovy-7-mikro-995/770-grafit-pudrovy-7-mikro-995-70-g-8592861245048.html>. [Přístup získán 05. 07. 2018].
- [67] „Graphene oxide – dispersion,“ Nano Carbon SP. z o o., [Online]. Available: <https://www.grapheneshop.pl/product/graphene-oxide-dispersion-h2o-ipa-acetone-wt-05-custom/?wcmlc=EUR>. [Přístup získán 07. 08. 2018].
- [68] „WiseStir HS-D,“ [Online]. Available: http://www.bendarygroup.com/images/over_head_stir_hs-100d1.pdf. [Přístup získán 25. 06. 2018].
- [69] „S 25 N - 25 G Dispersing tool,“ IKA.com, [Online]. Available: <https://www.ika.com/en/Products-Lab-Eq/Hot-Plates-csp-212/S-25-N--25-G-Dispersing-tool-Technical%20Data-cptd-1713300/>. [Přístup získán 03. 07. 2018].
- [70] M. Zoubek, *Nátěrové hmoty s vyššími užitými vlastnostmi*, Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2015.
- [71] R. FILIP, *Dispergační zařízení v technologii výroby moderních nátěrových systémů*, Praha: ČVUT, Fakulta strojní, 2016.
- [72] „Heidolph VISCO JET mixing system,“ SIGMA-ALDRICH, [Online]. Available: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/z656143?lang=en®ion=CZ>. [Přístup získán 03. 07. 2018].
- [73] „Bandelin Electronic Ultrasonic Homogenizer Sonopuls HD 3400,“ Labun limited, [Online]. Available: <https://www.labunlimited.com/s/ALL/4AJ-9650195/Bandelin-Electronic-Ultrasonic-Homogenizer-Sonopuls-HD-3400-3690>. [Přístup získán 03. 07. 2018].
- [74] „Baker Film Applicators,“ TQC, [Online]. Available: <https://www.tqc.eu/en/product/baker-applicators-en/>. [Přístup získán 03. 07. 2018].
- [75] ČSN EN ISO 2178: *Nemagnetické povlaky na magnetických podkladech - Měření tloušťky povlaku - Magnetická metoda*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [76] ČSN EN ISO 2409: *Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [77] ČSN EN ISO 16276-2: *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*, Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008.

- [78] ČSN EN ISO 1520: *Nátěrové hmoty - Zkouška hloubením*, Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.
- [79] J. OTTA, *Nátěrové hmoty pro tvorbu elektricky vodivých povlaků*, Praha: ČVUT, Fakulta strojní, 2016.
- [80] „13990 Copper powder,“ Alfa Aesar, [Online]. Available: <https://www.alfa.com/en/catalog/013990/>. [Přístup získán 18. 07. 2018].
- [81] „Graphene oxide – dispersion,“ GRAPHENESHOP, [Online]. Available: <https://www.grapheneshop.pl/product/graphene-oxide-dispersion-h2o-ipa-acetone-wt-05-custom/>. [Přístup získán 18. 07. 2018].
- [82] „Kurzy měn - kurzovní lístek ČNB,“ Kurzy.cz, spol. s r.o., [Online]. Available: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/>. [Přístup získán 25. 07. 2018].
- [83] „Wrinkling,“ Capital Painting, 19. 03. 2013. [Online]. Available: <http://www.capital-painting.com/coating-defects-2/wrinkling/>. [Přístup získán 20. 06. 2018].
- [84] „Edge Failure,“ Capital painting, 19. 03. 2013. [Online]. Available: <http://www.capital-painting.com/coating-defects-2/edge-failure/>. [Přístup získán 20. 06. 2018].

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Vada nátěru: tvorba nerovnoměrného povlaku stékáním [4].....	11
Obrázek 2: Vada nátěru: svraštění [5].....	12
Obrázek 3: Vada nátěrů: odlupování [6].....	12
Obrázek 4: Schéma zapojení pro dvoubodovou (vlevo) a čtyřbodovou (vpravo) metodu měření měrného elektrického odporu [22].....	23
Obrázek 5: Schéma postavení uhlíku v grafitu [37].....	29
Obrázek 6: Schéma uspořádání uhlíků v jedné vrstvě grafenu [41].....	29
Obrázek 7: Vizualizace přetvoření listu grafenu na nanotuby [44].....	31
Obrázek 8: 3 možné způsoby orientace nanotub, zleva: armchair, zigzag, chiral [42].....	31
Obrázek 9: Vizualizace vícevrstvých MWNTs [45].....	31
Obrázek 10: Vizualizace fulerenu C ₆₀ [46].....	32
Obrázek 11: Způsob značení nátěrových hmot.....	39
Obrázek 12: Dispergační nástavec IKA S 25 N - 25G [69].....	47
Obrázek 13: Vizualizace míchadel visco - jet (vlevo - dvou kuželové, vpravo - tří kuželové) [72].....	48
Obrázek 14: Ultrazvukový homogenizátor Sonopuls HD 3400 [73].....	48
Obrázek 15: Natahovací pravitko TQC Baker film applicator [74].....	51
Obrázek 16: Porovnání rozprostření vodivého polymeru v matrici dle metody dispergace (vlevo: metoda rotor - stator, vpravo: metoda visco - jet), nasnímáno na mikroskopu Olympus SZ2-ST.....	53
Obrázek 17: Korozní produkty a popraskání na vzorku K1-RS.....	53
Obrázek 18: Mikroskopický snímek prasklin v povlaku na vzorku K1-RS.....	53
Obrázek 19: Vzorek K2-RS na plechu.....	54
Obrázek 20: Vzorek K3-RS na plechu.....	54
Obrázek 21: Vzorek K4-RS na plechu.....	54
Obrázek 22: Vzorek K1-LM na skle.....	55
Obrázek 23: Vzorek K2-LM na skle.....	55
Obrázek 24: Vzorek K4-LM na skle.....	55
Obrázek 25: Vzorek N1-RS na skle.....	56
Obrázek 26: Vzorek N0,5-RS na skle.....	56
Obrázek 27: Praskliny v povlaku N1:1-LM na skle.....	57
Obrázek 28: Praskliny v počátku nátěru u vzorku N1:1-LM na plechu.....	57
Obrázek 29: Vzorek Gi5-RS na skle.....	57
Obrázek 30: Vzorek Gi5-RS na plechu.....	57
Obrázek 31: Vzorek Gn1:1-LM na skle.....	58

