

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

Bc. Sabina Hulová

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Příprava latexů s nanočásticemi selenu a studium vlivu nanočástic  
na antimikrobiální vlastnosti vzniklého filmu  
Diplomová práce

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Sabina Hulová**  
Osobní číslo: **C22389**  
Studijní program: **N0512A130006 Analýza biologických materiálů**  
Téma práce: **Příprava latexů s nanočásticemi selenu a studium vlivu nanočástic na antimikrobiální vlastnosti vzniklého filmu**  
Téma práce anglicky: **Preparation of Latexes With Selenium Nanoparticles and Study of the Effect of Nanoparticles on the Antimicrobial Properties of the Resulting Film**  
Zadávací katedra: **Katedra biologických a biochemických věd**

## Zásady pro vypracování

1. S využitím odborné literatury vypracujete rešerši na zadané téma.
2. Zaměřte se na latexy s nanočásticemi ZnSe a SeO<sub>2</sub> na základě předchozích výsledků korozních testů, a antimikrobiálních testů a odolnosti vůči pufrům
3. Otestujete vlastnosti sloučenin Se (SeO<sub>2</sub>, ZnSe) v modelových latexových nátěrových hmotách. Zjistěte účinnou koncentraci a formu sloučeniny selenu.
4. Porovnejte vlastnosti sloučenin Se (ZnSe, SeO<sub>2</sub>) s jinými nanočásticemi, charakterizujte základní vlastností nátěrů a proveďte jejich hodnocení (fyzikálně-mechanické zkoušky).
5. Určete antimikrobiální účinnosti vůči vybraným bakteriím a plísním na základě mikrobiálních zkoušek dle ČSN EN ISO.
6. Práci zpracujte v souladu s aktuální vyhláškou Univerzity Pardubice týkající se formální úpravy závěrečných prací.

Rozsah pracovní zprávy: **35 s.**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Podle pokynů vedoucí diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Marcela Pejchalová, Ph.D.**  
Katedra biologických a biochemických věd  
Konzultant diplomové práce: **prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.**  
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek  
Datum zadání diplomové práce: **22. prosince 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

**prof. Ing. Petr Němec, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**doc. RNDr. Tomáš Roušar, Ph.D. v.r.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. února 2024

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Bc. Sabina Hulová v.r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala paní doc. Ing. Marcele Pejchalové, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování mé diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala prof. Ing. Andréě Kalendové, Dr. za její odborné konzultace a věcné rady. Obrovské poděkování patří také mé rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

## ANOTACE

Tato diplomová práce se věnuje stanovení antimikrobiální účinnosti polyakrylátových latexových nátěrových filmů na bázi kyseliny methakrylové, methylnmethakrylátu a buthylakrylátu. Nátěrové hmoty byly připraveny disperzací vybraných pigmentů ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe do latexového pojiva při objemové koncentraci 0,5; 1; 2 a 3 hm. % (vztaženo na latexovou frakci). U pigmentovaných nátěrových hmot byly hodnoceny jejich mechanické, chemické, fyzikálně–mechanické vlastnosti a odolnost vůči korozi. Následně byla testována antimikrobiální účinnost nátěrových hmot dle normy ISO 22196: 2011 vůči bakteriím *Enterococcus faecalis* a *Pseudomonas aeruginosa* a antifungální účinnost dle normy ASTM D5590 vůči plísním *Aspergillus brasiliensis* a *Penicillium chrysogenum*.

V teoretické části jsou popsány používané bakterie a plísně, včetně jejich vlastností a schopnosti tvorby biofilmu. Dále je zde popsána syntéza polyakrylátového latexu a charakterizace používaných pigmentů. V experimentální části jsou uvedena výše zmíněná testování mechanických, chemických a fyzikálně–mechanických vlastností, odolnost vůči korozi, a nakonec testování antimikrobiálních a antifungálních vlastností latexových nátěrových filmů. Cílem této práce je zjištění antimikrobiální a antifungální účinnosti připravených nátěrových hmot.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Antifungální účinnost, antimikrobiální účinnost, antimikrobiální nátěrové hmoty, *Aspergillus brasiliensis*, bakterie, *Enterococcus faecalis*, houby, *Penicillium chrysogenum*, polyakrylátový latex, *Pseudomonas aeruginosa*

## **TITLE**

Preparation of Latexes With Selenium Nanoparticles and Study of the Effect of Nanoparticles on the Antimicrobial Properties of the Resulting Film

## **ANNOTATION**

This thesis is devoted to determining the antimicrobial efficiency of polyacrylate latex paint films based on methacrylic acid, methyl methacrylate and butyl acrylate. The coating materials were prepared by dispersing selected pigments ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> and ZnSe into a latex binder at a volume concentration of 0.5; 1; 2 and 3 wt. % (referred to the latex fraction). In the case of pigmented coatings, their mechanical, chemical, physico-chemical properties and resistance to corrosion were evaluated. Subsequently, the antimicrobial effectiveness of the coatings was tested according to the ISO 22196: 2011 standard against the bacteria *Enterococcus faecalis* and *Pseudomonas aeruginosa* and the antifungal effectiveness according to the ASTM D5590 standard against the fungi *Aspergillus brasiliensis* and *Penicillium chrysogenum*.

In the theoretical part, the bacteria and fungi used are described, including their properties and ability to form a biofilm. The synthesis of polyacrylate latex and the characterization of the pigments used are also described here. In the experimental part, the aforementioned testing of mechanical, chemical and physico-chemical properties, resistance to corrosion, and finally testing of antimicrobial and antifungal properties of latex paint films are presented. The aim of this work is to determine the antimicrobial and antifungal effectiveness of the prepared coatings.

## **KEYWORDS**

Antifungal activity, antimicrobial activity, *Aspergillus brasiliensis*, bacteria, *Enterococcus faecalis*, fungi, antimicrobial coatings, *Penicillium chrysogenum*, Polyacrylate latex, *Pseudomonas aeruginosa*

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Pozitivní biofilm a jeho mechanismy .....	25
Obrázek 2: Fáze tvorby bakteriálního biofilmu .....	27
Obrázek 3: Složení buněčné stěny grampozitivních a gramnegativních bakterií .....	29
Obrázek 4: Grampozitivní koky <i>E. faecalis</i> .....	30
Obrázek 5: Gramnegativní tyčinky <i>P. aeruginosa</i> .....	31
Obrázek 6: Pigmenty <i>P. aeruginosa</i> : zelený pyoverdín, modrý pyocyanin a černý pyomelanin .....	32
Obrázek 7: Vývoj biofilmu rodu <i>Aspergillus</i> .....	34
Obrázek 8: <i>A. brasiliensis</i> v mikroskopu .....	36
Obrázek 9: Zobrazení <i>P. chrysogenum</i> v mikroskopu .....	38
Obrázek 10: Zobrazení kategorií antimikrobiálních nátěrů .....	40
Obrázek 11: Proces emulzní polymerace .....	42
Obrázek 12: Chemický vzorec kyseliny akrylové .....	44
Obrázek 13: Chemický vzorec kyseliny methakrylové .....	45
Obrázek 14: Chemický vzorec methyl methakrylátu .....	45
Obrázek 15: Proces tvorby latexového filmu .....	46
Obrázek 16: Použití antimikrobiálních nanočástic .....	47
Obrázek 17: Koroze způsobená mikroorganismy: a) začátek experimentu, b) 3 týdnů inkubace, c) 6 týdnů inkubace, d) 8 týdnů inkubace .....	50
Obrázek 18: Aparatura k syntéze latexu .....	61
Obrázek 19: pH metr se skleněnou elektrodou .....	65
Obrázek 20: Aparatura pro stanovení olejového čísla .....	66
Obrázek 21: Konduktometr pro měření vodivosti .....	68
Obrázek 22: Predispergátor DISPERMAT .....	70
Obrázek 23: Příprava volných filmů v silikonové formě .....	72
Obrázek 24: Elcometer 1506 .....	75
Obrázek 25: Erichsonův hloubicí přístroj .....	75
Obrázek 26: Magnetický tloušťkoměr .....	76
Obrázek 27: Leskometr Micro-TRY-gloss .....	77
Obrázek 28: Kyvadlový přístroj typu Persoz .....	78
Obrázek 29: Měření kontaktního úhlu pomocí optického tenziometru .....	79
Obrázek 30: Hodnocení koroze v ploše panelu (ASTM D 610–85) .....	83

Obrázek 31: Hodnocení puchýřků v ploše panelu ASTM D 714-87.....	84
Obrázek 32: Plísňové kolonie – vlevo <i>P. chrysogenum</i> , vpravo <i>A. brasiliensis</i> .....	88
Obrázek 33: Náskres uspořádání vzorku, 1 – krycí fólie, 2 – inokulum, 3 – fólie s nátěrem, 4 – MPA, 5 – Petriho miska.....	89
Obrázek 34: Bürkerova komůrka.....	91
Obrázek 35: Spory v Bürkerově komůrce (vlevo <i>P. chrysogenum</i> , vpravo <i>A. brasiliensis</i> )....	92
Obrázek 36: Souvislý nárůst plísňového biofilmu (vlevo <i>P. chrysogenum</i> , vpravo <i>A. brasiliensis</i> ) .....	93
Obrázek 37: Hodnoty korozních úbytků v % .....	119
Obrázek 38: Mřížky nátěrových filmů s obsahem SeO <sub>2</sub> při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo).....	120
Obrázek 39: Mřížky nátěrových filmů s obsahem ZnSe při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo).....	120
Obrázek 40: Mřížky nátěrových filmů s obsahem MoS <sub>2</sub> při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo).....	121
Obrázek 41: Odolnost nátěrových filmů s obsahem SeO <sub>2</sub> při OKP = 1 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo).....	121
Obrázek 42: Odolnost nátěrových filmů s obsahem ZnSe při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo).....	121
Obrázek 43: Znázornění středně a vysoce lesklých nátěrových hmot.....	122
Obrázek 44: Vývoj relativní povrchové tvrdosti všech nátěrových hmot, při OKP = 3 % ....	123
Obrázek 45: Měření kontaktního úhlu optickým tenziometrem .....	124
Obrázek 46: Působení pufrů na ZnSe při OKP = 3 % .....	126
Obrázek 47: Tvorba puchýřků po 48 hodinách u nátěrového filmu s obsahem ZnSe, při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo) .....	127
Obrázek 48: Tvorba puchýřků po 48 hodinách u nátěrového filmu s obsahem SeO <sub>2</sub> , při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo) .....	127
Obrázek 49: Antifungální účinnost MoO <sub>3</sub> vůči <i>A. brasiliensis</i> (vlevo) a <i>P. chrysogenum</i> (vpravo), při OKP A) 0,5 %, B) 1 %, C) 2 % a D) 3 %.....	132
Obrázek 50: Antifungální účinnost SeO <sub>2</sub> , při OKP = 3 % vůči <i>A. brasiliensis</i> (vlevo) a <i>P. chrysogenum</i> (vpravo) .....	133

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Použité monomerní látky .....	56
Tabulka 2: Vlastnosti použitých monomerních látek .....	56
Tabulka 3: Disponil FES 993 IS (emulgátor) – základní informace .....	57
Tabulka 4: Peroxodisíran amonný (iniciátor emulzní radikálové polymerace) – základní informace .....	57
Tabulka 5: Používané pigmentové částice .....	57
Tabulka 6: Dehydran® 1239 – základní informace.....	58
Tabulka 7: Nalzin® FA 179 .....	58
Tabulka 8: Mořící roztok – základní informace .....	58
Tabulka 9: Kyselina octová – základní informace.....	58
Tabulka 10: Kyselina trihydrogen boritá – základní informace .....	58
Tabulka 11: Hydroxid sodný – základní informace.....	58
Tabulka 12: Kyselina fosforečná – základní informace .....	59
Tabulka 13: Vodný roztok amoniaku – základní informace.....	59
Tabulka 14: Chloroform – základní informace.....	59
Tabulka 15: Methylethylketon – základní informace .....	59
Tabulka 16: Aceton – základní informace .....	59
Tabulka 17: Složení polymeračního systému .....	62
Tabulka 18: Složení monomerů u L <sub>0</sub> .....	63
Tabulka 19: Navážky pro přípravu modelových nátěrových hmot .....	71
Tabulka 20: Hodnocení poškození nátěru po řezu nožem (ČSN ISO 2409) .....	74
Tabulka 21: Hodnocení odolnosti nátěru vůči methylethylketonu (ASTM D4752-10).....	80
Tabulka 22: Příprava pufrů o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12 .....	81
Tabulka 23: Příprava fyziologického roztoku .....	85
Tabulka 24: Příprava fosfátového fyziologického pufru .....	85
Tabulka 25: Příprava fosfátového tlumivého pufru .....	85
Tabulka 26: MALT agar – složení.....	86
Tabulka 27: Masopeptonový agar (MPA) – složení.....	86
Tabulka 28: Masopeptonový bujón (MPB) – složení.....	86
Tabulka 29: Tryptonový agar s kvasničným extraktem (GTK) – složení .....	86
Tabulka 30: Bujón se sójovým kaseinem a lecitinem (SCDLP) – složení .....	87
Tabulka 31: Používané bakteriální a plísňové kmeny .....	88

Tabulka 32: Hodnocení bakteriální kontaminace obtiskové metody.....	91
Tabulka 33: Hodnocení kontaminace volného filmu plísněmi (ASTM D5590) .....	93
Tabulka 34: Výsledky základní charakteristiky latexů v kapalném stavu.....	94
Tabulka 35: ZnO – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP .....	95
Tabulka 36: ZnS – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP .....	96
Tabulka 37: MoO <sub>3</sub> – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP .....	96
Tabulka 38: MoS <sub>2</sub> – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP .....	97
Tabulka 39: SeO <sub>2</sub> – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP .....	97
Tabulka 40: ZnSe – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP.....	98
Tabulka 41: Výsledky stanovení měrné elektrické vodivosti z výluhů jednotlivých pigmentů .....	98
Tabulka 42: Výsledky stanovení pH u výluhů pigmentů .....	99
Tabulka 43: Výsledky stanovení korozních úbytků .....	99
Tabulka 44: Výsledky testování mechanických zkoušek na ocelových panelech, DFT = 75±10 μm.....	100
Tabulka 45/I: Výsledky stanovení lesku nátěrových filmů, DFT = 50±10 μm.....	101
Tabulka 45/II: Pokračování tabulky 45/I: Výsledky stanovení lesku nátěrových filmů, DFT = 50±10 μm .....	102
Tabulka 45/III: Pokračování tabulky 45/I: Výsledky stanovení lesku nátěrových filmů, DFT = 50±10 μm.....	103
Tabulka 46: Výsledky testování relativní povrchové tvrdosti nátěrových filmů, DFT = 50±10 μm.....	104
Tabulka 47: Výsledky testování odolnosti nátěru vůči zblednutí, DFT = 50±10 μm.....	105
Tabulka 48: Výsledky testování kontaktních úhlů nátěrových hmot .....	106
Tabulka 49: Výsledky stanovení odolnosti vůči methylethylketonu, DFT = 50±10 μm .....	107
Tabulka 50: Hodnocení odolnosti nátěrů v prostředí pufrů o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12, DFT = 75±10 μm .....	108
Tabulka 51: Výsledky testování odolnosti vůči tvorbě puchýřků, DFT = 75±10 μm.....	109
Tabulka 52: Výsledky testování antimikrobiální účinnosti nátěrů vůči <i>E. faecalis</i> zálivovou metodou .....	110
Tabulka 53: Výsledky testování antimikrobiální účinnosti nátěrů vůči <i>P. aeruginosa</i> zálivovou metodou .....	111
Tabulka 54: Výsledky testování antimikrobiální účinnosti akrylátových latexů vůči <i>E. faecalis</i> obtiskovou metodou.....	112

Tabulka 55: Výsledky testování antimikrobiální účinnosti akrylátových latexů vůči <i>P. aeruginosa</i> obtiskovou metodou .....	113
Tabulka 56: Výsledky testování životaschopnosti <i>A. brasiliensis</i> .....	114
Tabulka 57: Výsledky testování životaschopnosti <i>P. chrysogenum</i> .....	114
Tabulka 58: Výsledky testování antifungální účinnosti nátěrů vůči <i>A. brasiliensis</i> .....	115
Tabulka 59: Výsledky testování antifungální účinnosti nátěrů vůči <i>P. chrysogenum</i> .....	116

## SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1: Výpočet obsahu sušiny .....	64
Rovnice 2: Výpočet obsahu koagulátu .....	64
Rovnice 3: Výpočet olejového čísla .....	67
Rovnice 4: Výpočet KOKP – kritické objemové koncentrace pigmentu .....	67
Rovnice 5: Výpočet hmotnostního korozního úbytku .....	69
Rovnice 6: Výpočet relativní povrchové tvrdosti nátěru .....	78
Rovnice 7: Výpočet zbledení nátěru .....	79
Rovnice 8: Výpočet životaschopných bakterií .....	90
Rovnice 9: Výpočet antimikrobiální aktivity.....	90
Rovnice 10: Výpočet počtu spor v 1 $\mu$ l suspenze.....	92

## SEZNAM ZKRATEK

<i>A. baumannii</i>	<i>Aspergillus baumannii</i>
<i>A. brasiliensis</i>	<i>Aspergillus brasiliensis</i>
AIDS	syndrom získaného imunodeficitu
ATB	antibiotika
BA	N-butyl-akrylát
CCM	Česká sbírka mikroorganismů
CFU	jednotky tvořící kolonie
D	husté pokrytí puchýřků (density)
DFT	suchá tloušťka nátěru (dry film thickness)
DNA	deoxyribonukleová kyselina
DV	destilovaná voda
<i>E. faecalis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
e-DNA	enviromentální DNA
F	nízká hustota puchýřků (few)
GTK	tryptonový agar s kvasničným extraktem
KMA	kyselina methakrylátová
KOKP	kritická objemová koncentrace pigmentu
L <sub>0</sub>	akrylátový latex bez obsahu pigmentů
M	střední hustota puchýřků (medium)
MALT	agar se sladovým extraktem
MD	středně husté pokrytí puchýřků (medium density)
MEK	methylethylketon
MFFT	minimální filmotvorná teplota [°C]

MIC	minimální inhibiční koncentrace
MMA	methyl-methakrylát
MPA	masopeptonový agar
MPB	masopeptonový bujón
Mr	molekulová hmotnost [ $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ]
MRSA	methicilin-rezistentní <i>Staphylococcus aureus</i>
OČ	olejové číslo [g/100 g pigmentu]
OKP	objemová koncentrace pigmentu [%]
<i>P. aeruginosa</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>P. chrysogenum</i>	<i>Penicillium chrysogenum</i>
<i>P. notatum</i>	<i>Penicillium notatum</i>
QS	<i>Quorum sensing</i>
R	antimikrobiální aktivita
<i>S. aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
SCDLP	bujón se sójovým kaseinem a lecitinem
SEM	skenovací elektronová mikroskopie
SRB	sulfát redukující bakterie
UV záření	ultrafialové záření

# OBSAH

ÚVOD .....	23
1. TEORETICKÁ ČÁST .....	24
1.1. Nákazy spojené s nemocniční péčí .....	24
1.1.1. Mikrobiální biofilmy .....	24
1.1.1.1. Struktura biofilmu .....	24
1.1.1.2. Pozitivní (prospěšné) biofilmy .....	25
1.1.1.3. <i>Quorum sensing</i> .....	26
1.1.2. Bakteriální tvorba biofilmu .....	26
1.1.3. Rezistence bakterií vůči antimikrobiálním látkám .....	28
1.2. Charakteristika použitých bakterií .....	29
1.2.1. <i>Enterococcus faecalis</i> .....	29
1.2.2. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	31
1.3. Mikromycety .....	32
1.3.1. Mykologická tvorba biofilmu .....	33
1.3.2. Resistence mikromycet vůči antimykotickým látkám .....	34
1.4. Charakteristika použitých plísňí .....	35
1.4.1. <i>Aspergillus brasiliensis</i> .....	35
1.4.2. <i>Penicillium chrysogenum</i> .....	37
1.5. Antimikrobiální nátěry .....	39
1.5.1. Vodou ředitelné akrylátové nátěry .....	41
1.5.1.1. Syntéza latexů .....	42
1.5.1.2. Akrylátové latexové nátěry .....	43
1.5.1.3. Tvorba latexového filmu .....	46
1.5.1.4. Nanočástice .....	47
1.5.2. Kontaminace nátěrových hmot .....	49

2.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	54
2.1.	Cíl práce.....	54
2.2.	Použité chemikálie a látky .....	56
2.2.1.	Seznam použitých monomerních látek při syntéze a jejich vlastnosti.....	56
2.2.2.	Další chemikálie používané při syntéze polyakrylátového latexu .....	57
2.2.1.	Pigmentové částice.....	57
2.2.2.	Další chemikálie pro přípravu a testování nátěrových hmot.....	57
2.3.	Používané přístroje a vybavení.....	60
2.3.1.	Přístroje používané při syntéze akrylátových latexů.....	60
2.3.2.	Přístroje používané při charakterizaci vlastností polyakrylátových pojiv ... .....	60
2.3.3.	Přístroje a vybavení používané pro charakterizaci pigmentů .....	60
2.3.4.	Přístroje používané při stanovení fyzikálně–mechanických testů odolnosti .....	60
2.3.5.	Přístroje používané při stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových filmů .....	60
2.4.	Příprava (syntéza) akrylátových latexů .....	61
2.5.	Metody hodnocení vlastností polyakrylátových latexů v kapalném stavu ..	64
2.5.1.	Stanovení obsahu sušiny (ČSN EN ISO 3251).....	64
2.5.2.	Stanovení obsahu koagulátu (ČSN 649008) .....	64
2.5.3.	Stanovení pH (ČSN EN ISO 787-9) .....	64
2.5.4.	Stanovení minimální filmotvorné teploty (ISO 2115:1996).....	65
2.5.5.	Stanovení zdánlivé viskozity dle Brookfielda (ČSN EN ISO 2555) .....	65
2.6.	Metody pro hodnocení vlastností pigmentů .....	66
2.6.1.	Stanovení hustoty pigmentů (ČSN EN ISO 787-10) .....	66
2.6.2.	Stanovení olejového čísla (ČSN EN 12878).....	66
2.6.3.	Stanovení kritické objemové koncentrace pigmentu (ČSN EN ISO 787-5) .....	67

2.6.4.	Stanovení měrné elektrické vodivosti výluhů pigmentů (ČSN EN ISO 787-14).....	67
2.6.5.	Stanovení pH výluhů pigmentů (ČSN EN ISO 787-9).....	68
2.6.6.	Stanovení korozních úbytků ve výluzích pigmentů.....	68
2.7.	Příprava modelových nátěrových hmot.....	70
2.7.1.	Dispergace modelových nátěrových hmot.....	70
2.7.2.	Formulace modelových nátěrových hmot.....	71
2.8.	Příprava zkušebních vzorků .....	72
2.8.1.	Příprava vzorků ve formě volných filmů .....	72
2.8.2.	Příprava nátěrů na polyethylenových fóliích .....	72
2.8.3.	Příprava nátěrů na skleněných panelech .....	72
2.8.4.	Příprava nátěrů na podložních sklíčkách .....	73
2.8.5.	Příprava nátěrů na ocelových panelech.....	73
2.8.6.	Příprava nátěrů na hliníkových nátěrech.....	73
2.9.	Metody hodnocení mechanických vlastností nátěrových filmů na ocelových panelech.....	74
2.9.1.	Stanovení přilnavosti nátěrů pomocí mřížkové metody (ČSN ISO 2409) . .....	74
2.9.2.	Stanovení odolnosti filmu vůči ohybu (ČSN ISO 1519) .....	74
2.9.3.	Stanovení odolnosti filmu vůči padajícímu závaží (ČSN EN ISO 6272) .....	75
2.9.4.	Stanovení odolnosti filmu vůči hloubení (ČSN EN ISO 1520).....	75
2.9.5.	Měření suché tloušťky nátěrového filmu (ISO 2808).....	76
2.10.	Metody hodnocení fyzikálně – mechanických vlastností nátěrových filmů na skleněných panelech.....	77
2.10.1.	Stanovení lesku nátěrového filmu (ČSN 67 3063) .....	77
2.10.2.	Stanovení relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu (ČSN EN ISO 1522) .....	77
2.10.1.	Stanovení zblednutí nátěru vystaveného kontaktu s vodou.....	78

2.10.1.	Stanovení kontaktního úhlu .....	79
2.11.	Metody hodnocení chemických vlastností nátěrových filmů .....	80
2.11.1.	Stanovení odolnosti vůči methylethylketonu (ASTM D4752-10) .....	80
2.11.2.	Stanovení odolnosti nátěrů vůči pufrům .....	80
2.12.	Metody hodnocení odolnosti nátěrů vůči korozi .....	82
2.12.1.	Hodnocení odolnosti nátěrů proti tvorbě puchýřků – Sandwich test (ASTM D 714-87).....	82
2.12.2.	Hodnocení stupně koroze v ploše panelu.....	82
2.12.3.	Hodnocení četnosti a velikosti puchýřků .....	83
2.13.	Mikrobiologické testování.....	85
2.13.1.	Příprava před mikrobiálním testováním.....	85
2.13.1.1.	Příprava roztoků pro další práci .....	85
2.13.1.2.	Příprava živných půd .....	85
2.13.1.3.	Sterilizace.....	87
2.13.1.4.	Příprava mikrobiálních kultur – bakterií a plísní .....	87
2.13.1.	Stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů (ISO 22196: 2011) .....	88
2.13.2.	Stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových filmů obtiskovou metodou (ISO 22196: 2011) .....	90
2.13.3.	Počítání spor plísní v Bürkerově komůrce – příprava suspenze spor ....	91
2.13.4.	Stanovení antifungální účinnosti volných filmů (ASTM D5590) .....	93
3.	VÝSLEDKY .....	94
3.1.	Výsledky testování vlastností polyakrylátových latexů v kapalném stavu .	94
3.2.	Výsledky charakterizace pigmentů.....	95
3.2.1.	Výsledky stanovení měrné elektrické vodivosti a pH výluhů pigmentů .	98
3.2.2.	Výsledky stanovení korozních úbytků ve výluzích .....	99
3.3.	Výsledky testování mechanických vlastností polyakrylátových nátěrových filmů na ocelových panelech .....	100

3.3.1.	Výsledky stanovení přilnavosti filmu pomocí mřížkové metody, odolnosti filmu vůči ohybu, padajícímu závaží a hloubení .....	100
3.4.	Výsledky testování fyzikálně–mechanických vlastností polyakrylátových nátěrových filmů na skleněných panelech.....	101
3.4.1.	Výsledky stanovení lesku nátěrového filmu .....	101
3.4.2.	Výsledky stanovení relativní povrchové tvrdosti polyakrylátového nátěrového filmu .....	104
3.4.1.	Výsledky hodnocení odolnosti nátěrů vůči zblednutí .....	104
3.4.2.	Výsledky stanovení kontaktního úhlu polyakrylátových nátěrů.....	106
3.5.	Výsledky testování chemických vlastností polyakrylátových nátěrů.....	107
3.5.1.	Výsledky stanovení odolnosti vůči methylethylketonu .....	107
3.5.2.	Výsledky testování odolnosti nátěrů vůči pufrům .....	108
3.6.	Výsledky testování odolnosti polyakrylátových nátěrů .....	109
3.6.1.	Výsledky testování odolnosti nátěrů proti tvorbě puchýřků (Sandwich test) .....	109
3.7.	Výsledky mikrobiologických zkoušek .....	110
3.7.1.	Výsledky stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů zálivovou metodou .....	110
3.7.2.	Výsledky stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových volných filmů obtiskovou metodou .....	111
3.7.3.	Výsledky testování životaschopnosti plísní v Bürkerově komůrce .....	113
3.7.4.	Výsledky stanovení antifungální účinnosti volných filmů .....	114
4.	HODNOCENÍ.....	117
4.1.	Charakterizace polyakrylátových latexů v kapalném stavu .....	117
4.2.	Charakterizace pigmentů .....	118
4.3.	Zhodnocení mechanických vlastností nátěrových filmů .....	120
4.4.	Zhodnocení fyzikálně–mechanických vlastností nátěrových filmů .....	122
4.5.	Zhodnocení chemických vlastností nátěrových filmů.....	125

4.6.	Zhodnocení odolnosti nátěrových filmů vůči korozi.....	127
5.	DISKUZE .....	128
5.1.	Diskuze k antimikrobiálním vlastnostem nátěrových hmot .....	128
5.1.1.	Vliv zinku na antimikrobiální účinnost.....	128
5.1.2.	Vliv zinku na antifungální účinnost.....	129
5.1.3.	Vliv molybdenu na antimikrobiální účinnost.....	130
5.1.4.	Vliv molybdenu na antifungální účinnost.....	131
5.1.5.	Vliv selenu na antimikrobiální účinnost .....	132
5.1.6.	Vliv selenu na antifungální účinnost.....	133
	ZÁVĚR .....	134
	POUŽITÁ LITERATURA .....	136
	OBRÁZKOVÁ PŘÍLOHA .....	149

## ÚVOD

Všude kolem nás se nachází spousta mikroorganismů, ať už to jsou viry, houby nebo bakterie. Nejrozšířenější skupinou jsou právě bakterie a jsou tak nedílnou součástí našeho života. Existují druhy, které člověku nijak neškodí nebo dokonce lidem prospívají, jako je například *Escherichia coli*, která nám ve střevech vyrábí vitamin K. Bohužel většina bakterií jsou patogenní druhy. Ty způsobují lidem spoustu onemocnění nebo infekcí.

Nejzávažnější jsou infekce spojené s nemocniční péčí. Napadají zejména pacienty, kteří mají oslabenou imunitu. V nemocnicích, ale i v jiných zařízeních, dokáží bakterie kolonizovat různé povrchy. Mohou začít tvořit biofilm a tím pádem se stávají odolnější vůči nepříznivým podmínkám. Stejně tak dokáží biofilmy tvořit i plísně, a proto je nutné neustále desinfikovat všechny povrchy a nástroje, jako jsou katétry, kloubní náhrady, protézy...

Další komplikace nastává, pokud se mikroorganismy stávají rezistentní vůči určitým podmínkám nebo antimikrobiálním látkám. Rezistencí se komplikuje jejich likvidace, a tím i celková léčba. Z těchto vážných důvodů, je potřeba stále hledat nové metody, a to nejen jak se mikroorganismů zbavit, ale rovněž, jak zabránit jejich kolonizaci.

Tímto tématem se zabývá také tato diplomová práce, ve které je cílem zjistit, jaké nátěrové hmoty by dokázaly zabránit v osidlování povrchů. Akrylátové nátěry používané v této práci jsou s pigmenty: ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe. Účinnost těchto nátěrů byla testována na bakteriálních kmenech *Enterococcus faecalis* a *Pseudomonas aeruginosa* a na plísních *Aspergillus brasiliensis* a *Penicillium chrysogenum*. Dále byly nátěry podrobeny mechanickým, fyzikálním, chemickým a korozním testům. Z výsledků všech testů lze pak určit, jaký nátěr má nejen antimikrobiální účinky, ale také dobré vlastnosti, pro jeho praktické využití.

# 1. TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1. Nákazy spojené s nemocniční péčí

Nákazy spojené s nemocniční péčí pacient získá během svého pobytu v nemocnici nebo v nějakém jiném zařízení, které slouží pro poskytování dlouhodobé péče. Příznaky se objevují v době hospitalizace, ale mohou se také objevit až po propuštění pacienta domů (Khan et al. 2017).

Tyto nákazy jsou poměrně nebezpečné, neboť mohou zkomplikovat léčbu. Infekce se dělí do 4 kategorií:

- infekce krevního řečiště spojené s centrální linií,
- infekce močových cest spojené s katetrem,
- infekce v místě chirurgického zákroku,
- pneumonie spojená s ventilátorem (Khan et al. 2017).

K nákaze dochází v době, kdy má jedinec oslaben svůj imunitní systém (např. jinou chorobou). Onemocnění se nejčastěji přenáší kontaktem, ať už přímým (z nakaženého jedince na dalšího) nebo nepřímým (nákaza prostřednictvím kontaminovaných předmětů). Dalším způsobem může být přenos kapénkami nebo vzduchem (Sikora a Zahra 2023).

Nosokomiálními patogeny jsou především bakterie, ale mohou to být také houby či viry. Mezi hlavní grampozitivní nosokomiální bakterie patří *Staphylococcus aureus*, rod *Streptococcus*, *Enterobacter faecalis*, *Enterobacter faecium* a *Clostridium difficile*. Co se týče gramnegativních bakterií způsobujících nosokomiální infekce, řadí se zde *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Acinetobacter baumannii*, který je spojován s vysokou úmrtností, nebo multirezistentní *Pseudomonas aeruginosa* (Sikora a Zahra 2023).

### 1.1.1. Mikrobiální biofilmy

Mikroorganismy se běžně vyskytují ve formě volných planktonických formách, ale jejich cílem je převedení této formy na biofilm. Díky tvorbě biofilmu získávají buňky velkou řadu výhod, např. ochrana před UV zářením, teplem, chladem, extrémním pH nebo před účinky desinfekčních prostředků. Biofilmy mohou tvořit všechny druhy mikroorganismů (bakterie, viry, kvasinky i houby) (Dwivedi a Sehgal 2022; Guéneau et al. 2022).

#### 1.1.1.1. **Struktura biofilmu**

Hlavní částí biofilmů je matrice exopolysacharidů, která obsahuje e-DNA (enviromentální deoxyribonukleová kyselina). Exopolysacharidy jsou stavebním kamenem pro

nukleové kyseliny, lipidy a proteiny, které díky nim dokáží přilnout k povrchu. Řadí se zde sacharidy s velkou molekulovou hmotností, jako je například glukóza, galaktóza nebo manóza (Dwivedi a Sehgal 2022).

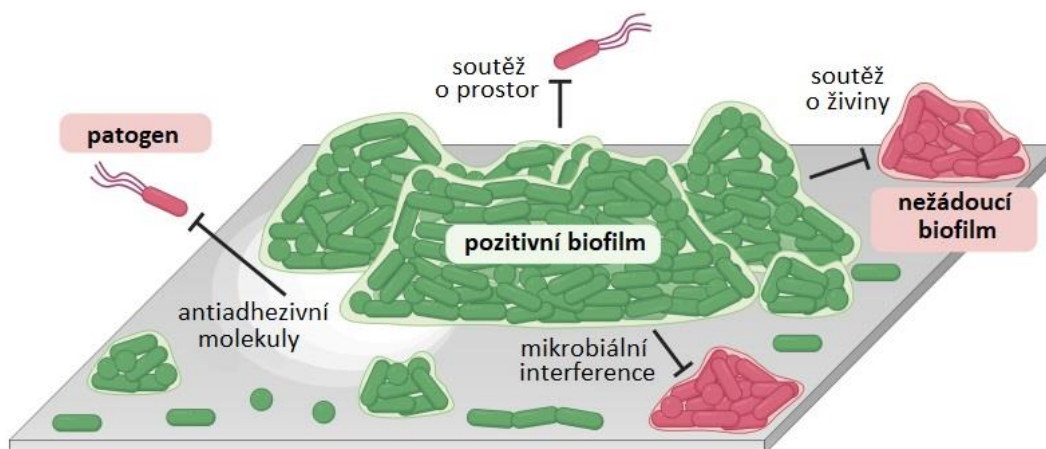
K povrchu jsou připojeny extracelulární proteiny, jejichž úkolem je pomáhat při tvorbě biofilmu a následně ho udržují stabilní. Při tvorbě biofilmů mají podpůrnou funkci amyloidy. Například při agregaci buněk, a tak i vytvoření biofilmu se podílí Fap amyloidy (Dwivedi a Sehgal 2022).

Již výše zmíněná e-DNA, která se nachází v matici, má důležitou roli ve tvorbě biofilmu, který je kritický pro připojení. Díky interakcím s receptory na povrchu biofilmu usnadňuje jeho přichycení k povrchu. Další velmi důležitou rolí je ochrana biofilmu vůči antimikrobiálním látkám, neboť znesnadňuje jejich transport (Dwivedi a Sehgal 2022).

#### 1.1.1.2. Pozitivní (prospěšné) biofilmy

Ve většině případech jsou biofilmy velkým problémem, zejména při osidlování zdravotnických povrchů, kde hrozí riziko nákazy u pacientů s oslabeným imunitním systémem. Je ale určité procento biofilmů, které mohou být prospěšné, např. se podílejí na čištění odpadních vod nebo v půdě rozkládají škodlivé látky. Další použití pozitivních biofilmů se uplatňuje při ochraně povrchů. Příkladem toho je biokonzervace potravin (Dwivedi a Sehgal 2022; Guéneau et al. 2022).

Pozitivní biofilmy jsou speciálně vybrané směsi mikroorganismů, které mají schopnost kolonizace a vytváření biofilmů, které dokáží překonat škodlivé biofilmy nebo inhibovat jejich implantaci třemi mechanismy, zobrazené na obrázku číslo 1 (Guéneau et al. 2022).



Obrázek 1: Pozitivní biofilm a jeho mechanismy

(převzato a upraveno z (Guéneau et al. 2022))

Prvním je antiadhezivní účinek, při kterém pozitivní biofilmy produkují povrchově aktivní molekuly, čímž dochází k zamezení adheze volných planktonních buněk k povrchu (Guéneau et al. 2022).

Druhým mechanismem je zabránění prostoru a spotřebování dostupných živin. Díky tomu se zabránění množení patogenních buněk na povrchu. Buďto nebudou mít kam růst nebo nebudou mít dostatečné množství živin pro to, aby se mohly rozrůstat (Guéneau et al. 2022).

Třetí mechanismus je tzv. mikrobiální interference. Při ní dochází k vylučování specifických látek (antagonistických molekul nebo organických kyselin), které eliminují přítomnost patogenních mikroorganismů na povrchu (Guéneau et al. 2022).

### **1.1.1.3. *Quorum sensing***

*Quorum sensing* (QS) je mikrobiální komunikace v rámci biofilmu. Komunikace je závislá na hustotě mikroorganismů a reguluje expresi genů, které se podílejí na různých vlastnostech mikroorganismů. Mezi tyto vlastnosti je zahrnuta sekrece různých faktorů virulence, přežívání, patogenita, kompetence, bioluminiscence a ovlivňuje rovněž i tvorbu biofilmu. Hlavní funkcí QS je zvýšení odolnosti mikroorganismů vůči vnějším podmínkám a hostiteli tak, aby dokázali přežít v extrémních podmínkách (Sardi et al. 2014; Aghanashini et al. 2015; Zeng et al. 2023).

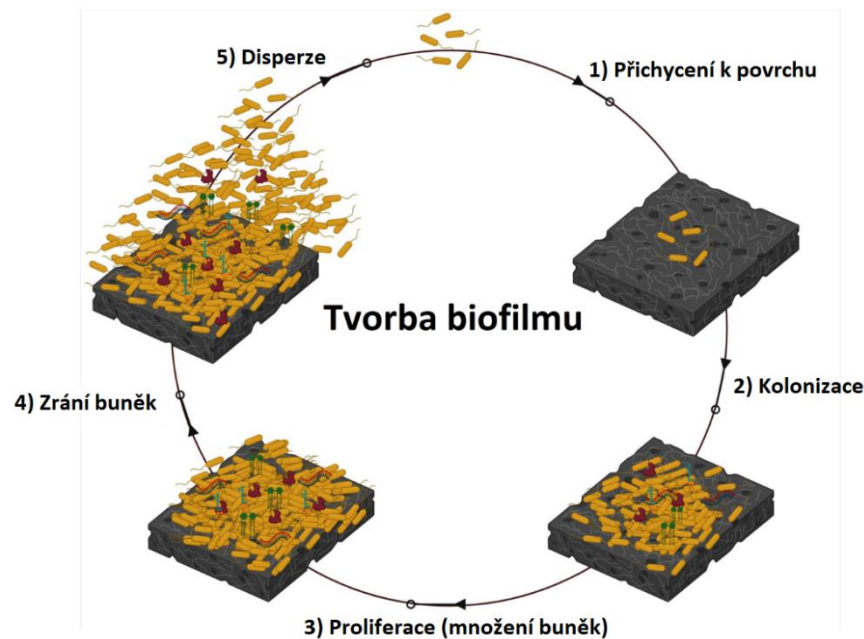
QS je zprostředkováno vytvářením a uvolňováním extracelulárních signálních molekul tzv. autoinduktorů. Autoinduktory jsou intracelulárně syntetizované malé difúzní molekuly, které jsou následně uvolňovány do okolí. Při nízké koncentraci buněk difundují autoinduktory pryč, a naopak při vyšší koncentraci buněk dochází ke zvýšení jejich syntéza a tím i ke zvýšení jejich uvolňování. Mezi induktory se řadí např. oxylipiny a sfingolipidy (Zeng et al. 2023; Aghanashini et al. 2015; Sardi et al. 2014).

### **1.1.2. Bakteriální tvorba biofilmu**

Bakterie se převážně nacházejí v podobě bakteriálního biofilmu, což jsou shluky bakterií, které se váží na různé povrchy (sklo, půda, zdravotnické pomůcky – kloubní implantáty, katétry, ventilátory atd.). Biofilm přispívá k patogenezí, protože slouží bakteriím jako ochrana před antimikrobiálními látkami a imunitním systémem hostitele (Donlan 2001).

Imunitní reakce (vrozené ani získané) nejsou schopny patogeny tvořící biofilm zneškodnit. Bakterie tak zůstávají skryté a nečinné, čímž poškozují místní tkáň a později může vyvolat vznik infekce (Vestby et al. 2020).

K tvorbě biofilmu dochází v pěti fázích (viz obrázek 2). První fází je přichycení k povrchu pomocí slabých interakcí – Van der Waalsovy, elektrostatické a hydrofobní síly. Druhou fází je kolonizace neboli přichycení pomocí silnějších interakcí – pili a bičíky. Poté dochází k proliferaci či množení buněk, dále ke zrání až do vytvoření 3D struktury. A poslední fází je disperze a uvolnění dispergovaných buněk tak, aby mohly kolonizovat další povrchy (Srinivasan et al. 2021).



Obrázek 2: Fáze tvorby bakteriálního biofilmu

(převzato a upraveno z (Srinivasan et al. 2021))

*Enterococcus faecalis* je bakterie, která tvoří snadno biofilmy, ale poté je obtížné se jich zbavit. Sám *E. faecalis* má několik faktorů virulence, které napomáhají tvorbě biofilmu. Jedním z faktorů je enterokokový povrchový protein, díky kterému se bakterie přichytí k povrchu a může kolonizovat. Dalším je gelatináza, což je extracelulární metaloproteáza, která dokáže hydrolyzovat kolagen i hemoglobin, čímž se také podílí na adhezaci. A posledním faktorem, který má svou roli ve tvorbě biofilmu je agregační látka (Zheng et al. 2018).

Známým tvůrcem biofilmu je také *Pseudomonas aeruginosa*, která kolonizuje různé povrchy a problémy působí převážně v lékařství (osidluje implantáty, kontaktní čočky, katetry a mnoho dalších lékařských pomůcek) (Thi et al. 2020).

Na přichycení, tvorbě a stabilitě biofilmu *P. aeruginosa* se podílí extracelulární DNA, proteiny, lipidy a 3 exopolysacharidy – Psl, Pel a alginát:

- Psl – neutrální polymer polysacharidu, který obsahuje D-glukosu, D-manosu a L-rhamnosu. Je důležitý pro adhezi k povrchu.
- Pel – kationtový polymer polysacharidu, tvořený částečně deacylovaným N-acetyl-D-glukosaminem a N-acetyl-D-galaktosaminem. Složí k přichycení a udržování integrity biofilmu.
- Alginát – složený ze zbytků kyseliny mannuronové a kyseliny guluronové. Jeho funkcí je ochrana před fagocytózou a opsonizací (Thi et al. 2020).

Bakteriální buňky tvořící biofilm mají až 1000krát nižší citlivost k antimikrobiálním látkám, což způsobuje značné komplikace v léčbě (Srinivasan et al. 2021). S tvorbou biofilmů výrazně stoupá i úmrtnost pacientů. Z důvodu těchto kombinací je stále větší snaha upravit povrchy materiálů tak, aby byly účinné vůči biofilmům. Jednou z možností je nanést na povrch baktericidní či bakteriostatické látky. Dále třeba povrch potáhnout antiadhezivním materiálem, aby se snížila možnost přichycení bakterií (Chen et al. 2013).

### 1.1.3. Rezistence bakterií vůči antimikrobiálním látkám

Rezistence vůči antimikrobiálním látkám je přirozený jev mikroorganismů, ke kterému dochází v případě, kdy mikroorganismy již nereagují na antimikrobiální látku, na kterou dříve reagovaly (Mancuso et al. 2021). Právě tato rezistence mikroorganismů vede k vyšší nemocnosti a úmrtnosti. K získání rezistence vedlo nesprávné předepisování antimikrobiálních látek nebo předepisování širokospektrých antibiotik, které je zbytečné a mnohdy i neúčinné (C. Reygaert 2018).

Z enterokoků je nejvíce izolovaným druhem *E. faecalis*. Jeho rezistence je způsobená získáním genů kódujících rezistenci na vankomycin nebo mutacemi jeho genetického kódu (Miller et al. 2014). *E. faecalis* je rezistentní na gentamicin, vysokou hladinu streptomycinu, linezolid a vankomycin (Boccella et al. 2021).

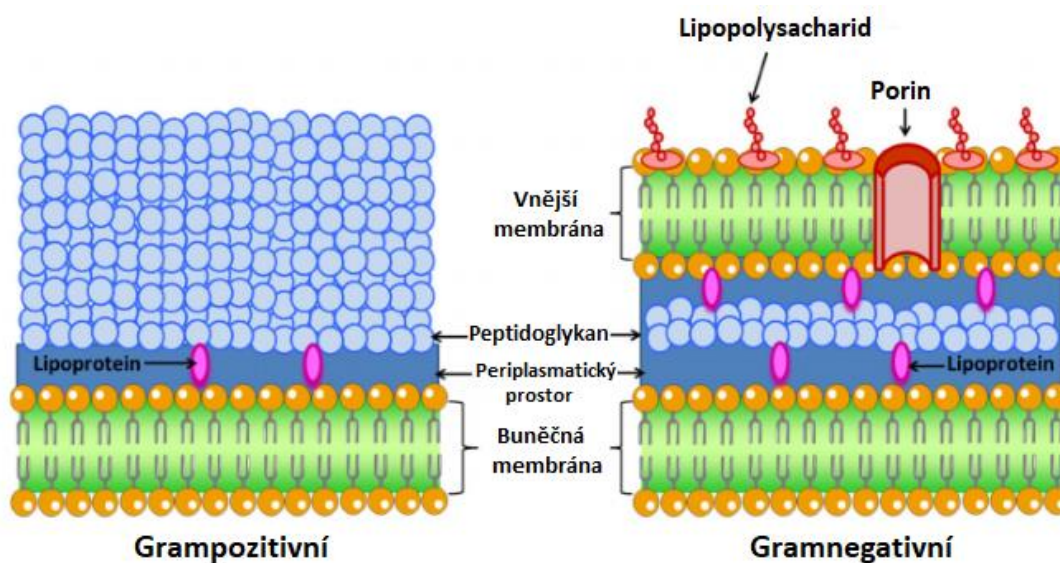
U *P. aeruginosa* je několik faktorů rezistence: nízká permeabilita membrány, tvorba biofilmu a přenos genů nebo mutace, které způsobují snížené vychytávání ATB (antibiotika). Rezistenci zde může rovněž zvýšit nadměrné užívání antimikrobiálních látek (Zheng et al. 2019). *P. aeruginosa* je rezistentní na sulfonamidy, ampicilin, cefalosporiny 1. a 2. generace, chloramfenikol a tetracyklin (C. Reygaert 2018).

