

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

VLIV PARAMETRŮ DISPERGACE PLNIVA NA VLASTNOSTI
NÁTĚROVÝCH HMOT

Autor: Bc. Pavla Tesaříková

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

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

Konzultant: Ing. Michal Zoubek

PRAHA 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Tesaříková** Jméno: **Pavla** Osobní číslo: **419847**
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:

Vliv parametrů dispergace plniva na vlastnosti nátěrových hmot

Název diplomové práce anglicky:

The influence of filler dispersion parameters on the paints properties

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor problematiky nátěrových hmot
- 2) Dispergační zařízení v technologii výroby nátěrových hmot
- 3) Vliv parametrů dispergace plniva na vlastnosti nátěrových hmot
- 4) Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

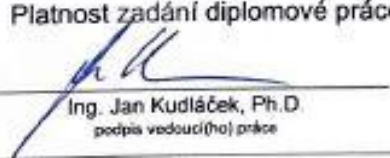
Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS


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


Datum zadání diplomové práce: **31.10.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2019**


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


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

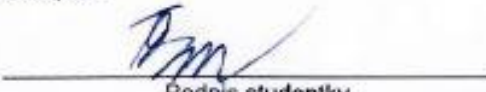

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna 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.

8.1.2019

Datum převzetí zadání


Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Vliv parametrů dispergace plniva na vlastnosti nátěrových hmot* vypracovala samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího a konzultanta diplomové práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uvedena jako její spoluautor.

Dne.....

Podpis ...

Poděkování

Ráda bych poděkovala za vedení mé diplomové práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. a za cenné rady konzultantovi Ing. Michalu Zoubkovi. Dále děkuji prof. Ing. Tomášovi Jiroutovi, Ph.D. za umožnění přípravy nátěrových hmot na zařízení Ústavu procesní a zpracovatelské techniky ČVUT v Praze. V neposlední řadě bych ráda poděkovala Ing. Haně Hrdinové za vytvoření snímků na konfokálním mikroskopu.

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

Abstrakt

Cílem práce je zjistit, jakým způsobem ovlivní parametry dispergace výsledné vlastnosti povlaku. Teoretická část diplomové práce je zaměřena na problematiku nátěrových hmot, povlaky se speciálními vlastnostmi a dispergační zařízení, které se využívá v technologii výroby nátěrových hmot. V rámci experimentální části bylo vytvořeno několik variant nátěrových hmot odlišujících se v parametrech dispergace. Následně byly vytvořeny povlaky, které byly porovnány z několika hledisek. Sledovanými vlastnostmi byly elektrická vodivost, přilnavost povlaku, tloušťka povlaku, odolnost povlaku při zvýšené vlhkosti, lesk a morfologie povrchu. V závěru práce bylo provedeno zhodnocení nátěrových hmot z technicko – ekonomického hlediska.

Klíčová slova

Nátěrová hmota, uhlíkové nanotuby, dispergace, povlak

Abstract

The aim of this thesis is to determine how dispersion parameters influence the final properties of a coating. The theoretical section focuses on the issue of paints, as well as coatings with special properties and dispersing equipment used in coating technology. Within the experimental part, several variants of paints were created with differing dispersion parameters. Subsequently, coatings are created which are then compared on the basis of several factors. These observed properties were electrical conductivity, coating adhesion, thickness, coating resistance at elevated humidity, gloss and surface morphology. The last part of this thesis is an evaluation of the coatings from both a technical and economic perspective.

Key words

Paint coatings, carbon nanotubes, dispersion, coating

Obsah

1. ÚVOD.....	9
2. NÁTĚROVÁ HMOTA	10
2.1 Složení nátěrových hmot.....	10
2.1.1 Filmotvorné látky.....	10
2.1.2 Pigmenty	10
2.1.3 Plniva	13
2.1.4 Těkavé složky	13
2.1.5 Aditiva	14
2.2 Vývoj nátěrové hmoty.....	14
2.3 Vybrané druhy nátěrových hmot.....	15
2.3.1 Alkydové nátěrové hmoty.....	15
2.3.2 Epoxidové nátěrové hmoty	16
2.3.3 Chlorkaučukové nátěrové hmoty	16
2.3.4 Polyuretanové nátěrové hmoty	16
2.3.5 Vodou ředitelné nátěrové hmoty.....	16
2.3.6 Nátěrový systém	18
2.4 Technologie nanášení nátěrových hmot.....	18
2.4.1 Ruční nanášení nátěrových hmot.....	19
2.4.2 Nanášení nátěrových hmot pneumatickým stříkáním.....	20
2.4.3 Vysokotlaké nanášení nátěrové hmoty	22
2.4.4 Nanášení nátěrové hmoty v elektrostatickém poli	22
2.5 Vady a defekty	22
3. POVLAKY SE SPECIÁLNÍMI VLASTNOSTMI.....	25
3.1 Elektricky vodivé povlaky	25
3.1.1 Tvorba statické elektřiny	25

3.1.2	Důležité pojmy a veličiny	26
3.1.3	Antistatické materiály	27
3.2	Hydrofobní povlaky	28
3.3	Nanoplňiva	30
3.3.1	Uhlíkové nanomateriály.....	30
3.3.2	Nanočástice TiO ₂	33
3.3.3	Nanočástice stříbra.....	34
4.	METODY DISPERGACE	35
4.1	Rotační míchadla.....	37
4.2	Míchadlo stator-rotor	39
4.3	Visco jet	40
4.4	Dispergace ultrazvukem.....	41
4.5	Disolvery	41
4.6	Kulové mlýny.....	42
4.7	Válcové třecí stroje	43
5.	PRAKTICKÁ ČÁST	44
5.1	Příprava vzorků	44
5.2	Charakteristika použitých produktů	44
5.2.1	CP 55.....	44
5.2.2	AQUACYL 0301	44
5.3	Příprava nátěrové hmoty	45
5.4	Dispergační zařízení.....	45
5.5	Parametry dispergace	47
5.6	Porovnávání varianty	47
5.7	Aplikace nátěrové hmoty	48
5.8	Měření vlastností povlaku	49
5.8.1	Tloušťka.....	50

5.8.2	Lesk.....	51
5.8.3	Mřížková zkouška.....	54
5.8.4	Zkouška křížovým řezem.....	55
5.8.5	Zkouška hloubením.....	56
5.8.6	Elektrická vodivost	57
5.8.7	Povrchová struktura	63
5.8.8	Zkoušky odolnosti proti vlhkosti (kondenzační zkouška)	70
6.	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	81
7.	ZÁVĚR.....	83
8.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	84
9.	ZDROJE OBRÁZKŮ	90
10.	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	94
11.	SEZNAM TABULEK	96
12.	SEZNAM GRAFŮ	97
13.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	98
14.	SEZNAM JEDNOTEK.....	99
15.	PŘÍLOHA	100

1. ÚVOD

Nátěrové hmoty jsou jedním z nejrozšířenějších způsobů povrchových úprav. Je to způsobeno především díky snadné tvorbě povlaku, dostupnosti potřebného vybavení v kombinaci s vysokou odolností výsledných povlaků vůči okolnímu prostředí. V dnešní době dochází k vývoji nátěrových hmot tak, aby byly získány nové funkční vlastnosti, jako jsou například zvýšená vodivost povlaku, ošetrivost, samočistící schopnost povlaku apod. Pro získání specifických vlastností se upravuje složení nátěrové hmoty. Tyto vlastnosti ovlivňuje nejen výběr plniva, matrice a jejich množství, ale také způsob a parametry dispergace.

Cílem práce je v první řadě popsat a porovnat různé metody dispergování s odlišnými parametry dispergace a dále porovnat výsledné vlastnosti povlaku. V rámci této práce jsou přidávány vícestěnné uhlíkové nanotuby do vodou ředitelné nátěrové hmoty a dispergovány pomocí zařízení stator-rotor a ultrazvukového homogenizátoru. Přidáním vícestěnných uhlíkových nanotub se očekává zvýšení elektrické vodivosti, potažmo získání antistatických vlastností. Sledované vlastnosti povlaku jsou: elektrická vodivost povlaku, odolnost vůči odlupování a vytváření prasklin, porovnání lesku a také odolnost vůči zvýšené vlhkosti.

2. NÁTĚROVÁ HMOTA

Nátěrové hmoty mají dlouhou historii. Před mnoha tisíci lety lidé vytvářeli nástěnné malby v jeskyních, za pomoci různých materiálů, ze kterých připravovali barvu. Nátěrovou hmotou se obecně označuje „kapalné pojivo, v němž jsou suspendovány pevné částice anorganických nebo organických produktů, známých jako pigmenty.“ [1] Povlak z nátěrové hmoty převážně chrání vůči vlivům okolního prostředí bariérovým způsobem. [2]

2.1 Složení nátěrových hmot

Nátěrové hmoty se skládají z několika složek, počet se odhaduje kolem tisíce, ale hlavní složky nátěrových hmot se dají rozdělit do několika základních skupin: filmotvorné složky, pigmenty, plniva a barviva, dále těkavé složky a v neposlední řadě ostatní přísady (aditiva). V dnešní době je kladen důraz na ekologické hledisko. Je důležité, aby byly nátěrové hmoty fyziologicky nezávadné a netoxické. [2]

2.1.1 Filmotvorné látky

Mezi filmotvorné látky se řadí pojiva a též změkčovadla. Jedná se především o netěkavé organické látky, které po zaschnutí vytváří kompaktní souvislý film. Jsou podstatnou částí nátěrové hmoty, která hlavně ovlivňuje tvorbu nátěrového filmu. S tím souvisí životnost a účinnost nátěru. Odolnost vůči vnějšímu prostředí určují chemické vazby obsažené v pojivu a změkčovadle. Polární vazby ve filmotvorných látkách určují např. přilnavost. [5]

Filmotvorné látky jsou zejména vysychavé oleje (rostlinné, živočišné nebo syntetické), přírodní pryskyřice (kalafuna, kopál, šelak), deriváty kaučuku (chlorovaný kaučuk, cyklizovaný kaučuk), asfalty (přírodní, nebo získané zpracováním ropy) a syntetické pryskyřice (alkydy, epoxidy, vinylové polymery, polyadiční pryskyřice atd). [6]

Jak již bylo výše zmíněno, mezi filmotvorné látky se řadí také změkčovadla. Jedná se o viskózní až tuhé látky, které samotně nezasychají a nevytvářejí tuhý film, ale nabobtnávají nebo rozpouští filmotvorné složky. Napomáhají tak získat lepší vlastnosti nátěru, zejména pokud jde o pružnost a vláčnost při současném potlačení vysoké křehkosti a tvrdosti. [6]

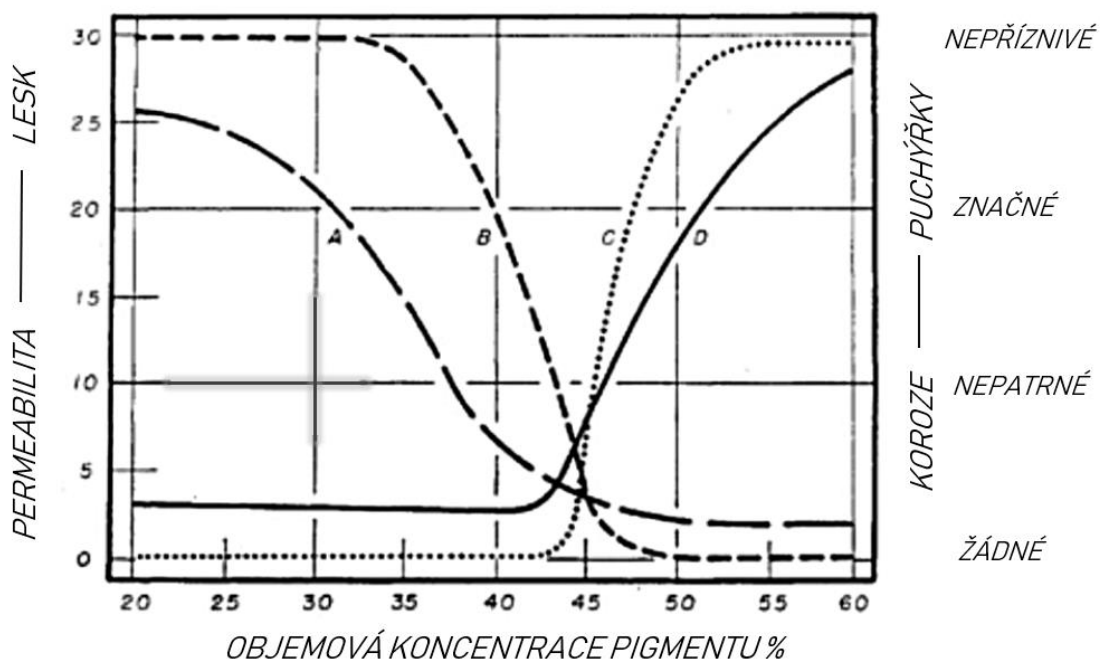
2.1.2 Pigmenty

Pigmenty jsou látky anorganického nebo organického původu, které dodávají zbarvení a kryvost nátěrovému filmu. Významnou vlastností pigmentů je jejich kryvost, kterou ovlivňuje index lomu. Bílé pigmenty mají rozmezí indexu lomu mezi 1,65 až 2,7 a jsou

označovány za kryvé pigmenty. [1] Další důležitou vlastností je také světlostálost. Účinkem UV záření mohou některé organické pigmenty měnit svůj odstín, často dochází k vyblednutí, a naopak u anorganických pigmentů může docházet k tmavnutí. Pigmenty tudíž ovlivňují celkové vlastnosti a možnosti užití nátěru. [2] Pigmenty jsou prakticky nerozpustné a vytvářejí s pojivem heterogenní směs. Ve většině případů je požadováno, aby byl pigment co nejméně rozpustný, a to i za vyšších teplot. Je-li pigment částečně rozpustný, může měnit fyzikální vlastnosti nátěrové hmoty. Anorganickými pigmenty jsou nejčastěji oxidy a sulfidy kovů, soli olova, sloučeniny cadmia a rtuti a uhlíkové černě. V praxi je možné se setkat s anorganickými pigmenty častěji než s organickými pigmenty z důvodu nižší ceny. [4]

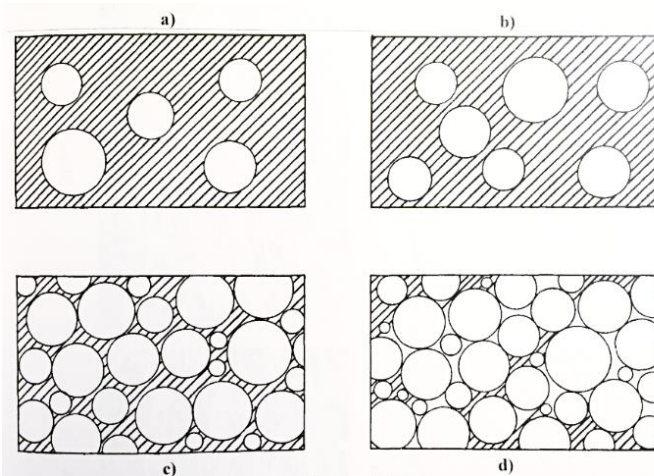
Pigmenty se dají rozdělit do tří hlavních skupin podle chování v korozním prostředí. První skupinou jsou **inhibiční** pigmenty (suřík olovnatý, zinková žlut', zinkový prach, olovičitan divápený, atd.), které napomáhají korozi zpomalit. Další skupina průběh koroze neovlivňuje, jedná se o **neutrální** pigmenty (chroman olovnatý, titanová běloba, oxid železitý, slída, atd.). Poslední skupina pigmentů urychluje korozní proces a nazývá se **stimulující** (grafit, saze, některé oxidy železa). [5]

Jedním z nejdůležitějších parametrů nátěrových hmot je objemová koncentrace pigmentů, která se označuje zkráceně OKP nebo PVC z anglického názvu Pigment Volume Concentration. Definice objemové koncentrace pigmentů je „*objemový podíl pigmentů v konečném suchém filmu.*“ [1] V roce 1949 zaznamenali vědci Asbeck a Van Loo, že existuje kritická objemová koncentrace pigmentů (KOKP). Při tomto kritickém objemu se skokově mění vlastnosti výsledného povlaku, jako je např. odolnost proti vzniku korozních produktů, permeabilita, lesk, tvrdost, paropropustnost nátěrových filmů, kryvost a tvorba puchýřků. Průběh některých vlastností zaschlého nátěru podle Asbecka je znázorněn na obrázku 1. [1]



A – lesk, B – tvorba puchýřků, C – tvorba korozních produktů, D – permeabilita
 Obrázek 1 - Vliv OKP na vybrané vlastnosti (zdroj: Asbeck a Loo, 1949)

Kritická koncentrace se samozřejmě liší podle použitého pigmentu. Nad KOKP dochází k tomu, že prostor mezi částicemi pigmentů není vyplněn pojivem, nýbrž vzduchem (Obrázek 2d). V důsledku vzduchových kapes se skokově mění vlastnosti. Snižuje se lesk, pevnost v tahu vznikají puchýřky na povrchu nátěru, dochází k podkorodování, zvyšuje se propustnost vodní páry atd. Na obrázku 2 jsou vyobrazeny fáze zvyšování OKP v systému pigment-pojivo. Na obrázku 2a je nejmenší OKP. [1]



Obrázek 2 - Poměr objemů pigmentů a pojiva při zvyšování OKP
 (zdroj: Kalendová a Kalenda, 2004)

2.1.3 Plniva

Plniva jsou buď přírodní, nebo syntetické látky, jejichž hlavním cílem je dosažení požadované objemové koncentrace pevných látek (plniv a pigmentů) v nátěrové hmotě. Vylepšují také vlastnosti nátěrových hmot. Dokáží zvýšit pevnost, tvrdost, odolnost proti korozi atd. Od plniva se tedy očekává, že má dobrou dispergovatelnost a smáčivost při aplikaci do systému, je chemicky inertní, netoxický, nehořlavý, teplotně stálý, má nízký obsah nečistot, nízkou navlhavost atd. Rozhodující faktor při volbě je dostupnost a cena. Také se často přidávají pro snížení ceny nátěrové hmoty. Obvykle používané plnivo je například kaolin, mastek (křemičitan hořečnatý s různými příměsemi), těživec (síran barnatý), uhličitan vápenatý aj. Plniva se oproti pigmentům vyznačují nižší kryvostí a mají index lomu menší než 1,7. [2] [3]

2.1.4 Těkavé složky

Těkavými složkami jsou myšlena ředidla a rozpouštědla, která umožňují nanesení nátěrové hmoty. Po zaschnutí nátěrové hmoty je požadováno, aby těkavé složky byly obsaženy v co možná nejmenším množství. Výskyt i malého množství těkavých složek výrazně zhoršuje výsledné vlastnosti nátěrové hmoty. [5]

Rozpouštědla jsou kapalné organické sloučeniny, které rozpouštějí oleje, tuky, vosky, přírodní a syntetické pryskyřice a upravují tekutost nátěrových hmot. Rozpouštědla jsou nedílnou součástí nátěrových hmot, a také jsou obsažena i ve většině vodou ředitelných nátěrových hmot. Platí u nich, že obsah organických rozpouštědel by neměl přesáhnout 10 %. V praxi je obvyklý 3 % obsah rozpouštědel ve vodou ředitelných nátěrových hmotách. [2] Rozpouštědla se volí na základě rozpustnosti filmotvorných složek. Mezi nejčastěji používaná rozpouštědla se řadí terpentýnová silice, lehký benzín, toluen, benzen, ethylalkohol, ethylacetát, aceton. [6]

Rozpouštědla se dají rozdělit do dvou skupin podle vlastní rozpouštěcí schopnosti, a to na pravá a nepravá. Pravá rozpouštědla dokáží dokonale rozpouštět filmotvorné látky nátěrových hmot. Nepravá rozpouštědla tuto vlastnost nemají a jsou schopná rozpouštět filmotvornou látku pouze za předpokladu přítomnosti pravého rozpouštědla. [7] Nepravá rozpouštědla jsou často podstatně levnější než pravá rozpouštědla. Při kombinaci pravých a nepravých rozpouštědel je nutné obezřetně volit. Platí pravidlo, že pravá rozpouštědla musí mít vyšší bod varu a menší odpařivost než nepravá, aby se při zasychání dříve odpařilo nepravé rozpouštědlo a nezpůsobilo rozdělení nátěrové hmoty.

Ředidla se nazývají rozpouštědla nebo jejich směsi, které mají za úkol snížit viskozitu nátěrové hmoty pro snadnější aplikaci. [2]

2.1.5 Aditiva

Z důvodu vysokých požadavků na nátěrové hmoty, se v poslední době stávají nedílnou součástí aditiva (přídavné látky), která upravují technologické a fyzikální vlastnosti nátěrových hmot, například zlepšují a urychlují dispergace pigmentů. Aditiva dále zabraňují pění nátěrových hmot, snižují usazování pigmentů, zamezují tvoření škraloupů v plechovkách atd. Přidáním aditiv je možné dosáhnout vyšší odolnosti nátěru proti povětrnostním vlivům a mikroorganismům. Je důležité dodržovat přesné dávkování, jelikož již malé množství může mít extrémní účinnost. Obvykle jsou aditiva zastoupena v nátěrové hmotě od desetin procent do jednoho procenta. [2] [1]

Vlastní skupinu aditiv tvoří smáčedla. Dispergovatelnost částic (hlavně pigmentů a plniv) silně souvisí se smáčecími vlastnostmi jednotlivých částic. Smáčedla se používají tehdy, nemá-li pojivo dobré smáčecí schopnosti (např. alkydové pojivo). Pojem rychlost smáčení lze vyjádřit jako *„rychlost s jakou je vytěšňován z povrchu pevných částic pigmentů absorbovaný vzduch a vlhkost.“* [1] Smáčecí aditiva jsou povrchové aktivní látky, které snižují povrchové a mezipovrchové napětí, a napomáhají tak k lepšímu a rychlejšímu smáčení povrchu částic. Dále zajišťují, aby vzniklá disperze byla stabilní. [1]

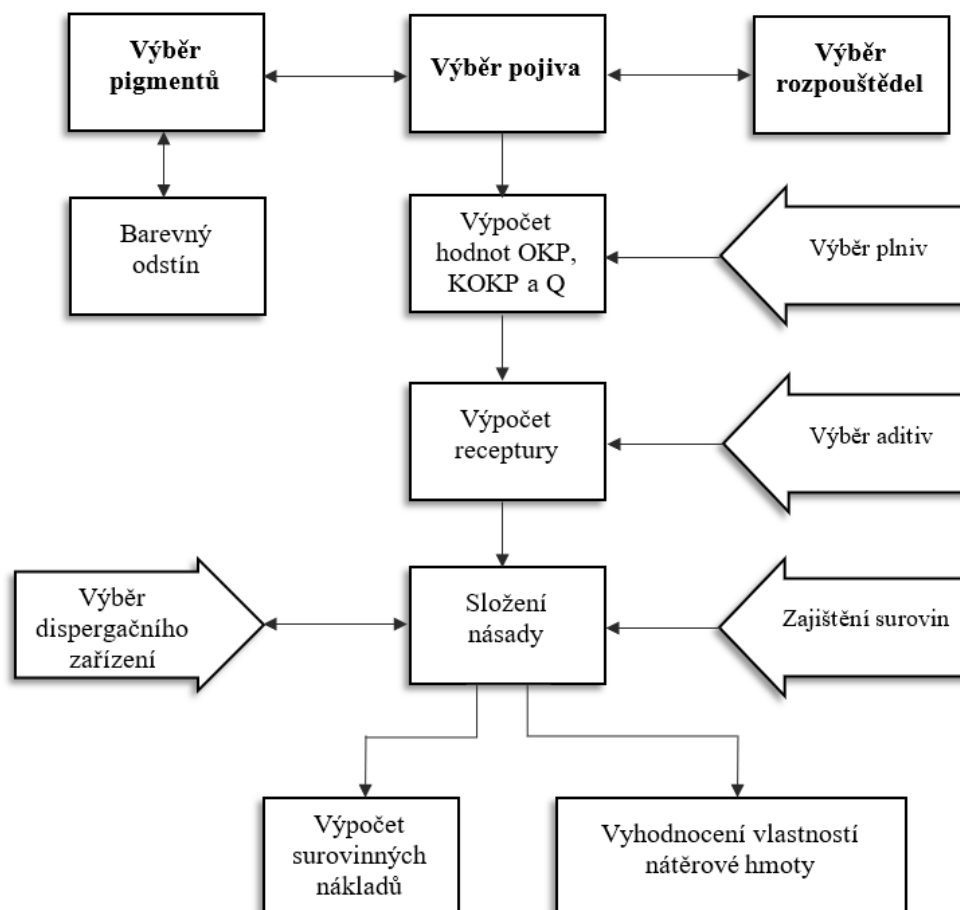
2.2 Vývoj nátěrové hmoty

Při vývoji nových nátěrových hmot je důležité brát v potaz několik faktorů. Nejprve je třeba definovat výsledné požadavky na nátěrovou hmotu, resp. povlak, např. pro jaké prostředí se bude aplikovat, způsob zasychání, zda se jedná o podkladovou bázi, email¹, nebo základní nátěrovou hmotu, a hlavně jaká je přijatelná cena. Schéma postupu tvorby a ovlivňujících faktorů je naznačeno na obrázku 3. Nejprve se zvolí vhodná kombinace – pojivo, pigment a rozpouštědla. Pigment se vybírá s ohledem na požadovaný barevný odstín, kryvost a index lomu. Další krok je výpočet objemové koncentrace pigmentu *OKP*, potažmo kritické hodnoty objemové koncentrace pigmentu *KOKP* a také kvocient nátěrové hmoty *Q*.

$$Q = \frac{OKP}{KOKP} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

¹ „Email je nátěrová hmota s nízkým obsahem pigmentů. V nátěrových systémech vytváří obvykle vrchní nátěr.“ [1]

Na základě vypočtených hodnot se vybere vhodné plnivo, aditivum a dispergační zařízení. Na závěr se provede propočet celkových nákladů a vyhodnocení vlastností nátěrové hmoty. [1]



Obrázek 3 - Schéma tvorby nátěrové hmoty (zdroj: Kalendová a Kalenda, 2004)

2.3 Vybrané druhy nátěrových hmot

V dnešní době je dostupné nepřehledné množství nátěrových hmot, jelikož dochází ke vzrůstajícímu rozvoji. Dají se rozdělovat např. podle pojivové báze, nebo v některém případě podle těkavé složky. [2]

2.3.1 Alkydové nátěrové hmoty

Alkydové pryskyřice se používají k výrobě syntetických nátěrových hmot. Tyto pryskyřice jsou nasycené větvené polyestery, které se vyrábí polykondenzací tří typů monomerů (Vícesytných alkoholů, polykyselin a mastných kyselin nebo olejů). [51] Často jsou v kombinaci s jinými pojivy, např. chlorovaným kaučukem, který napomáhá rychlejšímu

schnutí. Alkydové nátěrové hmoty jsou dobře odolné vůči vnějšímu prostředí a platí, že čím více olejové složky je obsaženo v alkydu, tím lépe odolává povětrnostním vlivům. [2] Alkydové materiály jsou rozděleny dle zasychání do dvou skupin – schnoucí na vzduchu a materiály vypalovací. [6]

2.3.2 Epoxidové nátěrové hmoty

Epoxidové pryskyřice jsou polymery syntetického původu. Epoxidy obsahují v molekule více než jednu epoxidovou skupinu. Důležitá pro výsledné vlastnosti je vytvrzovací složka. Přidáním tvrdidla dochází k sesíťování polymerů nevratnou chemickou reakcí. Jako tvrdidlo se často používá pryskyřice na bázi polyaminů. Před vytvrzením epoxidové pryskyřice připomínají svou konzistencí viskózní kapaliny. Epoxidové nátěry se často používají pro ochranu kovových povrchů před působením agresivních prostředí, jako jsou např. voda, pohonné hmoty, mazací a chladicí kapaliny používané při obrábění kovů atd. [2] [8]

2.3.3 Chlorkaučukové nátěrové hmoty

Chlorkaučukové nátěrové hmoty jsou založeny na bázi chlorovaného přírodního kaučuku nebo jejich derivátu. Tyto nátěry se vyznačují rychlým zasycháním a velmi dobře odolávají působení vody, roztokům soli, benzínu, ropným olejům, zředěným anorganickým kyselinám a hydroxidům. Špatně odolávají prostředí organických kyselin. [6]

2.3.4 Polyuretanové nátěrové hmoty

Obecně platí, že polyuretanové nátěrové hmoty mají vysokou odolnost vůči různým prostředím, především UV záření. Vyznačují se výbornými mechanickými vlastnostmi a vysokou chemickou odolností. Mezi další výhody se řadí možnost jejich aplikace při nízkých teplotách a vytvrzování vzdušnou vlhkostí. [9]

Často se polyuretanové hmoty používají jako vrchní vrstva u nátěrových systémů, kde je základní a podkladový nátěr na bázi jiného pojiva, nejčastěji epoxidové pryskyřice. Je to z ekonomických důvodů, protože epoxydové nátěrové hmoty jsou levnější než polyuretanové. [52] Své uplatnění mnohdy najdou v automobilovém průmyslu, dopravní technice, leteckém průmyslu. Používají se jako povrchová úprava kovů, plastů, dřeva atd. [9]

2.3.5 Vodou ředitelné nátěrové hmoty

Vodou ředitelná nátěrová hmota je dle normy ČSN EN ISO 4618 definována jako „*nátěrová hmota, ve které je hlavní složkou těkavého podílu voda*“. V poslední době získávají vodou ředitelné nátěrové hmoty velkou oblibu. Je to způsobeno především tím, že jsou kladeny

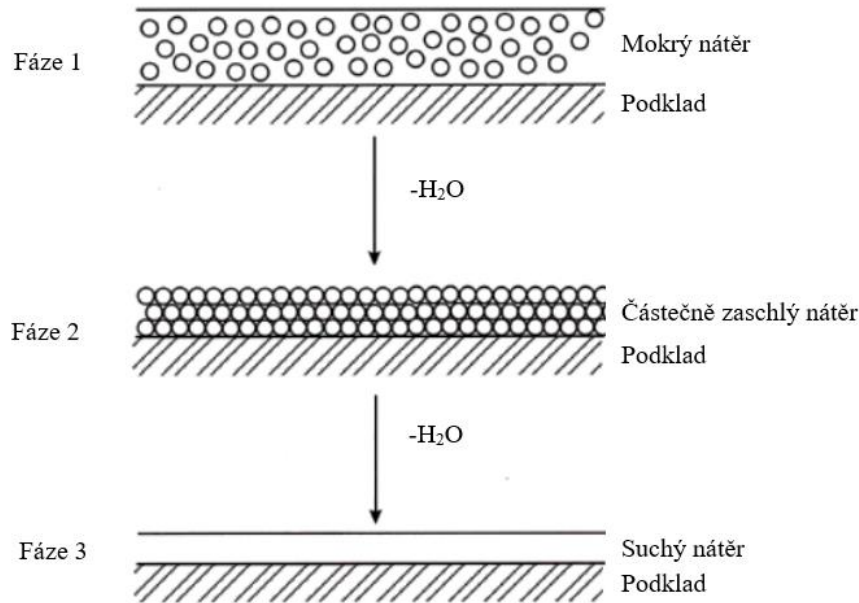
vyšší ekologické nároky a požaduje se vyšší šetrnost k životnímu prostředí. Je nutné splnit legislativní požadavky na množství emisí organických těkavých látek (VOC)². Přednostmi vodou ředitelných nátěrových hmot jsou eliminace nebezpečí požáru a výbuchu v lakovnách, snížení emisí organických těkavých látek a s tím spojené náklady na ventilaci pracoviště. Mezi další výhody se řadí rychlost zasychání, jednoduché čištění nástrojů a také, že jsou téměř bez zápachu. [9]

Princip, kdy se voda používá jako ředidlo je znám již mnoho let, ale v dnešní době pokrok spočívá především ve zhotovování nátěrové hmoty na bázi téměř všech pojiv. Vlastnosti pojiv jsou ovlivněny fyzikálně-chemickými parametry (skladba monoméru, velikost a morfologie částic, pH, povrchovým napětím atd.) [9] Pojiva mají charakter disperzní, emulzní nebo jsou jejich kombinací. Širší uplatnění mají disperzní systémy. Jako pojivo se často používají akrylátové pryskyřice. [2]

Mezi nevýhody se řadí nižší odolnost protikorozi ochrany, především v oblasti těžké koroze. Některé vodou ředitelné nátěrové hmoty vyvolávají vznik tzv. bleskové koroze, která vzniká velmi brzy po nanesení a během jeho zasychání. Vodou ředitelné nátěrové hmoty nedokáží plně nahradit často používané dvousložkové epoxidové a polyuretanové nátěry. [9] [2]

Na obrázku 4 jsou graficky znázorněny jednotlivé fáze zasychání a tvorby filmu nátěrové hmoty. V první fázi dochází k vypařování vody z povlaku. V další fázi vypařování pokračuje do doby, než se navzájem dotýkají jednotlivé částice a začnou se spojovat, tvoří tak částečně suchý film. Konečná fáze zahrnuje pokračující spojování a vytvrzování v zesíťovaném systému. Vzniká tak vytvrzený, suchý a přilnavý nátěrový film.