Obrázek 32: Vzorek Gn1:1-LM na plechu.....	58
Obrázek 33: Vzorek Cu5-LM na skle	58
Obrázek 34: Vzorek Cu10-LM na skle	58
Obrázek 35: Vzorek Cu5-LM na plechu	58
Obrázek 36: Vzorek Cu10-LM na plechu	58
Obrázek 37: Měřicí zařízení Tespo 1	61
Obrázek 38: Přibližné schéma povlaku na skle a míst měření	61
Obrázek 39: Hrubá neucelená textura povlaku s označením K3-RS.....	64
Obrázek 40: Zařízení Elcometer A121/4-P.I.G	65
Obrázek 41: Provedený klínový řez, vzorek K2-LM na skle	65
Obrázek 42: Zařízení PosiTector 6000.....	68
Obrázek 43: ZCF 2088	70
Obrázek 44: TQC Cross Cut.....	70
Obrázek 45: Lupa Ballcon.....	70
Obrázek 46: Stup. hodnocení 0	72
Obrázek 47: Stup. hodnocení 1	72
Obrázek 48: Stup. hodnocení 2	72
Obrázek 49: Stup. hodnocení 3	72
Obrázek 50: Stup. hodnocení 4	72
Obrázek 51: Stup. hodnocení 5	72
Obrázek 52: Povlaky na skle zleva K1-RS-a, K1-RS-b, K1-VJ-a, K1-VJ-b	105
Obrázek 53: Povlaky na skle zleva K2-RS-a, K2-RS-b, K3-RS-a, K3-RS-b.....	105
Obrázek 54: Povlaky na skle zleva K4-RS-a, K4-RS-b, N1-RS-a, N1-RS-b.....	106
Obrázek 55: Povlaky na skle zleva N0,5-RS-a, N0,5-RS-b, Gi5-RS-a, Gi5-RS-b	106
Obrázek 56: Povlaky na skle zleva K1-LM, K2-LM, K4-LM, N1:1-LM.....	107
Obrázek 57: Povlaky na skle zleva Gi10-LM, Gn1:1-LM, Cu5-LM, Cu10-LM	107
Obrázek 58: Vzorčky na plechu po zkouškách přilnavosti zleva K1-RS, K1-VJ, K2-RS, K3-RS, K4-RS, K1-LM, K2-LM, K4-LM, N1:1-RS, N1-RS, N0,5-RS, Gi5-RS, Gi10-LM, Gn1:1-LM, Cu5-LM, Cu10-LM.....	108
Obrázek 59: Vzorčky na plechu po zkoušce hloubením zleva: K2-RS, K3-RS, K4-RS, K1-LM, K2-LM, K4-LM, N1-RS, N0,5-RS, N1:1-LM, Gi5-RS, Gi10-LM, Gn1:1-LM, Cu5-LM, Cu10-LM.....	108

10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Měrný elektrický odpor vybraných materiálů	17
Tabulka 2: Triboelektrická řada [15].....	19
Tabulka 3: Vodivostní vlastnosti vybraných materiálů.....	25
Tabulka 4: Dělení disperzních soustav dle skupenství prostředí [57].....	35
Tabulka 5: parametry AQACYLU 0301	38
Tabulka 6: Chemické složení vodní disperze grafenu.....	38
Tabulka 7: Názvosloví vzorků	40
Tabulka 8: Rozpis vytvořených nátěrových hmot.....	40
Tabulka 9: Hmotnostní složení vzorku K1-RS a K1-VJ	42
Tabulka 10: Hmotnostní složení vzorku K2-RS, K3-RS a K4-RS.....	43
Tabulka 11: Hmotnostní složení vzorku K1-LM, K2-LM a K4-LM	43
Tabulka 12: Hmotnostní složení vzorku N1-RS, N0,5-RS	44
Tabulka 13: Objemové složení vzorku N1:1-LM	45
Tabulka 14: Hmotnostní složení vzorku Gi5-RS a Gi10-LM	45
Tabulka 15: Objemové složení vzorku Gn1:1-LM	46
Tabulka 16: Hmotnostní složení vzorku Cu5-LM a Cu10-LM.....	46
Tabulka 17: Rozpis podmínek dispergace.....	49
Tabulka 18: Rozpis aplikovaného tužidla Telalit 180 ve vytvořených nátěrových hmotách.....	50
Tabulka 19: Hodnoty drsnosti pro ocelový plech R-46.....	52
Tabulka 20: Rozpis tloušťek pro všechny utvořené povlaky	52
Tabulka 21: Provedené zkoušky vytvořených povlaků.....	60
Tabulka 22: Vnitřní elektrický odpor povlaku	61
Tabulka 23: Tloušťka povlaků na skle	66
Tabulka 24: Tloušťka povlaků na ocelovém plechu	68
Tabulka 25: Vyhodnocení mřížkové zkoušky a křížového řezu	70
Tabulka 26: Vyhodnocení zkoušky hloubením.....	72
Tabulka 27: Ceník nakoupených plniv.....	74
Tabulka 28: Cena plniv při maloobchodní ceně a velkoobchodní ceně	74
Tabulka 29: Cena plniva ve 100 g směsi.....	75
Tabulka 30: Váha kritérií ve vícekritériálním hodnocení.....	75
Tabulka 31: Vícekritériální hodnocení povlaků	75
Tabulka 32: Vícekritériální hodnocení povlaků - seřazené výsledky.....	77
Tabulka 33: Hodnoty z přístroje Tespo 1 pro stanovení vnitřního elektrického odporu.....	95
Tabulka 34: Hodnoty koeficientů k_n a T_n pro Grubbsův T-test.....	96

Tabulka 35: Výpočet vnitřního elektrického odporu pro K1-RS,K1-VJ, K2-RS.....	96
Tabulka 36: Výpočet vnitřního elektrického odporu pro K3-RS, K4-RS, N1:1-RS	97
Tabulka 37: Výpočet vnitřního elektrického odporu pro N0,5-RS, Gi5-RS, K1-LM, K2-LM.....	100
Tabulka 38: Výpočet vnitřního elektrického odporu pro K4-LM,N1:1-LM, Gi10-LM, Gn1:1-LM, Cu5-LM a Cu10-LM	101
Tabulka 39: Hodnoty z přístroje DeFelsko PosiTector ke stanovení tloušťky povlaku na plechu.....	102
Tabulka 40: Stupnice vnitřního elektrického odporu pro vícekriteriální hodnocení	104
Tabulka 41: Stupnice redukce povlaku na skle pro vícekriteriální hodnocení	104
Tabulka 42: Stupnice redukce povlaku na plechu pro vícekriteriální hodnocení.....	104
Tabulka 43: Stupnice pro zkoušky přilnavosti pro vícekriteriální hodnocení.....	104
Tabulka 44: Stupnice pro cenu plniva pro vícekriteriální hodnocení.....	104

11 Seznam použitých zkratek

Al ₂ O ₃		oxid hlinitý
C		elektrická kapacita
C ₂₀		fulleren s 20 atomy uhlíku
C ₆₀		fulleren s 60 atomy uhlíku
CNTs	carbon nanotubes	uhlíkové nanotuby
CZK	czech koruna	česká koruna
ČNB		česká národní banka
ČSN		česká státní norma
DFT	dry film thickness	tloušťka suchého filmu
DNA	deoxyribonucleic acid	deoxyribonukleová kyselina
DPS	distribution particle size	distribuce velikosti částic
DVČ		distribuce velikosti částic
EN		evropská norma
EUR		euro
G		elektrická vodivost
GBP	pound sterling	britská libra
H.		hodnocení
I		elektrický proud
ISO	international organization for standardization	mezinárodní organizace pro normalizaci
Kč		koruna česká
NH		nátěrová hmota
MO		maloobchod
MWNTs	multi walled nanotubes	vícestěnné nanotuby
P.		pořadí
PEDOT	polyethylenedioxythiofen	
Q		elektrický náboj
R		elektrický odpor
Ra	roughness average	průměrná drsnost