## 1.2. Charakteristika použitých bakterií

Bakterie se podle složení buněčné stěny dělí do dvou skupin, na grampozitivní a gramnegativní. Stavba jejich buněčných stěn je znázorněna na obrázku 3.

Buňka gramnegativních bakterií se skládá ze 3 hlavních částí: vnější membrána, buněčná stěna a vnitřní membrána. Vnitřní membrána, která slouží především jako ochrana buňky, navíc obsahuje proteiny pro průchod iontů a živin. Buněčnou stěna, tvořená tenkou vrstvou peptidoglykanu, udává tvar buňky. A vnitřní membrána, kterou tvoří fosfolipidová dvouvrstva, slouží pro transport látek a zároveň je to místo pro ukotvení DNA (Breijyeh et al. 2020).

Grampozitivní bakterie na rozdíl od gramnegativních nemají vnější membránu a mají mnohem silnější vrstvu peptidoglykanu. Touto vrstvou prochází dlouhé aniontové polymery teichoové kyseliny. Tyto části jsou důležité pro ochranu buňky a zároveň hrají roli v patogenezi. V buněčné membráně gramnegativních bakterií se také nacházejí membránové proteiny, jenž slouží pro průchod živin (Rajagopal a Walker 2015).



Obrázek 3: Složení buněčné stěny grampozitivních a gramnegativních bakterií

(převzato a upraveno z: (Jiménez-Jiménez et al. 2022))

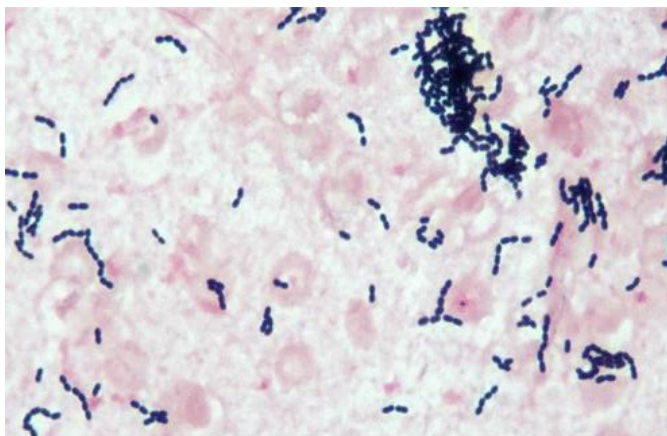
### 1.2.1. *Enterococcus faecalis*

Druh *Enterococcus faecalis* patří do kmene *Firmicutes*, řádu *Lactobacillales*, čeledi *Enterococcaceae* a rodu *Enterococcus* (Parker et al. 2010).

## Charakteristika

*E. faecalis* je gramnegativní kok, který tvoří řetízky (viz obrázek 4). Koky jsou větší než koky rodu *Streptococcus*. Řadí se do skupiny D dle Lancefieldové – podle přítomnosti D-polysacharidu.

Ke svému růstu nepotřebuje nějak zvlášť upravené podmínky. Roste při teplotě 10–45 °C, zvládá růst za přítomnosti žluči, 6% NaCl a do pH až 8,5 (Schindler 2010).



Obrázek 4: Grampozitivní koky *E. faecalis*

(Anon. 2017a)

## Faktory virulence

Mezi látky, které produkuje *E. faecalis* patří hyaluronidáza, agregační látka, gelatináza a enterokokový povrchový protein. Hyaluronidáza rozkládá kyselinu hyaluronovou hostitelské tkáně, čímž je usnadněn vstup bakterií do těla. Agregační látka slouží k přichycení k povrchu. Enzym gelatináza dokáže hydrolyzovat kolagen, fibrin a další peptidy. Dále je spojována s tvorbou biofilmu, stejně jako enterokokový povrchový protein, který má svou roli při kolonizaci (Georges et al. 2022).

Dalším faktorem virulence je cytolysinový toxin – streptolysin, který dělá infekci způsobenou *E. faecalis* až 5krát smrtelnější. Tento toxin dokáže způsobit rozpad krevních buněk (hemolýzu) a dalších eukaryotických buněk (Van Tyne et al. 2013).

## Patogeneze

*E. faecalis* je jednou z nejrozšířenějších nemocničních nálezů. Více než 90 % nemocničních nálezů je způsobeno právě enterokoky. Způsobují různé infekce jako je sepsa,

endokarditida a infekce operačních ran. Jakákoliv infekce v nemocničním prostředí komplikuje léčbu a prodlužuje dobu hospitalizace (Van Tyne et al. 2013).

## Epidemiologie

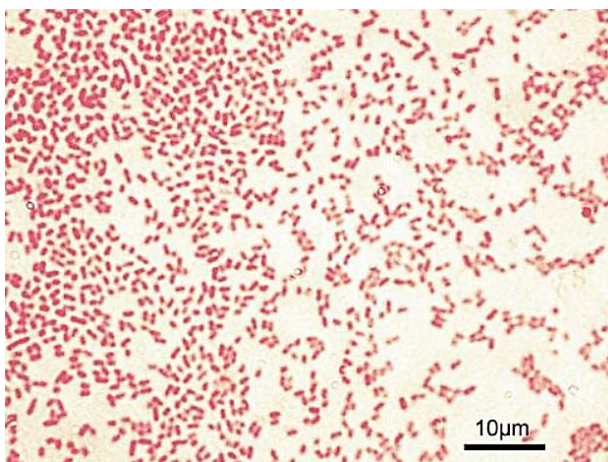
*E. faecalis* je běžnou součástí naší mikroflóry dutiny ústní i trávicího traktu. I když jsou v našem těle, tak nezpůsobují žádné problémy. Ovšem pokud se *E. faecalis* dostane do místa poranění, může způsobovat infekci. (Barnes et al. 2017).

### 1.2.2. *Pseudomonas aeruginosa*

Druh *Pseudomonas aeruginosa* se řadí do kmene *Proteobacteria*, řádu *Pseudomonadales*, čeledi *Pseudomonadaceae* a rodu *Pseudomonas* (Diggle a Whiteley 2020).

## Charakteristika

*P. aeruginosa* je zástupce gramnegativních bakterií (viz obrázek 5). Je to aerobní, nefermentující tyčka o průměrné velikosti 1–5  $\mu\text{m}$  x 0,5–1  $\mu\text{m}$ . Díky bičíkům a pili se jedná o pohyblivou bakterii. Roste při 37 °C, ale může přežít i při teplotě 4–42 °C (Diggle a Whiteley 2020).



Obrázek 5: Gramnegativní tyčinky *P. aeruginosa*

(Wilson a Pandey 2022)

## Faktory virulence

Mezi faktory virulence patří bičíky a pili, které slouží nejen k pohybu, ale také k přichycení na různé povrchy a tím k jejich kolonizaci. (Wilson a Pandey 2022).

Dalším důležitým faktorem je produkce exopolysacharidu, tzv. alginátu. Ten brání průniku antimikrobiálních látek do buňky, a tím zvyšuje schopnost bakteriální rezistence.

Zároveň bakterii chrání před vyschnutím. Za určitých podmínek *P. aeruginosa* tvoří i enzym alginát-lyázu, který působí proti adhezi k povrchu a díky tomu se může šířit a rozrůstat se (Boyd a Chakrabarty 1995).

*P. aeruginosa* produkuje spoustu exoproduktů, které obarvují kolonie. Pyocyanin je modrozelený pigment, který kolonizuje řasinkový epitel dýchacích cest a dokáže obarvit i hnis a hlen. Dalšími pigmenty jsou: zelený pyoverdín, červený pyorubin a černý pyomelanin (Schindler 2010). Pigmenty *P. aeruginosa* jsou znázorněny na obrázku 6.



Obrázek 6: Pigmenty *P. aeruginosa*: zelený pyoverdín, modrý pyocyanin a černý pyomelanin

(Neves et al. 2014)

### **Patogeneze**

Nachází se především ve zdravotnickém prostředí. Jedná se o nosokomiální nákazu, takže většinou postihuje oslabené jedince a zvyšuje tak jejich úmrtnost. Mezi nejzávažnější infekce patří endokarditida, pneumonie, meningitida a septicémie. Jakákoliv nákaza *P. aeruginosa*, která postihne oslabené jedince způsobuje značné komplikace v jejich léčbě (Bodey et al. 1983).

### **Epidemiologie**

Infekce způsobené *P. aeruginosa* se objevují především u imunokompromitovaných a imunokompetentních pacientů. Jedná se především o jedince s cystickou fibrózou, neutropenií, rakovinou nebo AIDS (syndrom získaného imunodeficitu). Hlavním problémem je tvorba biofilmu, díky kterému je obtížné tuto bakterii identifikovat (Wilson a Pandey 2022).

## **1.3. Mikromycety**

Mikromycety nebo-li houby jsou eukaryotické organismy, které se nacházejí jak v přírodě, tak v různých organismech, kde mohou způsobovat onemocnění. Působí buď jako

saprofyté či parazité (saprofyté – organismy získávající živiny z organických látek, parazité – organismy žijící na úkor jiného organismu) (Powers-Fletcher et al. 2016).

Houby můžeme rozdělit na:

- dimorfní mikromycety – tyto houby mají 2 formy (kvasinkové a vláknité), mění se podle okolního prostředí,
- vláknité mikromycety – jedná se o saprofyty, působí jako oportunní lidské patogeny nebo způsobují onemocnění rostlin,
- dematózní mikromycety – tyto houby obsahují ve své buněčné stěně melanin, díky kterému mají tmavý pigment.

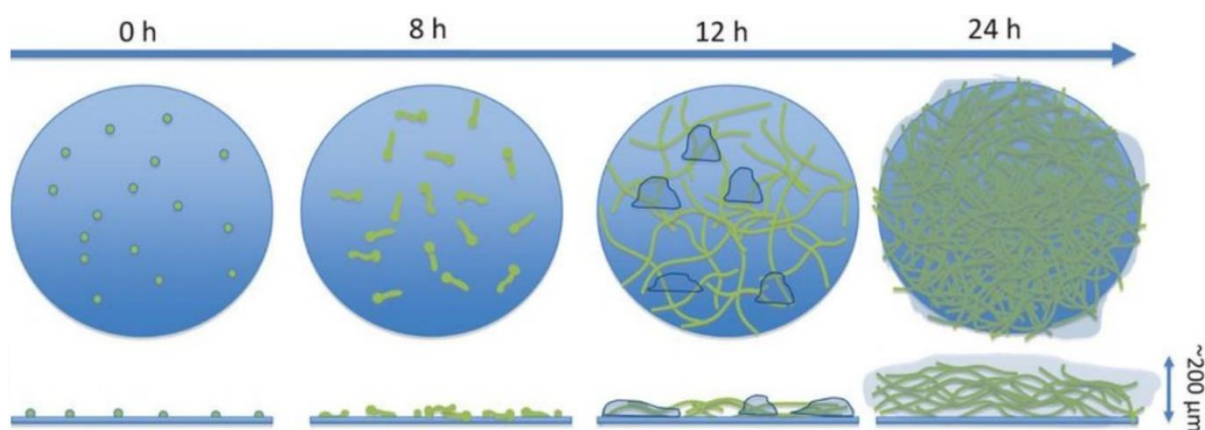
Rožmnořování mikromycet probíhá dvěma způsoby – pohlavně a nepohlavně. K pohlavnímu rořmnořování dochází pomocí spor, zatímco k nepohlavnímu pomocí konidií a sporangiospor (Powers-Fletcher et al. 2016).

### 1.3.1. Mykologická tvorba biofilmu

Rezistence plísni vůči antimykotickým látkám se projevuje stejně jako u bakterií, tedy po podání standardní antimykotické dávky, nedochází u plísni k žádné reakci. Aby byla léčba plísni účinná, musí spolupracovat s imunitním systémem. Pokud je postihnut imunitní systém tak, že není schopen léčivům pomoci, je léčba daleko náročnější. Plísňové infekce mohou způsobovat chronická onemocnění a zároveň také vážné plísňové infekce, které pacienty ohrořují na životech (Cowen et al. 2015).

Rod *Aspergillus* produkuje konidie (malé spory), které se nachází ve vzduchu, kde přeřívají dlouhou dobu. Tyto částčky člověk vdechuje ve velmi velkém množství. Konidie se následně uchytí v plicích a začne růst (tvořit biofilm). *Aspergillus* také tvoří biofilm na cizích tělesech v lidském těle. Mezi tato tělesa patří kloubní náhrady, prsní implantáty, katétry a další (Ramage et al. 2011).

Biofilm roste ve 4 fázích (viz obrázek 7). Nejprve dochází k adhezi konidií a v dalších osmi hodinách k tvorbě zárodků. Ve třetí fázi dochází ke vzniku monovrstvy propletených hyf a nakonec vzniká 3D vláknitá biomasa, která je uzavřena v exopolymerní látce (Ramage et al. 2011).



Obrázek 7: Vývoj biofilmu rodu *Aspergillus*

(Ramage et al. 2011)

Pro léčbu aspergilózy způsobené *A. brasiliensis* se používají triazoly. Bohužel, ale i při časté léčbě těmito látkami se mohou objevit specifické mutace, díky kterým se plíseň stává rezistentní na dané antimykotikum (Romero et al. 2019). Rezistence rodu *Aspergillus* není tolik známá, neboť se jeho citlivost v rutinních laboratořích běžně netestuje. Už i jeho identifikace je velmi obtížná (Arendrup 2014; Romero et al. 2019).

Rod *Penicillium* také tvoří biofilmy nejen v lidském těle, ale také na různých površích. K tvorbě biofilmu dochází stejně jako u rodu *Aspergillus*. Nejprve adheze k povrchu a vzájemné propojení buněk. Poté k jejich množení a tvorbě extracelulární matrix, která dává biofilmu odolné vlastnosti (Hupka et al. 2023).

Houby rodu *Penicillium* také patří k méně stanovovaným houbám, proto se ani jejich rezistence často nestanovuje. Samy ale souží k výrobě penicilinu a tak i k léčbě jiných infekcí (Guevara-Suarez et al. 2016).

Plísňové biofilmy je těžké identifikovat (na rozdíl od bakteriálních) a zároveň jejich extracelulární matrix komplikuje jejich odstranění z povrchu. Ideálním způsobem, jak se zastavit tvorbu biofilmu, je přerušit proces adheze (Hupka et al. 2023).

### 1.3.2. Resistence mikromycet vůči antimykotickým látkám

Proti houbám existují 3 třídy antimykotik:

- Polyeny – molekuly této látky se váží na lipidovou dvojvrstvu, ve které vytváří póry, což způsobuje narušení buněčného gradientu.
- Triazoly – používají se především proti kvasinkám, u nichž způsobují přerušování jejich biosyntézy.

- Echinokandiny – inhibují (1,3)- $\beta$ -D- glukán syntázu, což je enzym, který se podílí na produkci glukánových polymerů v buněčné stěně hub (Powers-Fletcher et al. 2016).

Rezistence rodu *Aspergillus* úzce souvisí s jeho tvorbou biofilmu. Bylo dokázáno, že v prvních fázích růstu biofilmu (do osmi hodin) je citlivější vůči antimykotikům než ve fázích pozdějších (Ramage et al. 2011).

Dále bylo prokázáno, že antimykotikum s názvem vorikonazol je velmi účinné vůči rodu *Aspergillus*. Stejně tak jsou proti němu účinná antimykotika echinokandiny (Powers-Fletcher et al. 2016).

U rodu *Penicillium* se také objevuje rezistence na vorikonazol. Při podávání tohoto léku u nakažených pacientů dochází nejprve k úlevě a uzdravování, ale při delším používání dochází ke vzniku rezistence a infekce zase začíná nabírat na síle (Chowdhary et al. 2014).

Zároveň rod *Penicillium* sám slouží k výrobě penicilinu, který se používá především k léčbě bakteriálních infekcí. Tento objev šťastnou náhodou učinil roku 1928 Alexander Fleming (Lobanovska a Pilla 2017).

## 1.4. Charakteristika použitých plísní

Mnou používané houby *Aspergillus brasiliensis* a *Penicillium chrysogenum* patří do kmene Ascomycota (vřeckovýtrusné). Tento kmen je jeden z nejzastoupenějších, obsahuje asi 64 000 popsanych hub (Dr. Samantha 2019).

Rozdíl mezi mnou používanými houbami je ten, že *A. brasiliensis* má nerozvětvený konidiofor bez sept. Na rozdíl od něj *Penicillium chrysogenum* má rozvětvený, kartáčovitý konidiofor se septy (Dr. Samantha 2019).

### 1.4.1. *Aspergillus brasiliensis*

Druh *A. brasiliensis* patří do kmene *Ascomycota*, řádu *Eurotiales*, čeledi *Trichocomaceae* a rodu *Aspergillus* (Schoch et al. 2020).

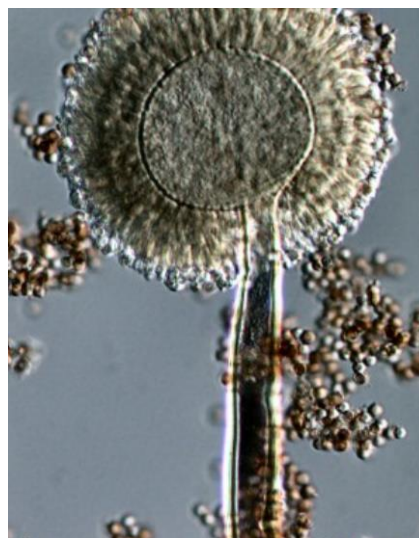
#### **Charakteristika**

*A. brasiliensis* (zobrazený na obrázku 8) se řadí mezi vláknité houby. Mycelium je tvořeno rozvětvenými vlákny (hyfy), která jsou dělena septy. Konce vláken jsou rozšířeny a tvoří tzv. konidiofor, který na sobě má malé konidie uspořádané do řetízků (Bednář et al. 1994).

Hlavice konidií jsou nejprve kulovité a následně se mění na paprskovité. Konidie jsou velké 3,5–4,5  $\mu\text{m}$ . Jeho stěny mají světle hnědou barvu a jsou poměrně silné a hladké. Váčky *A. brasiliensis* jsou 30–45  $\mu\text{m}$  široké (Varga et al. 2007).

Mycelium *A. brasiliensis* se dělí na dvě části. První část je vegetativní (bazální), což znamená, že kolonie vrůstají do půdy, ze které čerpají živiny. Druhou částí je vzdušné mycelium (povrchové), které na sobě nese konidie – rozmnožovací části (Bednář et al. 1994).

Kolonie *A. brasiliensis* jsou chmýřité, bílé barvy, poté se mění na tmavě hnědé až černé. Má dobrý růst při 37 °C, kdy tvoří spory. Dokáže růst i v přítomnosti 5% NaCl (Varga et al. 2007).



Obrázek 8: *A. brasiliensis* v mikroskopu

(Dr. Samantha 2019)

### Faktory virulence

Rod *Aspergillus* produkuje spoustu faktorů virulence, které je chrání v nepříznivých podmínkách a napomáhají šíření infekce. Tyto faktory zahrnují výše zmíněnou tvorbu biofilmu,  $\alpha$  – amylázu, pektinolytickou, proteinolytickou, lipázovou, fosfolipázovou a hemolytickou aktivitu (Anon. 2017b).

Dalším faktorem virulence je jejich produkce mykotoxinů jako je patulin, karcinogenní ochratoxin a fytotoxický aflatoxin, který inhibuje u rostlin fotosyntézu (Pfliegler et al. 2020).

## Patogeneze

*Aspergillus* způsobuje spoustu onemocnění zejména u imunokomprimovaných pacientů. Mohou způsobit plicní aspergilózu, rinosinusitidu a endoftalmitidu, která je často spojována s užíváním kontaktních čoček (Fosses Vuong et al. 2023).

Aspergilóza je doprovázena tzv. aspergilomem, neboli perforovanou dutinou v plicích či v paranazálních dutinách. Mezi symptomy tohoto onemocnění patří kašel až dušnost, nechutenství a s tím spojené hubnutí a horečka (Hurych a Štícha 2020). Aspergilóza v těle existuje lokalizovaná, ale zároveň se může vytvořit i její diseminovaná forma, která vede k vysoké úmrtnosti (Hurych a Štícha 2020).

Patogen může do těla vstoupit i skrze cizí předměty, například přes žilní katétr. K nákaze může dojít také přes místo po chirurgickém zákroku. Takto se může infekce dostat až ke kosti a vzniká osteomyelitida (Fosses Vuong et al. 2023).

## Epidemiologie

Infekce *A. brasiliensis* se přenáší pomocí konidií, které uvolňuje. Ty poté přenáší vzduchem a mohou být vdechnuty. Usazují se v plicích pacienta, kde vyklíčí a začnou vyvolávat infekci – tvoří shluk plísní, tzv. aspergillom (Schindler 2010).

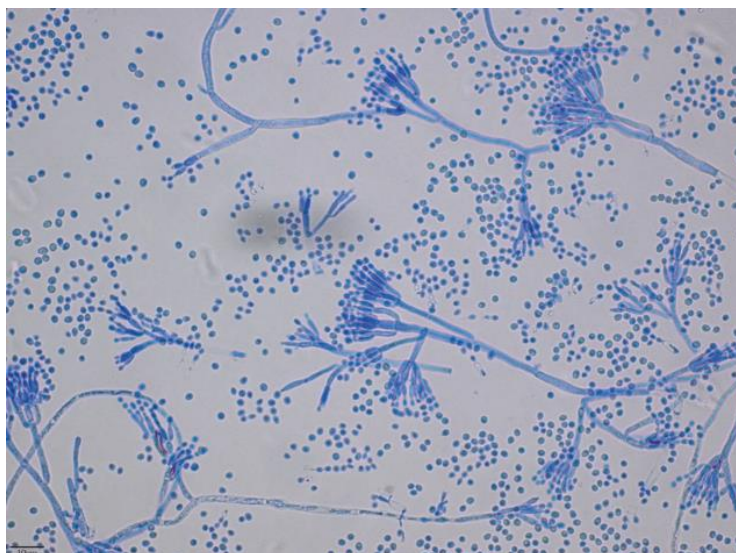
### 1.4.2. *Penicillium chrysogenum*

Druh *P. chrysogenum* patří do kmene *Ascomycota*, řádu *Eurotiales*, čeledi *Trichocomaceae* a rodu *Penicillium* (Schoch et al. 2020).

Původní název byl *P. notatum*. České pojmenování pro *P. chrysogenum* je „štetičkovec“. Tento název dostal podle typicky větvených konidioforů, které jsou zakončeny konidiemi uspořádanými do řetízků (Kolářová 2020).

## Charakteristika

V mikroskopu jsou u *P. chrysogenum* vidět kulaté konidie, uspořádané do řetízků a hyfy s přepážkami (viz obrázek 9). Při kultivaci roste nejprve v bílých koloniích s vatovitou texturou a až po 7 dnech mění svou barvu na šedo zelenou (De Oliveira et al. 2023).



Obrázek 9: Zobrazení *P. chrysogenum* v mikroskopu

(Reboux et al. 2019)

### **Faktory virulence**

Jedním z faktorů virulence je produkce žlutého pigmentu – chrysoginu. Tento pigment dává této houbě nejen barvu, ale zároveň ji chrání před nepříznivými vlivy prostředí a před ultrafialovým zářením (UV záření) (Viggiano et al. 2018).

Dalšími faktory virulence je produkce proteáz, degradačních enzymů i proteinů (albuminu a kaseinu). Produkuje ureázu, která štěpí močovinu a vykazuje také hemolytickou aktivitu (Jameel a Yassein 2021).

Důležitým faktorem je rovněž termotolerance. *P. chrysogenum* roste a přežívá při velmi nízkých teplotách (Antarktida) a zároveň je schopná růstu při 37 °C. Díky tomu je obtížné se ji zbavit, protože dokáže tvořit biofilmy (jak již bylo zmíněno výše) (Jameel a Yassein 2021).

### **Patogeneze**

Onemocnění způsobená touto bakterií zatím nejsou moc známá. Bylo prokázáno, že u pacienta s rakovinou vyvolala nekrotizující pneumonii a dále byly zjištěny pouze různé alergie či astmata (D'Antonio et al. 1997).

### **Epidemiologie**

*P. chrysogenum* se vyskytuje v různém prostředí (odpadní vody, staveniště, půda). Ovšem nákaza probíhá většinou u imunokomprimovaných hostitelů (De Oliveira et al. 2023).

Na rozdíl od většiny patogenů se *P. chrysogenum* již v historii využívalo k výrobě penicilinu. Žádný jiný organismus nezachránil více lidských životů (Fierro et al. 2022). Dokonce bylo zjištěno, že produkuje antibiotikum – xanthocilin (Viggiano et al. 2018).

## 1.5. Antimikrobiální nátěry

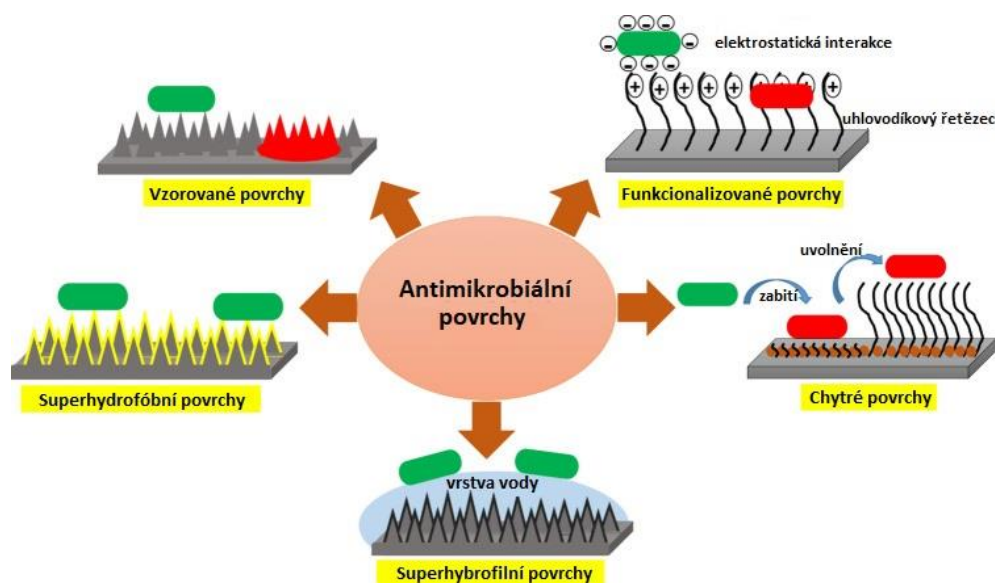
Infekce se šíří nejen přímo (kontaktem, kapénkami, ...), ale také nepřímo – prostřednictvím nějakého materiálu. Největší riziko takové nákazy je v nemocnicích, veřejných dopravních prostředcích a v místech, kde chodí spousta lidí. Tyto infekce jsou velkou zátěží pro lidstvo a rovněž také pro výrobu antimikrobiálních látek (Behzadinasab et al. 2023).

Všechny povrchy se tedy musí pravidelně čistit pomocí různých desinfekčních prostředků, aby se zamezilo množení bakterií, a tak i šíření infekcí. Taková desinfekce je ale hodně nákladná a zároveň může vést k vytvoření rezistence různých mikroorganismů (Mahanta et al. 2021).

Častým používáním prostředků obsahujících peroxid vodíku, chlor a chlornan sodný se zvyšuje riziko vzniku onemocnění srdce a plic. Používání alkoholů jako je ethanol, může u dětí vést k otravě alkoholem nebo až k zástavě dechu. Je-li ethanol často aplikován na kůži, dochází k jejímu vysušení až podráždění. Stejně tak může kůži uškodit UV záření, které způsobuje popálení kůže a může vést až ke vzniku rakoviny (Mahanta et al. 2021).

Aby nebylo nutné použití desinfekce, vymyslela se alternativa ve formě antimikrobiálních nátěrů, které buďto brání přichycení mikroorganismů na povrch nebo je přímo usmrcují. Výhodou také je, že neobsahují žádná antibiotika, tudíž je menší pravděpodobnost, že by přispívali k tvorbě rezistence mikroorganismů (Behzadinasab et al. 2023).

Aby měly nátěry antimikrobiální povrch, musely být chemicky nebo fyzikálně modifikovány. Díky tomu se pak rozdělují do 4 kategorií zobrazených na obrázku 10: vzorované povrchy, funkcionalizované povrchy, supersmáčivé povrchy, které se ještě dělí na superhydrofóbní a superhydrofilní a poslední kategorií jsou tzv. chytré povrchy (Mahanta et al. 2021).



Obrázek 10: Zobrazení kategorií antimikrobiálních nátěrů

(převzato a upraveno z (Mahanta et al. 2021))

### Vzorované povrchy

Díky tomuto povrchu mikroorganismy nejsou schopny se přichytit anebo jsou zachyceny nátěrem, což následně vede k jejich smrti. Jedná se především o fyzikální úpravy, díky kterým se na povrchu tvoří póry o velikosti 0,5–10  $\mu\text{m}$ . Bohužel bylo zjištěno, že tyto povrchy nejsou tolik účinné na obalené mikroorganismy nebo mikroorganismy se silnější buněčnou stěnou (Mahanta et al. 2021).

### Funkcionalizované povrchy

Tyto povrchy jsou upravovány pouze chemicky. Jejich funkcí je inhibice mikroorganismu nebo jeho zabití. Jako chemická modifikace se používají např. polykationty, které účinně mikroorganismy zabíjí. Funguje to tak, že povrch zvyšuje adsorpci mikroorganismů se záporným nábojem, prostřednictvím elektrostatických interakcí. Díky této interakci poté dochází k úniku genetického materiálu mikroba, což vede ke ztrátě jeho účinku. Funkcionalizované povrchy jsou využívány proti širokému spektru grampozitivních i gramnegativních bakterií, plísni i virů (Mahanta et al. 2021).

### Supersmáčivé povrchy

Supersmáčivé povrchy jsou vytvořeny kombinací chemických a fyzikálních modifikací. Jejich antimikrobiálním účinkem je pouze zabránění přichycení mikroorganismu k povrchu a nikoli jeho zabití. K tomu, aby tyto povrchy měly i schopnost zabíjení, musely by být

kombinovány s nanočásticemi kovu nebo částicemi kovu. Nanočástice by změnilly drsnost povrchu a sloužily by k zabíjení mikroorganismů na povrchu (Mahanta et al. 2021).

Supersmáčivé povrchy se dále dělí do dvou kategorií: super hydrofobní a superhydrofilní. Superhydrofóbní povrchy mají kontaktní úhel s vodou větší než  $150^\circ$ , což znamená, že se kapky vody odvalí i pod malým úhlem náklonu. Superhydrofobicita snižuje adhezi mikroorganismů na minimum. Naopak superhydrofilní povrchy mají kontaktní úhel s vodou menší než  $5^\circ$ , čímž dojde k úplnému rozprostření kapky vody. Obě kategorie jsou účinné pro širokou škálu bakterií, hub i virů (Mahanta et al. 2021).

### **Chytré povrchy**

Povrchy, které mají pouze jednu funkci, mají spoustu nevýhod. Povrchy proti adhezi si své účinky nemohou dlouho udržet (mají nízkou životnost) a dřív nebo později stejně povedou ke vzniku biofilmů. U povrchů, jejichž funkcí je zabíjení mikrobů, postupem času dochází na jejich povrchu k nahromadění uhynulých mikrobů nebo jejich částí, a tím je schopnost povrchu snížena také. Takové nevýhody by mohly eliminovat kombinované tzv. chytré povrchy (například akrylátové latexové nátěry, patřící do skupiny vodou ředitelných nátěrů). Chytré povrchy dostaly svůj název díky tomu, že mají tzv. přepínatelné vlastnosti – mohou zabíjet i inhibovat mikroby současně. Díky činidlům dochází k zabíjení mikroorganismů na povrchu a polymery reagující na stimuly následně uvolní mrtvé mikroby z povrchu pryč. Chytré povrchy jsou určeny především pro bakterie (Mahanta et al. 2021).

#### *1.5.1. Vodou ředitelné akrylátové nátěry*

Vodou ředitelné nátěry jsou na bázi rozpouštědel – jedná se o akrylátové částice ve vodném médiu. Tyto nátěry jsou ekologičtější, protože neobsahují těkavé organické sloučeniny. Mezi další výhody patří snadná manipulace a možnost přizpůsobení složení a struktury podle toho, jak by měl vypadat finální produkt (Kozakiewicz et al. 2015).

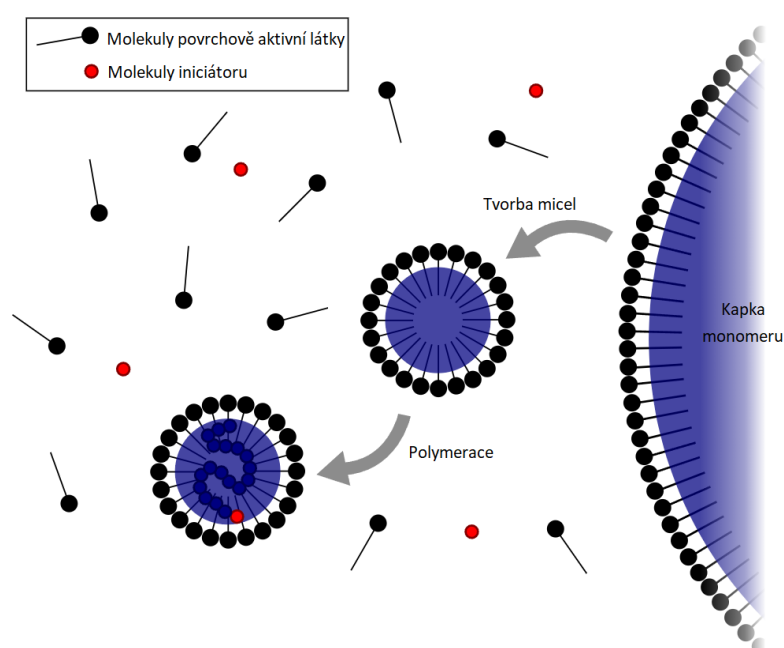
Tyto nátěry, mají také své nevýhody, jako je například tvorba povlakového filmu. Tato tvorba zahrnuje několik kroků, jako je odpařování, shlukování obsažených částic a difúze polymerních řetězců. I přesto všechno jsou výsledné filmy více defektivní a byla u nich prokázána snížená mechanická odolnost oproti filmům oproti filmům z polymerních roztoků (Argaiz et al. 2023).

Existuje několik způsobů, jak zlepšit tvorbu filmů, např. přidáním změkčovadla, ale zvýší se tím obsah těkavých organických sloučenin. Další možností je smíchání částic polymerů

o nízké a vysoké teplotě skelného přechodu nebo vyvinutím vícefázového systému. Vícefázové systémy kombinují tvrdé a měkké polymery. Tvrdý polymer dodává mechanickou pevnost a měkký správnou pohyblivost řetězců, aby bylo možné dokončit tvorbu filmu. Poslední možností je tvorba kovalentně zesílených polymerních filmů. Síťování totiž dodává chemickou i mechanickou stabilitu, odolnost vůči kyslíku a vysoký bod měknutí (Argaiz et al. 2023).

### 1.5.1.1. Syntéza latexů

Pro přípravu latexů je využíván proces známý jako emulzní polymerace (viz obrázek 11). Mezi hlavní složky patří monomery, disperzní médium emulgátor a ve vodě rozpustný iniciátor (Chern 2006).



Obrázek 11: Proces emulzní polymerace

(převzato a upraveno z: El-hoshoudy 2018)

Existují 3 typy emulzní polymerace:

- Konvenční emulzní polymerace, při které dochází k emulgaci hydrofobního monomeru ve vodě. Následná polymerace je iniciována iniciátorem rozpustným ve vodě.
- Inverzní emulzní polymerace, kde je využíváno organického rozpouštědla jako polymeračního média. V tomto médiu nastává emulgace hydrofilních monomerů a poté následuje iniciace pomocí hydrofobního iniciátoru.
- Mini emulzní polymerace se provádí u systémů, kde jsou kapičky monomerů menší než při jiných typech polymerace (El-hoshoudy 2018).

Emulzní polymerace zahrnuje 3 kroky: iniciaci, propagaci a terminaci. Během iniciace dochází k rozkladu iniciátoru na volné radikály tepelným rozkladem, chemickými reakcemi nebo zářením. Druhým krokem je propagace. Během ní dochází k růstu polymerního řetězce pomocí postupného přidávání částic monomerů do aktivních center. Třetím a posledním krokem je terminace, která může probíhat dvěma způsoby (El-hoshoudy 2018).

Jedním ze způsobů terminace je rekombinace, při které dochází k reakci radikálů se vznikajícím řetězcem a nastává blokace aktivních center, čímž se reakce zastaví. Druhou možností je disproporcionace, při které jeden polymerní řetězec předává proton vodíku druhému řetězci. Díky tomu vznikají dvě frakce polymerního řetězce – jedna je nasycená a druhá nenasyčená (El-hoshoudy 2018).

### **1.5.1.2. Akrylátové latexové nátěry**

Akrylátové latexové nátěry jsou známy od 30. let 20. století. Jedná se o nátěry, které obsahují pojiva, kterými jsou akrylové pryskyřice. Polyakrylátové látky jsou složeny z akrylátových a methakrylátových esterů a dále mohou v menším množství obsahovat nenasyčené monomery jako je styren nebo vinyltoluen. Další příměsí akrylátových nátěrů mohou být různé funkční skupiny (aminová, hydroxylová izokyanátová nebo epoxidová). Akrylátové latexy se mohou vyskytovat v různých formách. Může se jednat o pevné látky, vodné roztoky, roztoky organických rozpouštědel, disperze nebo o emulze iontů (Stoye a Freitag 1998).

Akrylátové latexové nátěry mají výhodu v nízkém obsahu těkavých a organických sloučenin, dále jsou bezbarvé a nezežloutnou ani při delším zahřívání, mají vynikající lesk, nejsou degradovány UV zářením, mají dobrou adhezi k povrchům a filmotvorné vlastnosti a díky tomu jsou používány v nátěrových hmotách jako pojivo. Ve stavitelství se využívají jako vnitřní i venkovní ochranné nátěry, které by měly splňovat některé požadavky. Měly by mít dobré optické a mechanické vlastnosti, dále by měly být dobře přilnavé k povrchům a měla by být u nich snížena absorpce vody (Topçuoğlu et al. 2006; Stoye a Freitag 1998).

Jednou z nejdůležitějších vlastností je snížená propustnost vodních par. Tato vlastnost hraje důležitou roli zejména u venkovních ochranných nátěrů, neboť jsou neustále vystavovány velké vlhkosti a dešti. Pokud by se u nich tato vlastnost nevykytovala, docházelo by k difúzi vody do barvy a tím by došlo ke ztrátě přilnavosti a kontaminaci mikroorganismy. Voda je také přenašečem rozpustných plynů, jako je CO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub>, které mají negativní vliv na ochranu betonu (Topçuoğlu et al. 2006).

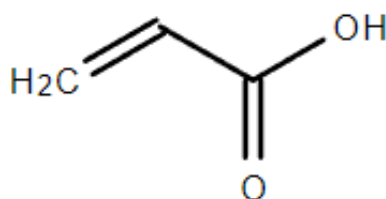
Látky obsažené v akrylátových latexech mohou různě měnit jeho vlastnosti. Díky kyselině akrylové a methakrylové je zvyšována přilnavost ke kovům. Odolnost vůči povětrnostním vlivům, lepší tvrdost a lesky je způsobena methylmethakrylátem. Dále například styren zvyšuje tvrdost a odolnost vůči vodě a alkylakryláty či alkylmethakryláty zvyšují hydrofobnost a dodávají pružnost (Stoye a Freitag 1998).

Vodou ředitelné akrylátové latexové nátěry jsou používány v mnoha aplikacích. Využívají se při výrobě barev do tiskáren, lepidel, leštidel na podlahy. Jsou také používány jako přísady do papíru a jejich velmi často používanou aplikací jsou ochranné nátěry, nejen budov ale také třeba pro uchování nástěnných maleb a soch kulturního dědictví (Kessel et al. 2008; Topçuoğlu et al. 2006).

Akrylátové latexy se vyrábí emulzní polymerací, z kyseliny akrylové, kyseliny methakrylové a jejich esterů. Během tohoto procesu dochází k tomu, že je ve vodném médiu obsahujícím micely a povrchově aktivní látky polymerován monomer. Povrchově aktivní látky jsou potřeba pro poskytnutí místa polymerace a zároveň pro stabilizaci polymerních částic. (Weldon 2009; Corsaro et al. 2021; Mestach 2004).

### **Kyselina akrylová**

Kyselina akrylová (vzorec na obrázku 12) je konjugovaná kyselina akrylátu. Jedná se se o bezbarvou látku či kapalinu, která disponuje štiplavým zápachem. Tato kyselina se používá nejen k výrobě plastů, ale také k syntéze nátěrových hmot, které jsou následně využívány ve zdravotnictví, např. ve stomatologii pro zubní náhrady (National Library of Medicine 2023).



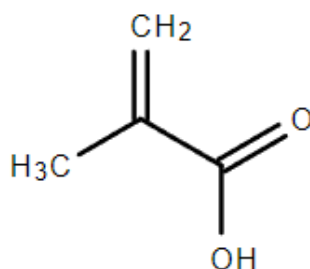
Obrázek 12: Chemický vzorec kyseliny akrylové

Na člověka může působit i toxicky. Je žíravá pro kůži, sliznice, dýchací cesty (při vdechování způsobuje edém plic) a rovněž dráždí i oči (National Library of Medicine 2023).

Kyselina akrylová velmi snadno polymerizuje např. oxidačními činidly, slunečním zářením v přítomnosti kyslíku nebo při zvýšení teploty. Z těchto důvodů musí látka obsahovat inhibitory, které by takto snadné polymerizaci zabránily (National Library of Medicine 2023).

## Kyselina methakrylová

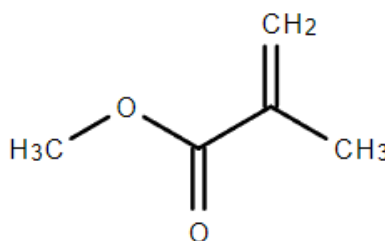
Kyselina methakrylová (vzorec na obrázku 13) je bezbarvá pevná látka, která má nízkou teplotu tání, a proto je spíše známá jako bezbarvá kapalina. Stejně jako kyselina akrylová, disponuje štiplavým zápachem, někdy je uváděno až odpudivým zápachem (National Library of Medicine 2023).



Obrázek 13: Chemický vzorec kyseliny methakrylové

Opět může být pro tělo toxická. Dostává se do těla absorpcí kůže, vdechováním nebo přímým kontaktem. A také způsobuje podráždění sliznic, kůže a očí, které může vést až k popáleninám. Mezi příznaky toxikace patří dušnost, pocit pálení, obtížnější dýchání, zarudnutí kůže či puchýře (National Library of Medicine 2023).

Z kyseliny methakrylové se vyrábí methyl methakrylát (vzorec na obrázku 14). Jedná se o ester kyseliny methakrylové a methanolu. Methyl methakrylát působí jako alergen – dráždí kůži, oči a sliznice. U pacientů, kteří jsou po akutním nebo chronickém onemocnění dýchacích cest může vyvolat respirační potíže jako je kašel, sípání, tlak na hrudi nebo dušnost (National Library of Medicine 2023).



Obrázek 14: Chemický vzorec methyl methakrylátu

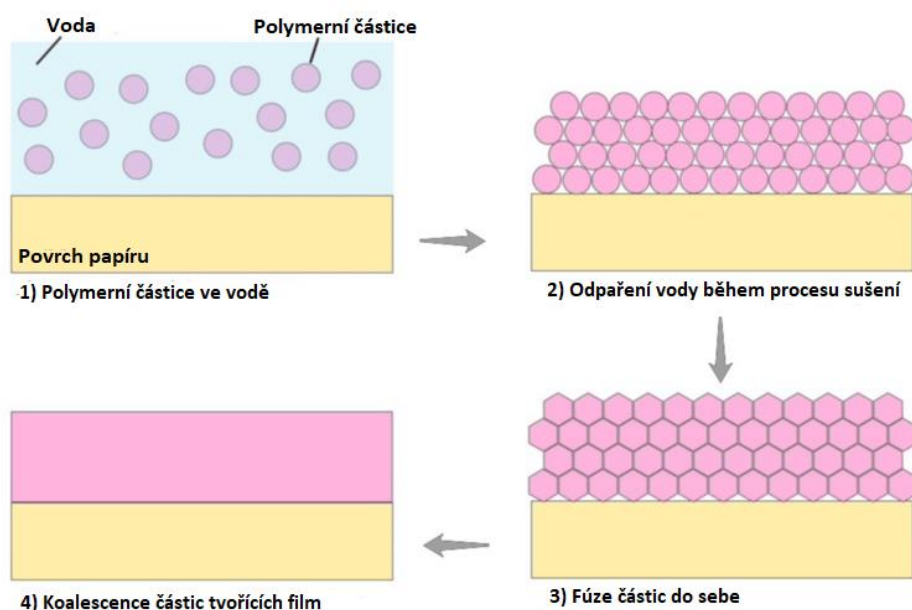
Methakrylátový polymer je velmi dobře odolný vůči povětrnostním vlivům, a proto se používá ve stavebnictví k ochraně stavebních materiálů a osvětlovacího zařízení. Své uplatnění má i při výrobě plastů barev nebo nátěrových disperzí (Nagai 2001).

### 1.5.1.3. Tvorba latexového filmu

Jedná se o vícestupňový proces, který obsahuje 3 základní kroky, během kterých dochází ke tvorbě souvislého filmu. Výsledný film může být homopolymerní (z jednoho typu polymeru) nebo heterogenní polymer (z více typů polymerů) (Weldon 2009; Steward et al. 2000).

Latexové částice jsou nabité polymery, které se v běžných podmínkách drží od sebe, působením elektrostatických sil. Aby mohl vzniknout souvislý film (viz obrázek 15), musí být elektrostatické síly překonány, aby se polymerní částice k sobě přiblížily. Proto musí být v tomto procesu odpařena voda (Steward et al. 2000).

Prvním krokem tvorby latexového filmu je odpařování. Jedná se o nejdelší ze tří fází. Voda je odpařována tak, aby došlo ke zkoncentrování polymerních částic. Druhou fází je fúze částic do sebe. Během tohoto kroku dochází ke zmenšování vzdálenosti mezi částicemi, aby se dostaly do těsného kontaktu. Ve třetím kroku nastává koalescence – odpařování zbytkové vody, nejprve rychle, a nakonec dochází ke zpomalování (Steward et al. 2000).



Obrázek 15: Proces tvorby latexového filmu

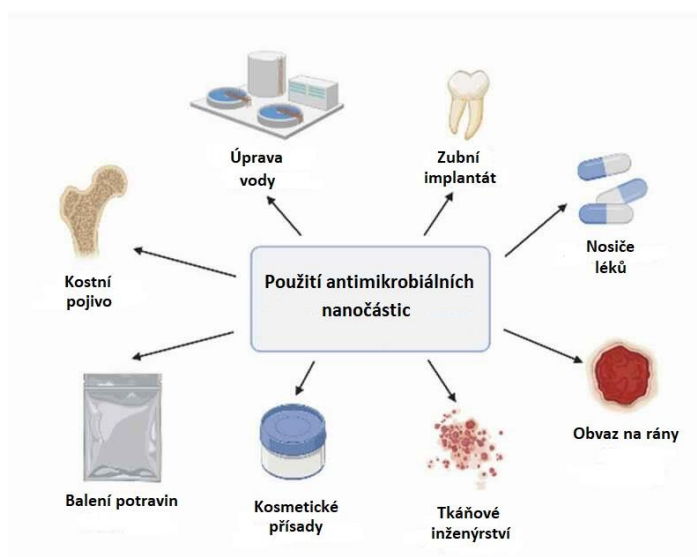
(převzato a upraveno z (Kajin Muradparist 2021))

Mezi výhody latexových filmů připravených ve vodě patří možnost omývání vodou a žádný nebo jen minimální zápach. Ve srovnání s nátěry na bázi oleje mají tyto nátěry větší prodyšnost. Díky tomu nevznikají pod nátěrem žádné bubliny, neboť může vlhkost z materiálu

pronikat skrz nátěr ven. Nevýhodou oproti nátěrům na bázi oleje je to, že nedokážou proniknout až do pórů materiálu, čímž se snižuje jejich přilnavost (Weldon 2009).