² VOC se rozumí „*jakákoli organická kapalina a/nebo pevná látka, který se samovolně vypařuje za normální teploty a tlaku atmosféry, se kterou je v kontaktu.*“ [16]



Obrázek 4 - Fáze zasychání u vodou ředitelných nátěrových hmot (zdroj: Lewarchik, 2015)

2.3.6 Nátěrový systém

Je možné se také setkat s pojmem nátěrový systém, tím se rozumí systém, který se skládá z několika nátěrů. Každý nátěr má svou důležitou funkci, celkově se tím získávají lepší ochranné vlastnosti. [3] Výrobce nátěrových hmot Hempel uvádí, že vhodný nátěrový systém se může skládat ze základního nátěru, mezivrstvy a vrchního nátěru. Nátěrová hmota vhodná pro použití základního nátěru může být nátěrová hmota s vysokým podílem zinkových částic. Pro mezivrstvu je vhodné použít např. epoxidovou nátěrovou hmotu a jako vrchní nátěr může být použita polyuretanová nátěrová hmota. Důležitá je nejen skladba nátěrů v nátěrovém systému, ale také tloušťky jednotlivých nátěrů. Pro výše uvedenou kombinaci nátěrů výrobce uvádí také minimální tloušťky nátěru. Základní nátěr by měl splňovat minimální tloušťku 60 μm , mezivrstva 100 μm a vrchní nátěr 60 μm . [50]

2.4 Technologie nanášení nátěrových hmot

Technologie nanášení nátěrových hmot skýtá mnoho možností, od nejdostupnějších ve formě ručního nanášení až po složitější, kdy je nátěrová hmota nanášená pomocí stříkacích pistolí. Běžně používané technologie nanášení jsou pomocí štětce, válečku, aplikátorů, dále pneumatickým stříkáním, vysokotlakým stříkáním, v elektrostatickém poli, máčením, poléváním atd. Je nutné brát v potaz množství, sériovost, možnost automatizace procesu, nároky na obsluhu, požadovanou kvalitu povlaku, druh nátěrové hmoty, náklady atd.

Vhodným výběrem technologie nanášení a dodržením správného technologického postupu se dá předejít značné části defektů. [5]

Dle normy ČSN EN ISO 8502-4:2017 platí, že ocelový povrch má mít teplotu o minimálně 3 °C vyšší, než je teplota rosného bodu. Jestliže je hodnota nižší, je vysoká pravděpodobnost vzniku kondenzace. Při vysoké relativní vlhkosti nad 85 % platí, že podmínky pro nanášení nátěrové hmoty jsou kritické, jelikož teplota rosného bodu nedosáhne minimální hodnoty rozdílu teplot povrchu od rosného bodu. Teplota rosného bodu je funkcí teploty vzduchu a jeho relativní vlhkosti, při konstantním atmosférickém tlaku 101 kPa. [54]

2.4.1 Ruční nanášení nátěrových hmot

Technologie ručního nanášení nátěrové hmoty je velice univerzální, snadná, s nejmenšími požadavky na vybavení, a vhodná tam, kde jiné výkonnější technologie nelze použít anebo se jiná technologie nevyplatí. Další výhodou jsou minimální ztráty. Při této technologii nanášení se dosahuje větší přilnavosti, protože dochází k zatlačení nátěrové hmoty do pórů. [5]

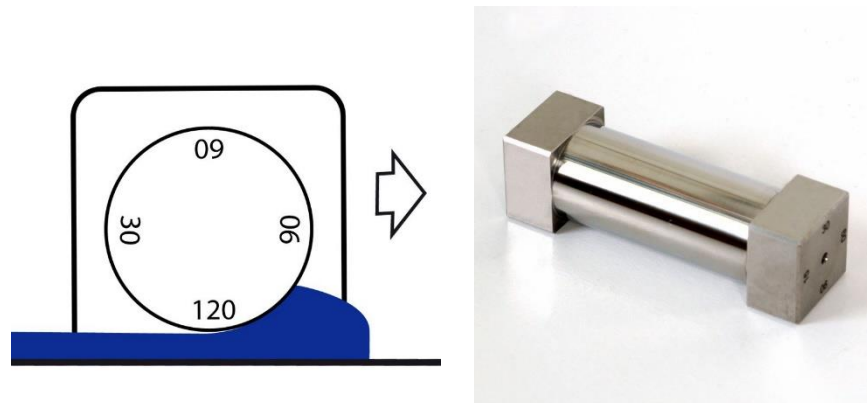
Nanášení štětcem a válečkem

Tato technologie patří mezi nejstarší způsob nanášení nátěrové hmoty, ale je stále často používaná, především díky jednoduchosti, univerzálnosti a malým nárokům na vybavení. Nevýhodou je nízká produktivita práce, maximální výkon je stanoven na 10-15 m².h⁻¹. Ve velkovýrobě se této metody využívá pouze ve špatně dostupných místech, při opravách a montážích. V dnešní době je k dostání téměř nepřeberné množství druhů štětců. Liší se tvarem, materiálem, délkou vlákna apod. Ve štětcu vznikají kapilární síly, díky nimž je možné udržet nátěrovou hmotu a následně nanést na požadovanou součást. Při přitlačení štětce se nátěrová hmota začne uvolňovat a dále je pod tlakem roztírána. Ideálně by se měla nátěrová hmota roztírat křížovým způsobem, to znamená, že nejprve by se měla nanést v jednom směru a bez dalšího namočení rozetřít ve směru kolmém. Další možností nanášení je pomocí válečku, při které se dosahuje se až dvojnásobné produktivity práce. Válečky mohou být ze syntetických vláken, plyšové, pěnové atd. Použití válečku je nevhodné pro rychleschnoucí nátěrové hmoty. [11]

Aplikátory

Další možností nanášení nátěrových hmot je pomocí aplikátorů. Využívají se často při zhotovování zkušebních vzorků či vyhodnocování rozlivu nátěrové hmoty. Aplikátory jsou natahovací pravítka, které umožní rovnoměrné nanesení nátěrové hmoty v přesné tloušťce,

pomocí štěrbininy s definovaným rozměrem. Vyrábí se v několika konstrukčních provedeních např. spirálové, válcové, hranolové. Existují také automatické aplikátory, které zamezují nepřesnostem vzniklých lidským faktorem. Na obrázku č. 5 je znázorněn princip válcového aplikátoru se čtyřmi aplikačními stranami o různé předdefinované tloušťce (rozměry v μm). Použití natahovacího pravítka je vhodné na hladký, rovný a relativně pevný povrch. [12] Natahovací pravítko bylo použito v praktické části.



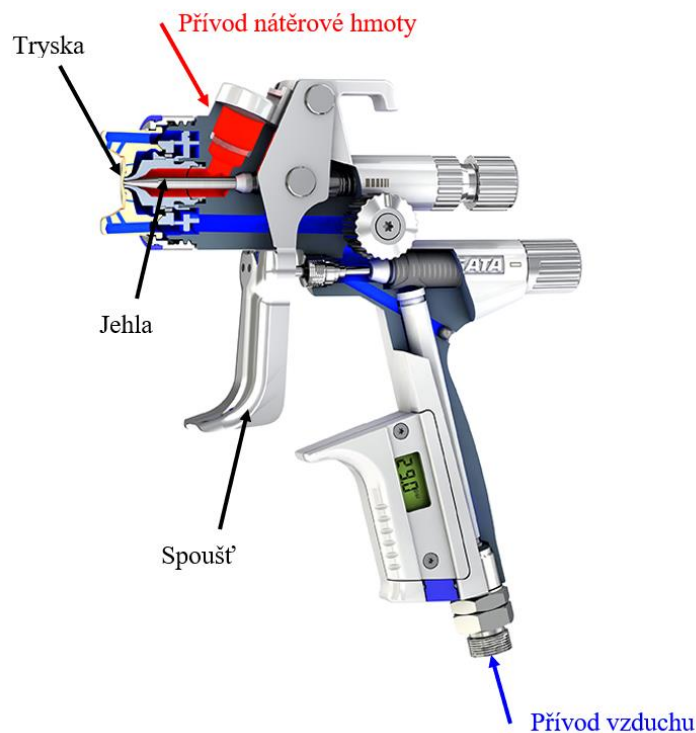
Obrázek 5 - Princip natahovacího pravítka (zdroj: Proinex, 2017)

2.4.2 Nanášení nátěrových hmot pneumatickým stříkáním

V dnešní době se jedná o jeden z nejpoužívanějších způsobů nanášení nátěrových hmot. Je to z důvodu vysoké produktivity práce (maximální výkon 40 až 65 $\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ při ručním a 200 $\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ při mechanizovaném způsobu nanášení), kvalitnímu povlaku, nízkých nároků na obsluhu přístroje a univerzálnosti. Tato technologie najde své uplatnění v sériové i v hromadné výrobě. Stříkání probíhá ve stříkacích kabinách stolového, podlahového nebo tunelového typu. Mezi nevýhody se řadí velké ztráty nátěrové hmoty způsobené přestříkem i ztráty rozpouštědla, jelikož je potřeba nízká viskozita. Další nevýhoda je v kladení vysokých hygienických a ekologických podmínek na provoz, je nutné implementovat účinné odsávání, filtraci a úpravu vzduchu ve stříkacích kabinách. [6]

Princip nanášení spočívá v rozprašování nátěrové hmoty pomocí stlačeného vzduchu. Nátěrová hmota může být v zásobníku na horní nebo dolní straně. Trysková soustava je tvořena hubicí, tryskou a jehlou. Tělem pistole prochází stlačený vzduch. Nátěrová hmota je vedena do trysky pistole a po uvolnění trysky vytéká ven, kterou dále strhává stlačený vzduch. Vytváří se tak kužel drobných kapiček nátěrové hmoty, které dopadají na stříkaný

předmět, kde se slévají v homogenní celek a vytváří tak souvislý film. Dávkování nátěrové hmoty se reguluje vysunutím jehly. [13]



Obrázek 6 - Řez pistole HVLP (zdroj: Lancashire Distribution, 2017)

Aplikace nátěrových hmot pneumatickým stříkáním se dělí do několika skupin podle technologického řešení pistole. Názvy jednotlivých technologií jsou odvozeny z anglických názvů a píší se ve zkratkách – HP (High Pressure), HVLP (High Volume Low Pressure), LVLP (Low Volume Low Pressure). Technologie se liší v použití provozního tlaku požadovaného objemu vzduchu, který musí kompresor vyrobit. Technologie HP, při které se využívá vysokého tlaku k nanesení nátěrové hmoty, je spíše na ústupu, jelikož má mnoho nedostatků především ve ztrátách nátěrové hmoty. Na druhou stranu je zařízení relativně levné. Lepším technologickým řešením, kde dochází k menším ztrátám nátěrové hmoty, je technologie HVLP. Pistole má konstrukci snižující vysoký tlak z kompresoru na výstupu. Nátěrová hmota tryská ven ve větším objemu a při nižší rychlosti, která umožňuje držení pistole blíže k lakovanému povrchu. Dochází tak k menším ztrátám (zhruba 35%) nátěrové hmoty. Tyto zařízení jsou mnohem dražší než vysokotlaké stříkací pistole, ale pokud se vezme v potaz úspora nátěrové hmoty, tato technologie může být cenově výhodnější. Nejmenších ztrát (cca 20%) nátěrové hmoty se dosahuje při použití

technologického řešení pistole LVLP, tedy využití nízké hladiny vzduchu a nízkého tlaku. Toto zařízení je ale nejdražší v porovnání s HP a HVLP. [13]

2.4.3 Vysokotlaké nanášení nátěrové hmoty

Vysokotlaké nanášení je též nazývané jako bezvzduchové nebo anglicky Airless. Hlavním rozdílem oproti pneumatickému stříkání je především ve způsobu přivádění nátěrové hmoty do trysky. Nátěrová hmota je rozprašována mechanickým způsobem s využitím tlaku (8 až 16 MPa), který působí na nátěrovou hmotu v ústí trysky. Je dosahováno vysoké rychlosti průtoku nátěrové hmoty tryskou. Jedná se tedy o velice produktivní metodu s maximálním výkonem $200 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$. Výhodou je snížený odraz nátěrové hmoty, který zapříčiní její úsporu až o 30 %. Dochází ke snižování spotřeby ředidel, jelikož je možné používat nátěrové hmoty o vyšší konzistenci. Oproti pneumatickému stříkání se tato technologie může aplikovat také na výrobky složitějších tvarů, které mají dutiny a prohlubně. [6] Je možné se také setkat s konstrukcí vysokotlaké pistole s podporou vzduchu, který ohraničuje paprsek nátěrové hmoty a tím snižuje ztráty na minimum. Výrobce uvádí, že přenosová účinnost dosahuje až 86 %. [14]

2.4.4 Nanášení nátěrové hmoty v elektrostatickém poli

Tato technologie využívá principu přitažlivosti dvou částic s rozdílným elektrickým nábojem. Nanášení nátěrové hmoty probíhá v prostoru elektrostatického pole, kde jsou nabitě částičky nátěrové hmoty rozprašovány a usměrňovány na povrch předmětu vlivem elektrostatických sil. Dochází tak ke snížení ztrát (5-25 %) nátěrové hmoty. Technologii je možné aplikovat jako ruční nebo automatizovaný způsob nanášení. [6]

2.5 Vady a defekty

Faktorů, které ovlivňují výsledné vlastnosti nátěrové hmoty, je mnoho. Některé z nich však mohou negativně ovlivnit nátěrový systém a projevují se jako vady a defekty. Mohou vznikat z několika důvodů, jako je například nedodržení správného technologického postupu, negativní vliv prostředí (vlhkost, teplota buď příliš nízká nebo vysoká atd.) a použití nevhodné nebo nekvalitní nátěrové hmoty. [15]

Praskání a odlupování

Při praskání se vytváří trhlinky v suchém nátěru. Nejprve se vytváří vlasové šupinky a později dochází k šupinkovému odlupování. [16]

Vznik puchýřků

Je definován jako „*konvexní deformace filmu, vznikající místním oddělením jedné nebo více vrstev povlaku.*“ [17] Puchýřky vznikají v místech, kde byla špatná přilnavost k podkladu nebo mezi jednotlivými vrstvami nátěrového systému. Mohou také signalizovat korozní napadení. Vznik puchýřků může způsobit nedostatečně suchý podklad, špatně odmaštěný povrch, na kterém mohly být zbytky rzi, prachu a nečistot. Vzduchové bubliny nebo těkavé látky obsažené v nátěrové hmotě se mohou uzavřít v nátěrové hmotě, a tak vznikají dutiny, kde se ve vlhkém prostředí začne hromadit voda. [2] [16]

Dolepování

Dolepování se projevuje tak, že po zaschnutí má film lepivý povrch. [17]

Vytékání

„*Vytváření úsad na povrchu filmu.*“ [17]

Krvácení

Vznikají nežádoucí skvrny a zbarvení důsledkem difuze barviv z podkladu do povlaku. [16]

Pěnění

Pěnění nátěru může způsobit vznik bublin v nátěrovém filmu během zasychání, které následně prasknou a vytvoří prolákliny (kráterky) na zaschlém nátěru. K pěnění nátěrové hmoty může dojít při příliš rychlém rozmíchání nebo protřepání nátěrové hmoty v obalu, dále použitím nekvalitní nátěrové hmoty. Příliš zředěná nátěrová hmota, rychlé nanášení válečkem nebo štětkou, může také způsobit pěnění nátěrové hmoty. [16]

Pomerančová kůra

Název defektu vznikl podle vzhledu filmu, který připomíná pomerančovou kůru. [16]

Ztráta adheze

Nutná podmínka pro dobrou korozní odolnost je výborná adheze mezi součástí a povlakem. Adhezi značně ovlivňuje předúprava povrchu. V průmyslových procesech se pro zlepšení přilnavosti často používají konverzní povlaky na bázi chromanů, fosforečnanů, Zr/Ti, silanů atd., které vytvářejí přechod mezi kovem a povlakem. [15]

Vrásnění

Vrásnění je definované jako „vznik vrásek ve filmu nátěrové hmoty v průběhu zasychání.“ [17] Může být zapříčiněn znečištěným základním povrchem, nanesením příliš silné vrstvy nátěrové hmoty. Nanášení nátěrové hmoty za příliš horkého nebo příliš chladného vlhkého počasí může způsobit rozdílné zasychání na povrchu než u podkladu. [16]

Křídování

Křídování je způsobeno oxidací vrchního nátěru. Vlivem UV záření dochází ke štěpení vazeb v polymerních řetězcích. Na pohled se projevuje menším leskem, změnou barevnosti a uvolňování pigmentů ze struktury nátěrové hmoty. Tento jev se pozná velice snadno, a to přejetím prstu po povrchu, kdy uvolněný pigment ulpí na prstu. Jedná se spíše o estetický problém. Větší stabilitu polymerů lze zajistit přidáním stabilizátorů, antioxidantů, absorbérů UV záření atd. [15]

3. POVLAKY SE SPECIÁLNÍMI VLASTNOSTMI

Povlaků se speciálními vlastnostmi je nepřeberné množství, tato kapitola je zaměřena na elektricky vodivé a hydrofobní povlaky.

3.1 Elektricky vodivé povlaky

Povlaky z nátěrových hmot jsou obecně nevodivé, ale v některých případech je třeba, aby byl povlak vodivý. Povlaky se zvýšenou vodivostí získávají antistatické vlastnosti, kterých se především využívá v provozech, kde hrozí nebezpečí způsobené elektrostatickým nábojem. Dále se od povlaku očekávají jiné funkční požadavky, jako je například protikoroze ochrana. [18] Elektrostatický náboj vzniká tam, kde dochází ke tření, oddělování, řezání, přesypání, rolování materiálů atd. Jedná se především o čerpací stanice pohonných hmot, papírenský průmysl, výrobu a zpracování plastů, lakovny, sušárny, doly, manipulace a balení výrobků, farmaceutický průmysl atd. [19] Elektrostatický výboj je také nežádoucí např. při výrobě integrovaných obvodů. Jednou z možností zamezení tvorby elektrostatického náboje je použití antistatických nátěrových hmot. [18] Přidáním vodivých částic se docílí toho, že nátěrová hmota eliminuje tvorbu statické elektřiny. Je možné se nejčastěji setkat s přidáním grafitu, uhlíkových sazí, uhlíkových vláken, kovových prášků a také stříbrných nanočástic. [20]

3.1.1 Tvorba statické elektřiny

Povrch látek je považován za speciální stav, je to způsobeno tím, že je narušena symetrie atomové mřížky, a tudíž dochází ke změnám v chování atomů a molekul na povrchu látky. [21] Na povrchu izolantů se nejčastěji vytváří náboj třemi způsoby, a to přímým kontaktem, ionizačním výbojem a triboefektem (třením). Pokud dojde ke vzájemnému kontaktu a tření dvou izolantů, dochází k nerovnovážnému stavu, který je charakterizován přebytkem nebo nedostatkem elektronů v povrchových vrstvách dotýkajících se těles. Po následném oddálení těchto těles se povrchy začnou nabíjet kladně nebo záporně. Základem pro vysvětlení náboje je Helmontzova teorie elektrické dvojvrstvy. Podle této teorie existuje na povrchu tuhých těles případně kapaliny elektrická dvojvrstva pozitivních a negativních nábojů, které jsou ve vzájemné rovnováze a na venek se jeví jako elektricky neutrální. Při dotyku dochází k přemísťování náboje skrz rozhraní na materiál s deficitem elektronů, přičemž jsou povrchy neustále v rovnováze. Avšak po oddálení povrchů se tato rovnováha naruší a jednotlivé materiály se stávají pozitivně a negativně nabitými. Velikost

náboje závisí na několika faktorech, např. na elektrické vodivosti, permitivitě, množství a hustotě kontaktních míst, rychlosti vzájemného pohybu těles, teplotě povrchu atd. [22]

3.1.2 Důležité pojmy a veličiny

Důležité veličiny a pojmy, které souvisí s problematikou elektrostatiky dle normy ISO ČSN EN 61 340-1 a EN 61340-2-3 jsou vysvětleny níže.

Antistatický

„Vlastnost materiálu, která brání nebo omezuje triboelektrické nabíjení.“ [23]

Antistatická přísada

Jedná se o takovou látku nebo proces použití, která sníží schopnost získávat náboj kontaktem nebo třením, nebo urychlí migraci náboje, čímž se sníží jeho schopnost uchovávat náboj při kontaktu se zemí. [23]

Elektrostatický výboj (ESD)

„Přenos náboje přímým kontaktem nebo průrazem z materiálu nebo z předmětu s odlišným elektrickým potenciálem vzhledem k nejbližšímu okolí.“ [23]

Izolant

„Materiál s velmi malou pohyblivostí náboje takovou, že libovolný náboj zůstane na povrchu po dlouhou dobu.“ Připojí-li se izolant k zemi, tak nedochází k lepší migraci náboje. [23]

Disipativní materiál

„Material, který dovoluje migraci náboje po povrchu a/nebo objemem v čase, který je dostatečně krátký ve srovnání s dobou trvání dějů, které vytvářejí náboje nebo které by mohly způsobit elektrostatický problém.“ [23]

Rezistance

Rezistance R (neboli elektrický odpor) je definovaná jako *„poměr stejnosměrného napětí (V) přiloženého mezi dva body a ustáleným proudem (A) mezi těmito dvěma body.“* [24]

Rezistance je vyjádřena v Ohmech [Ω]. [24]

Rezistance má rozsah hodnot až v 30 řádech, od kovů, které dosahují velice nízkých hodnot resistance až po dokonalé izolanty, které mají naopak hodnoty ve velmi vysokých řádech. [23]

Rezistivita

Rezistivita ρ je také známá pod pojmem měrný elektrický odpor a jedná se o fyzikální veličinu, která vyjadřuje elektrický odpor vodiče jednotkové délky (1 m) a jednotkového průřezu (1 m²). Rezistivita je charakteristická vlastnost materiálu a jedná se o materiálovou konstantu. Základní jednotkou je Ohm·m [$\Omega \cdot m$]. [25]

Povrchová rezistance R_s

„Poměr stejnosměrného napětí (V), přiloženého mezi dvě elektrody na povrchu vzorku a proudu (A) mezi elektrodami“ [24]

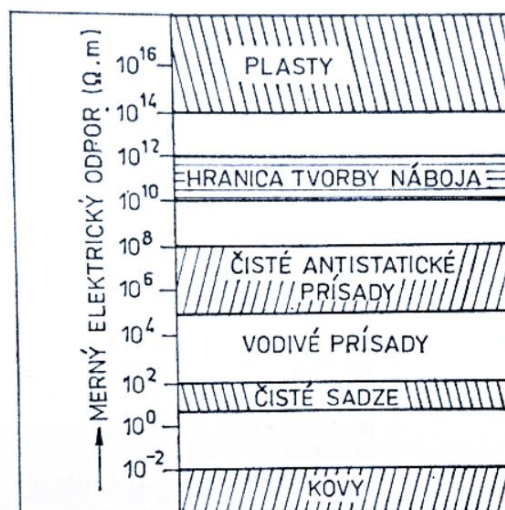
Povrchová rezistivita ρ_s

„Povrchová rezistivita je ekvivalent k povrchové rezistanci čtvercové oblasti, která má elektrody na dvou opačných stranách“ [24]

Norma upozorňuje na fakt, že v soustavě SI je jednotka povrchové rezistivity Ohm (Ω), ale někdy se označuje jako Ω/\square (ohm na čtverec), aby se rozlišily hodnoty rezistivity od hodnot rezistance. Norma však použití Ω/\square nedoporučuje, jelikož se může splést s rezistancí na jednotku plochy. [24]

3.1.3 Antistatické materiály

Důležitou veličinou pro posuzování antistatických látek je hodnota měrného elektrického odporu, respektive rezistivity. Na obrázku 7 je graficky znázorněno, jaké hodnoty měrného elektrického odporu dosahují jednotlivé materiály.



Obrázek 7 - Rozdělení materiálu podle hodnot měrného elektrického odporu.

(zdroj: Čaučík, 1985)

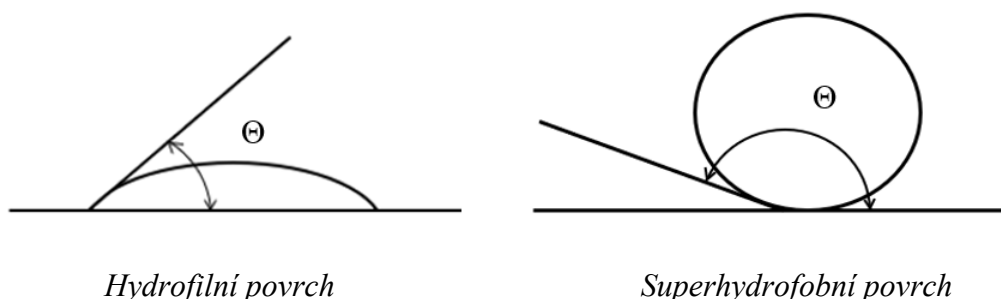
S použitím kritéria povrchové rezistivity (měrného elektrického odporu) se dají materiály rozdělit do několika skupin.

Tabulka 1 - Rozdělení materiálu podle povrchové rezistivity. [53]

Materiál	Povrchová rezistivita [Ω]
Vodivý	10^2 až 10^5
Disipativní	10^5 až 10^{11}
Izolační	$>10^{11}$

3.2 Hydrofobní povlaky

Do povlaků se speciálními vlastnostmi se dají zařadit superhydrofobní povlaky, které odpuzují vodu. Obecně platí, že tvar kapky potažmo úhel, který svírá s povrchem, se liší podle toho, na jakém povrchu se nachází. Superhydrofobní povrch se vyznačuje vysokým kontaktním úhlem Θ , který je větší než 150° (v některých literaturách je uváděn úhel 160°) a úhel skluzu kapek je menší než 10° . Kapky připomínají tvar kulatých korálků. Hydrofobní povrchy mají kontaktní úhel větší než 90° . Pokud je kontaktní úhel menší než 90° , jedná se o hydrofilní povrch. [27] [28]



Obrázek 8 – Hydrofilní a hydrofobní povrch

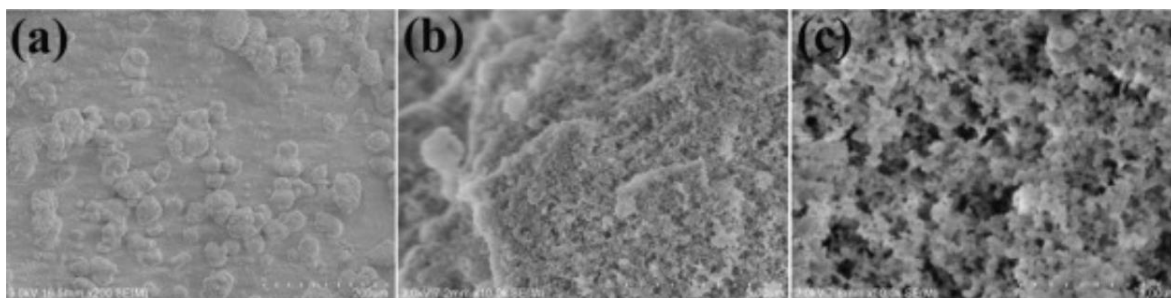
V přírodě se lze setkat se superhydrofobním povrchem např. na lotosovém listu, proto se používá název lotosový efekt. Přestože lotosové květy a listy vyrůstají z bahna, jsou neustále čisté a mají samočistící schopnost, což znamená, že povrch může odpuzovat znečišťující látky tím, že se vodní kapka odvalí a nabalí na sebe nečistoty. [27] Mikroskopem bylo zjištěno, že povrch lotosového listu obsahuje několik výčnělků o rozměrech $20\text{-}40\ \mu\text{m}$, z nichž je každý výčnělek pokryt drobnými voskovými jehlicemi. V poslední době tento jev přitahuje pozornost mnoha vědců, kteří zkoumají, jak by bylo možné tento povrch vyrobit. Superhydrofobní a samočistící povrch nachází uplatnění v oblastech samočistících oken,

venkovních nátěrech budov, solárních panelech, vodoodpudivých povlacích, které zvyšují korozní odolnost. [28]

Komerčně dostupný prostředek, který zajistí superhydrofobní povrch je např. produkt s názvem Ultra-Ever dry. Výrobce uvádí, že se jedná o superhydrofobní a olejofobní nátěr, který odpuzuje téměř všechny tekutiny na bázi vody a některé tekutiny na bázi olejů. Nátěr by měl zajistit suchý povrch objektů, samočistící schopnost, zvýšit korozivzdornost, zabránit tvorbě ledu v případě mrazu a obecně zvýšit životnost produktu. Ultra-Ever dry se nanáší např. pneumatickým stříkáním technologií HVLP. Výsledný povlak je tvořen dvěma vrstvami, základním povlakem a vrchním povlakem. Je nutné si zakoupit tedy dvě různé nátěrové hmoty. [29]

V roce 2016 byla vytvořena komplexní studie na mechanickou a chemickou odolnost nátěru Ultra-Ever dry. Nátěr byl nanesen na plech z nízkouhlíkové oceli a konkrétně byla zkoumána a testována morfologie povrchu, voděodolnost, odolnost vůči působení brusného papíru, korozní odolnosti a odolnosti v prostředí s různými pH. [30]

Snímky z mikroskopu ukázaly, že morfologie povrchu nátěru obsahuje výstupky většinou o velikosti 20-30 μm , Povrchy výstupků a prohlubní se skládaly z pórovitých nanočástic o velikosti ~ 20 nm. Tato struktura je typická pro superhydrofobní povrchy. [30]



a) malé přiblížení

b) větší přiblížení

c) větší přiblížení

Obrázek 9 - Snímky SEM Ultra-Ever dry nátěru

(Zdroj: Wang, Zhu, Li, Sheng, Hu a Yang, 2016)

Zkoušky prokázaly, že ztrátu superhydrofobní schopnosti může způsobit prostředí s $\text{pH} \geq 14$, solná mlha, mechanické působení brusného papíru a silný proud vody. Např. brusný papír zničil jak mikro, tak nano strukturu a silný proud způsobil ztrátu nanočástic na povrchu nátěru. Značně se změnil kontaktní úhel kapky a úhel skluzu kapky. Na druhou stranu studie prokázala, že povlak má vynikající vodoodpudivou vlastnost a antikorozi

účinek v neutrálním solném roztoku a roztoku o $\text{pH} < 12$, ačkoliv korozní odolnost je stále limitovaná póry v povlaku. [30]

3.3 Nanoplňiva

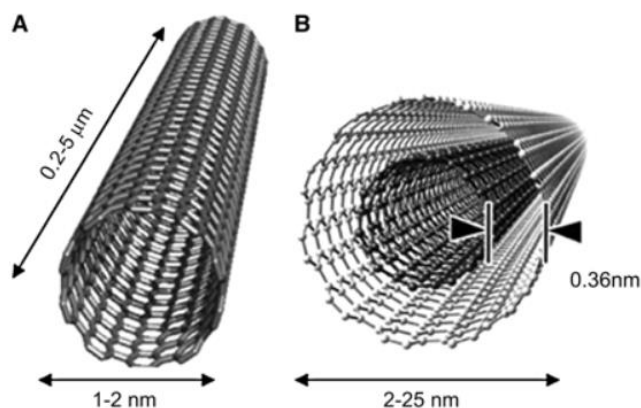
V dnešní době je soustředěna pozornost na oblast nanočástic, jelikož nabízejí nové vlastnosti a možnosti použití. V oboru nátěrových hmot je možné se setkat s nanočásticemi, nanovlákný, nanotrubicemi, nanotyčemi atd. Často se využívají uhlíkové nanomateriály, jako jsou uhlíkové nanotuby, fullereny, grafen, převážně díky extrémně vysoké pevnosti, tvrdosti, vynikající mechanické odolnosti, vodivým a elektrickým vlastnostem. Používají se také nanočástice např. stříbra pro své antibakteriální a antivirové účinky. Široké uplatnění mají také nanočástice oxidu titaničitého (TiO_2), které se využívají nejen jako bílé barvivo, ale také jako plnivo díky své chemické stálosti, hygienické nezávadnosti, samočistící schopnosti a také jeho ceně a dostupnosti.

