

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO – TECHNOLOGICKÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2023

Bc. Kateřina Steidlová

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Katedra biologických a biochemických věd

Stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových hmot na bázi akrylátových latexů s dispergovanými nanočásticemi vodivých polymerů a selenu, jejich příprava a hodnocení

Bc. Kateřina Steidlová

Diplomová práce

2023

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Kateřina Steidlová**
Osobní číslo: **C21476**
Studijní program: **N0512A130006 Analýza biologických materiálů**
Téma práce: **Stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových hmot na bázi akrylátových latexů s dispergovanými nanočásticemi vodivých polymerů a selenu, jejich příprava a hodnocení**
Téma práce anglicky: **Determination Of The Antimicrobial Efficiency Of Coatings Based On Acrylate Latexes With Dispersed Nanoparticles Of Conductive Polymers And Selenium, Their Preparation And Evaluation**
Zadávací katedra: **Katedra biologických a biochemických věd**

Zásady pro vypracování

1. S využitím odborné literatury vypracovat rešerši na zadané téma.
2. Věnujte se využití biocidních nátěrů a popisu antimikrobiálních aditiv.
3. Syntéza a charakterizace akrylátových latexů s dispergovanými nanočásticemi PANI, PPy a pigmentem na bázi selenu a jejich porovnání s akrylátovými latexy bez obsahu těchto nanočástic a pigmentu.
4. Charakterizace základních vlastností nátěrů a jejich hodnocení (fyzikálně-mechanické zkoušky).
5. Určení antimikrobiální účinnosti vůči vybraným bakteriím na základě mikrobiálních zkoušek dle ČSN EN ISO.
6. Porovnání výsledků připravených nátěrových hmot.
7. Práci zpracujte v souladu s aktuální směnicí 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:

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: 23. prosince 2022
Termín odevzdání diplomové práce: 5. května 2023

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

L.S.

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

V Pardubicích dne 28. února 2023

Prohlašuji:

Práci s názvem Stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových hmot na bázi akrylátových latexů s dispergovanými nanočásticemi vodivých polymerů a selenu, jejich příprava a hodnocení jsem 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. Kateřina Steidlová

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. Číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především vedoucí mé diplomové práce doc. Ing. Marcele Pejchalové, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a cenné rady při zpracovávání této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat prof. Ing. Andrée Kalendové, Dr. za její odbornou konzultaci a také Ing. Karolíně Boštíkové za cennou spolupráci při experimentální části vykonávané na Ústavu chemie a technologie makromolekulárních látek. Velké poděkování patří také mé rodině, která mi byla velkou oporou při absolvování celého studia.

ANOTACE

Tato diplomová práce pojednává o antimikrobiální účinnosti připravených nátěrových hmot na bázi akrylátových latexů s dispergovanými nanočásticemi selenu a vodivých polymerů. Byly naformulovány a připraveny modelové řady nátěrových hmot s obsahem nanočástic ZnO, La₂O₃, ZnSe, SeO₂ a pigmenty vodivých polymerů PANI fosf. a PPy fosf. Tyto organické povlaky byly podrobeny fyzikálně – mechanickým zkouškám na skleněných a ocelových panelech a také cyklickým korozním zkouškám a nepřímým korozním zkouškám. Poté byly vzorky testovány na jejich antimikrobiální účinnost dle normy ISO 22196: 2011 vůči bakteriím *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*. Teoretická část popisuje bakteriální kmeny *S. aureus* a *E. coli* a jejich vlastnosti, dále pojednává o mechanismu syntézy akrylátových latexů a popisuje využití antimikrobiálních nátěrových hmot. V experimentální části jsou uvedeny prováděné fyzikálně – mechanické a korozní zkoušky. Cílem této práce bylo zjištění antimikrobiální účinnosti syntetizovaných nátěrových hmot s přidanými aditivami.

KLÍČOVÁ SLOVA

Antimikrobiální nátěry, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, nátěrové filmy, antimikrobiální účinnost, akrylátové latexy na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu, nanočástice ZnO, nanočástice La₂O₃, nanočástice ZnSe, nanočástice SeO₂, vodivé polymery, PANI fosf., PPy fosf.

ANNOTATION

This thesis discusses the antimicrobial effectiveness of prepared coatings based on acrylate latexes with dispersed selenium nanoparticles and conductive polymers. Model series of coatings containing nanoparticles of ZnO, La₂O₃, ZnSe, SeO₂ and pigments of conductive polymers PANI phosph. and PPy phosph. were formulated and prepared. These organic coatings were subjected to physical-mechanical tests on glass and steel panels as well as cyclic corrosion tests and indirect corrosion tests. The samples were then tested for their antimicrobial effectiveness according to the ISO 22196: 2011 standard against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* bacteria. The theoretical part describes the bacterial strains of *S. aureus* and *E. coli* and their properties, further discusses the mechanism of synthesis of acrylate latexes and describes the use of antimicrobial coatings. In the experimental part, the performed physical-mechanical and corrosion tests are presented. The aim of this work was to determine the antimicrobial efficiency of synthesized coatings with added additives.

KEY WORDS

Antimicrobial coatings, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, coating films, antimicrobial efficiency, acrylate latexes based on methyl methacrylate and butyl acrylate, ZnO nanoparticles, La₂O₃ nanoparticles, ZnSe nanoparticles, SeO₂ nanoparticles, conductive polymers, PANI phosph., PPy phosph.

OBSAH

Úvod	22
1 TEORETICKÁ ČÁST	23
1.1 Mikrobiální problematika, působení bakterií na povrchy	23
1.1.1 Antimikrobiální rezistence	23
1.1.2 Osídlování povrchů bakteriemi, vznik biofilmu	24
1.2 Charakterizace použitých grampozitivních a gramnegativních bakterií	26
1.3 Použité mikroorganismy	27
1.3.1 <i>Escherichia coli</i>	27
1.3.2 <i>Staphylococcus aureus</i>	30
1.4 Nátěry s antimikrobiálními účinky	35
1.4.1 Polymerní nátěry	36
1.4.2 Antimikrobiální pigmenty	37
1.4.2.1 Nanočástice	37
1.4.2.2 Vodivé polymery	39
1.5 Akrylátové latexy	41
1.5.1 Proces tvorby latexového filmu	41
1.6 Syntéza akrylátových latexů	43
1.6.1 Emulzní polymerace	43
1.6.2 Síťování polymerů	45
1.6.2.1 Intra-částicové síťování	45
1.6.2.2 Inter-částicové síťování	46
1.7 Využití antimikrobiálních nátěrových hmot v lékařských aplikacích	47
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	49
2.1 Cíl práce	49
2.2 Použité suroviny a chemikálie	50
2.2.1 Monomerní látky použité při syntéze a jejich vlastnosti	50
2.2.2 Chemikálie	50
2.2.3 Další chemikálie	51
2.2.4 Nanočástice	53
2.3 Přístroje a vybavení	53
2.3.1 Přístroje používané k přípravě akrylátových latexů	53

2.3.2	<i>Přístroje používané k charakterizaci pigmentů a plniv</i>	53
2.3.3	<i>Přístroje používané k charakterizaci vlastností akrylátových latexů</i>	53
2.3.4	<i>Přístroje používané ke stanovení fyzikálně-mechanických testů odolnosti nátěrových filmů</i>	54
2.3.5	<i>Přístroje používané ke stanovení chemické a antikorozní odolnosti nátěrových filmů</i>	54
2.3.6	<i>Přístroje používané ke stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových filmů</i> ...54	
2.4	Syntéza akrylátových latexů	55
2.5	Příprava a syntéza vodivých polymerů	57
2.5.1	<i>Syntéza polyanilin fosfátu</i>	57
2.5.2	<i>Syntéza polypyrrol fosfátu</i>	59
2.6	Příprava modelových nátěrových hmot	60
2.6.1	<i>Dispergace akrylátových latexů</i>	60
2.6.2	<i>Formulace modelových nátěrových hmot</i>	60
2.7	Příprava zkušebních vzorků	62
2.7.1	<i>Příprava zkušebních vzorků na skleněných panelech</i>	62
2.7.2	<i>Příprava zkušebních vzorků ve formě volných filmů</i>	62
2.7.3	<i>Příprava zkušebních vzorků na ocelových panelech</i>	63
2.7.4	<i>Příprava zkušebních vzorků na polyethylenové fólii</i>	63
2.8	Metody hodnocení vlastností vodou ředitelných nátěrových hmot	64
2.8.1	<i>Charakterizace vodou ředitelných polymerních disperzí</i>	64
2.8.1.1	Stanovení pH (ČSN EN ISO 787-9).....	64
2.8.1.2	Stanovení zdánlivé viskozity dle Brookfielda (ČSN EN ISO 2555).....	65
2.8.1.3	Stanovení obsahu koagulátu (ČSN 649008).....	65
2.8.1.4	Stanovení obsahu sušiny (ČSN EN ISO 3251)	65
2.8.1.5	Stanovení minimální filmotvorné teploty (ISO 2115:1996)	66
2.8.2	<i>Charakterizace pigmentů a plniva pro modelové nátěrové hmoty</i>	67
2.8.2.1	Stanovení olejového čísla (ČSN EN 12878)	67
2.8.2.2	Stanovení hustoty pigmentu (ČSN EN ISO 787-10).....	67
2.8.2.3	Stanovení kritické objemové koncentrace pigmentu (ČSN EN ISO 787-5)	68
2.9	Metody hodnocení fyzikálně – mechanických vlastností organických povlaků na skleněných panelech	69
2.9.1	<i>Hodnocení vzhledu nátěrového filmu</i>	69
2.9.2	<i>Stanovení tloušťky nátěrového filmu (ČSN EN ISO 2808)</i>	69
2.9.3	<i>Stanovení lesku nátěrového filmu (ČSN EN ISO 2813)</i>	70