#### 1.5.1.4. Nanočástice

Nanočástice mohou zaujímat různé podoby jako je koule, destička, ve tvaru písmene P a U, nanokvět, nanobar či nanotyčinka. Jsou používány ve zdravotnictví, biologii, potravinářství, kosmetice a v dalších aplikacích znázorněných na obrázku 16. Rozšířené použití nanočástic je dáno především jejich vynikajícím antimikrobiálním účinkem zejména proti grampozitivním a gramnegativním bakteriím, ale účinkují i proti patogenním houbám (Moritz a Geszke-Moritz 2013).



Obrázek 16: Použití antimikrobiálních nanočástic

(převzato a upraveno z (Rosli et al. 2021))

Mechanismem účinku je přímý kontakt se stěnou patogenů. Nemusí ani pronikat dovnitř buněk oproti antimikrobiálním látkám. Proto se předpokládá, že si patogenní organismy nebudou moci vytvořit resistenci tak, jako si ji vytvářejí k doposud používaným antimikrobiálním látkám. Nanočástice bojují s patogenem samy nebo slouží jako donor antimikrobiálních látek. Díky tomu že se tyto látky navážou na nanočástice, jsou chráněny před škodlivými vlivy, které by mohly jejich účinek inhibovat předtím, než budou v místě, kde působit mají (Wang et al. 2017).

Antibakteriální mechanismus nanočástic má 4 kroky. Nejprve musí dojít k adsorpci bakterie či jiného patogenu na povrch polymeru díky interakci nábojů. Ve druhém kroku dochází k difuzi bakterií s kyslíkem na povrchu nanočástic. Třetím krokem je uvolňování kokových iontů obsažených uvnitř nanočástic v důsledku jejich rozpuštění nebo koroze.

V posledním kroku dochází k poškození bakteriální membrány pomocí uvolněných kovových iontů a tím se vytvoří otvor pro příjem dalších látek do bakterie (třeba antibiotik) (Maruthapandi et al. 2022).

### **Nanočástice ZnO**

Nanočástice oxidu zinečnatého jsou velmi používané, pro své antimikrobiální vlastnosti a rovněž jsou bezpečné. Lze je tedy použít v potravinářství nebo jako léků. Účinky jsou však závislé na složení ZnO nanočástic a na jejich dávce (Mendes et al. 2022)

Ačkoliv nebyl jejich mechanismus antimikrobiálního účinku zcela objasněn, mají vynikající katalytickou aktivitu. Jedním z antimikrobiálních mechanismů je tvorba reaktivních forem kyslíku, neboť mají částice ZnO vysoce oxidační charakter. Dalším možným účinkem je uvolňování zinečnatých iontů.  $Zn^{2+}$  ionty poškozují membrány buněk nebo působí proti některým metabolickým drahám mikroorganismu (Mendes et al. 2022).

### **Nanočástice ZnS**

Nanočástice sulfidu zinečnatého jsou stejně jako ZnO netoxické. Nanočástice oproti normálnímu sulfidu zinečnatému vykazují vyšší absorpci a nižší bod tání. Antimikrobiální účinnost není úplně objasněna, ale je známo, že je závislá na morfologii povrchu, specifické ploše povrchu a velikosti samotných částic (Vijayan et al. 2021).

Pravděpodobným mechanismem účinku je stejně jako u nanočástic ZnO uvolňování kovových iontů. Má se za to, že by uvolněné kationty mohly reagovat s anionty na bakteriální membráně. Touto interakcí by došlo k buněčné nerovnováze, prasknutí buňky a tím i k její smrti (Vijayan et al. 2021; Segura et al. 2023).

### **Nanočástice MoO<sub>3</sub>**

Nanočástice oxidu molybdenového jsou velmi stabilní a mohly by být dobrou volbou pro vývoj nových antimikrobiálních látek. Výhodou je jejich malá velikost a vysoký poměr povrchu k objemu. Díky tomu podléhají více interakcím s mikrobiálním povrchem než větší částice (Dighore et al. 2017).

Uvolněné kladné ionty kovu reagují se záporně nabitými ionty mikrobiální stěny. Při této elektromagnetické interakci dochází k oxidaci stěny a začnou se tvořit otvory. Tím je porušena permeabilita buňky a dochází k její smrti (Dighore et al. 2017).

## **Nanočástice MoS<sub>2</sub>**

Dobrou antimikrobiální roli mají také nanočástice sulfidu molybdeničitého. Mezi jejich výhody patří nízká toxicita, vysoká elektrická vodivost a velký specifický povrch. Mechanismem antimikrobiálního účinku je oxidativní stres, vazba na intracelulární složky nebo také tvorba reaktivních forem kyslíku. Díky tomu dochází k přímému poškození buňky (její stěny nebo membrány) a nastává její smrt (Liao et al. 2023).

## **Nanočástice SeO<sub>2</sub>**

Selen se ukázal jako látka, která dokáže člověka ochránit před vznikem nádorů. Rovněž se jevil jako zajímavý v oblasti antimikrobiálních látek, a proto je využíván k výrobě nanočástic oxidu seleničitého. Tyto nanočástice vykazují dobré antibakteriální, antimykotické i antivirové aktivity. Byla prokázána inhibice jak grampozitivních, tak gramnegativních bakterií, ale větší účinek byl zjištěn u bakterií grampozitivních. Byla také zkoumána antibiofilmová aktivita, ale ta byla dosud potvrzena pouze jednou (Khiralla a El-Deeb 2015; Muthu et al. 2019).

## **Nanočástice ZnSe**

Nanočástice selenidu zinečnatého jsou také jedny z častějších využívaných díky své antimikrobiální aktivitě. Mechanismem působení je uvolnění iontů selenu, které reagují s anionty buněčných stěn. Ve stěnách se začnou tvořit otvory a těmi ionty selenu vstupují do buňky. Dalším mechanismem je uvolňování reaktivních forem kyslíku a superoxidů, které mají za následek poškození DNA buňky a její následné zničení (Gupta et al. 2023).

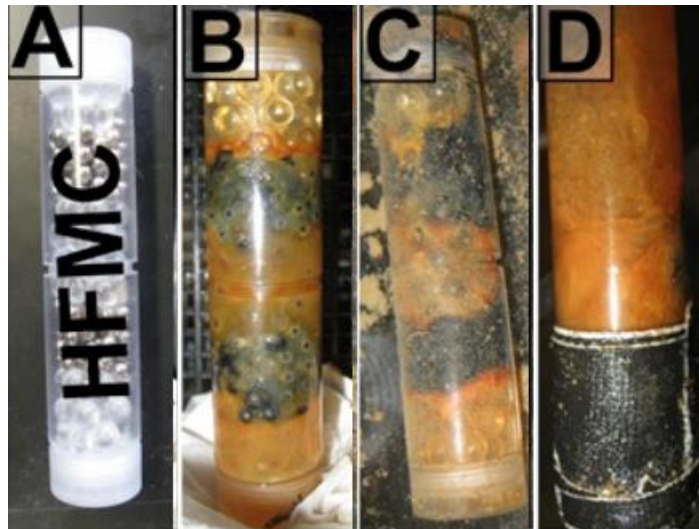
### *1.5.2. Kontaminace nátěrových hmot*

Polymerní nátěry jsou ve většinou odolné proti působení mikroorganismů, ale jsou i případy, kdy dochází k narušení nátěru. Jednou z možností je kontaminace polymerů přírodního původu nebo přísad obsažených v běžných polymerech. Jedním z běžně známých případů mikrobiální kontaminace je biologická koroze (Běhálek 2014).

Ke kontaminaci dochází velmi snadno, protože mikroorganismy se dokáží přichytit na jakýkoliv materiál. Jedinou věcí, kterou k životu potřebují je dostatek živin (nějaký zdroj potravy) a za těchto příznivých podmínek se dokáží množit. Každý nátěr obsahuje různou koncentraci uhlíku, který využívají všechny mikroorganismy, a tím je právě omezena přilnavost materiálu a tím se zkracuje i doba jeho účinnosti (Adetunji 2023).

## Znehodnocení kovů

U kovů dochází k jejich znehodnocení vznikem koroze. Tu mohou způsobovat různé mikroorganismy (viz obrázek 17), jako například skupina sulfát redukujících bakterií (SRB). Pokud se SRB nachází v prostředí s nízkou nebo nulovou koncentrací kyslíku, začnou přeměňovat síranové ionty na sulfidy. Tím následně dochází ke spoustě oxidačních či redukčních reakcí, které způsobují korozi kovu (Tran et al. 2021).



Obrázek 17: Koroze způsobená mikroorganismy: a) začátek experimentu, b) 3 týdny inkubace, c) 6 týdnů inkubace, d) 8 týdnů inkubace

(převzato a upraveno z (Ramírez et al. 2016))

## Stavební průmysl

Mezi stavební materiály, které jsou často kontaminovány patří dřevo, kovy, kámen, plasty, barvy, beton a malta. Ke kontaminaci může dojít různými mikroorganismy jako jsou bakterie, houby, řasy a sinice. Tyto mikroorganismy narušují povrchy stavebních materiálů produkovanými metabolity nebo tak, že využívají materiál jako výživu (Gaylarde et al. 2003).

Kolonizace takových povrchů a následný růst mikroorganismů závisí na povrchových vlastnostech. Ovlivňujícími faktory jsou například složení materiálu, jeho propustnost, povrchová struktura atd. Dalším důležitým faktorem je také prostředí, ve kterém se nachází (Gaylarde et al. 2003).

Může také docházet ke změně struktury a vlhkosti povrchu během jeho kolonizace. Při změně struktury dochází hlavně ke změně v drsnosti, a to by mohlo vést k jednoduššímu osídlování bakterií a tvorbě biofilmu (Gaylarde et al. 2003).

## Potravinářský průmysl

V potravinářském průmyslu jsou nátěry poškozeny většinou plísněmi. Takto narušený nátěr má změněn odstín, ztrácí lesk nebo je viditelně porušen. Mezi nejvíce ohrožené nátěry patří nátěry z přírodních olejů, u kterých postupem času dochází k vysychání. Důvodem je, že nátěry z přírodních olejů obsahují organické pojivo, které je skvělou živinou pro plísně. Bohužel plísně dokážou růst i povrchu anorganických nátěrů. U těchto nátěrů je problém hromadění nečistot na jejich povrchu, které mohou být živinami pro plísně (Kalendová 2001).

Pokud je plísněmi kontaminován čerstvý nátěr, nedochází u nich k okamžitému množení a růstu. Při zasychání nátěrů jsou uvolňovány produkty, které brání růstu plísní. Stejně jako na anorganickém, tak i na jakémkoliv čerstvém nátěru, může dojít k ulpění nečistot. Plísně tyto nečistoty opět využívají jako živiny a díky tomu nedochází k jejich vymření při vysoušení nátěru, a následně může dojít k jejich růstu (Kalendová 2001).

Stejně jako plísně mohou potravinovou kontaminaci způsobit i bakterie. Bakteriální kontaminaci můžeme spatřit okem, a to v podobě slizovitého povrchu. Sliz vzniká v důsledku degradace proteinů, sacharidů a lipidů. Potraviny kontaminované bakteriemi mohou vykazovat i určitý zápach (Lorenzo et al. 2018).

Bakteriální kontaminace může být pro člověka nebezpečná, neboť některé bakteriální druhy mohou produkovat toxiny. Po požití takové potraviny se u lidí mohou vyskytnout zdravotní problémy, jako jsou střevní potíže, křeče, průjem, zvracení, nevolnost a další (Lorenzo et al. 2018).

Pečivo je ve většině případů kontaminováno rodem *Bacillus* a třeba kontaminaci masa způsobuje především rod *Clostridium* (Lorenzo et al. 2018).

*Bacillus cereus* způsobuje 2 typy onemocnění. Prvním typem je průjmové onemocnění, které je spojeno především s potravinami bohatými na bílkoviny jako jsou mléčné výrobky, zelenina a maso. V takových výrobcích se nachází enterotoxiny, díky nimž se u lidí projeví průjem (Lorenzo et al. 2018).

Druhým typem je emetický typ, který se nachází v potravinách s vysokým obsahem škrobu. Mezi tyto potraviny patří například těstoviny nebo rýže. *Bacillus cereus* produkuje emetický toxin cereulid, který po požití u lidí vyvolává zvracení (Lorenzo et al. 2018).

*Clostridium botulinum* je bakterie produkující botulotoxin, což je jeden z nejnebezpečnějších toxinů. Botulotoxin způsobuje ochabnutí důležitých svalů, což může vést

až k zástavě srdce. Malá dávka botulotoxinu by dokázala vyhladit celé lidstvo (Lorenzo et al. 2018).

## Zdravotnictví

V nemocničním prostředí dochází ke značnému množství nálezů spojených právě s nemocniční péčí, které jsou způsobené kontaminací nemocničních pláštěů, různých chirurgických nástrojů (katétry, kloubní náhrady, manžety na krevní tlak atd.) nebo různých zdravotnických ploch jako jsou keramické obklady, umývadla, rentgenová zařízení či ventilátory (Russotto et al. 2015).

Nejčastější takové kontaminace jsou způsobené bakteriemi *Staphylococcus aureus*, *Acinetobacter baumannii* nebo *P. aeruginosa* (Russotto et al. 2015).

*P. aeruginosa* není běžnou součástí mikroflóry, a tudíž se téměř nevyskytuje na zdravých jedincích. Ovšem v nemocničních prostředích se vyskytuje velmi často, protože je rezistentní ke spoustě druhům ATB (Fazeli et al. 2012).

*A. baumannii* má jednu z nejvyšších odolností vůči ATB a je skvělým kolonizátorem různých povrchů. Dalším faktorem virulence je tvorba biofilmu, což mu také pomáhá přežít v nepříznivých podmínkách nemocničního prostředí (Fahy et al. 2023).

*S. aureus* se v nemocničním prostředí vyskytuje hlavně jako methicilin-resistentní (MRSA). Přenáší se především rukama, a to zejména z personálu na pacienty. Právě tento přenos je jeden z nejběžnějších a všichni se mu snaží předcházet správným mytím rukou a používáním desinfekčních prostředků. Rovněž bylo zjištěno, že i při použití gumových rukavic se snižuje pravděpodobnost přenosu bakterií (Pittet et al. 1999; French et al. 2004).

MRSA kontaminují všechny možné povrchy – nábytek, lékařské nástroje a vybavení i postele pacientů, které nelze tak snadno desinfikovat. Možnou metodou, jak zlikvidovat MRSA v místnosti je plynová dekontaminace. K tomu se využívají páry peroxidu, které se rozkládají na kyslík a vodu, a tudíž nejsou tak toxické jako třeba formaldehyd. Plynová dekontaminace je proces, který trvá v jedné místnosti okolo 5–ti hodin. Je to časově náročná metoda, a proto se moc často nevyužívá. Ovšem s různými vědeckými pokroky, lze předpokládat, že se v budoucnu povede tuto metodu optimalizovat tak, aby byla rychlejší (French et al. 2004).

Nejenom bakterie jsou nebezpečím pro pacienty a personál v nemocničních zařízeních, ale velkou roli mohou hrát i houby, jejichž spory se pohybují ve vzduchu. Nejčastějšími

houbami v nemocničních prostředích jsou rody *Penicillium*, *Aspergillus* a *Cryptococcus*. K šíření spor vzduchem přispívá také klimatizace a ventilace. Vznik plísní v budovách je ovlivněn stářím budovy, teplotou a vlhkostí vzduchu (Sham et al. 2021).

## 2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 2.1. Cíl práce

Mikroorganismy jsou přítomny všude kolem nás a mohou být příčinou řady infekčních onemocnění. Kromě infekčních onemocnění mohou mikroorganismy znehodnocovat povrchy, na kterých rostou, a tvořit na nich biofilmy. Mezi nejvýznamnější mikroorganismy kolonizující povrchy patří zejména plísně a bakterie, které dokáží růst na široké škále materiálů, jak ve vnitřních, tak i vnějších prostorech. Z toho důvodu existuje velká poptávka po antimikrobiálních nátěrech, které by dokázaly omezit kolonizaci nejrůznějších průmyslových produktů a snižovat rizika, která mikroorganismy způsobují. Existuje velké množství typů antimikrobiálních látek používaných v antimikrobiálních nátěrech. Mezi takové látky řadíme i nanočástice, které mají potenciál snižovat mikrobiální kolonizaci a zároveň mohou mít příznivý vliv na strukturální vlastnosti nátěrového filmu. Mezi často používané nanočástice patří zejména nanočástice na bázi stříbra, mědi zinku či selenu, které mají baktericidní funkci a dokáží poškodit buněčnou stěnu bakterií (Bakke et al. 2001; Tiwari a Chaturvedi 2018; Birkett et al. 2022).

Předmětem této diplomové práce byla příprava a studium polyakrylátového latexu na bázi kyseliny methakrylové, butylakrylátu a methylmethakrylátu a následná formulace modelových nátěrových hmot s obsahem 0,5; 1; 2 a 3 hm. % vybraných pigmentů (ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe) a daného latexového pojiva. Syntéza latexového pojiva byla provedena metodou emulzní radikálové polymerace, která je nejen šetrná k životnímu prostředí, ale také časově a energeticky nenáročná. Jako iniciátor emulzní radikálové polymerace byl použit peroxidisíran amonný. Byla provedena základní charakterizace připraveného polyakrylátového latexu (bylo stanoveno pH, MFFT, zdánlivá viskozita, sušina a obsah koagulátu). Následně byly ze syntetizovaného latexového pojiva připraveny dispergací nátěrové hmoty s obsahem 0,5; 1; 2 a 3 hm. % vybraných pigmentů. Struktura a tvar vybraných pigmentů byly studovány pomocí SEM elektronové mikroskopie. Nátěrové hmoty byly následně aplikovány pomocí krabicového nanášecího pravítka na skleněné a ocelové panely a byly hodnoceny jejich fyzikálně – mechanické vlastnosti, mechanická a chemická odolnost s cílem zjistit chování nasyntetizovaných vodou ředitelných latexových pojiv v kombinaci s vybranými pigmenty pomocí různých normovaných zkoušek. A v neposlední řadě byl studován vliv pigmentace a hodnoty OKP na antimikrobiální účinnost. Antimikrobiální účinnost byla testována na bakteriálních kmenech *Enterococcus faecalis* a *Pseudomonas*

*aeruginosa* a na plísňích *Aspergillus brasiliensis* a *Penicillium chrysogenum* pomocí normované zálivové a obtiskové metody.

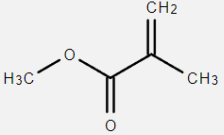
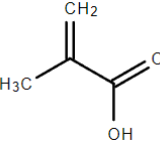
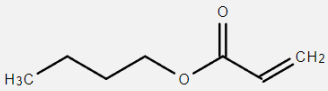
Tato diplomová práce navazuje na práci Kateřiny Steidlové (2023), která zkoumala antimikrobiální účinnost nátěrových filmů vůči *S. aureus* a *Escherichia coli*, proto v této práci bylo rozšířeno spektrum testovaných mikroorganismů o grampozitivní a gramnegativní bakterie. Práce rovněž navazuje na disertační práci Denisy Steinerové, která sledovala antifungální účinnost nátěrových filmů vůči mikroskopickým vláknitým houbám *Aspergillus brasiliensis* a *Penicillium chrysogenum*.

## 2.2. Použité chemikálie a látky

### 2.2.1. *Seznam použitých monomerních látek při syntéze a jejich vlastnosti*

V tabulce číslo 1 jsou vypsány monomerní látky, použité při syntéze akrylátových latexů. Vlastnosti těchto látek (hustota, molekulová hmotnost, bod varu a bod tání) jsou uvedeny v tabulce číslo 2.

Tabulka 1: Použité monomerní látky

Monomerní látka	Zkratka	Vzorec	Výrobce
Methyl-methakrylát	MMA		Sigma-Aldrich s.r.o.
Methakrylová kyselina	KMA		Sigma-Aldrich s.r.o.
N-butyl-akrylát	BA		Sigma-Aldrich s.r.o.

Tabulka 2: Vlastnosti použitých monomerních látek

Monomerní látka	Hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	Molární hmotnost [g·mol <sup>-1</sup> ]	Bod varu [°C]	Bod tání [°C]
Methyl-methakrylát	0,94	100,12	100	-48
Methakrylátová kyselina	1,02	86,06	160	15
N-butyl-akrylát	0,88	128,17	147	-64

V následující kapitole jsou uvedeny veškeré výchozí suroviny a chemikálie použité při syntéze a následném testování polyakrylátových latexů a pigmentů použitých pro přípravu a následné testování modelových nátěrových hmot.

### 2.2.2. Další chemikálie používané při syntéze polyakrylátového latexu

V tabulkách číslo 3 a 4 jsou uvedeny chemikálie, které byly použity při syntéze polyakrylátových latexů.

Tabulka 3: Disponil FES 993 IS (emulgátor) – základní informace

Disponil FES 993 IS	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	1,1
<b>Funkce</b>	Emulgátor
<b>Výrobce</b>	BASF Inc.

Tabulka 4: Peroxodisíran amonný (iniciátor emulzní radikálové polymerace) – základní informace

Peroxodisíran amonný	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	1,98
<b>Funkce</b>	Iniciátor
<b>Mr [g·mol<sup>-1</sup>]</b>	228,2
<b>Vzorec</b>	(NH <sub>4</sub> )S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
<b>Výrobce</b>	Sigma-Aldrich s.r.o.

### 2.2.1. Pigmentové částice

Tabulka číslo 5 obsahuje seznam použitých nanočástic a jejich vlastnosti.

Tabulka 5: Používané pigmentové částice

Vzorec	Název	Velikost	Výrobce
<b>ZnO</b>	Oxid zinečnatý	40–100 nm	Alfa Aesar
<b>ZnS</b>	Sulfid zinečnatý	10 μm	Sigma-Aldrich s.r.o.
<b>MoO<sub>3</sub></b>	Oxid molybdenový	<100 nm	Sigma-Aldrich s.r.o.
<b>MoS<sub>2</sub></b>	Sulfid molybdeničitý	6 μm	Sigma-Aldrich s.r.o.
<b>SeO<sub>2</sub></b>	Oxid seleničitý	<100 nm	Sigma-Aldrich s.r.o.
<b>ZnSe</b>	Selenid zinečnatý	<100 nm	Sigma-Aldrich s.r.o.

### 2.2.2. Další chemikálie pro přípravu a testování nátěrových hmot

V tabulkách 6 až 16 jsou uvedeny informace o dalších chemikáliích, které byly použity při přípravě polyakrylátových latexů a jejich následném testování.

Tabulka 6: Dehydran® 1239 – základní informace

<b>Dehydran® 1239</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	0,89–0,93
<b>Viskozita [mPa·s]</b>	5–15
<b>Výrobce</b>	Henkel KGaA, Německo

Tabulka 7: Nalzin® FA 179

<b>Nalzin® FA 179</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	1,08
<b>Viskozita [mPa·s]</b>	250
<b>Výrobce</b>	Elementis, Velká Británie

Tabulka 8: Mořící roztok – základní informace

<b>Mořící roztok</b>	
<b>Složení</b>	1000 ml 20% HCl + 5 g urotropinu

Tabulka 9: Kyselina octová – základní informace

<b>Kyselina octová 99% p.a.</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	1,05
<b>Mr [g·mol<sup>-1</sup>]</b>	60,05
<b>Vzorec</b>	CH <sub>3</sub> COOH
<b>Výrobce</b>	Penta s.r.o., Česká republika

Tabulka 10: Kyselina trihydrogen boritá – základní informace

<b>Kyselina trihydrogen boritá</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	1,51
<b>Mr [g·mol<sup>-1</sup>]</b>	61,83
<b>Vzorec</b>	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
<b>Výrobce</b>	Lach-Ner s.r.o., Česká republika

Tabulka 11: Hydroxid sodný – základní informace

<b>Hydroxid sodný 98%</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	2,13
<b>Mr [g·mol<sup>-1</sup>]</b>	40,0
<b>Vzorec</b>	NaOH
<b>Výrobce</b>	Lach-Ner s.r.o., Česká republika

Tabulka 12: Kyselina fosforečná – základní informace

<b>Kyselina fosforečná 85%</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	1,70
<b>Mr [g·mol<sup>-1</sup>]</b>	98,0
<b>Vzorec</b>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
<b>Výrobce</b>	Penta s.r.o., Česká republika

Tabulka 13: Vodný roztok amoniaku – základní informace

<b>Vodný roztok amoniaku 10%</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	0,73
<b>Mr [g·mol<sup>-1</sup>]</b>	17,03
<b>Vzorec</b>	NH <sub>3</sub>
<b>Výrobce</b>	Penta s.r.o., Česká republika

Tabulka 14: Chloroform – základní informace

<b>Chloroform</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	1,48
<b>Mr [g·mol<sup>-1</sup>]</b>	119,38
<b>Vzorec</b>	CHCl <sub>3</sub>
<b>Výrobce</b>	Penta s.r.o., Česká republika

Tabulka 15: Methylethylketon – základní informace

<b>Methylethylketon</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	0,81
<b>Mr [g·mol<sup>-1</sup>]</b>	72,11
<b>Vzorec</b>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O
<b>Výrobce</b>	Penta s.r.o., Česká republika

Tabulka 16: Aceton – základní informace

<b>Aceton</b>	
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	0,78
<b>Mr [g·mol<sup>-1</sup>]</b>	58,08
<b>Vzorec</b>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
<b>Výrobce</b>	Penta s.r.o., Česká republika

### 2.3. Používané přístroje a vybavení

V této kapitole jsou vypsány přístroje a další vybavení, které byly použity při syntéze akrylátových latexů a následně při testování jejich charakterizací.

#### 2.3.1. Přístroje používané při syntéze akrylátových latexů

Polymerační aparatura pro přípravu vodné disperze a laboratorní váhy (Kern & Sohn GmbH, Německo).

#### 2.3.2. Přístroje používané při charakterizaci vlastností polyakrylátových pojiv

Viskozimetr (Brookfield LVDV-E Viscometer, Brookfield Engineering Laboratories, Kanada), pH metr (Toledo Five Easy FE20, Německo), dissolver DISPERMAT D-51580 (VMA – Getzmann GmbH, Německo), MFFT-60 (Rhopoint Instrument, Velká Británie), míchadlo Heidolph RK3 a laboratorní sušárna (Memmert).

#### 2.3.3. Přístroje a vybavení používané pro charakterizaci pigmentů

Byreta a miska s tloučkem ke stanovení olejového čísla, laboratorní sušárna (Memmert, Německo), laboratorní váhy (Kern & Sohn GmbH, Německo), analytické váhy (OHAUS, Švýcarsko), heliový pyknometr (Micrometrics AccuPyc II 1340. USA), konduktometr (Handylab LF1, Schott, Německo), pH metr (WTW 320, Německo), nanášecí pravítko se štěrbinou 100–250  $\mu\text{m}$  (Česká republika) a polyamidová tkanina Nhelon 45S, velikost oka 162  $\mu\text{m}$  (Česká republika)

#### 2.3.4. Přístroje používané při stanovení fyzikálně–mechanických testů odolnosti

Erichsonův hloubicí přístroj, přístroj pro stanovení odolnosti úderem (Elcometer 1615 Velká Británie), přístroj ke stanovení ohybem (Elcometer 1506, Velká Británie), tloušťkoměr (MINITEST 1100, ElektroPhysic, Německo), silikonové formy pro přípravu volných filmů, leskoměr Micro-TRY-Gloss (BYK GARDNES, Německo), řezací nůž ke stanovení přilnavosti (SPRL, Cross cut. Elcometer), magnetický tloušťkoměr (BYK Gardner, GmbH, Německo), kyvadlový přístroj typu Persoz (automatic 500, Belgie), spektrometr UltraScan PRO (HunterLab USA) a mobilní analyzátor smáčivosti (MSA One-Click SFE, Krüss, Německo).

#### 2.3.5. Přístroje používané při stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových filmů

Termostat (POL–EKO–APARATURA, Polsko), UV lampa (Biosan, Litva), autokláv STERILAB (BMT. Česká republika), optický mikroskop Eclipse E200 (Nicon, Japonsko), sterilizátor STERIMAT 5104.2 (BMT, Česká republika), vortex (BioTech, Česká republika) denzitometr (BioScan, Česká republika) a počítačka kolonií LBK 2002 (eCount, USA).

## 2.4. Příprava (syntéza) akrylátových latexů

Latex bez obsahu nanočástic byl připraven pomocí emulzní radikálové polymerace. Celkem bylo připraveno 6 litrů latexu pomocí aparatury zobrazené na obrázku číslo 18. V tabulkách 17–18 je sepsáno složení polymeračního systému.



Obrázek 18: Aparatura k syntéze latexu

Na laboratorních vahách bylo do skleněné reakční nádoby naváženo přesné množství destilované vody (110 g) a emulgátoru (Disponil FES 993 IS) (1 g). Reakční nádoba s danou směsí byla vložena do vodní lázně termostatu, vyhřívané na teplotu 85 °C. Do reakční nádoby bylo umístěno míchadlo a připevněn přívod inertního plynu ( $N_2$ ) a chladič.

Pro 1. fázi byla do emulgační nádoby připravena emulze monomerů, tvořená destilovanou vodou, emulgátorem Disponil FES 993 IS, monomerními látkami (BA, MMA a KMA) a iniciátorem  $(NH_4)_2S_2O_8$ . Emulze monomerů byla poté přelita do baňky s regulovaným výtokem a musela být míchána míchadlem tak, aby se vytvořila homogenní směs. Následně byl do skleněné reakční nádoby přidán iniciátor a emulze monomerů byla poté po kapkách přidávána do míchaného reaktoru ve 2 stupních s 15 min pauzou (přibližně

2 ml/min). Přikapávání bylo regulováno tak, aby byla reakční směs dokapána za 60 minut. Po ukončení 1. fáze byla reakční nádoba za stálého míchání udržována 15 minut při polymerační teplotě 85 °C.

Během 1. fáze byla do Erlenmayerovy baňky připravena emulze monomerů pro 2. fázi, obsahující destilovanou vodu, emulgátor Disponil FES 993 IS, monomerní látky (BA, MMA a KMA) a iniciátor  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  o složení uvedeném v tabulce 4. Po převedení této směsi do baňky s regulovaným výtokem opatřené míchadlem bylo opět zahájeno regulované přikapávání monomerů po dobu dalších 60 minut.

Jakmile byla ukončena 2. fáze, byla směs za stálého míchání udržována 120 minut při polymerační teplotě 85 °C. Poté byl latex v reakční nádobě za stálého míchání ochlazen na laboratorní teplotu (25 °C). Takto ochlazený latex byl poté přefiltrován přes polyamidovou tkaninu do PE lahví a následně zalkalizován na pH 9 pomocí 10% vodného roztoku amoniaku.

Tabulka 17: Složení polymeračního systému

<b>Násada do reaktoru</b>	<b>navážka (g)</b>
Destilovaná voda	110
Disponil FES 993 IS	1
Roztok poroxisíranu amonného (0,8 g $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ + 30 ml $\text{H}_2\text{O}$ )	30,8
<b>Emulze monomerů 1</b>	<b>navážka (g)</b>
Destilovaná voda	120
Disponil FES 993 IS	14,8
Roztok poroxisíranu amonného (0,8 g $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ + 30 ml $\text{H}_2\text{O}$ )	30,8
Monomery (MMA, BA, KMA)	200
<b>Emulze monomerů 2</b>	<b>navážka (g)</b>
Destilovaná voda	220
Disponil FES 993 IS	14,8
Roztok poroxisíranu amonného (0,8 g $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ + 30 ml $\text{H}_2\text{O}$ )	30,8
Monomery (MMA, BA, KMA)	200

Tabulka 18: Složení monomerů u  $L_0$

<b>Obsah monomerů v 1. a 2. fázi polymerace</b>				
<b>Monomer</b>	<b>1. fáze</b> <b>[%]</b>	<b>1. fáze</b> <b>[g]</b>	<b>2. fáze</b> <b>[%]</b>	<b>2. fáze</b> <b>[g]</b>
<b>BA</b>	53	106	53	106
<b>MMA</b>	43	86	43	86
<b>KMA</b>	4	8	4	8

## 2.5. Metody hodnocení vlastností polyakrylátových latexů v kapalném stavu

### 2.5.1. Stanovení obsahu sušiny (ČSN EN ISO 3251)

Obsah sušiny udává hmotnostní podíl netěkavých složek ve vodné disperzi připraveného latexu. Na předem zvážená kovová víčka obalená alobalem byly naaplikovány polyakrylátové latexy. Víčka s kapalným latexem byla poté opět zvážena na analytických vahách s přesností na 4 desetinná místa a poté umístěna do sušárny vyhřáté na teplotu 105 °C do doby dosažení konstantní hmotnosti. Poté byla víčka s nátěry umístěna do exikátoru a následně opět zvážena. Obsah sušiny byl poté spočítán dle rovnice 1.

$$S = \frac{c - a}{b - a} \cdot 100$$

Rovnice 1: Výpočet obsahu sušiny

Kde:  $S$  – sušina [%];  $a$  – prázdné víčko [g];  $b$  – víčko se vzorkem před vysušením [g];  $c$  – víčko se vzorkem po vysušení [g]

### 2.5.2. Stanovení obsahu koagulátu (ČSN 649008)

V průběhu polymerace dochází ke srážení disperze. Pro zjištění množství sražené disperze se stanovuje obsah koagulátu. Po skončení polymerace byla disperze přefiltrována přes polyamidovou tkaninu, aby byly odděleny zkoagulované částice ze směsi. Stejně tak byl koagulát seškrábán i z míchadla. Koagulát byl zvážen, vysušen v sušárně při 105 °C a znovu zvážen. Ze zjištěných hmotností byl stanoven procentuální obsah koagulátu (viz rovnice 2).

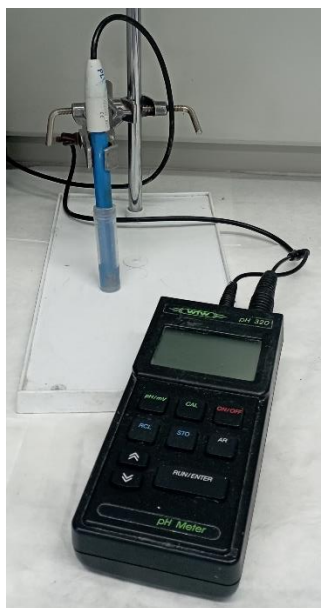
$$\text{obsah koagulátu [hm. \%]} = \frac{m_{\text{koagulát}}}{\frac{S}{100} \cdot m_{\text{emulze}} + m_{\text{koagulát}}} \cdot 100$$

Rovnice 2: Výpočet obsahu koagulátu

Kde:  $S$  – sušina [%];  $m_{\text{emulze}}$  – hmotnost připravené emulze [g];  $m_{\text{koagulát}}$  – hmotnost koagulátu po vysušení [g]

### 2.5.3. Stanovení pH (ČSN EN ISO 787-9)

Pomocí pH metru se skleněnou elektrodou (viz obrázek 19) bylo změřeno pH připraveného latexu. Použitý pH metr musí být před každým měřením kalibrován pomocí pufrů o známé hodnotě pH. Poté byla elektroda omyta destilovanou vodou a vysušena filtračním papírem. Takto připravená elektroda byla ponořena do kádinky se vzorkem latexu, a po ustálení potenciálu byla odečtena hodnota z displeje přístroje. Toto měření bylo u jednoho vzorku provedeno třikrát a byl vypočítán aritmetický průměr pH.



Obrázek 19: pH metr se skleněnou elektrodou

#### 2.5.4. Stanovení minimální filmotvorné teploty (ISO 2115:1996)

Nejnižší teplota, při které ještě vzniká souvislý film se nazývá minimální filmotvorná teplota (MFFT). U vodných nátěrových hmot bez obsahu pigmentů se hodnota MFFT nachází v blízkosti teploty skelného přechodu.

Na měděnou desku byl pomocí krabicového pravítka se štěrbinou 100  $\mu\text{m}$  nanesen nátěr. Po ukončení měření byla stanovena hodnota MFFT v místě, kde čirý film přecházel v popraskaný. Každý vzorek byl změřen třikrát a z těchto výsledků byl vypočítán aritmetický průměr MFFT.

#### 2.5.5. Stanovení zdánlivé viskozity dle Brookfielda (ČSN EN ISO 2555)

Stanovení zdánlivé viskozity metodou dle Brookfielda se využívá pro kapaliny, u kterých rychlost deformace není přímo úměrná napětí, neplatí pro ně tedy Newtonův zákon viskozity (jsou to tzv. neneutonské kapaliny). Pro měření zdánlivé viskozity se používají čtyři výměnná vřetena a souosý stacionární válec rotačního viskozimetru Brookfield LVDV-E. Podle hodnoty kroutícího momentu byla zvolena vyhovující velikost ze čtyř vřeten (velikost se musí pohybovat v rozmezí 10–100 %).

Do nádoby byl aplikován vzorek latexu a do něj bylo ponořeno vřeteno. Mezi rotující vřeteno (rychlost rotace 100 otáček/min) a válec byla umístěna kapalina. Z displeje viskozimetru byla odečtena hodnota zdánlivé viskozity. Měření bylo opakováno třikrát a z naměřených hodnot byl vypočítán aritmetický průměr.

## 2.6. Metody pro hodnocení vlastností pigmentů

### 2.6.1. Stanovení hustoty pigmentů (ČSN EN ISO 787-10)

Stanovení hustoty pigmentů je důležité pro stanovení použitelnosti pigmentů v daném pojivu, ale též i pro určení čistoty daného pigmentu. Hustota byla stanovena pomocí plynového pyknometru (Micrometrics AccuPycII 1340, USA). Před měřením byl daný přístroj kalibrován pomocí kalibračních kuliček o známém objemu. Poté byl daný pigment zvážen na analytických vahách a byla změřena jeho hmotnost s přesností na 4 desetinná místa a poté byl vzorek umístěn do pyknometru a následně byla změřena hustota jednotlivých pigmentů. Při měření dochází k vytěsnění objemu plynu helia pomocí testovaného pigmentu.

### 2.6.2. Stanovení olejového čísla (ČSN EN 12878)

Stanovení olejového čísla je důležitým parametrem k vyčíslení kritické objemové koncentrace pigmentu (KOKP), která je nezbytná pro formulaci modelových nátěrových hmot. Stanovení bylo provedeno metodou miska tlouček. Na analytických vahách byl navážen pigment a kvantitativně převeden do třecí misky. Pomocí byrety (aparatura viz obrázek 20) byl po 1 kapce přikapáván lněný olej. Po přidání kapky byla směs jemně míchána tloučkem. Po ulpění veškerého pigmentu na tloučku bylo měření ukončeno. U každého pigmentu bylo toto měření prováděno třikrát. Po ukončení měření byla odečtena spotřeba lněného oleje. Ze tří měření se vypočítala průměrná spotřeba a dosazena do rovnice číslo 3.



Obrázek 20: Aparatura pro stanovení olejového čísla

$$\text{olejové číslo (OČ)} = \frac{100 \cdot V_{L_0} \cdot \rho_{L_0}}{m_{PIG}}$$

Rovnice 3: Výpočet olejového čísla

Kde: OČ – olejové číslo [g/100 g<sub>PIG</sub>]; V<sub>L<sub>0</sub></sub> – spotřeba lněného oleje [ml]; ρ<sub>L<sub>0</sub></sub> – hustota lněného oleje (0,92 g·cm<sup>-3</sup>); m<sub>PIG</sub> – hmotnost pigmentu [g]

### 2.6.3. Stanovení kritické objemové koncentrace pigmentu (ČSN EN ISO 787-5)

Kritická objemová koncentrace pigmentu je hodnota objemové koncentrace pigmentu, při které je prostor mezi dotýkajícími částicemi pigmentu právě zaplněn pojivem a nad kterou, překročíme-li jí, se výrazně mění vlastnosti nátěrového filmu, jako je např. lesk, tvrdost, odolnost proti působení vodní páry. Hodnota KOKP se vypočítává z rovnice číslo 4, pomocí stanovené hustoty pigmentu a jeho olejového čísla.

$$KOKP = \frac{\frac{10\,000}{\rho_{PIG}}}{\frac{100}{\rho_{PIG}} + \frac{OČ}{\rho_{LO}}}$$

Rovnice 4: Výpočet KOKP – kritické objemové koncentrace pigmentu

Kde: KOKP – kritická objemová koncentrace pigmentu; ρ<sub>PIG</sub> – hustota pigmentu [g·cm<sup>-3</sup>]; OČ – olejové číslo [g/100 g<sub>PIG</sub>]; ρ<sub>LO</sub> – hustota lněného oleje [g·cm<sup>-3</sup>]

### 2.6.4. Stanovení měrné elektrické vodivosti výluhů pigmentů (ČSN EN ISO 787-14)

Dalším parametrem stanoveným u pigmentů bylo stanovení měrné elektrické vodivosti dle normy ČSN EN ISO 787-14. Měrná elektrická vodivost je závislá na chemickém složení pigmentu a na množství rozpustných látek v pigmentu. Čím více se v pigmentu nachází rozpustných látek, tím vyšší je měrná elektrická vodivost. Toto stanovení se provádí pomocí konduktometru (viz obrázek 21). Suspenze z pigmentu byla připravena navážením 5 g pigmentu do 45 ml redestilované vody. Po celou dobu byla suspenze uchována v plastovém uzavřeném kelímku. Měrná elektrická vodivost byla měřena každý 7., 14., 21. a 28. den a to tak, že byla do výluhu ponořena elektroda konduktometru a po ustálení hodnoty na displeji byla tato hodnota zaznamenána.



Obrázek 21: Konduktometr pro měření vodivosti

#### 2.6.5. Stanovení pH výluhů pigmentů (ČSN EN ISO 787-9)

Ve výluhu pigmentů bylo změřeno pH dle normy ČSN EN ISO 787-9. Hodnoty pH u výluhů pigmentů slouží jako kontrola promytí pigmentů. Pokud by byly pigmenty nedostatečně promyty, mohly by ovlivnit kvalitu nátěru. Stejně jako u stanovení měrné elektrické vodivosti byly připraveny suspenze navážením 5 g pigmentu do 45 ml redestilované vody. Poté bylo pH měřeno každý 7., 14., 21. a 28. den pomocí pH metru se skleněnou elektrodou. Tato elektroda musí být před každým měřením kalibrována pomocí pufrů o známém pH.

#### 2.6.6. Stanovení korozních úbytků ve výluzích pigmentů

Stanovení korozních úbytků je prováděno za účelem zjištění rozměrových a hmotnostních změn na ocelových plíškách, s cílem určit rozsah plošné koroze. Pro stanovení byly použity suspenze pigmentů, které byly nejprve zfiltrvány a poté u nich byla změřena měrná elektrická vodivost a pH.

Ocelové plíšky byly přesně změřeny pomocí digitálního posuvného měřítka a následně odmaštěny chloroformem. Poté byly ještě zváženy na analytických vahách s přesností na 4 desetinná místa.

Po 7 dnech byly plíšky vyjmuty z výluhů a na 10 sekund vloženy do mořícího roztoku, aby byly z jejich povrchu odstraněny korozní zplodiny. Následně byly opláchnuty destilovanou vodou, odmaštěny pomocí chloroformu, osušeny a zváženy na analytických vahách. Ze získaných hodnot byl pomocí rovnice číslo 5 vypočítán hmotnostní korozní úbytek.

$$Km = 10^4 \cdot \frac{(m_1 - m_2)}{2 \cdot S}$$

*Rovnice 5: Výpočet hmotnostního korozního úbytku*

*Kde:  $K_m$  – hmotnostní korozní úbytek vztážený na jednotku plochy [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ];  $m_1$  – hmotnost čistého plíšku [g];  $m_2$  – hmotnost plíšku s korozí [g];  $S$  – plocha ocelového plíšku [ $\text{cm}^2$ ]*

## 2.7. Příprava modelových nátěrových hmot

### 2.7.1. *Dispergace modelových nátěrových hmot*

Do dispergační nádoby bylo naváženo přesné množství pojiva (polyakrylátového latexu) dle tabulky 19. Do pojiva bylo přidáno 1 hm% odpěňovače Dehydran a 1 hm% inhibitoru proti bleskové korozi. Tato směs byla následně dispergována v předdispergátoru Dispermat při nízkých otáčkách (viz obrázek 22). Po 2 minutách byly k dané směsi postupně přidávány pigmenty (jednotlivě ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe) v koncentračních řadách 0,5; 1; 2 a 3 hm% a tato disperze byla poté míchána dalších 20 minut při rychlosti 15–20 m·s<sup>-1</sup>. Připravené nátěrové hmoty byla po dispergaci přefiltrovány přes polyamidovou tkaninu a uloženy ve skleněných nádobách.



Obrázek 22: Predispergátor DISPERMAT

### 2.7.2. *Formulace modelových nátěrových hmot*

Podle tabulky číslo 19 byly připraveny modelové nátěrové hmoty v koncentracích 0,5; 1; 2 a 3 hm%.

Tabulka 19: Navážky pro přípravu modelových nátěrových hmot

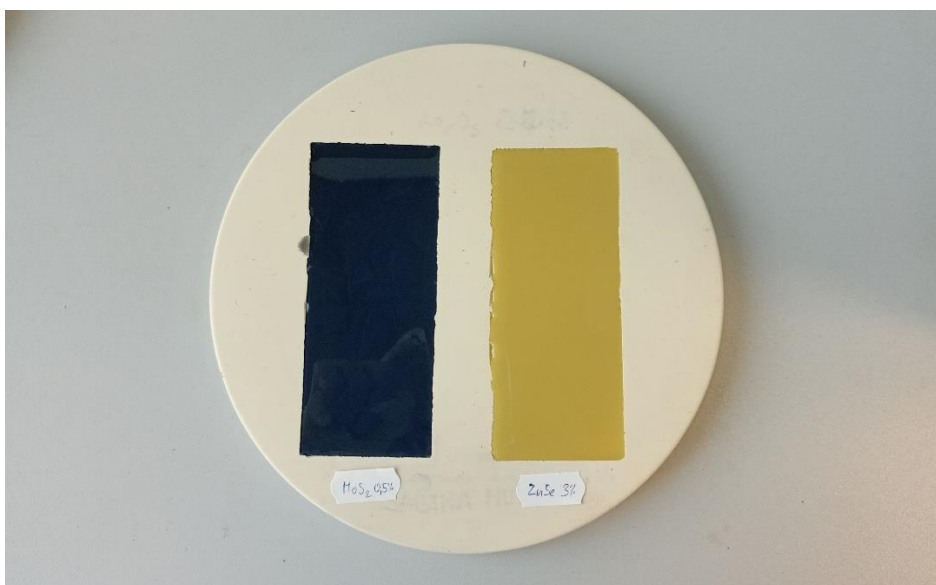
<b>Pigment</b>	<b>Koncentrační řada</b>	<b>Pojivo [g]</b>	<b>Pigment [g]</b>
<b>ZnO</b>	0,5	199	1
	1	198	2
	2	196	4
	3	194	6
<b>ZnS</b>	0,5	149,25	0,75
	1	148,5	1,5
	2	147	3
	3	145,5	4,5
<b>MoO<sub>3</sub></b>	0,5	149,25	0,75
	1	148,5	1,5
	2	147	3
	3	145,5	4,5
<b>MoS<sub>2</sub></b>	0,5	149,25	0,75
	1	148,5	1,5
	2	147	3
	3	145,5	4,5
<b>SeO<sub>2</sub></b>	0,5	149,25	0,75
	1	148,5	1,5
	2	147	3
	3	145,5	4,5
<b>ZnSe</b>	0,5	149,25	0,75
	1	148,5	1,5
	2	147	3
	3	145,5	4,5
<b>L<sub>0</sub></b>	-	200	-

L<sub>0</sub> – latex bez přídavku pigmentu

## 2.8. Příprava zkušebních vzorků

### 2.8.1. Příprava vzorků ve formě volných filmů

Na přípravu vzorků ve formě volných filmů byly využity silikonové formy (viz obrázek 23). Před použitím byly formy řádně očištěny vodou a tenzidy a následně pořádně vysušeny. Poté byly do forem nality připravené nátěrové hmoty při laboratorní teplotě ( $23\pm 2$  °C) a při vlhkosti vzduchu  $50\pm 5$  %. Takto se formy s nátěrovou hmotou ponechaly uschnout na vzduchu po dobu 3 týdnů. Po vyschnutí byl získán souvislý film, který byl použit pro stanovení antimikrobiální citlivosti obtiskovou metodou.