RNA	ribonucleic acid	ribonukleová kyselina
SI	Le Système International d'Unités	Mezinárodní systém jednotek
SWNTs	single walled nanotubes	jednostěnné nanotuby
tl.		tloušťka
T	transparency	průhlednost
TiO ₂		oxid titaničitý
U		elektrické napětí
USD	united states dollar	americký dolar
UV	ultra violet	ultrafialové záření
v		rychlost
VO		velkoobchod
WFT	wet film thickness	tloušťka mokrého filmu
ZnO		oxid zinečnatý
ρ		měrný elektrický odpor
ρ_{20}		měrný elektrický odpor při 20 °C

12 Seznam použitých jednotek

%	procenta	jednotka vyjádření z celku
°	stupeň	jednotka rovinného úhlu
°C	stupeň Celsia	jednotka teploty
μm	mikrometr	jednotka délky
A	ampér	jednotka elektrického proudu
C	coulomb	jednotka velikosti elektrického náboje
F	farad	jednotka elektrické vodivosti
g	gram	jednotka hmotnosti
hm. %	hmotnostní koncentrace v procentech	
kg.m ⁻³	kilogram na metr kubický	jednotka hustoty
kHz	kilohertz	jednotka frekvence
l	litr	jednotka objemu
min	minuta	jednotka času
ml	mililitr	jednotka objemu
mm	milimetr	jednotka délky
mm ²	milimetr čtvereční	jednotka obsahu
mm.s ⁻¹	milimetr krát sekunda	jednotka rychlosti
MPa	megapascal	jednotka tlaku
mPa.s	megapascal krát sekunda	jednotka viskozity
nm	nanometr	jednotka délky
ot.min ⁻¹	otáčky za minutu	jednotka frekvence
S	siemens	jednotka elektrické vodivosti
S.m ⁻¹	siemens na metr	jednotka konduktivity
V	volt	jednotka elektrického napětí
W	watt	jednotka výkonu
W.m ⁻¹ .K ⁻¹	watt na metr kelvin	jednotka tepelné vodivosti
λ _c		mezní vlnová délka
Ω	ohm	jednotka elektrického odporu
Ω.cm ⁻¹	ohm na centimetr	jednotka měrného odporu
Ω.m	ohm metr	jednotka měrného elektrického odporu

13 Přílohy

Tabulka 33: Hodnoty z přístroje Tespo 1 pro stanovení vnitřního elektrického odporu

Označení vzorku	Označení povlaku	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K1-RS	a	62	71	61	63	60	65	70	74	72	64
K1-RS	b	57	63	60	64	73	72	73	67	73	78
K1-VJ	a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K1-VJ	b	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K1-LM	-	30	26	30	30	28	30	27	28	26	26
K2-RS	a	113	126	134	133	129	144	138	154	180	167
K2-RS	b	62	61	72	87	100	116	142	165	180	163
K2-LM	-	30	32	40	41	40	38	28	30	40	38
K3-RS	a	75	90	62	65	132	150	172	194	281	256
K3-RS	b	185	140	164	185	152	154	164	135	154	177
K4-RS	a	350	430	360	340	380	405	260	180	224	300
K4-RS	b	530	602	550	520	544	542	572	563	556	525
K4-LM	-	220	227	180	130	190	205	350	300	310	295
N1-RS	a	100	40	48	16	21	33	53	86	260	544
N1-RS	b	100	41	60	59	62	70	61	44	252	401
N0,5-RS	a	1	2	2	2	1	1	2	1	1	3
N0,5-RS	b	2	2	1	1	1	3	3	2	1	1
N1:1-LM	-	1944	1940	1940	1930	1910	1920	1950	1920	1945	1951
Gi5-RS	a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gi5-RS	b	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gi10-LM	-	694	368	346	589	450	487	724	648	523	626
Gn1:1-LM	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cu5-LM	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cu-10-LM	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabulka 34: Hodnoty koeficientů k_n a T_n pro Grubbsův T-test

n	k_n	T_n
2	0,8862	-
3	0,5908	1,155
4	0,4857	1,481
5	0,4299	1,715
6	0,3946	1,887
7	0,3698	2,020
8	0,3512	2,126
9	0,3367	2,215
10	0,3249	2,290
Symbol	Význam symbolu	
n	Počet měření	
k_n	Koeficient směrodatné odchylky z rozpětí	
T_n	Kritická hodnota T_n Grubbsova rozdělení	

Tabulka 35: Výpočet vnitřního elektrického odporu pro K1-RS, K1-VJ, K2-RS

n	K1-RS-a	K1-RS-b	K1-VJ-a	K1-VJ-b	K2-RS-a	K2-RS-b
1	60	57	1	1	113	61
2	61	60	1	1	126	62
3	62	63	1	1	129	72
4	63	64	1	1	133	87
5	64	67	1	1	134	100
6	65	72	1	1	138	116
7	70	73	1	1	144	142
8	71	73	1	1	154	163
9	72	73	1	1	167	165
10	74	78	1	1	180	180
Statistické vyhodnocení výsledků						
medián	65	70	1	1	136	108
∅	66	68	1	1	142	115

n < 20 pro odhad střední hodnoty se použije průměr						
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$						
R	14	21	0	0	67	119
s_r	5	7	0	0	22	39
r	20	31	0	0	98	174
$T_{n(max)}$	2,089	1,246	#####	#####	2,021	1,862
$T_{n(min)}$	0,989	1,832	#####	#####	1,057	1,216
T_n	2,290					
Hodnoty $T_{n(max)}$ a $T_{n(min)}$ musí být menší než T_n , jinak výpočet pokračuje.						
odpor	1,7E+09	1,7E+09	1,2E+11	1,2E+11	7,8E+08	9,7E+08
Symbol	Význam symbolu					
R	Rozpětí					
s_r	Směrodatná odchylka z rozpětí					
r	Mez opakovatelnosti					
$T_{n(max)}$	Kritická maximální hodnota $T_{n(max)}$					
$T_{n(min)}$	Kritická minimální hodnota $T_{n(min)}$					

Tabulka 36: Výpočet vnitřního elektrického odporu pro K3-RS, K4-RS, N1:1-RS

n	K3-RS-a	K3-RS-b	K4-RS-a	K4-RS-b	N1-RS-a	N1-RS-b
1	62	135	180	520	16	41
2	65	140	224	525	21	44
3	75	152	260	530	33	59
4	90	154	300	542	40	60
5	132	154	340	544	48	61
6	150	164	350	550	53	61
7	172	164	360	556	86	70
8	194	177	380	563	100	100
9	256	185	405	572	260	252
10	281	185	430	602	544	401