2.9.4	<i>Stanovení tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem (ČSN EN ISO 1522)</i>	70
2.9.5	<i>Stanovení tvrdosti dle Buchholzovy vrypové zkoušky (ČSN EN ISO 2815)</i>	71
2.9.6	<i>Stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči methylethylketonu (ASTM D4752-10)</i>	72
2.10	Metody hodnocení fyzikálně-mechanických vlastností organických povlaků na ocelových panelech	73
2.10.1	<i>Stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči hloubení (ČSN EN ISO 1520)</i>	73
2.10.2	<i>Stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči úderu závaží (ČSN EN ISO 6272-1)</i>	73
2.10.3	<i>Stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči ohybu (ČSN EN ISO 1519)</i>	74
2.10.4	<i>Stanovení přilnavosti nátěrového filmu mřížkovou metodou (ČSN ISO 2409)</i>	74
2.10.5	<i>Stanovení odolnosti nátěru vůči odtrhu (ČSN EN ISO 4624)</i>	75
2.11	Zrychlené cyklické korozní zkoušky	78
2.11.1	<i>Zrychlená cyklická korozní zkouška v kondenzační komoře s povšechnou kondenzací (ČSN EN ISO 6270-2)</i>	78
2.11.2	<i>Kombinovaná korozní zkouška v prostředí (NH₄)₂SO₄ a NaCl (ASTM G85 A5)</i>	78
2.12	Nepřímé korozní zkoušky	79
2.12.1	<i>Stanovení odolnosti vůči působení vody v závislosti na pH</i>	79
2.13	Hodnocení korozních zkoušek	80
2.13.1	<i>Hodnocení koroze v okolí zkušebního řezu (ASTM D 1654-92)</i>	80
2.13.2	<i>Hodnocení stupně koroze v ploše panelu (ASTM D 610-85)</i>	80
2.13.3	<i>Hodnocení tvorby puchýřků (ASTM D 714-87)</i>	81
2.14	Mikrobiologické zkoušky	83
2.14.1	<i>Příprava před testováním</i>	83
2.14.1.1	<i>Příprava kultivačních médií</i>	83
2.14.1.2	<i>Příprava roztoků</i>	84
2.14.1.3	<i>Příprava bakteriálních kultur</i>	85
2.14.1.4	<i>Příprava sterilního prostředí</i>	85
2.14.2	<i>Stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových filmů obtiskovou metodou (ISO 22196: 2011)</i>	86
2.14.3	<i>Stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů (ISO 22196: 2011)</i>	88
3	VÝSLEDKY A HODNOCENÍ	90
3.1	Výsledky vlastností vodou ředitelných nátěrových hmot	90
3.1.1	<i>Výsledky stanovení pH, viskozity, obsahu koagulátu, obsahu sušiny a minimální filmotvorné teploty (MFFT)</i>	90

3.2	Výsledky charakterizace pigmentů a plniv nátěrových hmot	91
3.2.1	<i>Výsledky stanovení olejového čísla, měrné hmotnosti pigmentu a kritické objemové koncentrace pigmentu</i>	91
3.3	Výsledky fyzikálně – mechanických vlastností nátěrových hmot na skleněných panelech	95
3.3.1	<i>Výsledky hodnocení vzhledu nátěrového filmu</i>	95
3.3.2	<i>Výsledky stanovení lesku nátěrového filmu</i>	96
3.3.3	<i>Výsledky stanovení tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem</i>	99
3.3.4	<i>Výsledky stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči methylethylketonu</i>	100
3.4	Výsledky fyzikálně – mechanických vlastností nátěrových hmot na ocelových panelech	101
3.4.1	<i>Výsledky stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči hloubení, úderu závaží, ohybu a přilnavosti nátěru</i>	101
3.4.2	<i>Výsledky stanovení odtrhů nátěrových filmů</i>	102
3.5	Výsledky zrychlených cyklických korozních zkoušek	103
3.5.1	<i>Výsledky hodnocení korozní odolnosti nátěrového filmu v atmosféře s povšechnou kondenzací</i>	103
3.5.2	<i>Hodnocení korozní odolnosti nátěrového filmu v atmosféře solného elektrolytu NaCl a (NH₄)₂SO₄</i>	104
3.6	Výsledky nepřímých korozních zkoušek	105
3.6.1	<i>Hodnocení odolnosti nátěrového filmu vůči působení vody v závislosti na pH</i> 105	
3.7	Výsledky mikrobiologických zkoušek.....	106
3.7.1	<i>Výsledky stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových filmů obtiskovou metodou</i>	106
3.7.2	<i>Výsledky stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových nátěrů (ISO 22196: 2011)</i>	108
4	DISKUZE K MECHANICKÝM A ANTIKOROZNÍM VLASTNOSTEM NH	110
4.1	Diskuze ke stanovení fyzikálně – chemických vlastností pigmentů a vlastností pojiva	110
4.2	Diskuze k fyzikálně – mechanickým vlastnostem nátěrových filmů na skleněných panelech	111
4.3	Diskuze k fyzikálně – mechanickým vlastnostem nátěrových filmů na ocelových panelech	114
4.4	Diskuze k výsledkům zrychlených korozních zkoušek	116
4.5	Diskuze k výsledkům nepřímých korozních zkoušek	120
5	DISKUZE K ANTIMIKROBIÁLNÍM VLASTNOSTEM NÁTĚROVÝCH HMOT .	122
5.1	Vliv vodivých polymerů na antimikrobiální účinnost	122

5.2	Vliv La_2O_3 na antimikrobiální účinnost.....	123
5.3	Vliv ZnO na antimikrobiální účinnost	124
5.4	Vliv selenu na antimikrobiální účinnost	125
6	PŘÍNOSY DIPLOMOVÉ PRÁCE	126
7	ZÁVĚR.....	128
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	129
9	OBRÁZKOVÁ PŘÍLOHA.....	137

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vznik biofilmu	24
Obrázek 2: Stavba buněčné stěny gram pozitivních a gram negativních mikroorganismů	26
Obrázek 3: Escherichia coli na krevním agaru	27
Obrázek 4: Escherichia coli pod optickým mikroskopem po obarvení dle Grama	28
Obrázek 5: Staphylococcus aureus pod optickým mikroskopem po obarvení dle Grama	31
Obrázek 6: Staphylococcus aureus na krevním agaru	31
Obrázek 7: Staphylococcus aureus na slaném agaru s mannitolem a fenolovou červení	32
Obrázek 8: Antigenní struktura S. aureus	32
Obrázek 9: Schématické zobrazení působení antimikrobiálních nátěrů na bakterie	35
Obrázek 10: Aplikace antibakteriálních nanočástic	37
Obrázek 11: Struktura polyanilinu	40
Obrázek 12: Struktura polypyrrolu	40
Obrázek 13: Proces tvorby latexového filmu	42
Obrázek 14: Aparatura k emulzní polymeraci	43
Obrázek 15: Emulzní polymerace	44
Obrázek 16: Iniclace	44
Obrázek 17: Propagace	44
Obrázek 18: Terminace rekombinací	45
Obrázek 19: Terminace disproportionací	45
Obrázek 20: Keto – hydrazinové samozesíťování	46
Obrázek 21: Aparatura pro syntézu latexu	55
Obrázek 22: Oxidační polymerace anilinu	57
Obrázek 23: Barevná změna v průběhu oxidační polymerace anilinu	58
Obrázek 24: Oxidační polymerace pyrrolu	59
Obrázek 25: Dispergace v predispergátoru DISPERMAT	60
Obrázek 26: Silikonová forma na přípravu volných filmů	62
Obrázek 27: pH metr s kombinovanou elektrodou	64
Obrázek 28: Příklad MFFT-60 ke stanovení minimální filmotvorné teploty	66
Obrázek 29: Leskometr Micro-TRY-gloss	70