Obrázek 23: Příprava volných filmů v silikonové formě

### 2.8.2. Příprava nátěrů na polyethylenových fóliích

Pomocí krabicového pravítka se štěrbinou 200  $\mu\text{m}$  byly na polyethylenovou fólii nanášeny připravené nátěrové hmoty na bázi polyakrylátových latexů. Fólie s nátěrovými filmy se poté nechaly schnout při laboratorní teplotě. Takto připravené nátěry na polyethylenových fóliích byly použity pro stanovení antimikrobiální účinnosti metodou zalévání.

### 2.8.3. Příprava nátěrů na skleněných panelech

Připravené nátěrové hmoty byly aplikovány na skleněné panely o velikosti 200 x 100 x 5 mm. Před samotnou aplikací byly panely řádně očištěny vodou obsahující tenzidy a odmaštěny pomocí chloroformu. Pomocí krabicového pravítka se štěrbinou 150  $\mu\text{m}$ , byla na skleněný panel naaplikována vrstva nátěru. Takto se vrstva nechala 24 hodin při teplotě  $23\pm 2$  °C a relativní vlhkosti vzduchu  $50\pm 5$  % schnout. Po vyschnutí byly nátěry na skleněných panelech použity pro stanovení fyzikálně-mechanických zkoušek.

#### 2.8.4. Příprava nátěrů na podložních sklíčkách

Připravené nátěrové hmoty byly nanášeny na sklíčka o velikosti 76 x 26 mm. Nanášení bylo prováděno opatrně a v rukavicích, aby nedošlo k umaštění povrchu sklíčka. Vrstva nátěru byla naaplikována pomocí krabicového pravítka se šterbinou 32  $\mu\text{m}$ . Takto připravené nátěry se nechaly 24 hodin schnout za relativní vlhkosti vzduchu  $50\pm 5\%$  a teplotě  $23\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ . Tyto nátěry byly použity pro stanovení kontaktních úhlů.

#### 2.8.5. Příprava nátěrů na ocelových panelech

Pro aplikaci nátěrů na ocelové panely byly použity za studena válcované ocelové panely z nízkouhlíkaté oceli třídy 11 (Q – LAB), typu DC01 o rozměrech 215 x 45 mm (výška x šířka). Panely byly nejprve řádně očištěny a odmaštěny chloroformem a následně na ně byla aplikovaná vrstva připravených nátěrů, pomocí krabicového pravítka se šterbinou 250  $\mu\text{m}$ . Takto připravené nátěry byly po vyschnutí používány pro stanovení mechanických vlastností nátěrových filmů.

#### 2.8.6. Příprava nátěrů na hliníkových nátěrech

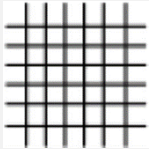
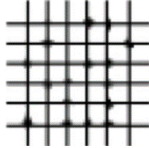
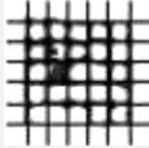
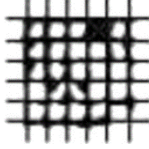
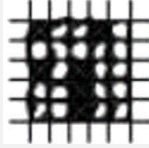
Připravené nátěrové hmoty byly nanášeny na hliníkové panely o velikosti 200 x 100 x 0,8 mm. Panely byly nejprve řádně odmaštěny pomocí chloroformu a následně na ně byla nanášena vrstva připravených nátěrů pomocí krabicového pravítka se šterbinou 250  $\mu\text{m}$ . Nanášení bylo provedeno při relativní vlhkosti vzduchu  $50\pm 5\%$  a teplotě  $23\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ . Po zaschnutí byly nátěry použity pro stanovení odolnosti nátěrů vůči tvorbě puchýřků (Sandwich test).

## 2.9. Metody hodnocení mechanických vlastností nátěrových filmů na ocelových panelech

### 2.9.1. Stanovení přilnavosti nátěrů pomocí mřížkové metody (ČSN ISO 2409)

Při stanovení přilnavosti nátěrů se provede řez ve tvaru mřížky hodnotí se přilnavost nátěrového filmu k povrchu podle tabulky 20. Pomocí cross cut nože byly do nátěru vytvořeny řezy ve tvaru mřížky. Nůž má 6 paralelních břitů, které jsou od sebe vzdáleny 2 mm. Mřížka byla vytvořena horizontálním a vodorovným nařezáním. Na každém vzorku byly vytvořeny 3 mřížky, které byly následně vyhodnoceny podle tabulky číslo 20. Ze stanovených hodnot byl vytvořen aritmetický průměr.

Tabulka 20: Hodnocení poškození nátěru po řezu nožem (ČSN ISO 2409)

Stupeň poškození	Hodnocení poškození	Vzhled
0	Nedochází k odlupování nátěru a řezy jsou hladké	
1	Dochází k mírnému odlupování nátěru v místech, kde se řezy kříží Poškození do 5 %	
2	Dochází k mírnému odlupování nátěru v místech, kde se řezy kříží nebo podél řezů Poškození činí 5–15 %	
3	Nátěr je částečně nebo úplně odloupen z podkladu v místech křížení řezů či podél řezů Poškození činí 5–35 %	
4	Nátěr je značně poškozen v místě křížení řezů Poškození činí 35–65 %	
5	Poškození je větší než u stupně 4	–

### 2.9.2. Stanovení odolnosti filmu vůči ohybu (ČSN ISO 1519)

Pomocí přístroje Elcometer 1506 (viz obrázek 24) byla měřena odolnost nátěrového filmu vůči ohybu. Měření se provádí na principu ohýbání ocelového panelu s testovaným nátěrem přes válcový trn směrem ven pod úhlem 180°. K měření byl používán válcový trn

velikosti 4 mm. Bylo sledováno poškození nátěru nebo jeho oddělení od podkladu. Měření bylo provedeno třikrát u každého vzorku a bylo hodnoceno, zda nátěrový film ohyb vydržel nebo u něj došlo k nějakému poškození.



Obrázek 24: Elcometer 1506

### 2.9.3. Stanovení odolnosti filmu vůči padajícímu závaží (ČSN EN ISO 6272)

Odolnost nátěrového filmu vůči úderu byla hodnocena pomocí přístroje Elcometer 1615 opatřeným závažím o hmotnosti 1000 g. Závaží bylo spouštěno z výšky 100 cm a bylo hodnoceno poškození nátěru, ke kterému po pádu došlo. Každé měření bylo provedeno třikrát.

### 2.9.4. Stanovení odolnosti filmu vůči hloubení (ČSN EN ISO 1520)

Pomocí Erichsonova hloubícího přístroje (viz obrázek 25) byla změřena odolnost nátěru. Tento přístroj pracuje na principu vlačování ocelové kuličky o průměru 20 mm do ocelového panelu s nátěrem. Během měření se sledují změny na povrchu nátěru, jako je praskání či oddělení nátěru od povrchu. Takto bylo prováděno hloubení do 10 mm a byla odečtena hodnota, při které poprvé došlo k případnému poškození nátěru.



Obrázek 25: Erichsonův hloubící přístroj

### 2.9.5. Měření suché tloušťky nátěrového filmu (ISO 2808)

Pomocí magnetického tloušťkoměru (viz obrázek 26) byla změřena suchá tloušťka nátěrů (DFT) na ocelových panelech. Tato metoda je nedestruktivní. Před samotným měřením byl nejprve nakalibrován magnetický tloušťkoměr pomocí ocelového standardu. Poté byl tloušťkoměr položen kolmo na nátěr a na displeji byla zobrazena výsledná suchá tloušťka nátěrového filmu. Toto měření bylo provedeno na 10 místech nátěru a následně byl ze všech hodnot vypočítán aritmetický průměr.



Obrázek 26: Magnetický tloušťkoměr

## 2.10. Metody hodnocení fyzikálně – mechanických vlastností nátěrových filmů na skleněných panelech

### 2.10.1. Stanovení lesku nátěrového filmu (ČSN 67 3063)

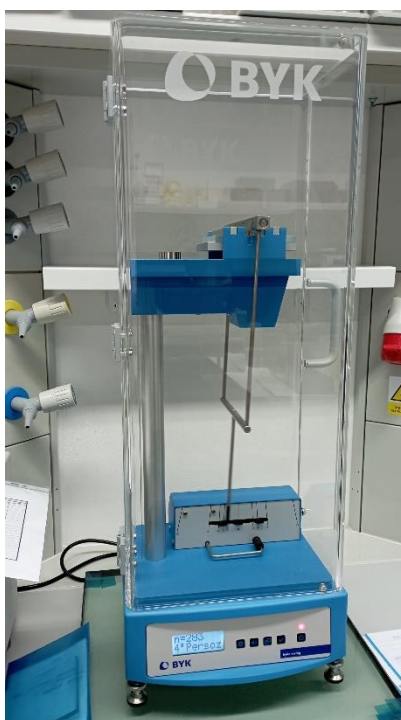
Pomocí leskoměru Micro-TRY-gloss (viz obrázek 27) byl stanoven lesk nátěrového filmu. Lesk nám dává informaci o schopnosti nátěru odrážet dopadající paprsky světla. Lesk byl měřen při úhlech 20°, 60° a 85° na principu reflexní geometrie. Před zahájením měření se musí leskometr nejprve nakalibrovat. Kalibrace se provádí pomocí standardu, který je součástí balení. Na skleněných panelech s nátěrem byly měřeny 3 hodnoty na třech různých místech. Rovněž byly změny lesku pozorovány v čase. Výsledný lesk se hodnotí při úhlu 60° a dělí se na 3 typy: matný (do 10 jednotek), středně lesklý (10–70 jednotek) a vysoce lesklý (nad 70 jednotek).



Obrázek 27: Leskometr Micro-TRY-gloss

### 2.10.2. Stanovení relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu (ČSN EN ISO 1522)

Stanovení relativní povrchové tvrdosti nátěru bylo provedeno pomocí kyvadlového přístroje typu Persoz (viz obrázek 28). Principem měření je stanovení doby útlumu kyvadla na zkušebním nátěru na skleněném panelu.



Obrázek 28: Kyvadlový přístroj typu Persoz

Před samotným měřením bylo kyvadlo nastaveno na 4° Persoze a poté byla nejprve stanovena tvrdost standardu, který odpovídá 100% tvrdosti. Při měření nátěrů byly nátěry umístěny nad kyvadlo tak, aby se dotýkaly dvou ocelových kuliček o průměru 8 mm. Poté bylo kyvadlo vychýleno o 12° a spuštěním bylo zahájeno měření do útlumu na 4°. Měření bylo opakováno třikrát na každém nátěru, vždy na třech různých místech. Z naměřených hodnot byl vypočítán aritmetický průměr a výsledek byl vztažen k hodnotě tvrdosti standardu podle rovnice číslo 6.

$$\tau = \frac{t_1}{t_2} \cdot 100$$

Rovnice 6: Výpočet relativní povrchové tvrdosti nátěru

Kde:  $\tau$  – relativní povrchová tvrdost [%];  $t_1$  – počet kmitů kyvadla u vzorku;  $t_2$  – počet kmitů kyvadla u standardu

### 2.10.1. Stanovení zbledení nátěru vystaveného kontaktu s vodou

Na nátěrech bylo provedeno měření absorpce vody, které se projevuje zbledáním nátěru. Toto měření se provádí na spektrometru UltraScan PRO. Hodnota zbledení je vyjádřena poklesem transmitance při vlnové délce 500 nm. Na nátěr byla položena buničina nasáklá vodou a zatížena Petriho miskou. Při měření byl nejprve proměřen nátěr bez jakékoliv úpravy, který sloužil jako standard. Při dalších měřeních byla vždy proměřena plocha, která byla pokryta navlhčenou buničinou. Před měřením byla plocha vždy opatrně osušena a po změření hodnoty transmitance byla opět přiložena navlhčená buničina a Petriho miska pro zatížení. Testování

bylo prováděno po 2, 6, 24, 96, 120 a 240 hodinách od prvního přiložení navlhčené buničiny. Transmittance byla měřena vždy na 3 různých místech a ze získaných hodnot byl vypočítán aritmetický průměr. Výsledné zblednutí bylo vypočteno pomocí rovnice číslo 7.

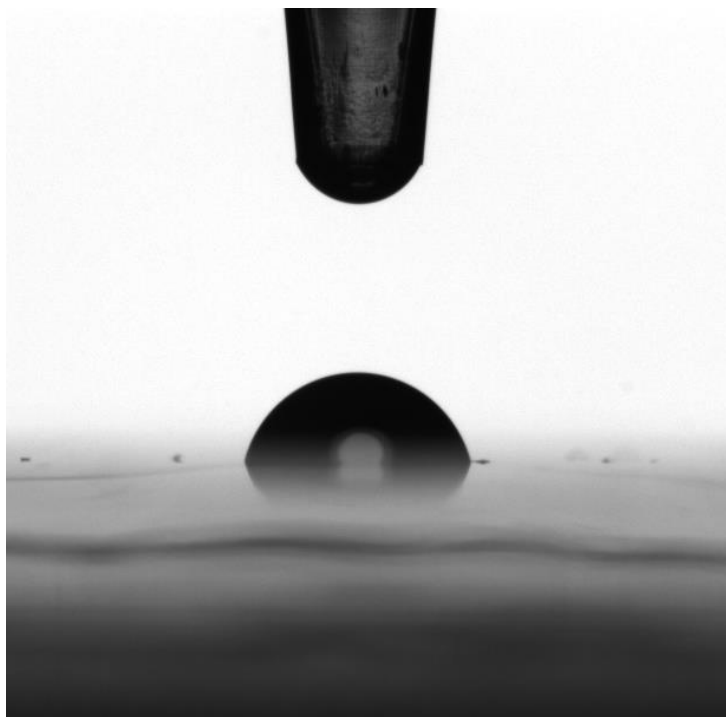
$$Z = \frac{T_0 - T_t}{T_0} \cdot 100$$

*Rovnice 7: Výpočet zblednutí nátěru*

*Kde: Z – zblednutí [%]; T<sub>0</sub> – transmittance před začátkem měření; T<sub>t</sub> – transmittance v čase t*

### 2.10.1. Stanovení kontaktního úhlu

Je známo, že kontaktní úhel úzce souvisí s adhezí mikroorganismů k povrchu a jejich následnou tvorbou biofilmů. Na základě tohoto zjištění bylo provedeno stanovení kontaktních úhlů na skleněných podložních sklíčkách s nátěry, pomocí optického tenziometru (viz obrázek 29). Na skleněná sklíčka s nátěry byly pomocí mikropipety naaplikovány kapky vody o objemu 1–2  $\mu$ l. Poté byly pomocí tenziometru měřeny a kamerou zaznamenávány změny kontaktních úhlů v čase (30 s). Měření probíhalo za relativní vlhkosti vzduchu 40 % a konstantní teplotě 22 °C. Na základě naměřených výsledků byly polyakrylátové nátěry děleny na lyofilní (smáčivé), které mají kontaktní úhel v rozmezí 0–90° a lyofobní (nesmáčivé), které mají kontaktní úhel v rozmezí 90–180°.



*Obrázek 29: Měření kontaktního úhlu pomocí optického tenziometru*

## 2.11. Metody hodnocení chemických vlastností nátěrových filmů

### 2.11.1. Stanovení odolnosti vůči methylethylketonu (ASTM D4752-10)

Ke stanovení chemické odolnosti nátěru byl použit methylethylketon (MEK), jehož schopností je degradace organických polymerních řetězců. Testování bylo provedeno vatovou tyčinkou namočenou do MEK. Po celé šířce nátěru na skleněném panelu byly prováděny dvojtahy (1 dvojtah za 1 sekundu) po dobu maximálně 300 vteřin. Došlo-li k obnažení dřívě než za 300 vteřin, byl test ukončen a vyhodnocen dle tabulky číslo 21.

Tabulka 21: Hodnocení odolnosti nátěru vůči methylethylketonu (ASTM D4752-10)

Stupeň poškození	Stav poškození
0	Úplné obnažení podkladu
1	Značné hluboké nerušení nátěrového filmu, ale již ne k podkladu
2	Zřetelné poškození (poškrábání) nátěrového filmu
3	Lehké poškození (poškrábání) nátěrového filmu
4	Povrch nátěru není poškozený, pouze vyleštěný a nepatrné množství pigmentu uvolněného z nátěru je patrné na otěrové gáze
5	Povrch nátěru není nijak poškozen, ani nejsou zbytky pigmentu na otěrové gáze

### 2.11.2. Stanovení odolnosti nátěrů vůči pufrům

Toto stanovení se provádí za účelem zjištění korozní odolnosti nátěrů vůči různému pH korozního prostředí. Nejprve bylo na ocelové panely s nátěry přilepeno 6 skleněných válečků pomocí epoxyesterové pryskyřice. Takto se nechaly týden zaschnout. Po týdnu bylo do každého válečku nadávkováno přibližně 10 ml pufru o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12. Tyto pufrы byly připraveny pomocí roztoků 0,04 M  $H_3PO_4$ , 0,04 M  $CH_3COOH$ , 0,04M  $H_3BO_3$ , které byly smíchány s 0,2 M NaOH dle tabulky číslo 22. Po pěti dnech byly pufrы vylity, aby se k povrchu nátěrů dostal kyslík a sedmý den bylo hodnoceno množství puchýřků a stupeň koroze (viz obrázky 30 a 31). Takto se testování opakovalo po dobu 21 dní.

Tabulka 22: Příprava pufrů o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12

<b>pH</b>	<b>směs 0,04 M H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>COOH a H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> v poměru 1:1:1 [ml]</b>	<b>0,2 M NaOH [ml]</b>
<b>2</b>	100	5
<b>4</b>	100	25
<b>6</b>	100	42,5
<b>8</b>	100	60
<b>10</b>	100	80
<b>12</b>	100	100

## 2.12. Metody hodnocení odolnosti nátěrů vůči korozi

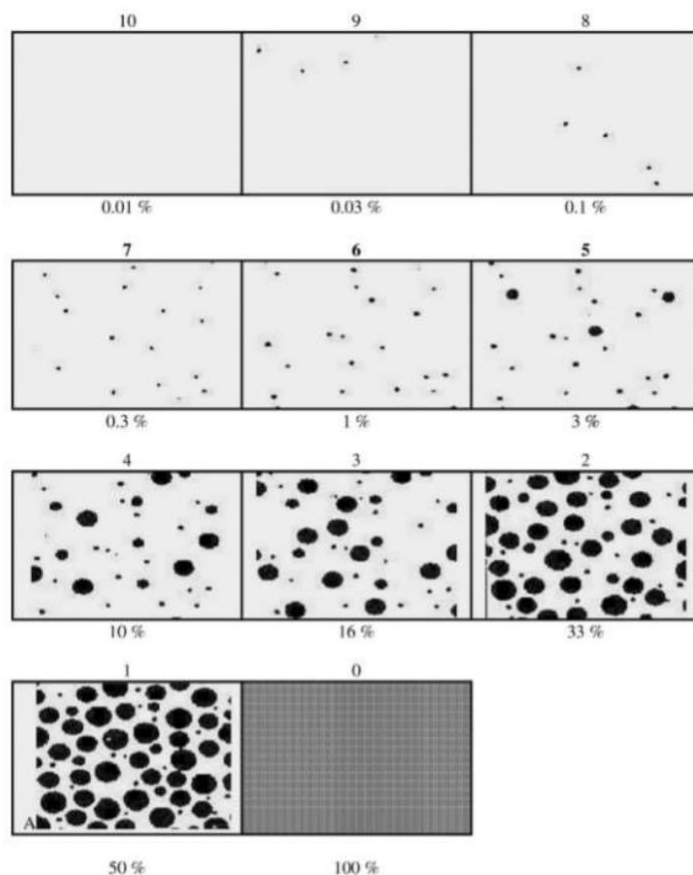
### 2.12.1. Hodnocení odolnosti nátěrů proti tvorbě puchýřků – Sandwich test (ASTM D 714-87)

Tento test se provádí za účelem zjištění odolnosti nátěru vůči fyzikálně-chemickým vlivům. Pokud dochází ke tvorbě puchýřků, znamená to, že nátěr ztrácí svou schopnost adheze k povrchu. Před samotným začátkem testování, byly nejprve pořízeny fotografie samotných hliníkových panelů s nátěry, aby bylo možné porovnání po skončení testu. Na hliníkové panely s nátěry byly položeny mokré filtrační papíry tak, aby byl překrytý celý nátěr. Poté byly panely s mokřým filtračním papírem uzavřeny do polyethylenových fólií a vloženy do sušárny vyhřáté na teplotu 40 °C, po dobu 24 a 48 hodin. Následně byly filtrační papíry z nátěrových filmů opatrně odstraněny a na povrchu nátěrových filmů byly hodnoceny puchýřky dle normy ASTM D 714-87, pomocí standardů (viz obrázek 31).

### 2.12.2. Hodnocení stupně koroze v ploše panelu

Pomocí normy ASTM D 610–85 lze určit, do jaké míry dokáže polyakrylamidový nátěr ochránit povrch, na kterém je nanesen vůči korozi. Jako selhání ochranné funkce nátěru se uvádí prokorodování a rozšíření korozních produktů na povrchu nátěrového filmu.

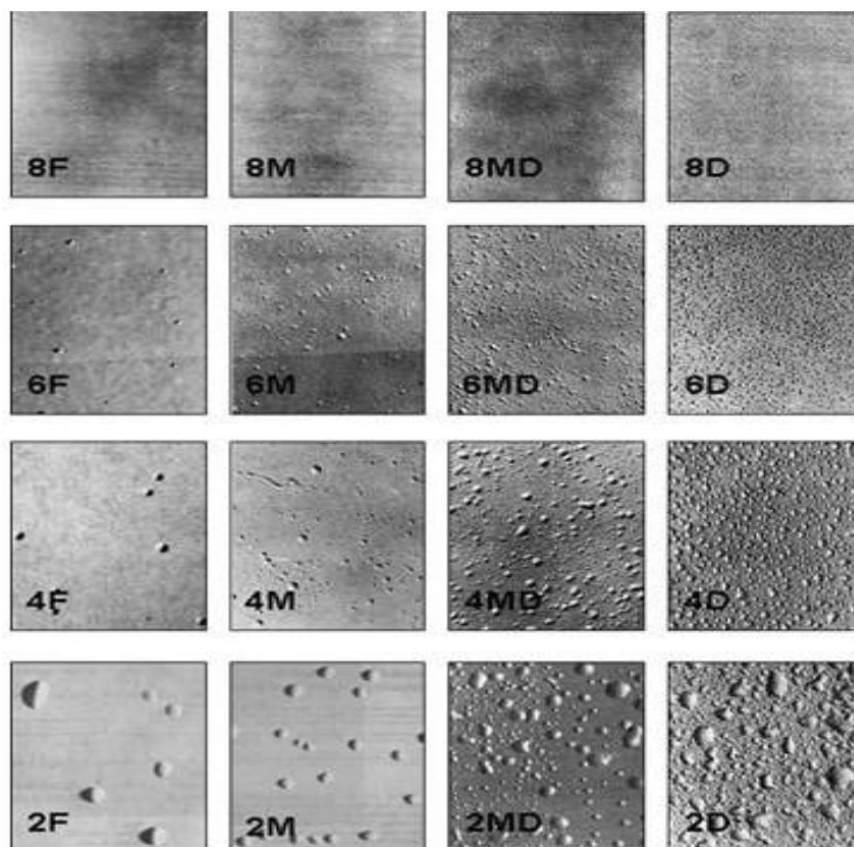
Koroze byla vizuálně hodnocena na povrchu nátěru a poté i po odstranění nátěrového filmu dle standardů zobrazených na obrázku 30.



Obrázek 30: Hodnocení koroze v ploše panelu (ASTM D 610–85)

### 2.12.3. Hodnocení četnosti a velikosti puchýřků

Vznik puchýřů lze definovat jako porušení ochranné funkce nátěru, kdy nátěrový film ztrácí svou schopnost adheze k povrchu. Hodnocení se provádí dle normy ASTM D 714-87 pomocí standardů zobrazených na obrázku 31. Velikost puchýřků se hodnotí čísly 8 (nejmenší), 6, 4 a 2 (největší). Četnost puchýřků se hodnotí pomocí písmen: F (nízká četnost), M (střední četnost), MD (středně hustá četnost) a D (vysoká četnost).



Obrázek 31: Hodnocení puchýřků v ploše panelu ASTM D 714-87

## 2.13. Mikrobiologické testování

### 2.13.1. Příprava před mikrobiálním testováním

Předtím, než se začne cokoliv testovat na mikroorganismech, je potřeba mít přichystané potřebné živné půdy, roztoky, sterilní nástroje a samozřejmě mikrobiální kultury.

#### 2.13.1.1. Příprava roztoků pro další práci

Všechny níže uvedené roztoky, které byly při mikrobiálním testování používány, byly připraveny navážením daného množství látky, která byla rozpuštěna v určitém množství destilované vody. V tabulkách 23–25 jsou napsána množství a objemy, které jsou potřeba pro přípravu fyziologického roztoku, fosfátového fyziologického pufru a fosfátového tlumivého pufru. Připravené roztoky se sterilizují v autoklávu při tlaku 103 kPa a teplotě 121 °C. Poté se nechávají vychladnout na laboratorní teplotu a dále jsou uchovávány v chladničce při teplotě 2–5 °C.

Tabulka 23: Příprava fyziologického roztoku

Fyziologický roztok	
Destilovaná voda	1000 ml
NaCl (chlorid sodný)	8,5 g

Tabulka 24: Příprava fosfátového fyziologického pufru

Fosfátový fyziologický pufr	
Fyziologický roztok	1000 ml
Fosfátový tlumivý pufr	1,25 ml

Tabulka 25: Příprava fosfátového tlumivého pufru

Fosfátový tlumivý pufr	
Destilovaná voda	1000 ml
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (dihydrogenfosforečnan draselný)	2,5 g

#### 2.13.1.2. Příprava živných půd

Všechny níže uvedené živné půdy byly připraveny navážením a rozpuštěním určitého množství látky v destilované vodě. V tabulkách 26–30 jsou uvedena složení a množství potřebná pro přípravu živných půd, tak jak je výrobce uvádí na obalu. Po rozpuštění jsou média sterilizována v autoklávu při tlaku 103 kPa a teplotě 121 °C. Následně jsou agary ochlazeny na

45 °C a rozlévány do Petriho misek. Po ztuhnutí a vychladnutí jsou misky uchovávány v chladničce při teplotě 2–5 °C. Bujóny se nechávají vychladnout na laboratorní teplotu (25 °C) a poté jsou uchovávány v chladničce při teplotě 2–5 °C.

Tabulka 26: MALT agar – složení

<b>MALT agar (45 g na 1000 ml)</b>	
<b>Agar</b>	15 g/l
<b>Sladový extrakt</b>	30 g/l
<b>Výrobce:</b> HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.	<b>Kód produktu:</b> M253-500G

Tabulka 27: Masopeptonový agar (MPA) – složení

<b>MPA (40 g na 1000 ml)</b>	
<b>Agar</b>	15 g/l
<b>NaCl (chlorid sodný)</b>	5 g/l
<b>Hovězí extrakt</b>	10 g/l
<b>Masový pepton</b>	10 g/l
<b>Výrobce:</b> HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.	<b>Kód produktu:</b> M1269-500G

Tabulka 28: Masopeptonový bujón (MPB) – složení

<b>MPB (25 g na 1000 ml)</b>	
<b>NaCl (chlorid sodný)</b>	5 g/l
<b>Kvasničný extrakt</b>	1,5 g/l
<b>Hovězí extrakt</b>	1,5 g/l
<b>Pepton</b>	5 g/l
<b>Výrobce:</b> HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.	<b>Kód produktu:</b> M224-500G

Tabulka 29: Tryptonový agar s kvasničným extraktem (GTK) – složení

<b>GTK (22,5 g na 1000 ml)</b>	
<b>Agar</b>	14 g/l
<b>Glukóza</b>	1 g/l
<b>Kvasničný extrakt</b>	2,5 g/l
<b>Kasein</b>	5 g/l
<b>Výrobce:</b> Merck KGaA, Millipore	<b>Kód produktu:</b> 1.05463.0500

Tabulka 30: Bujón se sójovým kaseinem a lecitinem (SCDLP) – složení

SCDLP (35,7 g na 1000 ml)	
<b>Tween 80</b>	5 g/l
<b>Lecitin</b>	0,7 g/l
<b>Glukóza</b>	2,5 g/l
<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (dihydrogenfosforečnan draselný)</b>	2,5 g/l
<b>NaCl (chlorid sodný)</b>	5 g/l
<b>Sójový pepton</b>	3 g/l
<b>Trypton</b>	17 g/l

Výrobce: HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.

Kód produktu: M1838-500G

### 2.13.1.3. Sterilizace

Při jakékoliv práci v oboru mikrobiologie je důležitá sterilita všech používaných nástrojů a prostředí. Pro dosažení sterility prostředí byla místnost ozařována UV germicidní lampou. Díky tomuto záření byly usmrceny organismy, které se v místnosti nacházely.

Při manipulaci s mikroorganismy je důležité pracovat v blízkosti kahanu, protože právě u něj se nachází nejsterilnější prostředí. Kovové nástroje, které byly používány jako jsou pinzety a kovové špičky byly rovněž sterilizovány opálením ve 2/3 kahanu. Vysoká teplota plamene dokáže zlikvidovat všechny organismy přítomné na povrchu kovových nástrojů.

Co se týče skleněných pomůcek, mezi které patří Petriho misky, zkumavky s kovovými víčky a baňky s perlemi, taky ty byly vkládány do sterilizátoru STERIMAT. Sterilizace probíhá při teplotě 170 °C, což je dostatečná teplota pro usmrcení všech organismů.

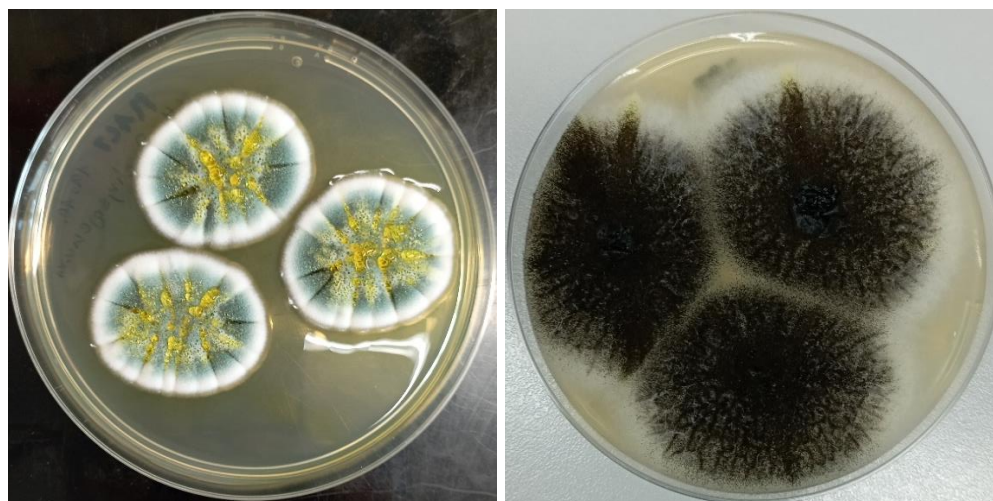
Po ukončení práce byly plochy sterilizovány pomocí roztoku a před odchodem z laboratoře není možné zapomenout na umytí rukou a následnou desinfekci.

### 2.13.1.4. Příprava mikrobiálních kultur – bakterií a plísní

Pro mikrobiální testování byly použity bakterie *P. aeruginosa* a *E. faecalis* a plísně *P. chrysogenum* a *A. brasiliensis*, které jsou vypsány v tabulce 31.

Bakteriální kmeny byly přeočkovány ze zásobních kultur na MPA agar a kultivovány 24 hodin při teplotě 37 °C. Po inkubaci byla z narostlých kmenů připravena bakteriální suspenze o zákalu 1 dle stupnice McFarlanda, což odpovídá koncentraci  $3 \cdot 10^8$  CFU/ml. Po inkubaci byly bakteriální kmeny rovněž uchovávány v chladničce o teplotě 2–5 °C. Aby nedošlo k jejich uhynutí, byly jednou za 3 týdny přeočkovány na nové MPA.

Plísně byly přeočkovány vpichem ze zásobních kultur na MALT agar a byly kultivovány při laboratorní teplotě 25 °C po dobu 1 týdne. Díky tomu narostly 3 samostatné kolonie (viz obrázek 32). Poté byly ještě přeočkovány na šikmé MALT agary, na kterých byly opět kultivovány při laboratorní teplotě 25 °C po dobu 1 týdne.



Obrázek 32: Plísňové kolonie – vlevo *P. chrysogenum*, vpravo *A. brasiliensis*

Tabulka 31: Používané bakteriální a plísňové kmeny

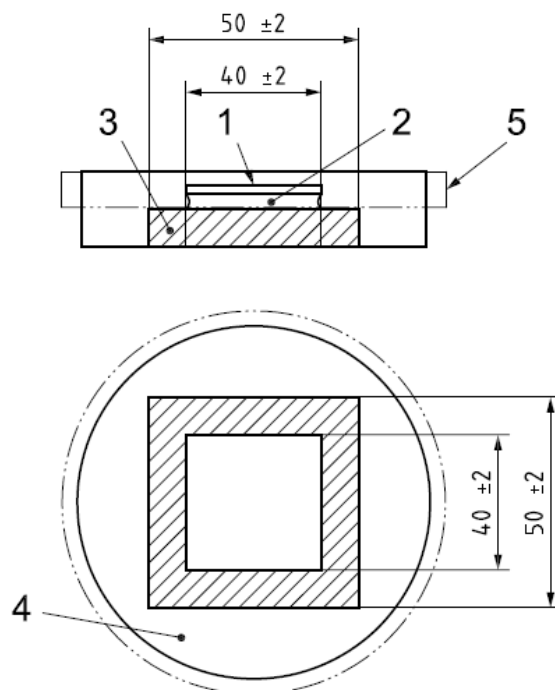
Mikrobiální kmen	Sbírkové číslo
<i>E. faecalis</i>	CCM 4224
<i>P. aeruginosa</i>	CCM 3955
<i>A. brasiliensis</i>	CCM8222
<i>P. chrysogenum</i>	F-362 <sup>T</sup>

### 2.13.1. Stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů (ISO 22196: 2011)

Pro stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů je potřeba mít připravenou 24hodinovou bakteriální kulturu. Pomocí kličky se odebere část kultury a rozmíchá se ve zkumavce s 10 ml destilované vody (DV) a 20 µl MPB. Takto byla připravena suspenze o zákalu 1. stupně dle stupnice McFarlanda. Z této zkumavky byla připravena koncentrační řada, ze které byla dále používána zkumavka s bakteriální suspenzí o koncentraci  $3 \cdot 10^5$  CFU/ml.

Připravené polyethylenové folie s nátěrem byly rozstříhány na čtverce o velikosti 5 x 5 cm a poté vysterilizovány pod UV lampou po dobu 20 minut. Na Petriho misku s MPA agarem byl naaplikován vysterilizovaný nátěr na polyethylenové folii a na něj bylo opatrně naaplikováno 400 µl bakteriální suspenze o koncentraci  $3 \cdot 10^5$  CFU/ml tak, aby nepřetékala.

Poté byla suspenze přikryta krycí fólií (vydesinfikovanou v 70% ethanolu) o velikosti 4 x 4 cm a na ni byl položena navlhčená buničina, aby suspenze nevyschla. Nákres uspořádání je znázorněn na obrázku číslo 33. Takto připravené vzorky byly inkubovány 24 hodin v termostatu při 37 °C. Pro každou bakterii bylo stanovení každého vzorku (i vzorku bez nátěru) provedeno dvakrát.



Obrázek 33: Nákres uspořádání vzorku, 1 – krycí fólie, 2 – inokulum, 3 – fólie s nátěrem, 4 – MPA, 5 – Petriho miska

Převzato a upraveno z: ISO 2216:2011

Po inkubaci vzorků byla odstraněna buničina a krycí fólie. Folie s nátěrem byla přenesena na novou Petriho misku s MPA agarem. Do této misky bylo přidáno 10 ml SCDLP a suspenze byla 5krát promyta pipetou. Z této suspenze byl odpipetován 1 ml do zkumavky s 9 ml fyziologického tlumivého roztoku, který byl připraven smícháním fyziologického roztoku s tlumivým roztokem v poměru 1:800.

Roztok byl dále ředěn, až do přípravy desetkrát zředěného roztoku bakteriální suspenze. Z každé zkumavky byl následně odpipetován vždy 1 ml do prázdné Petriho misky a zálivem byl přelit GTK agarem o teplotě 45 °C. Petriho miska byla dobře promíchána, aby byla suspenze dobře smíchána s GTK a rozprostřena po celé misce. Takto připravené misky se nejprve nechaly ztuhnout a poté byly vloženy do termostatu při 37 °C a inkubovány 48 hodin.

Po inkubaci byly odečteny počty narostlých kolonií. Z deseti misek byla vždy vybrána taková, která obsahovala 30–300 kolonií a na ní byly spočítány kolonie. Poté byla pomocí

rovnice 8 a 9 vypočítána antimikrobiální účinnost nátěrů a počet životaschopných bakterií. Pokud nebyla na žádné misce ani jedna kolonie, dosazuje se do rovnice nejmenší ředění a počet kolonií 1. Z hodnot antimikrobiální aktivity R byla určována účinnost nátěrů. Pokud byla hodnota  $R > 2$ , znamenalo to, že nátěr je antimikrobiálně účinný.

$$N = \frac{100 \cdot C \cdot D \cdot V}{A}$$

*Rovnice 8: Výpočet životaschopných bakterií*

*Kde: N – počet životaschopných bakterií na  $\text{cm}^2$ ; C – průměrný počet kolonií; D – hodnota ředění; V – objem SCDLP bujónu [ml]; A – povrchová plocha krycí fólie [ $\text{mm}^2$ ]*

$$R = U_t - A_t$$

*Rovnice 9: Výpočet antimikrobiální aktivity*

*Kde: R – antimikrobiální aktivita;  $U_t$  – průměr logaritmické hodnoty životaschopných bakterií na fóliích bez nátěru;  $A_t$  – průměr logaritmické hodnoty životaschopných bakterií na fóliích s nátěrem*

### 2.13.2. Stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových filmů obtiskovou metodou (ISO 22196: 2011)

Ke stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových filmů obtiskovou metodou je potřeba mít připravenou 24hodinovou bakteriální suspenzi. Z této suspenze byla v 10 ml DV připraven zázkal 1. stupně na McFarlandově stupnici. Z této suspenze byla připravena koncentrační řada, z níž byla pro měření použita zkumavka se suspenzí o koncentraci  $3 \cdot 10^6$  CFU/ml.

Na Petriho misku s MPA agarem byly vždy naaplikovány 3 volné filmy (velikost: 2,5 x 2,5 cm) o stejné koncentraci, které byly vysterilizovány pod UV lampou po dobu 20 minut. Na každý vzorek bylo opatrně naaplikováno 100  $\mu\text{l}$  bakteriální suspenze o koncentraci  $3 \cdot 10^6$  CFU/ml tak, aby suspenze nepřetékala. Na suspenzi byla aplikována krycí fólie vysterilizovaná v 70% ethanolu o velikosti 2 x 2 cm. Na krycí folii byla položena navlhčená buničina, aby zabránila vyschnutí inokula během inkubace. Takto připravené vzorky byly inkubovány v termostatu při 37 °C po dobu 24 hodin.

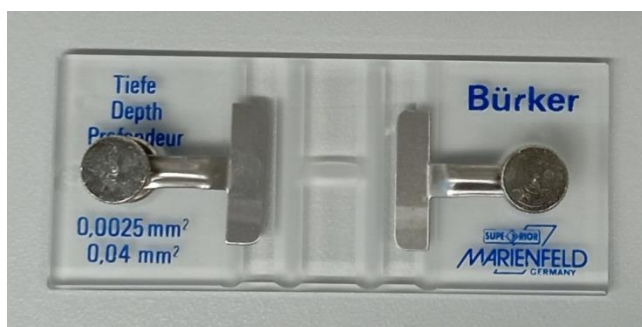
Po inkubaci byla odstraněna buničina a krycí fólie a každý čtvereček volného filmu byl obtisknut třikrát na novou Petriho misku s MPA agarem. Misky s obtiskem byly opět inkubovány i termostatu při 37 °C po dobu 24 hodin. Po inkubaci byl vyhodnocen stupeň bakteriální koncentrace dle tabulky 32. Vzorky s nejnižším stupněm kontaminace jsou antimikrobiálně nejúčinnější.

Tabulka 32: Hodnocení bakteriální kontaminace obtiskové metody

Stupeň kontaminace	Vizuální hodnocení kontaminace
0	Není patrný žádný nárůst
1	Nárůst jednotlivých kolonií (odečitatelné množství)
2	Nárůst spojených kolonií (odečitatelné množství)
3	2. obtisk rozeznatelné kolonie, 3. obtisk odečitatelné množství kolonií
4	3. obtisk rozeznatelné kolonie
5	Nárůst souvislého biofilmu

### 2.13.3. Počítání spor plísní v Bürkerově komůrce – příprava suspenze spor

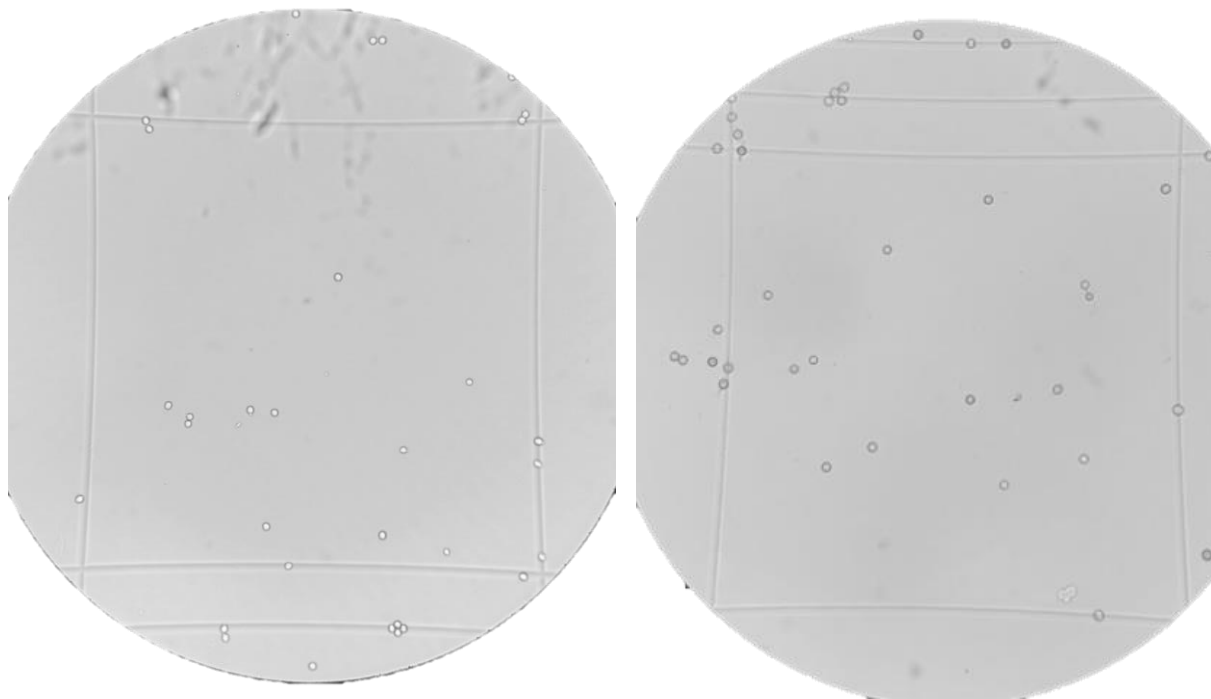
Po inkubaci v šikmých MALT agarrech bylo testováno, zda jsou bakterie životaschopné. Toto testování bylo prováděno v Bürkerově komůrce (viz obrázek 34).



Obrázek 34: Bürkerova komůrka

Nejprve byly do zkumavky s plísníovou kulturou napipetovány 3 ml sterilní vody a pár kapek roztoku Tween. Zkumavka byla řádně promíchána na vortexu a její obsah byl vlit do baňky se skleněnými kuličkami. Baňka byla zamíchána a takto připravenou suspenzí byla naplněna Bürkerova komůrka.

Mikroskop byl nastaven na celkové zvětšení 400x. Byla pozorována mřížka komůrky, konkrétně 50 velkých čtverců, které musely obsahovat 12 až 20 plísňových spor (viz obrázek 35). Pokud spor bylo více, byla do baňky přidána sterilní voda a opět byla suspenze pozorována pod mikroskopem.



Obrázek 35: Spory v Bürkerově komůrce (vlevo *P. chrysogenum*, vpravo *A. brasiliensis*)

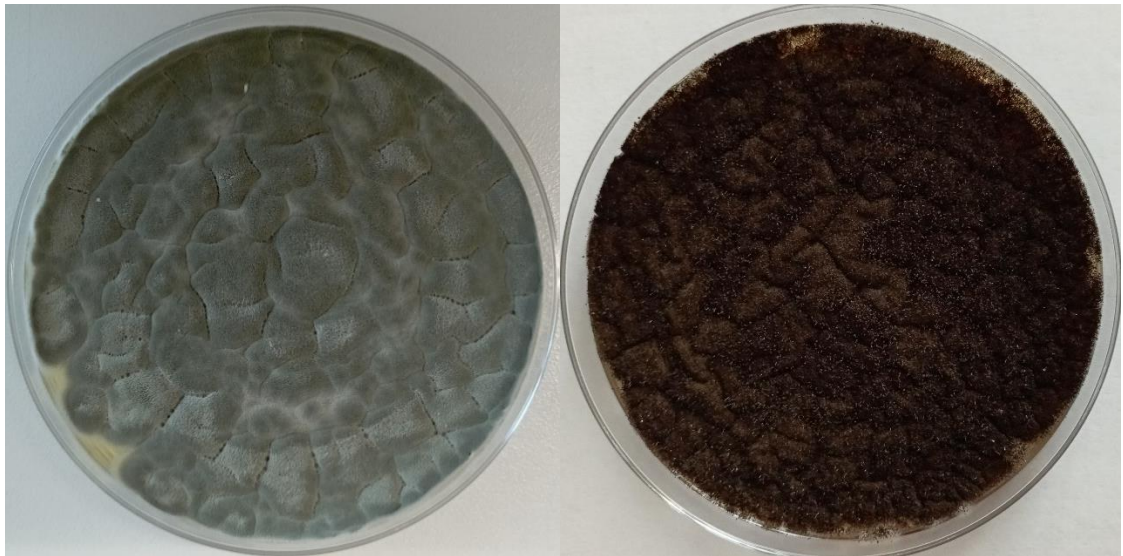
V 50 čtvercích byly spočítány spory a dosazeny do rovnice číslo 10.

$$b = \frac{n}{c \cdot V \cdot h}$$

Rovnice 10: Výpočet počtu spor v 1  $\mu$ l suspenze

Kde:  $b$  – počet spor v 1  $\text{mm}^3$  [ $\mu$ l];  $n$  – napočítaný počet spor v 50 velkých čtvercích;  $c$  – počet čtverců (50);  $V$  – plocha velkého čtverce (0,04  $\text{mm}^2$ );  $H$  – hloubka komůrky (0,1 mm)

Z baňky bylo ještě pro kontrolu odpipetováno 100  $\mu$ l suspenze na MALT agar a rozetřeno L-hokejkou pro kontrolu. Po týdenní inkubaci při laboratorní teplotě bylo pozorována souvislá plísňová vrstva po celém agaru (viz obrázek 36), což dokazuje životaschopnost plísni.