3.3.1 Uhlíkové nanomateriály

Uhlík je základem všech organických sloučenin. Na zemi se vyskytuje jako patnáctý nejčastější prvek, a dokonce čtvrtým nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru. [35] Uhlíkové materiály jsou jedny z nejperspektivnějších nanomateriálů. Již v makroskopickém měřítku mají pozoruhodné vlastnosti. Jsou známy dvě krystalové formy uhlíku, a to grafit a diamant. Grafit dosahuje nejnižší hodnoty měrného elektrického odporu $1,2 - 36 \cdot 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$, zato diamant je jeden z nejtvrdších materiálů na světě, má schopnost vést výborně teplo a je izolant. S uhlíkovými nanočásticemi je možné se nejčastěji setkávat v podobě nanotub, fullerenů, grafenu. [31]

3.3.1.1 Uhlíkové nanotuby

Uhlíkové nanotuby se označují dle anglického názvu zkratkou CNT (Carbon Nano Tube). Uhlíková nanotuba se dá představit jako stočený grafénový list do válce, který se může rozdělit podle počtu stěn na jednostěnné SWNT (Single Wall Nanotube), dvoustěnné DWNT (Double Wall Nanotube) a vícestěnné MWNT (Multi Wall Nanotube). Uhlíkové nanotuby jsou velmi perspektivním materiálem, jelikož vykazují mnoho skvělých vlastností, např. vysokou pevnost v tahu (až 150 GPa), vysokou elektrickou a tepelnou vodivost, vysokou tepelnou odolnost. Vlastnosti se mění podle typu (počtu vrstev) a rozměru nanotuby. [31]



Obrázek 10 - Jednovrstvé a více vrstvé nanotuby (zdroj: Reilly, 2007)

3.3.1.2 Uhlíkové saze

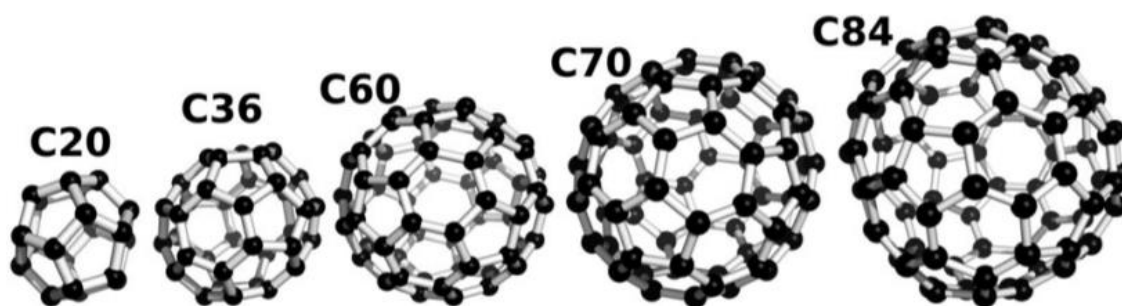
Jedná se o látky, které jsou tvořeny elementárním uhlíkem, mají méně uspořádanou strukturu než např. grafit. Musí však obsahovat minimálně 97 % amorfního uhlíku. Největší spotřebu saze má gumárenský průmysl, kdy se využívají jako výztuha a barvivo do pneumatik. Saze vznikají jako vedlejší produkt při procesu parciální oxidace, při procesu vznikají zhruba 2 hm % . [32]

Saze plní funkci stabilizátorů UV záření nebo upravují elektrickou, tepelnou a elektromagnetickou vodivost. Díky schopnosti vysoké pigmentace se také používají při výrobě tiskařských inkoustů, barev a laků. [32]

3.3.1.3 Fullereny

Fullereny jsou souhrnně označovány molekuly uhlíku, které vytváří sférický nebo elipsoidní tvar složený z uhlíkových vazeb prostorově uspořádaných do pětiúhelníků a šestiúhelníků. Fullereny byly objeveny v roce 1985 a název vznikl na počest amerického architekta Buckminstera Fullera, který se proslavil kulovými stavbami připomínající stavbu fullerenů.

Nejmenší velikost molekuly je o dvaceti uhlících C_{20} a největší zatím není definována. Byly objeveny molekuly, které se skládají i z tisíce uhlíkových atomů. Nejvýznamnější zástupce je fulleren o šedesáti atomech uhlíku C_{60} . Svou strukturou a tvarem připomíná fotbalový míč. Jedná se tak o nejsymetričtější fulleren, kde se vzdálenost jednotlivých atomů téměř rovná. Průměr molekuly je menší než 1 nm. Některé fullereny mohou vytvářet tzv. endohedrální molekuly, které uvnitř uzavřou jednotlivé atomy nebo i molekuly malých sloučenin. [31]



Obrázek 11 - Příklady tvarů fullerenů (zdroj: Huy a Li, 2014)

Fullerény mají obecně velmi pozoruhodné vlastnosti, za nejzajímavější lze považovat Fulleren C_{60} . Má vynikající mechanickou odolnost a pružně se odráží od ocelové podložky. Obsahuje-li fullerén C_{60} legující prvky v podobě alkalických kovů (např. K_3C_{60} , Cs_2RbC_{60}), dosahují výjimečných elektrických vlastností, konkrétně supravodivost. Supravodivý materiál přechází pod určitou tzv. kritickou teplotou do supravodivého stavu, který je charakterizován dvěma základními vlastnostmi. Nejprve představují téměř nulový odpor vůči průchodu elektrického proudu. Když je odpor roven nule, může elektrický proud proudit materiálem bez ztráty energie. Druhou vlastností je schopnost supravodiče vytěsnit magnetické pole ze svého objemu. [31] [33]

Nejrozšířenějším způsobem přípravy fullerenů je elektrickým výbojem střídavého nebo stejnosměrného proudu, který vzniká mezi rotujícími grafitovými elektrodami, které mají tvar tyčky o průměru 1-6 mm. Elektrody jsou umístěné naproti sobě a prochází jimi elektrický proud mezi 50 až 100 A. Vše probíhá při normálním nebo sníženém tlaku 25 kPa v atmosféře hélia, argonu nebo jejich směsi. Výboj způsobuje silné zahřívání elektrod, v jejichž styku dochází k odpařování grafitového materiálu, který kondenzuje na ochlazeném reaktoru. Získá se tak směs grafitových materiálů a fullerenů o zhruba 13 % C_{60} , 2 % C_{70} a malého podílu fullerenů s vyšším obsahem atomů uhlíku. Dalším způsobem přípravy fullerenů, při kterém byly fullerény objeveny, je pomocí zplyňování grafitu pulzním laserem v atmosféře hélia. [31]

3.3.1.4 Grafen

Za objev grafenu získal Andre Geim a Konstantin Novoselov v roce 2010 Nobelovu cenu za fyziku. Tato událost upoutala vysokou pozornost veřejnosti a mnohých výzkumných týmů. Grafen je jednou z forem uhlíku, která dosahuje absolutního dosažitelného minima tloušťky – pouze jednoho atomu. Paradoxem je, že dříve vědci předpověděli, že 2D krystal

nemůže prakticky existovat, jelikož má nejméně výhodné uspořádání atomů a je tudíž termodynamicky nestabilní. Grafen je možné si představit jako tenký list tvořený uhlíkovými atomy, které jsou uspořádány do šestiúhelníku. Je téměř průhledný, absorbuje pouze 2,3 % viditelného světla. Vazby mezi jednotlivými atomy mají stejnou sílu jako vazby v diamantu. Grafen má vynikající tepelnou vodivost, výbornou pružnost a pevnost. [34] Podle výzkumu vědců Kysara a Honea bylo zjištěno, že grafen je nejpevnějším materiálem na světě. Je to způsobeno díky silným vazbám mezi atomy uhlíku. Také bylo zjištěno, že přenáší elektrony vysokou rychlostí a vede elektrický proud lépe než křemík. Grafen je tvořen jednou vrstvou atomů grafitu. Na 1 mm grafitu by bylo zapotřebí tři miliony vrstev grafenu. [35] Nevýhodou grafenu je, že jeho výroba není příliš jednoduchá. Při objevu bylo provedeno jeho oddělení z grafitu pomocí lepící pásky. V dnešní době se směřuje vývoj k sublimaci křemíku z povrchu monokrystalu karbidu křemíku. [34]

3.3.2 Nanočástice TiO₂

Nanočástice oxidu titaničitého TiO₂ nazývaného titanová běloba, nabízejí širokou škálu výborných vlastností (mechanické, optické, elektrické a další). Nanomateriály TiO₂ se vyskytují ve formě nanočástic, 1D nanodrátu, nanotub, 2D povlaků a tenkých vrstev. Kombinace ceny, snadné dostupnosti a zajímavých vlastností zapříčinila, že se jedná o nanomateriál s nejširším aplikačním spektrem mezi anorganickými nanomateriály. V přírodě se vyskytuje ve třech formách, a to jako rutil, anatas a brookit. V laboratorních podmínkách lze připravit další krystalické modifikace např. columbit, baddeleyit, hollandit atd. [31]

Díky své čistě bílé barvě, chemické stabilitě a vysoké odrazivosti se hojně používá jako plnivo do krémů a barvivo např. do nátěrových hmot, papíru, malířských barev, potravin. TiO₂ má vysokou krycí schopnost a odráží viditelné světlo, jeho index lomu dosahuje vysokých hodnot v rozmezí 2,5 až 2,7. Dále je chemicky inertní, stálý na světle, odolný vůči UV záření a povětrnostním podmínkám. Důležitou vlastností je jeho hygienická nezávadnost a při výrobě a užívání není toxický. [3] Zajímavé je, že má samočisticí schopnost a po UV ozáření je uveden do hydrofilního stavu, kdy dochází ke snížení kontaktního úhlu kapky na 0°. Hydrofilní vlastnosti TiO₂ vrstev se využívá na sklech, zrcadlech a brýlích, na kterých se nevytváří kondenzát v podobě kapiček, ale souvislého filmu, který je průhledný. [31]

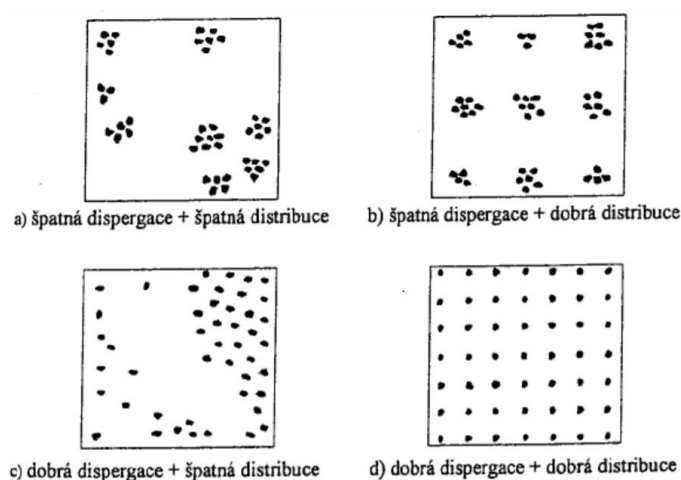
3.3.3 Nanočástice stříbra

V současné době jsou nanočástice stříbra nejrozšířenějším typem nanočástic kovu. Je to způsobeno díky svým výborným vlastnostem, především elektromagnetickým a katalytickým schopnostem. Zajímavou schopností, kterou mají nanočástice stříbra, jsou antibakteriální účinky. Bylo prokázáno, že při styku bakterie s nanočásticemi stříbra došlo k úmrtí bakterie do 6 minut. Poslední studie potvrdily, že nanočástice také působí podobně na viry s rozdílem, že k úmrtí virů dojde v delším časovém horizontu. Své využití našly nanočástice ve farmaceutickém průmyslu, v textilním průmyslu, kdy se používají pro snížení zápachu spodního prádla a ponožek. Používají se také jako povrchová úprava, k eliminaci přežívání a množení mikroorganismů na zařízeních, se kterými jsou uživatelé v každodenním kontaktu (mobilní telefon, lednice, myčka, počítačová myš...)

Příprava nanočástic stříbra je jednoduchá, nanočástice vznikají reakcí stříbrných solí s thiosíranem, citrany a borohydráty. Způsobů výroby existuje celá řada např. pomocí elektrolýzy, iontové implantace, elektroexploze atd. [31]

4. METODY DISPERGACE

Významem označením dispergace se rozumí děj, při kterém dochází k zjemňování pevné fáze na menší částice. Naopak distribuce (rozmíchání a homogenizace) je děj, který zajišťuje rovnoměrné rozptýlení pevných a kapalných složek v celém objemu. [10] Procesem dispergace a distribuce vznikne směs látek, kde je jedna látka jemně rozptýlena v druhé. V mnoha aplikacích je třeba, aby byly nanočástice v dobře dispergovaném a distribuovaném stavu. Nanočástice mají tendenci tvořit aglomeráty, které je složité oddělit. Snahou je dokonalé rozptýlení a rozdělení shluků částic, aby bylo možné získat jejich plný potenciál. [36] Na obrázku 12 jsou znázorněny možné kombinace dispergace a distribuce.



Obrázek 12 - Znázornění dispergace a distribuce (zdroj: Slovák, 2016)

Při dispergaci se velká část vložené energie přetvoří na tepelnou, kdy nám zvýšená teplota může usnadnit smáčení. V oboru nátěrových hmot se pojmem dispergace rozumí vytváření pigmentové pasty³ z pigmentů, plniv a roztoků pojiv pomocí mechanických sil. Snahou je tedy propojit pigmenty a plniva s kvaným systémem pojiv. Přidáním dalšího pojiva, rozpouštědel a jiných složek do pigmentové pasty se v konečné fázi vytvoří pigmentovaná nátěrová hmota. Pigmentovaných nátěrových hmot je kolem 90 %. Pigment totiž zajišťuje nejenom barevný odstín, ale výrazně ovlivňuje a zlepšuje výsledné vlastnosti. [37]

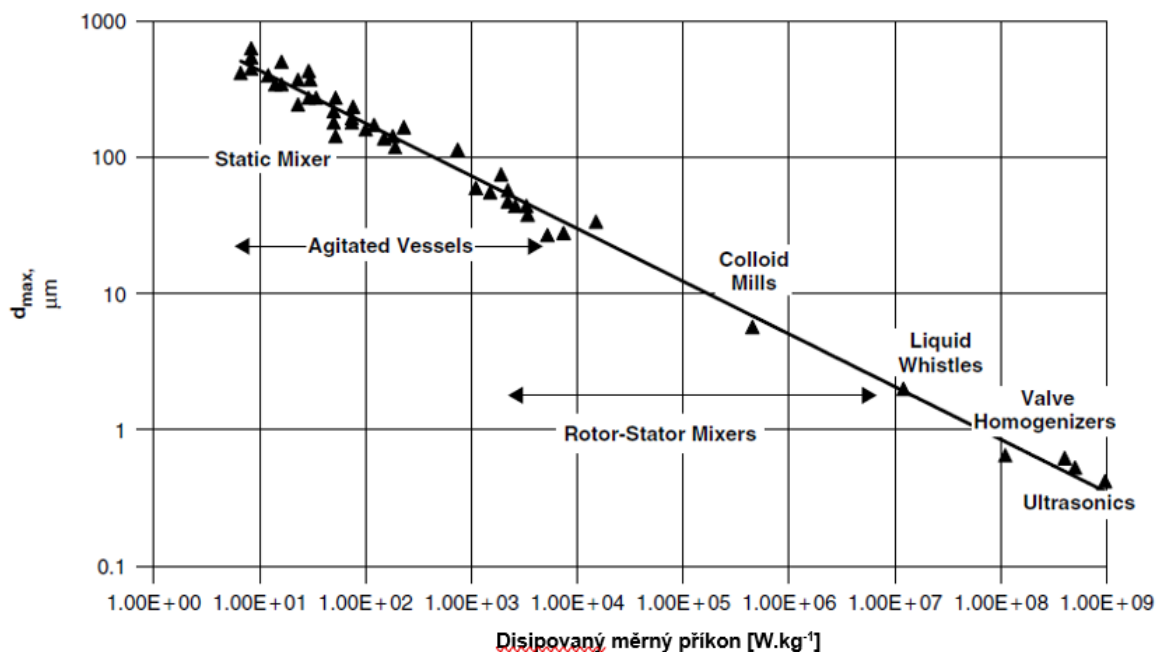
Pigmentové částice se mohou vyskytovat v primárním a sekundárním stavu, avšak nejčastěji je možné se s nimi setkat ve formě sekundárních částic. Cílem dispergace je rozdělení těchto shluků částic. Sekundární částice se dělí podle pevnosti vazeb dál na: flokuláty, aglomeráty

³ Pigmentová pasta je definovaná jako „směs složek nátěrové hmoty, které jsou nezbytné k dosažení optimálního stupně dispergace.“ [17]

a agregáty. Soudržné síly u flokulátů jsou malé, proto jdou shluky snadno rozdělit, ale na druhou stranu se snadno spojují. Aglomeráty jsou spojeny fyzikálními přitažlivými silami. Je možné je rozpojit stříhovými silami. Na rozdíl od flokulátů se aglomeráty po procesu rozpojení dále nespojují. Jedná se o shluky primárních částic, ale také o shluky agregátů. Aglomeráty jsou spojeny pouze dotýkajícími se hranami jednotlivých částic. Agregáty jsou spojeny chemickými silami, které se vytvářejí při procesu slinování. Spojení je tvořeno plochou krystalů. Rozpojení shluků je velice náročné a lze ho provést pouze mletím, které je ve fázi výroby pigmentů. [37]

Postup dispergace má správně více stupňů. V první fázi je předdispergace, kdy se získá stav hrubé disperze, poté následuje vlastní dispergace (tření), při kterém dochází ke smáčení pigmentových částic a rozbíjení jejich aglomerátů. Další fáze je dořezávání a poslední je filtrace, kdy se oddělují příliš hrubé částice a nečistoty. [37]

Na obrázku 13 je znázorněno porovnání jednotlivých technologií míchání, jakých velikostí částic se v jednotlivých technologiích docílí a také kolik energie se musí dodat. Obecně platí, že pokud je vložena energie, potažmo disipovaný měrný příkon (Local power) vyšší, jsou získány menší velikosti částic. Pojmeme disipovaný měrný příkon se rozumí nevratná přeměna energie na jinou, zejména na teplo. V tabulce 2 je shrnutí obrázku 13. [38]



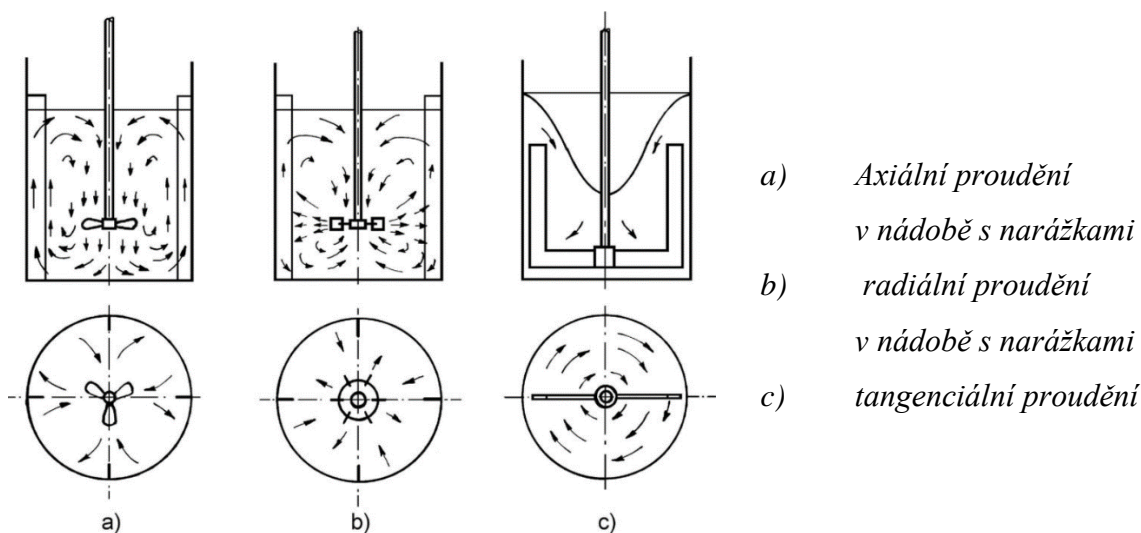
Obrázek 13 – Porovnání velikosti částic a dodané energie pro jednotlivé metody dispergace (zdroj: Paul, Atiemo-Obeng, Kresta, 2004)

Tabulka 2 - Souhrn údajů z obrázku 13

Typ zařízení	Disipovaný měrný příkon	Rozsah velikosti částic
	[W.kg ⁻¹]	[μm]
Statické směšovače	10 – 1000	50 – 1000
Rotační míchadla	0,1 – 100	20 – 500
Vysokorychlostní míchadla	1000 – 100 000	0,5 – 100
Stator-rotor		
Homogenizátory	~10 ⁸	0,5 – 1
Ultrazvuk	~10 ⁹	0,2 – 0,5

4.1 Rotační míchadla

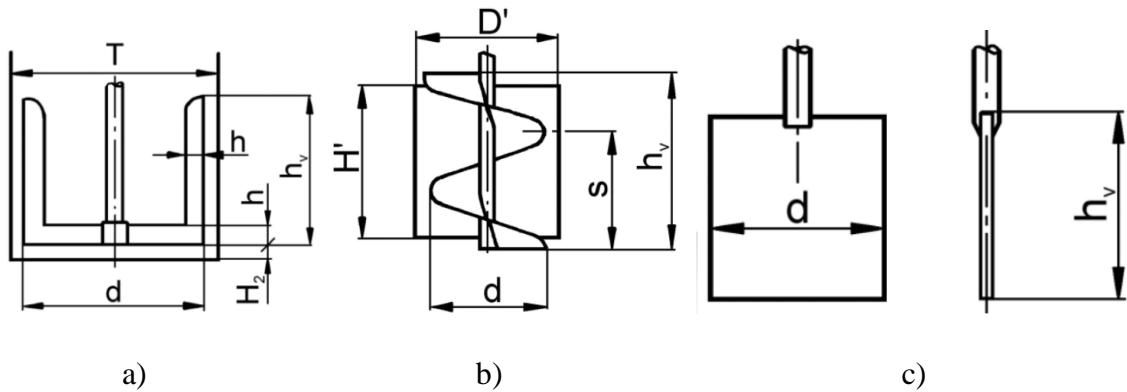
Rotační míchadla spadají do kategorie mechanického míchání, které vytvářejí v nádobě nucené proudění. Způsob proudění, které vyvolává míchadlo může být axiální, při kterém vyvolávají proudění, jehož proudnice jsou převážně rovnoběžné s osou nádoby. Axiální proudění způsobují míchadla šroubová, vrtulová, pásová a míchadla se skloněnými lopatkami. Další způsob proudění je radiální, resp. s tangenciálním charakterem. Míchadla s radiálním charakterem jsou převážně turbíny a s tangenciálním charakterem především pomaloběžná míchadla lopatková a kotvová. [54]



Obrázek 14 - Schéma proudění v nádobách s rotačními míchadly

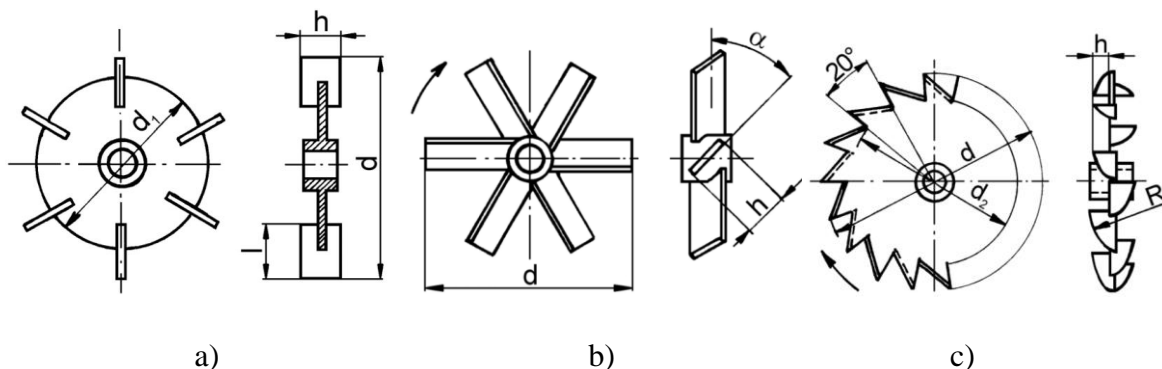
(zdroj: Rieger, Novák a Jirout, 2005)

Podle frekvence otáček se dají dělit na pomaloběžná a rychloběžná. Mezi pomaloběžná míchadla se řadí kotvové míchadlo, které vytváří převážně tangenciální proudění a také různé konstrukční provedení šroubových míchadel, dále pásové míchadlo atd. U pomaloběžných míchadel je obvyklý poměr průměru nádoby T a průměru míchadla d stanoven $T/d \leq 2$.



a) kotvové míchadlo b) šroubové míchadlo s usměrňovacím válcem c) listové míchadlo
Obrázek 15 - Vybrané typy pomaloběžných míchadel (zdroj: Rieger, Novák a Jirout, 2005)

Typickým příkladem rychloběžného míchadla je turbínové míchadlo, vyrábí se v provedení s dělicím kotoučem a bez dělicího kotouče. Je-li nutné umístit míchadlo blízko dna nádoby, používá se bez dělicího kotouče. Dalším rychloběžným míchadlem je šesti nebo tři lopatkové míchadlo se šikmými lopatkami. Šesti lopatkové míchadlo zajistí dobrou homogenizaci a používá se tehdy, je-li potřeba vzhledu tuhé fáze. Tři lopatkové míchadlo v porovnání se šesti lopatkovým míchadlem může pracovat při vyšších frekvencích, jelikož vyžaduje menší příkon. Zubová míchadla jsou převážně používána k dispergaci tuhé fáze v kapalině. Jedná se o rotující disk se zuby na okraji. V okolí míchadla se vytváří vysoké smykové napětí. Obecně platí, že u rychloběžných míchadel, která jsou umístěna ve středu nádoby se používají narážky v nádobě, aby byla potlačena tvorba středového víru. Pomaloběžná míchadla tyto narážky nepotřebují. U rychloběžných míchadel je obvyklý poměr průměrů nádoby T a míchadla d stanoven $T/d \geq 3$. [54]

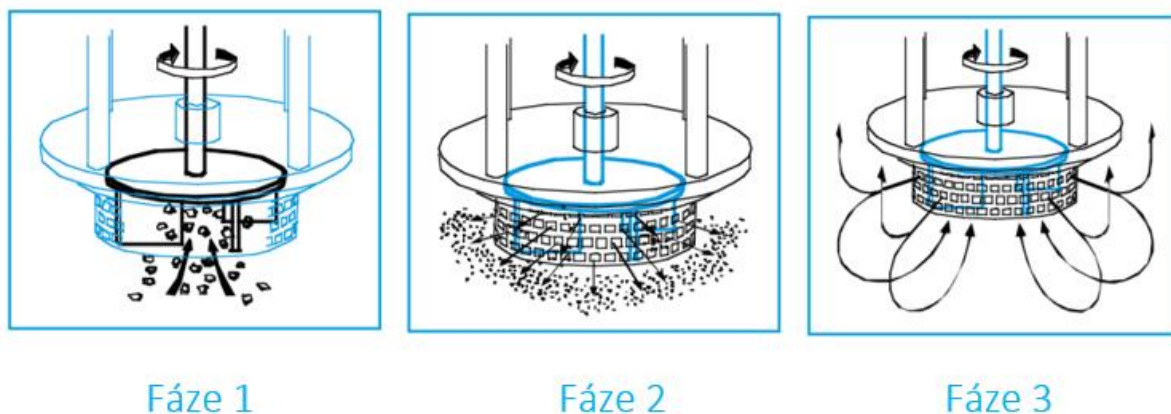


a) turbínové míchadlo s dělicím kotoučem b) šesti lopatkové míchadlo se šikmými lopatkami c) zubové míchadlo

Obrázek 16 - Vybrané typy rychloběžných míchadel (zdroj: Rieger, Novák a Jirout, 2005)

4.2 Míchadlo stator-rotor

Jedná se o vysoce účinné zařízení, které má široké uplatnění např. v potravinářském, chemickém, zemědělském, kosmetickém průmyslu. Charakteristickým znakem míchadla stator-rotor je vysokorychlostní rotor, který je v těsné blízkosti statoru. Mezi statorem-rotorem je úzká štěrbin, kde se vytváří silná smyková síla, která účinně homogenizuje, emulguje a suspenduje mísitelné materiály. Rotor se nejčastěji pohybuje rychlostí od 10 do 50 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dochází také k redukci velikosti dispergovaných částic. Stator i rotor může mít různé konstrukční provedení. Liší se hlavně ve velikosti štěrbin a tvaru zubů. [38] Na obrázku 17 je naznačen princip míchání. V první fázi dochází k výkonnému nasávání kapalné i pevné složky vlivem vysokorychlostní rotace lopatek rotoru. V další fázi působí vysoká odstředivá síla na kapalnou i pevnou část (disperze), která je vháněna do mezery mezi statorem a rotorem a následně do štěrbin ve statoru. Disperze je průchodem štěrbinami dělena na menší části. V poslední fázi suspenze opouští hlavu do nádoby a dochází k výměně suspenze. Celý objem projde mnohokrát míchadlem, než se stane plně dispergovaný. [39]

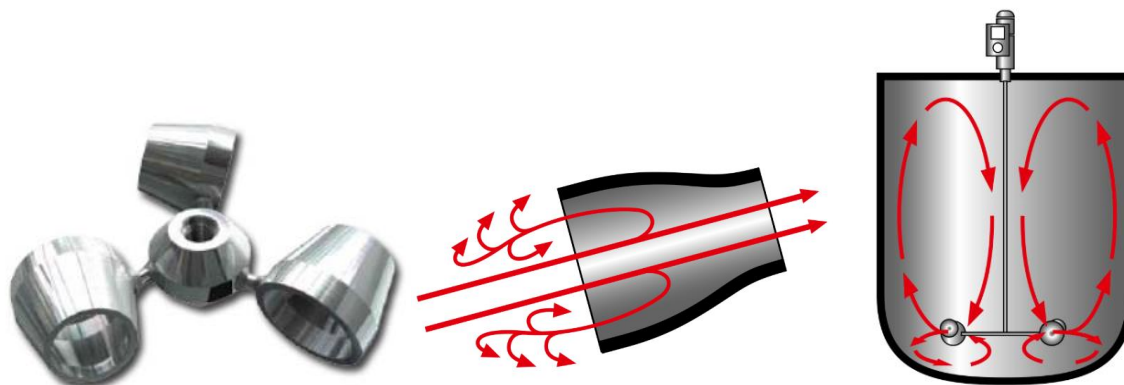


Obrázek 17 - Princip dispergace v míchadle typu stator-rotor (zdroj: Silverson machines)

4.3 Visco jet

V dnešní době získávají míchadla visco jet větší pozornost, jelikož mají široké uplatnění díky své speciální konstrukci. Využívají se v potravinářském, chemickém a kosmetickém průmyslu, dále při výrobě barev, papíru atd. Je možné homogenizovat velice viskózní látky. Tvar lopatek připomíná průchozí komolý kužel, který je spojen na rameni hřídele. Masoud Rahimi a kolegové z univerzit Razi a Kuwait experimentálně zjistili, že ideální poměr vstupního a výstupního otvoru kužele je 0,5. Nejčastěji bývají dva nebo tři tyto kužele připojeny k hřídeli.