Obrázek 30: Kyvadlový přístroj na stanovení tvrdosti typu Persoz	71
Obrázek 31: Umístění Buchholzova přístroje na testovaném nátěru	72
Obrázek 32: Erichsenův přístroj k měření odolnosti nátěru vůči hloubení	73
Obrázek 33: Přístroj Elcometer k měření odolnosti nátěru vůči ohybu.....	74
Obrázek 34: přístroj CONTEST®OP3 pro stanovení přilnavosti nátěrů odtrhovou zkouškou	76
Obrázek 35: Hodnocení koroze v ploše panelu dle normy ASTM D 610-85.....	81
Obrázek 36: Hodnocení tvorby puchýřů dle normy ASTM D 714-87	82
Obrázek 37: Vzorky s různými stupni bakteriální kontaminace.....	87
Obrázek 38: Nákres uspořádání naaplikovaného vzorku, převzato z: ISO 2216: 2011	89
Obrázek 39: Vývoj stupně lesku u latexu bez nanočástic a s nanočásticemi ZnO	111
Obrázek 40: Vývoj relativní povrchové tvrdosti vybraných latexů s obsahem SeO ₂ , PANI fosf. a L ₀ bez nanočástic	112
Obrázek 41: Odolnost nátěrových filmů s obsahem nanočástic La ₂ O ₃ při a) OKP= 1%, b) OKP= 1,5%, c) OKP= 2 % vůči hloubení.....	114
Obrázek 42: Odolnost nátěrových filmů s obsahem nanočástic ZnO při a) OKP= 0,5%, b) OKP= 1%, c) OKP= 1,5 % vůči ohybu přes 4mm trn	114
Obrázek 43: Fotografický záznam nátěrových filmů s obsahem ZnSe a SeO ₂ s nejvyšší korozní odolností vůči atmosféře s povšechnou kondenzací po 724 hodinách a po stažení nátěrového filmu. a) ZnSe při OKP= 1%; b) ZnSe při OKP=1,5%; c) SeO ₂ při OKP= 1%; d) SeO ₂ při OKP= 1,5%.....	117
Obrázek 44: Fotografický záznam nátěrových filmů s obsahem SeO ₂ , PANI fosf. a PPy fosf. s nejvyšší korozní odolností vůči atmosféře solného elektrolytu NaCl/(NH ₄) ₂ SO ₄ po 168 hodinách a po stažení nátěrového filmu. a) SeO ₂ při OKP=1,5%; b) PANI fosf. při OKP=0,5 %; c) PPy fosf. při OKP=0,5%; d) PPy fosf. při OKP= 1%; e) PPy fosf. při OKP= 1,5%.....	119
Obrázek 45: Fotografický záznam nátěrových filmů s obsahem a) PANI fosf. při OKP= 0,5% a b) ZnO při OKP= 0,5% s nejvyšší (a) a nejnižší (b) odolností vůči působení vodného roztoku elektrolytu při pH= 2, 4, 6, 8, 10 a 12.....	121

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Seznam použitých monomerů	50
Tabulka 2: Vlastnosti monomerních látek	50
Tabulka 3: Základní informace o peroxodisíranu amonném	50
Tabulka 4: Základní informace o Disponilu FES 993 IS.....	51
Tabulka 5: Základní informace o anilinu.....	51
Tabulka 6: Základní informace o kyselině fosforečné.....	51
Tabulka 7: Základní informace o peroxodisíranu amonném	51
Tabulka 8: Základní informace o hydroxidu sodném.....	52
Tabulka 9: Základní informace o kyselině octové.....	52
Tabulka 10: Základní informace o kyselině trihydrogen borité	52
Tabulka 11: Základní informace o pyrrolu	52
Tabulka 12: Přehled použitých nanočástic	53
Tabulka 13: Složení polymeračního systému	56
Tabulka 14: Složení monomerů u L ₀	57
Tabulka 15: Formulace nátěrových hmot	61
Tabulka 16: Stupně hodnocení pro vizuální hodnocení vzhledu nátěrového filmu	69
Tabulka 17: Kritéria k hodnocení poškození nátěrového filmu methylethylketonem dle normy ASTM D4752-10	72
Tabulka 18: Hodnocení poškození po řezu do nátěrového nátěru dle normy ČSN ISO 2409 ..	75
Tabulka 19: Hodnocení lomů dle normy ČSN EN ISO 4624.....	77
Tabulka 20: Složení pufrů o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12	79
Tabulka 21: Hodnocení koroze řezu dle normy ASTM D 1654-92	80
Tabulka 22: Složení masopeptonového agaru (MPA).....	83
Tabulka 23: Složení masopeptonového bujónu (MPB).....	83
Tabulka 24: Složení bujónu se sójovým kaseinem a lecitinem (SCDLP)	84
Tabulka 25: Složení tryptonového agaru s kvasničným extraktem (GTK)	84
Tabulka 26: Složení fyziologického roztoku	84
Tabulka 27: Složení fosfátového tlumivého pufru	85
Tabulka 28: Složení fyziologického fosfátového pufru.....	85

Tabulka 29: Použité bakteriální kmeny	85
Tabulka 30: Hodnocení bakteriální kontaminace obtiskové metody.....	87
Tabulka 31: Výsledné hodnoty pH, viskozity, obsahu koagulátu, obsahu sušiny a MFFT akrylátového latexu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu	90
Tabulka 32: SEM snímek a difraktogram pigmentu La_2O_3 , hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP.....	91
Tabulka 33: SEM snímek a difraktogram pigmentu ZnO , hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP.....	92
Tabulka 34: SEM snímek a difraktogram pigmentu SeO_2 , hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP.....	92
Tabulka 35: SEM snímek a difraktogram pigmentu ZnSe , hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP.....	93
Tabulka 36: SEM snímek a difraktogram pigmentu polyanilin fosfátu, hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP	93
Tabulka 37: SEM snímek a difraktogram pigmentu polypyrrol fosfátu, hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP	94
Tabulka 38: Výsledné hodnoty vzhledu nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, DFT = $50 \pm 10 \mu\text{m}$	95
Tabulka 39/I.: Výsledné hodnoty lesku nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, DFT = $50 \pm 10 \mu\text{m}$	96
Tabulka 39/II.: Pokračování tabulky 39/I: Výsledné hodnoty lesku nátěrového filmu	96
Tabulka 39/III.: Pokračování tabulky 39/I: Výsledné hodnoty lesku nátěrového filmu	96
Tabulka 40: Výsledné hodnoty relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, DFT = $50 \pm 10 \mu\text{m}$..	99
Tabulka 41: Výsledné hodnoty odolnosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi vůči methylethylketonu, DFT = $50 \pm 10 \mu\text{m}$	100
Tabulka 42: Výsledné hodnoty mechanických zkoušek na ocelových panelech s nátěrovým filmem na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, DFT = $75 \pm 10 \mu\text{m}$	101
Tabulka 43: Výsledné hodnoty odtrhů nátěrových filmů na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, DFT = $75 \pm 10 \mu\text{m}$	102
Tabulka 44: Výsledné hodnoty korozní odolnosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi vůči atmosféře s povšechnou kondenzací, DFT = $75 \pm 10 \mu\text{m}$	103

Tabulka 45: Výsledné hodnoty odolnosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi vůči atmosféře solného elektrolytu NaCl/(NH ₄) ₂ SO ₄ , DFT = 75±10 μm	104
Tabulka 46: Výsledné hodnoty odolnosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi vůči působení vody v závislosti na pH, DFT = 75±10 μm	105
Tabulka 47: Stupeň bakteriální kontaminace obtiskovou metodou na volných filmech na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi pro bakterii E. coli	106
Tabulka 48: Stupeň bakteriální kontaminace obtiskovou metodou na volných filmech na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi pro bakterii S. aureus	107
Tabulka 49: Výsledky stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových nátěrů na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu pro bakterii S. aureus	108
Tabulka 50: Výsledky stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových nátěrů na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu pro bakterii E. coli	109

SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1: Výpočet obsahu koagulátu	65
Rovnice 2: Výpočet obsahu sušiny	66
Rovnice 3: Výpočet olejového čísla	67
Rovnice 4: Výpočet kritické objemové koncentrace pigmentu	68
Rovnice 5: Výpočet relativní povrchové tvrdosti	71
Rovnice 6: Výpočet odolnosti vůči odtrhu	76
Rovnice 7: Výpočet životaschopných bakterií	88
Rovnice 8: Výpočet antimikrobiální aktivity.....	89