Obrázek 36: Souvislý nárůst plísňového biofilmu (vlevo *P. chrysogenum*, vpravo *A. brasiliensis*)

#### 2.13.4. Stanovení antifungální účinnosti volných filmů (ASTM D5590)

Ke stanovení antifungální účinnosti volných filmů je nejprve potřeba mít připravenou suspenzi spor o koncentraci v řádech  $10^6$  CFU/ml, jejíž příprava je popsána výš.

Nejprve byly vysterilizovány volné filmy pod UV lampou po dobu 20 minut. Poté se do středu misky s MALT agarem aplikuje jeden volný film o velikost 2,5 x 2,5 cm. Na tento film bylo naaplikováno 100  $\mu$ l suspenze spor v řádech  $10^6$  CFU/ml a pomocí L-hokejky byla suspenze rozetřena po celé ploše volného filmu i MALT agaru.

Takto připravená Petriho miska byla inkubována při teplotě 25 °C po dobu 7 dní. Poté bylo provedeno vyhodnocení růstu plísní na volném filmu podle tabulky 33.

Tabulka 33: Hodnocení kontaminace volného filmu plísněmi (ASTM D5590)

Stupeň kontaminace	Hodnocení kontaminace
0	Bez nárůstu
1	Stopa nárůstu (<10 %)
2	Lehký nárůst (10–30 %)
3	Střední nárůst (30–70 %)
4	Silný nárůst (>70 %)

### 3. VÝSLEDKY

#### 3.1. Výsledky testování vlastností polyakrylátových latexů v kapalném stavu

V tabulce číslo 34 jsou uvedeny výsledky testování připraveného latexu. U latexu byl stanoven obsah koagulátu, obsah sušiny a viskozita. U latexu po syntéze a latexu po zalkalizování 10% vodným roztokem amoniaku byla změřena minimální filmotvorná teplota a pH.

Tabulka 34: Výsledky základní charakteristiky latexů v kapalném stavu

<b>Latex</b>	<b>Obsah sušiny [%]</b>	<b>Obsah koagulátu [%]</b>	<b>pH<sup>1</sup></b>	<b>pH<sup>2</sup></b>	<b>MFFT<sup>1</sup> [°C]</b>	<b>MFFT<sup>2</sup> [°C]</b>	<b>Viskozita [mPa·s<sup>-1</sup>]</b>
<b>L0</b>	42,5	0,2	1,9	8,5	7,5	4,3	206,2

<sup>1</sup> – latex po syntéze

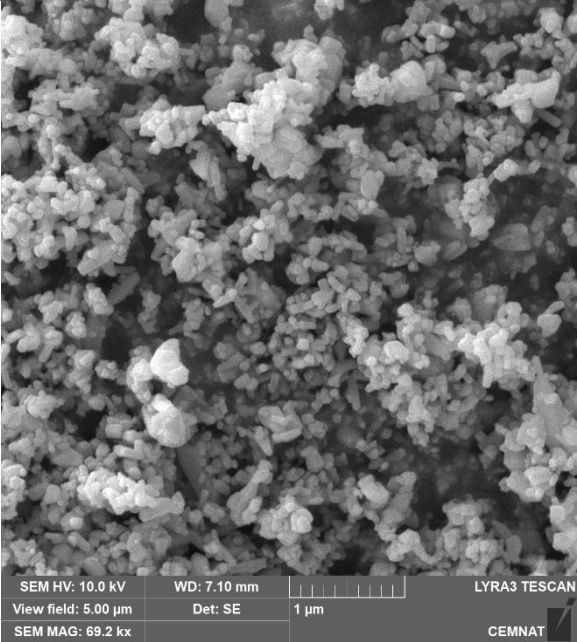
<sup>2</sup> – latex po zalkalizování 10% vodným roztokem amoniaku

### 3.2. Výsledky charakterizace pigmentů

Bylo testováno celkem 6 pigmentů. V tabulkách 35–40 se nachází výsledky stanovení jejich olejového čísla, hustoty a vypočítané kritické objemové koncentrace pigmentů.

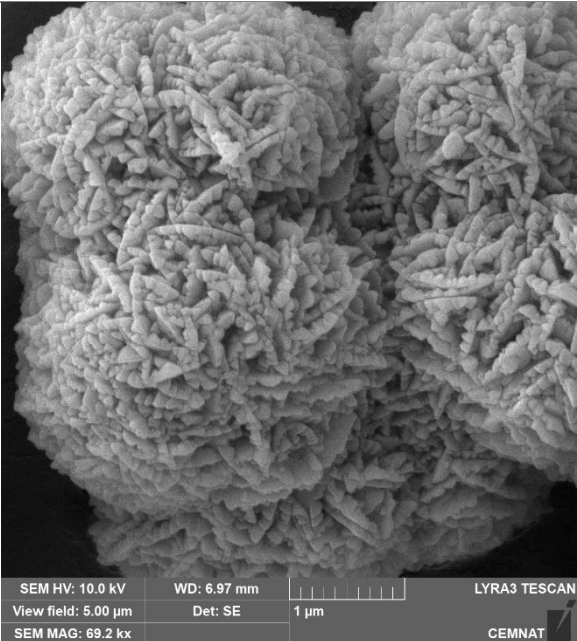
Tabulka 35: ZnO – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP

Pigment	Hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	Olejové číslo [g/100 g <sub>PIG</sub> ]	KOKP
ZnO	6,45	15,33	48

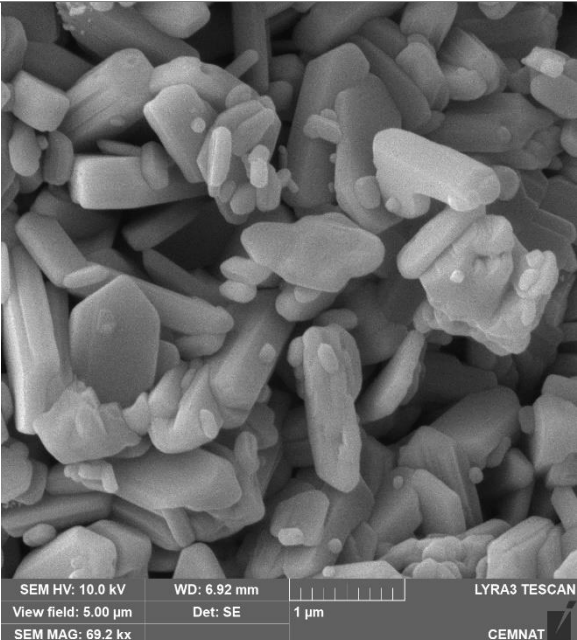
Tabulka 36: ZnS – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP

Pigment	Hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	Olejové číslo [g/100 g <sub>PIG</sub> ]	KOKP
ZnS	4,18	15,03	59

Tabulka 37: MoO<sub>3</sub> – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP

Pigment	Hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	Olejové číslo [g/100 g <sub>PIG</sub> ]	KOKP
MoO <sub>3</sub>	4,76	11,96	62

Tabulka 38:  $\text{MoS}_2$  – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP

Pigment	Hustota [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]	Olejové číslo [g/100 g <sub>PIG</sub> ]	KOKP
$\text{MoS}_2$	6,80	29,13	32

Tabulka 39:  $\text{SeO}_2$  – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP

Pigment	Hustota [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]	Olejové číslo [g/100 g <sub>PIG</sub> ]	KOKP
$\text{SeO}_2$	4,15	5,52	80

Tabulka 40: ZnSe – SEM mikrofotografie, hustota, olejové číslo a KOKP

Pigment	Hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	Olejové číslo [g/100 g <sub>PIG</sub> ]	KOKP
ZnSe	5,31	4,6	79

### 3.2.1. Výsledky stanovení měrné elektrické vodivosti a pH výluhů pigmentů

Kapitola 3.2.1. obsahuje výsledky stanovení měrné elektrické vodivosti a pH výluhů pigmentů. Výsledky se nacházejí v tabulkách 41 a 42.

Tabulka 41: Výsledky stanovení měrné elektrické vodivosti z výluhů jednotlivých pigmentů

Měrná elektrická vodivost (odchylka ± 0,5 %)						
Pigment	7. den [mS·cm <sup>-1</sup> ]	14. den [mS·cm <sup>-1</sup> ]	21. den [mS·cm <sup>-1</sup> ]	28. den [mS·cm <sup>-1</sup> ]	35. den [mS·cm <sup>-1</sup> ]	42. den [mS·cm <sup>-1</sup> ]
ZnO	0,17	0,17	0,19	0,19	0,26	0,26
ZnS	0,34	0,37	0,43	0,45	0,55	0,51
MoO <sub>3</sub>	1,50	1,53	1,66	1,66	1,72	0,82
MoS <sub>2</sub>	6,74	8,49	9,99	10,90	12,04	3,79
SeO <sub>2</sub>	30,60	30,80	34,40	35,70	36,70	32,20
DV	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04

Tabulka 42: Výsledky stanovení pH u výluhů pigmentů

Pigment	pH (odchylka ± 0,01)					
	7. den	14. den	21. den	28. den	35. den	42. den
ZnO	6,98	7,05	7,24	7,43	7,44	7,46
ZnS	6,83	6,94	7,02	7,18	7,27	7,30
MoO <sub>3</sub>	1,74	2,00	2,10	2,11	2,12	2,32
MoS <sub>2</sub>	1,32	1,32	1,36	1,37	1,34	1,41
SeO <sub>2</sub>	0,53	0,68	0,70	0,70	0,70	0,68
DV	6,98	7,03	7,12	7,33	7,49	7,85

### 3.2.2. Výsledky stanovení korozních úbytků ve výluzích

Kapitola 3.2.2. obsahuje výsledky stanovení hmotnostních korozních úbytků z výluhů pigmentů (viz tabulka 43). Měření bylo provedeno 35. den po změření pH a měrné elektrické vodivosti. Po změření hmotnostních korozních úbytků bylo následně u zfiltrovaných výluhů znovu změřeno pH a vodivost (42. den). Procentuální výsledky korozních úbytků byly vztaženy k výsledkům korozních úbytků v destilované vodě (DV = 100 %).

Tabulka 43: Výsledky stanovení korozních úbytků

Pigment	Vodivost (před) [mS·cm <sup>-1</sup> ]	Vodivost (po) [mS·cm <sup>-1</sup> ]	pH (před)	pH (po)	$\Delta m$	K <sub>m</sub> [g·m <sup>-2</sup> ]	X <sub>H</sub> [%]
ZnO	0,26	0,26	6,98	7,05	0,0001	0,001	1,95
ZnS	0,55	0,51	6,83	6,20	0,0030	0,031	65,30
MoO <sub>3</sub>	1,72	0,82	2,12	5,32	0,0047	0,045	95,80
MoS <sub>2</sub>	12,04	3,11	1,34	4,41	0,0048	0,046	96,49
SeO <sub>2</sub>	36,70	32,20	0,70	0,68	0,0022	0,023	47,79
DV	0,02	0,04	5,74	7,85	0,0046	0,047	100,00

### 3.3. Výsledky testování mechanických vlastností polyakrylátových nátěrových filmů na ocelových panelech

V této kapitole jsou uvedeny výsledky testování fyzikálně-mechanických vlastností polyakrylátových nátěrů na ocelových panelech. Byla testována přilnavost filmu pomocí mřížkové metody, odolnost nátěru vůči ohybu, úderu závaží a hloubení. Dále byla měřena suchá tloušťka nátěrového filmu.

#### 3.3.1. Výsledky stanovení přilnavosti filmu pomocí mřížkové metody, odolnosti filmu vůči ohybu, padajícímu závaží a hloubení

Kapitola 3.3.1. obsahuje výsledky stanovení fyzikálně-mechanických vlastností nátěrů na ocelových panelech třídy DC01. Výsledky všech zkoušek jsou uvedeny v tabulce 44.

Tabulka 44: Výsledky testování mechanických zkoušek na ocelových panelech, DFT = 75±10 μm

Pigment	OKP [%]	Mechanické zkoušky na ocelových panelech			
		Přilnavost [st]	Ohyb [mm]	Úder [cm]	Hloubení [mm]
ZnO	0,5	0	>4	>100	>10
	1	0	>4	>100	>10
	2	1	>4	>100	>10
	3	1	>4	>100	>10
ZnS	0,5	0	>4	>100	>10
	1	0	>4	>100	>10
	2	0	>4	>100	>10
	3	0	>4	>100	>10
MoO <sub>3</sub>	0,5	1	>4	>100	>10
	1	0	>4	>100	>10
	2	1	>4	>100	>10
	3	0	>4	>100	>10
MoS <sub>2</sub>	0,5	0	>4	>100	>10
	1	1	>4	>100	>10
	2	5	>4	>100	>10
	3	5	>4	>100	>10
SeO <sub>2</sub>	0,5	1	>4	>100	>10
	1	0	>4	>100	>10
	2	0	>4	>100	>10
	3	0	>4	>100	>10
ZnSe	0,5	1	>4	>100	>10
	1	0	>4	>100	>10
	2	0	>4	>100	>10
	3	0	>4	>100	>10

### 3.4. Výsledky testování fyzikálně–mechanických vlastností polyakrylátových nátěrových filmů na skleněných panelech

Kapitola 3.4. obsahuje výsledky testování fyzikálně-mechanických vlastností nátěrů, testovaných na skleněných panelech. Každé měření bylo prováděno v určitém rozpětí dní uvedeném v tabulkách 45–47.

#### 3.4.1. *Výsledky stanovení lesku nátěrového filmu*

V tabulce číslo 45 jsou znázorněny výsledky testování lesku nátěrového filmu pomocí leskoměru. Lesk byl měřen 1., 3., 7., 14., 21., 28. a 45. den po přípravě nátěru.

Tabulka 45/I: *Výsledky stanovení lesku nátěrových filmů, DFT = 50±10 μm*

Pigment	OKP [%]	Úhel	Stupeň lesku						
			1.den	3.den	7.den	14.den	21.den	28.den	35.den
ZnO	0,5	20°	146,0	145,0	144,0	144,0	143,0	142,0	141,0
		60°	148,0	147,0	147,0	146,0	146,0	146,0	146,0
		85°	110,0	109,0	109,0	109,0	108,0	109,0	108,0
	1	20°	153,0	151,0	151,0	152,0	151,0	151,0	150,0
		60°	151,0	151,0	150,0	150,0	149,0	150,0	149,0
		85°	114,0	114,0	114,0	113,0	113,0	113,0	113,0
	2	20°	100,0	98,6	98,4	98,2	97,9	97,7	96,9
		60°	103,0	102,0	101,0	101,0	100,0	101,0	100,0
		85°	99,9	99,6	99,4	99,2	99,4	99,2	98,6
	3	20°	98,6	96,7	95,7	95,2	94,9	93,8	93,5
		60°	101,0	99,5	98,9	98,9	98,1	97,9	97,0
		85°	100,0	99,6	99,6	99,3	99,4	99,0	98,8
ZnS	0,5	20°	141,0	137,0	136,0	136,0	135,0	132,0	130,0
		60°	144,0	142,0	142,0	141,0	141,0	140,0	139,0
		85°	110,0	109,0	109,0	108,0	108,0	107,0	107,0
	1	20°	50,9	50,2	48,1	49,0	46,5	44,7	43,0
		60°	85,2	83,6	82,0	82,5	79,9	77,1	74,9
		85°	82,4	80,7	80,2	81,6	80,0	79,7	77,9
	2	20°	69,0	64,0	62,5	59,3	59,3	55,0	50,1
		60°	106,0	102,0	100	96,1	96,2	91,4	84,6
		85°	92,8	91,6	91,7	91,2	90,3	89,5	87,9
	3	20°	29,2	28,5	26,5	25,0	24,3	24,2	24,1
		60°	65,0	64,5	64,8	61,0	59,3	57,8	57,7
		85°	82,2	81,8	81,5	81,8	79,7	79,5	78,4

Tabulka 46/II: Pokračování tabulky 45/I: Výsledky stanovení lesku nátěrových filmů, DFT = 50±10 μm

<b>MoO<sub>3</sub></b>	<b>0,5</b>	<b>20°</b>	67,7	64,0	60,0	63,9	61,6	59,3	58,4
		<b>60°</b>	106,0	102,0	102,0	99,9	98,8	97,1	96,8
		<b>85°</b>	87,0	84,7	84,8	83,9	85,1	83,5	83,2
	<b>1</b>	<b>20°</b>	54,5	54,2	51,5	50,0	49,8	49,5	48,4
		<b>60°</b>	96,7	97,2	94,8	93,2	92,5	92,6	92,5
		<b>85°</b>	81,6	81,2	79,9	79,9	79,0	78,5	78,2
	<b>2</b>	<b>20°</b>	66,5	60,9	60,0	60,4	59,7	59,5	59,1
		<b>60°</b>	101,0	98,4	98,0	97,5	97,1	96,9	96,7
		<b>85°</b>	91,6	89,8	89,2	89,4	89,4	89,0	89,2
	<b>3</b>	<b>20°</b>	83,3	82,4	82,4	84,0	82,2	81,3	80,7
		<b>60°</b>	122,0	121,0	121,0	120,0	120,0	120,0	118,0
		<b>85°</b>	95,7	95,8	95,7	95,8	95,0	94,9	94,4
<b>MoS<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	<b>20°</b>	116,0	114,0	112,0	112,0	111,0	111,0	105,0
		<b>60°</b>	119,0	117,0	116,0	116,0	117,0	116,0	112,0
		<b>85°</b>	102,0	102,0	102,0	101,0	102,0	101,0	100,0
	<b>1</b>	<b>20°</b>	77,1	76,0	75,8	75,8	75,8	75,3	75,1
		<b>60°</b>	85,7	85,0	84,5	84,9	84,8	84,5	84,2
		<b>85°</b>	96,7	96,4	96,2	95,7	95,8	95,4	94,9
	<b>2</b>	<b>20°</b>	67,9	67,6	68,0	67,0	66,2	66,4	66,0
		<b>60°</b>	82,2	81,7	81,5	81,2	81,3	80,7	80,3
		<b>85°</b>	96,2	96,1	95,9	95,8	95,6	95,1	95,2
	<b>3</b>	<b>20°</b>	69,5	68,2	68,0	68,3	68,0	67,4	67,1
		<b>60°</b>	81,6	81,0	80,8	80,9	80,8	80,6	80,4
		<b>85°</b>	95,8	95,8	95,3	95,2	94,7	94,6	94,5
<b>SeO<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	<b>20°</b>	150,0	148,0	148,0	144,0	143,0	142,0	142,0
		<b>60°</b>	147,0	145,0	145,0	145,0	143,0	141,0	140,0
		<b>85°</b>	110,0	109,0	107,0	108,0	107,0	107,0	106,0
	<b>1</b>	<b>20°</b>	141,0	141,0	141,0	138,0	137,0	136,0	133,0
		<b>60°</b>	141,0	139,1	139,0	138,0	137,0	135,0	134,0
		<b>85°</b>	111,0	110,9	111,0	108,0	108,0	108,0	106,0
	<b>2</b>	<b>20°</b>	124,0	119,0	118,0	115,0	116,0	112,0	106,0
		<b>60°</b>	129,0	127,0	125,0	124,0	126,0	122,0	122,0
		<b>85°</b>	106,0	105,0	105,0	106,0	105,0	105,0	104,0
	<b>3</b>	<b>20°</b>	123,0	119,0	115,0	115,0	114,0	107,0	103,0
		<b>60°</b>	122,0	120,0	117,0	117,0	117,0	119,0	116,0
		<b>85°</b>	104,0	104,0	103,0	104,0	104,0	103,0	100,0

Tabulka 47/III: Pokračování tabulky 45/I: Výsledky stanovení lesku nátěrových filmů, DFT = 50±10 μm

<b>ZnSe</b>	<b>0,5</b>	<b>20°</b>	39,8	39,5	37,8	37,6	37,3	35,9	35,1
		<b>60°</b>	75,8	74,5	72,6	72,4	71,5	69,9	68,1
		<b>85°</b>	78,8	78,5	78,6	77,9	77,0	77,0	75,8
	<b>1</b>	<b>20°</b>	43,7	40,7	40,2	39,1	37,2	36,7	35,1
		<b>60°</b>	79,3	75,7	76,4	73,3	72,9	70,3	68,5
		<b>85°</b>	86,8	84,5	85,2	84,0	82,2	82,0	81,6
	<b>2</b>	<b>20°</b>	33,7	32,4	31,7	31,4	31,3	29,4	29,0
		<b>60°</b>	69,2	66,6	65,2	65,3	64,5	62,3	61,8
		<b>85°</b>	78,2	75,6	75,2	75,5	74,8	74,5	74,5
	<b>3</b>	<b>20°</b>	33,1	32,4	31,8	30,2	30,4	29,8	28,6
		<b>60°</b>	68,9	67,3	66,5	64,8	64,3	63,9	60,7
		<b>85°</b>	97,4	83,1	83,0	82,6	82,0	82,6	81,3

### 3.4.2. Výsledky stanovení relativní povrchové tvrdosti polyakrylátového nátěrového filmu

Tato kapitola obsahuje výsledky stanovení relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu pomocí kyvadlového přístroje typu Perzos. Stanovení bylo provedeno 1., 3., 7., 14., 21., 28. a 45. den. Výsledky jsou uvedeny v tabulce číslo 46.

Tabulka 48: Výsledky testování relativní povrchové tvrdosti nátěrových filmů, DFT = 50±10 μm

Pigment	OKP [%]	Relativní povrchová tvrdost [%] (odchylka 0,5 %)						
		1.den	3.den	7.den	14.den	21.den	28.den	45.den
ZnO	0,5	6,2	6,7	6,8	7,2	7,3	7,7	7,8
	1	5,7	6,2	6,5	6,5	6,6	6,7	6,7
	2	6,6	6,8	7,1	7,5	7,6	7,6	7,7
	3	5,5	5,7	5,7	5,8	5,8	6,0	6,0
ZnS	0,5	4,5	5,0	5,1	5,5	5,7	5,8	6,0
	1	4,6	5,2	5,2	5,5	5,8	6,0	6,0
	2	5,7	7,1	7,2	7,2	7,5	7,6	7,6
	3	4,6	5,2	5,5	5,8	6,1	6,1	6,3
MoO <sub>3</sub>	0,5	3,2	4,5	4,8	4,8	5,0	5,1	5,5
	1	3,2	3,9	4,0	4,2	4,3	4,8	7,8
	2	5,1	5,3	5,7	5,8	6,5	6,6	6,7
	3	6,2	7,0	7,1	7,2	7,8	8,3	8,4
MoS <sub>2</sub>	0,5	15,7	16,1	17,4	17,6	19,3	19,2	19,3
	1	15,3	15,9	16,7	16,8	17,5	18,8	18,8
	2	14,3	14,8	15,5	15,7	16,8	17,3	17,5
	3	15,4	15,9	17,6	17,8	18,5	19,0	19,1
SeO <sub>2</sub>	0,5	5,8	6,6	6,8	7,8	9,6	9,6	10,0
	1	3,3	3,3	4,1	4,1	4,3	4,6	4,9
	2	2,2	2,5	2,7	2,7	2,8	3,4	4,9
	3	2,1	5,1	5,1	5,5	5,6	6,0	8,2
ZnSe	0,5	3,9	4,2	4,3	4,5	4,6	4,6	4,8
	1	4,8	5,1	5,2	5,5	5,8	6,1	6,1
	2	4,5	4,9	5,0	5,4	5,6	5,7	7,3
	3	5,8	5,8	6,3	6,5	6,8	7,0	7,0

### 3.4.1. Výsledky hodnocení odolnosti nátěrů vůči zblednutí

Tato kapitola obsahuje výsledky testování odolnosti nátěrů vůči zblednutí. Měření bylo prováděno po 2, 6, 24, 96, 120 a 240 hodinách. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 47.

Tabulka 49: Výsledky testování odolnosti nátěru vůči zblednutí, DFT = 50±10 μm

Pigment	OKP [%]	Odolnost vůči zblednutí [%]						
		Transmittance [%]	2 h	6 h	24 h	96 h	120 h	240 h
<b>ZnO</b>	<b>0,5</b>	85,89	21,50	39,59	45,76	47,61	50,80	51,01
	<b>1</b>	85,51	19,26	30,27	44,71	46,82	49,00	49,60
	<b>2</b>	73,53	16,31	32,86	41,91	44,24	45,56	52,85
	<b>3</b>	75,49	13,39	28,37	45,49	46,66	47,71	48,89
<b>ZnS</b>	<b>0,5</b>	86,13	12,01	26,23	49,40	54,52	54,46	56,01
	<b>1</b>	85,80	7,06	19,00	41,41	48,18	50,05	53,62
	<b>2</b>	85,12	7,08	19,45	40,19	40,95	41,31	43,46
	<b>3</b>	75,30	4,46	11,98	32,32	40,40	45,34	45,55
<b>MoO<sub>3</sub></b>	<b>0,5</b>	85,36	15,94	30,54	45,03	46,43	50,35	53,61
	<b>1</b>	84,01	12,30	35,29	52,04	53,73	53,59	57,26
	<b>2</b>	78,55	19,61	35,40	42,60	43,12	43,68	46,52
	<b>3</b>	81,48	18,37	35,75	43,11	42,60	46,97	51,47
<b>MoS<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	27,59	1,56	5,04	7,97	41,53	54,66	72,35
	<b>1</b>	51,96	1,04	0,21	9,87	46,44	60,84	75,50
	<b>2</b>	7,76	12,50	11,34	16,37	62,50	74,23	76,16
	<b>3</b>	11,32	10,07	8,66	4,77	57,33	70,58	84,81
<b>SeO<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	79,81	27,74	45,17	64,84	69,00	71,86	74,11
	<b>1</b>	80,25	30,67	49,27	67,73	74,55	74,78	75,75
	<b>2</b>	71,70	31,99	53,10	53,64	66,71	81,49	81,58
	<b>3</b>	85,09	40,50	59,50	74,52	76,88	81,13	82,69
<b>ZnSe</b>	<b>0,5</b>	83,70	0,49	2,21	30,99	46,65	50,90	51,68
	<b>1</b>	82,63	1,38	12,86	33,03	39,32	44,41	50,97
	<b>2</b>	74,45	1,29	12,36	40,31	57,42	59,10	64,66
	<b>3</b>	76,66	0,56	8,32	36,22	45,37	48,81	58,21

### 3.4.2. Výsledky stanovení kontaktního úhlu polyakrylátových nátěrů

Kapitola 3.4.2. obsahuje výsledky stanovení kontaktního úhlu (viz tabulka 48).  
Výsledky byly zprůměrovány a byla u nich vypočtena směrodatná odchylka.

Tabulka 50: Výsledky testování kontaktních úhlů nátěrových hmot

<b>Kontaktní úhel</b>		
<b>Pigment</b>	<b>OKP [%]</b>	<b>Kontaktní úhel [°]</b>
<b>ZnO</b>	<b>0,5</b>	77,36±0,49
	<b>1</b>	76,35±0,78
	<b>2</b>	75,94±0,83
	<b>3</b>	76,21±0,62
<b>ZnS</b>	<b>0,5</b>	78,82±0,47
	<b>1</b>	78,85±0,49
	<b>2</b>	80,12±0,50
	<b>3</b>	82,64±0,62
<b>MoO<sub>3</sub></b>	<b>0,5</b>	58,33±1,34
	<b>1</b>	60,62±1,03
	<b>2</b>	51,49±0,68
	<b>3</b>	55,30±0,99
<b>MoS<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	77,23±0,78
	<b>1</b>	76,36±0,39
	<b>2</b>	78,88±0,35
	<b>3</b>	78,39±1,07
<b>SeO<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	70,71±0,84
	<b>1</b>	67,74±0,75
	<b>2</b>	66,80±1,01
	<b>3</b>	66,00±0,57
<b>ZnSe</b>	<b>0,5</b>	80,57±0,52
	<b>1</b>	80,93±0,26
	<b>2</b>	80,32±0,61
	<b>3</b>	85,50±0,87

### 3.5. Výsledky testování chemických vlastností polyakrylátových nátěrů

Kapitola 3.5. obsahuje výsledky testování chemických vlastností polyakrylátových nátěrů. Mezi toto testování patří stanovení odolnosti vůči methylethylketonu a testování odolnosti vůči puřům o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12.

#### 3.5.1. Výsledky stanovení odolnosti vůči methylethylketonu

V tabulce číslo 49 jsou zobrazeny výsledky testování nátěrů vůči methylethylketonu (MEK test). Stanovení bylo prováděno 1., 3., 7., 14., 21., 28. a 45. den.

Tabulka 51: Výsledky stanovení odolnosti vůči methylethylketonu, DFT = 50±10 μm

Odolnost vůči methylethylketonu													
Pigment	OKP [%]	1. den		3. den		7. den		14. den		21. den		28. den	
		čas [s]	st	čas [s]	st	čas [s]	st	čas [s]	st	čas [s]	st	čas [s]	st
ZnO	0,5	48	0	72	0	94	0	110	0	138	0	150	0
	1	62	0	69	0	85	0	102	0	122	0	136	0
	2	70	0	81	0	96	0	110	0	129	0	142	0
	3	69	0	80	0	92	0	107	0	137	0	145	0
ZnS	0,5	66	0	84	0	90	0	108	0	124	0	132	0
	1	78	0	92	0	95	0	128	0	135	0	135	0
	2	77	0	80	0	99	0	105	0	120	0	144	0
	3	82	0	88	0	96	0	112	0	122	0	140	0
MoO <sub>3</sub>	0,5	35	0	50	0	74	0	98	0	112	0	124	0
	1	42	0	59	0	69	0	99	0	118	0	135	0
	2	48	0	62	0	79	0	85	0	106	0	133	0
	3	39	0	52	0	68	0	97	0	120	0	128	0
MoS <sub>2</sub>	0,5	90	0	95	0	112	0	145	0	152	0	172	0
	1	92	0	108	0	132	0	140	0	168	0	184	0
	2	84	0	99	0	120	0	152	0	159	0	165	0
	3	88	0	89	0	118	0	142	0	158	0	171	0
SeO <sub>2</sub>	0,5	65	0	85	0	111	0	130	0	135	0	152	0
	1	72	0	99	0	110	0	129	0	140	0	148	0
	2	68	0	81	0	105	0	118	0	131	0	155	0
	3	80	0	99	0	111	0	132	0	155	0	168	0
ZnSe	0,5	74	0	78	0	99	0	110	0	123	0	140	0
	1	86	0	96	0	105	0	121	0	137	0	148	0
	2	70	0	91	0	102	0	129	0	130	0	142	0
	3	81	0	89	0	110	0	118	0	125	0	136	0

### 3.5.2. *Výsledky testování odolnosti nátěrů vůči pufrům*

V této kapitole jsou znázorněny výsledky stanovení odolnosti vůči pufrům o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12. Byly hodnoceny vzniklé puchýřky z hlediska jejich četnosti a velikosti a korozní změny. Měření bylo prováděno 14 dní.

Tabulka 52: Hodnocení odolnosti nátěrů v prostředí pufrů o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12, DFT = 75±10 μm

Pigment	OKP [%]	Hodnocení odolnosti nátěrů v prostředí pufrů o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12											
		Puchýře v ploše po 336 hodinách						Koroze v ploše nátěru po 336 hodinách [%]					
		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
ZnO	0,5	8MD	8F	8F	-	-	8F*	1	1	0,3	0,3	0,3	-
	1	8F	8F	8F	8F	8F	8F	-	-	0,03	0,03	-	3
	2	4M	-	-	-	-	6F	3	-	-	0,1	0,1	0,3
	3	6MD	-	-	-	8F	8F	0,1	1	0,01	0,03	-	-
ZnS	0,5	-	-	-	8F	8F	8F	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	-	-	6F	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	8F	-	-	3	-	-	0,1
	3	-	-	-	8F	8F	8M	-	0,03	-	-	-	-
MoO <sub>3</sub>	0,5	4F	-	-	-	-	8F	3	-	-	1	-	-
	1	8F	-	8F	-	-	-	-	1	0,03	-	-	-
	2	8F	8F	6F	8F	-	-*	-	-	-	-	-	-
	3	8F	8F	6M	8MD	6MD*	-*	-	-	-	-	-	-
MoS <sub>2</sub>	0,5	-	-	8F	8F	-*	-*	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	-	6F	-*	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	8F	6F*	-*	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	8F	8F	6F	-*	-	-	-	-	-	-
SeO <sub>2</sub>	0,5	8F	-	8F	-	8F	8M	-	-	0,3	3	-	0,3
	1	8F	8F	8F	8F	8F	6F	-	-	-	-	-	-
	2	4M	8F	8F	8F	-	8F	0,03	-	-	-	-	-
	3	8F	8F	8F	8F	-	8F	0,03	0,01	-	-	-	-
ZnSe	0,5	-	-	-	-	-	8F	-	-	0,3	-	-	-
	1	-	-	-	-	-	8F	0,1	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	8F	8F	0,03	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	8F	8MD	-	-	-	-	-	-

\* - vrásnění

### 3.6. Výsledky testování odolnosti polyakrylátových nátěrů

V kapitole 3.6. jsou výsledky testování odolnosti polyakrylátových nátěrů. Testování proběhlo metodou „Sandwich test“, při které se hodnotí vznik puchýřků, konkrétně jejich velikost a četnost.

#### 3.6.1. Výsledky testování odolnosti nátěrů proti tvorbě puchýřků (Sandwich test)

V tabulce 51 jsou uvedeny výsledky testování odolnosti nátěrů vůči puchýřkům. Byla hodnocena velikost a četnost puchýřků na celé ploše nátěru.

Tabulka 53: Výsledky testování odolnosti vůči tvorbě puchýřků, DFT = 75±10 μm

Pigment	OKP [%]	Hodnocení puchýřků
ZnO	0,5	-
	1	-
	2	8M
	3	8F*
ZnS	0,5	-*
	1	8F*
	2	8F*
	3	-*
MoO <sub>3</sub>	0,5	-*
	1	8F
	2	8F
	3	8F*
MoS <sub>2</sub>	0,5	-*
	1	8F
	2	-
	3	8F
SeO <sub>2</sub>	0,5	8M
	1	8MD
	2	6M
	3	8MD*
ZnSe	0,5	-*
	1	-*
	2	8F*
	3	-*

\* - vrásnění

### 3.7. Výsledky mikrobiologických zkoušek

Kapitola 3.7. obsahuje výsledky testování mikrobiologických zkoušek. Mezi tyto zkoušky patří testování antimikrobiální účinnosti nátěrů zálivovou metodou, metodou obtiskovou, a dále výsledky testování antifungální citlivosti volných filmů.

#### 3.7.1. Výsledky stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů zálivovou metodou

Výsledky stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů pomocí zálivové metody vůči *E. faecalis* a *P. aeruginosa* jsou znázorněny v tabulkách 52 a 53. Ve sloupci R jsou zvýrazněny hodnoty, které značí antimikrobiální účinnost nátěru.

Tabulka 54: Výsledky testování antimikrobiální účinnosti nátěrů vůči *E. faecalis* zálivovou metodou

<i>Enterococcus faecalis</i>						
Pigment	OKP [%]	N [CFU/cm <sup>2</sup> ]	C	D	U <sub>t</sub>	R
ZK	-	$7,25 \cdot 10^4$	290	$10^{-1}$	4,86	-
ZnO	0,5	$2,05 \cdot 10^4$	82	$10^{-1}$	4,31	0,55
	1	$8,00 \cdot 10^4$	32	$10^{-2}$	4,90	0,04
	2	$2,35 \cdot 10^4$	94	$10^{-1}$	4,37	0,49
	3	$2,50 \cdot 10^4$	100	$10^{-1}$	4,40	0,46
ZnS	0,5	$2,85 \cdot 10^4$	114	$10^{-1}$	4,45	0,41
	1	$8,75 \cdot 10^4$	35	$10^{-2}$	4,94	0,08
	2	$2,725 \cdot 10^4$	109	$10^{-1}$	4,44	0,42
	3	$1,25 \cdot 10^5$	50	$10^{-2}$	5,10	0,24
MoO <sub>3</sub>	0,5	$3,5 \cdot 10^4$	140	$10^{-1}$	4,54	0,32
	3	$5,00 \cdot 10^2$	2	$10^{-1}$	2,70	2,16
MoS <sub>2</sub>	0,5	$1,35 \cdot 10^5$	54	$10^{-2}$	5,13	0,27
	1	$4,58 \cdot 10^4$	183	$10^{-1}$	4,66	0,20
	2	$1,25 \cdot 10^5$	50	$10^{-2}$	5,10	0,24
	3	$1,53 \cdot 10^5$	61	$10^{-2}$	5,18	0,32
SeO <sub>2</sub>	0,5	$5,00 \cdot 10^2$	2	$10^{-1}$	2,70	2,16
	1	$2,50 \cdot 10^2$	1	$10^{-1}$	2,40	2,46
	2	$1,175 \cdot 10^7$	47	$10^{-4}$	7,07	2,21
	3	$3,625 \cdot 10^7$	145	$10^{-4}$	7,56	2,70
ZnSe	0,5	$2,50 \cdot 10^2$	1	$10^{-1}$	2,40	2,46
	1	$1,775 \cdot 10^7$	71	$10^{-4}$	7,25	2,39
	2	$6,25 \cdot 10^7$	250	$10^{-4}$	7,80	2,94
	3	$2,025 \cdot 10^7$	81	$10^{-4}$	7,31	2,45
L <sub>0</sub>	-	$7,95 \cdot 10^5$	318	$10^{-2}$	5,9	1,04

Tabulka 55: Výsledky testování antimikrobiální účinnosti nátěrů vůči *P. aeruginosa* zářivovou metodou

<i>Pseudomonas aeruginosa</i>						
Pigment	OKP [%]	N [CFU/cm <sup>2</sup> ]	C	D	U <sub>t</sub>	R
ZK	-	$8,25 \cdot 10^{12}$	33	$10^{-10}$	12,92	-
ZnO	0,5	$6,575 \cdot 10^{13}$	263	$10^{-10}$	13,82	0,90
	1	$2,175 \cdot 10^6$	87	$10^{-3}$	6,34	6,58
	2	$1,125 \cdot 10^6$	45	$10^{-3}$	6,05	6,87
	3	$8,00 \cdot 10^4$	32	$10^{-2}$	4,90	8,02
ZnS	0,5	$2,035 \cdot 10^{14}$	814	$10^{-10}$	14,31	1,39
	1	$2,375 \cdot 10^{11}$	95	$10^{-8}$	11,38	1,54
	2	$2,653 \cdot 10^{14}$	1061	$10^{-10}$	14,42	1,50
	3	$1,45 \cdot 10^{13}$	58	$10^{-10}$	13,16	0,24
MoO <sub>3</sub>	0,5	$1,925 \cdot 10^8$	77	$10^{-5}$	8,28	4,64
	3	$4,00 \cdot 10^8$	160	$10^{-5}$	8,60	4,32
MoS <sub>2</sub>	0,5	$5,175 \cdot 10^{11}$	207	$10^{-8}$	11,71	1,21
	1	$4,325 \cdot 10^{13}$	173	$10^{-10}$	13,64	0,72
	2	$1,45 \cdot 10^{12}$	58	$10^{-9}$	12,16	0,76
	3	$3,325 \cdot 10^6$	133	$10^{-3}$	6,52	6,40
SeO <sub>2</sub>	0,5	$1,018 \cdot 10^{14}$	407	$10^{-10}$	14,01	1,09
	1	$5,00 \cdot 10^2$	2	$10^{-1}$	2,70	10,22
	2	$2,5 \cdot 10^2$	1	$10^{-1}$	2,40	10,52
	3	$2,5 \cdot 10^2$	1	$10^{-1}$	2,40	10,52
ZnSe	0,5	$1,9 \cdot 10^{13}$	76	$10^{-10}$	13,28	0,36
	1	$2,3 \cdot 10^{13}$	92	$10^{-10}$	13,36	0,44
	2	$3,1 \cdot 10^8$	124	$10^{-5}$	8,49	4,43
	3	$4,275 \cdot 10^{10}$	171	$10^{-7}$	10,63	2,56
L <sub>0</sub>	-	$3,425 \cdot 10^{13}$	137	$10^{-10}$	13,53	0,61

### 3.7.2. Výsledky stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových volných filmů obtiskovou metodou

Tabulky 54 a 55 obsahují výsledky testování antimikrobiální účinnosti volných filmů pomocí obtiskové metody vůči *E. faecalis* a *P. aeruginosa*. Byl hodnocen stupeň kontaminace na 3 vzorcích a z výsledků byl udělán průměr.

Tabulka 56: Výsledky testování antimikrobiální účinnosti akrylátových latexů vůči *E. faecalis* obtiskovou metodou

<i>Enterococcus faecalis</i>					
Pigment	OKP [%]	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Průměr
<b>ZnO</b>	<b>0,5</b>	4	3	4	3,67
	<b>1</b>	3	3	4	3,33
	<b>2</b>	4	3	2	3,00
	<b>3</b>	1	3	3	2,33
<b>ZnS</b>	<b>0,5</b>	1	2	2	1,67
	<b>1</b>	4	4	3	3,67
	<b>2</b>	4	3	2	3,00
	<b>3</b>	3	3	3	3,00
<b>MoO<sub>3</sub></b>	<b>0,5</b>	4	5	5	4,67
	<b>1</b>	2	1	1	1,33
	<b>2</b>	3	3	4	3,33
	<b>3</b>	4	4	5	4,33
<b>MoS<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	5	4	4	4,33
	<b>1</b>	4	4	4	4,00
	<b>2</b>	4	3	4	3,67
	<b>3</b>	4	3	5	4,00
<b>SeO<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	1	2	2	1,67
	<b>1</b>	2	1	1	1,33
	<b>2</b>	1	0	1	0,67
	<b>3</b>	1	1	0	0,67
<b>ZnSe</b>	<b>0,5</b>	4	3	5	4,00
	<b>1</b>	3	3	4	3,33
	<b>2</b>	4	3	3	3,33
	<b>3</b>	4	4	3	3,67
<b>L<sub>0</sub></b>	-	1	3	3	2,33

Tabulka 57: Výsledky testování antimikrobiální účinnosti akrylátových latexů vůči *P. aeruginosa* obtiskovou metodou

<i>Pseudomonas aeruginosa</i>					
Pigment	OKP [%]	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Průměr
<b>ZnO</b>	<b>0,5</b>	5	5	5	5,00
	<b>1</b>	5	5	5	5,00
	<b>2</b>	5	4	5	4,67
	<b>3</b>	5	5	5	5,00
<b>ZnS</b>	<b>0,5</b>	5	5	4	4,67
	<b>1</b>	5	5	5	5,00
	<b>2</b>	5	5	5	5,00
	<b>3</b>	5	5	5	5,00
<b>MoO<sub>3</sub></b>	<b>0,5</b>	5	5	4	4,67
	<b>1</b>	5	4	4	4,33
	<b>2</b>	5	4	4	4,33
	<b>3</b>	5	4	3	4,00
<b>MoS<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	5	5	5	5,00
	<b>1</b>	5	5	5	5,00
	<b>2</b>	5	5	5	5,00
	<b>3</b>	5	4	5	4,67
<b>SeO<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	5	5	5	5,00
	<b>1</b>	5	3	3	3,67
	<b>2</b>	2	1	3	2,00
	<b>3</b>	0	0	0	0,00
<b>ZnSe</b>	<b>0,5</b>	5	4	5	4,67
	<b>1</b>	5	5	4	4,67
	<b>2</b>	4	5	5	4,67
	<b>3</b>	5	5	5	5,00
<b>L<sub>0</sub></b>	-	5	5	5	5,00

### 3.7.3. Výsledky testování životaschopnosti plísní v Bürkerově komůrce

V kapitole 3.7.3. se nachází výsledky testování životaschopnosti plísní *A. brasiliensis* (tabulka číslo 56) a *P. chrysogenum* (tabulka číslo 57). Počet spor v mikroskopu byl přepočítán na obsah spor v jednom mililitru a poté byl pozorován nárůst souvislého filmu který dokazuje životaschopnost plísní.

Tabulka 58: Výsledky testování životaschopnosti *A. brasiliensis*

<i>A. brasiliensis</i>			
Číslo	Počet spor v 50 velkých čtvercích	Počet spor v 1 ml	Nárůst souvislého biofilmu (ano/ne)
1	809	$4,045 \cdot 10^6$	ano
2	787	$3,935 \cdot 10^6$	ano

Tabulka 59: Výsledky testování životaschopnosti *P. chrysogenum*

<i>P. chrysogenum</i>			
Číslo	Počet spor v 50 velkých čtvercích	Počet spor v 1 ml	Nárůst souvislého biofilmu (ano/ne)
1	806	$4,03 \cdot 10^6$	ano
2	784	$3,92 \cdot 10^6$	ano

#### 3.7.4. Výsledky stanovení antifungální účinnosti volných filmů

Tabulky 58 a 59 obsahují výsledky testování antifungální účinnosti volných filmů vůči *A. brasiliensis* a *P. chrysogenum*. Byl stanoven stupeň kontaminace na třech vzorcích a následně byly výsledky zprůměrovány.

Tabulka 60: Výsledky testování antifungální účinnosti nátěrů vůči *A. brasiliensis*

<i>Aspergillus brasiliensis</i>					
Pigment	OKP [%]	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Průměr
<b>ZnO</b>	<b>0,5</b>	1	2	1	1,33
	<b>1</b>	1	1	1	1,00
	<b>2</b>	0	0	0	0,00
	<b>3</b>	0	0	1	0,33
<b>ZnS</b>	<b>0,5</b>	1	1	2	1,33
	<b>1</b>	2	1	1	1,33
	<b>2</b>	1	1	1	1,00
	<b>3</b>	0	1	1	0,67
<b>MoO<sub>3</sub></b>	<b>0,5</b>	2	2	1	1,67
	<b>1</b>	4	4	3	3,67
	<b>2</b>	4	3	4	3,67
	<b>3</b>	1	2	2	1,67
<b>MoS<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	1	1	2	1,33
	<b>1</b>	1	2	1	1,33
	<b>2</b>	2	2	1	1,67
	<b>3</b>	2	1	1	1,33
<b>SeO<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	1	2	1	1,33
	<b>1</b>	0	1	1	0,67
	<b>2</b>	1	0	1	0,67
	<b>3</b>	0	1	0	0,33
<b>ZnSe</b>	<b>0,5</b>	2	2	1	1,67
	<b>1</b>	2	1	2	1,67
	<b>2</b>	1	2	2	1,67
	<b>3</b>	1	1	2	1,33
<b>L<sub>0</sub></b>	-	2	2	2	2,00

Tabulka 61: Výsledky testování antifungální účinnosti nátěrů vůči *P. chrysogenum*

<i>Penicillium chrysogenum</i>					
Pigment	OKP [%]	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Průměr
<b>ZnO</b>	<b>0,5</b>	2	2	2	2,00
	<b>1</b>	2	2	3	2,33
	<b>2</b>	2	1	2	1,67
	<b>3</b>	3	2	2	2,33
<b>ZnS</b>	<b>0,5</b>	2	2	2	2,00
	<b>1</b>	2	2	2	2,00
	<b>2</b>	2	2	2	2,00
	<b>3</b>	2	2	2	2,00
<b>MoO<sub>3</sub></b>	<b>0,5</b>	2	2	2	2,00
	<b>1</b>	2	2	2	2,00
	<b>2</b>	3	2	2	2,33
	<b>3</b>	1	2	2	1,67
<b>MoS<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	2	2	2	2,00
	<b>1</b>	2	1	1	1,33
	<b>2</b>	2	1	2	1,67
	<b>3</b>	2	2	2	2,00
<b>SeO<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>	1	1	1	1,00
	<b>1</b>	0	1	0	0,33
	<b>2</b>	0	0	0	0,00
	<b>3</b>	0	0	0	0,00
<b>ZnSe</b>	<b>0,5</b>	3	3	3	3,00
	<b>1</b>	3	2	3	2,67
	<b>2</b>	2	3	3	2,67
	<b>3</b>	1	2	2	1,67
<b>L<sub>0</sub></b>	-	2	2	2	2,00

## 4. HODNOCENÍ

### 4.1. Charakterizace polyakrylátových latexů v kapalném stavu

Byla provedena charakterizace polyakrylátových latexů v kapalném stavu. U připraveného latexu na bázi kyseliny methakrylové, butylakrylátu a methylmethakrylátu bylo provedeno stanovení obsahu koagulátu, obsahu sušiny, zdánlivé viskozity, MFFT a pH. Polyakrylátový latex byl pro zvýšení stability zalkalizován pomocí 10% vodného roztoku amoniaku na hodnotu pH = 8,5 a byla u něj opět změřena hodnota MFFT.