Statistické vyhodnocení výsledků						
medián	141	159	345	547	51	61
∅	148	161	323	550	120	115
n < 20 pro odhad střední hodnoty se použije průměr						
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$						
R	219	50	250	82	528	360
s_r	71	16	81	27	172	117
r	320	73	366	120	772	526
$T_{n(max)}$	1,968	1,600	1,046	2,064	2,877	2,907
$T_{n(min)}$	1,110	1,477	2,031	1,013	0,201	0,171
T_n	2,290					
Hodnoty $T_{n(max)}$ a $T_{n(min)}$ musí být menší než T_n , jinak výpočet pokračuje.						
1					16	41
2					21	44
3					33	59
4					40	60
5					48	61
6					53	61
7					86	70
8					100	100
9					260	252
10						
Statistické vyhodnocení výsledků						
medián					48	61
∅					73	83
n < 20 pro odhad střední hodnoty se použije průměr						
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$						
R					244	211
s_r					79	69

r					357	308
$T_{n(max)}$					2,674	2,786
$T_{n(min)}$					0,404	0,292
T_n	2,290					
Hodnoty $T_{n(max)}$ a $T_{n(min)}$ musí být menší než T_n , jinak výpočet pokračuje.						
1					16	41
2					21	44
3					33	59
4					40	60
5					48	61
6					53	61
7					86	70
8					100	100
9						
10					0	0
Statistické vyhodnocení výsledků						
medián					70	66
∅					44	55
n < 20 pro odhad střední hodnoty se použije průměr						
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$						
R					84	59
s_r					27	19
r					123	86
$T_{n(max)}$					1,118	1,800
$T_{n(min)}$					1,960	1,278
T_n	2,290					
Hodnoty $T_{n(max)}$ a $T_{n(min)}$ musí být menší než T_n , jinak výpočet pokračuje.						
odpor	7,4E+08	6,8E+08	3,1E+08	1,6E+08	2,6E+09	2,1E+09

Tabulka 37: Výpočet vnitřního elektrického odporu pro N0,5-RS, Gi5-RS, K1-LM, K2-LM

n	N0,5-RS-a	N0,5-RS-b	Gi5-RS-a	Gi5-RS-b	K1-LM	K2-LM
1	1	1	1	1	26	28
2	1	1	1	1	26	30
3	1	1	1	1	26	30
4	1	2	1	1	27	32
5	2	2	1	1	28	38
6	2	2	1	1	28	38
7	2	2	1	1	30	40
8	3	3	1	1	30	40
9	3	3	1	1	30	40
10	3	3	1	1	30	41
Statistické vyhodnocení výsledků						
medián	2	2	1	1	28	38
∅	2	2	1	1	28	36
$n < 20$ pro odhad střední hodnoty se použije průměr						
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$						
R	2	2	0	0	4	13
s_r	1	1	0	0	1	4
r	3	3	0	0	6	19
$T_{n(max)}$	1,539	1,539	#####	#####	1,539	0,710
$T_{n(min)}$	1,539	1,539	#####	#####	1,539	2,368
T_n	2,290					
Hodnoty $T_{n(max)}$ a $T_{n(min)}$ musí být menší než T_n , jinak výpočet pokračuje.						
1						
2						28
3						30
4						30
5						32

6						38
7						38
8						40
9						40
10						40
Statistické vyhodnocení výsledků						
medián						38
∅						37
n < 20 pro odhad střední hodnoty se použije průměr						
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$						
R						11
s_r						4
r						16
T_n (max)						0,839
T_n (min)						2,238
T_n	2,290					
odpor	6,2E+10	5,9E+10	1,2E+11	1,2E+11	4,2E+09	3,2E+09

Tabulka 38: Výpočet vnitřního elektrického odporu pro K4-LM, N1:1-LM, Gi10-LM, Gn1:1-LM, Cu5-LM a Cu10-LM

n	K4-LM	N1:1-LM	Gi10-LM	Gn1:1-LM	Cu5-LM	Cu10-LM
1	130	1910	346	1	1	1
2	180	1920	368	1	1	1
3	190	1920	450	1	1	1
4	205	1930	487	1	1	1
5	220	1940	523	1	1	1
6	227	1940	589	1	1	1
7	295	1944	626	1	1	1
8	300	1945	648	1	1	1
9	310	1950	694	1	1	1

10	350	1951	724	1	1	1
Statistické vyhodnocení výsledků						
medián	224	1940	556	1	1	1
∅	241	1935	546	1	1	1
n < 20 pro odhad střední hodnoty se použije průměr						
směrodatná odchylka z rozpětí $s_r = k_n \cdot R$						
R	220	41	378	0	0	0
s_r	71	13	123	0	0	0
r	322	60	553	0	0	0
$T_{n(max)}$	1,770	0,826	1,368	#####	#####	#####
$T_{n(min)}$	1,308	2,252	1,710	#####	#####	#####
T_n	2,290					
Hodnoty $T_{n(max)}$ a $T_{n(min)}$ musí být menší než T_n , jinak výpočet pokračuje.						
odpor	4,3E+08	2,0E+06	1,6E+08	1,2E+11	1,2E+11	1,2E+11

Tabulka 39: Hodnoty z přístroje DeFelsko PosiTector ke stanovení tloušťky povlaku na plechu

Označení vzorku	číslo plechu	∅ tloušťka	σ	maximální tloušťka	minimální tloušťka
K1-RS	-	-	-	-	-
K1-VJ	-	-	-	-	-
K1-LM	1	43	11	58	24
	2	39	10	66	30
	3	35	7	46	28
K2-RS	1	36	6	42	27
	2	39	8	54	26
	3	44	16	86	32
	4	33	19	74	16
K2-LM	1	40	11	66	31
	2	39	20	88	22
	3	33	7	50	24
K3-RS	1	47	20	78	25
	2	34	11	54	21
	3	32	7	41	21

	4	60	24	100	32
K4-RS	1	26	9	37	8
	2	32	13	56	14
	3	48	14	78	29
	4	62	33	136	39
K4-LM	1	19	11	50	11
	2	19	6	28	11
	3	17	4	23	12
N1-RS	1	45	11	60	30
	2	48	13	76	27
	3	49	5	54	39
	4	59	10	84	46
N0,5-RS	1	42	9	56	30
	2	55	18	84	34
	3	72	17	96	58
	4	56	14	94	45
N1:1-LM	1	23	5	29	17
	2	25	4	33	21
	3	35	11	60	27
Gi5-RS	1	40	5	49	33
	2	56	8	74	47
	3	48	4	60	48
	4	49	5	58	41
Gi10-LM	1	29	5	38	25
	2	32	8	50	23
	3	32	10	56	21
Gn1:1-LM	1	58	6	64	48
	2	54	6	64	45
	3	50	4	56	43
Cu5-LM	1	50	12	78	40
	2	60	7	70	50
	3	51	4	56	46
Cu10-LM	1	55	5	48	48
	2	59	5	54	54
	3	49	5	40	40

Tabulka 40: Stupnice vnitřního elektrického odporu pro vícekriteriální hodnocení

Stupnice pro: vnitřní elektrický odpor						
Stupeň	0	1	2	3	4	5
Interval [Ω]	$<10^7$	$<10^7-10^8$)	$<10^8-10^9$)	$<10^9-10^{10}$)	$<10^{10}-10^{11}>$	$10^{11}<$

Tabulka 41: Stupnice redukce povlaku na skle pro vícekriteriální hodnocení

Stupnice pro: redukcí povlaku na skle						
Stupeň	0	1	2	3	4	5
Interval [%]	$<57,5$	$<58-65$)	$<65-72$)	$<72-79$)	$<79-86>$	$86<$