SEZNAM ZKRATEK

ADH	dihydrazin kyseliny adipové
BA	butylakrylát
CFU	jednotky tvořící kolonie
DAAM	diacetonakrylamid
DNA	deoxyribonukleová kyselina
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EAEC	enteroadherující <i>E. coli</i>
EHEC	enterohemoragická <i>E. coli</i>
EIEC	enteroinvazivní <i>E. coli</i>
EPEC	enteropatogenní <i>E. coli</i>
ESBL	β – laktamázy širokého spektra
ETEC	enterotoxigenní <i>E. coli</i>
GTK	tryptonový agar s kvasničným extraktem
KMA	kyselina methakrylová
KOKP	kritická objemová koncentrace pigmentu
LPS	lipopolysacharidy buněčné stěny
L ₀	akrylátový latex bez obsahu nanočástic/pigmentů
MEK	methylethylketon
MFFT	minimální filmotvorná teplota
MMA	methylmethakrylát
Mr	molekulová hmotnost
MPA	masopeptonový agar
MPB	masopeptonový bujón
MRSA	meticilin – rezistentní <i>Staphylococcus aureus</i>
MSRAM	mikrobiální povrchová složka rozpoznávající molekuly adhezivní matrice
NH	nátěrové hmoty
OČ	olejové číslo
OKP	objemová koncentrace pigmentu

PANI fosf.	polyanilin fosfát
PPy fosf.	polypyrrol fosfát
R	antimikrobiální aktivita
R•	volný radikál
ROS	reaktivní formy kyslíku
<i>S. aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
SCDLP	bujón se sójovým kaseinem a lecitinem
SE	stafylokokové enterotoxiny
TSST1	toxin syndromu toxického šoku
UV	ultrafialové záření
VOC	těkavá organická rozpouštědla
X	substituent

Úvod

Mikroorganismy se vyskytují všude kolem nás. Jsou nezbytnou součástí přírody, většina z nich je neškodných, ale některé druhy mohou být pro lidské tělo nebezpečné a mohou způsobovat různě závažná infekční onemocnění. Hrozbou pro lidské tělo jsou patogenní bakterie, které jej kolonizují. Závažným problémem, který nastává při léčení onemocnění způsobených bakteriemi, je rezistence k antibiotikům. Antimikrobiální rezistence je naléhavou globální hrozbou pro zdraví veřejnosti. Dochází k ní v případech, kdy si bakterie vyvinou schopnost nereagovat na účinky látek, které by měly inhibovat jejich růst. Bakterie, které jsou častou příčinou nozokomiálních nákaz a jsou rezistentní vůči široké škále antimikrobiálních látek, jsou *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*.

Jelikož je přirozenou schopností bakterií kolonizovat povrchy, adherovat na ně a vytvářet biofilm, je nutné tyto bakteriální uskupení ničit. Protože konvenční antibiotická léčba na tyto bakterie nestačí, účinnou prevencí vůči kolonizaci povrchů bakteriemi je používání antimikrobiálních nátěrů.

Antimikrobiální nátěry nacházejí uplatnění zejména v lékařských aplikacích, nejčastěji pro účely hygienických nátěrů na nemocniční povrchy, modifikaci lékařských implantátů, jako například katétry a také pro povrchovou úpravu chirurgických pomůcek.

V této diplomové práci je popsán účinek antimikrobiálních nátěrů na bázi syntetizovaných akrylátových latexů s přidávkem nanočástic ZnO, La₂O₃, ZnSe, SeO₂ a vodivých polymerů PANI fosf. a PPy fosf. na bakteriální kmeny *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*. Zabývá se účinkem antimikrobiálních nátěrů a aditiv přidávaných pro zvýšení jejich antimikrobiálních účinků na působení bakterií, které se snaží kolonizovat povrchy. Testována je i mechanická, fyzikální a chemická odolnost formulovaných nátěrů, tyto parametry jsou důležité pro zhodnocení všech jejich vlastností.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Mikrobiální problematika, působení bakterií na povrchy

Bakterie přirozeně migrují směrem k pevným povrchům a kolonizují je. Tato kolonizace má za důsledek vznik mikrobiálního biofilmu, který sledujeme v přírodě, biologických tkáních, lékařských přístrojích, průmyslu nebo vodovodních systémech. Odolnost biofilmů vůči konvenční antibiotické terapii představuje velkou hrozbu. Tato skutečnost vedla k výzkumu syntetických povrchů a nátěrů, které odolávají bakteriální kolonizaci (Snigdha a kol. 2020).

Životaschopnost mikroorganismů na površích závisí na fyzikální a chemické vazbě mezi vnější membránou bakterie a povrchu. Dva nejdůležitější faktory, které ovlivňují interakci mikrobiální buňky a povrchu jsou povrchový náboj a smáčivost. Buněčná stěna grampozitivních bakterií má záporný náboj, díky kyselině teichoové, která prochází peptidoglykanem v buněčné stěně. V případě gramnegativních bakterií je jejich náboj také negativní, a to díky fosfolipidům a lipopolysacharidům. Negativně nabitě buňky silně interagují s kladně nabitým povrchem prostřednictvím elektrostatické interakce (Mahanta, 2021).

1.1.1 Antimikrobiální rezistence

Antimikrobiální rezistenci lze definovat jako stav, kdy patogen není poškozen v přítomnosti antimikrobiální látky, nejčastěji se jedná o antibiotika. Objevem antibiotik nastal jeden z nejdůležitějších pokroků v moderní vědě. Antibiotika jsou látky, které byly vynalezeny pro účel zasažení do životních procesů patogenů. Výzkumem a praktickým používáním antibiotik bylo zjištěno, že přirozenou schopností mikroorganismů je vytvoření rezistence vůči antimikrobiálním látkám (Reygaert, 2018). Mikroorganismus dokáže růst v přítomnosti těchto látek, a to v důsledku genetických změn, tzv. mutací (Drlica, Perlin, 2011). Nárůst antimikrobiální rezistence byl způsoben několika faktory, nejčastěji nevhodným předepisováním antibiotik nebo používáním mimo sektor zdravotní péče (Marson, Dixon, 2016).

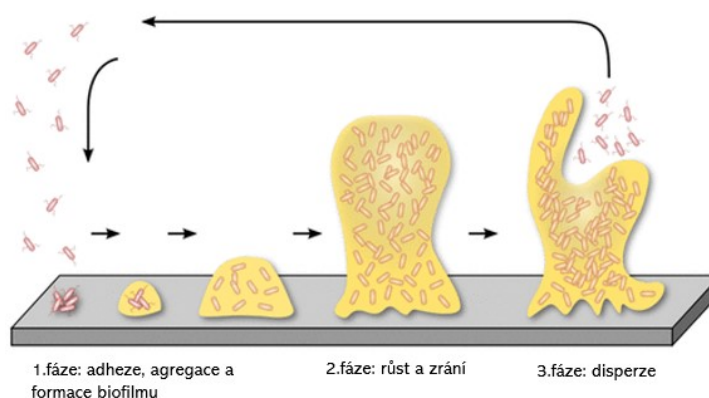
Antibiotická rezistence kmenu *Escherichia coli* je rozšířená po celém světě. Profily výskytu a citlivosti patogenu na antibiotika vykazují vysokou variabilitu v různých populacích a prostředích. Vysoké úrovně rezistencí jsou zpravidla na širokospektrální peniciliny (ampicilin, ciproflaxin, piperacilin) a cefalosporiny 1., 2. a 3. generace. Rezistence u *E. coli* je způsobena produkcí enzymů ESBL (β – laktamázy širokého spektra). ESBL se naváží na β -laktamový kruh, hydrolyzují jej a činí antibiotika rezistentními (Von Baum, Marre, 2005).

Staphylococcus aureus je již od počátku 60. let 20. století zcela rezistentní vůči penicilinu. Tato rezistence je způsobena produkcí enzymů penicilinázy a betalaktamázy. Tímto dokáže dané antibiotikum inaktivovat. Nefunkční penicilin byl nahrazen antibiotikem ze stejné skupiny betalaktamů, meticilinem. Již po dvou letech používání této látky byl zpozorován vznik rezistentních kmenů vůči meticilinu, tzv. MRSA kmeny. Tyto kmeny se často vyskytují v nemocnicích jako původci nozokomiálních nákaz a jsou velkým problémem u pacientů s otevřenými ranami nebo po chirurgických zákrocích. V průběhu 90. let došlo také ke vzniku rezistence vůči vankomycinu (Monaco a kol., 2017).