Byl stanoven procentuální obsah koagulátu, který činil 0,2 %. Nízká hodnota koagulátu svědčí o koloidní stabilitě polyakrylátového latexu. Obsah sušiny připraveného pojiva činil 42,5 % a byl srovnatelný s teoretickou sušinou. Zdánlivá viskozita byla stanovena metodou dle Brookfielda, která se využívá pro kapaliny, u kterých neplatí Newtonův zákon viskozity a byla stanovena na  $206,2 \text{ mPa}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dále bylo měřeno pH u latexu po syntéze, které činilo 1,9. Nízká hodnota pH u latexu po syntéze je způsobena probíhající vedlejší reakcí, při níž reaguje voda s iniciátorem peroxidisíranem amonným za vzniku kyseliny sírové, která výsledné pH latexu snižuje. Pro zvýšení stability byl daný latex zalkalizován 10% vodným roztokem amoniaku na hodnotu pH = 8,5. Výsledné pH snižuje i přítomnost sulfátových a karboxylových skupin na povrchu polyakrylátových částic. MFFT bylo měřeno u latexů jak v kyselé formě, tak i po následné alkalizaci 10% vodným roztokem amoniaku. V kyselé formě byla hodnota MFFT  $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$  a po alkalizaci se snížila na  $4,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při těchto hodnotách MFFT může daný latex vytvářet souvislý nátěrový film již při pokojové teplotě. Ihned po syntéze bylo u daného latexu změřeno pH, které činilo 1,9.

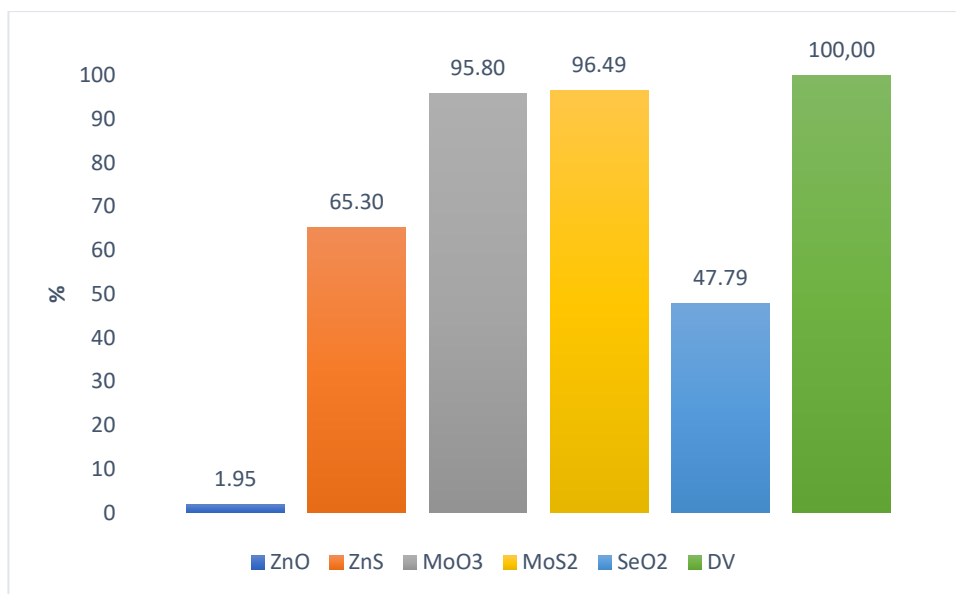
## 4.2. Charakterizace pigmentů

Byly vybrány pigmenty ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe, u kterých byla studována morfologie pomocí skenovací elektronové mikroskopie (SEM). Částice pigmentů byly nanесeny na terčík a následně pozlaceny 20 nm vrstvou zlata a proměřeny při urychleném napětí 10 kV. Pigment ZnO vykazoval polyedrické částice o velikosti 100 nm a pigment ZnS tvořil globulární částice. U pigmentů MoS<sub>2</sub> a ZnSe převládal polyedrický tvar částic se středním průměrem 0,5–1 μm. Pigment SeO<sub>2</sub> tvořil částice jehlicovitého tvaru.

Dále byla u daných pigmentů provedena základní charakterizace pomocí stanovení hustoty, olejového čísla a dopočítání kritické objemové koncentrace pigmentu. Hustota pigmentů se pohybovala v rozmezí 4,15–6,80 g·cm<sup>-3</sup>. Mezi pigmenty s nejnižší hustotou patří ZnS a MoO<sub>3</sub>. Nejvyšší hustoty byly naměřeny u ZnO a MoS<sub>2</sub>. Hodnota olejového čísla použitých pigmentů se pohybovala v rozmezí 4,6–29,13 g/100 g pigmentu. Vyšší hodnoty olejových čísel byly naměřeny u pigmentů MoS<sub>2</sub> (29,13 g/100 g pigmentu), ZnO (15,33 g/100 g pigmentu) a ZnS (15,03 g/100 g pigmentu). Vyšší hodnoty olejového čísla jsou způsobeny velkou pórovitostí a vysokou schopností absorpce líného oleje. Naopak pigmenty s nejnižší hodnotou olejového čísla byly ZnSe (4,6 g/100 g pigmentu) a SeO<sub>2</sub> (5,52 g/100 g pigmentu). Hustota a olejové číslo jsou hodnoty, které jsou nezbytné pro výpočet KOKP, což je hodnota nezbytná pro sestavení formulací nátěrových hmot. Hodnoty KOKP se pohybovaly v rozmezí 32–80 a rostly s klesajícím olejovým číslem. Nejnižší hodnotu KOKP měl MoS<sub>2</sub> a nejvyšší hodnotu měl SeO<sub>2</sub>.

Z pigmentů byly následně připraveny vodné výluhy, u nichž byla změřena měrná elektrická vodivost, pH a korozní úbytky. Měrná elektrická vodivost je závislá na množství rozpustných látek v pigmentu. Byla stanovována každý sedmý den po dobu 42 dní. Hodnoty měrné elektrické vodivosti pigmentů se pohybovaly v rozmezí 0,17–36,70 mS·cm<sup>-1</sup>, kde nejnižší hodnota byla u ZnO a nejvyšší hodnota u SeO<sub>2</sub>. Každý sedmý den po dobu 42 dní bylo také měřeno pH, které slouží jako kontrola promytí pigmentů. Hodnoty pH se pohybovaly v rozmezí 0,53–7,46, kdy nejnižší hodnoty pH měl SeO<sub>2</sub> a nejvyšší hodnoty měl ZnO. Třicátý pátý den byly výluhy zfiltrvány, byla změřena jejich měrná elektrická vodivost a pH a následně byl do nich vložen předem zvážený a změřený ocelový plíšek pro zhodnocení korozních úbytků. Měření korozních úbytků bylo provedeno za účelem zjištění rozměrových a hmotnostních změn na ocelových plíščích s cílem určit rozsah plošné koroze. Hodnoty korozních úbytků se pohybovaly v rozmezí 0,001–0,046 g·m<sup>-2</sup>. Hodnoty korozních úbytků u výluhů z pigmentů byly procentuálně vztahovány k hodnotám v destilované vodě (100 %).

Procentuální korozní úbytky jsou zobrazeny na obrázku 37. Nejnižší hodnota korozního úbytku byla naměřena u ZnO, která činila 1,95 % a nejvyšší hodnota korozního úbytku byla naměřena u MoS<sub>2</sub>, která činila 96,49 %.

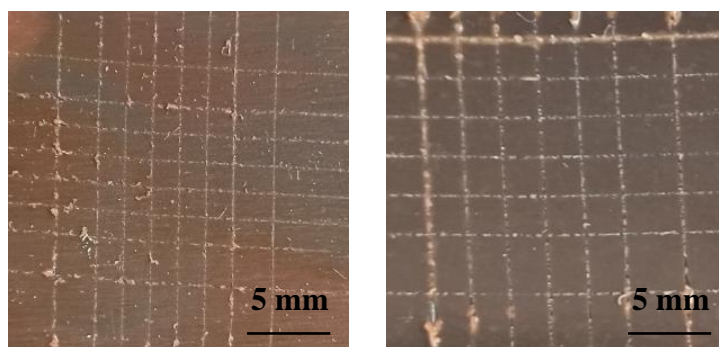


Obrázek 37: Hodnoty korozních úbytků v %

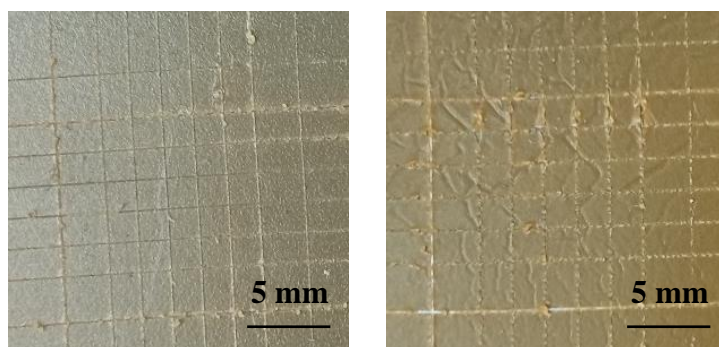
### 4.3. Zhodnocení mechanických vlastností nátěrových filmů

Mechanické vlastnosti nátěrových filmů byly hodnoceny na ocelových panelech s nátěrovým filmem o DFT =  $75 \pm 10$   $\mu\text{m}$ . U takto připravených nátěrů byla testována přilnavost pomocí mřížkové metody, odolnost vůči ohybu přes 4 mm trn, odolnost vůči úderu padajícího závaží z výšky 1 m a odolnost vůči hloubení pomocí Erichsenova přístroje.

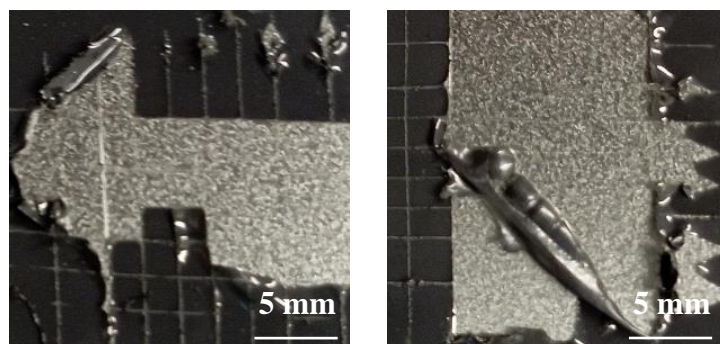
K testování přilnavosti mřížkovou metodou byl použit speciální řezací nůž s odstupem čepelí 2 mm. Pomocí tohoto nože byla do nátěru vytvořena mřížka, na které byla hodnocena přilnavost. Většina nátěrů vykazovala poměrně vysokou přilnavost hodnocenou stupněm 0 nebo 1. Nejlepší přilnavost vykazoval nátěrový film ZnS, kde byla u všech OKP přilnavost hodnocena stupněm 0 a dále SeO<sub>2</sub> a ZnSe, u kterých byla přilnavost při OKP 0,5 % hodnocena stupněm 1, jakožto mírné odlupování nátěru (do 5 %) a při OKP 1, 2 a 3 % byla přilnavost hodnocena stupněm 0, kdy nedošlo k žádnému odlupování. Naopak horší přilnavosti dosáhl nátěrový film MoS<sub>2</sub>, kdy došlo k úplnému roztržení mřížky. Ukázky výsledků testování přilnavosti jsou zobrazeny na obrázcích 38–40.



Obrázek 38: Mřížky nátěrových filmů s obsahem SeO<sub>2</sub> při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo)

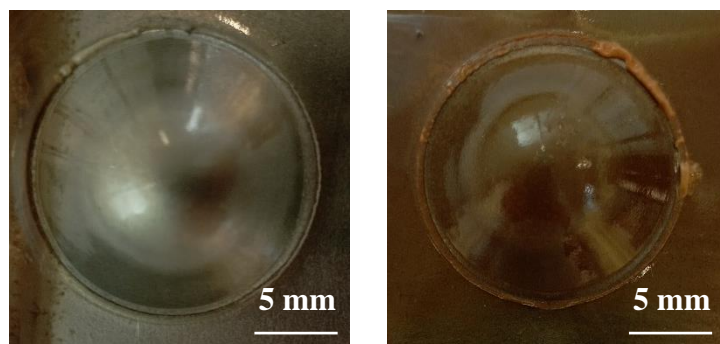


Obrázek 39: Mřížky nátěrových filmů s obsahem ZnSe při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo)

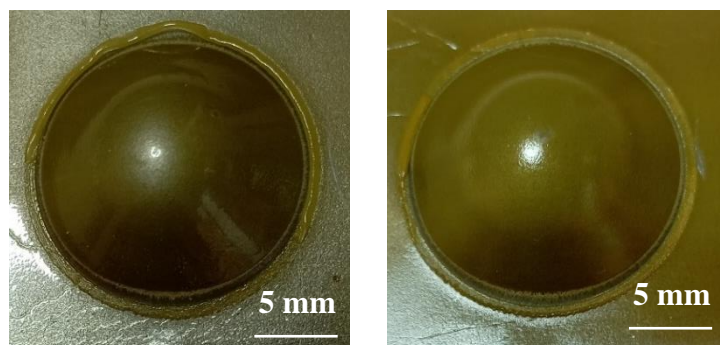


Obrázek 40: Mřížky nátěrových filmů s obsahem  $\text{MoS}_2$  při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo)

Všechny připravené nátěrové hmoty vykazovaly výborné mechanické vlastnosti, o čemž svědčí, že všechny nátěrové filmy vydržely ohyb přes 4 mm trn, úder 1000 g závaží z výšky 1 metru, kde nedošlo k žádnému poškození nátěru. Stejně tak tomu bylo i v případě zkoušky hloubením, kdy byla vtačována ocelová kulička do hloubky 10 mm. U žádného z nátěrových filmů nedošlo k popraskání ani k jakémukoliv jinému poškození. Na obrázcích 41 a 42 jsou ukázky výsledků měření odolnosti vůči hloubení.



Obrázek 41: Odolnost nátěrových filmů s obsahem  $\text{SeO}_2$  při OKP = 1 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo)

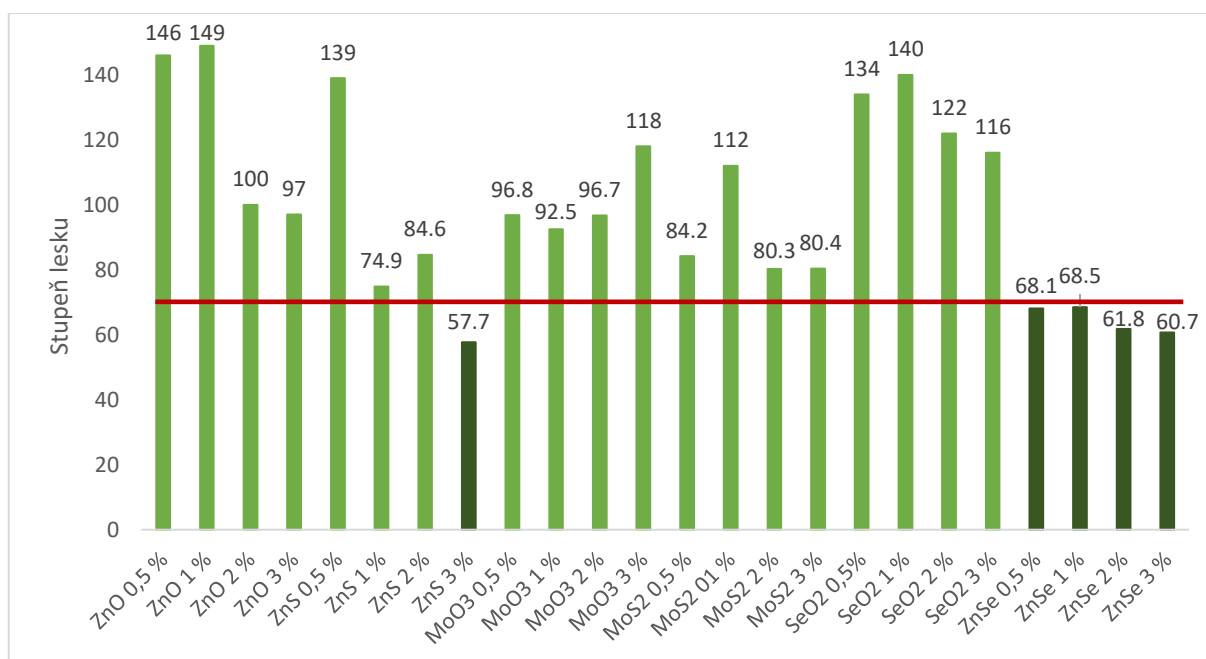


Obrázek 42: Odolnost nátěrových filmů s obsahem  $\text{ZnSe}$  při OKP = 2 % (vlevo) a OKP = 3 % (vpravo)

#### 4.4. Zhodnocení fyzikálně–mechanických vlastností nátěrových filmů

Na skleněných panelech s nátěrovým filmem o DFT = 50±10 μm byly hodnoceny fyzikálně–mechanické vlastnosti nátěrových filmů. Bylo provedeno stanovení lesku, relativní povrchové tvrdosti pomocí kyvadlového přístroje typu Persoz a dále zblednutí nátěru po kontaktu s vodou. Na podložních skličkách byl u nátěrových filmů změřen kontaktní úhel.

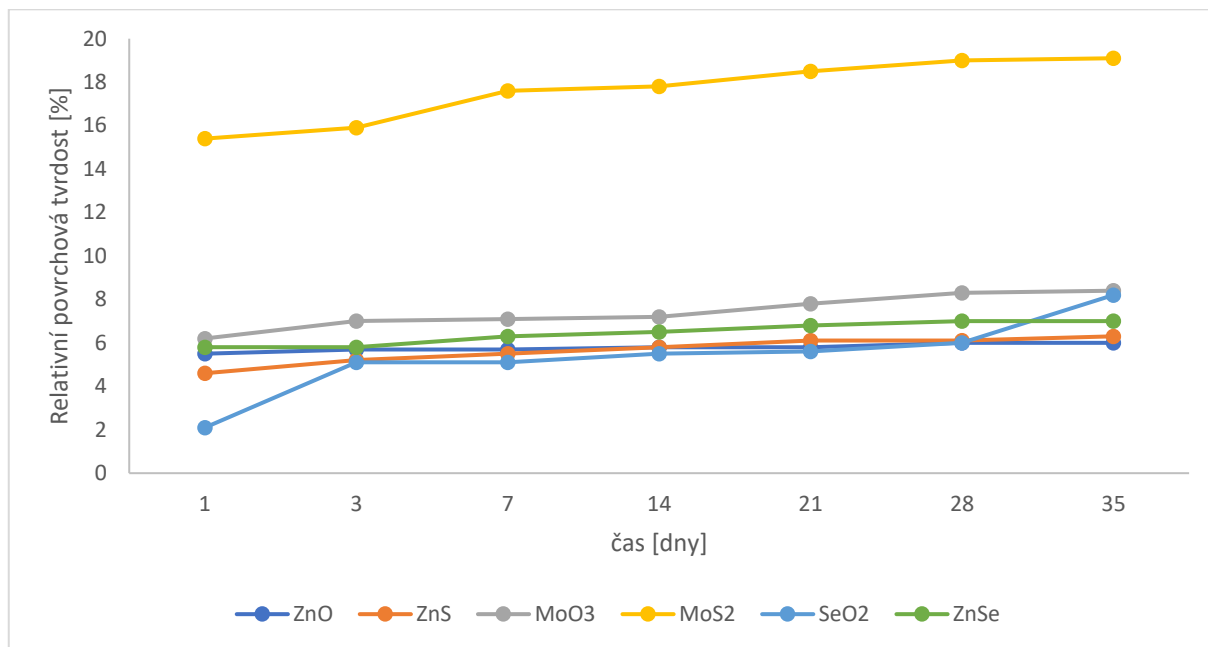
Lesk byl měřen každý sedmý den po dobu 35dní a následně hodnocen při 60°. Hodnoty lesku se v čase příliš neměnily, což svědčí o koloidní stabilitě nátěrových hmot. Hodnoty lesku po 35 dnech při 60° se pohybovaly v rozmezí 57,7 – 149 jednotek, což značí, že žádný nátěrový film nebyl označen jako matný (pod 10 jednotek). Po 35 dnech a při 60° byly nátěrové filmy s pigmenty ZnO, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnS při OKP = 0,5; 1 a 2 % označeny jako vysoce lesklé, neboť jejich hodnota byla vyšší než 70 jednotek. U nátěrových filmů s pigmenty ZnSe a ZnS při OKP = 3 % se hodnoty po 35 dnech a při 60° pohybovaly v rozmezí 10–70 jednotek, čímž spadají do kategorie středně lesklých nátěrových filmů. Znázornění středně a vysoce lesklých nátěrových hmot 35. den měření je znázorněno na obrázku 43.



Obrázek 43: Znázornění středně a vysoce lesklých nátěrových hmot

Stanovení relativní povrchové tvrdosti bylo provedeno pomocí kyvadlového přístroje typu Persoz každý sedmý den po dobu 35dní. Relativní povrchová tvrdost se u testovaných nátěrových filmů v čase nijak výrazně neměnila. K zesíťování nátěrových filmů došlo již v prvních sedmi dnech a dále se hodnoty žádným výrazným způsobem neměnily. Hodnoty relativní povrchové tvrdosti se 35. den pohybovaly v rozmezí 4,8–19,3 %. Největší relativní povrchové tvrdosti dosáhly nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub> v rozmezí 17,5–19,3 %, což je

způsobeno použitým pigmentem. Pigment  $\text{MoS}_2$  je lamelárního tvaru a dochází u něj ke zvýšení bariérového efektu, díky čemuž jsou nátěry  $\text{MoS}_2$  tvrdší než ty ostatní. Srovnání vývoje relativních povrchových tvrdostí všech nátěrových hmot, při OKP = 3 %, je znázorněno na obrázku 44.

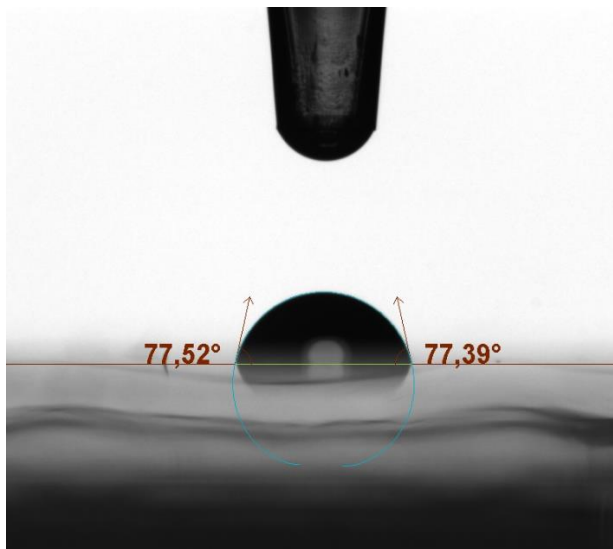


\* jednotlivé body byly propojeny čarami pro pochopení trendu vývoje relativní povrchové tvrdosti

Obrázek 44: Vývoj relativní povrchové tvrdosti všech nátěrových hmot, při OKP = 3 %

Nátěrové filmy nanesené na skleněné panely o  $\text{DFT} = 50 \pm 10 \mu\text{m}$  byly též testovány pro měření transparentnosti a bělení vodou. Vzhledem k vysoké průhlednosti lze předpokládat, že inkorporované pigmentové částice se vyskytovaly převážně v nanoměřítku a nijak při tvorbě nátěrového filmu nezhoršovaly koalescenci polyakrylátového latexu. Akrylátové nátěrové filmy obecně vykazují špatnou odolnost vůči působení vody, proto byly dané nátěrové filmy též testovány na bělení vodou. Bělení vodou je způsobeno „vodnými doménami“ v objemu latexového nátěrového filmu (světlo delších vlnových délek se silněji rozptyluje se zvětšující velikostí vodní domény). Výsledky měření ukázaly, že v případě nátěrových filmů s pigmenty ZnO, ZnS a ZnSe úroveň zbělení po 2 hodinách klesala s rostoucí hodnotou OKP daných pigmentů. Po 240hodinové expozici dosahovaly nejvyšší odolnosti nátěrové filmy s obsahem pigmentu ZnO, u nichž se hodnota zbělení pohybovala v rozmezí 48,89–52,85 %. Naopak nižší odolnosti vůči zbělení dosáhly nátěrové filmy s pigmenty  $\text{MoS}_2$  a  $\text{SeO}_2$ , u nichž se hodnota zbělení pohybovala v rozmezí 46,52–84,81 %. Dané nátěrové filmy vykazovaly též výrazné snížení adheze nátěrového filmu.

Na skleněných podložních sklíčkách byl měřen kontaktní úhel pomocí optického tenziometru (viz obrázek 45). Výsledné hodnoty kontaktních úhlů se pohybovaly v rozmezí 51,49 – 85,50°. Všechny testované nátěry jsou hydrofilní, neboť hodnota kontaktního úhlu nepřesáhla hodnotu 90°. Výsledná hydrofilita nátěrových filmů souvisí s monomery použitými při syntéze pojiva. Použité monomery neobsahují žádné hydrofobní skupiny, které by zvyšovaly hodnotu kontaktního úhlu, a tím i hydrofobitu. Použité částice tedy neměly žádný výrazný vliv na zvýšení hydrofobity nátěrových filmů.



Obrázek 45: Měření kontaktního úhlu optickým tenziometrem

#### 4.5. Zhodnocení chemických vlastností nátěrových filmů

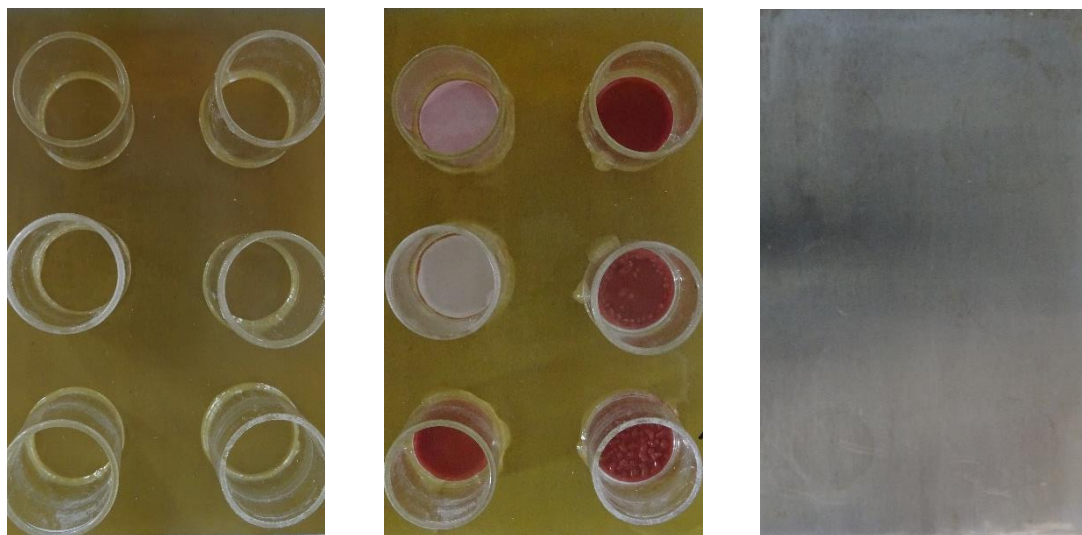
Mezi metody testování chemické odolnosti patří testování odolnosti vůči methylethylketonu, které bylo provedeno na skleněných panelech při DFT =  $50 \pm 10$   $\mu\text{m}$ . Toto měření bylo prováděno 1., 3., 7., 14., 21. a 28. den. Další metodou, která se řadí mezi metody hodnocení chemických vlastností je stanovení odolnosti vůči pufrům, které bylo provedeno na ocelových panelech při DFT =  $75 \pm 10$   $\mu\text{m}$ . Testování bylo prováděno 14 dní, kdy bylo vždy po týdnu provedeno hodnocení tvorby puchýřků a případný vznik koroze.

Při stanovení odolnosti vůči methylethylketonu došlo odstupem času ke zvýšení chemické odolnosti nátěrového filmu vlivem jeho vytvrzování. U všech nátěrových filmů došlo po určité době k úplnému prodření až na skleněný panel, a proto byly hodnoceny stupněm poškození 0. Měření chemické odolnosti pomocí methylethylketonu bylo ukončeno 28. den. Nejvyšší chemické odolnosti dosáhly nátěrové filmy s pigmenty  $\text{MoS}_2$  a  $\text{SeO}_2$  při všech hodnotách OKP, kdy se odolnost nátěrů pohybovala v rozmezí 148–184 s. Chemické odolnosti všech nátěrových filmů byly poměrně stejné a nejnižší chemickou odolnost vykazoval nátěrový film s pigmentem  $\text{MoO}_3$ , kde se hodnoty pohybovaly v rozmezí 124–135 s.

Chemická odolnost pigmentovaných latexových nátěrových filmů o DFT =  $75 \pm 10$   $\mu\text{m}$  nanesených na ocelových panelech byla též hodnocena v závislosti na pH korozního prostředí dle metody popsané v kapitole 2.11.2. Chemická odolnost byla hodnocena po 336hodinové expozici (viz tabulka 50), kdy na nátěrové filmy působily roztoky pufrů o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12. Po 336 hodinách působení tlumivých roztoků dosáhly nejvyšší chemické účinnosti nátěrové filmy s pigmentem  $\text{ZnSe}$  při OKP = 0,5 % a 1 %, u nichž se vytvořily puchýřky hodnocené stupněm 8F pouze při pH 12 a prorezivění nátěrových filmů bylo také velmi malé pohybující se v rozsahu 0,1 – 0,3 %. U daných nátěrových filmů ovšem vlivem působení pufrů došlo ke změně barevného odstínu nátěrového filmu. Srovnatelně vysoké chemické odolnosti dosáhly i organické povlaky s pigmentem  $\text{ZnS}$ , u nichž se objevily puchýřky hodnocené stupněm 8F a 6F opět pouze při OKP = 1 a 2 % a koroze v ploše nátěrového filmu byla jen velmi malá 0,1 % při pH 12. Po odstranění nátěrových filmů z ocelového podkladu vykazovaly dané systémy i velmi nízké hodnoty podkorodování ocelového podkladu pohybující se v rozsahu 0,03–1 %. Naopak nízké chemické odolnosti v závislosti na pH korozního prostředí dosáhly nátěrové filmy s pigmenty  $\text{ZnO}$  a  $\text{SeO}_2$ , u nich se již po 168 hodinách expozice objevilo při všech hodnotách pH velké množství puchýřů hodnocené stupni 8F – 8MD, a prorezivění se pohybovalo v rozsahu 0,03 – 3 %. Navíc nátěrové filmy s pigmentem  $\text{SeO}_2$  vykazovaly při

všech hodnotách OKP značné vrásnění svědčící o jejich nízké adhezi a také i výraznou změnu barevného odstínu.

Působení pufrů vůči ZnSe při OKP = 3 % je zobrazeno na obrázku 46. Zleva fotografie před zahájením, po 336 hodinách a po stažení.

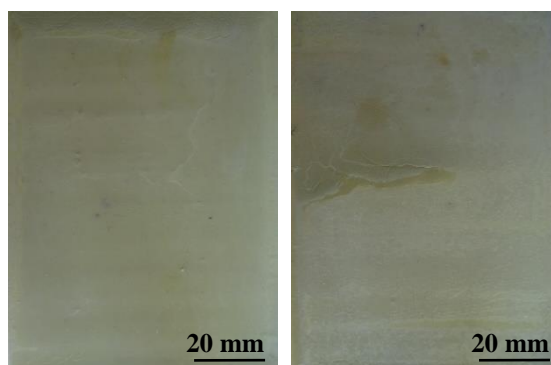


*Obrázek 46: Působení pufrů na ZnSe při OKP = 3 %*

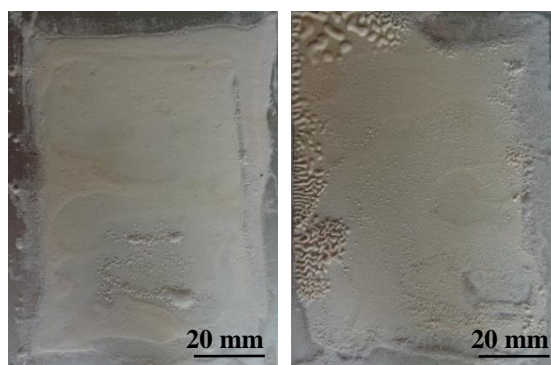
*(levý sloupeček pH = 2, 4, 6 a pravý sloupeček pH 8, 10, 12 – vždy v tomto pořadí)*

#### 4.6. Zhodnocení odolnosti nátěrových filmů vůči korozi

Metodou použitou pro hodnocení odolnosti vůči zvýšené teplotě, vlhkosti a tvorbě osmotických puchýřů byl tzv. „Sandwich test“, při kterém byly na hliníkové panely s latexovými nátěrovými filmy o  $DFT = 75 \pm 10 \mu\text{m}$  položeny mokré filtrační papíry. Panely i s filtračními papíry byly uzavřeny do polyethylenových fólií a vloženy do sušárny po dobu 24 a 48 hodin při teplotě  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Po 24 a 48 hodinách byly filtrační papíry odstraněny a byla hodnocena velikost a četnost vzniklých puchýřků. Nejvyšší odolnosti dosáhl nátěrový film s obsahem ZnSe, kde se pouze při  $OKP = 2 \%$  objevily puchýře v ploše s hodnocením 8F. U zbylých hodnot  $OKP$  daného pigmentu nedošlo k žádnému dalšímu vytvoření puchýřů, pouze k vrásnění. Obdobně dobrého výsledku dosáhl nátěrový film s obsahem  $\text{MoS}_2$ , u kterého se nevytvořily téměř žádné puchýře a případně byly hodnoceny stupněm 8F. Naopak nízké odolnosti vůči tvorbě puchýřů dosáhly nátěrové filmy s pigmentem  $\text{SeO}_2$ , kde se již po 24 hodinách objevilo malé množství puchýřů a po 48 hodinách došlo k výraznému vrásnění a nárůstu počtu puchýřů hodnocených stupněm 8M a 8MD. U nátěrového filmu s pigmentem  $\text{SeO}_2$  při  $OKP = 2 \%$  došlo k vytvoření větších puchýřů hodnocených stupněm 6MD, daný nátěrový film tedy vykazoval nejnižší odolnost vůči sorpci vody. Na obrázcích 47 a 48 jsou znázorněny výsledky testování nátěrových filmů s pigmenty ZnSe a  $\text{SeO}_2$ .



Obrázek 477: Tvorba puchýřků po 48 hodinách u nátěrového filmu s obsahem ZnSe, při  $OKP = 2 \%$  (vlevo) a  $OKP = 3 \%$  (vpravo)



Obrázek 488: Tvorba puchýřků po 48 hodinách u nátěrového filmu s obsahem  $\text{SeO}_2$ , při  $OKP = 2 \%$  (vlevo) a  $OKP = 3 \%$  (vpravo)

## 5. DISKUZE

Tato práce navazuje na diplomovou práci Kateřiny Steidlové (2023), která testovala antimikrobiální účinnost nátěrových filmů vůči *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli* a disertační práci Denisy Steinerové, která sledovala antifungální účinnost nátěrových filmů vůči *Aspergillus brasiliensis* a *Penicillium chrysogenum*. V této práci byly testovány bakterie *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* a plísně *Aspergillus brasiliensis* a *Penicillium chrysogenum*.

### 5.1. Diskuze k antimikrobiálním vlastnostem nátěrových hmot

#### 5.1.1. Vliv zinku na antimikrobiální účinnost

Z naměřených hodnot antimikrobiální účinnosti nátěrových filmů obsahujících zinek (ZnO a ZnS) vůči *E. faecalis* a *P. aeruginosa* bylo zjištěno, že nemají žádný inhibiční účinek vůči *E. faecalis*. Naopak u *P. aeruginosa* se inhibiční účinek ukázal, a to při vyšších koncentracích pouze u nátěrových filmů s obsahem pigmentu ZnO.

Djearamane a kolektiv (2022) testovali antimikrobiální účinnost ZnO vůči *E. faecalis*. Byla připravena řada bakteriální suspenze, která byla vystavena nanočásticím ZnO tak, aby byla získána koncentrační řada o 5, 10, 20, 40, 80 a 160 µg/ml ZnO. Vzorky byly inkubovány 24 hodin při teplotě 35 °C a poté byla stanovena jejich optická denzita při 600 nm. Výsledkem byla významná inhibice *E. faecalis* při všech koncentracích.

Dhanasegaran a kolektiv (2022) sledovali antimikrobiální vliv ZnO na *P. aeruginosa*. Do připravených buněčných suspenzí byla přidány nanočástice ZnO tak, aby byla vytvořena řada o koncentracích 5, 10, 25, 50, 100 a 150 µg/ml ZnO. Takto připravené vzorky byly inkubovány 24 hodin při teplotě 37 °C a poté byla měřena jejich optická hustota. Výsledkem bylo zjištění, že inhibice je závislá na množství přidávaných nanočástic ZnO a u *P. aeruginosa* se projevila pouze u vyšších koncentrací.

Segura a kolektiv (2023) studovali působení nanočástic ZnS vůči *E. faecalis* a *P. aeruginosa*. Pro testování byla zvolena metoda agarové difúze. Byla vytvořena buněčná suspenze o zákalu 0,5 McFarlanda, která byla nanášena na misky s Müller–Hinton agarem. Na tyto misky byly přidány kapky nanočástic o koncentracích 20 a 40 µg/ml ZnS. Po 24hodinové inkubaci při 35 °C byly změřeny inhibiční zóny. Ani u jedné z testovaných bakterií nedošlo k významné inhibici jejího růstu.

Výsledky uvedené literaturou se shodovaly pouze s naměřenými hodnotami u *P. aeruginosa*, kde došlo k inhibici růstu působením pigmentu ZnO při vyšších hodnotách OKP. Ale u *E. faecalis* se výsledky s literaturou neshodují, neboť k inhibici jeho růstu působením pigmentu ZnO nedošlo. To může být způsobeno například používáním nízkých koncentrací ZnO v nátěrových hmotách. Naopak při použití nanočástic ZnS se výsledky s literaturou shodují u obou testovaných bakterií, neboť ani v jednom případě nedošlo k inhibici jejich růstu.

#### 5.1.2. Vliv zinku na antifungální účinnost

Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že nátěrové filmy s obsahem ZnO i ZnS mají antifungální účinnost vůči *A. brasiliensis*, ale u plísňe *P. chrysogenum* se tato účinnost nepotvrdila.

He a kolektiv (2011) testovali antifungální účinnost nanočástic ZnO vůči *Penicillium expansum*. K tomuto testování byla použita metoda ředění agaru. Do agarového média byly přidány nanočástice ZnS o koncentracích 3, 6 a 12 mmol/l. Na tato média bylo aplikováno inokulum *Penicillium expansum* a poté byla provedena kultivace při teplotě 25 °C po dobu 12 dní. Hodnocení bylo provedeno měřením průměru kolonií. ZnO vykazoval antifungální účinnost vůči *Penicillium expansum*. Prokázali také, že se zvyšující se koncentrací ZnO se zvyšovala antifungální účinnost.

Alhazmi a Sharaf (2023) zkoumali vliv nanočástic ZnO na *Aspergillus flavus*. Nejprve byla připravena suspenze o koncentraci  $2-5 \cdot 10^6$  spor/ml, která byla nanášena na agarovou plotnu. Následně byl na misku aplikován disk s obsahem ZnO o koncentraci 10 mg/ml. Tato připravená miska byla kultivována 48 hodin při teplotě 35 °C, a nakonec byla změřena hodnota MIC. Byl prokázán inhibiční účinek vůči *Aspergillus flavus* a zároveň bylo zjištěno, že byl inhibiční účinek vyšší u kmene rezistentního na azoly.

Dheeb a kolektiv (2019) studovali antifungální účinnost nanočástic ZnS vůči *Aspergillus fumigatus* a *Aspergillus flavus*. Zvolili agarovou diluční metodu, kdy byl agar smíchán s nanočásticemi ZnS o koncentracích 0,03; 0,06; 0,3 a 0,6 M. Na půdy bylo aplikováno inokulum a takto připravené misky byly kultivovány 7–10 dní při teplotě 28 °C. Následně byla vypočítána antifungální aktivita, která prokázala inhibiční účinek vůči oběma testovaným plísním. Rovněž bylo zjištěno, že se zvyšující se koncentrací ZnS roste i jeho antifungální aktivita.

Výsledky, které literatura uvádí se shodují pouze s výsledky u *Aspergillus brasiliensis*, kde došlo k antifungální účinnosti obou nátěrových filmů se zinkem. Naopak v případě *Penicillium chrysogenum* nebyl prokázán žádný inhibiční účinek těchto nátěrových filmů. He a kolektiv (2011) sledovali, že nanočástice zinku pravděpodobně deformují houbové struktury a to tak, že potlačují rozvoj konidií a zcela inhibují jejich klíčení.

### 5.1.3. Vliv molybdenu na antimikrobiální účinnost

Z naměřených hodnot byla zjištěna antimikrobiální aktivita  $\text{MoO}_3$  vůči oběma testovaným bakteriím. U *E. faecalis* byly nátěrové filmy s obsahem molybdenu účinné při vyšších hodnotách OKP, zatímco u *P. aeruginosa* se antimikrobiální účinnost projevila v celém rozsahu koncentrací. Naopak při testování  $\text{MoS}_2$  nedošlo k inhibičním účinkům ani v jednom případě.

Lopes a kolektiv (2018) testovali  $\text{MoO}_3$  pomocí difúzní metody na bakteriích *E. faecalis* a *P. aeruginosa*. Pro tuto metodu byl použit trypton–sojový agar a z částic  $\text{MoO}_3$  byla připravena testovací řada o koncentracích 5, 10, 25, 50, 75 a 100 mg/ml. Po 24hodinové inkubaci při 35 °C byla stanovena minimální inhibiční koncentrace. U obou bakterií byla zjištěna  $\text{MoO}_3$ , která vedla k inhibici jejich růstu.

Krishnamoorthy a kolektiv (2013) studovali vliv  $\text{MoO}_3$  vůči *E. faecalis*. Byla vybrána mikrodiluční metoda, při které byly použity nanodestičky  $\text{MoO}_3$ . Výsledkem byla dobrá aktivita  $\text{MoO}_3$  vůči *E. faecalis*, neboť bylo zjištěno že interakce mezi  $\text{MoO}_3$  a bakteriemi vede k narušení jejich buňky a tím i k buněčné smrti.

Ali a De (2022) zkoumali antimikrobiální účinnost  $\text{MoS}_2$  vůči *E. faecalis* a *P. aeruginosa*. Pro toto měření byly použity pozitivní syntetizované nanoklastry niklu s dvourozměrným nanokompozitem  $\text{MoS}_2$ . Bakteriální suspenze byla naočkována do 96jamkové destičky spolu se syntetizovaným  $\text{MoS}_2$  a destička byla inkubována 2 hodiny při 37 °C. Poté byla vždy část rozetřena na živný agar a po inkubaci byla sledována tvorba kolonií. Tento test ukázal inhibiční účinek vůči *E. faecalis*, zatímco u *P. aeruginosa* k žádné inhibici nedošlo.

Výsledky uvedené v literatuře se zcela shodují v případě použití částic  $\text{MoO}_3$ . Při testování *E. faecalis* i *P. aeruginosa* došlo ke vzniku inhibičních účinků. Lopes a kolektiv (2018) vysvětlili, že antimikrobiální aktivita  $\text{MoO}_3$  je způsobena uvolňováním hydroxoniových iontů ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) vytvářejících kyselé prostředí pro bakteriální buňky.

V případě antimikrobiální účinnosti nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub> dochází ke shodě výsledků u *P. aeruginosa*, ale u bakterie *E. faecalis* nedošlo k inhibici růstu, což může být způsobeno rozdílným použitím testovaných částic. Ali a De (2022) použili kladně nabitý nanokompozit MoS<sub>2</sub>. Pozitivita nanokompozitu totiž vykazuje lepší antimikrobiální aktivitu než nativní forma. Pozitivní forma napomáhá interakci s bakteriemi a také průniku nanomateriálů do bakterií porušením jejich buněčné membrány.

#### 5.1.4. Vliv molybdenu na antifungální účinnost

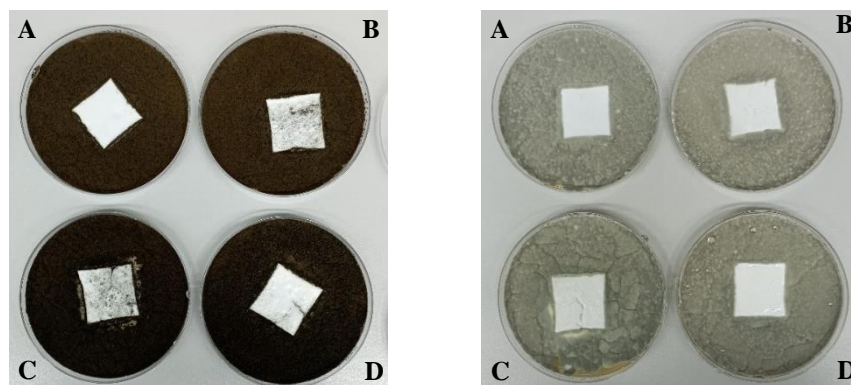
Z naměřených hodnot antifungální účinnosti vůči *Aspergillus brasiliensis* a *Penicillium chrysogenum* byla zjištěna inhibiční účinnost vůči oběma testovaným plísním, ovšem pouze u vyšších koncentrací použitých částic MoS<sub>2</sub>. Naopak u částic MoO<sub>3</sub> k inhibičním účinkům docházelo pouze omezeně (viz obrázek 49).

Fakhri a Nejad (2016) studovali antifungální účinnost MoO<sub>3</sub> vůči *Aspergillus niger* pomocí diskové difúzní metody. Na agarovou plotnu byla rozetřena suspenze spor a na ni byl položen disk s obsahem 10 mg/ml MoO<sub>3</sub>. Miska byla inkubována 72 hodin při 28 °C a následně byla změřena zóna inhibice. MoO<sub>3</sub> prokázal inhibiční účinek vůči *Aspergillus niger*.