Tabulka 42: Stupnice redukce povlaku na plechu pro vícekriteriální hodnocení

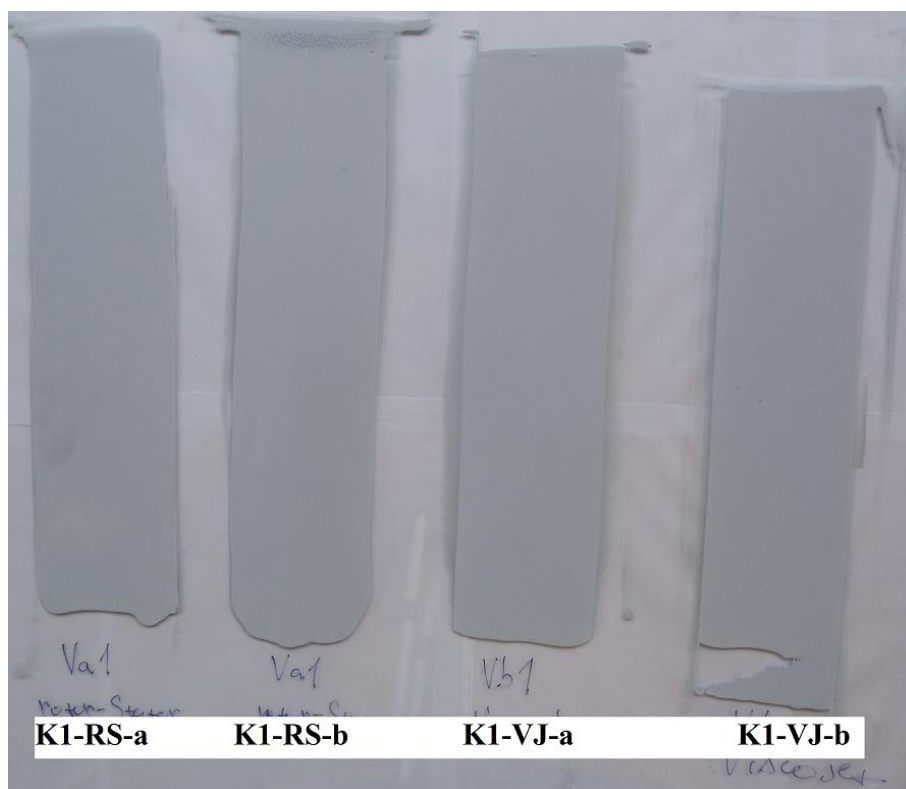
Stupnice pro: redukcí povlaku na plechu						
Stupeň	0	1	2	3	4	5
Interval [%]	<56	$<56-61$)	$<61-66$)	$<66-71$)	$<71-75>$	$75<$

Tabulka 43: Stupnice pro zkoušky přilnavosti pro vícekriteriální hodnocení

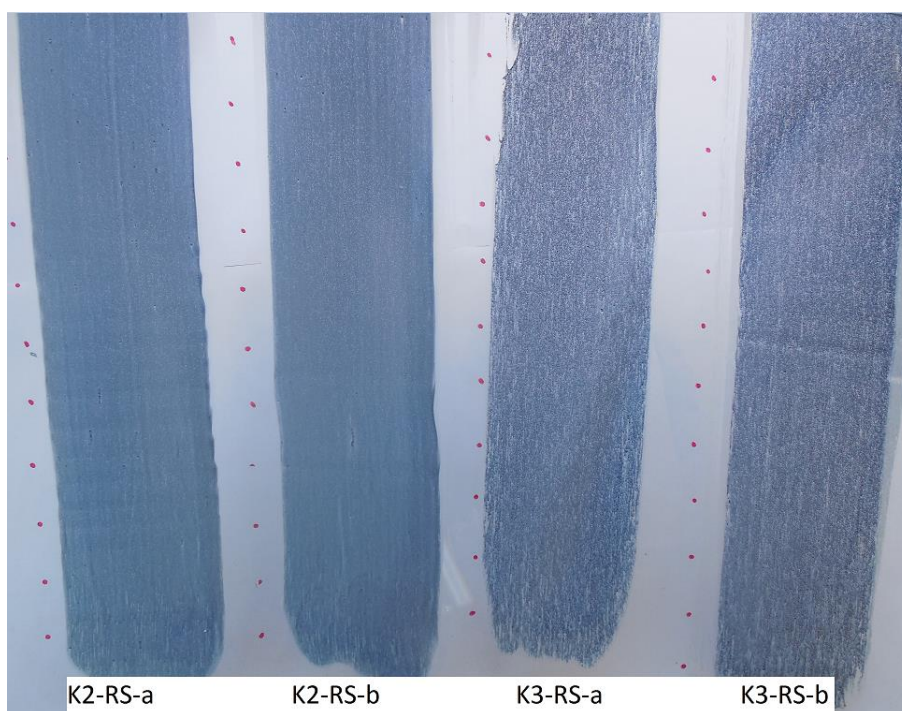
Stupnice pro: mřížkovou zkoušku, křížový řez, zkoušku hloubením						
Stupeň	0	1	2	3	4	5
Interval [-]	$<0,5$	$<0,5-1,5$)	$<1,5-2,5$)	$<2,5-3,5$)	$<3,5-4,5>$	$4,5<$

Tabulka 44: Stupnice pro cenu plniva pro vícekriteriální hodnocení

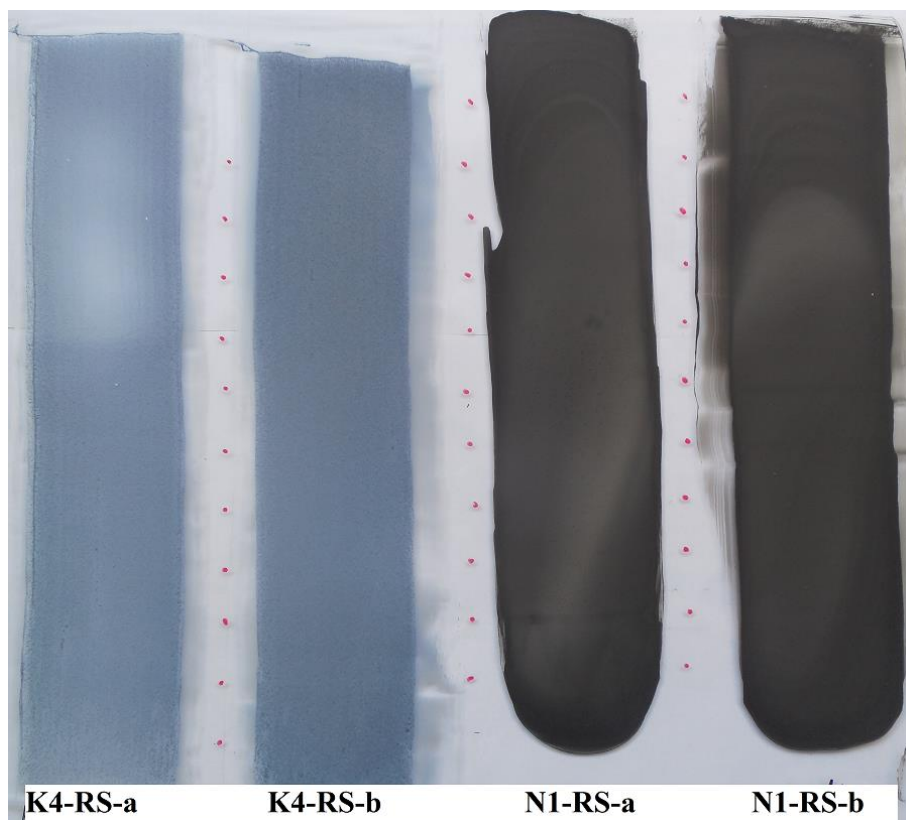
Stupnice pro: cenu plniva ve 100 g hmoty						
Stupeň	0	1	2	3	4	5
Interval [Kč]	<88	$<88-267$)	$<267-444$)	$<444-621$)	$<621-798>$	$798<$