1.1.2 Osídlování povrchů bakteriemi, vznik biofilmu

Bakterie mohou žít v planktonické formě (volně) nebo ve formě biofilmu (seskupení bakterií). Jelikož mají tendenci kolonizovat a osídlivat různé typy povrchů, ve většině případů dochází ke tvorbám biofilmu. Buňky jsou díky vzniku biofilmu odolnější vůči stresovým situacím, jako je vysychání nebo účinky antibiotik. Biofilm jim také umožňuje intenzivní komunikaci, díky tomu se dokážou bránit imunitnímu systému a léčba je velmi obtížná. (Grinberg, Orevi a kol., 2019).

Ke vzniku biofilmu dochází v prostředí s nedostatkem živin. Volně plovoucí planktonní buňky začnou zmenšovat svoji velikost a jejich povrch se stává hydrofobním. Takováto buňka je schopna adherovat k pevnému povrchu za pomoci adhezínů a začne produkovat polysacharid. Začínají vznikat mikrokolonie, biofilm zraje a roste. Jakmile je biofilm vytvořen, část bakterií je z něj uvolněna, aby mohla kolonizovat další oblasti (Crouzet, Le Senechal a kol., 2014). Tento proces je zobrazen na obrázku 1.



Obrázek 1: Vznik biofilmu, upraveno a převzato z: (Funari, Shen, 2022)

Biofilm je ve většině případů spojen s chronickým onemocněním. Typicky jde o perzistující infekce, které se vyvíjí pomalu, jsou zřídka překonány imunitním systémem a nijak nereagují na antimikrobiální léčbu (Vetsby, Grønseth a kol., 2020).

Biofilm *Escherichia coli* je složený z kolonie zapuštěné v matici extracelulárních polymerních látek (EPS), která je chrání před nepříznivými vlivy prostředí. Nejčastěji dochází ke vzniku biofilmů při chronických infekcích močových cest nebo na zdravotnických prostředcích (Sharma a kol., 2016).

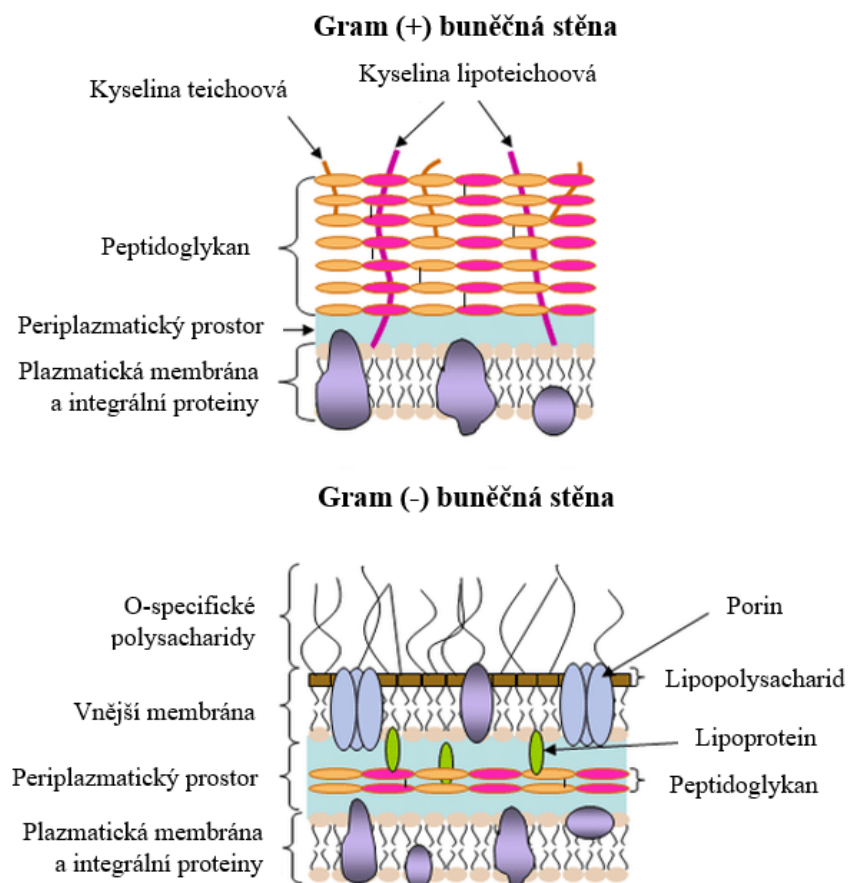
Biofilm *Staphylococcus aureus* má ve své struktuře specifický antigen – polysacharidový intracelulární antigen (PIA), ten zastává důležitou funkci při jeho tvorbě a virulenci. K tvorbě biofilmu *S. aureus* dochází na zdravotnických materiálech (katétrů, implantátů,..) a na hostitelských tkáních, tím dochází ke vzniku infekce. Biofilm *S. aureus* vykazuje mimořádnou odolnost vůči antimikrobiální léčbě, proto je zátěží pro lidské tělo. Infikované materiály a tkáně v důsledku neúčinné antimikrobiální léčby vyžadují pro své odstranění chirurgický zákrok. (Archer, Mazaitis a kol., 2014; Boles, Horswill, 2011).

Abychom byli schopni předejít vzniku biofilmů ve zdravotnictví nebo v potravinářském průmyslu, je nutné inhibovat způsoby přichycení buněk na tyto povrchy. Toho je možné dosáhnout potahováním povrchů nebo povrchovou modifikací činidly, které mají antibakteriální vlastnosti a po aplikaci na povrch jsou vůči mikroorganismům antiadhezivní (Jietao, Jing a kol., 2019; Nadar, Khan, Patching, 2022).

1.2 Charakterizace použitých grampozitivních a gramnegativních bakterií

Bakterie lze rozdělit podle složení buněčné stěny na grampozitivní a gramnegativní, to je zobrazeno na obrázku 2. Gramnegativní bakterie se vyznačují tenčí, ale složitější strukturou buněčné stěny. Ta se skládá z tenké vrstvy peptidoglykanu a vnější membrány, která obsahuje lipopolysacharidy, ty jsou zodpovědné za antigenní specifitu a zvyšují negativní náboj molekuly. Ten umožňuje gramnegativním bakteriím odolávat vůči hydrofobním sloučeninám (Huang a kol., 2008; Hajipour a kol., 2012).

Buněčná stěna grampozitivních bakterií na rozdíl od gramnegativní neobsahuje vnější membránu, která hraje hlavní roli v ochraně před toxickými molekulami. Důsledkem této skutečnosti a toho, že často žijí ve stejném prostředí jako gramnegativní bakterie, je to, že grampozitivní mikroorganismy mají velmi silnou vrstvu peptidoglykanu. Těmito vrstvami prochází dlouhé aniontové polymery teichoové kyseliny a tím jsou chráněny stejně jako gramnegativní bakterie (Silhavy, Kahne, Walker, 2010).



Obrázek 2: Stavba buněčné stěny grampozitivních a gramnegativních mikroorganismů. převzato a upraveno z: (Atanasova, 2010)

1.3 Použité mikroorganismy

Stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových hmot bylo prováděno na bakteriích *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*.

1.3.1 *Escherichia coli*

Escherichia coli (*E. coli*) je nejrozšířenější komenzálně zastoupená bakterie v trávicím traktu lidí a teplokrevných zvířat, je nejčastější příčinou gramnegativních nozokomiálních a komunitních infekcí (Von Baum, Marre, 2015).

Základní charakteristika

Escherichia coli patří do bakteriální čeledi *Enterobacteriaceae*. Jako komenzál žije ve vzájemně výhodném spojení s hostitelem. Již krátce po narození je *E. coli* fyziologicky zastoupena v lidské mikroflóře. Onemocnění způsobují patogenní kmeny, narušením střevní mikroflóry nebo přenesením kmenu mimo střevní trakt (Allocati, Masulli a kol., 2013).