Princip spočívá v protékání suspenze průchozími kuželi, která vtéká větším otvorem dovnitř lopatky a vystupuje z menšího otvoru vyšší rychlostí. Část suspenze je zachycena další lopatkou a proces se opakuje. Na konci lopatky se vytvářejí turbulentní proudy, které způsobují nový pohyb dynamického míchání. [40]



Obrázek 18 – princip míchadla visco jet (zdroj: Visco Jet)

Výhodou je, že se jedná o velice účinný míchací proces, s krátkými míchacími časy a nízkou míchací rychlostí. Nedochozí k zahřívání, vztahování vzduchu, tvoření pěny atd. Výrobci uvádí, že není důležitá rychlost míchání, ale technika. Dochází tudíž k úsporám energie. [41]

4.4 Dispergace ultrazvukem

Částice jsou drženy společně různými fyzikálními a chemickými silami, včetně Van der Waalsových sil a povrchového napětí kapaliny. Tyto síly musí být překonány, aby došlo k homogennímu rozptýlení částic. Rovnoměrná disperze je důležitá pro získání plného potenciálu nanočástic.

Vlivem kolísání tlaku a kavitace (jev, při kterém vznikají a zanikají dutiny v proudící kapalině) vznikají mikro turbulence, které napomáhají dispergovat částice. Intenzitu kavitace ovlivňuje jak hydrostatický tlak, tak i akustická amplituda zvukové vlny. Doporučené hodnoty amplitudy kmitání jsou 10 až 30 μm . Kavítace způsobuje extrémní lokální účinky např. intenzivní ohřátí ($\sim 5000\text{ K}$), vysoký tlak ($\sim 1000\text{ atm}$), enormní rozpětí ochlazení a ohřátí ($> 109\text{ K}\cdot\text{s}^{-1}$), a také kapalně proudy ($\sim 400\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Výhodou dispergace ultrazvukem je, že např. ve srovnání s mechanickými způsoby dispergace nebo stator-rotor, dokáže rozdělit shluky částic v řádech nanometrů. [42]

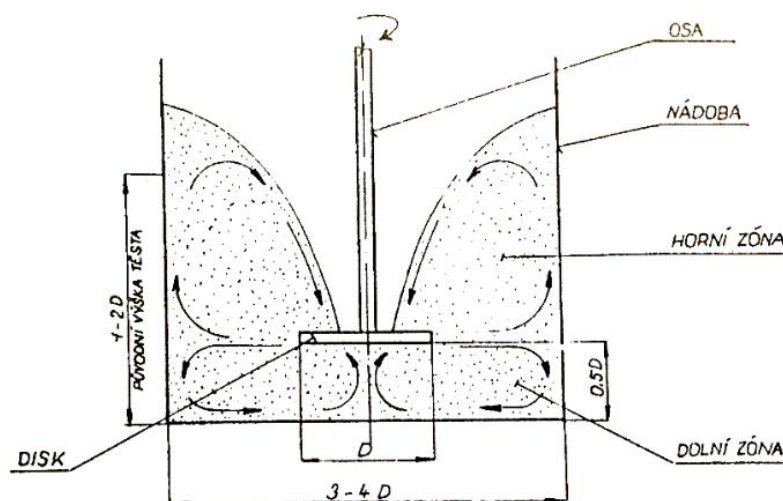
4.5 Disolvery

Jedná se o rychloběžné míchací zařízení, které je určeno k dispergaci, ale především k předdispergaci nátěrové hmoty. V této fázi jsou disolvery nejlepším řešením v porovnání rychlosti, vynaložené energie a kvality provedení. Pokud se jedná o nátěrovou hmotu, u které není požadovaná tak velká míra dispergování (např. fasádní barvy), disolvery se používají ve fázi dispergační. Naopak u vysoce kvalitních emailů jsou nároky na kvalitu dispergování vyšší, disolvery se používají jako předdispergační zařízení. Disolvery jsou konstrukčně vyřešeny jako ploché disky, které mají na svém obvodu zuby různého tvaru, sklonu a velikosti. Disky také mohou obsahovat různé otvory a zářezy, které urychlují dispergační proces. Výška zubů výrazně ovlivňuje cirkulaci a příkon, např. u výšky zubů 0,1 D (průměr disku) je příkon trojnásobný v porovnání s výškou zubů 0,05 D. [37]



Obrázek 19 - Dissolverové míchadlo (zdroj: Dispermill, 2019)

Obvykle bývá obvodová rychlost disku v rozmezí $20-30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Díky konstrukci je docíleno různé rychlosti proudění v různých částech nádoby. Dojde k vytvoření dvou zón v míchací nádobě – horní a dolní (viz obrázek 20). Díky tomuto proudění vzniká mezi vrstvami pasty střižný efekt a částice narážejí vzájemně do sebe. Pro docílení vysoké účinnosti procesu je nutné mít vsádku o vhodné viskozitě. Míchací proces se nejlépe aplikuje na materiály o viskozitě $5-20 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. [37]



Obrázek 20 - Proudění v dissolveru (zdroj: Kalendová a Kalenda, 2003)

4.6 Kulové mlýny

Jedná se o válcovou nádobu, která se otáčí kolem vodorovné osy. V nádobě jsou umístěny mlecí tělíska, které zajišťují dispergaci pigmentové hmoty. Tělíska mají nejčastěji kulový tvar, ale je možné se také setkat s válečky. V mlýně je otvor na vkládání a vyprazdňování pigmentové pasty a vnitřní stěny mohou mít zarážky pro lepší pohyb mlecích tělísek. Rotace mlýnu způsobuje pohyb mlecích tělísek a hmoty do určité výšky. Pokud je gravitační síla

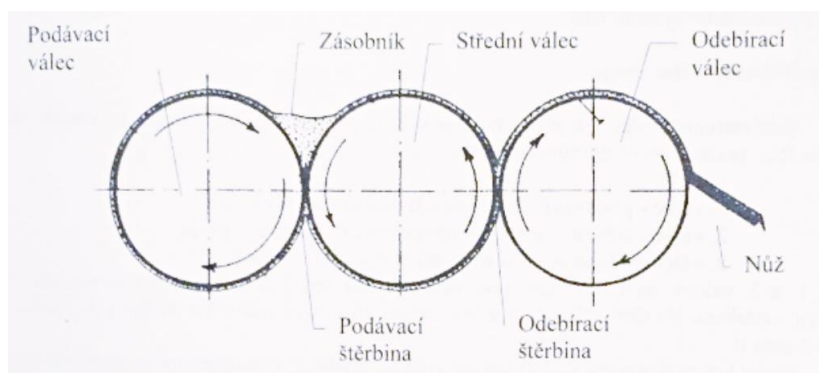
větší než odstředivá, tělíška a hmota dopadá na dno nádoby. Proces se neustále opakuje. V procesu vznikají tlakové a stříhové síly, díky kterým dochází k dispergaci pigmentové hmoty. [37]



Obrázek 21 - Kulový mlýn (zdroj: Kalendová a Kalenda, 2003)

4.7 Válcové třecí stroje

K dispergaci dochází mezi válci v dlouhé a úzké šterbině. Válce se otáčejí v jiném směru a jinými rychlostmi. Při průchodu materiálu šterbinou dochází ke smáčení, desaglomeraci a míchání jednotlivých složek nátěrové hmoty. Na částice působí vysoký tlak a velké vnitřní tření. Konstruktivní řešení může být v různém provedení, od jednoválcového až po pětiválcové. U jednoválcového třecího stroje je šterbina vytvořena mezi válcem a hradítkem. Nejčastější je však provedení se třemi válci. Válce se skládají z podávacího, středního a odebíracího válce, kdy jejich obvodová rychlost roste postupně o trojnásobek. Nejpomalejší válec je podávací a nejrychlejší odebírací. Na odebíracím válci je stírací nůž, který odebírá pigmentovou pastu do nádoby. Hmota, kterou chceme dispergovat, musí být již v předdispergovaném stavu. [37]



Obrázek 22 - Válcový třecí stroj (zdroj: Kalendová a Kalenda, 2003)

5. PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část spočívala nejprve v dispergování nátěrové hmoty CP 55 a plniva AQUACYL 0301, které obsahuje vícestěnné uhlíkové nanotuby. Proces dispergování probíhal na dvou různých zařízeních s jinými parametry dispergace. Vzniklo tak 11 různých variant. Od každé varianty bylo vytvořeno 10 vzorků, na kterých se zkoumala: tloušťka, lesk, odolnost povlaku proti oddělení a praskání, povrchová struktura, povrchový elektrický odpor a také odolnost proti zvýšené vlhkosti.

5.1 Příprava vzorků

Nanášení nátěrové hmoty probíhalo na jeden typ vzorku. Jednalo se o broušený ocelový plech s označením Q – panel (provedení standard).

Parametry použitého vzorku:

- rozměr: 102 mm x 152 mm x 0,81 mm
- materiál: S355J0

5.2 Charakteristika použitých produktů

Pro vytvoření variant byla použita vodou ředitelná nátěrová hmota CP 55. Jako plnivo byl zvolen produkt AQUACYL 0301 od firmy Nanocyl S.A., který obsahuje vícestěnné uhlíkové nanotuby.

5.2.1 CP 55

Nátěrová hmota je od výrobce Viton a jedná se o základní a vrchní nátěrovou hmotu, která chrání výrobek před vznikem koroze. Nátěrová hmota CP 55 je vhodná na ocelové, dřevěné a minerální povrchy. Používá se jako samozakládající nátěr ocelových konstrukcí, okapů, potrubí, odlitků, palet, boxů, výrobních linek strojů a zařízení. Nátěrová hmota má bílou barvu. Nanášení musí probíhat na suchém povrchu, při minimální teplotě 8 °C okolního vzduchu, povrchu a nátěrové hmoty. Maximální povolená hodnota relativní vlhkosti je 80 %.

5.2.2 AQUACYL 0301

Produkt AQUACYL 0301 je od belgického výrobce Nanocyl S.A. Jedná se suspenzi, která obsahuje vícestěnné uhlíkové nanotuby (MWCNT) v maximálním hmotnostním podílu 5 %. Nanočástice jsou rozptýleny ve vodním roztoku obsahující další doprovodné prvky, které se

nazývají dispersant. Mezi doprovodné prvky patří aditiva, která zabraňují shlukování a sedimentaci nanočástic. Suspenze má černou barvu.

5.3 Příprava nátěrové hmoty

Příprava nátěrových hmot spočívala nejprve ve zvážení jednotlivých složek a následném smísení v nádobě o objemu 500 ml. Jednotlivé složky byly váženy na laboratorní váze KERN KB 360-3N. Pro smísení byla použita jako matrice nátěrová hmota CP 55 a plnivo AQUACYL 0301 s obsahem uhlíkových nanotub. Jak již bylo dříve zmíněno, použité uhlíkové nanotuby byly ve formě suspenze, ve které jsou v maximálním hmotnostním podílu 5 %. Pro experiment byl zvolen obsah uhlíkových nanotub s maximálním hmotnostním podílem 1 %. Což znamená, že na 100 g matrice bylo použito 20 g plniva AQUACYLU 0301. Následně byl proveden proces dispergace. Hustota nátěrové hmoty je $1,21 \text{ g.l}^{-1}$.

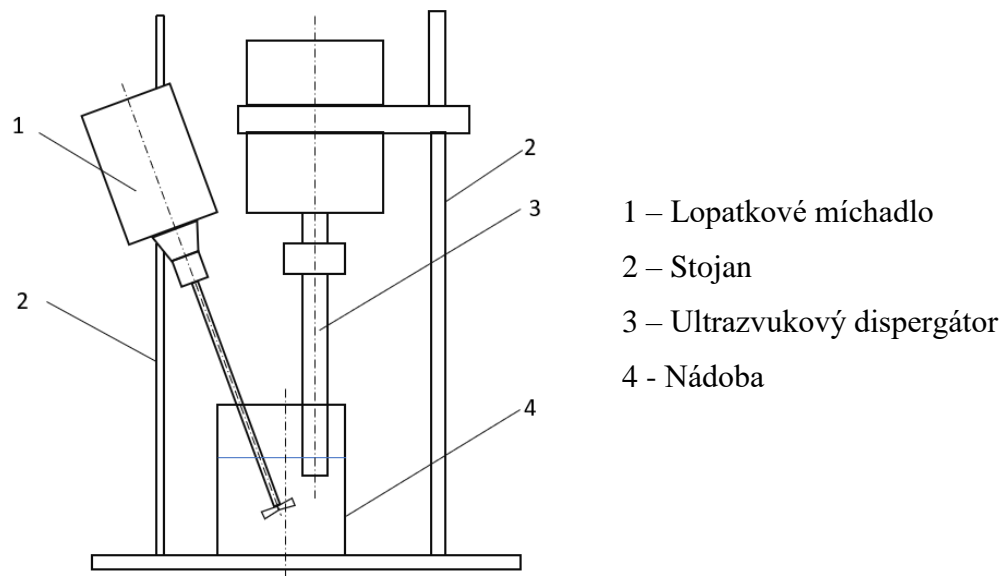
Tabulka 3 - hmotnostní složení nátěrové hmoty

Varianta č.	Hmotnost matrice [g]	Hmotnost plniva [g]	Celková hmotnost [g]
0	-	-	-
1	512,7	102,5	615,2
2	383,0	76,6	459,5
3	377,6	75,5	453,1
4	383,4	76,7	460,0
5	393,0	78,6	471,6
6	371,2	74,2	445,4
7	381,9	76,4	458,3
8	378,8	75,8	454,6
9	379,9	76,0	455,9
10	384,6	76,9	461,5
11	374,8	75,0	449,8

5.4 Dispergační zařízení

Varianty, které byly porovnávány, spočívaly v dispergaci na dvou různých zařízeních. První část variant byla dispergována na ultrazvukovém homogenizátoru, který je k dispozici v laboratořích Ústavu strojírenské technologie. Další část variant byla dispergována na míchadle stator-rotor ve spolupráci s Ústavem procesní a zpracovatelské techniky, konkrétně s Prof. Ing. Tomášem Jiroutem, Ph.D. Dispergace probíhala na míchadle stator-rotor typu IKA S 25 N – 25 G, kde byl průměr rotoru 17 mm s počtem zubů 2 a průměr statoru 25 mm s počtem zubů 12.

Při dispergaci ultrazvukem bylo pro lepší cirkulaci nátěrové hmoty zapojeno lopátkové (hřídelové) míchadlo WiseStirr HS – D od firmy Verkon, které má dvě lopatky o průměru 40 mm. Lopátkové míchadlo bylo excentricky umístěno z důvodu lepšího prostorového rozložení a také z důvodu eliminace tvoření středového víru. [37] Úhel sklonu lopátkového míchadla, oproti ose ultrazvukového míchadla, byl přibližně 30°. V experimentu byl použit ultrazvukový homogénizátor Bandelin Sonopuls HD 3400 se sondou VS 200 T, která má průměr 25 mm. Hloubka ponoření ultrazvukového homogénizátoru byla buď 0,8 mm, nebo 2,5 mm.



Obrázek 23 - Schéma dispergace ultrazvukem



Obrázek 24 - Lopátkové míchadlo WiseStirr HS-D od firmy Verkon (zdroj: Verkon, 2019)

5.5 Parametry dispergace

Z výše uvedených informací je známo, že dispergace probíhala na dvou různých dispergátorech. Vždy se jednotlivé varianty lišily v jednom parametru oproti jiné variantě. Před použitím dispergačního zařízení byla směs nejprve podrobena mechanickému ručnímu promíchání.

Nastavení pulzace u ultrazvukového homogenizátoru byla u všech variant ON - 1 s, OFF - 0,5 s a výkon buď 150 W nebo 250 W. Pro všechny varianty probíhala dispergace po dobu pěti minut. Ponoření ultrazvukového homogenizátoru bylo 2,5 mm nebo 0,8 mm. Otáčky lopatkového míchadla byly 1 500 a 2 700 min⁻¹.

Parametry dispergace s využitím přístroje stator-rotor se lišily v délce dispergace, a to v rozmezí 2 až 6 minut a dále při otáčkách 10 200 a 15 000 min⁻¹.

5.6 Porovnávané varianty

Varianty jsou s označením od 0 do 11, kdy varianta č. 0 je bez plniva a jedná se pouze o nátěrovou hmotu CP 55. Varianty 1 až 5 byly provedeny na ultrazvukovém homogenizátoru a varianty 6 až 11 byly provedeny na dispergátoru stator-rotor. Jednotlivé parametry dispergace jsou vypsány v tabulce 4. Pro vytvoření přehlednější tabulky bylo v některých případech použito kratšího zápisu:

- Základní NH – nátěrová hmota CP 55 bez použitého plniva
- Ultrazvuk – ultrazvukový homogenizátor
- RPM – otáčky za minutu (revolutions per minute)
- Teplota před – teplota nátěrové hmoty před dispergací
- Teplota po – teplota nátěrové hmoty po dispergaci
- Ponoření ultrazvuku – ponoření sondy ultrazvukového homogenizátoru

Tabulka 4 - Parametry dispergace pro jednotlivé posuzované varianty

Zařízení	Varianta č.	Čas [min]	Výkon [W]	RPM [ot.min ⁻¹]	Teplota před [°C]	Teplota po [°C]	Energie [kJ]	Ponoření ultrazvuku [mm]	Hmotnost vsázky [g]
Základní NH	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Ultrazvuk	1	5	150	1 500	16,8	27,7	30,06	2,5	615,2
Ultrazvuk	2	5	250	1 500	18,4	38,8	49,84	2,5	459,5
Ultrazvuk	3	5	250	2 700	17,7	38,8	49,89	2,5	453,1
Ultrazvuk	4	5	150	2 700	18,6	31,9	29,99	2,5	460,0
Ultrazvuk	5	5	250	2 700	16,2	36,9	49,83	0,8	471,6
Stator-rotor	6	2	-	10 200				-	445,4
Stator-rotor	7	4	-	10 200		26,3		-	458,3
Stator-rotor	8	6	-	10 200		28,7		-	454,6
Stator-rotor	9	2	-	15 000		29,9		-	455,9
Stator-rotor	10	4	-	15 000		34,7		-	461,5
Stator-rotor	11	6	-	15 000		40,6		-	449,8

5.7 Aplikace nátěrové hmoty

Aplikace nátěrové hmoty probíhala v co nejkratší době po její dispergaci. Nátěrová hmota byla nanášena ručně pomocí natahovacího pravítka BAKER s přesně definovanou šterbinou, která umožní rovnoměrné nanášení nátěrové hmoty v přesné tloušťce. Pro každou variantu bylo vytvořeno celkově 10 vzorků, vždy 5 vzorků o tloušťce 120 µm a dalších 5 vzorků o tloušťce 270 µm. Jelikož je největší šterbina na natahovacím pravítku 120 µm, bylo nutné použít plastové pásky na zvětšení této šterbiny. Pro každou variantu byl také vytvořen povlak na skleněnou tabuli o tloušťce 120 µm. Je to z důvodu, aby stanovení rezistance povlaku bylo provedeno na elektricky nevodivém základním materiálu (izolantu). Tloušťky nanášeného povlaku jsou udávány v mokré fázi (WFT). Vytvrzení nátěrové hmoty probíhalo volně na vzduchu při pokojové teplotě. Zkoušky byly prováděny nejdříve po 4 dnech vytvrzování.

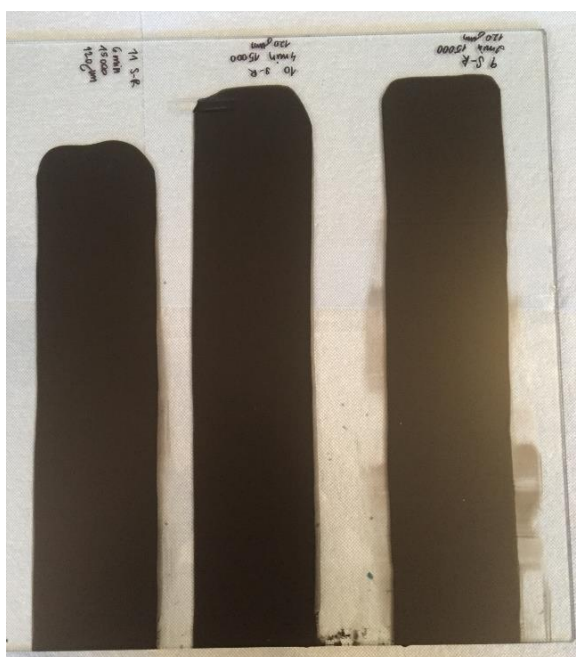


a) aplikace nátěrové hmoty o tloušťce 270 μm



b) vytvořený povlak

Obrázek 25 – Aplikace nátěrové hmoty



Obrázek 26 - Nanesený povlak na skle

5.8 Měření vlastností povlaku

Posuzovanými vlastnostmi byly: lesk, tloušťka, povrchová struktura, odolnost povlaku proti oddělení, elektrická vodivost a odolnost povlaku při zvýšené vlhkosti. Pro lepší přehlednost jsou sledované zkoušky vypsány v tabulce 5.

Tabulka 5 – Seznam zkoušek a sledovaných vlastností

Název zkoušky	Norma	Sledovaná vlastnost
Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru	ČSN EN ISO 2808 (673061):2007	Tloušťka
Stanovení čísla lesku při úhlu 60°	ČSN EN ISO 2813 (673066):2016	Lesk
Mřížková zkouška	ČSN EN ISO 2409:2013	Odolnost povlaku proti oddělení od podkladu
Zkouška křížovým řezem	ČSN EN ISO 16276-2:2007	Odolnost povlaku proti oddělení od podkladu
Zkouška hloubením	ČSN EN ISO 1520 (673081):2007	Odolnost nátěru proti praskání a oddělování od podkladu
Metody zkoušek pro stanovení rezistance a rezistivity tuhých rovinných materiálů, používaných k zabránění akumulace elektrostatického náboje	ČSN EN 61340-2-3 (346440):2016	Elektrická vodivost
Optické hodnocení povrchu povlaku	-	Hodnocení povrchu, pórů a rozložení plniva
Nátěrové hmoty – Stanovení odolnosti proti vlhkosti (kontinuální kondenzace)	ČSN EN ISO 6270 (673108):2017	Korozní odolnost

5.8.1 Tloušťka

Rozlišují se dvě tloušťky naneseného povlaku: tloušťka povlaku mokrého a suchého. Je možné se setkat se zkratkou WFT vycházející z anglického názvu Wet Film Thickness, která značí mokrou tloušťku povlaku. Označení DFT znamená Dry Film Thickness a jedná se o tloušťku již zaslého povlaku. [43]

Tloušťka povlaku se měřila minimálně týden po nanesení nátěrové hmoty. Povlak po zaschnutí vykazuje mnohonásobně menší tloušťku. Tloušťka byla měřena digitálním tloušťkoměrem PosiTector 6000. Jedná se o magneticko-indukční přístroj, kde výpočet tloušťky vychází ze změny magnetického toku. Měřicí přístroj je určen pro feromagnetické podklady. Dle normy ČSN EN ISO 2808:2007 je klasifikován princip tloušťkoměru jako 7C. [44] Před každou sadou měření došlo ke kalibraci pomocí kalibračních folií, které mají přesně definovanou tloušťku. Tloušťka byla měřena minimálně na 20 různých místech povlaku.



Obrázek 27 - Měření tloušťky povlaku přístrojem PosiTector 6000

Diskuze výsledků

Tloušťky povlaku se v některých případech poměrně lišily. Pro nanášenou tloušťku 120 μm (WFT) hodnoty tloušťky suchého povlaku jednotlivých vzorků kolísaly mezi 24,3 až 42,2 μm . Pro nanášenou tloušťku 270 μm (WFT) byly naměřeny hodnoty suchého povlaku v rozmezí 49,8 až 81,9 μm . Naměřené hodnoty pro všechny vzorky jsou součástí přílohy. Pro podrobnější výzkum problematiky by bylo vhodné použít takový přístroj, který dokáže nanášet nátěrovou hmotu v konstantní tloušťce.

5.8.2 Lesk

Lesk je dle normy ČSN EN ISO 2813 (673066):2016 definován jako „*optická vlastnost povrchu charakterizující jeho schopnost zrcadlově odrážet světlo.*“ [45] Pro měření lesku byl použit leskoměr GL 0010 od firmy TQC a spektrofotometr BYK (Spectro-Guide 45/0) od výrobce Gamin. Přístroje fungují na principu hodnocení odrazu pod úhlem 60 °. Přístroje jsou složeny ze zdroje světla, který se soustřeďuje pod úhlem 60 ° na zkoušený povrch. Odražené světlo je pod stejným úhlem přijímáno čočkou a dále zaostřeno a vyhodnoceno fotodetektorem. [45]



a) Leskoměr GL 0010



b) Spektrofotometr BYK

Obrázek 28 – Přístroje na měření lesku

Měření lesku bylo provedeno nejprve po minimálně 4 dnech vytvrzování (zasychání) na 10 různých místech na každém vzorku přístrojem GL 0010. Měření po 23 dnech bylo provedeno na minimálně 5 různých místech. Naměřené hodnoty byly dále zprůměrovány pro každou variantu. Hodnoty lesku jsou uvedeny v jednotkách Gloss unit (GU). Platí, že čím vyšší je jednotka GU, tím lesklejší je povrch.

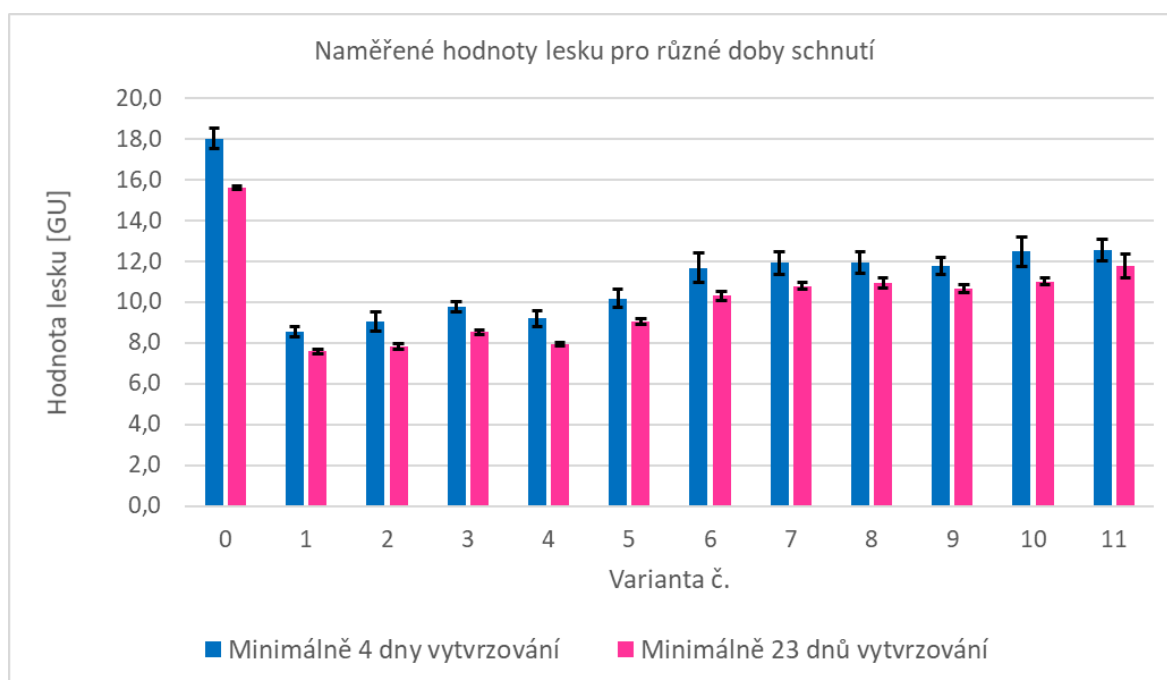
Tabulka 6 - Měření lesku

Přístroj	Doba vytvrzení	
	GL 0010	minimálně 4 dny
BYK Spectro-Guide 45/0	-	minimálně 23 dní

Tabulka 7 - Naměřené hodnoty lesku po různé době vytvrzení

Varianta č.	Leskoměr GL 0010		Spektrofotometr BYK Spectro-Guide 45/0
	Hodnota lesku po min. 4 dnech vytvřování [GU]	Hodnota lesku po min. 23 dnech vytvřování [GU]	Hodnota lesku po min. 23 dnech vytvrzování [GU]
0	18,0	15,6	15,3
1	8,5	7,6	7,3
2	9,0	7,8	7,5
3	9,8	8,5	8,2
4	9,2	7,9	7,5
5	10,2	9,0	8,4
6	11,7	10,3	9,9
7	11,9	10,8	10,4
8	11,9	10,9	10,4
9	11,8	10,6	10,2
10	12,5	11,0	10,6
11	12,5	11,8	10,6

Graf 1 - Naměřené hodnoty lesku pro jednotlivé varianty po min. 4 a 23 dnech vytvrzení



Diskuze výsledků

Varianta 0 představuje nátěrovou hmotu bez plniva. Jedná se tedy pouze o nátěrovou hmotu CP 55. Z grafu 1 je patrné, že přidáním plniva se snížil lesk povlaku. Hodnoty lesku se pro

jednotlivé varianty mezi sebou příliš nelišily, ale je možné si všimnout mírného vzrůstu u metody dispergace stator-rotor.

Dále si můžeme všimnout vlivu doby vytvrzování na hodnotu lesku. Platí, že čím déle byl povlak vytvrzován, tím vykazuje nižší naměřenou hodnotu lesku. Lze konstatovat, že doba vytvrzování u vodou ředitelných nátěrových hmot je v řádech desítek dnů.