Fotodokumentace k experimentální části

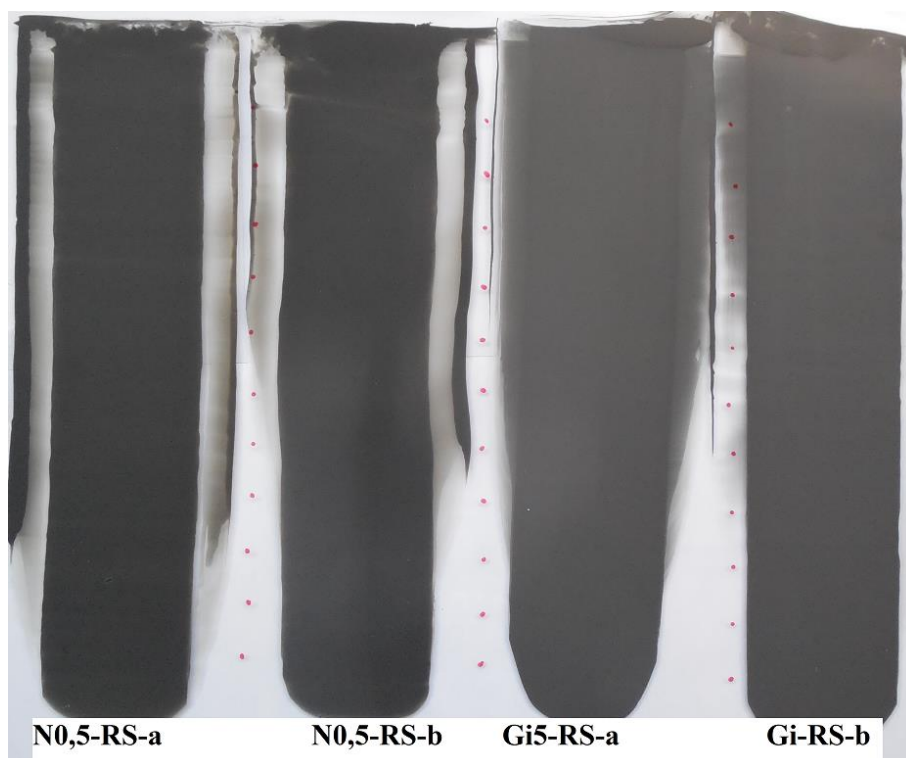
Obrázek 52: Povlaky na skle zleva K1-RS-a, K1-RS-b, K1-VJ-a, K1-VJ-b



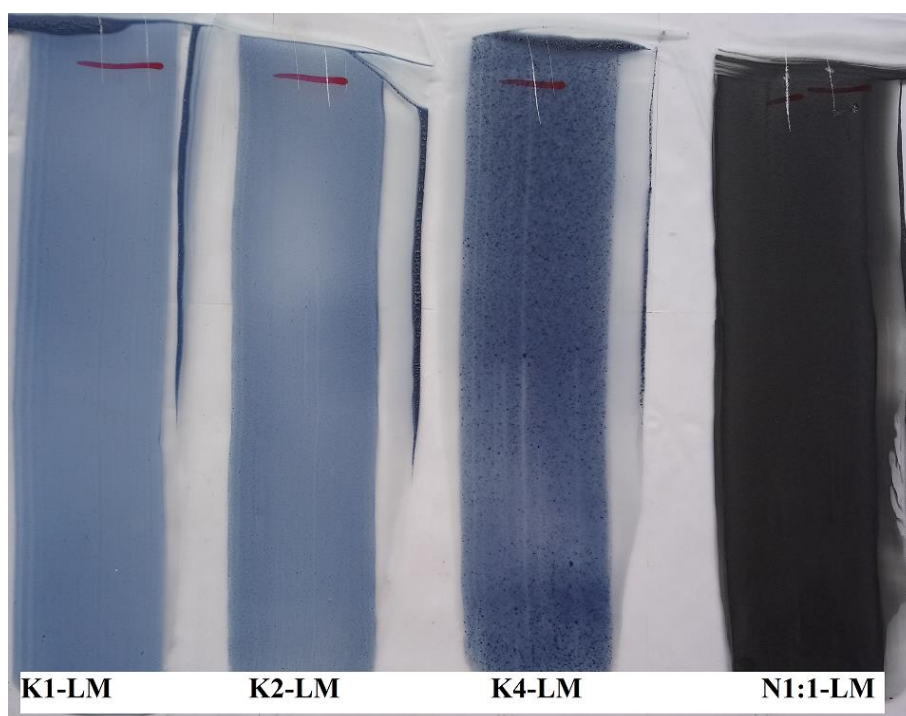
Obrázek 53: Povlaky na skle zleva K2-RS-a, K2-RS-b, K3-RS-a, K3-RS-b



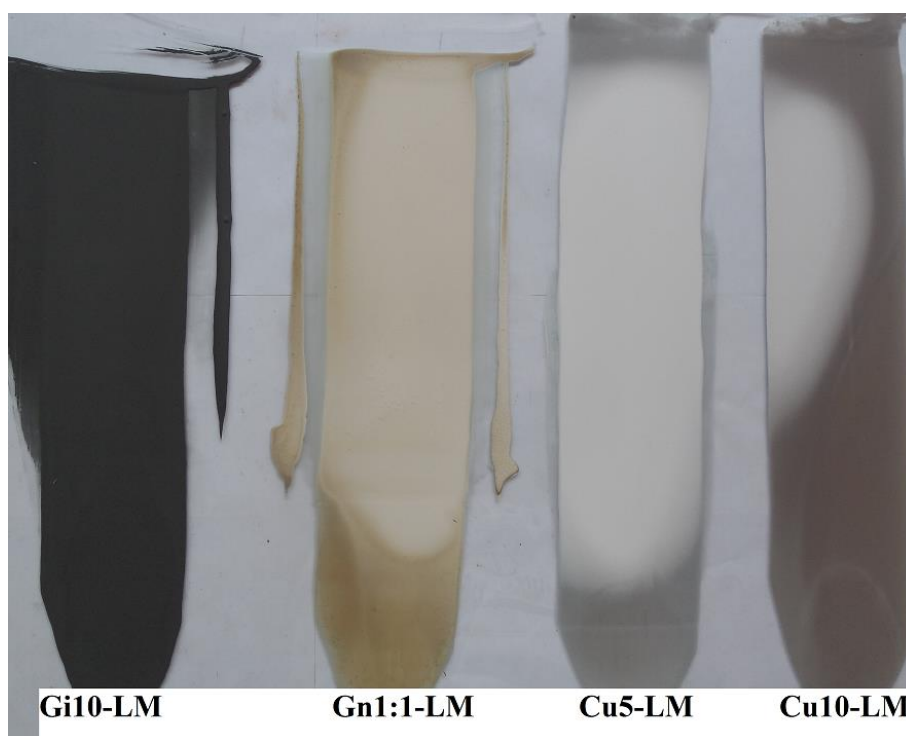
Obrázek 54: Povlaky na skle zleva K4-RS-a, K4-RS-b, N1-RS-a, N1-RS-b