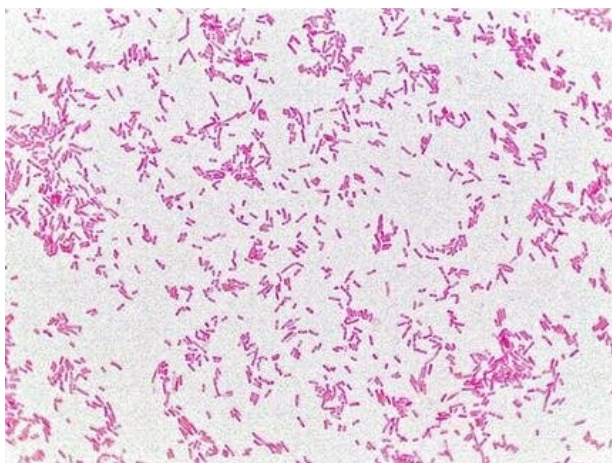
Morfologie

E. coli je gram negativní bakterie tyčinkového tvaru, to je zobrazeno na obrázku 4. Její délka činí 2 – 3 μm a šířka 0,5 – 0,8 μm . *E. coli* je fakultativně anaerobní, dokáže tedy růst v anaerobním i aerobním prostředí, netvoří spory, vytváří polysacharidová pouzdra a svůj pohyb uskutečňuje pomocí bičíků (Mosio, 2012).

E. coli je nenáročná na kultivaci. Na krevním agaru s 5% beraní krví roste v šedobílých koloniích s rovnými okraji a hladkým povrchem, může u ní být zpozorována hemolýza, to je zobrazeno na obrázku 3 (Mosio, 2012).



Obrázek 3: *Escherichia coli* na krevním agaru, převzato z: (Mosio, 2012)



Obrázek 4: *Escherichia coli* pod optickým mikroskopem po obarvení dle Grama, převzato z: (Anwar a kol., 2022)

Antigenní struktura

E. coli má na svém povrchu antigeny, které jsou klíčové v určování jednotlivých sérotypů a jsou zodpovědné za vlastnosti bakterie. Nejvýznamnějšími povrchovými antigeny jsou lipopolysacharidy buněčné stěny (LPS) tzv. somatické O – antigeny, kapsulární K – antigeny a bičíkové H – antigeny. Kombinací těchto povrchových antigenů vzniká až 240 sérotypů (Jann K., Jann B., 1987; Ballmer a kol., 2007).

Somatický O – antigen je struktura zakotvena ve vnější membráně buněčné stěny *E. coli*. Skládá se z několika částí a těmi jsou: O – antigen, vnější jádro, vnitřní jádro a lipid A. Lipid A ukotvuje celý LPS do bakteriální membrány. Zodpovídá za endotoxické účinky antigenu (Liu, Furevi a kol., 2019; Stenutz a kol. 2006). K – antigeny neboli kapsulární, jsou termostabilní polysacharidové jednotky bakteriálního pouzdra. Nejsou významné při diagnostice, ale mají velký význam při stanovení faktorů virulence (Whitfield, 2006). Bičíkové H – antigeny jsou převážně termolabilní. Nacházejí se u pohyblivých bakterií a je popsáno celkem 53 forem (Wang a kol., 2003).

Patogeneze

Escherichia coli může vyvolat těžké infekce u lidí a zvířat. Má mnoho patogenních kmenů. Lze je rozdělit podle vyvolávaného onemocnění na 2 typy, a to interstinální a extraintestinální.

Interstinální jsou střevní patovary, které jsou zodpovědné za poruchy střevní mikroflóry. Dochází při nich k mírným průjmům, při větším poškození se projevují těžké kolitidy (Poirel, Madec a kol., 2018).

Extraintestinální onemocnění zapříčiňují většinou asymptomatictí obyvatelé střevního traktu. Ti po migraci do ostatních částí těla způsobují mimostřevní onemocnění, například onemocnění močových cest, k nimž dochází pomocí adheze fimbrií ke sliznici (Poirel, Madec a kol., 2018; Manning, 2010).

Virulence

E. coli je rozřazena dle faktorů virulence do skupin:

EPEC (enteropatogenní)

Tyto patogeny se nejčastěji projevují v podmínkách se špatnou hygienou a způsobují vodnaté průjmy, především u malých dětí (Allocati, Masulli a kol., 2013).

ETEC (enterotoxigenní)

Tyto patogeny jsou nejčastější příčinou tzv. cestovatelských průjmů. Dochází při nich k mírným až velmi těžkým vodnatým průjmům, které se projevují u dětí i dospělých především v tropických destinacích (Allocati, Masulli a kol., 2013).

EIEC (enteroinvazivní)

Tyto patogeny pronikají do buněk tlustého střeva, které poškozují a následkem vznikají vodnaté krvavé průjmy. Onemocnění průběhem připomíná shigelózu, neboli bacilární úplavici (Allocati, Masulli a kol., 2013).

EHEC (enterohemoragické)

Tyto patogeny produkují Shiga-like toxiny, což je činí nejvirulentnějšími průjmovými *E. coli*, které jsou dosud známé. EHEC je typický alimentární patogen způsobující hemoragickou kolitidu (Allocati, Masulli a kol., 2013).

EAEC (enteroadherující)

Tyto patogeny jsou spojovány u lidí s přetrvávajícími průjmy. Vyskytují se u dětí z rozvojových zemí, u pacientů infikovaných virem HIV a také ve střevech asymptomatických pacientů (Allocati, Masulli a kol., 2013).

Epidemiologie

Největším rezervoárem *E.coli* je střevní trakt teplokrevných zvířat, a to jak hospodářských, tak i domácích. Onemocnění *E.coli* se ve většině případů vyskytují sporadicky. V určitých situacích mohou propukat epidemie, zejména u kmenů EHEC (enterohemoragických).

Přenášena je fekálně orální cestou ve špatných hygienických podmínkách. Člověk je nakažen konzumací infikovaných potravin, zejména masa, mléčných výrobků, ale také zeleniny a ovoce hnojených zvířecími výkaly nebo konzumací infikované pitné vody (Göpfertová, Pazdiora, Dánová, 2013).

1.3.2 *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus (*S. aureus*) je fakultativně anaerobní bakterie, je komenzálem člověka a teplokrevných živočichů. Nejčastěji se vyskytuje na pokožce, urogenitálním traktu, sliznicích respiračního ústrojí, a to především ústní a nosní dutině (Tong, Davis a kol., 2015).

Základní charakteristika

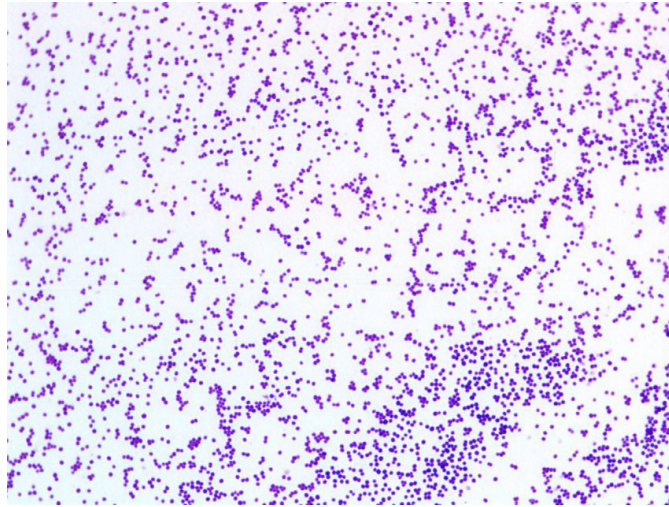
S. aureus neboli zlatý stafylokok, patří do rodu *Staphylococcus*, čeledi *Staphylococcaceae*. Jakožto komenzál žije ve výhodném spojení s hostitelem, přirozeně se vyskytuje a osidluje kůži a sliznice respiračního ústrojí. Patogenně působí, například při oslabeném imunitním systému a způsobuje širokou škálu klinických infekcí, záněty kůže, syndrom toxického šoku, alimentární onemocnění a další (Howden, Giulieri a kol., 2023).

Morfologie

S. aureus je grampozitivní kok, nepohyblivý a nevytvářející spory. Buňky mají průměrně velikost 0,5 – 1,5 μm a jsou uspořádány jednotlivě, v řetězcích, ve čtveřicích, ale nejčastěji vytváří hroznovité shluky, to je zobrazeno na obrázku 5. Řadí se do koaguláza pozitivních stafylokoků a jakožto fakultativní anaerob je schopný žít jak v aerobním i anaerobním prostředí. Vnější podmínky také nejsou pro *S. aureus* problémem, dokáže totiž přežít v poměrně vysoké koncentraci NaCl a to až 10 % (Mosio, 2012).

S. aureus lze poměrně snadno kultivovat na krevním agar s 5% beraní krvi, kde způsobuje úplnou hemolýzu, což lze pozorovat na obrázku 6. Kolonie jsou většinou žlutooranžové až zlaté. Pro kultivaci *S. aureus* z kontaminovaných vzorků jsou využívány selektivně diagnostické půdy, a to zejména Baid-Parkerův agar, na kterém *S. aureus* roste

v lesklých černých koloniích nebo Slaný agar s mannitolem a fenolovou červení, kde roste ve žlutozlatých koloniích, jako je zobrazeno na obrázku 7 (Taylor, Unakal, 2022; Mosio, 2012).