5.8.3 Mřížková zkouška

Při mřížkové zkoušce se hodnotí odolnost nátěru proti oddělení od podkladu. „Mřížková zkouška vyžaduje, aby byla vedena řada vzájemně kolmých a rovnoběžných řezů až k podkladu, aby vznikly shodné čtverce.“ [46] Dle normy ČSN EN ISO 2409:2013 platí, že do 60 μm tloušťky zaschlého povlaku mají být řezy ve vzdálenosti 1 mm. Řezy byly vytvořeny pomocí vodící šablony a distanční šablony. Po vytvoření mřížky dochází k odstranění uvolněného nátěru lepicí páskou. [46]



a) distanční šablona

b) vytvořené mřížky

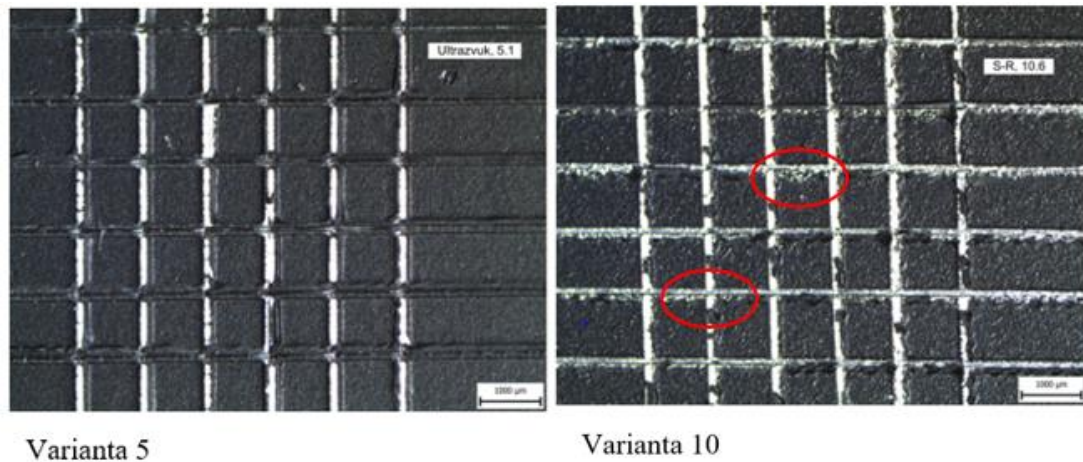
c) nalepení lepicí pásky

Obrázek 29 – Provedení mřížkové zkoušky

Pro klasifikaci výsledků zkoušky je užívána šesti stupňová klasifikace v rozmezí od 0 do 5. Níže jsou popsány stupně klasifikace 0 a 1, jelikož těmito stupni byly testované vzorky klasifikovány. [46]

- **Stupeň 0:** „hrany řezu jsou zcela hladké, nedochází k odloupení čtverců z mřížky.“ [46]
- **Stupeň 1:** „Odloupení malých šupinek povlaku v místech křížení řezu. Zasažená plocha není větší než 5 %.“ [46]

Mřížková zkouška byla na každé variantě provedena třikrát pomocí vodící a distanční šablony.



Obrázek 30 - Mřížková zkouška, snímek z mikroskopu

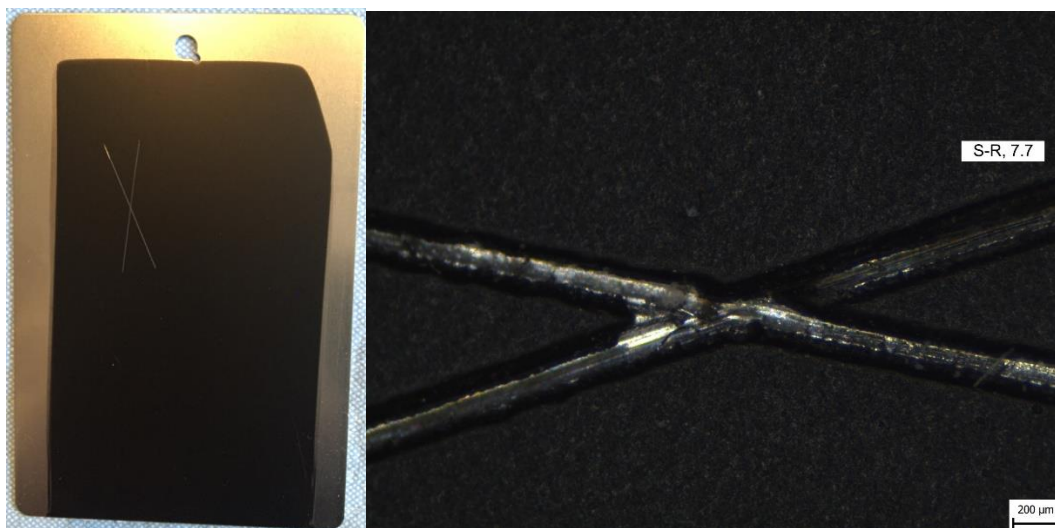
Diskuze výsledků

Výsledky jednotlivých variant se lišily pouze minimálně. Podle klasifikace výsledků byly v rozmezí hodnot nula nebo jedna. Na obrázku 30 jsou vyobrazeny snímky z mikroskopu pro variantu č. 5 a 10. U varianty č. 5 po zkoušce nedošlo k odloupení povlaku, tudíž je zkouška hodnocena klasifikačním stupněm 0. Kdežto u varianty č. 10 došlo k odloupení malých šupinek povlaku v místech křížení, proto je zkouška hodnocena klasifikačním stupněm 1. Snímky ze zkoušky a klasifikace všech variant jsou součástí přílohy.

5.8.4 Zkouška křížovým řezem

Zkouška spočívá ve vytvoření řezu ve tvaru X, nalepení a odtržení lepicí pásky. Hodnotí se odolnost proti oddělení od podkladu. Řez ve tvaru X byl vytvořen pomocí vodící šablony. Na každém vzorku byl vytvořen jeden řez ve tvaru X. Pro klasifikaci výsledků zkoušky platí šesti stupňová klasifikace, kdy 0 je bez poškození a 5 má největší poškození. Přesná klasifikace stupně 0 a stupně 1 je popsána níže: [47]

- Stupeň 0: „Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.“ [47]
- Stupeň 1: „Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečíku.“ [47]



a) Vytvořený křížový řez

b) Pozorování povrchu pod mikroskopem

Obrázek 31 - Zkouška křížovým řezem

Diskuze výsledků

Zkouška křížovým řezem neprokázala příliš velké rozdíly mezi jednotlivými variantami. Všechny řezy byly buď bez poškození, nebo s minimálním poškozením. Vyhodnocení všech vzorků je součástí přílohy.

5.8.5 Zkouška hloubením

Zkouška hloubením je metoda, která zjišťuje odolnost povlaku proti změně barevného odstínu, tvorbě trhlin, praskání a odlupování od povrchu. Jedná se o destruktivní zkoušku, která vychází z normy ČSN EN ISO 1520:2007. Principem zkoušky je vtlačování kuličky o průměru 20 mm do testovaného vzorku a následné vyhodnocení. [48]

Zkouška hloubením byla provedena na manuálním přístroji SP 4400 od výrobce TQC. Nejprve došlo ke kalibraci přístroje spočívající v nastavení nulového bodu, kde se kulička dotýká jemně vzorku. Vzorek byl umístěn tak, aby se kulička dotýkala povrchu, který byl bez povlaku. Kulička byla vtlačena do hloubky 8 mm.



a) Příklad SP 4400,
(zdroj: TQC Sheen, 2018)

b) Pohled ze shora

c) Detailní pohled z boku

Obrázek 32 - Zkouška hloubením

Diskuze výsledků

Při zkoušce hloubením nebyl pozorován rozdíl mezi jednotlivými variantami. Všechny varianty vykazovaly povlak bez porušení, došlo pouze k nepatrné změně barevného odstínu.

5.8.6 Elektrická vodivost

Elektrostatické chování materiálu ovlivňují vnější podmínky např. vlhkost a teplota. Proto je nutné měření provádět za řízených podmínek, ideálně při nízké hodnotě vlhkosti. Vzorky musí být aklimatizovány a měřeny ve shodném prostředí. [24]

Elektrická vodivost je převrácenou hodnotou elektrického odporu. Měřen byl povrchový elektrický odpor (rezistivita) mezi dvěma body. Hodnoty byly měřeny pomocí přístroje SRM 200, který měří v rozsahu $10^3 - 10^{12} \Omega$. Měření je možné provádět buď přístrojem bez přídatných senzorů, nebo druhou variantou s připojením dvou externích senzorů (sond). Externí senzory jsou elektrody obsahující kruh o průměru 63,5 mm, který je vytvořen z vodivého materiálu. Přídatné senzory mají obvykle hmotnost 5 lbs (2,27 kg), čímž vytváří konstantní přítlak. Příklad mimo jiné zaznamenává teplotu okolí a vlhkost prostředí.



a) Přístroj SRM 200 b) Měření s připojením dvou senzorů c) Přídavné senzory
Obrázek 33 - Měření elektrického odporu

Nátěrová hmota byla nanášena na sklo, které je dobrým izolantem. Je to z důvodu, aby se eliminovalo ovlivnění materiálem, na kterém je nátěrová hmota nanášena. Pro všechny varianty byla vytvořena minimálně jedna linie povlaku pomocí natahovacího pravitka BAKER v tloušťce 120 μm (v mokřím stavu) a délce minimálně 250 mm. Pomocí přístroje SRM 200 proběhlo měření na 20 různých místech povlaku. S přidáním 2 přídavných senzorů proběhlo měření na 10 různých místech. Při měření s přídavnými senzory musela být splněna podmínka minimální vzdálenosti 250 mm.

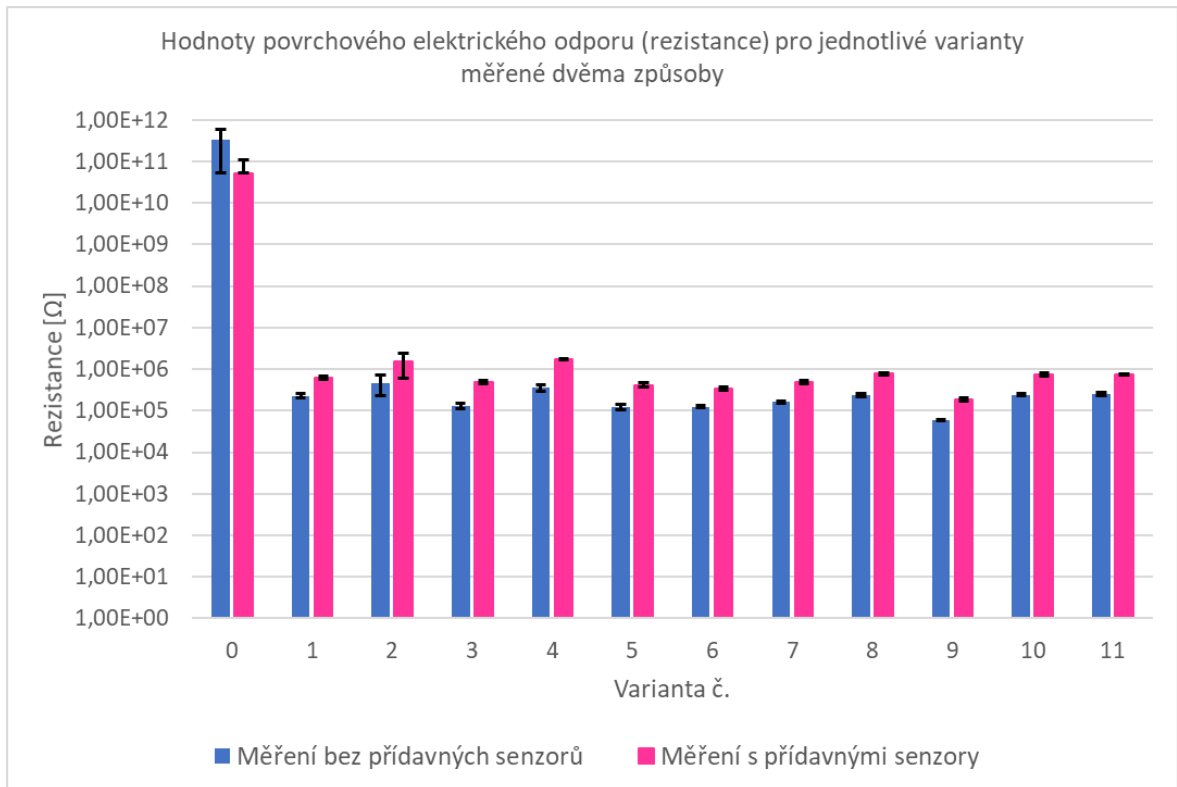
Pro další zpracování a porovnání hodnot byla vypočítána průměrná hodnota pro měření bez přídavných senzorů a s přídavnými senzory (proto vždy 2 hodnoty u jedné varianty). Hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 8.

V grafu 2 jsou znázorněny naměřené hodnoty pro jednotlivé varianty, které byly měřeny dvěma způsoby. Platí, že první naměřená hodnota u každé varianty odpovídá měření bez přídavných senzorů a druhá hodnota u jednotlivých variant značí naměřenou hodnotu s přídavnými senzory. Hodnoty jsou v grafech vyneseny v logaritmickém měřítku.

Tabulka 8 - Naměřené hodnoty povrchového elektrického odporu (rezistance) dvěma různými způsoby

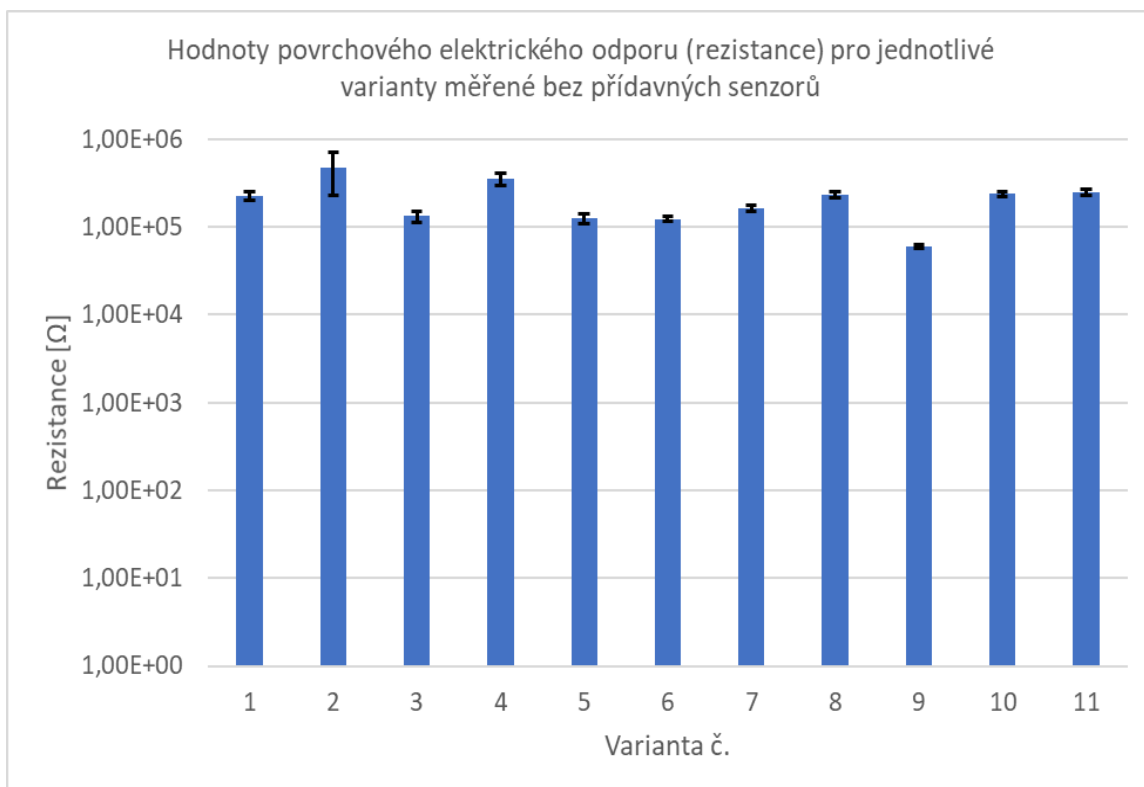
S/BEZ přídavných senzorů	Varianta č.	Průměrná hodnota povrchové rezistance [Ω]	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Relativní vlhkost [%]
BEZ	0	$3,27 \times 10^{11}$	23	17
S	0	$5,26 \times 10^{10}$	23	17
BEZ	1	$2,29 \times 10^5$	22	16
S	1	$6,21 \times 10^5$	22	18
BEZ	2	$4,73 \times 10^5$	22	17
S	2	$1,49 \times 10^6$	22	18
BEZ	3	$1,33 \times 10^5$	22	18
S	3	$4,96 \times 10^5$	22	18
BEZ	4	$3,53 \times 10^5$	22	17
S	4	$1,71 \times 10^6$	23	18
BEZ	5	$1,25 \times 10^5$	23	18
S	5	$4,17 \times 10^5$	23	18
BEZ	6	$1,24 \times 10^5$	23	17
S	6	$3,39 \times 10^5$	23	18
BEZ	7	$1,64 \times 10^5$	22	18
S	7	$4,87 \times 10^5$	23	18
BEZ	8	$2,33 \times 10^5$	22	18
S	8	$7,83 \times 10^5$	22	18
BEZ	9	$5,95 \times 10^4$	22	18
S	9	$1,83 \times 10^5$	23	18
BEZ	10	$2,40 \times 10^5$	22	18
S	10	$7,31 \times 10^5$	22	18
BEZ	11	$2,49 \times 10^5$	22	19
S	11	$7,48 \times 10^5$	22	18

Graf 2 - Naměřené hodnoty povrchového elektrického odporu (rezistance) dvěma různými způsoby

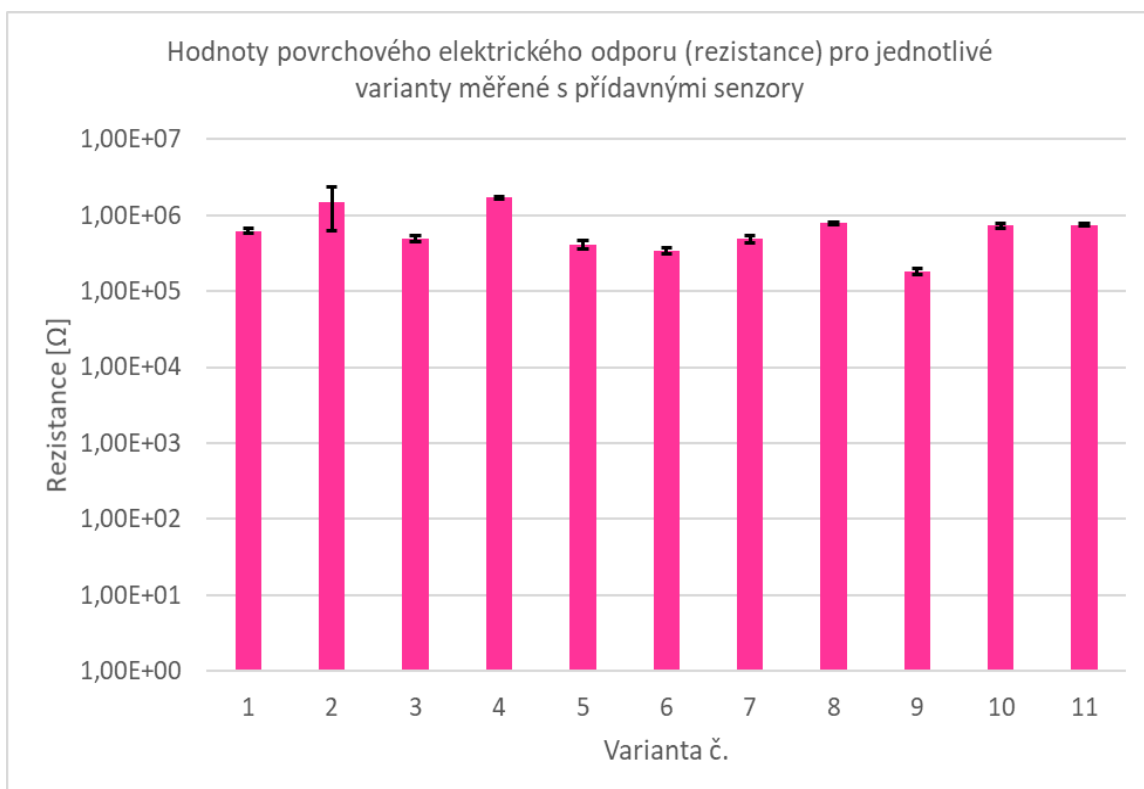


Ačkoliv jsou naměřené hodnoty s využitím měřicí aparatury s přídavnými senzory nebo bez přídavných senzorů rozdílné, je možné si všimnout velice podobného trendu naměřených hodnot. Pro lepší znázornění je zde uveden graf 3 a graf 4, ve kterých jsou zobrazeny hodnoty vždy pro jeden způsob měření bez varianty č. 0 (pouze matrice).

Graf 3 - Naměřené hodnoty povrchového elektrického odporu (rezistance) pro jednotlivé varianty měřené bez přídavných senzorů



Graf 4 - Naměřené hodnoty povrchového elektrického odporu (rezistance) pro jednotlivé varianty měřené s přídavnými senzory

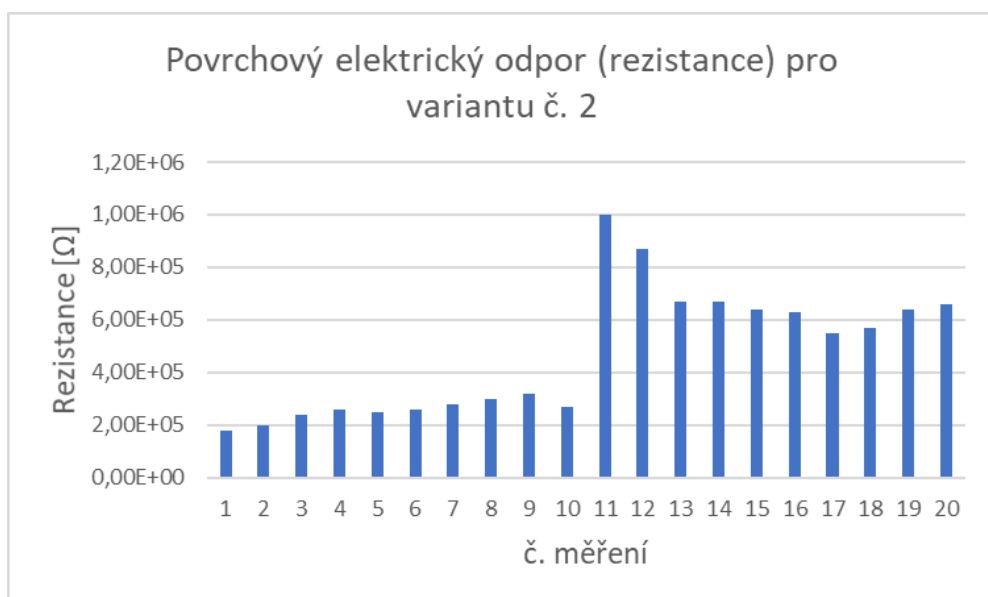


Diskuze výsledků

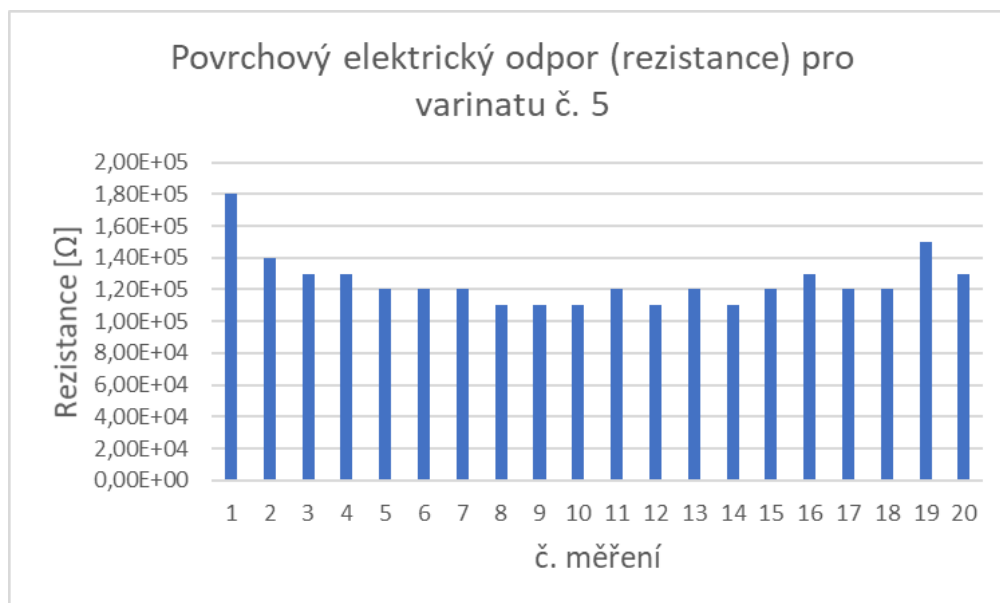
Experiment spočíval ve snížení hodnoty elektrického odporu, tudíž zvýšení vodivosti. Je možné pozorovat, že přidáním plniva, které obsahuje uhlíkové nanotuby, došlo ke snížení povrchového elektrického odporu (rezistance) o několik řádů. Pro povlak bez použitého plniva byla naměřena hodnota povrchového elektrického odporu v řádech 10^{11} . Po přidání plniva se povrchový elektrický odpor snížil na hodnoty v řádech 10^4 až 10^6 . Nejnižší hodnoty povrchového elektrického odporu dosahuje varianta č. 9, jedná se o nátěrovou hmotu, která byla dispergovaná na zařízení stator-rotor po dobu 2 min a otáček $15\,000\text{ min}^{-1}$.

Pro variantu č. 2 a 5 byla 2x (ve dvou liniích) nanесena nátěrová hmota na sklo. Při každém nanášení nátěrové hmoty byla snaha o dodržení konstantních podmínek (tloušťka povlaku, rychlost tažení natahovacího pravitka, čistota povrchu atd.) Při měření povrchového elektrického odporu (rezistance) bylo zjištěno, že u varianty č. 2 se naměřené hodnoty na jedné linii povlaku skokově liší oproti naměřeným hodnotám na jiné linii povlaku, viz graf 5). Pro názornost jsou zobrazeny hodnoty měření přístrojem bez přídavných senzorů. Hodnoty naměřené s přídavnými senzory měly velice podobný průběh. Skokový průběh hodnot se ale nepotvrdil u varianty č. 5. Pro tuto variantu byly také vytvořeny 2 linie povlaku, ale naměřené hodnoty dosahují velice podobných hodnot. Z tohoto poznatku tedy vyplývá, že povrchový elektrický odpor může být ovlivněn způsobem nanášení a dodržením přesných podmínek. Pro podrobnější výzkum bych doporučila dodržet konstantní podmínky nanášení, např. zařízením, které dokáže konstantní rychlostí nanášet povlak o konstantní tloušťce.

Graf 5 - Naměřené hodnoty měrného elektrického odporu (rezistance) pro variantu č. 2 měřené bez přídavných senzorů



Tabulka 9 - Naměřené hodnoty měrného elektrického odporu (rezistance) pro variantu č. 5 bez přidavných senzorů

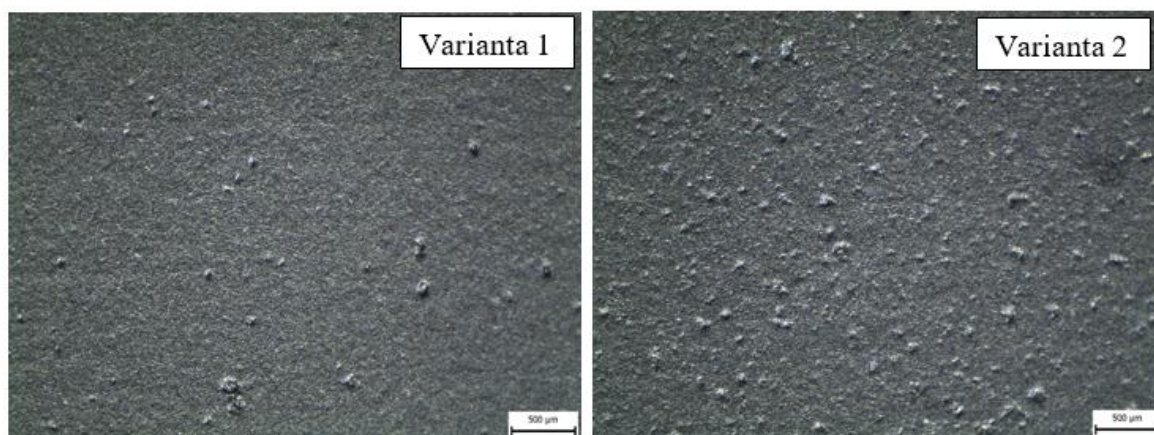


5.8.7 Povrchová struktura

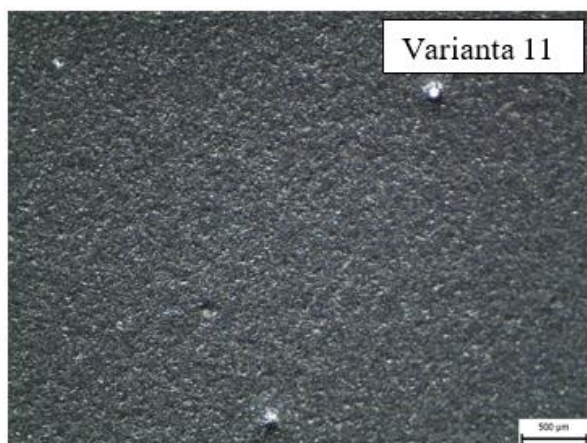
Povrchová struktura byla fotodokumentována na optickém a konfokálním mikroskopu.

5.8.7.1 Snímání povrchu pomocí optického mikroskopu

Snímky povrchové struktury byly vytvořeny na optickém mikroskopu Olympus SZ61 (Infinity 1, Lumenera). Snímky povrchů jednotlivých variant byly pořízeny vždy za stejných podmínek (přiblížení, zdroj osvětlení, intenzita osvětlení). Zpracování snímků programem (Quick Photo Camera 3.1) umožňuje změření vzdáleností, která je dle nastaveného měřítka přepočítaná na skutečnou velikost. Snímky z mikroskopu jsou pro jednotlivé varianty zobrazeny níže. Měřítko (délka úsečky ve skutečnosti) na snímcích je 500 μm .







Obrázek 34 – Přehled morfologie povrchu vytvořených povlaků (snímky z mikroskopu Olympus SZ6)

Diskuze výsledků

Povrchová struktura, při metodě dispergace ultrazvukovým homogénizátorem, byla pravděpodobně nejvíce ovlivněna parametry přídatného lopatkového míchadla. U varianty č. 1 a 2, kdy byly otáčky lopatkového míchadla $1\,500\text{ min}^{-1}$, se vyskytovala podobná struktura s většími shluky, které se projevovaly ve formě prohlubní. Velikost prohlubní se pohybovala zhruba v rozpětí od 50 do 150 μm . Pro variantu č. 3, 4 a 5 byly otáčky lopatkového míchadla $2\,700\text{ min}^{-1}$. Povrchová struktura se projevovala s pravidelnějším povrchem, který obsahuje minimum prohlubní nebo výstupků větších než 50 μm .

Při metodě dispergování pomocí zařízení stator-rotor byla u všech variant zaznamenána velice podobná struktura. Vždy se jednalo o povrch s pravidelnými malými prohlubněmi ($\sim 40\ \mu\text{m}$), který obsahoval větší výstupky ($\sim 100\ \mu\text{m}$).