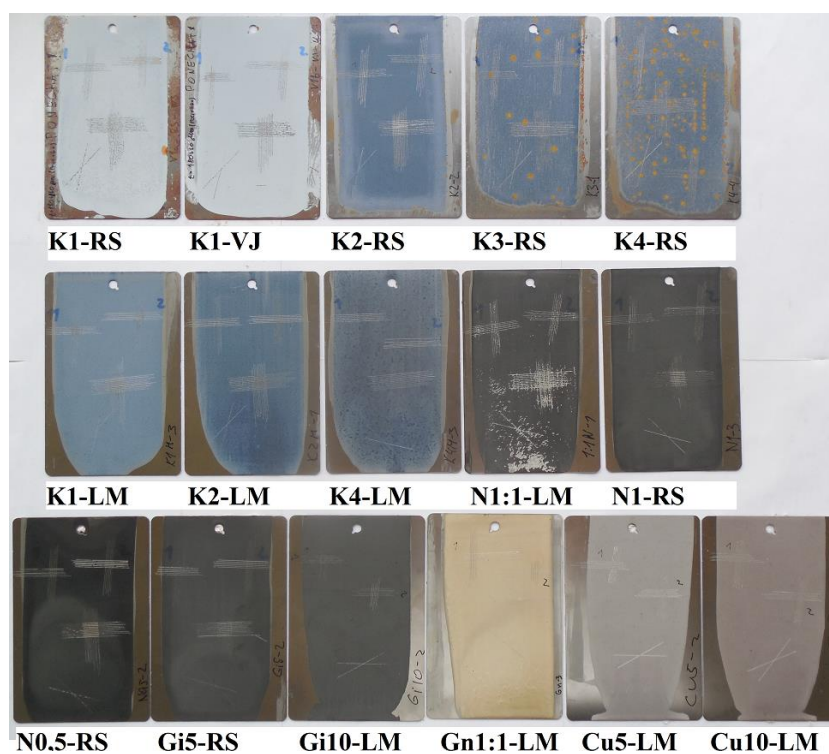
Obrázek 55: Povlaky na skle zleva N0,5-RS-a, N0,5-RS-b, Gi5-RS-a, Gi5-RS-b



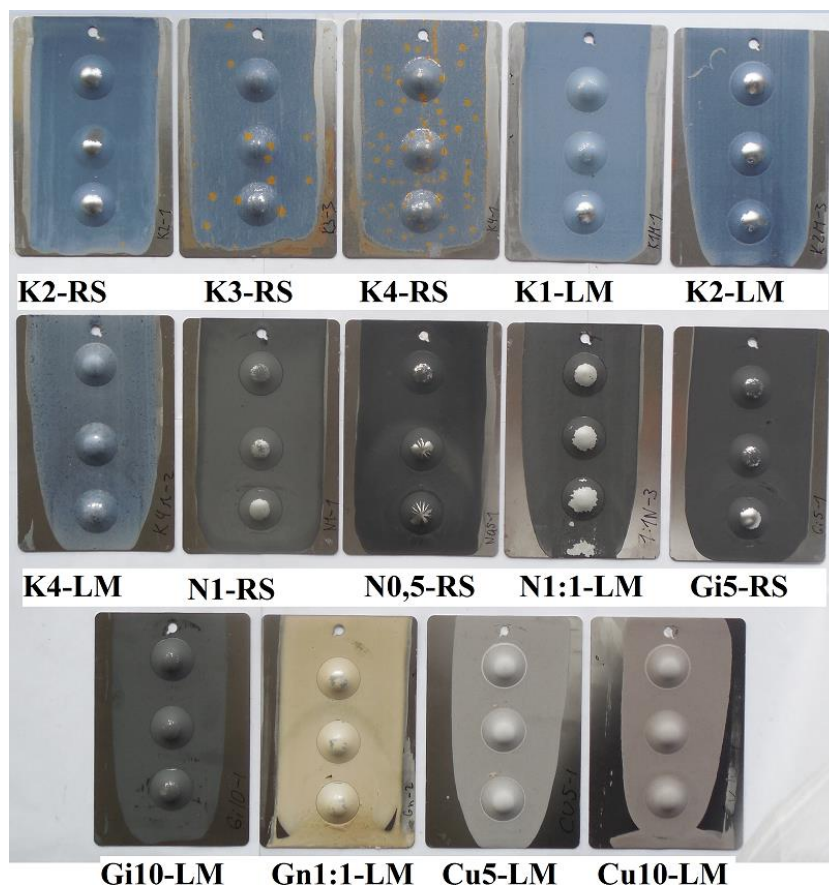
Obrázek 56: Povlaky na skle zleva K1-LM, K2-LM, K4-LM, N1:1-LM



Obrázek 57: Povlaky na skle zleva Gi10-LM, Gn1:1-LM, Cu5-LM, Cu10-LM



Obrázek 58: Vzorky na plechu po zkouškách přilnavosti zleva K1-RS, K1-VJ, K2-RS, K3-RS, K4-RS, K1-LM, K2-LM, K4-LM, N1:1-RS, N1-RS, N0,5-RS, Gi5-RS, Gi10-LM, Gn1:1-LM, Cu5-LM, Cu10-LM



Obrázek 59: Vzorky na plechu po zkoušce hloubením zleva: K2-RS, K3-RS, K4-RS, K1-LM, K2-LM, K4-LM, N1-RS, N0,5-RS, N1:1-LM, Gi5-RS, Gi10-LM, Gn1:1-LM, Cu5-LM, Cu10-LM

Technické listy



Date: 15 July 2009
Revision N^o1

AQUACYL™ 0301 / MSDS / Page 1/5
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

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

US contact

info-us@nanocyl.com

www.nanocyl.com

Product Specification

Alfa Aesar

13990 Copper powder, -325 mesh, 10% max +325 mesh, 99% (metals basis)

Product Number: 13990
CAS number: 7440-50-8
MDL number: MFCD00010965

Product Specification

Total Metal Impurities: 1% max.

Date of Print: August 2, 2018
Version: 1

Product Specifications are subject to amendment and may change over time.