Obrázek 5: Staphylococcus aureus pod optickým mikroskopem po obarvení dle Grama, 10x zvětšení, převzato z: (Jumaah, Joshi, Sandai, 2014)



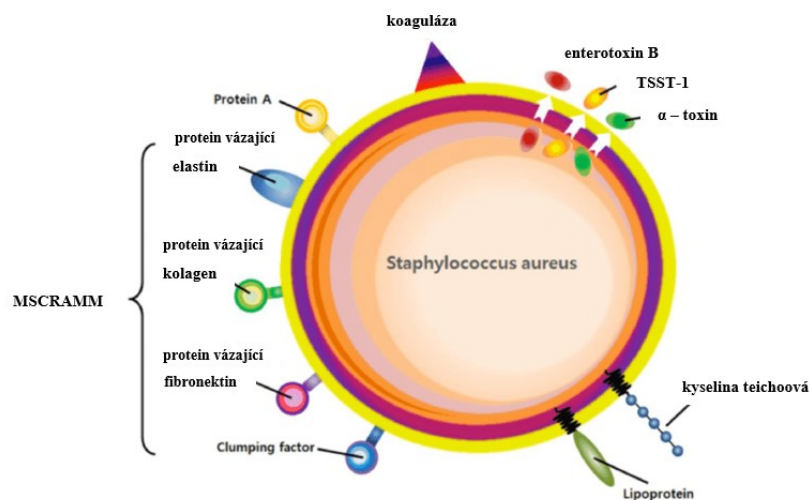
Obrázek 6: Staphylococcus aureus na krevním agaru, převzato z: (Tylšová, Bursová, 2014)



Obrázek 7: *Staphylococcus aureus* na slaném agaru s mannitolem a fenolovou červení, převzato z: (Tankeschwar, 2022)

Antigenní struktura

S. aureus zahajuje proces kolonizace k povrchu hostitelské buňky pomocí antigenních faktorů, které jsou vázány na povrch buněčné stěny. Jinak řečeno adheziny, jsou antigenní struktury *S. aureus*, které se specificky připojují ke složkám plazmy nebo extracelulární matrice. Skupina těchto proteinových struktur se nazývá mikrobiální povrchová složka rozpoznávající molekuly adhezivní matrice neboli MSCRAMM. Typickými zástupci jsou protein A, clumping faktor a další proteiny, zobrazeny na obrázku 8 (Choi, Seo a kol., 2014).



Obrázek 8: Antigenní struktura *S. aureus*, převzato a upraveno z: (Choi, Seo a kol., 2014)

Další faktory vázané na buněčnou stěnu:

Na povrchu buněčné stěny jsou kromě MSCRAMM také další faktory, které umožňují *S. aureus* kolonizaci hostitelských buněk a to peptidoglykan, který zpevňuje celou buněčnou

stěnu. Přímo podporuje produkci cytokinů, které jsou uvolňovány z makrofágů a tímto ovlivňuje nespecifickou imunitní odpověď B lymfocytů, které jsou stimulovány k tvorbě imunoglobulinů. Kyselina teichoová neboli polysacharid A prostupuje vrstvou peptidoglykanu, díky svému negativnímu náboji přispívá při adhezi ke sliznicím a kůži a napomáhá ke tvorbě biofilmu a k adhezi k umělým povrchům (Pietrocola, Campoccia a kol., 2022; Wang, Van Dijk, 2022).

Virulence

Nejenže mezi faktory virulence patří již zmíněné povrchové faktory vázané na buněčnou stěnu, ale zejména extracelulární faktory virulence, tedy takové, které *Staphylococcus aureus* produkuje. Jedná se nejčastěji o enzymy a exotoxiny (Bien, Sokolova, Bozko, 2021).

Enzymy

Mezi enzymy patří koaguláza, ta v přítomnosti prothrombinu v plazmě vytváří stafylothrombin. Ten dále katalyzuje přeměnu fibrinogenu, který je rozpustný, na fibrin, který má pevnou strukturu a tato stafylokoková vazba je důležitým parametrem patogeneze, kdy dochází ke vzniku ohraničených ložisek v tkáních hostitele (Mcadow, Missiakas, Schneewind, 2012).

Dalšími důležitými enzymy jsou kataláza a hyaluronidáza. Kataláza podporuje přeměnu peroxidu vodíku, který je toxický, na vodu a kyslík. Hlavní funkcí je tedy zabránit akumulaci toxických hladin peroxidu vodíku (Mustafa, 2014). Hyaluronidáza, neboli faktor šíření, štěpí kyselinu hyaluronovou. Svým působením zvyšuje propustnost tkání a usnadňuje tím *S. aureus* a jeho toxinům šíření do okolních tkání (Ibberson, Jones a kol., 2014).

Exotoxiny

Mezi významné exotoxiny patří hemolyziny. Hrají důležitou roli u virulence *S. aureus*. α – hemolyzin je velmi významný cytotoxin, po navázání na cílovou membránu začne tvořit heptamerní komplex pórů. Tyto póry způsobí únik molekul iontů draslíku a vápníku z buňky, čímž dojde k nekrotické smrti cílové buňky. β – hemolyzin neboli sfingomyelináza C, degraduje sfingomyelin v plazmatických membránách (Divyakolu, Chikkala a kol., 2019; Vandenesch, Lina, Henry, 2012).

Stafylokokové enterotoxiny (SE) se dělí na tzv. klasické SEs (SEA-SEE) a nové typy (SEF-SEV). Vyznačují se vysokou termostabilitou a odolností vůči trávicím enzymům

(Šťástková, Karpíšková, Borkovcová, 2012). Způsobují toxické šokové syndromy a stafylokokové otravy jídlem (Ortega, Abriouel a kol., 2010).

Toxin syndromu toxického šoku (TSST1) je superantigen způsobující syndrom toxického šoku. Klinicky se toto onemocnění projevuje horečkou, vyrážkou, nervovými poruchami, mnohočetným selháním orgánů až smrtí (Silversides, Lappin, Ferguson, 2010).

Patogeneze

Staphylococcus aureus patří mezi nejvýznamnější příčiny bakteriálních infekcí. Nejvíce kolonizuje kůži a sliznice horních dýchacích cest u lidí i zvířat (Kobayashi, Malachowa, Deleo, 2015). Nejčastější alimentární intoxikací a onemocněním způsobeným *S. aureus* je považována stafylokoková enterotoxikóza. K onemocnění dochází požitím infikovaného jídla (Ortega, Abriouel, a kol. 2010; Kobayashi, Malachowa, Deleo, 2015).

Epidemiologie

Meticilin – rezistentní kmeny *S. aureus* (MRCA) jsou velmi rezistentními patogeny vyskytujícími se zejména v nemocničním prostředí. Šíření těchto patogenů mezi pacienty značně omezuje antibiotickou léčbu a zejména to komplikuje život pacientů. Nárůst výskytu infekcí způsobených *S. aureus* je částečně způsobena schopností patogenu se adaptovat na neustále se měnící prostředí (Tkadlec, Capek a kol. 2021; Boucher, Corey, 2008).

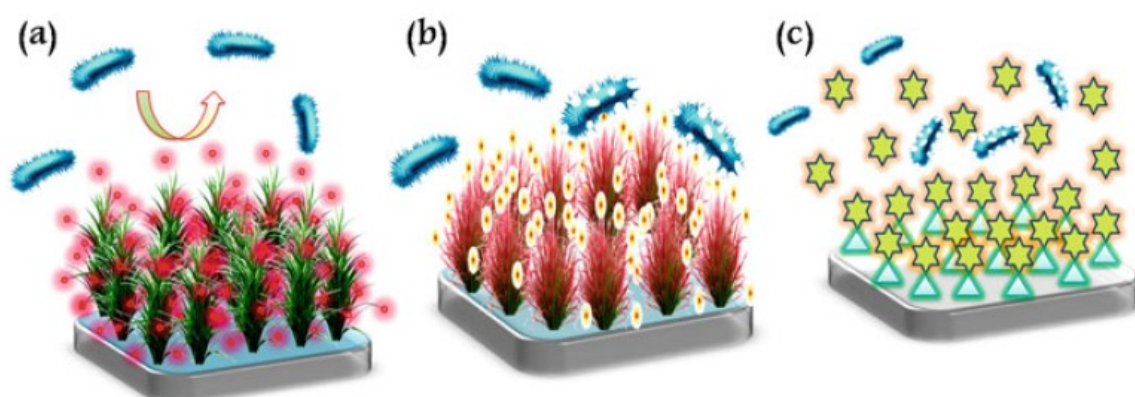
Lidské tělo je přirozeným rezervoárem pro *S. aureus*. Nejčastěji dochází k asymptomatické kolonizaci nosohltanu nebo kůže u které byla porušena kožní bariera nebo také na kůži krátce po narození novorozence. Přenos probíhá přímým kontaktem s kolonizovaným nosičem. Častěji náchylní ke kolonizaci *S. aureus* jsou uživatelé drog, osoby závislé na inzulínu, pacienti s dermatologickými onemocněními, pacienti s dlouhodobě zavedenými intravaskulárními katétry nebo zdravotní pracovníci. U dětí dochází k častějšímu výskytu onemocnění způsobených touto bakterií v důsledku častého kontaktu s respiračními sekrety (Chambers, 2001).