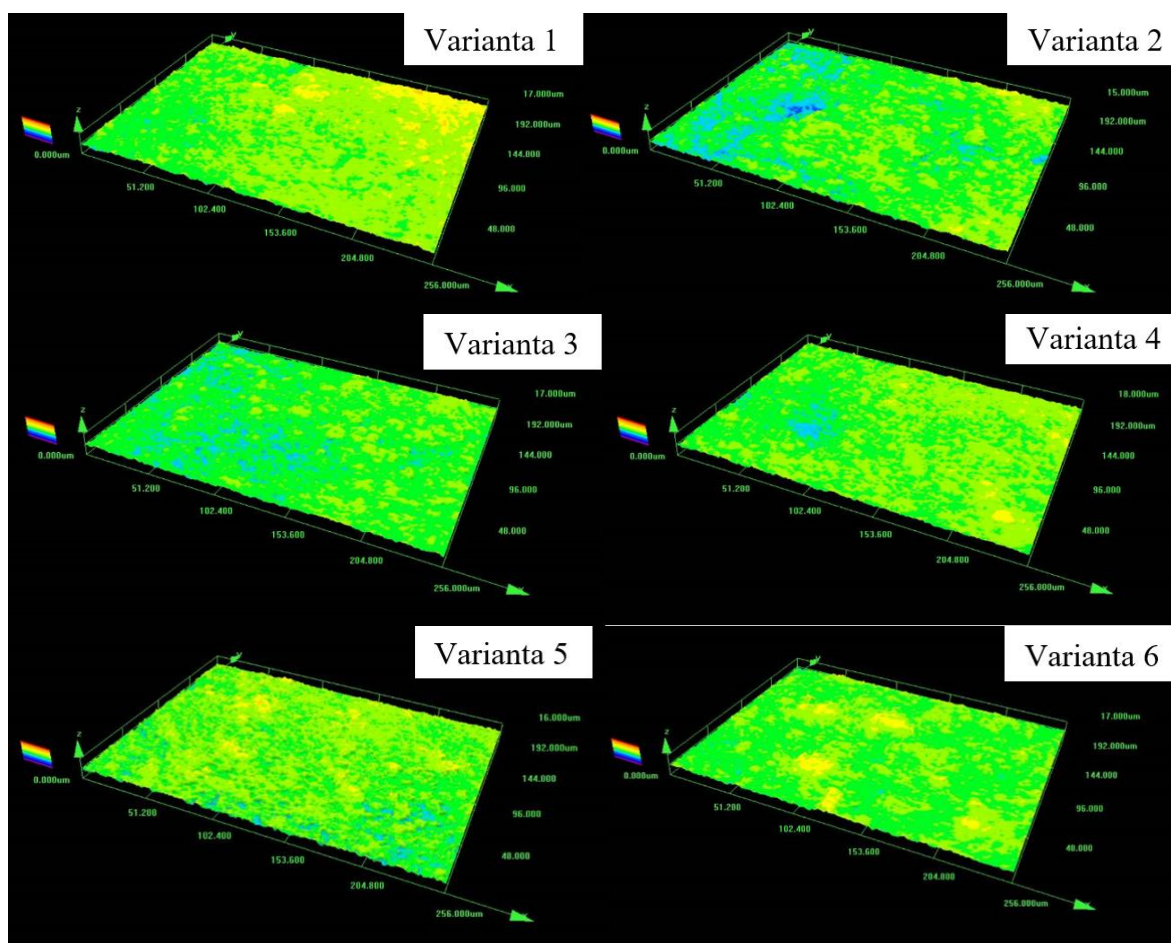
5.8.7.2 Snímání povrchu pomocí konfokálního mikroskopu

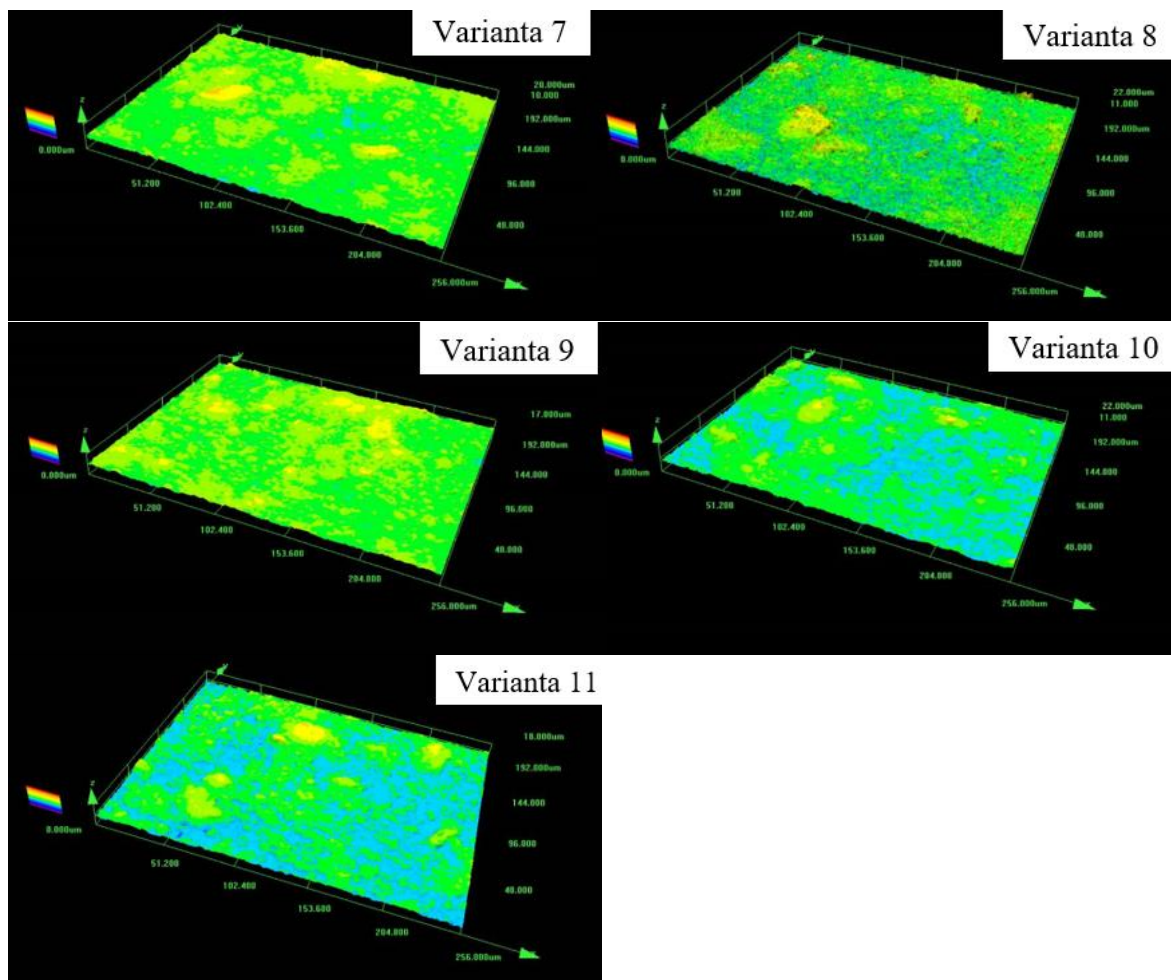
Pro detailnější zobrazení byly vzorky pozorovány konfokálním mikroskopem LEXT OLS 3000, který umožňuje 2D a 3D zobrazení pozorovaného povrchu.



Obrázek 35 - Konfokální mikroskop LEXT OLS 3000

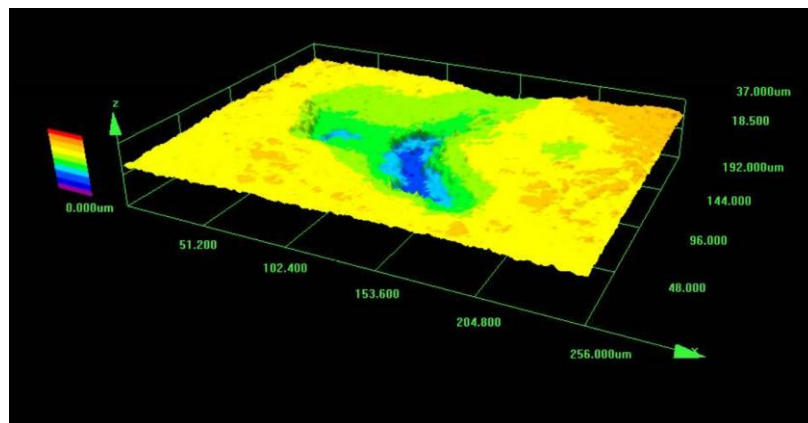
Pro doplnění snímků z optického mikroskopu byly vytvořeny snímky 3D morfologie povrchu.



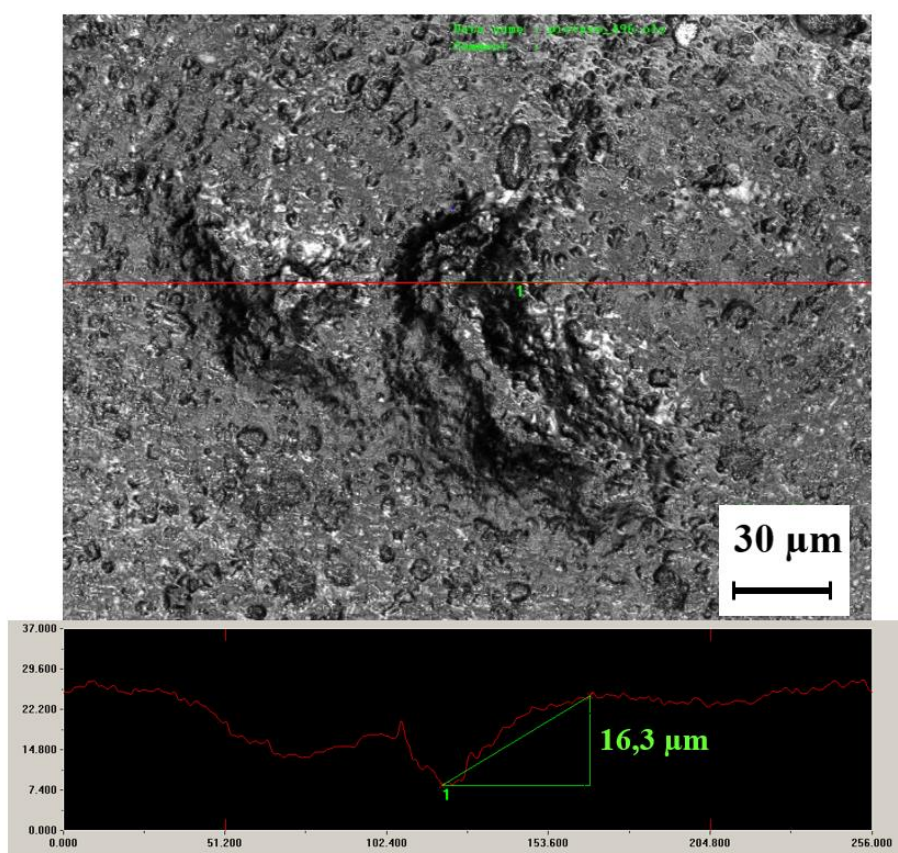


Obrázek 36 - 3D morfologie povrchu jednotlivých variant

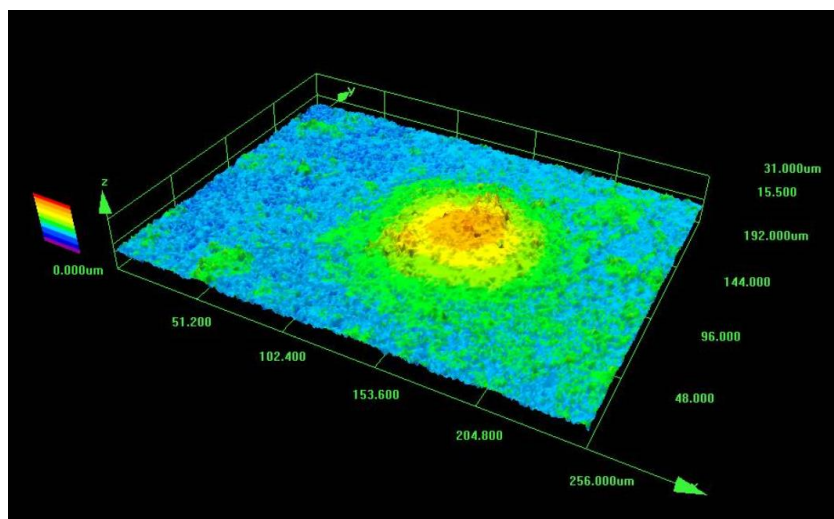
Pro podrobnější zobrazení byl náhodně vybrán vždy jeden vzorek, který byl dispergován pomocí ultrazvukového homogonizátoru a druhý pomocí dispergátoru stator-rotor. Záměrně byla vybrána místa, kde se nachází defekt (prohlubeň, výstupek) povlaku. Na obrázku 37 je nejprve zobrazen 3D pohled na snímaný povrch. Na obrázku 38 je zobrazen tentýž snímaný povrch v 2D zobrazení. Červená vodorovná čára zobrazuje místo pomyslného řezu, které je níže zobrazeno ve skutečném tvaru. Hloubka defektu je $16,3 \mu\text{m}$. U varianty č. 1 byly defekty převážně ve formě prohlubní.



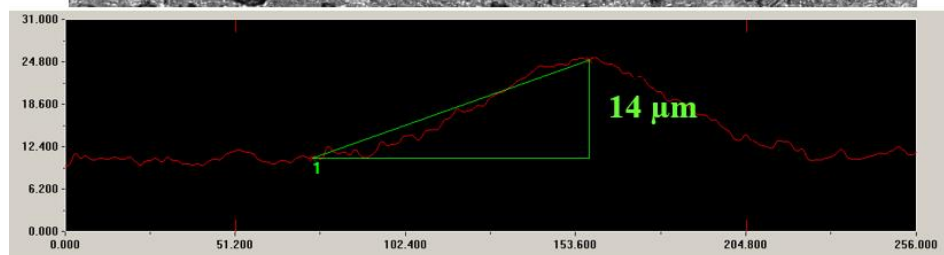
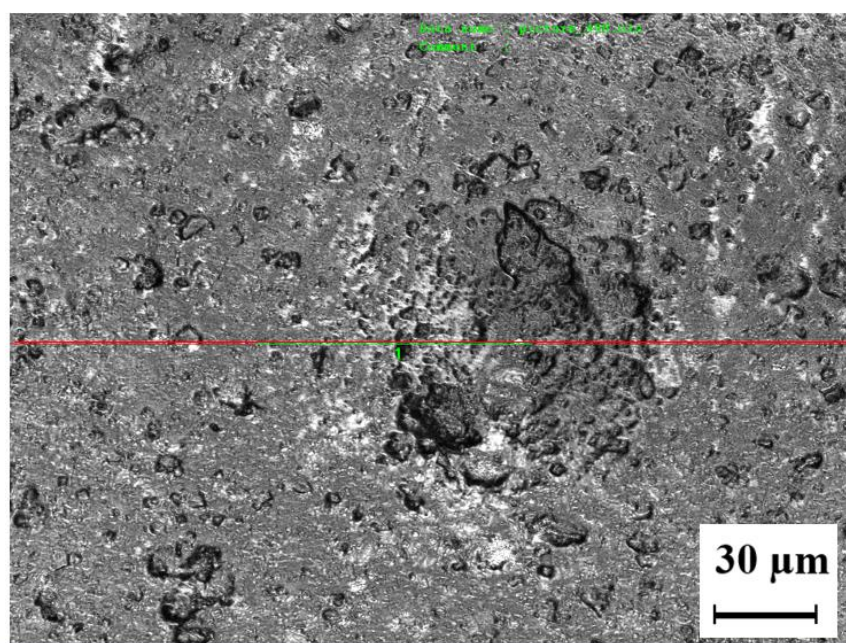
Obrázek 37 - 3D snímek morfologie defektu (varianta č. 1)



Obrázek 38 - 2D snímek morfologie defektu (varianta č. 1)



Obrázek 39 - 3D snímek morfologie defektu (varianta č. 9)



Obrázek 40 - 2D snímek morfologie defektu (varianta č. 9)

Diskuze výsledků

Snímky z konfokálního mikroskopu umožnily lépe porozumět morfologii povrchu jednotlivých variant. Je patrné, že v některých případech vznikly defekty ve tvaru výstupků,

a v některých případech ve tvaru prohlubně, které mohou zmenšit tloušťku povlaku až na polovinu.

5.8.8 Zkoušky odolnosti proti vlhkosti (kondenzační zkouška)

Zkouška odolnosti proti vlhkosti je definovaná v normě ČSN EN ISO 6270 (673108):2017. Při kondenzační zkoušce jsou vzorky vystaveny prostředí v klimatické komoře, kde dochází ke kondenzaci vody s konstantní vlhkostí. Dnem klimatické komory je vana sloužící jako nádrž vody. Udržovaná teplota musí být $(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$. [49]

Příprava vzorků

Pro zkoušku odolnosti proti vlhkosti bylo nutné zamaskovat plochy, na kterých nebyla nanesena nátěrová hmota. Zadní strana byla oblepena lepící páskou. K zamaskování zbylých ploch bylo použito roztaveného vosku. Zkoušce bylo vystaveno 10 variant a dále varianta, při které nebylo použito plnivo (varianta č. 0) a také Q-panel bez povlaku. Od každé varianty byly podrobeny zkoušce 2 vzorky. Během zkoušky byla měněna poloha vzorků v klimatické komoře, aby se eliminovalo ovlivnění polohy. Vzorky byly průběžně kontrolovány po 24, 48, 72, 96 a 400 hod. V uvedené kontrolní časy proběhlo také pořízení fotografií povlaků. Zkouška trvala 400 hod. Všechny fotografie průběhu zkoušky jsou součástí elektronické přílohy.



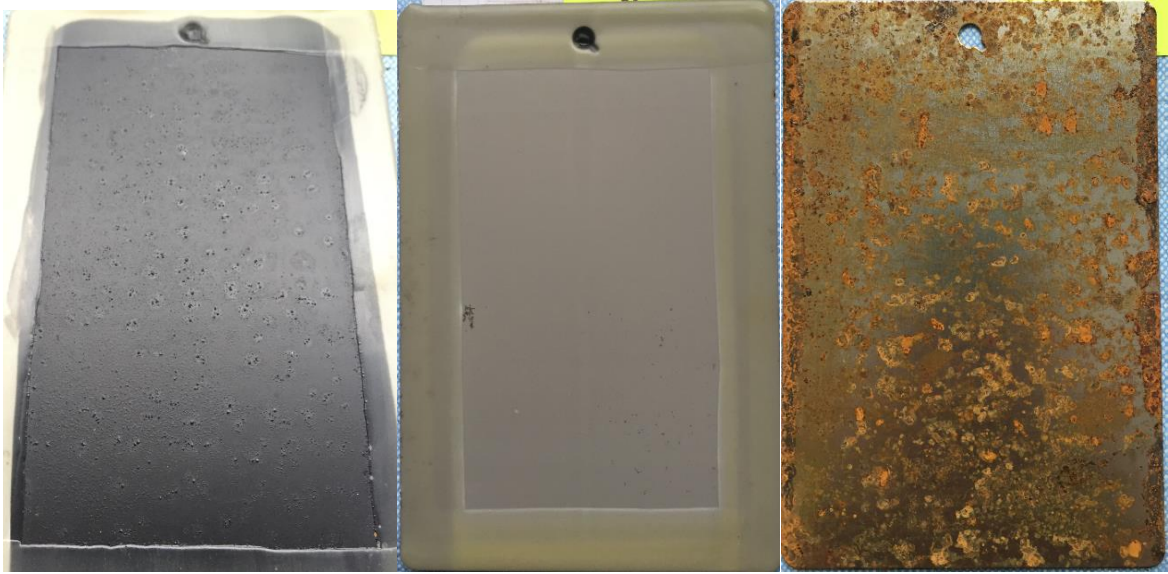
a) Maskování vzorků

b) Rozložení vzorku v klimatické komoře

Obrázek 41 - Kondenzační zkouška

Po kondenzační zkoušce se objevily na všech vzorcích puchýřky a u některých se projevila bodová koroze. Porovnány byly nejen vzorky variant obsahujících plnivo, ale také varianta 0, která plnivo neobsahovala. Pro srovnání byl zkoušce podroben také Q-panel,

který byl bez povrchové úpravy. Pro přehlednější znázornění je na obrázku 42 uvedena typická povrchová struktura varianty s plnivem, bez plniva a bez povrchové úpravy.



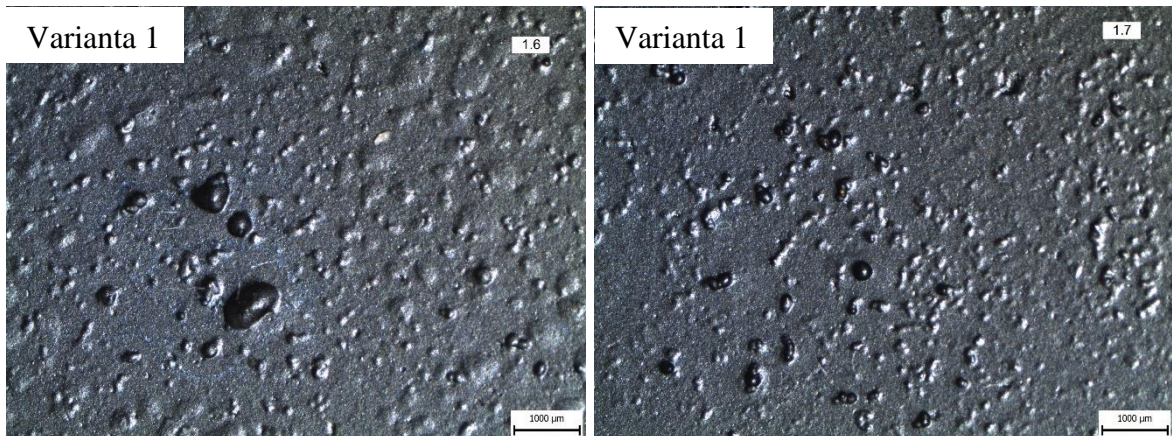
a) *Varianta s plnivem*

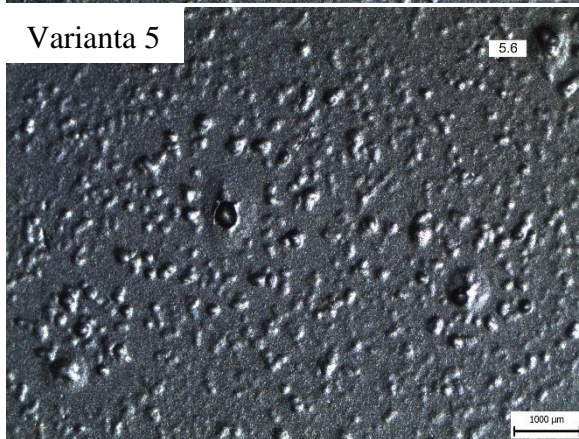
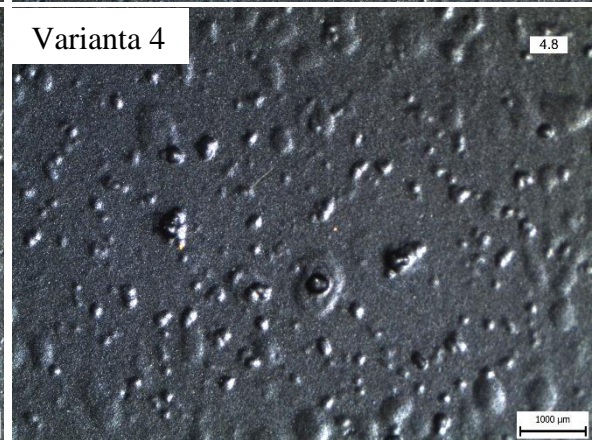
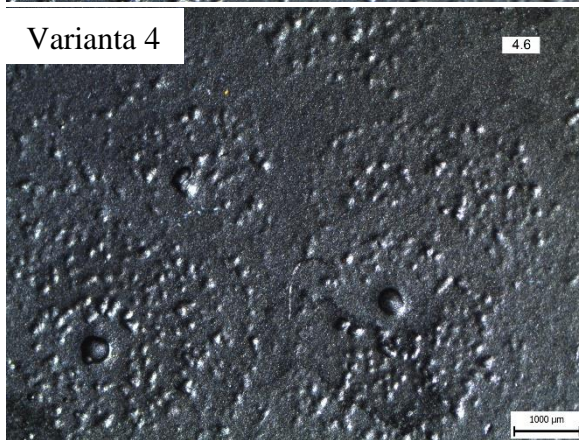
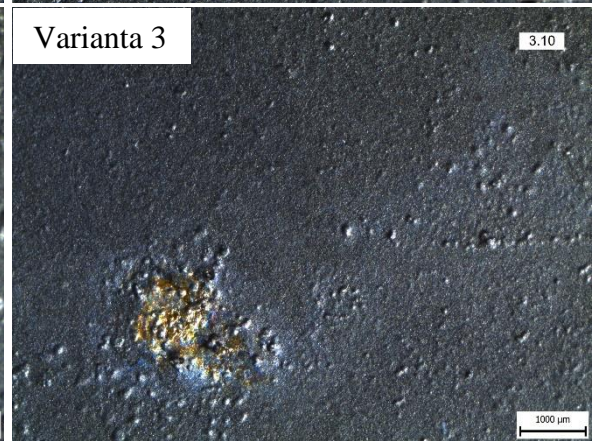
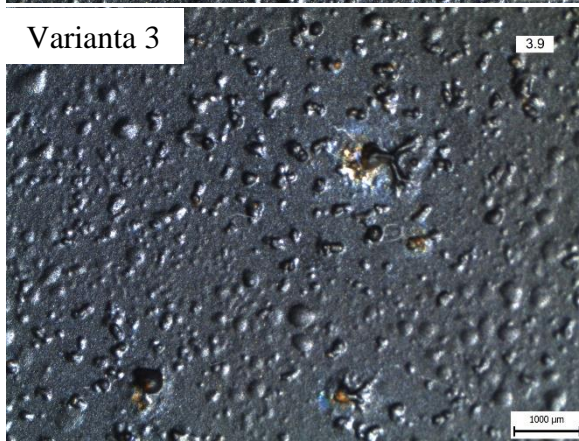
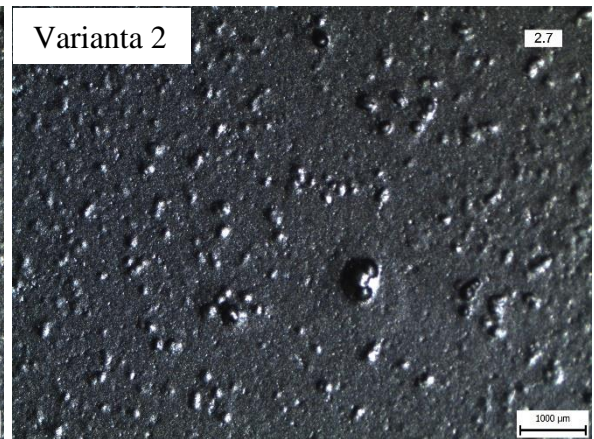
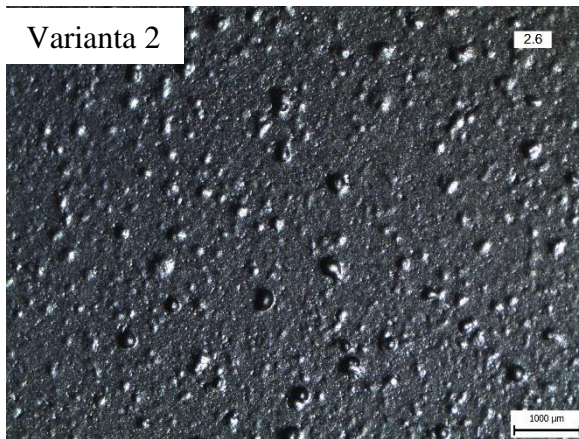
b) *Varianta bez plniva*

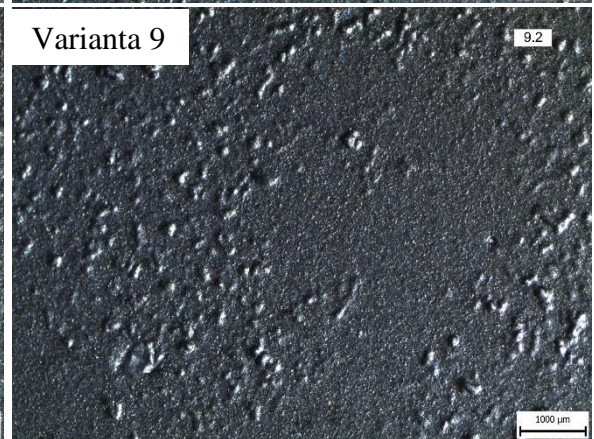
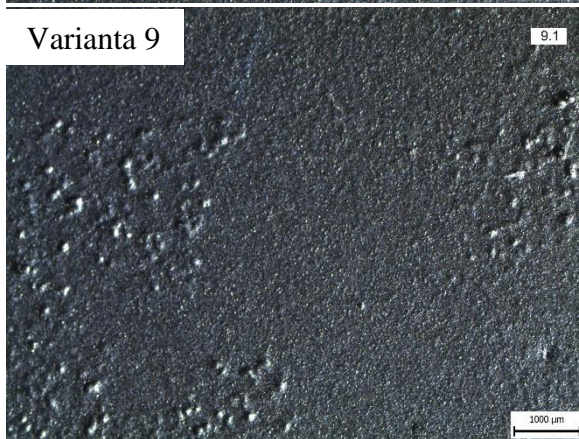
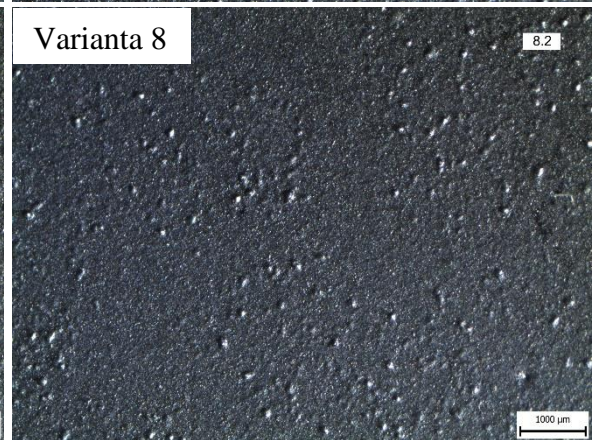
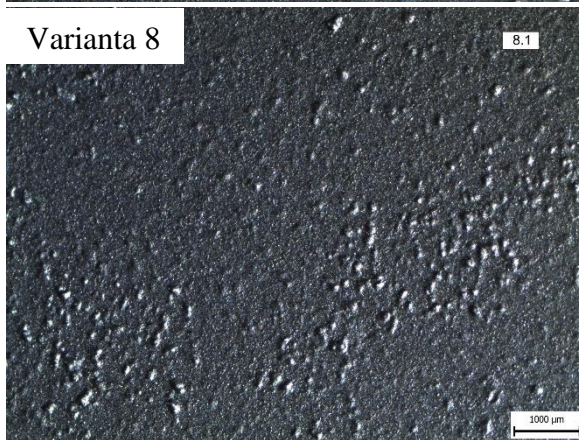
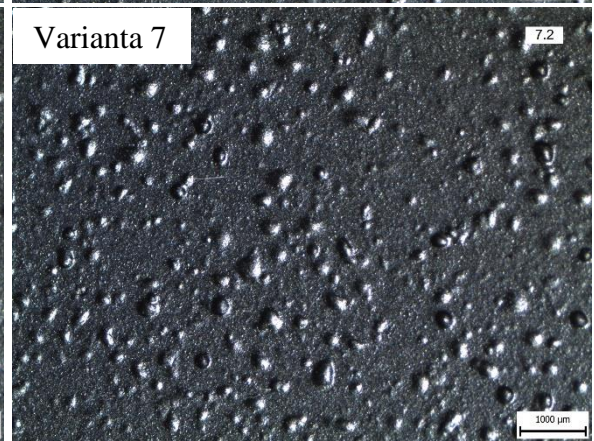
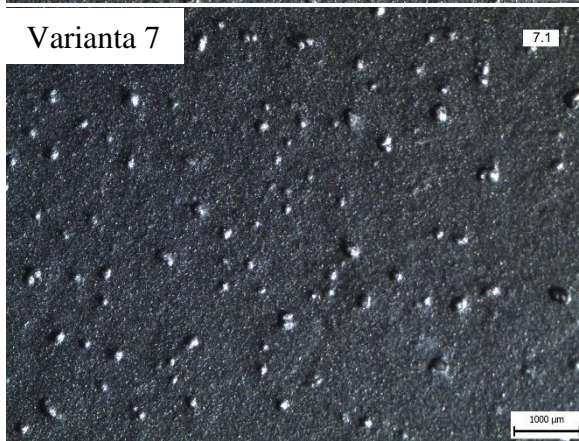
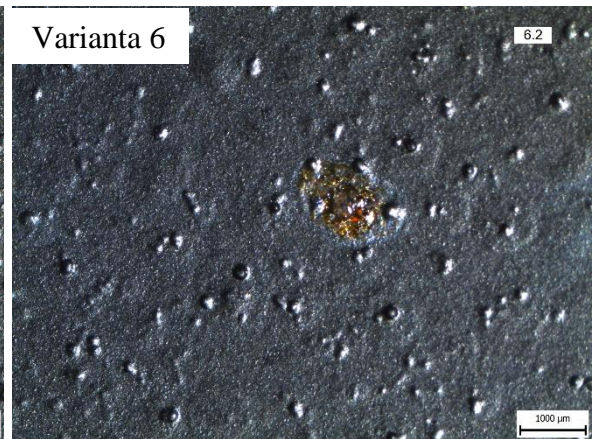
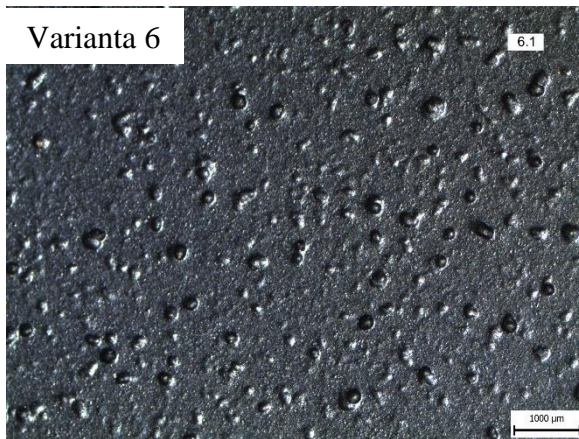
c) *Varianta bez povrchové úpravy*

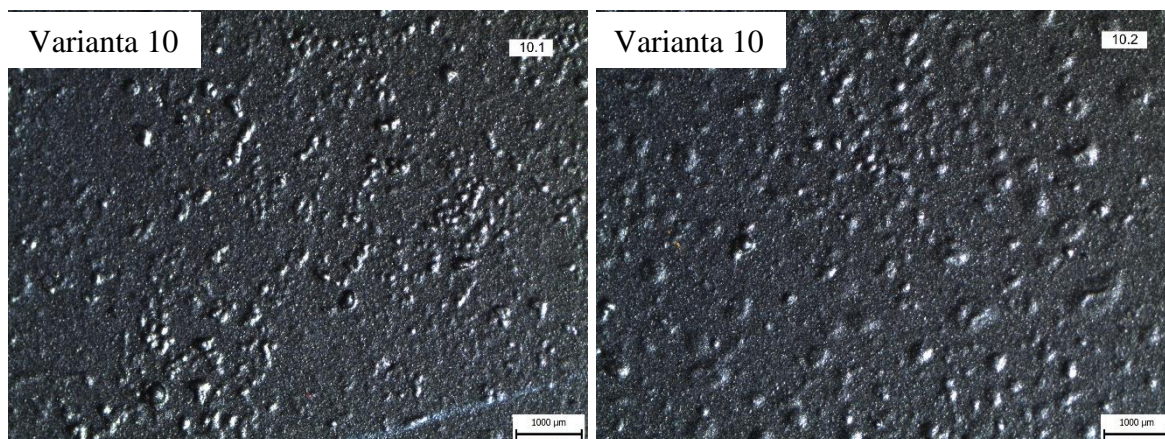
Obrázek 42 - Porovnání povrchu

Snímky morfologie povrchu vzorků vystavených kondenzační zkoušce, byly vytvořené na optickém mikroskopu. Snímky jsou uvedeny pod odstavcem. Platí, že na stejném řádku jsou uvedeny dva snímky stejné varianty, které byly vytvořeny na dvou různých vzorcích.