CONTACT

UNITED KINGDOM
T: +44 (0)1524 850506
E: UKsales@alfa.com

NORTH AMERICA
T: +1-978-521-5330
E: info@alfa.com

GERMANY
T: +49 721 84007 280
E: Eurosales@alfa.com

INDIA
T: +91 40 6730 1234
E: india@alfa.com

CHINA
T: +86 (0)21-5758-2000
E: saleschina@alfa-asia.com

KOREA
T: +82-2-3140-6000
E: saleskorea@alfa-asia.com

www.alfa.com

Safety Data Sheet
 acc. to OSHA HCS

ThermoFisher
 SCIENTIFIC

 Page 1/5
 Printing date 06/01/2018
 Revision date 05/31/2018
 Version 1

1 Identification
Product identifier
Product name: Copper powder
Stock number: 13990

CAS Number:

7440-50-8

EC number:

231-159-6

Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against.
Identified use: SU24 Scientific research and development

Details of the supplier of the safety data sheet
Manufacturer/Supplier:

Alfa Aesar

Thermo Fisher Scientific Chemicals, Inc.

30 Bond Street

Ward Hill, MA 01835-8099

Tel: 800-343-0660

Fax: 800-322-4757

Email: tech@alfa.com

www.alfa.com

Information Department: Health, Safety and Environmental Department

Emergency telephone number:

During normal business hours (Monday-Friday, 8am-7pm EST), call (800) 343-0660. After normal business hours, call Carechem 24 at (866) 928-0789.

2 Hazard(s) identification
Classification of the substance or mixture in accordance with 29 CFR 1910 (OSHA HCS)


GHS02 Flame

Flam. Sol. 2, H228, Flammable solid.



GHS07

Eye Irrit. 2A H319 Causes serious eye irritation.

STOT SE 3 H335 May cause respiratory irritation.

Hazards not otherwise classified No information known.

Label elements
GHS label elements: The product is classified and labeled in accordance with 29 CFR 1910 (OSHA HCS)

Hazard pictograms


GHS02 GHS07

Signal word: Warning

Hazard statements

H228 Flammable solid.

H319 Causes serious eye irritation.

H335 May cause respiratory irritation.

Precautionary statements

P210 Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces. No smoking.

P261 Avoid breathing dust/fume/gas/mist/vapors/spray

P280 Wear protective gloves/protective clothing/eye protection/face protection.

P305+P351+P338 If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

P405 Store locked up.

P501 Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations.

WHMIS classification

B4 - Flammable solid

D2B - Toxic material causing other toxic effects


Classification system
HMIS ratings (scale 0-4)
(Hazardous Materials Identification System)

HEALTH	1	Health (acute effects) = 1
FLAMMABILITY	2	Flammability = 2
PHYSICAL HAZARD	1	Physical Hazard = 1

Other hazards
Results of PBT and vPvB assessment

PBT: Not applicable.

vPvB: Not applicable.

3 Composition/information on ingredients
Chemical characterization: Substances

CAS# Description:

7440-50-8 Copper

 Concentration: $\leq 100\%$
Identification number(s):

EC number: 231-159-6

 USA
 (Contd. on page 2)

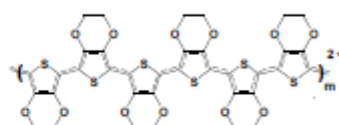
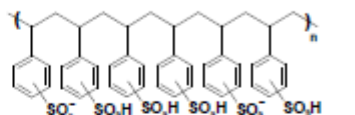
Heraeus

CONDUCTIVE POLYMERS DIVISION

 Number 81076210
 Issue 2013-02-04

CLEVIOS™ PH 500

Chemical Formula



Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate)

Description of Product Aqueous dispersion, blue liquid.

Synonyms / Abbreviations PEDT / PSS, PEDOT / PSS

Physical Characteristics¹

	Min		Max	Unit
Solid content	1.0	-	1.3	%
Specific conductivity*	300			S/cm
Viscosity	8	-	25	mPas

*After the addition of 5% Dimethyl sulfoxide. Measured on the dried coating.

Technical Data (guide values, not a specification)

Form	liquid
Odour	odourless
Colour	dark blue
PEDOT:PSS ratio	1:2.5 (by weight)
pH	1.5 – 2.5 at 20°C
Density	1 g/cm ³ at 20°C
Boiling Point	approx 100°C

1) Information on test methods is available on request.

1/2

Karta charakterystiky substancji GO

FL-GO

Skład:

Grafit syntetyczny CAS No.: 7782-42-5

Zawartość węgla: ok 45%

Zawartość tlenu: ok 47%

Zawartość wodoru: mniej niż 2%

Zawartość azotu: ok. 0,1 – 0,2% wag.

Zanieczyszczenia nieorganiczne: tlenek manganu, siarczany – mniej niż 0,1% wag.

Popiół: mniej niż 0,1 %wag

Właściwości fizykochemiczne:

Postać i kolor: wodna zawiesina koloru brązowo-czarnego (zależnie od stężenia i utlenienia GO) lub proszek koloru brązowego-czarnego (zależenie od stopnia utlenienia GO)

Wartość pH: 5-7

Punkt wrzenia: ok. 420 °C

Punkt topnienia: ok. 365 °C

Gęstość nasypowa: 0,08-1,5 g/cm³

Temperatura zapłonu: brak danych

Rozpuszczalność w wodzie: praktycznie nierozpuszczalny

Zapach: bezzapachowy

Właściwości utleniające, redukujące: nie ma

Wpływ na środowisko (ekotoksyczność): preparat nie powinien wykazywać właściwości toksycznych zagrażających środowisku naturalnemu

Produkt nie jest niebezpieczny: w małych ilościach może być składowany na składowiskach śmieci lub niszczone na drodze spopielenia.

Stabilność: rozkład termiczny lub spalanie powoduje wydzielenie tlenku węgla (CO) i ditlenku węgla (CO₂)

**FICHEMA**Terasová 18, 616 00 Brno, Tel.: 511 146 588, 776 300 380
e-mail: info@fichema.com, www.fichema.cz, IČ: 01541676BEZPEČNOSTNÍ LIST podle
nařízení (ES) č. 1907/2006 (REACH),
(ES) č. 1272/2008, (ES) č. 453/2010
Datum poslední revize: 26.9.2017**BEZPEČNOSTNÍ LIST****Krystalický grafit****ODDÍL 3. SLOŽENÍ / INFORMACE O SLOŽKÁCH****3.1 Látky**

Krystalický grafit
Číslo CAS: 7782-42-5
Číslo ENINECS: 231-955-3
Přírodní uhlík s obsahem v hm.% 60 – 99,5.

3.2 Směsy**ODDÍL 4. POKYNY PRO PRVNÍ POMOC****4.1 Popis první pomoci**

Při manipulaci dodržovat pracovní hygienu, používat stanovené ochranné pomůcky, nejíst, nepít, nekouřit.

Při nadýchání:

Vyvedte postiženého na čerstvý vzduch.

Při styku s kůží:

Při kontaktu s pokožkou není nutné provádět zásadní opatření. Postačí opláchnout vodou, umýt mýdlem.

Při zasažení očí:

Krátce opláchněte vodou. V případě podráždění, konzultujte s lékařem.

4.2. Nejdůležitější akutní a opožděné symptomy a účinky

Žádné

4.3. Pokyn týkající se okamžité lékařské pomoci a zvláštního ošetření.

Žádné

ODDÍL 5. OPATŘENÍ PRO HAŠENÍ POŽÁRU**5.1 Hasiva**

Vhodná hasiva: Všechny známé hasící prostředky mohou být použity.

Nevhodná hasiva:

Nehořlavá látka