Zhang a kolektiv (2019) se zabývali antifungální účinností látek s obsahem MoS<sub>2</sub>. Pro toto testování byl vybrán *Aspergillus niger*, jehož spory byly kultivovány v bujonech s obsahem s obsahem 10, 20 a 30 µg testovaných nanočástic, po dobu 72 hodin při teplotě 25 °C. Spory byly následně dvakrát promyty fyziologickým roztokem s fosfátovým pufrem a barveny propidium jodidem po dobu 30 minut ve tmě. Poté byly opět dvakrát promyty a pozorovány pod fluorescenčním mikroskopem. Bylo zjištěno, že došlo k inhibici proliferace spor plísní.

Mulu a kolektiv (2021) zkoumali antifungální účinnost nanočástic MoS<sub>2</sub>. Testování bylo prováděno agarovou difúzní metodou na plísní *Penicillium chrysogenum*. Výsledkem bylo prokázání zvyšujícího se antifungálního účinku se zvyšující se koncentrací MoS<sub>2</sub>.

Výsledky obsažené v literatuře se převážně shodují s naměřenými výsledky. Bylo vypořádáno, že se antifungální účinnost vůči rodu *Aspergillus* i rodu *Penicillium* zvyšovala, se zvyšující se hodnotou OKP u nátěrových filmů s obsahem MoS<sub>2</sub>. Ovšem u nátěrových filmů s obsahem MoO<sub>3</sub> se výsledky liší, neboť nedošlo k žádným inhibičním účinkům. Může to být způsobeno problémy při dispergaci částic do pojiva, neboť docházelo k velkému srážení pigmentu.



Obrázek 49: Antifungální účinnost  $\text{MoO}_3$  vůči *A. brasiliensis* (vlevo) a *P. chrysogenum* (vpravo), při OKP A) 0,5 %, B) 1 %, C) 2 % a D) 3 %

#### 5.1.5. Vliv selenu na antimikrobiální účinnost

Z naměřených hodnot byla zjištěna antimikrobiální aktivita nátěrových filmů s obsahem pigmentu  $\text{SeO}_2$  u obou testovaných bakterií. V případě *Enterococcus faecalis* byla stanovena účinnost v celém rozsahu testovaných koncentrací. V případě *Pseudomonas aeruginosa* byly nátěrové hmoty s obsahem pigmentu  $\text{SeO}_2$  účinné pouze při vyšších hodnotách OKP. Stejně tomu bylo i při testování nátěrových filmů s obsahem  $\text{ZnSe}$ , kdy *E. faecalis* vykazoval inhibiční účinek v celém rozsahu testovaných koncentrací nátěrových hmot s obsahem  $\text{ZnSe}$ , ale u *P. aeruginosa* došlo k inhibičním účinkům pouze při vyšších koncentracích.

Miglani a Tani–Ishii (2021) studovali antimikrobiální účinnost nanočástic selenu vůči *E. faecalis*. Bakteriální suspenze byla nanášena na krevní agar s 5 % defibrinované ovčí krve. Na miskou byly poté rozmístěny papírové disky obsahující nanočástice selenu v rozmezí 10-40  $\mu\text{l}$ . Po následné inkubaci byly vyhodnoceny minimální inhibiční koncentrace v okolí papírových disků. Tento test ukázal, že nanočástice selenu mají schopnost inhibovat růst *Enterococcus faecalis*.

Zhang a kolektiv (2021) testovali antimikrobiální účinnost nanočástic selenu vůči *Pseudomonas aeruginosa*. Při tomto testování byla smíchána bakteriální suspenze s nanočásticemi selenu o koncentracích 10, 40, 60, 80 a 100 mg/l. Během inkubace byly každé 3 hodiny odebírány vzorky a u nich byla měřena koncentrace bakteriálního kmene pomocí UV-Vis analýzy. Výsledkem bylo prokázání antimikrobiální účinnosti vůči *P. aeruginosa*, neboť nanočástice selenu pravděpodobně dokáží pronikat buněčnou stěnou gramnegativních bakterií a poškozovat jejich buněčnou membránu.

Výsledky uvedené v literatuře se shodují s naměřenými výsledky. U *Enterococcus faecalis* i *Pseudomonas aeruginosa* dochází k potlačení jejich růst. Částice selenu se jeví jako neefektivnější pro antimikrobiální použití.

#### 5.1.6. Vliv selenu na antifungální účinnost

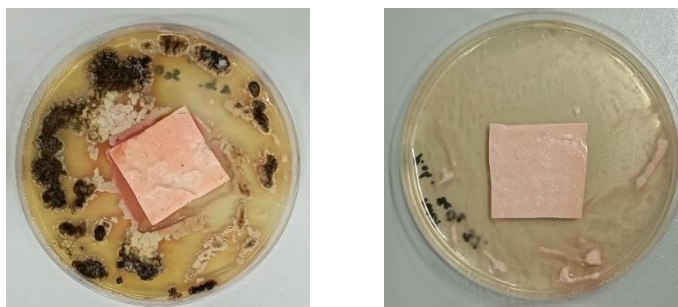
Z naměřených hodnot zjištěna antifungální aktivita, jak u nátěrových filmů s obsahem pigmentů  $\text{SeO}_2$ , tak  $\text{ZnSe}$  u obou testovaných plísní, tedy u *Aspergillus brasiliensis* i u *Penicillium chrysogenum*. U obou plísní se antifungální účinnost projevila v celém rozsahu testovaných koncentrací.

Shakibaie a kolektiv (2015) zkoumali vliv biogenních nanočástic selenu na antifungální účinnost vůči *Aspergillus fumigatus*. Byla provedena metoda mikrodiluční metoda v bujónu, kde byly nanočástice selenu naředěny v rozmezí 10–200  $\mu\text{g/ml}$ . Po 48 hodinách kultivace při 37 °C byly stanoveny hodnoty MIC, které prokázaly účinnou inhibici testované plísně.

Bafghi a kolektiv (2021) se zabývali antifungálním účinkem látek obsahujících selen. Suspenze spor byly naočkovány do 96jamkové destičky spolu s nanočásticemi selenu o koncentracích v rozmezí 0,125–64  $\mu\text{g/ml}$ . Destička byla inkubována 48 hodin při teplotě 35 °C. U *Aspergillus fumigatus* byla prokázána inhibice při koncentraci 2  $\mu\text{g/ml}$  selenu a vyšší.

Salem a kolektiv (2022) hodnotili antifungální účinnost nanočástic selenu vůči *Penicillium digitatum*. Byla vybrána metoda agarové difúze, při které bylo nejprve na agarovou plotnu rozetřeno 100  $\mu\text{l}$  suspenze spor a následně byly do půdy vyhotoveny jamky o průměru 6 mm, do kterých byly aplikovány nanočástice selenu. Po vyhodnocení zóny inhibice byl prokázán významný inhibiční účinek vůči *Penicillium digitatum*.

Výsledky uvedené v literatuře se zcela shodovaly s naměřenými výsledky. Částice selenu prokázaly nejvýznamnější antifungální účinnost, především ve sloučenině  $\text{SeO}_2$ . Nejenže nedošlo k růstu na povrchu volného filmu  $\text{SeO}_2$ , ale byl také potlačen růst v jeho okolí viz obrázek 50.



Obrázek 500: Antifungální účinnost  $\text{SeO}_2$ , při OKP = 3 % vůči *A. brasiliensis* (vlevo) a *P. chrysogenum* (vpravo)

## ZÁVĚR

Diplomová práce „*Příprava latexů s nanočásticemi selenu a studium vlivu nanočástic na antimikrobiální vlastnosti vzniklého filmu*“ se zabývá přípravou vodou ředitelných akrylátových nátěrových hmot s obsahem vybraných pigmentů ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe při objemové koncentraci 0,5; 1; 2 a 3 hm. % (vztaženo na latexovou frakci). Polyakrylátová disperze byla připravena radikálovou emulzní polymerací. Tato metoda přípravy latexů je nejen šetrná k životnímu prostředí, ale také časově a energeticky nenáročná. Nanočástice a mikročástice inkorporované do latexového polymeru působily jako funkční složky pro dosažení antimikrobiální účinnosti daných latexových nátěrových filmů, ale také pro zvýšení jejich chemické, mechanické a fyzikálně–mechanické účinnosti. Morfologie vybraných pigmentů byla studována pomocí skenovací elektronové mikroskopie. Nasyntetizované latexové pojivo na bázi kyseliny methakrylové, butylakrylátu a methylnmethakrylátu vykazovalo dostatečnou koloidní stabilitu. Změny užitných vlastností daného latexu byly pozorovány s ohledem na chemické složení a koncentraci vybraných inkudovaných pigmentů a byl také sledován vliv hodnoty OKP na fyzikálně – mechanické, chemické antimikrobiální a antifungální vlastnosti výsledných latexových nátěrových filmů.

Nejprve byla provedena základní charakterizace vybraných pigmentů, stanovení hustoty, olejového čísla a hodnoty KOKP nezbytné pro sestavení formulací modelových nátěrových hmot. Vodou ředitelné nátěrové hmoty s obsahem vybraných pigmentů při objemové koncentraci 0,5; 1; 2 a 3 hm. %, byly připraveny procesem dispergace pomocí zařízení Disolver, kdy došlo k rovnoměrnému rozptýlení daných pigmentů v latexové pojivu. Z těchto nátěrových hmot byly poté zhotoveny nátěrové filmy na skleněné a ocelové panely a byly také připraveny volné filmy vylitím do silikonových forem. Z výsledků je patrné, že veškeré nátěrové filmy aplikované na ocelové panely vykazovaly výborné mechanické vlastnosti. Pro studium fyzikálně–mechanických a chemických vlastností byly akrylátové latexy nanесeny na skleněné panely. Vysoká chemická odolnost byla zaznamenána u organických povlaků s pigmentem SeO<sub>2</sub> při všech hodnotách OKP při testování pomocí methylethylketonu. Chemická odolnost nátěrů byla rovněž hodnocena v závislosti na pH korozního prostředí, kde nejvyšší účinnosti dosáhly nátěrové filmy s pigmentem ZnSe. S výjimkou systémů s pigmentem ZnSe vykazovaly veškeré nátěrové filmy vysoký lesk, bez ohledu na typ nebo koncentraci vložených pigmentových částic, který se s odstupem času výrazným způsobem neměnil. Měření relativní povrchové tvrdosti ukázalo, že veškeré nátěrové filmy byly vytvrzeny již během prvních 7 dní a hodnoty tvrdosti se již nijak výrazně

neměnilo. Zároveň nebyl pozorován vliv začleněných částic pigmentů na povrchovou tvrdost nátěrových filmů, která se pohybovala v rozmezí 4,8–10,0 %. Nízké hodnoty tvrdostí souvisely s nízkou pigmentací nátěrových hmot. Výjimkou byly pouze organické povlaky s pigmenty MoS<sub>2</sub>, kde se relativní povrchová tvrdost pohybovala v rozmezí 17,5–19,3 %. Dále byl pozorován vliv hodnoty OKP na antimikrobiální účinnost latexových nátěrových filmů dle normy ISO 22196: 2011. Nejvyšší antimikrobiální účinnost prokázaly systémy obsahující pigmenty SeO<sub>2</sub> a ZnSe při všech hodnotách OKP, které dokázaly zcela inhibovat růst grampozitivní bakterie *Enterococcus faecalis* a při vyšší koncentraci i gramnegativní bakterii *Pseudomonas aeruginosa*. Při testování antifungální účinnosti dle normy ASTM D5590, dokázaly téměř všechny nátěrové filmy inhibovat růst *Aspergillus brasiliensis*, kdežto u plísně *Penicillium chrysogenum* došlo k její inhibici pouze u nátěrových filmů s pigmentem SeO<sub>2</sub> a částečně s pigmenty ZnSe a MoS<sub>2</sub>. Nejvyšší antifungální účinnost jevil organický povlak s obsahem pigmentu SeO<sub>2</sub> při všech hodnotách OKP, který dokázal inhibovat růst plísní i ve svém okolí.

## POUŽITÁ LITERATURA

- 1) ADETUNJI, A. Bacteria Contamination of Fresh Water-Based Paint Samples. *Biology and Life Sciences*, 2023. Dostupné z: doi:10.20944/preprints202304.1216.v1
- 2) AGHANASHINI, S., CH. JAYACHANDRAN, D. BM, S. NADIGER, A. SM a N. CHANDRAN. Quorum sensing – Meetings in the Microbial World. *Journal of Research in Medical and Dental Science*, 2015. **3**(3), 161. ISSN 2347-2545.
- 3) ALHAZMI, N. M. a E. M. SHARAF. Fungicidal Activity of Zinc Oxide Nanoparticles against Azole-Resistant *Aspergillus flavus* Isolated from Yellow and White Maize. *Molecules*, 2023. **28**(2), 711. ISSN 1420-3049
- 4) ALI, S. R. a DE, M. Superparamagnetic Nickel Nanocluster-Embedded MoS<sub>2</sub> Nanosheets for Gram-Selective Bacterial Adhesion and Antibacterial Activity. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 2022. **8**(7), 2932–2942. ISSN 2373-9878, 2373-9878
- 5) ARENDRUP, M. C. Update on antifungal resistance in *Aspergillus* and *Candida*. *Clinical Microbiology and Infection*, 2014. **20**, 42–48. ISSN 1198743X
- 6) ARGAIZ, M., M. AGUIRRE a R. TOMOVSKA. Towards improved performance of waterborne polymer dispersions through creation of dense ionic interparticle network within their films. *Polymer*, 2023. **265**, 11. ISSN 00323861
- 7) BAFGHI, M. H., M. DARROUDI, M. ZARGAR, H. ZARRINFAR a R. NAZARI. Biosynthesis of selenium nanoparticles by *Aspergillus flavus* and *Candida albicans* for antifungal applications. *Micro & Nano Letters*, 2021. **16**(14), 656–669. ISSN 1750-0443, 1750-0443
- 8) BAKKE, R., R. KOMMEDAL a S. KALVENES. Quantification of biofilm accumulation by an optical approach. *Journal of Microbiological Methods*, 2001. **44**(1), 13–26. ISSN 01677012
- 9) BARNES, A.M.T., J.L. DALE, Y. CHEN, D.A. MANIAS, K.E. GREENWOOD QUAINANCE, M.K. KARAU, P.C. KASHYAP, P. PATEL, C.L. WELLS a G.M. DUNNY. *Enterococcus faecalis* readily colonizes the entire gastrointestinal tract and forms biofilms in a germ-free mouse model. *Virulence*, 2017. **8**(3), 282–296. ISSN 2150-5594, 2150-5608

- 10) BEDNÁŘ, M., A. SOUČEK a J. VÁVRA, *Lékařská speciální mikrobiologie a parazitologie*. Praha: Triton, 1994. ISBN 978-80-901521-4-4
- 11) BĚHÁLEK, L. Stárnutí polymerů. *Publi*, 2014. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/16.html>
- 12) BEHZADINASAB, S., M.D. WILLIAMS, J.O. FALKINHAM a W.A. DUCKER. Facile Implementation of Antimicrobial Coatings through Adhesive Films (Wraps) Demonstrated with Cuprous Oxide Coatings. *Antibiotics*, 2023. **12**(5), 920. ISSN 2079-6382
- 13) BIRKETT, M., L. DOVER, C. CHERIAN LUKOSE, A. WASY ZIA, M.M. TAMBUWALA a Á. SERRANO-AROCA. Recent Advances in Metal-Based Antimicrobial Coatings for High-Touch Surfaces. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022. **23**(3), 1162. ISSN 1422-0067
- 14) BOCCELLA, M., B. SANTELLA, P. PAGLIANO, A. DE FILIPPIS, V. CASOLARO, M. GALDIERO, A. BORRELLI, M. CAPUNZO, G. BOCCIA a G. FRANCI. Prevalence and Antimicrobial Resistance of Enterococcus Species: A Retrospective Cohort Study in Italy. *Antibiotics*, 2021. **10**(12), 1552. ISSN 2079-6382
- 15) BODEY, G.P., R. BOLIVAR, V. FAINSTEIN a L. JADEJA. Infections caused by *Pseudomonas aeruginosa*. *Reviews of Infectious Diseases*, 1983. **5**(2), 279–313. ISSN 0162-0886
- 16) BOYD, A. a A.M. CHAKRABARTY. *Pseudomonas aeruginosa* biofilms: role of the alginate exopolysaccharide. *Journal of Industrial Microbiology*, 1995. **15**(3), 162–168. ISSN 0169-4146, 1476-5535
- 17) BREIJYEH, Z., B. JUBEH a R. KARAMAN. Resistance of Gram-Negative Bacteria to Current Antibacterial Agents and Approaches to Resolve It. *Molecules*, 2020. **25**(6), 1340. ISSN 1420-3049
- 18) CORSARO, C., G. NERI, A. SANTORO a E. FAZIO. Acrylate and Methacrylate Polymers' Applications: Second Life with Inexpensive and Sustainable Recycling Approaches. *Materials*, 2021. **15**(1), 282. ISSN 1996-1944
- 19) COWEN, L.E., D. SANGLARD, S.J. HOWARD, P.D. ROGERS a D.S. PERLIN. Mechanisms of Antifungal Drug Resistance. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 2015. **5**(7). ISSN 2157-1422

- 20) D'ANTONIO, D., B. VIOLANTE, C. FARINA, R. SACCO, D. ANGELUCCI, M. MASCIULLI, A. IACONE a F. ROMANO. Necrotizing pneumonia caused by *Penicillium chrysogenum*. *Journal of Clinical Microbiology*, 1997. **35**(12), 3335–3337. ISSN 0095-1137, 1098-660X
- 21) DE OLIVEIRA, R.V.M., D. CORRÊA-MOREIRA, T.V. MENDES, G.L. DA COSTA, R. DE MAGALHÃES VIEIRA, C.M.N. BUCHELE, R.S. LINS, A.B.T.B.C. FERREIRA, D.B. VEIRA, R.S.D.A. PEDROSO, V.T.D.P. DE FARIA a M.M.E. OLIVEIRA. First report of fungal meningoencephalitis by *Penicillium chrysogenum* in Brazil. *International Journal of Infectious Diseases*, 2023. **126**, 94–97. ISSN 12019712
- 22) DHANASEGARAN, K., S. DJEARAMANE, S. X. T. LIANG, L. S. WONG, G. KASIVELU, P. F. LEE a Y. M. LIM. Antibacterial properties of zinc oxide nanoparticles on *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853). *Scientia Iranica*, 2021. **28**(6), 3806–3815. ISSN 1026-3098
- 23) DHEEB, B. I., S. M. A. AL-DUJAYLI, I. M. IBRAHIM, Q. A. ABBAS, A. H. ALI, A. RAMIZY, M. H. EISA, A. I. ALJAMEEL, I. M. ALI, B. M. KHASHMAN a A. F. HUSSAIN. Study the Antifungal Activity of ZnS:Mn Nanoparticles Against Some Isolated Pathogenic Fungi. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. **1178**, 012008. ISSN 1742-6588, 1742-6596
- 24) DIGGLE, S.P. a M. WHITELEY. *Pseudomonas aeruginosa*: opportunistic pathogen and lab rat. *Microbiology*, 2020. **166**(1), 30–33. ISSN 1350-0872, 1465-2080
- 25) DIGHORE, N., S. JADHAV, P. ANANDGAONKER, S. GAIKWAD a A. RAJBHOJ. Molybdenum Oxide Nanoparticles as Antimicrobial Agents. *Journal of Cluster Science*, 2017. **28**(1), 109–118. ISSN 1040-7278, 1572-8862
- 26) DJEARAMANE, S., Z. C. LOH, J. J. LEE, L. S. WONG, R. RAJAMANI, P. A. LUQUE, P. K. GUPTA a S. X. T. LIANG. Remedial Aspect of Zinc Oxide Nanoparticles Against *Serratia Marcescens* and *Enterococcus Faecalis*. *Frontiers in Pharmacology*, 2022. **13**, 891304. ISSN 1663-9812
- 27) DONLAN, R.M. Biofilm Formation: A Clinically Relevant Microbiological Process. *Clinical Infectious Diseases*, 2001. **33**(8), 1387–1392. ISSN 1058-4838, 1537-6591

- 28) DR. SAMANTHI. Difference Between Aspergillus and Penicillium. 2019. Dostupné z: <https://www.differencebetween.com/difference-between-aspergillus-and-penicillium/>
- 29) DWIVEDI, D. a T. SEHGAL. Biofilm Development in Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria. *Focus on Bacterial Biofilms*, 2022. ISBN 978-1-80355-795-3
- 30) EL-HOSHOUDY, A.N.M.B. Emulsion Polymerization Mechanism. *Recent Research in Polymerization*, 2018. ISBN 978-953-51-3746-7
- 31) FAHY, S., J.A. O'CONNOR, B. LUCEY a R.D. SLEATOR. Hospital Reservoirs of Multidrug Resistant Acinetobacter Species-The Elephant in the Room! *British Journal of Biomedical Science*, 2023. **80**, 11098. ISSN 2474-0896
- 32) FAKHRI, A. a P. A. NEJAD. Antimicrobial, antioxidant and cytotoxic effect of Molybdenum trioxide nanoparticles and application of this for degradation of ketamine under different light illumination. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2016. **159**, 211–217. ISSN 10111344
- 33) FAZELI, H., R. AKBARI, S. MOGHIM, T. NARIMANI, M.R. ARABESTANI a A.R. GHODDOUSI. Pseudomonas aeruginosa infections in patients, hospital means, and personnel's specimens. *Journal of Research in Medical Sciences: The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 2012. **17**(4), 332–337. ISSN 1735-1995
- 34) FIERRO, F., I. VACA, N.I. CASTILLO, R.O. GARCÍA-RICO a R. CHÁVEZ. Penicillium chrysogenum, a Vintage Model with a Cutting-Edge Profile in Biotechnology. *Microorganisms*, 2022. **10**(3), 573. ISSN 2076-2607
- 35) FOSSES VUONG, M., C.M. HOLLINGSHEAD a J.R. WAYMACK. Aspergillosis. *StatPearls*, 2023. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482241/>
- 36) FRENCH, G.L., J.A. OTTER, K.P. SHANNON, N.M.T. ADAMS, D. WATLING, a M.J. PARKS. Tackling contamination of the hospital environment by methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA): a comparison between conventional terminal cleaning and hydrogen peroxide vapour decontamination. *Journal of Hospital Infection*, 2004. **57**(1), 31-37. ISSN 01956701

- 37) GAYLARDE, C., M. RIBAS SILVA a T. WARSCHEID. Microbial impact on building materials: an overview. *Materials and Structures*, 2003. **36**(5), 342–352. ISSN 1359-5997, 1871-6873
- 38) GEORGES, M., E. ODOYO, D. MATANO, F. TIRIA, C. KYANY'A, D. MBWIKA, W.C. MUTAI a L. MUSILA. Determination of *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* Antimicrobial Resistance and Virulence Factors and Their Association with Clinical and Demographic Factors in Kenya. *Journal of Pathogens*, 2022. **2022**, 1–9. ISSN 2090-3065, 2090-3057
- 39) GUÉNEAU, V., J. PLATEAU-GONTHIER, L. ARNAUD, J–C. PIARD, M. CASTEX a R. BRIANDET. Positive biofilms to guide surface microbial ecology in livestock buildings. *Biofilm*, 2022. **4**, 100075. ISSN 25902075
- 40) GUEVARA-SUAREZ, M., D.A. SUTTON, J.F. CANO-LIRA, D. GARCÍA, A. MARTIN-VICENTE, N. WIEDERHOLD, J. GUARRO a J. GENÉ. Identification and Antifungal Susceptibility of Penicillium-Like Fungi from Clinical Samples in the United States. *Journal of Clinical Microbiology*, 2016. **54**(8), 2155–2161. ISSN 0095-1137, 1098-660X
- 41) GUPTA, P., R.G. SOLANKI, P. PATEL, K. SUJATA, R. KUMAR a A. PANDIT. Enhanced Antibacterial and Photoluminescence Activities of ZnSe Nanostructures. *ACS Omega*, 2023 **8**(15), 13670–13679. ISSN 2470-1343, 2470-1343
- 42) HE, L., Y. LIU, A. MUSTAPHA a M. LIN. Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Microbiological Research*, 2011. **166**(3), 207–215. ISSN 09445013
- 43) HUPKA, M., R. KEDIA, R. SCHAUER, B. SHEPARD, M. GRANADOS-PRESA, M. VANDE HEI, P. FLORES a L. ZEA. Morphology of *Penicillium rubens* Biofilms Formed in Space. *Life*, 2023. **13**(4), 1001. ISSN 2075-1729
- 44) HURYCH, J. a R. ŠTÍCHA. *Lékařská mikrobiologie: repetitorium*. Vydání 1. Praha: Stanislav Juhaňák – Triton, 2020. 206–207. ISBN 978-80-7553-844-4
- 45) CHEN, M., Q. YU a H. SUN. Novel Strategies for the Prevention and Treatment of Biofilm Related Infections. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013. **14**(9), 18488–18501. ISSN 1422-0067

- 46) CHERN, C. S. Emulsion polymerization mechanisms and kinetics. *Progress in Polymer Science*, 2006. **31**(5), 443–486. ISSN 00796700
- 47) CHOWDHARY, A., S. KATHURIA, K. AGARWAL, N. SACHDEVA, P.K. SINGH, S. JAIN a J.F. MEIS. Voriconazole-Resistant *Penicillium oxalicum*: An Emerging Pathogen in Immunocompromised Hosts. *Open Forum Infectious Diseases*, 2014. **1**(2). ISSN 2328-8957
- 48) JAMEEL, F.A.R. a S.N. YASSEIN. Virulence Potential of *Penicillium Chrysogenum* Isolated from Subclinical Bovine Mastitis. *Iraqi Journal of Science*, 2021. 2131–2142. ISSN 2312-1637, 0067-2904
- 49) JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, C., V.M. MORENO a M. VALLET-REGÍ. Bacteria-Assisted Transport of Nanomaterials to Improve Drug Delivery in Cancer Therapy. *Nanomaterials*, 2022. **12**(2), 288. ISSN 2079-4991
- 50) KALEDOVÁ, A. *Metody testování vlastností organických povlaků. Díl 1., Korozně-inhibiční účinnost organických povlaků*. Vydání 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, Chemicko-technologická fakulta. 2001. ISBN 978-80-7194-398-3
- 51) KESSEL, N., D.R. ILLSLEY a J.L. KEDDIE. The diacetone acrylamide crosslinking reaction and its influence on the film formation of an acrylic latex. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2008. **5**(3), 285–297. ISSN 1547-0091, 1935-3804
- 52) KHAN, H.A., F.K. BAIG a R. MEHBOOB. Nosocomial infections: Epidemiology, prevention, control and surveillance. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2017. **7**(5), 478–482. ISSN 22211691
- 53) KHIRALLA, G.M. a B.A. EL-DEEB. Antimicrobial and antibiofilm effects of selenium nanoparticles on some foodborne pathogens. *LWT - Food Science and Technology*, 2015. **63**(2), 1001–1007. ISSN 00236438
- 54) KOLÁŘOVÁ, L. *Obecná a klinická mikrobiologie*. Praha: Galén, 2020. ISBN 978-80-7492-477-4
- 55) KOZAKIEWICZ, J., I. OFAT a J. TRZASKOWSKA. Silicone-containing aqueous polymer dispersions with hybrid particle structure. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2015. **223**, 1–39. ISSN 00018686
- 56) KRISHNAMOORTHY, K., M. VEERAPANDIAN, K. YUN a S. J. KIM. New function of molybdenum trioxide nanoplates: Toxicity towards pathogenic bacteria through

- membrane stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2013. **112**, 521–524. ISSN 09277765
- 57) LIAO, J., L. WANG, S. DING, G. TIAN, H. HU, Q. WANG a W. YIN. Molybdenum-based antimicrobial nanomaterials: A comprehensive review. *Nano Today*, 2023. **50**, 101875. ISSN 17480132
- 58) LOBANOVSKA, M. a G. PILLA. Penicillin's Discovery and Antibiotic Resistance: Lessons for the Future? *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 2017. **90**(1), 135-145. ISSN 1551-4056
- 59) LOPES, E., S. PIÇARRA, P. L. ALMEIDA, H. DE LENCASTRE a M. AIRES-DE-SOUSA. Bactericidal efficacy of molybdenum oxide nanoparticles against antimicrobial-resistant pathogens. *Journal of Medical Microbiology*, 2018. **67**(8), 1042–1046. ISSN 0022-2615, 1473-5644
- 60) LORENZO, J.M., P.E. MUNEKATA, R. DOMINGUEZ, M. PATEIRO, J.A. SARAIVA a D. FRANCO. Main Groups of Microorganisms of Relevance for Food Safety and Stability. In: *Innovative Technologies for Food Preservation*, 2018. Elsevier, s. 53–107. ISBN 978-0-12-811031-7
- 61) MAHANTA, U., M. KHANDELWAL a A.S. DESHPANDE. Antimicrobial surfaces: a review of synthetic approaches, applicability and outlook. *Journal of Materials Science*, 2021. **56**(32), 17915–17941. ISSN 0022-2461, 1573-4803
- 62) MANCUSO, G., A. MIDIRI, E. GERACE a C. BIONDO. Bacterial Antibiotic Resistance: The Most Critical Pathogens. *Pathogens*, 2021. **10**(10), 1310. ISSN 2076-0817
- 63) MARUTHAPANDI, M., A. SARAVANAN, A. GUPTA, J.H.T. LUONG a A. GEDANKEN. Antimicrobial Activities of Conducting Polymers and Their Composites. *Macromol*, 2022. **2**(1), 78–99. ISSN 2673-6209
- 64) MAYERS, D.L., M.L. SOBEL, M. QUELLETTE, K.S. KAYE, a D. MARCHAIM. Antimicrobial drug resistance: clinical and epidemiological aspects. *Springer*, 2017. ISBN 978-3-319-47266-9
- 65) MENDES, C.R., G. DILARRI, C.F. FORSAN, V.D.M.R. SAPATA, P.R.M. LOPES, P.B. DE MORAES, R.N. MONTAGNOLLI, H. FERREIRA a E.D. BIDOIA.

- Antibacterial action and target mechanisms of zinc oxide nanoparticles against bacterial pathogens. *Scientific Reports*, 2022. **12**(1), 2658. ISSN 2045-2322
- 66) MESTACH, D. Reactive surfactants for commercial polymer dispersions. *Aqueous Polymer Dispersions*, 2004. 37–41. ISBN 978-3-540-00578-0
- 67) MIGLANI, S. a N. TANI-ISHII. Biosynthesized selenium nanoparticles: characterization, antimicrobial, and antibiofilm activity against *Enterococcus faecalis*. *PeerJ*, 2021. **9**, 11653. ISSN 2167-8359
- 68) MILLER, W.R., J.M. MUNITA a C.A. ARIAS. Mechanisms of antibiotic resistance in enterococci. *Expert Review of Anti-infective Therapy*, 2014. **12**(10), 1221–1236. ISSN 1478-7210, 1744-8336
- 69) MORITZ, M. a M. GESZKE-MORITZ. The newest achievements in synthesis, immobilization and practical applications of antibacterial nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 2013. **228**, 596–613. ISSN 13858947
- 70) MULU, M., D. RAMADEVI, N. BELACHEW a K. BASAVAIHAH. Hydrothermal green synthesis of MoS<sub>2</sub> nanosheets for pollution abatement and antifungal applications. *RSC Advances*, 2021. **11**(40), 24536–24542. ISSN 2046-2069
- 71) MURADPARIST, K., B. MESIC, CH. BARBIER a Y. BOISSARD. Stretchable coatings for fiber-based materials. *Masters degree in Chemical Engineering*, 2021.
- 72) MUTHU, S., V. RAJU, V.B. GOPAL, A. GUNASEKARAN, K.S. NARAYAN, S. MALAIRAJ, M. LAKSHMIKANTHAN, N. DURAISAMY, K. KRISHNAN a P. PERUMAL. A rapid synthesis and antibacterial property of selenium nanoparticles using egg white lysozyme as a stabilizing agent. *SN Applied Sciences*, 2019. **1**(12), 1543. ISSN 2523-3963, 2523-3971
- 73) NAGAI, K. New developments in the production of methyl methacrylate. *Applied Catalysis A: General*, 2001. **221**(1–2), 367–377. ISSN 0926860X
- 74) NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE. Acrylic acid, 2023. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6581#section=Other-Hazardous-Reactions>
- 75) NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE. *Methacrylic Acid*, 2024. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4093>

- 76) NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE. Methyl methacrylate, 2023. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6658>
- 77) NEVES, P.R., J.A. MCCULLOCH, E.M. MAMIZUKA a N. LINCOPAN. *Pseudomonas aeruginosa*. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 2014. 253–260 ISBN 978-0-12-384733-1
- 78) PARKER, CH.T., G.M. GARRITY, D. TAYLOR a G.M. GARRITY. Taxonomy of the species *Enterococcus faecalis* *Taxonomic Abstract for the species*. 2010.
- 79) PFLIEGLER, W.P., I. PÓCSI, Z. GYŐRI a T. PUSZTAHELYI. The Aspergilli and Their Mycotoxins: Metabolic Interactions With Plants and the Soil Biota. *Frontiers in Microbiology*, 2020. **10**, 2921. ISSN 1664-302X
- 80) PITTET, D., S. DHARAN, S. TOUVENEAU, V. SAUVAN a T.V. PERNEGER. Bacterial Contamination of the Hands of Hospital Staff During Routine Patient Care. *Archives of Internal Medicine*, 1999. **159**(8), 821. ISSN 0003-9926
- 81) POWERS-FLETCHER, M.V., B.A. KENDALL, A.T. GRIFFIN a K.E. HANSON. Filamentous Fungi. *Microbiology Spectrum*, 2016. **4**(3), 4.3.23. ISSN 2165-0497
- 82) RAJAGOPAL, M. a S. WALKER. Envelope Structures of Gram-Positive Bacteria. *Protein and Sugar Export and Assembly in Gram-positive Bacteria*, 2015. 1–44. ISBN 978-3-319-56012-0
- 83) RAKSHA, N., G. SINGH a A.D. URHEKAR. Virulence Factors Detection in *Aspergillus* Isolates from Clinical and Environmental Samples. *Journal of clinical and diagnostic research*, 2017. ISSN 2249782X
- 84) RAMAGE, G., R. RAJENDRAN, M. GUTIERREZ-CORREA, B. JONES a C. WILLIAMS. *Aspergillus* biofilms: clinical and industrial significance. *FEMS Microbiology Letters*, 2011. **324**(2), 89–97. ISSN 03781097
- 85) RAMÍREZ, G.A., C.L. HOFFMAN, M.D. LEE, R.A. LESNIEWSKI, R.A. BARCO, A. GARBER, B.M. TONER, CH.G. WHEAT, K.J. EDWARDS a B.N. ORCUTT. Assessing Marine Microbial Induced Corrosion at Santa Catalina Island, California. *Frontiers in Microbiology*, 2016. **7**. ISSN 1664-302X
- 86) REBOUX, G., S. ROCCHI, M. VACHEYROU a L. MILLON. Identifying indoor air *Penicillium* species: a challenge for allergic patients. *Journal of Medical Microbiology*, 2019. **68**(5), 812–821. ISSN 0022-2615, 1473-5644

- 87) REYGAERT, W.C. An overview of the antimicrobial resistance mechanisms of bacteria. *AIMS Microbiology*, 2018. **4**(3), 482–501. ISSN 2471-1888
- 88) ROMERO, M., F. MESSINA, E. MARIN, A. ARECHAVALA, R. DEPARDO, L. WALKER, R. NEGRONI a G. SANTISO. Antifungal Resistance in Clinical Isolates of *Aspergillus* spp.: When Local Epidemiology Breaks the Norm. *Journal of Fungi*, 2019. **5**(2), 41. ISSN 2309-608X
- 89) ROSLI, N.A., Y.H. TEOW a E. MAHMOUDI. Current approaches for the exploration of antimicrobial activities of nanoparticles. *Science and Technology of Advanced Materials*, 2021. **22**(1), 885–907. ISSN 1468-6996, 1878-5514
- 90) RUSSOTTO, V., A. CORTEGIANI, S.M. RAINERI a A. GIARRATANO. Bacterial contamination of inanimate surfaces and equipment in the intensive care unit. *Journal of Intensive Care*, 2015. **3**(1), 54. ISSN 2052-0492
- 91) SALEM, M. F., W. A. ABD-ELRAOOF, A. A. TAYEL, F. M. ALZUAIBR a O. M. ABONAMA. Antifungal application of biosynthesized selenium nanoparticles with pomegranate peels and nanochitosan as edible coatings for citrus green mold protection. *Journal of Nanobiotechnology*, 2022. **20**(1), 182. ISSN 1477-3155
- 92) SARDI, J.D.C.O., N.D.S. PITANGUI, G. RODRÍGUEZ-ARELLANES, M.L. TAYLOR, A.M. FUSCO-ALMEIDA a M.J.S. MENDES-GIANNINI. Highlights in pathogenic fungal biofilms. *Revista Iberoamericana de Micología*, 2014. **31**(1), 22–29. ISSN 11301406
- 93) SEGURA, A., A. RODRIGUEZ, P. HERNÁNDEZ, H. PESENTI, J. HERNÁNDEZ-MONTELONGO, A. ARRANZ, N. BENITO, J. BITENCOURT, L. VERGARA-GONZÁLEZ, I. NANCUCHEO a G. RECIO-SÁNCHEZ. Sulfidogenic Bioreactor-Mediated Formation of ZnS Nanoparticles with Antimicrobial and Photocatalytic Activity. *Nanomaterials*, 2023. **13**(5), 935. ISSN 2079-4991
- 94) SETHULEKSHMI, A. S., A. SARITHA, K. JOSEPH, A. S. APREM a S. B. SISUPAL. MoS<sub>2</sub> based nanomaterials: Advanced antibacterial agents for future. *Journal of Controlled Release*, 2022. **348**, 158–185. ISSN 01683659
- 95) SHAKIBAIE, M., N. S. MOHAZAB a S. A. A. MOUSAVI. Antifungal Activity of Selenium Nanoparticles Synthesized by *Bacillus* species Msh-1 Against *Aspergillus*

- fumigatus and *Candida albicans*. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 2015. **8**(9). ISSN 2008-3645, 2008-4161
- 96) SHAM, N.M., N.I. AHMAD, M.A. PAHROL a Y–H. LEONG. Fungus and mycotoxins studies in hospital environment: A scoping review. *Building and Environment*, 2021. **193**, 107626. ISSN 03601323
- 97) SCHINDLER, J. *Mikrobiologie: pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada. 2010. ISBN 978-80-247-3170-4
- 98) SCHOCH, C.L., S. CIUFO, M. DOMRACHEV, C.L. HOTTON, S. KANNAN, R. KHOVANSKAYA, D. LEIPE, R. MCVEIGH, K. O'NEILL, B. ROBBERTSE, S. SHARMA, V. SOUSSOV, J.P. SULLIVAN, L. SUN, S. TURNER a L. KARSCH-MIZRACHI. NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. *Database*, 2020. ISSN 1758-0463
- 99) SIKORA, A. a F. ZAHRA. Nosocomial infections. *StatPearls Publishing*, 2023. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559312/>
- 100) SRINIVASAN, R., S. SANTHAKUMARI, P. POONGUZHALI, M. GEETHA, M. DYAVAIAH a L. XIANGMIN. Bacterial Biofilm Inhibition: A Focused Review on Recent Therapeutic Strategies for Combating the Biofilm Mediated Infections. *Frontiers in Microbiology*, 2021. **12**, 676458. ISSN 1664-302X
- 101) STEIDLOVÁ, K. *Stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových hmot na bázi akrylátových latexů s dispergovanými nanočásticemi vodivých polymerů a selenu, jejich příprava a hodnocení*. Pardubice, 2023. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. doc. Ing. Marcela Pejchalová, Ph.D.
- 102) STEINREOVÁ, D. *Organické ekologicky přijatelné povlaky pro povrchovou ochranu kovových a nekovových materiálů na bázi akrylátových latexů s nanočásticemi MeO*. Pardubice, 2022. Disertační práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.
- 103) STEWARD, P.A., J. HEARN a M.C. WILKINSON. An overview of polymer latex film formation and properties. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2000. **86**(3), 195–267. ISSN 00018686
- 104) STOYE, D. a W. FREITAG. *Paints, coatings, and solvents*, 1998. ISBN 978-3-527-28863-2

- 105) THI, M.T.T., D. WIBOWO a B.H.A. REHM. Pseudomonas aeruginosa Biofilms. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020. **21**(22), 8671. ISSN 1422-0067
- 106) TIWARI, A. a A. CHATURVEDI. Antimicrobial Coatings—Technology Advancement or Scientific Myth. In: *Handbook of Antimicrobial Coatings* 2018. ISBN 978-0-12-811982-2
- 107) TOPÇUOĞLU, Ö., S.A. ALTINKAYA a D. BALKÖSE. Characterization of waterborne acrylic based paint films and measurement of their water vapor permeabilities. *Progress in Organic Coatings*, 2006. **56**(4), 269–278. ISSN 03009440
- 108) TRAN, T.T.T., K. KANNOORPATTI, A. PADOVAN a S. THENNADIL. A study of bacteria adhesion and microbial corrosion on different stainless steels in environment containing *Desulfovibrio vulgaris*. *Royal Society Open Science*, 2021. **8**(1), 201577. ISSN 2054-5703
- 109) VAN TYNE, D., M. MARTIN a M. GILMORE. Structure, Function, and Biology of the Enterococcus faecalis Cytolysin. *Toxins*, 2013. **5**(5), 895–911. ISSN 2072-6651
- 110) VARGA, J., S. KOCSUBÉ, B. TÓTH, J.C. FRISVAD, G. PERRONE, A. SUSCA, M. MEIJER a R.A. SAMSON. Aspergillus brasiliensis sp. nov., a biseriata black Aspergillus species with world-wide distribution. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2007. **57**(8), 1925–1932. ISSN 1466-5026, 1466-5034
- 111) VESTBY, L.K., T. GRØNSETH, R. SIMM a L.L. NESSE. Bacterial Biofilm and its Role in the Pathogenesis of Disease. *Antibiotics*, 2020. **9**(2), 59. ISSN 2079-6382
- 112) VIGGIANO, A., O. SALO, H. ALI, W. SZYMANSKI, P.P. LANKHORST, Y. NYGÅRD, R.A.L. BOVENBERG a A.J.M. DRIESSEN. Pathway for the Biosynthesis of the Pigment Chrysogine by Penicillium chrysogenum. *Applied and Environmental Microbiology*, 2018. **84**(4). ISSN 0099-2240, 1098-5336
- 113) VIJAYAN, S., CH.S. DASH, G. UMADEVI, M. SUNDARARAJAN a R. MARIAPPAN. Investigation of Structural, Optical and Antibacterial Activity of ZnS Nanoparticles. *Journal of Cluster Science*, 2021. **32**(6), 1601–1608. ISSN 1040-7278, 1572-8862

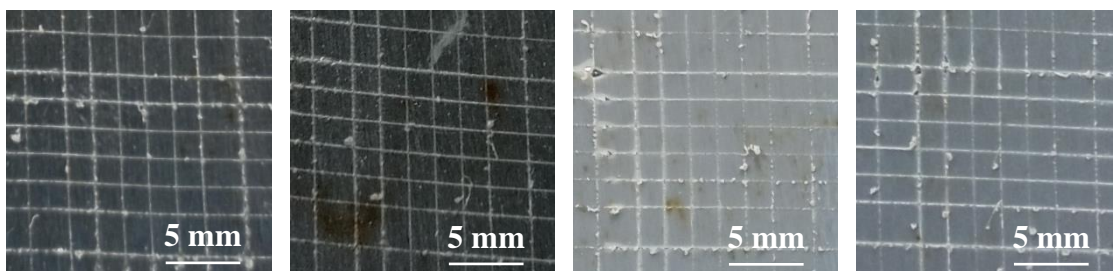
- 114) WANG, L., CH. HU a L. SHAO. The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. *International Journal of Nanomedicine*, 2017. **12**, 1227–1249. ISSN 1178-2013
- 115) WELDON, D.G. *Failure analysis of paints and coatings*, 2009. 384. ISBN 978-0-470-69753-5
- 116) WILSON, M.G. a S. PANDEY. Pseudomonas aeruginosa. *StatPearls*, 2022. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557831/>
- 117) ZENG, X., Y. ZOU, J. ZHENG, S. QIU, L. LIU a CH. WEI. Quorum sensing-mediated microbial interactions: Mechanisms, applications, challenges and perspectives. *Microbiological Research* 2023. **273**, 127414. ISSN 09445013
- 118) ZHANG, H., Z. LI, CH. DAI, P. WANG, S. FAN, B. YU a Y. QU. Antibacterial properties and mechanism of selenium nanoparticles synthesized by Providencia sp. DCX. *Environmental Research*, 2021. **194**, 110630. ISSN 00139351
- 119) ZHANG, W., Z. MOU, Y. WANG, Y. CHEN, E. YANG, F. GUO, D. SUN a W. WANG. Molybdenum disulfide nanosheets loaded with chitosan and silver nanoparticles effective antifungal activities: in vitro and in vivo. *Materials Science and Engineering: C*, 2019. **97**, 486–497. ISSN 09284931
- 120) ZHENG, J–X., B. BAI, Z–W. LIN, Z–Y. PU, W–M. YAO, Z. CHEN, D–Y. LI, X–B. DENG, Q–W. DENG a Z–J. YU. Characterization of biofilm formation by Enterococcus faecalis isolates derived from urinary tract infections in China. *Journal of Medical Microbiology*, 2018. **67**(1), 60–67. ISSN 0022-2615, 1473-5644
- 121) ZHENG, P., R. RENEE, G.R. BERNARD, L. TONG-JUN a Z. CHENG. Antibiotic resistance in Pseudomonas aeruginosa: mechanisms and alternative therapeutic strategies. *Biotechnology Advances*, 2019. 177–192. ISSN 0734-9750

## OBRÁZKOVÁ PŘÍLOHA

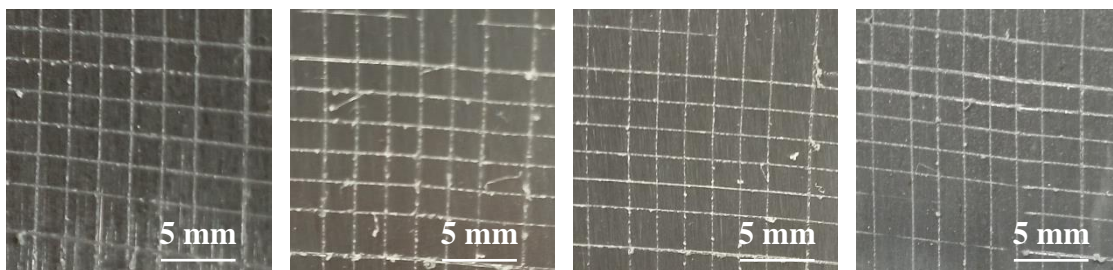
### Stanovení přilnavosti nátěrů pomocí mřížkové metody

V následující fotodokumentaci je zobrazeno testování přilnavosti nátěrů pomocí mřížkové metody. Byly použity nátěrové filmy s obsahem ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe při OKP = 0,5; 1; 2 a 3 %. Fotografie jsou uspořádány dle vzrůstající hodnoty OKP vždy zleva doprava.