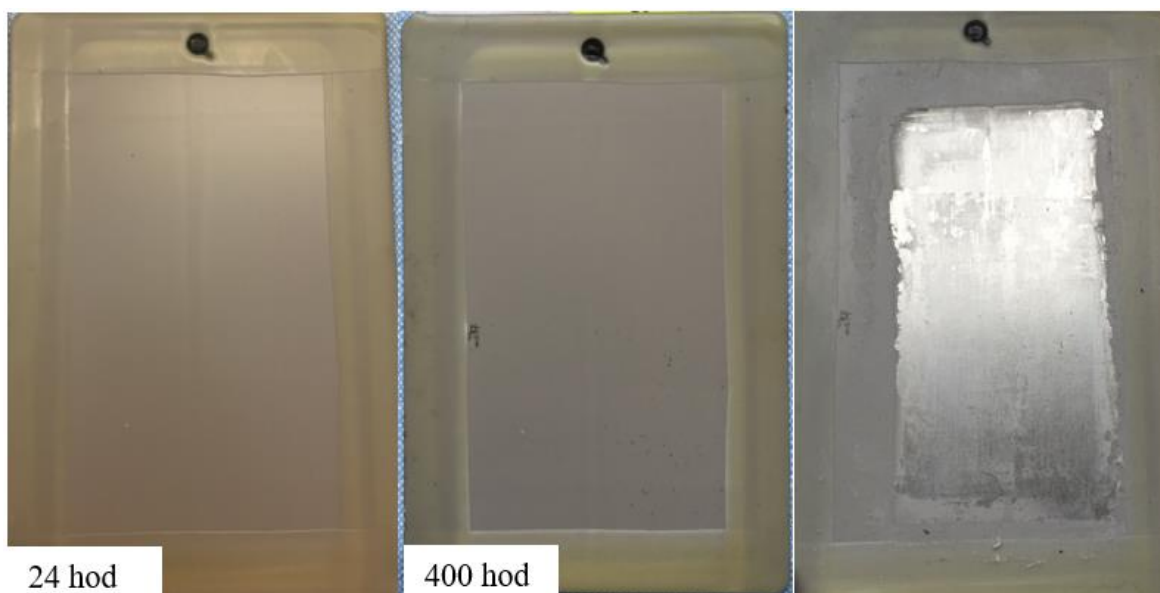






Obrázek 43 – Přehled snímků morfologie povrchu po kondenzační zkoušce

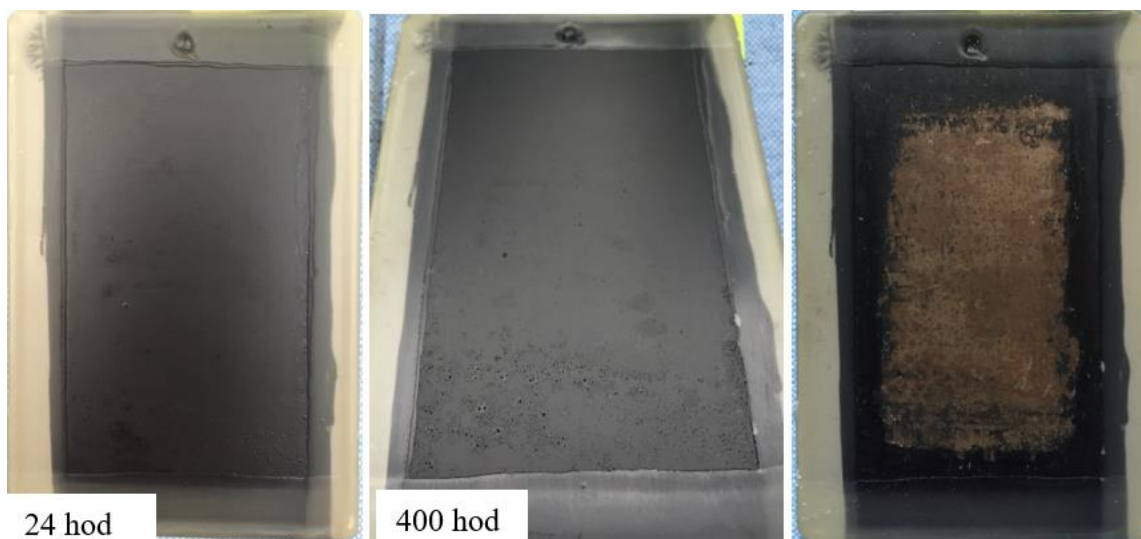
Níže jsou uvedeny 3 fotografie od každé varianty. Fotografie vlevo byla pořízena po 24 hod v klimatické komoře, uprostřed po ukončení zkoušky a vpravo po odstranění povlaku.



Obrázek 44 – Kondenzační zkouška, varianta č. 0

Tabulka 10 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 0

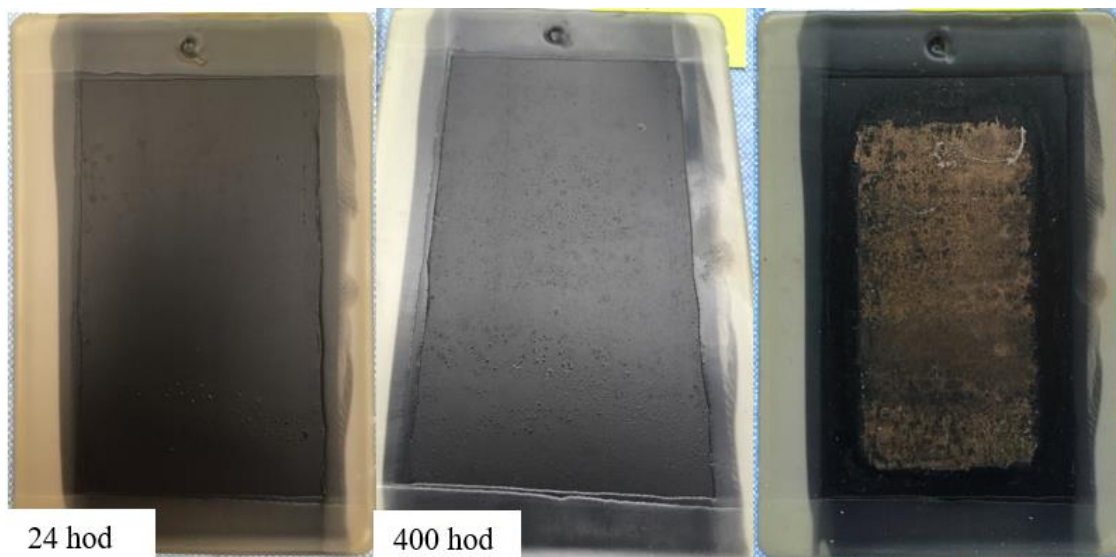
Tloušťka [µm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
71,6	0	0	Ri 1	Výborná korozní odolnost



Obrázek 45 – Kondenzační zkouška, varianta č. 1

Tabulka 11 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 1

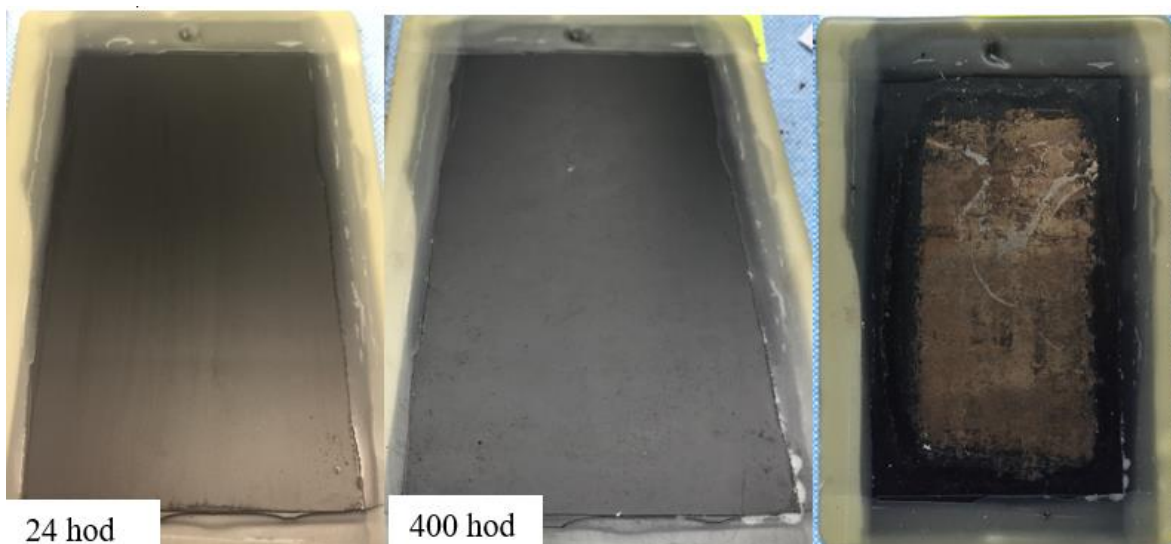
Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
56,4	4-4(S2)	20	> Ri 5	Vyskytují se zde menší i větší puchýřky



Obrázek 46 – Kondenzační zkouška, varianta č. 2

Tabulka 12 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 2

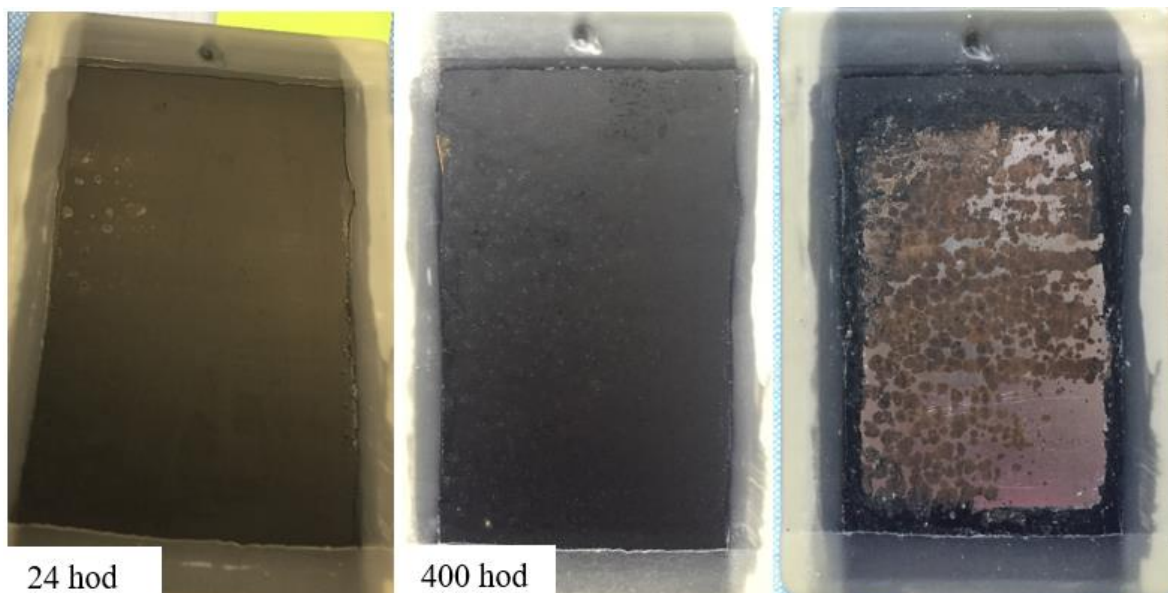
Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
66,1	4-4(S2)	75	> Ri 5	Prorezavění se objevuje na celé ploše



Obrázek 47 - Kondenzační zkouška, varianta č. 3

Tabulka 13 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 3

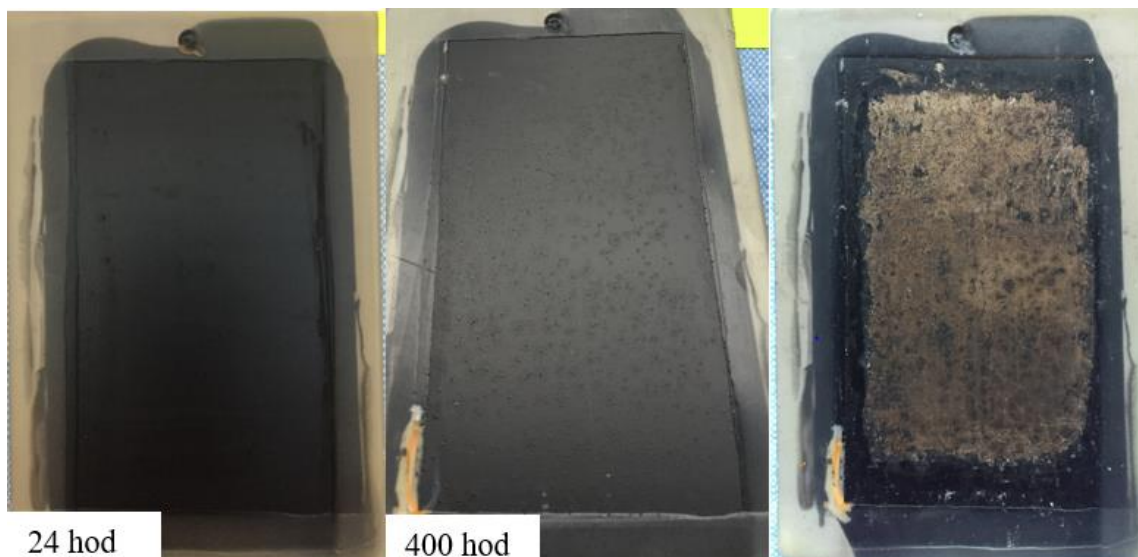
Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
49,9	3-3(S2)	70	> Ri 5	Prorezavění se objevuje na celé ploše



Obrázek 48 - Kondenzační zkouška, varianta č. 4

Tabulka 14 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 4

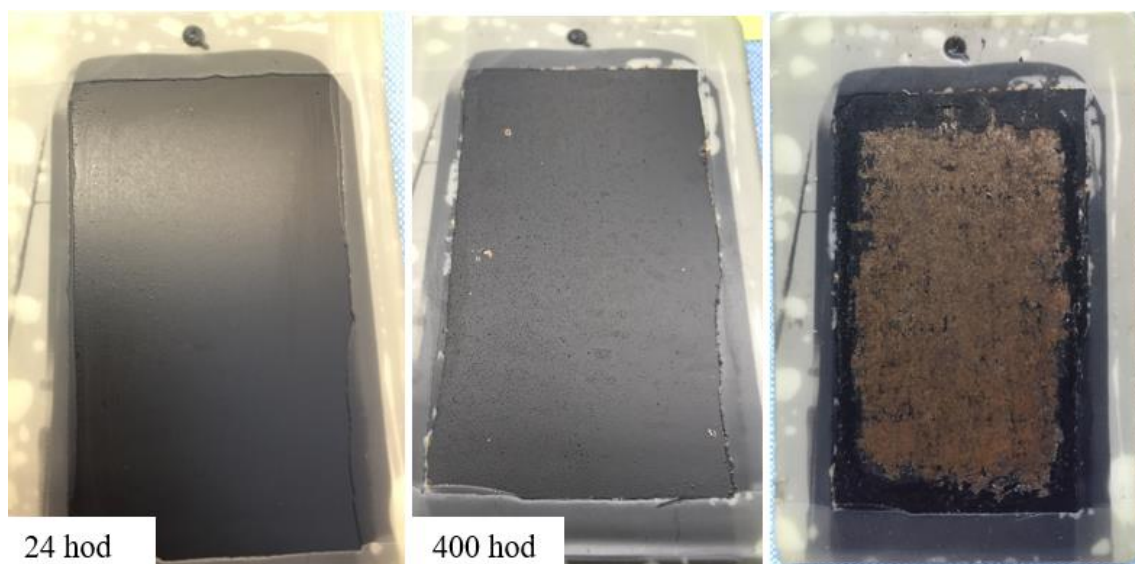
Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
72	3-3(S2)	80	Ri 5	Prorezavění není v celé ploše



Obrázek 49 - Kondenzační zkouška, varianta č. 5

Tabulka 15 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 5

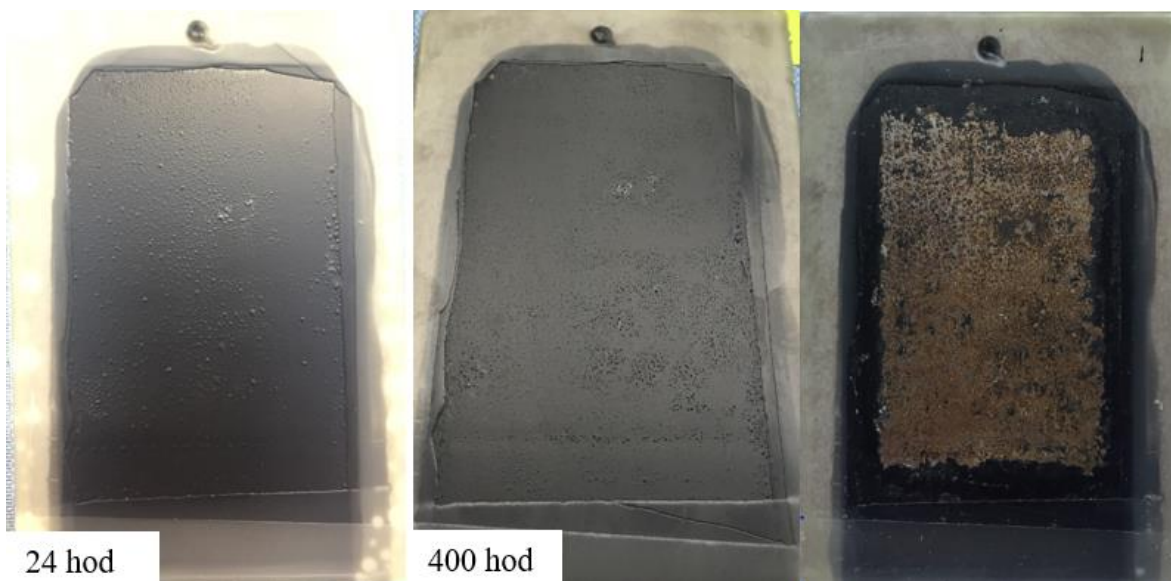
Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
65,5	3-3(S2)	100	> Ri 5	Vyskytují se zde menší i větší puchýřky



Obrázek 50 - Kondenzační zkouška, varianta č. 6

Tabulka 16 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 6

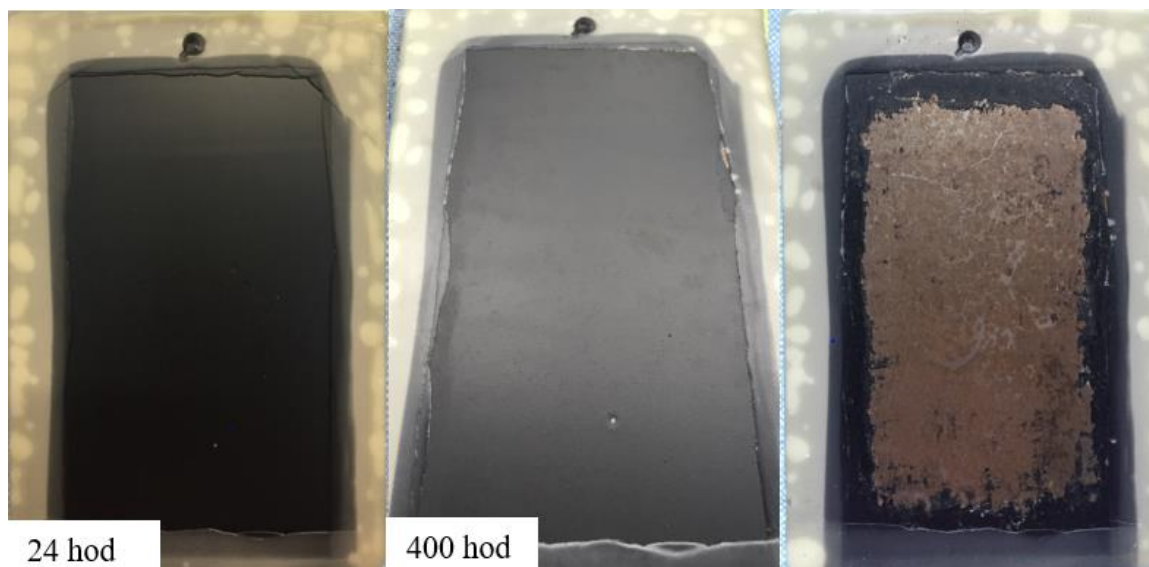
Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
61,3	5-5(S2)	100	> Ri 5	Prorezavění se objevuje na celé ploše



Obrázek 51 - Kondenzační zkouška, varianta č. 7

Tabulka 17 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 7

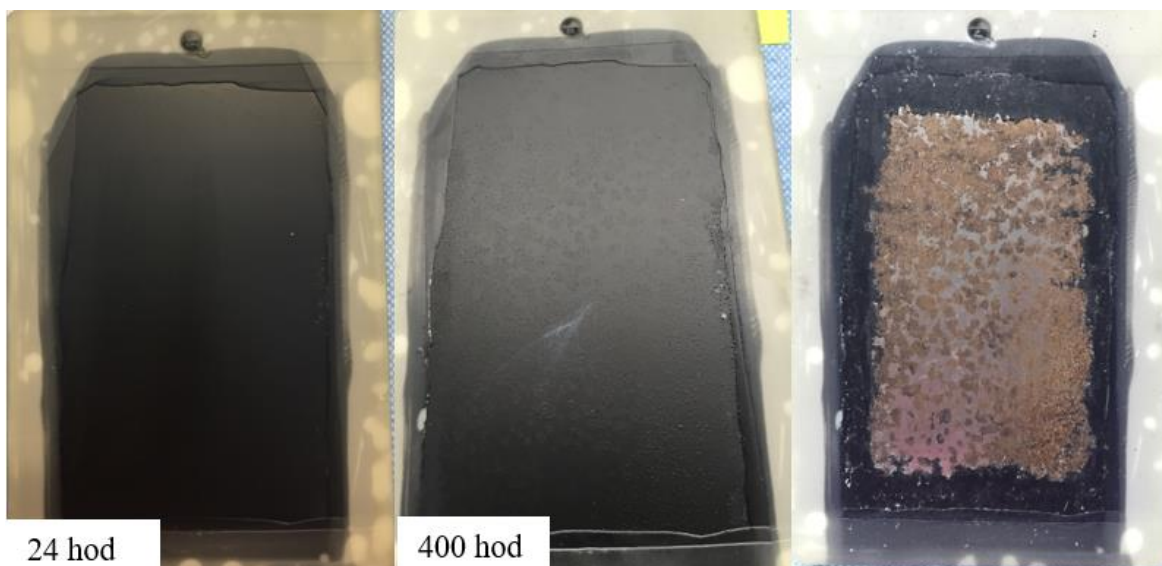
Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
64,6	4-4(S2)	100	> Ri 5	Prorezavění se objevuje na ~ 90 % plochy vzorku



Obrázek 52 - Kondenzační zkouška, varianta č. 8

Tabulka 18 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 8

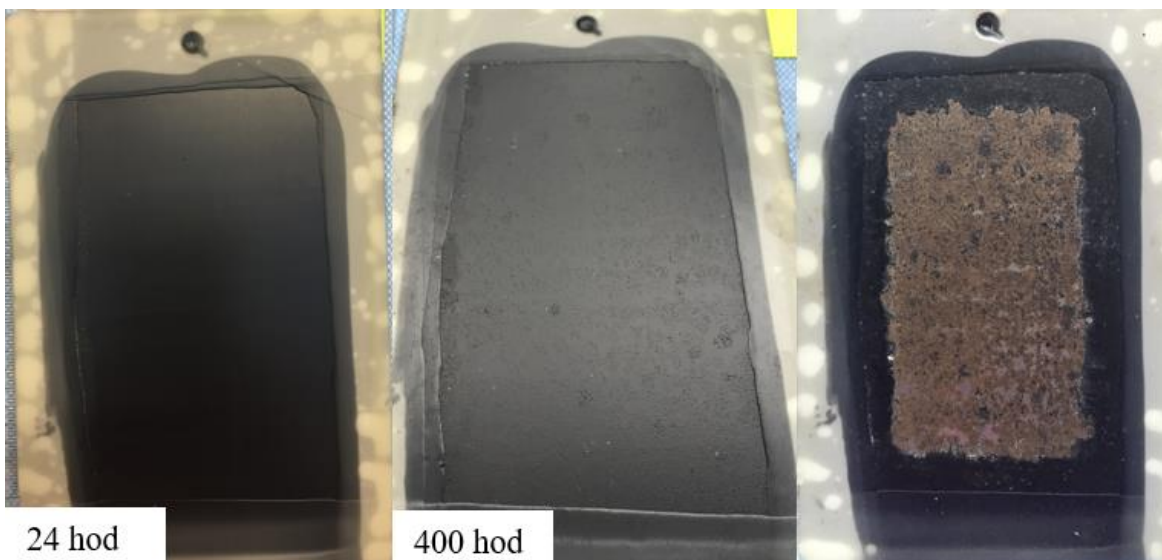
Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
52,3	S1	80	> Ri 5	Puchýřky jsou velice malé



Obrázek 53 - Kondenzační zkouška, varianta č. 9

Tabulka 19 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 9

Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
66,7	4-4(S2)	100	Ri 5	Prorezavění není v celé ploše



Obrázek 54 - Kondenzační zkouška, varianta č. 10

Tabulka 20 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 10

Tloušťka [μm]	Puchýřkování	% výskyt puchýřku na ploše vzorku	Prorezavění	Poznámka
63,6	4-4(S2)	100	> Ri 5	Prorezavění se objevuje na ~ 90 % plochy vzorku

Obrázek 55 zobrazuje pórovitost povlaku. Snímek byl vytvořen podsvícením povlaku, který byl vytvořen na skleněné tabuli. Světlé místa (tečky) jsou póry.



Obrázek 55 - Pórovitost povlaku

Diskuze výsledků

Nejprve si lze všimnout, že přidáním plniva se zhoršila odolnost vůči korozi. Na povlacích obsahujících plnivo vznikaly puchýřky v mnohem větší četnosti a velikosti než u povlaků varianty bez plniva. Vznik puchýřku, respektive tvorba korozních produktů, je úzce spjata s porozitou povrchu. Při dispergačním procesu mohlo dojít k vnesení vzduchu do nátěrové hmoty, tudíž povlak obsahoval více pórů.

Hodnocení probíhalo nejprve z hlediska velikosti a četnosti puchýřku. Nejlépe hodnocená varianta, obsahující uhlíkové nanotuby, byla varianta č. 8. Avšak po odstranění povlaku bylo zjištěno, že nejméně korozních produktů vznikalo u variantě č. 4 a 9. Na povlaku, který neobsahoval plnivo, vznikaly puchýřky a korozní produkty maximálně na 5 % plochy. Pro využití v praxi bych doporučila použít nátěrový systém, který se skládá z více nátěrů. Jako základní nátěr by bylo vhodné použít nátěrovou hmotu CP 55, která neobsahuje nanočástice uhlíku a dokáže tak lépe chránit povlak před korozi. Vrchním nátěrem by byla nátěrová hmota obsahující nanočástice uhlíku. Povlak by tedy eliminoval vznik statického výboje.

6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické zhodnocení technologie výroby je velice náročný a komplexní proces, obsahující celou řadu vstupních proměnných údajů. Cílem níže uvedeného technicko-ekonomického zhodnocení je orientačně vypočítat náklady na spotřebu nátěrové hmoty a porovnat metody dispergování z finančního hlediska.

V důsledku zasychání a vypařování vody z povlaku, dochází ke snížení tloušťky povlaku. Je předpokládáno, že tloušťka mokrého povlaku (WFT) byla 120 μm a 270 μm . Dle naměřených hodnot tlouštěk u všech vzorků byla vypočítána průměrná hodnota tloušťky suchého povlaku (DFT). Dále byl vypočítán poměr tlouštěk mokrého povlaku k suchému povlaku. V poslední řadě došlo k zprůměrování a zaokrouhlení těchto poměrů tak, aby bylo možné dále pracovat pouze s jednou hodnotou. Dle výpočtů je patrné, že tloušťka suchého povlaku je přibližně 4x menší než tloušťka mokrého povlaku. Soubor všech tlouštěk, které byly potřebné k výpočtům hodnot uvedené v tabulce 21 je součástí přílohy.

Tabulka 21 - Tloušťky mokrého a suchého povlaku a jejich poměr

WFT [μm]	DFT [μm]	Poměr WFT/DFT	Zaokrouhlení WFT/DFT
120	32,06	3,74	4
270	64,14	4,20	

Ve výpočtu nákladů na spotřebu nátěrové hmoty na 1 m^2 není zahrnuta cena matrice CP 55, jelikož se nejedná o běžně dostupný produkt výrobce VITON s.r.o. Hodnoty důležité k výpočtu nákladů na spotřebu nátěrové hmoty jsou uvedeny v tabulce 22. Hodnoty jsou počítány na výslednou tloušťku povlaku (DFT) 80 μm . Tloušťka mokrého povlaku je tedy 320 μm . Nejprve byl vypočítán objem nátěrové hmoty potřebný k nanesení 320 μm na velikost plochy 1x1 m. Dle hustoty nátěrové hmoty došlo k přepočtu na spotřebu v kilogramech. Z informace uvedené v předchozí kapitole je známo, že pro experiment byl zvolen obsah uhlíkových nanotub s maximálním hmotnostním podílem 1 %. Nátěrová hmota byla tedy připravena v poměru 5:1 (matrice: plnivo). Náklady na plnivo AQUACYL 0301 jsou přibližně 68 Kč na 1 m^2 .

Tabulka 22 - Propočet ceny plniva

Požadovaná tloušťka povlaku [μm]	80
Tloušťka mokrého povlaku [μm]	320
Objem povlaku [m^3]	0,00032
Spotřeba NH [l.m^{-2}]	0,32
Hustota NH [kg.l^{-1}]	1,206
Spotřeba NH [kg.m^{-2}]	0,386
Spotřeba matrice [kg.m^{-2}]	0,322
Spotřeba plniva [kg.m^{-2}]	0,064
Cena plniva AQUACYL 0301 [Kč.kg^{-1}]	1 053
Cena plniva [Kč.m^{-2}]	67,74

Orientační náklady na pořízení dispergačních zařízení jsou uvedeny v tabulce 23. Uvedené pořizovací částky představují maloobchodní cenu. Částky jsou pouze informativního charakteru a slouží k přiblížení finanční náročnosti jednotlivých dispergačních zařízení.

Tabulka 23 - Orientační náklady na pořízení dispergačních zařízení

Dispergační zařízení	Orientační pořizovací cena dispergačního zařízení [Kč]
Lopátkové (hřídelové) míchadlo	~ 20 000
Ultrazvukový homogenizátor	~ 150 000
Stator-rotor	~ 75 000

Diskuze výsledků

Z výše uvedených propočetů je patrné, že cena plniva na 1 m^2 je 68 Kč. Uvedená cena platí pro tloušťku suchého povlaku $80 \mu\text{m}$. Vzhledem k vývoji nanomateriálů, lze očekávat snížení ceny těchto plniv. Z hlediska použitých metod dispergace má nižší pořizovací náklady dispergační zařízení stator-rotor. Pro podrobnější zhodnocení finanční náročnosti pro průmyslovou výrobu nátěrové hmoty by bylo třeba více údajů

7. ZÁVĚR

Z výsledků předchozích kapitol je možné konstatovat, že cíle práce byly splněny. V rámci praktické části bylo vytvořeno jedenáct variant nátěrových hmot, které byly dispergovány s využitím ultrazvukového homogenizátoru a dispergátoru stator-rotor. Povlaky jednotlivých variant byly následně posuzovány z několika hledisek.

Při mřížkové zkoušce, zkoušce křížovým řezem a zkoušce hloubením prokazovaly povlaky velice podobné chování, při kterém nedocházelo k oddělení povlaku od podkladu. Rozdílné vlastnosti byly pozorovány při posuzování elektrické vodivosti. Varianta s nejlepší vodivostí je č. 9, která byla vytvořena na dispergačním zařízení stator-rotor. Dispergace probíhala po dobu 2 minut při otáčkách $15\,000\text{ min}^{-1}$. Bylo také zjištěno, že na výsledné vlastnosti mají vliv nejenom parametry dispergace, ale také podmínky nanášení nátěrové hmoty. Pro podrobnější výzkum této problematiky by bylo vhodné zajistit konstantní podmínky nanášení nátěrové hmoty. Dále bylo zjištěno, že na výsledný lesk povlaku má vliv doba vytvrzování povlaku. Při kratší době vytvrzování jsou hodnoty lesku vyšší. Je to pravděpodobně způsobeno větší vlhkostí povlaku. Bylo potvrzeno, že doba tvorby povlaku u vodou ředitelných nátěrových hmot je v řádech desítek dnů. Při zkoušce odolnosti proti vlhkosti bylo zjištěno, že přidáním plniva se zhoršila korozní odolnost povlaku. Povlak obsahoval více pórů, tudíž nebyla vytvořena bariérová ochrana základního materiálu. Na povlacích vznikaly puchýřky a následně koroze základního materiálu. Nejmenší četnost a velikost puchýřku byla pozorována u varianty č. 8. Avšak po odstranění povlaku bylo stanoveno nejnižší podkorodování u variant č. 4 a 9.

Z hlediska kombinace elektrické vodivosti a korozní odolnosti prokazuje nejlepší vlastnosti varianta č. 9, která byla vytvořena na dispergačním zařízení stator-rotor. Použití dispergačního zařízení stator-rotor je také ekonomičtější oproti ultrazvukovému homogenizátoru. Pro zvýšení korozní odolnosti bych doporučila použít nátěrový systém skládající se ze základního nátěru bez obsahu uhlíkových nanočástic a vrchního nátěru, který by obsahoval nanočástice uhlíku. Pro další výzkum by bylo třeba pozorovat např. skenovací elektronickou mikroskopií dispergaci a distribuci uhlíkových nanotub v povlaku. Dále by bylo zajímavé zhodnotit odolnost povlaku proti otěru, působení UV záření, vlivu nanášení nátěrové hmoty atd.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. *Technologie nátěrových hmot I.: pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-7194-691-5.
- [2] KUBÁTOVÁ, Hana. *Nátěry kovů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2000, 101 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-9035-1
- [3] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot I.: pigmenty a plniva pro nátěrové hmoty*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-576-5.
- [4] UNIVERZITA PARDUBICE. Studijní text - Pigmenty [online]. [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: <http://www.upce.cz/fcht/uocht/spektrum/ktol-pigmenty.pdf>
- [5] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01472-x.
- [6] KREIBICH, Viktor. *Povrchové úpravy* 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1981. 149 s
- [7] ŠÍŠPEROVÁ, Michaela. Organická rozpouštědla a možnosti jejich zpracování. *MM Spektrum* [online]. 2007, **2007**(4) [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/organicka-rozpoustedla-a-moznosti-jejich-zpracovani.html>
- [8] MACEK, K. a kol. *Strojírenské materiály*. Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze, 2003
- [9] TŮMA, Zdeněk. Stav a trendy vývoje průmyslových NH. *Transfer* [online]. 2014, **2014**(22), 6-12 [cit. 2018-11-19]. ISSN 1801 - 9315. Dostupné z: <https://www.vzlu.cz/cs/casopis-transfer-rocnik-2014-c410.html>
- [10] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie*[online]. 2005 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11298787-Jiri-malac-gumarenska-technologie-4-smesi-1-obsah.html>
- [11] KREIBICH, Viktor. *Koroze a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1984.
- [12] *Proinex: Natahovací pravitko BAKER* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/cs/169-natahovaci-pravitko-baker.html>

- [13] *Jak zvolit stříkací pistoli – pneumatickou nebo elektrickou* [online]. 2018 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://thetvmom.com/nastroje-a-vybaveni/jak-zvolit-strikaci-pistoli-pneumatickou-nebo/>
- [14] *NOVÁ ŠPIČKOVÁ PISTOLE AIRMIX®* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.kremlin.cz/index.php?id=produkty&kat=strikaci-technika-vysokotlaka-airless&pkat=strikaci-pistole-airmix&detail=36-airmix-xcite>
- [15] PROŠEK, T. Mechanisms of degradation of organic coatings. *Koroze a ochrana materialu* [online]. 2017, **61**(4), 155-161 [cit. 2018-11-19]. DOI: 10.1515/kom-2017-0019. ISSN 1804-1213. Dostupné z: <http://content.sciendo.com/view/journals/kom/61/4/article-p155.xml>
- [16] *Poruchy nátěrů a jejich odstraňování* [online]. In: . Praha: Austis, 2014 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://barvy-eternal.static.s9.updates.com/t/t537ca0b7335c8-manual-2014-web.pdf>
- [17] ČSN EN ISO 4618 (670010):2018. *Nátěrové hmoty - Termíny a definice*. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [18] KUDLÁČEK, Jan, Michal ZOUBEK, Viktor KREIBICH, Miroslav VALEŠ a František HERRMANN. Aplikace nátěrových systémů se zvýšenou elektrickou vodivostí. *Povrcháři* [online]. 2014, (7) [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201407_povrchari.pdf
- [19] *Vznik elektrostatických nábojů* [online]. Antistatika, 2017 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.antistatika.info/antistatika-obecne/>
- [20] MASRI, M.N., Z.M. YUNUS, A.R.M. WARIKH a A.A. MOHAMAD. Electrical conductivity and corrosion protection properties of conductive paint coatings. *Anti-Corrosion Methods and Materials* [online]. 2010, **57**(4), 204-208 [cit. 2018-11-19]. DOI: 10.1108/00035591011058219. ISSN 0003-5599. Dostupné z: <https://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/00035591011058219>
- [21] STANĚK, Zdeněk, Luděk AUBRECHT a Jan KOLLER. *TRIBOELEKTRINA V NEVÝROBNÍCH INTERIERECH, VZDUŠNÁ VLHKOST A ANTISTATICKÁ ÚPRAVA LÁTEK* [online]. Praha: ČVUT, , 1-8 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.aei.tuke.sk/papers/2002/2/STANEK.pdf>

- [22] ČAUČÍK, Pavol. *Prísady do plastov*. Bratislava: Alfa, 1985. Edícia chemickej literatúry (Alfa).
- [23] ČSN IEC/TR 61340-1 (346440). *Elektrostatika – Část 1: Elektrostatické jevy - Principy a měření*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [24] ČSN EN 61340-2-3 (346440). *Elektrostatika - Část 2-3: Metody zkoušek pro stanovení rezistance a rezistivity tuhých rovinných materiálů, používaných k zabránění akumulace elektrostatického náboje*. Praha: ÚNMZ, 2001.
- [25] FEJFAROVÁ, Marie. *Možnosti detekce obsahu vody v pórovitém prostředí metodou elektrické impedanční spektrometrie*[online]. Brno, 2014 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30311275.pdf>. Disertační práce. VUT v Brně.
- [26] ČSN EN ISO 12944-3 (038241):2018. *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 3: Navrhování*. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [27] ZHANG, Mingqian, Shile FENG, Lei WANG a Yongmei ZHENG. Lotus effect in wetting and self-cleaning. *Biotribology* [online]. 2016, **5**, 31-43 [cit. 2018-12-08]. DOI: 10.1016/j.biotri.2015.08.002. ISSN 23525738. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352573815300020>
- [28] MA, Minglin a Randal M. HILL. Superhydrophobic surfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* [online]. 2006, **11**(4), 193-202 [cit. 2018-12-08]. DOI: 10.1016/j.cocis.2006.06.002. ISSN 13590294. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359029406000379>
- [29] *Ultra Ever Dry: Properties Ultra Ever Dry*[online]. [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: https://www.ultraeverdry-store.eu/properties_ultra_ever_dry.htm#2
- [30] WANG, Li, Jieyi YANG, Yan ZHU, Zhenhua LI, Tao SHENG, Y.M. HU a De-Quan YANG. A study of the mechanical and chemical durability of Ultra-Ever Dry Superhydrophobic coating on low carbon steel surface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*[online]. 2016, **497**, 16-27 [cit. 2018-12-08]. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2016.02.022. ISSN 09277757. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775716300942>

- [31] HOŠEK, Jan. *Úvod do nanotechnologie*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04555-8.
- [32] HERINK, Tomáš, Stanislav RAŠKA, František NEČESANÝ a Petr KUBAL. Aplikací možnosti sazí Chezacarb vyráběných v Unipetrol RPA. *Chemický průmysl* [online]. 2008, 1-5 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12216226-Chemicky-prumysl-aplikacni-moznosti-sazi-v-unipetrol-rpa-frantisek-ncesany-a-petr-kubal-2-vyroba-uhlikatych-substratu-ve-vyrobnach-unipetrol-rpa.html>
- [33] *Superconductivity* [online]. Geneva: Cern [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://home.cern/science/engineering/superconductivity>
- [34] SMRČKA, Ludvík. Nobelova cena za fyziku v roce 2010. In: *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie* [online]. 2011 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: https://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/141979/PokrokyMFA_56-2011-1_1.pdf
- [35] PRÁŠEK, Jan. *Uhlíkové nanočástice: grafen, nanotrubičky, fullereny* [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/13523105-Uhlikove-nanocastice-grafen-nanotrubičky-fullereny-jan-prasek.html>
- [36] SAUTER, C., M.A. EMIN, H.P. SCHUCHMANN a S. TAVMAN. Influence of hydrostatic pressure and sound amplitude on the ultrasound induced dispersion and deagglomeration of nanoparticles. *Ultrasonics Sonochemistry* [online]. 2008, 15(4): 517-523 [cit. 2018-10-31]. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2007.08.010.
- [37] KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. *Technologie nátěrových hmot I.: stroje a procesy ve výrobě nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-625-7.
- [38] PAUL, E. L., ATIEMO-OBENG, V. A. and KRESTA, S. M. (2004). *Handbook of industrial mixing: science and practice*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. ISBN 0-471-26919-0.
- [39] *Dispersion of Fumed Silica* [online]. Massachusetts: Silverson Machines [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.silverson.com/images/uploads/documents/CFumedSilica.pdf>

- [40] RAHIMI, Masoud, Saeideh AMRAEI a Ammar Abdulaziz ALSAIRAFI. Experimental and computational fluid dynamics modeling of mixing by Visco-jet impellers. *Korean Journal of Chemical Engineering*[online]. 2011, **28**(6), 1372-1379 [cit. 2018-11-19]. DOI: 10.1007/s11814-010-0522-y. ISSN 0256-1115. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11814-010-0522-y>
- [41] *Visco Jet* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.viscojet.com/en/innovations/>
- [42] HIELSCHER, Kathrin. *Ultrasonic Milling and Dispersing Technology for Nano-Particles* [online]. Německo: Hielscher Ultrasonics [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.lhybride.info/media/file/Ultrasonic%20Powder%20and%20Particle%20Processing.pdf>
- [43] SYSTEMS AND MATERIALS SEARCH Corp. *Apparatuses and methods for nondestructive microwave measurement of dry and wet film thickness*. BRAY, Alan V., Claude H. GARETT a Christian J. CORLEY. US7339382B1. Patentový spis. 4. 3. 2008
- [44] ČSN EN ISO 2808 (673061):2007. *Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: ÚNMZ, 2007.
- [45] ČSN EN ISO 2813 (673066):2016. *Nátěrové hmoty - Stanovení čísla lesku při úhlu 20°, 60° a 85°*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [46] ČSN EN ISO 2409:2013. *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [47] ČSN EN ISO 16276-2 (673202):2008. *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: ÚNMZ, 2008.
- [48] ČSN EN ISO 1520:2006. *Nátěrové hmoty – Zkouška hloubením*. Praha: ÚNMZ, 2007.
- [49] ČSN EN ISO 6270-2:2017. *Nátěrové hmoty – Stanovení odolnosti vlhkosti*. Praha: ÚNMZ, 2017.

- [50] Unikátní železniční most u Břeclavi. *Hempel News* [online]. 2018 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://www.hempel.cz/~media/Sites/hempel-cz/files/protective/newsletters/ORIG_NEWS-SPRING-2018-CZ_WEB.pdf
- [51] UNIVERZITA JANA EVANGELISTY PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM. Studijní text - Alkydové pryskyřice[online]. [cit. 2018-08-26]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/POLYESTERY.pdf>
- [52] SLIŽ, Jaroslav. Povrchová úprava kovů. *Povrchové úpravy* [online]. 2009(04) [cit. 2018-10-19]. Dostupné z: <http://povrchoveupravy.cz/2009-04-clanek04.html>
- [53] NARKIS, Moshe, Gershon LIDOR, Anita VAXMAN a Limor ZURI. New injection moldable electrostatic dissipative (ESD) composites based on very low carbon black loadings. *Journal of Electrostatics* [online]. 1999, 47(4), 201-214 [cit. 2019-01-06]. DOI: 10.1016/S0304-3886(99)00041-8. ISSN 03043886. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304388699000418>
- [54] RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. *Hydromechanické procesy II*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03302-3.
- [54] ČSN ISO 8502-4 (038222) : 2017. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků. Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu.: Část 4: Směrnice pro odhad pravděpodobnosti kondenzace vlhkosti před nanášením nátěrů*. ÚNMZ. Praha, 2017.

9. ZDROJE OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Vliv OKP na vybrané vlastnosti

ASBECK, W. K. a Maurice Van LOO. Critical Pigment Volume Relationships. *Industrial & Engineering Chemistry* [online]. 1949, **41**(7), 1470-1475 [cit. 2019-01-06]. DOI: 10.1021/ie50475a042. ISSN 0019-7866. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie50475a042>

Obrázek 2 - Poměr objemů pigmentů a pojiva při zvyšování OKP

KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. Poměr objemů pigmentů a pojiva při zvyšování OKP. *Technologie nátěrových hmot I.: pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-7194-691-5.

Obrázek 3 - Schéma tvorby nátěrové hmoty

KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. Schéma tvorby nátěrové hmoty. *Technologie nátěrových hmot I.: pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-7194-691-5.

Obrázek 4 - Fáze zasychání u vodou ředitelných nátěrových hmot

LEWARCHIK, Ron. Fundamentals of Waterborne Resin Technology. *Prospector* [online]. 2015 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://knowledge.ulprospector.com/3069/pc-fundamentals-waterborne-resin-technology/>

Obrázek 5 - Princip natahovacího pravitka

Proinex: Natahovací pravitko BAKER. 2017. [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/cs/169-natahovaci-pravitko-baker.html>

Obrázek 6 - Řez pistole HVLP

Řez pistole HVLP, SATA JET. In: *Lancashire Distribution* [online]. 2017 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <http://lancashireusa.us/products/special-products/sata-spray-equipment/>

Obrázek 7 - Rozdělení materiálu podle hodnot měrného elektrického odporu.

ČAUČÍK, Pavol. Rozdělení materiálu podle hodnot měrného elektrického odporu. *Prísady do plastov*. Bratislava: Alfa, 1985. Edícia chemickej literatúry (Alfa).

Obrázek 9 - Snímky SEM Ultra-Ever dry nátěru

WANG, Li, Jieyi YANG, Yan ZHU, Zhenhua LI, Tao SHENG, Y.M. HU a De-Quan YANG. SEM photographs of the SH coating. A study of the mechanical and chemical durability of Ultra-Ever Dry Superhydrophobic coating on low carbon steel surface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*[online]. 2016, **497**, 16-27 [cit. 2018-12-08]. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2016.02.022. ISSN 09277757. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775716300942>

Obrázek 10 - Jednovrstvé a více vrstvé nanotuby

REILLY, R. M. Conceptual diagram of single-walled carbon nanotube (SWCNT) and multiwalled carbon nanotube (MWCNT). Carbon Nanotubes: Potential Benefits and Risks of Nanotechnology in Nuclear Medicine. *Journal of Nuclear Medicine*[online]. 2007, **48**(7), 1039-1042 [cit. 2018-11-19]. DOI: 10.2967/jnumed.107.041723. ISSN 0161-5505. Dostupné z: <http://jnm.snmjournals.org/cgi/doi/10.2967/jnumed.107.041723>

Obrázek 11 - Příklady tvarů fullerenu

HUY, Pham Dinh Quoc a Mai Suan LI. 1 Structures of C₂₀, C₃₆, C₆₀, C₇₀ and C₈₄. Binding of fullerenes to amyloid beta fibrils: size matters. *Physical Chemistry Chemical Physics*[online]. 2014, **16**(37) [cit. 2019-01-06]. DOI: 10.1039/C4CP02348J. ISSN 1463-9076. Dostupné z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C4CP02348J>

Obrázek 12 - Znázornění dispergace a distribuce

SLOVÁK, Martin. Znázornění dispergačního a distribučního míchání. *Řezací zařízení kaučukových směsí* [online]. Zlín, 2016 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/37884/slov%C3%A1k_2016_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

Obrázek 13 – Porovnání velikosti částic a dodané energie pro jednotlivé metody dispergace

PAUL, E. L., ATIEMO-OBENG, V. A. and KRESTA, S. M. (2004). Maximum drop size d_{max} versus local power draw for dilute oil-in-water dispersions. *Handbook of industrial mixing: science and practice*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. ISBN 0-471-26919-0.

Obrázek 14 - Schéma proudění v nádobách s rotačními míchadly

RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. Schéma proudění v nádobách s rotačními míchadly. *Hydromechanické procesy II*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03302-3.

Obrázek 15 - Vybrané typy pomaloběžných míchadel

RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. Pomaloběžná míchadla. *Hydromechanické procesy II*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03302-3.

Obrázek 16 - Vybrané typy rychloběžných míchadel

RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. Rychloběžná míchadla. *Hydromechanické procesy II*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03302-3.

Obrázek 17 - Princip dispergace v míchadle typu stator-rotor

3 stages of stator/rotor. *Dispersion of Fumed Silica* [online]. Massachusetts: Silverson Machines [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.silverson.com/images/uploads/documents/CFumedSilica.pdf>

Obrázek 18 – princip míchadla visco jet

Visco Jet [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.viscojet.com/en/innovations/>

Obrázek 19 - Disolverové míchadlo

Dispersing discs. In: *Dispermill* [online]. Netherlands, 2019 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.dispermill.com/en/our-products/accessories/dispersing-discs-mixing-stirrers/>

Obrázek 20 - Proudění v disolveru

KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. Proudění disolveru. *Technologie nátěrových hmot I.: stroje a procesy ve výrobě nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-625-7.

Obrázek 21 - Kulový mlýn

KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. Kulový mlýn – valivé tření. *Technologie nátěrových hmot I.: stroje a procesy ve výrobě nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-625-7.

Obrázek 22 - Válcový třecí stroj

KALENDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. Průchod pasty třívalcovým třecím strojem. *Technologie nátěrových hmot I.: stroje a procesy ve výrobě nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-625-7.

Obrázek 24 - Lopátkové míchadlo WiseStirr HS-D od firmy Verkon

Míchačka hřídelová Wisd WiseStir HS. In: *Verkon* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.verkon.cz/michacka-hridelova-wisd-wisestir-hs/>

Obrázek 32a - Zkouška hloubením

Manual cupping test. In: *TQC Sheen* [online]. Germany, 2018 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.tqcsheen.com/en/product/manual-cupping-test-en/>

10. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Vliv OKP na vybrané vlastnosti (zdroj: Asbeck a Loo, 1949)	12
Obrázek 2 - Poměr objemů pigmentů a pojiva při zvyšování OKP	12
Obrázek 3 - Schéma tvorby nátěrové hmoty (zdroj: Kalendová a Kalenda, 2004)	15
Obrázek 4 - Fáze zasychání u vodou ředitelných nátěrových hmot (zdroj: Lewarchik, 2015)	18
Obrázek 5 - Princip natahovacího pravítka (zdroj: Proinex, 2017)	20
Obrázek 6 - Řez pistole HVLP (zdroj: Lancashire Distribution, 2017)	21
Obrázek 7 - Rozdělení materiálu podle hodnot měrného elektrického odporu.	27
Obrázek 8 – Hydrofilní a hydrofobní povrch	28
Obrázek 9 - Snímky SEM Ultra-Ever dry nátěru	29
Obrázek 10 - Jednovrstvé a více vrstvé nanotuby (zdroj: Reilly, 2007).....	31
Obrázek 11 - Příklady tvarů fullerenu (zdroj: Huy a Li, 2014)	32
Obrázek 12 - Znázornění dispergace a distribuce (zdroj: Slovák, 2016).....	35
Obrázek 13 – Porovnání velikosti částic a dodané energie pro jednotlivé metody dispergace (zdroj: Paul, Atiemo-Obeng, Kresta, 2004).....	36
Obrázek 14 - Schéma proudění v nádobách s rotačními míchadly.....	37
Obrázek 15 - Vybrané typy pomaloběžných míchadel (zdroj: Rieger, Novák a Jirout, 2005)	38
Obrázek 16 - Vybrané typy rychloběžných míchadel (zdroj: Rieger, Novák a Jirout, 2005)	39
Obrázek 17 - Princip dispergace v míchadle typu stator-rotor (zdroj: Silverson machines)	40
Obrázek 18 – princip míchadla visco jet (zdroj: Visco Jet).....	40
Obrázek 19 - Disolverové míchadlo (zdroj: Dispermill, 2019)	42
Obrázek 20 - Proudění v disolveru (zdroj: Kalendová a Kalenda, 2003).....	42
Obrázek 21 - Kulový mlýn (zdroj: Kalendová a Kalenda, 2003).....	43
Obrázek 22 - Válcový třecí stroj (zdroj: Kalendová a Kalenda, 2003)	43
Obrázek 23 - Schéma dispergace ultrazvukem	46
Obrázek 24 - Lopatkové míchadlo WiseStirr HS-D od firmy Verkon (zdroj: Verkon, 2019)	46
Obrázek 25 – Aplikace nátěrové hmoty	49
Obrázek 26 - Nanesený povlak na skle.....	49

Obrázek 27 - Měření tloušťky povlaku přístrojem PosiTector 6000	51
Obrázek 28 – Přístroje na měření lesku	52
Obrázek 29 – Provedení mřížkové zkoušky	54
Obrázek 30 - Mřížková zkouška, snímek z mikroskopu	55
Obrázek 31 - Zkouška křížovým řezem.....	56
Obrázek 32 - Zkouška hloubením.....	57
Obrázek 33 - Měření elektrického odporu	58
Obrázek 34 – Přehled morfologie povrchu vytvořených povlaků (snímky z mikroskopu Olympus SZ6).....	65
Obrázek 35 - Konfokální mikroskop LEXT OLS 3000	66
Obrázek 36 - 3D morfologie povrchu jednotlivých variant.....	67
Obrázek 37 - 3D snímek morfologie defektu (varianta č. 1)	68
Obrázek 38 - 2D snímek morfologie defektu (varianta č. 1).....	68
Obrázek 39 - 3D snímek morfologie defektu (varianta č. 9)	69
Obrázek 40 - 2D snímek morfologie defektu (varianta č. 9).....	69
Obrázek 41 - Kondenzační zkouška	70
Obrázek 42 - Porovnání povrchu	71
Obrázek 43 – Přehled snímků morfologie povrchu po kondenzační zkoušce	74
Obrázek 44 – Kondenzační zkouška, varianta č. 0	74
Obrázek 45 – Kondenzační zkouška, varianta č. 1	75
Obrázek 46 – Kondenzační zkouška, varianta č. 2	75
Obrázek 47 - Kondenzační zkouška, varianta č. 3.....	76
Obrázek 48 - Kondenzační zkouška, varianta č. 4.....	76
Obrázek 49 - Kondenzační zkouška, varianta č. 5.....	77
Obrázek 50 - Kondenzační zkouška, varianta č. 6.....	77
Obrázek 51 - Kondenzační zkouška, varianta č. 7.....	78
Obrázek 52 - Kondenzační zkouška, varianta č. 8.....	78
Obrázek 53 - Kondenzační zkouška, varianta č. 9.....	79
Obrázek 54 - Kondenzační zkouška, varianta č. 10.....	79
Obrázek 55 - Pórovitost povlaku	80

11. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Rozdělení materiálu podle povrchové rezistivity. [53]	28
Tabulka 2 - Souhrn údajů z obrázku 13	37
Tabulka 3 - hmotnostní složení nátěrové hmoty.....	45
Tabulka 4 - Parametry dispergace pro jednotlivé posuzované varianty	48
Tabulka 5 – Seznam zkoušek a sledovaných vlastností	50
Tabulka 6 - Měření lesku	52
Tabulka 7 - Naměřené hodnoty lesku po různé době vytvrzení	53
Tabulka 8 - Naměřené hodnoty povrchového elektrického odporu (rezistance) dvěma různými způsoby.....	59
Tabulka 9 - Naměřené hodnoty měrného elektrického odporu (rezistance) pro variantu č. 5 bez přídavných senzorů	63
Tabulka 10 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 0	74
Tabulka 11 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 1	75
Tabulka 12 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 2	75
Tabulka 13 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 3	76
Tabulka 14 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 4	76
Tabulka 15 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 5	77
Tabulka 16 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 6	77
Tabulka 17 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 7	78
Tabulka 18 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 8	78
Tabulka 19 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 9	79
Tabulka 20 - Kondenzační zkouška, hodnocení varianty č. 10	79
Tabulka 21 - Tloušťky mokrého a suchého povlaku a jejich poměr	81
Tabulka 22 - Propočet ceny plniva	82
Tabulka 23 - Orientační náklady na pořízení dispergačních zařízení.....	82

12. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Naměřené hodnoty lesku pro jednotlivé varianty po min. 4 a 23 dnech vytvrzení	53
Graf 2 - Naměřené hodnoty povrchového elektrického odporu (rezistance) dvěma různými způsoby	60
Graf 3 - Naměřené hodnoty povrchového elektrického odporu (rezistance) pro jednotlivé varianty měřené bez přídavných senzorů.....	61
Graf 4 - Naměřené hodnoty povrchového elektrického odporu (rezistance) pro jednotlivé varianty měřené s přídavnými senzory	61
Graf 5 - Naměřené hodnoty měrného elektrického odporu (rezistance) pro variantu č. 2 měřené bez přídavných senzorů.....	62

13. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

VOC	Volatile organic compound (těkavá organická látka)
NH	Nátěrové hmota
PVC	Pigment Volume Concentration
OKP	Pigment volume concentration (objemová koncentrace pigmentu)
KOKP	Kristická objemová koncentrace pigmentu
UV	Ultra Violet (ultrafialové záření)
CNT	Carbon nanotubes (uhlíkové nanotruby)
SWCNT	Single Wall Carbon Nanotubes (jednostěnné uhlíkové nanotruby)
MWCNT	Multi Wall Carbon Nanotubes (vícestěnné uhlíkové nanotruby)
TiO ₂	oxid titaničity
ČSN	Česká technická norma
ESD	Elektrostatický výboj
HVLP	High Volume Low Pressure (vysoký objem, nízký tlak)
LVLP	Low Volume Low Pressure (nízký objem, nízký tlak)

14. SEZNAM JEDNOTEK

°C	Celsiův stupeň (jednotka teploty)
$\Omega \cdot m$	Ohm metr (jednotka měrného elektrického odporu - rezistivity)
Ω	Ohm (jednotka elektrického odporu – rezistance)
g	gram (jednotka hmotnosti), 1 g = 0,001 kg
m	metr (jednotka délky)
mm	milimetr (jednotka délky), 1 mm = 0,001 m
nm	Nanometr (jednotky délky), 1 nm = 0,000 001 m
Pa	Pascal (jednotka tlaku), 100 000 Pa = 100 kPa = 1 bar
l	litr (jednotka objemu), 1 l = 1 000 ml
GU	gloss unit (jednotka lesku)
$m \cdot s^{-1}$	metr za sekundu (jednotka rychlosti)
min	minuta (jednotka času)
μm	mikrometr (jednotka délky)
pH	vodíkový exponent (potential of hydrogen)
$ot \cdot min^{-1}$	otáčky za minutu
kJ	kilojoule (jednotka energie)
W	Watt (jednotka výkonu)
hm. %	Hmotnostní koncentrace v procentech
V	Volt (jednotka elektrického napětí)
%	Procento

15. PŘÍLOHA