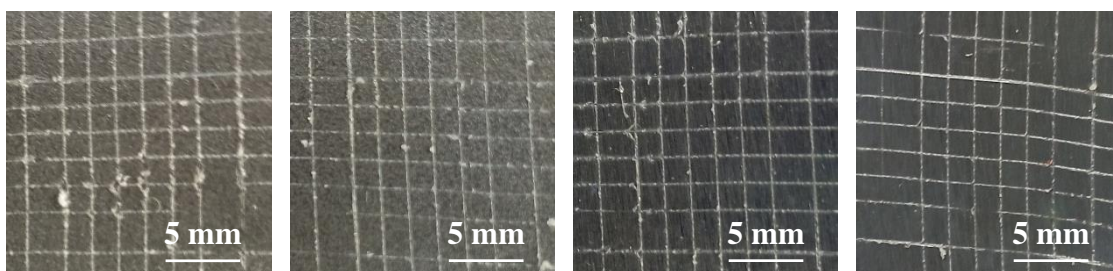
#### Nátěrové filmy s obsahem ZnO při OKP 0,5; 1; 2 a 3%



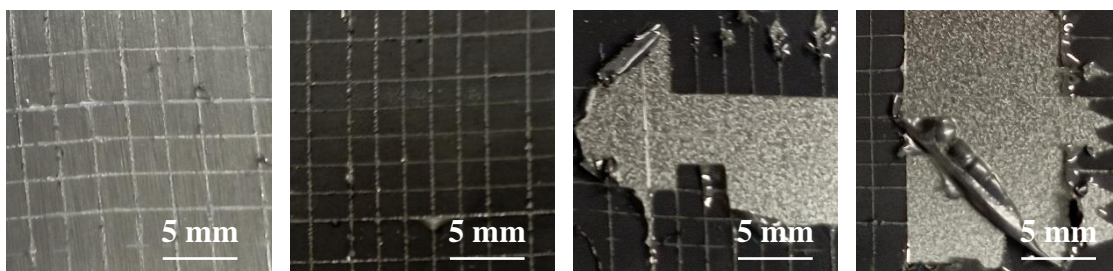
#### Nátěrové filmy s obsahem ZnS při OKP 0,5; 1; 2 a 3%



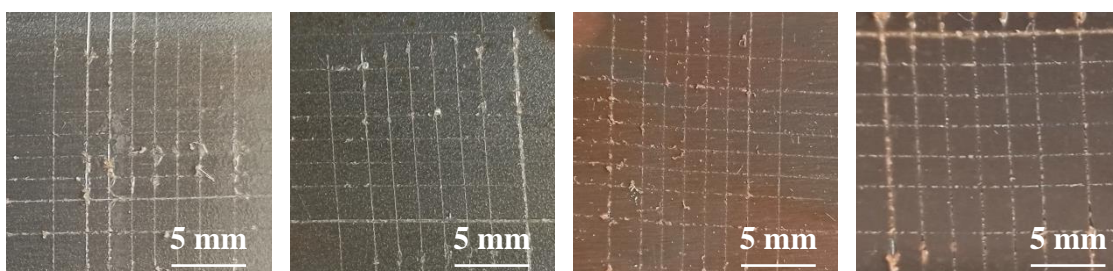
#### Nátěrové filmy s obsahem MoO<sub>3</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%



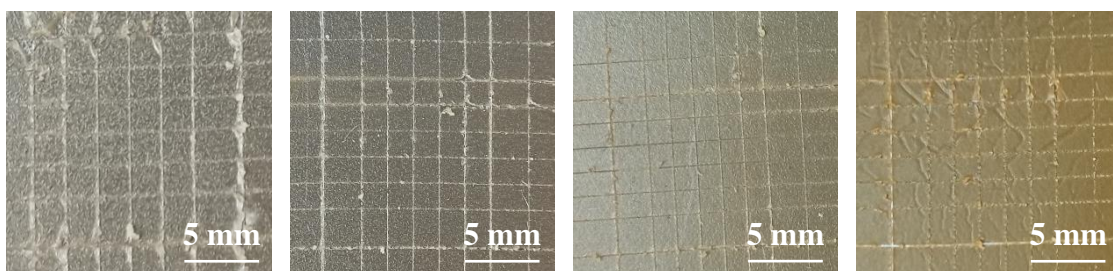
**Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



**Nátěrové filmy s obsahem SeO<sub>2</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



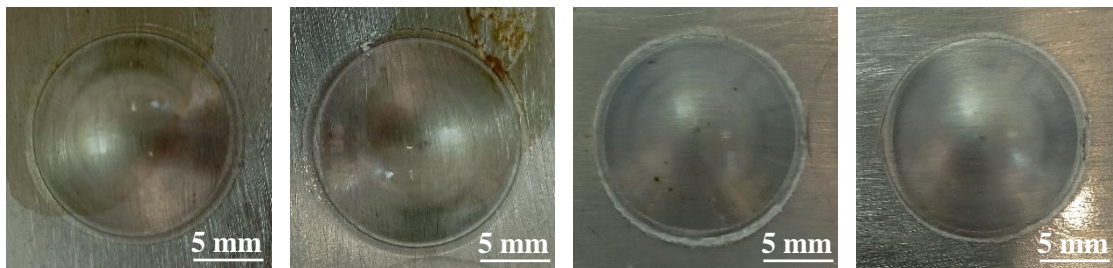
**Nátěrové filmy s obsahem ZnSe při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



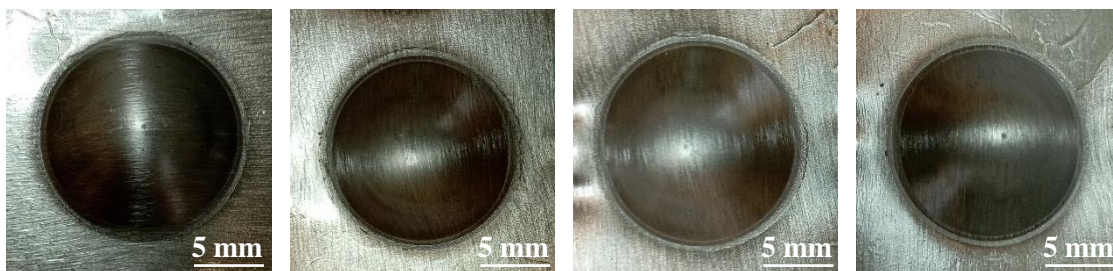
### Stanovení odolnosti vůči hloubení

Následující fotodokumentace obsahuje fotografie výsledků nafocení po měření odolnosti vůči hloubení. Testování bylo provedeno na ocelových panelech s nátěrovými filmy pigmentů ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe při OKP = 0,5; 1; 2 a 3 %. Fotografie jsou uspořádány dle zvyšující se hodnoty OKP vždy zleva doprava.

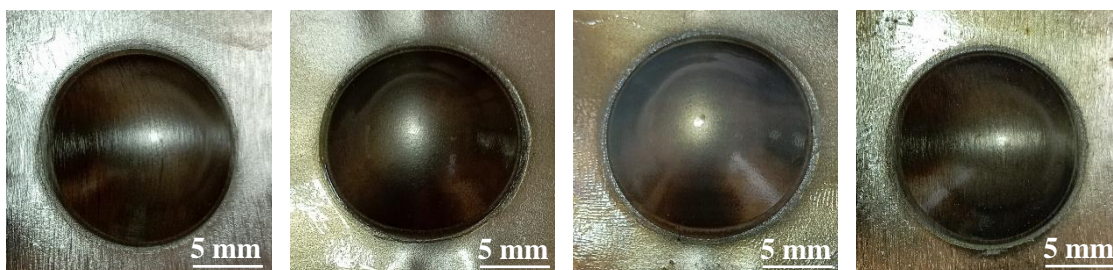
#### Nátěrové filmy s obsahem ZnO při OKP 0,5; 1; 2 a 3 %



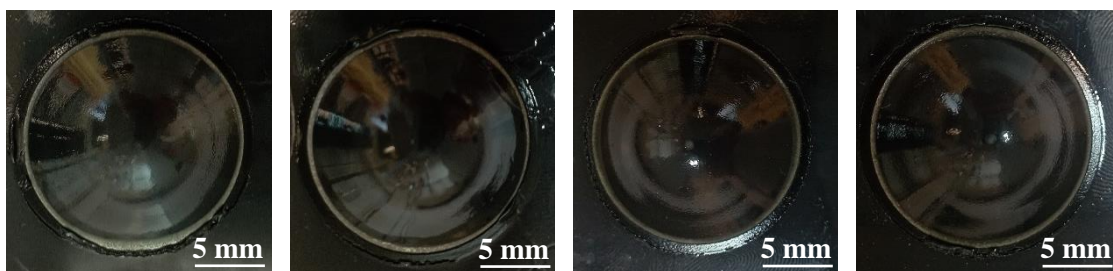
#### Nátěrové filmy s obsahem ZnS při OKP 0,5; 1; 2 a 3 %



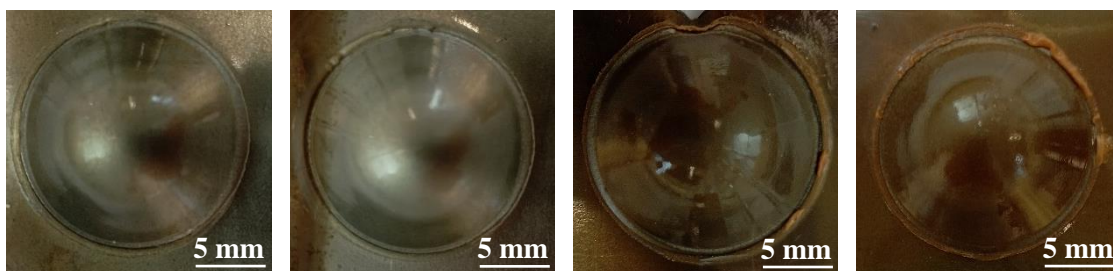
#### Nátěrové filmy s obsahem MoO<sub>3</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3 %



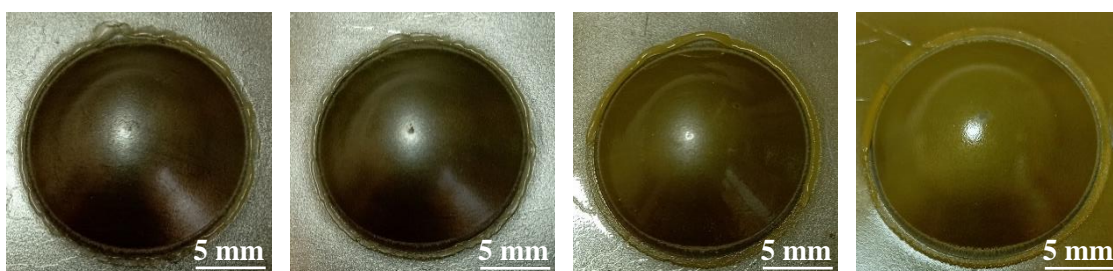
#### Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3 %



**Nátěrové filmy s obsahem SeO<sub>2</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3 %**



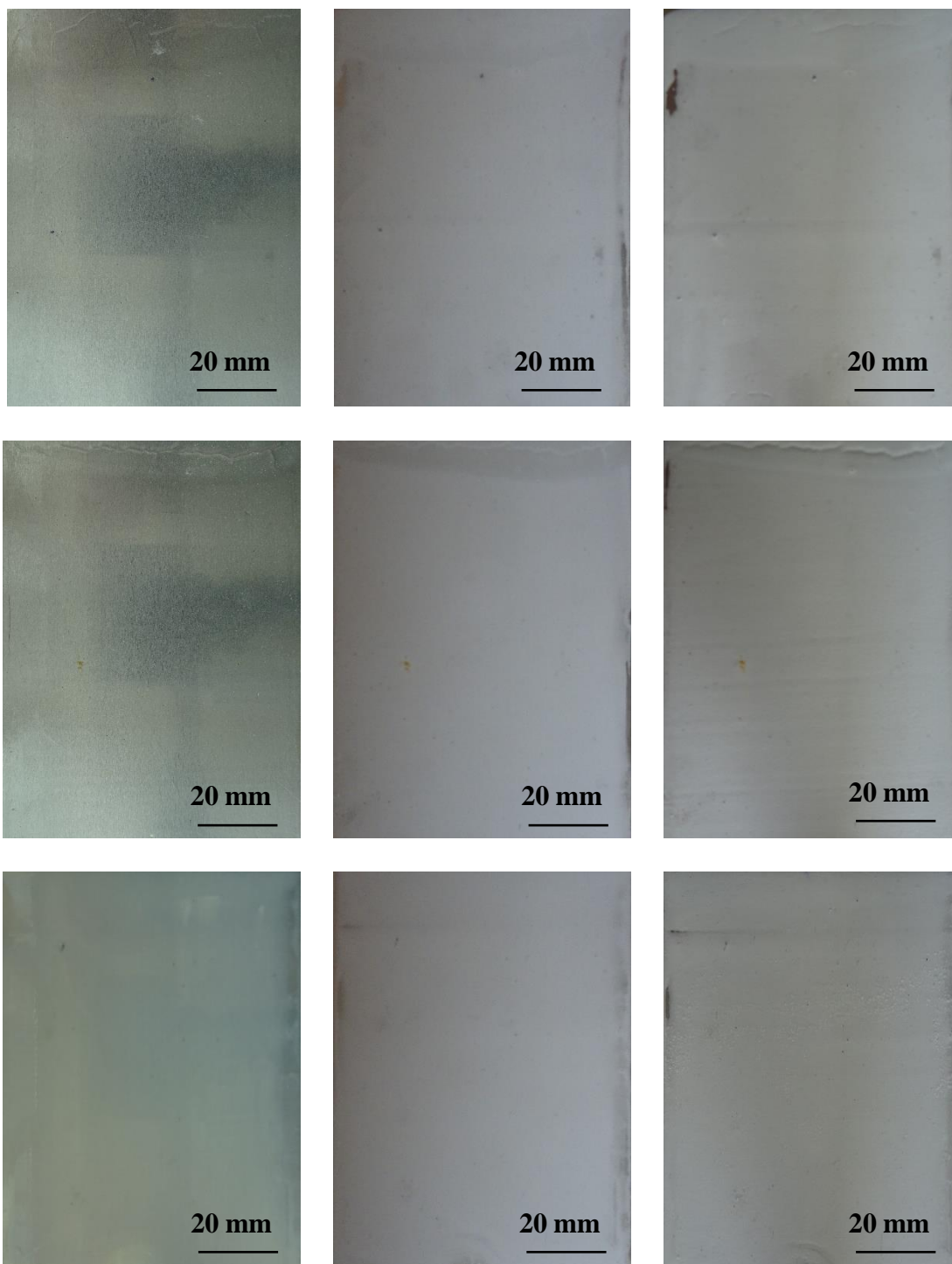
**Nátěrové filmy s obsahem ZnSe při OKP 0,5; 1; 2 a 3 %**



### Testování odolnosti nátěrů vůči tvorbě puchýřků (Sandwich test)

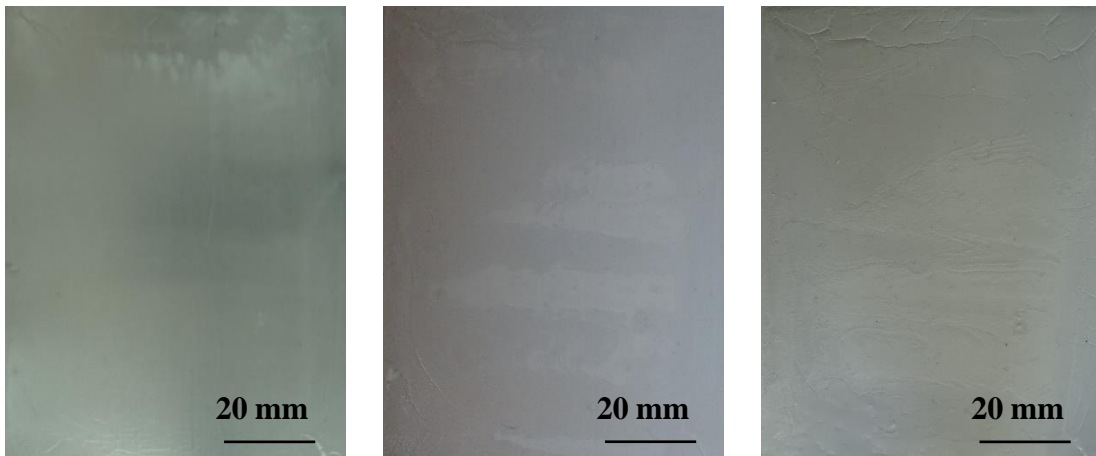
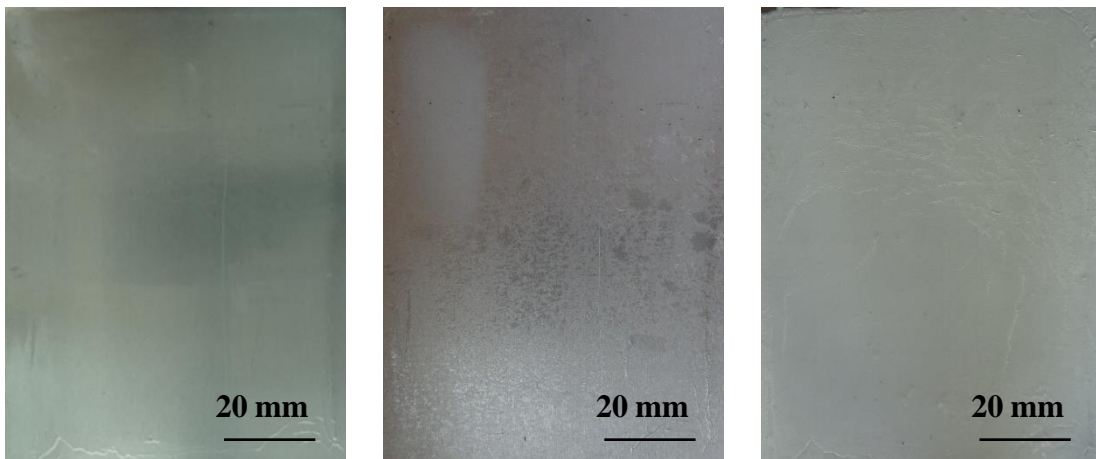
Následující fotodokumentace zobrazuje výsledky testování odolnosti nátěrů vůči tvorbě puchýřků. Byly testovány nátěrové filmy na hliníkových panelech s pigmenty ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe při OKP = 0,5; 1; 2 a 3 %. Fotografie jsou řazeny vždy zleva doprava podle času měření: 0 h, 24 h a 48 h.

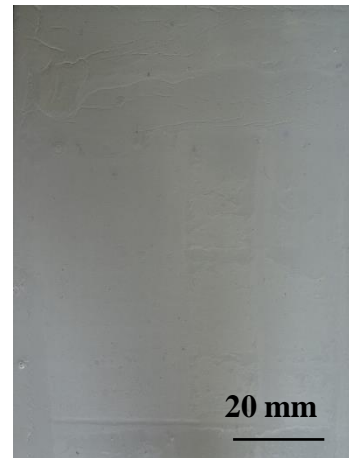
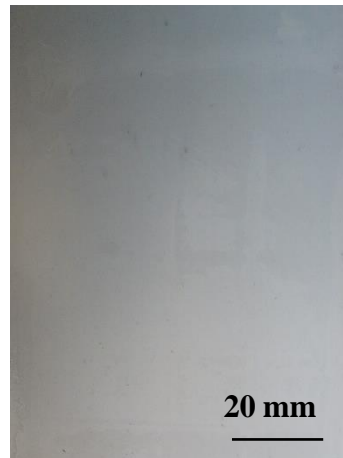
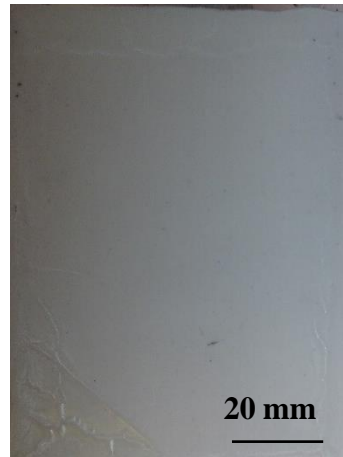
#### Nátěrové filmy s obsahem ZnO při OKP 0,5; 1; 2 a 3%





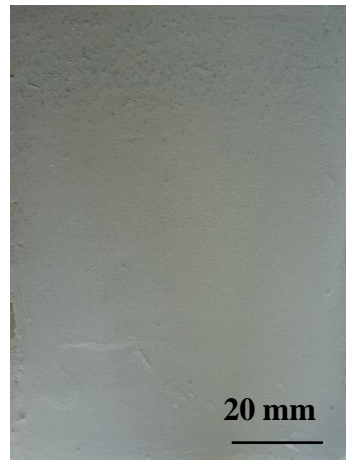
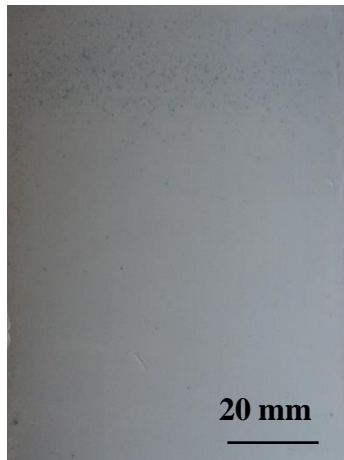
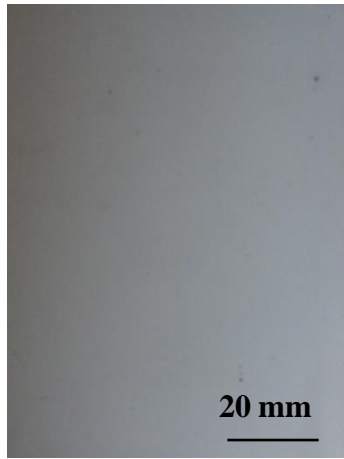
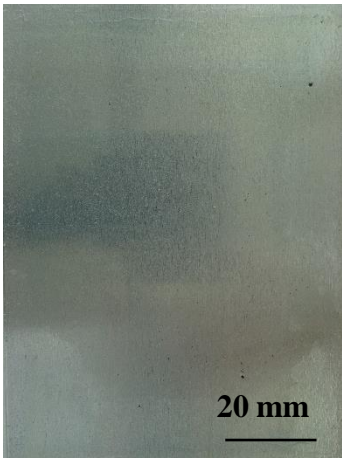
**Nátěrové filmy s obsahem ZnS při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



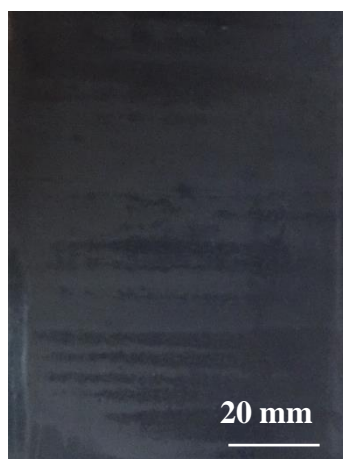


**Nátěrové filmy s obsahem MoO<sub>3</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



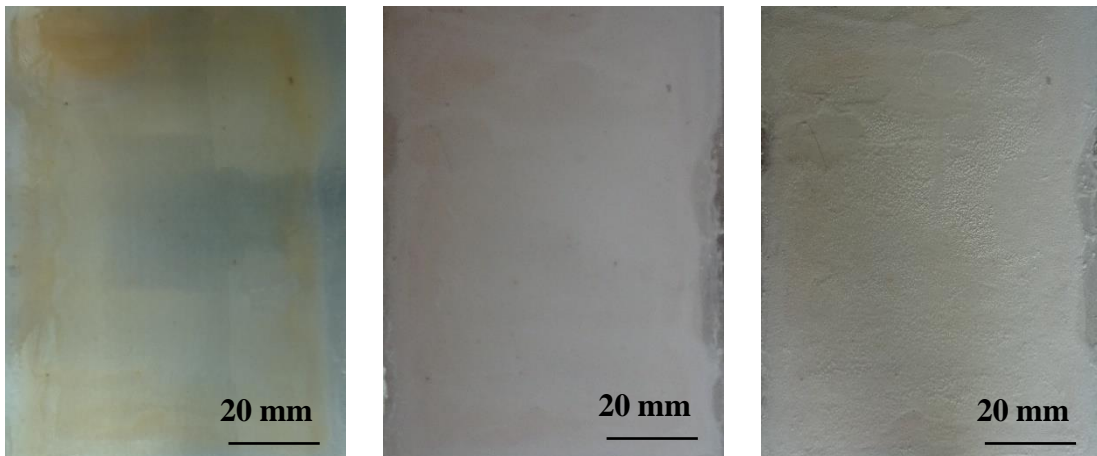
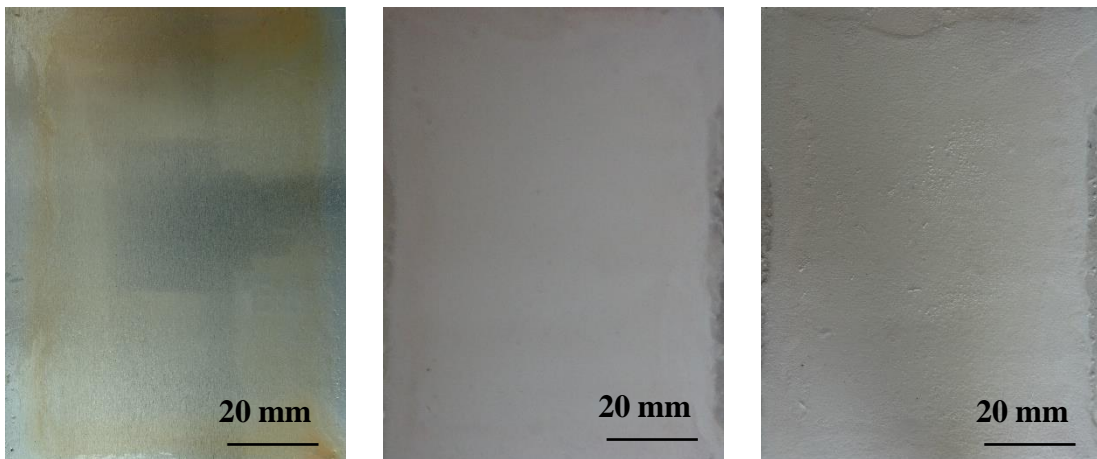


**Nátěrové filmy s obsahem MoS<sub>2</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



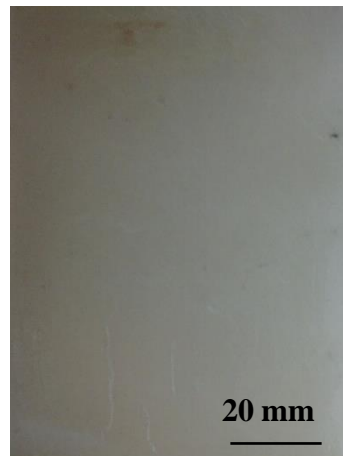


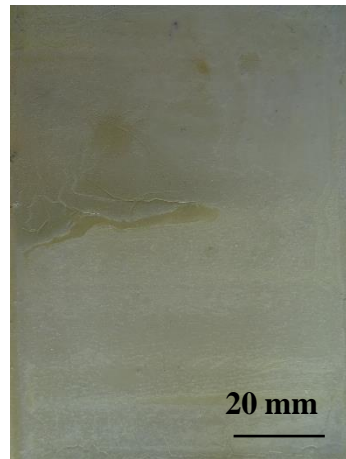
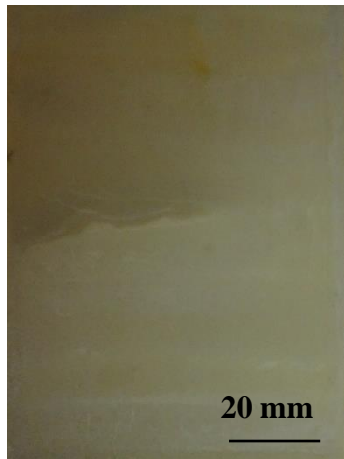
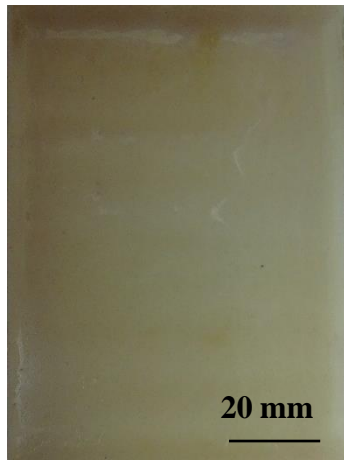
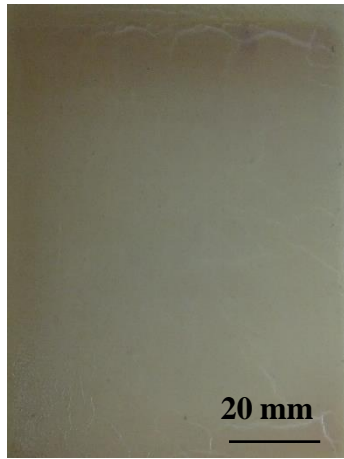
**Nátěrové filmy s obsahem  $\text{SeO}_2$  při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**





**Nátěrové filmy s obsahem ZnSe při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**

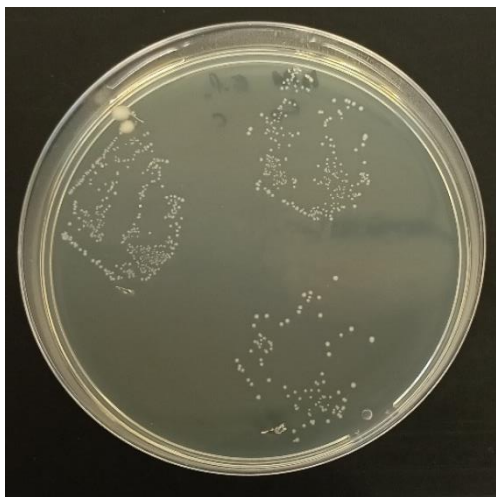




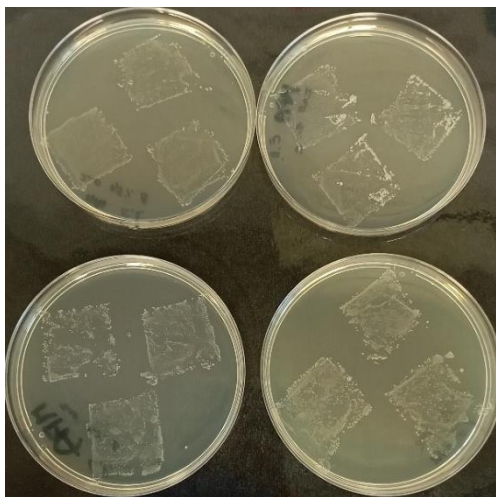
### Testování antimikrobiální účinnosti volných filmů obtiskovou metodou

V následující fotodokumentaci jsou zobrazeny výsledky testování antimikrobiální účinnosti volných filmů bez obsahu pigmentu a s obsahem ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe při OKP = 0,5; 1; 2 a 3 %. Levý sloupec obsahuje výsledky testování vůči *Enterococcus faecalis* a pravý výsledky testování vůči *Pseudomonas aeruginosa*.

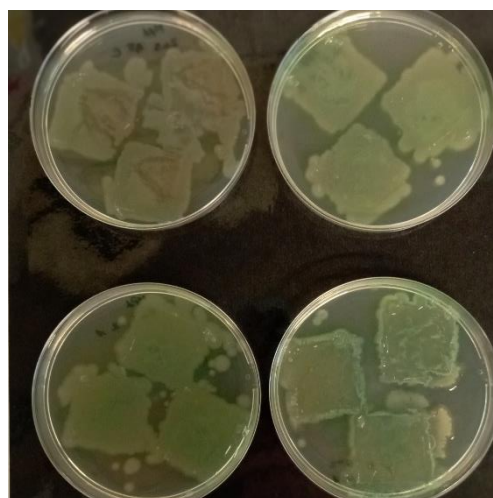
#### Obtisky volných filmů bez obsahu pigmentu



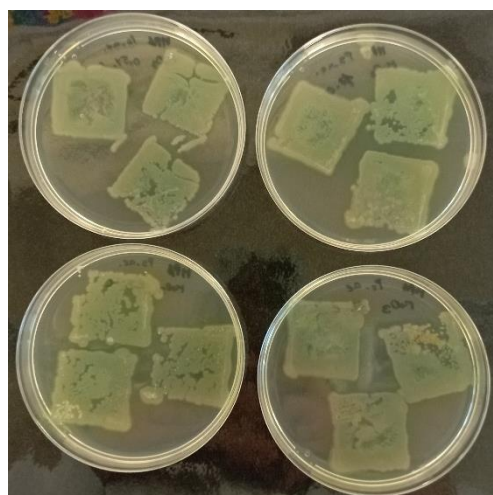
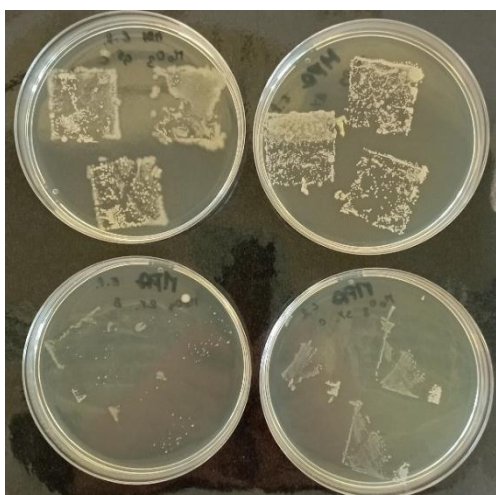
#### Obtisky volných filmů se ZnO při OKP 0,5; 1; 2 a 3%



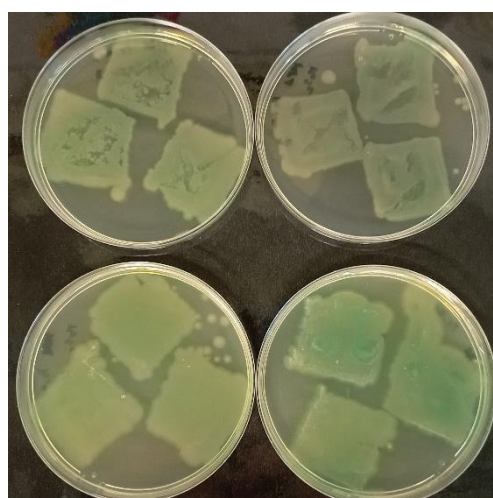
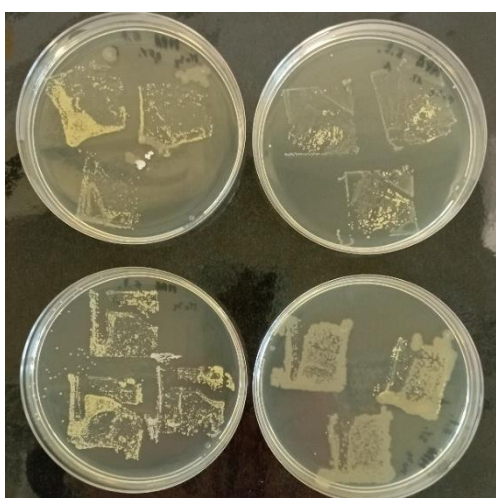
**Obtisky volných filmů se ZnS při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



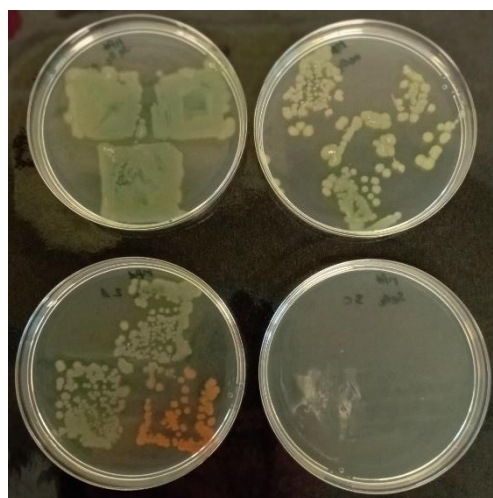
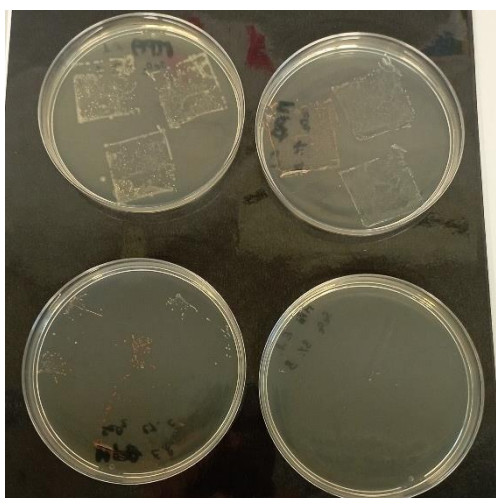
**Obtisky volných filmů se MoO<sub>3</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



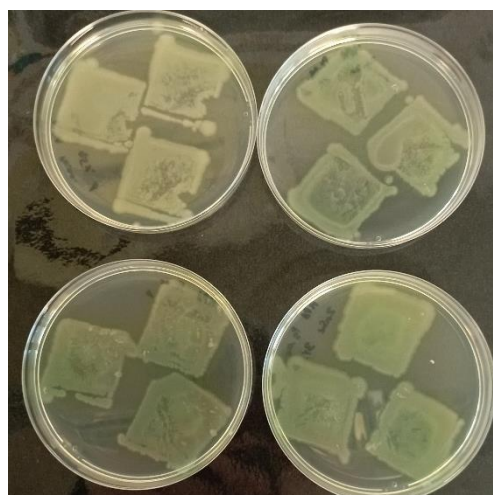
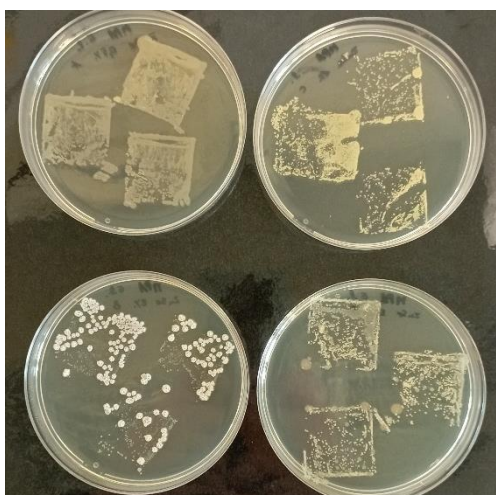
**Obtisky volných filmů se MoS<sub>2</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



**Obtisky volných filmů se SeO<sub>2</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



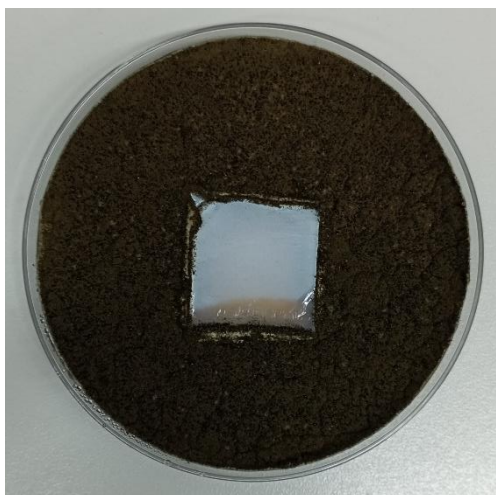
**Obtisky volných filmů se ZnSe při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



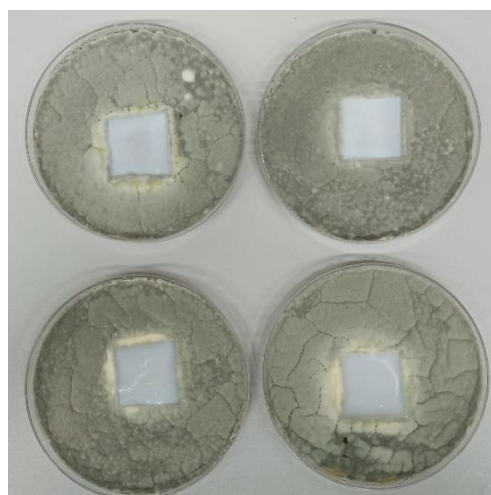
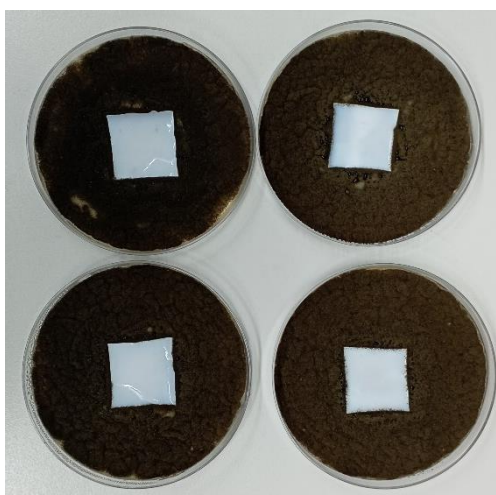
## Stanovení antifungální účinnosti volných filmů

V následující fotodokumentaci jsou zobrazeny výsledky testování antifungální účinnosti volných filmů bez obsahu pigmentu a s obsahem ZnO, ZnS, MoO<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, SeO<sub>2</sub> a ZnSe při OKP = 0,5; 1; 2 a 3 %. Levý sloupec obsahuje výsledky testování vůči *Aspergillus brasiliensis* a pravý výsledky testování vůči *Penicillium chrysogenum*.

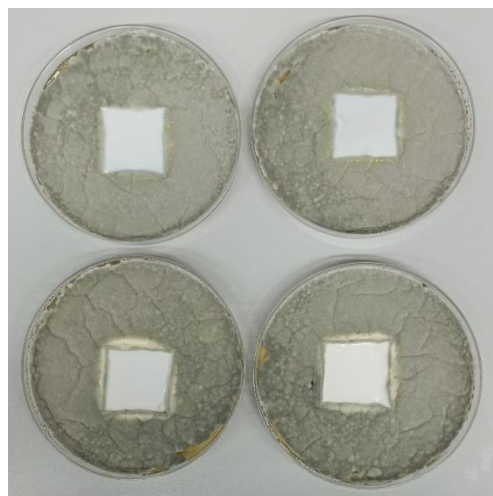
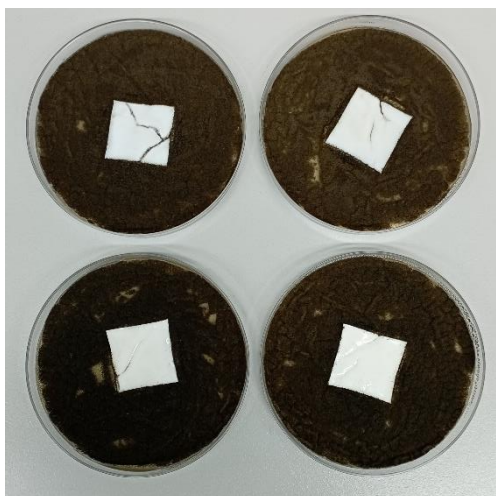
### Volné filmy bez obsahu pigmentu



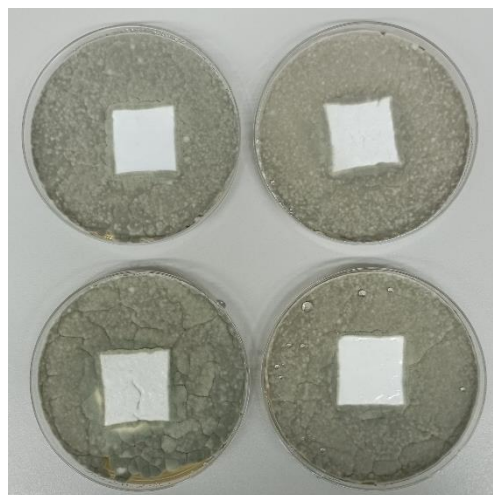
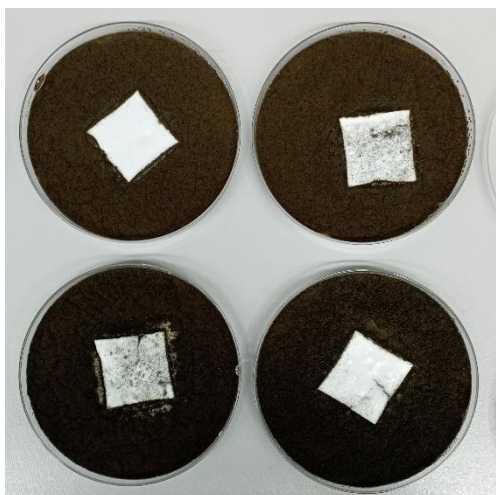
### Volné filmy s pigmentem ZnO při OKP 0,5; 1; 2 a 3%



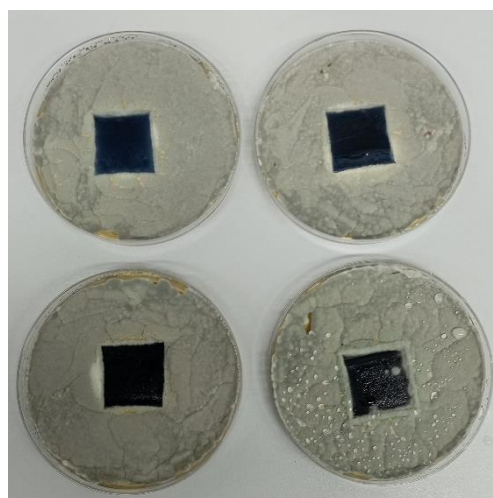
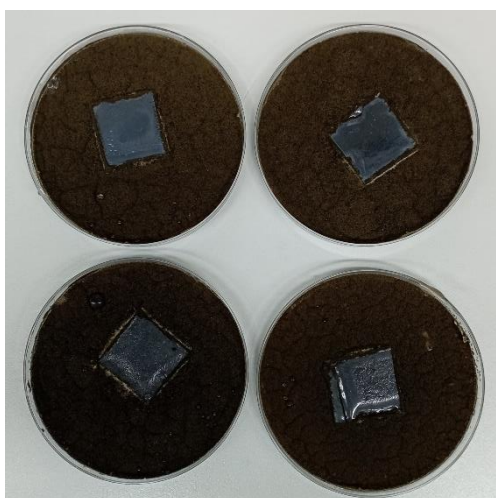
**Volné filmy s pigmentem ZnS při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



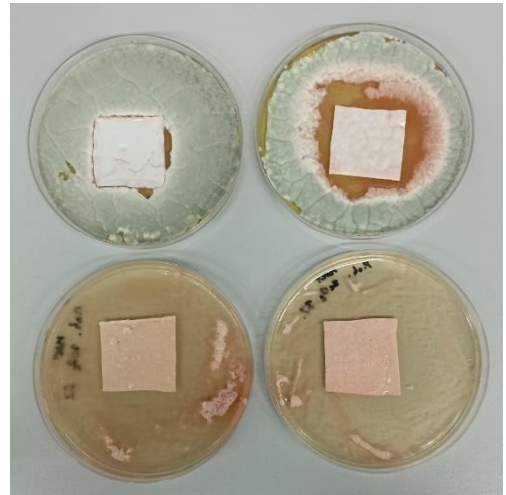
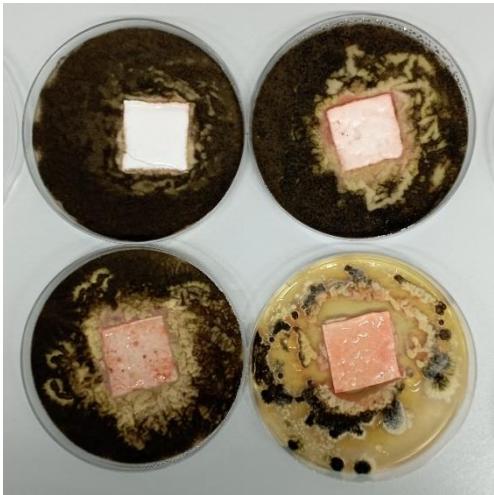
**Volné filmy s pigmentem MoO<sub>3</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



**Volné filmy s pigmentem MoS<sub>2</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



**Volné filmy s pigmentem SeO<sub>2</sub> při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**



**Volné filmy s pigmentem ZnSe při OKP 0,5; 1; 2 a 3%**