Zdrojem bakterií *S. aureus* patří také typické kontaminované potraviny obsahující toxiny, které *S. aureus* produkuje. Mezi nejčastější potraviny patří pudink, pečivo plněné slaninou, mléko, smetanové krémy, zpracované maso a ryby. Díky schopnosti *S. aureus* kolonizovat kůži je riziko přenosu vysoké, pokud pracovníci manipulující s potravinami řádně nedodržují hygienické podmínky (Argudín, Mendoza, Rodicio, 2010).

1.4 Nátěry s antimikrobiálními účinky

Poptávka po nových antimikrobiálních nátěrech a produktech se neustále zvyšuje v důsledku nárůstu šíření infekcí a snížení účinnosti používaných průmyslových produktů. K vyvinutí univerzálního přípravku, který by dokázal regulovat nebo zastavit infekční výskyt, se snaží přiblížit akademický sektor i mnohá odvětví průmyslu. Díky těmto přípravkům by bylo možné regulovat zdravotní rizika, která mikroby způsobují, a to zejména ve zdravotnickém prostředí (Tiwari, Chaturvedi, 2018).

Antimikrobiální nátěry jsou také uvažovanou alternativou za konvenční podávání antibiotik, jelikož jsou schopné zamezit bakteriální kontaminaci. Věnují se tedy mnohem více prevenci vůči patogenním infekcím. Proces působení antibakteriálních nátěrů probíhá třemi způsoby, které jsou zobrazeny na obrázku 9. Dochází k uvolňování antibakteriálního činidla z jejich povrchu, zabíjí mikroby kontaktem s povrchem nebo antiadhezivně odpuzují bakterie (Yang a kol., 2022).



Obrázek 9: Schématické zobrazení působení antimikrobiálních nátěrů na bakterie, a) antiadhezivní odpuzující povrch, b) kontaktní usmrcující povrch, c) povrch uvolňující antibakteriální činidlo, převzato z: (Yang a kol. 2022)

Antiadhezivní odpuzující povrchy používají necytotoxické mechanismy působení. Zabraňují vzniku nejranějšího stádia tvorby biofilmu pomocí polymerních řetězců, kterými jsou povrchy potaženy a jsou schopny odpuzovat mikrobiální látky (Yang a kol., 2022).

Antimikrobiální nátěry usmrcující bakterie pomocí kontaktu s povrchem působí díky uvolňování antimikrobiálních činidel. Ta jsou vázána na povrchu kovalentní pružnou vazbou hydrofobními polymerními řetězci. Adherované bakterie jsou v důsledku působení

antimikrobiálních činidel usmrceny a dochází k destrukci jejich buněčné membrány (Yang a kol., 2022).

Posledním způsobem působení antimikrobiálních nátěrů je uvolňování antibakteriálního činidla. Tyto nátěry uplatňují svou antibakteriální aktivitu tím, že v průběhu času uvolňují antibakteriální činidla, což umožňuje usmrcení jak přilnutých, tak sousedních planktonických bakterií. Mikrobicidní látkou je impregnován povrch nebo je napuštěn porézní substrát a dochází k rychlému uvolňování látky (Yang a kol., 2022).

Mezi nejčastěji používané antimikrobiální látky patří nanočástice, a to zejména stříbra, mědi, zinku a titanu. Mají baktericidní funkci a dochází k poškození buněčné stěny bakterií vedoucím k následné dysfunkci jejich základních složek (Birkett, Dover a kol., 2022).

1.4.1 Polymerní nátěry

Polymerní nátěry na bázi akrylátových latexů jsou často využívanou alternativou k rozpouštědlovým nátěrovým povlakům. Jsou zdravotně nezávadné, nezatěžují životní prostředí a jejich syntéza není finančně náročná a je na vysoké úrovni (Machotová, Kalendová a kol., 2020).

I přesto, že polymery nemají antimikrobiální účinky, jejich významnou vlastností je, že zabraňují bakteriální kolonizaci. Jsou hydrofilní a tím udržují na svém povrchu vrstvu vody, která působí odpudivě pro bakterie. Voda je k polymerům navázána vodíkovou vazbou, v důsledku toho se vyskytuje stérická zábrana pro proteiny a mikroorganismy, které mají tendenci adsorbovat se na povrch (Yang a kol., 2022).

Antiadhezivní povlaky, které zabraňují navázání bakterie jsou nejčastěji modifikovány tzv. polymerovými kartáči. Jsou to polymerní řetězce zabudované na povrchu ve vysoké povrchové hustotě. Polyethylenglykol byl jako první polymer používán k těmto účelům a bylo na něm dokázáno, že při jeho použití dochází ke snížení adheze mikroorganismů k povrchu (Swartjes, Sharma a kol., 2015).

Další možností, jak polymery bojují proti bakteriální kolonizaci je prostřednictvím elektrostatické přitažlivosti k buněčné membráně. Kationtové polymery se vážou do lipidových konců v buněčné membráně bakterie a díky tomu dochází k lýze membrány. Tyto kationtové polymery většinou obsahují kladně nabitě funkční skupiny kvartérních amoniových sloučenin (Qui, Si a kol., 2020; Knetsch, Koole, 2011).

1.4.2 Antimikrobiální pigmenty

1.4.2.1 Nanočástice

Nanočástice se jako antimikrobiální aditiva stávají velmi účinnými látkami v boji a k cílení proti bakteriím a často slouží i jako alternativa k antibiotické léčbě. Působí přímo na buněčnou stěnu a není pro ně nutné proniknout do buňky, proto se předpokládá, že vytvoření bakteriální rezistence je méně pravděpodobné (Wang, Hu, Shao, 2017).

Antimikrobiální nanočástice mohou být složeny z kovů, solí kovů, oxidů kovů, hydroxidů kovů, hybridních materiálů, organických nanonosičů naplněných antimikrobiálními látkami nebo také polymerů vykazujících antimikrobiální vlastnosti. Uplatňují se v mnoha odvětvích, jak je zobrazeno na obrázku 10. Nejčastější využívání vlastností nanočástic je zejména při konzervaci potravin, při úpravě zdravotnických prostředků, obvazových materiálech, k úpravě vody a dalších (Moritz, Geszske-Moritz, 2013).



Obrázek 10: Aplikace antibakteriálních nanočástic, převzato a upraveno z: (Moritz, Geszske-Moritz, 2013)

Biologická aplikace nanočástic je dána jejich výbornou antimikrobiální aktivitou vůči grampozitivním a gramnegativním bakteriím. Byla prokázána závislost velikosti, tvaru, morfologii a stabilitě nanočástic vůči jejich baktericidním účinkům. Anorganické nanočástice jsou ve srovnání s organickými antimikrobiálními látkami stabilnější a bezpečnější, což je bráno jako jedna z mnoha výhod (Moritz, Geszske-Moritz, 2013).

Antibakteriální nanočástice mají mnoho mechanismů účinků působení na bakterie. Nejčastěji působí na oxidační stres, který je důležitým aspektem účinku nanočástic vůči

bakteriím. Při něm dochází k aktivaci singletového kyslíku, který je zodpovědný za velkou část poškození způsobeného reaktivními formami kyslíku. Takto zaktivovaný kyslík produkuje reaktivní kyslíkové ionty a hydroxylové radikály, které mohou bránit proliferaci bakterií nebo ničit bakteriální buňky. Dalším mechanismem je působení kovových iontů z oxidů kovů na buněčné membrány bakterie. Dochází k adsorpci iontů a k následné interakci s funkčními skupinami proteinů a nukleových kyselin. Tyto interakce způsobují změny ve struktuře buňky a narušení fyziologických stavů (Shaik, Nazam a kol., 2019).

1.4.2.1.1 Nanočástice oxidu seleničitého

Nanočástice selenu jako takové získaly pozornost díky výzkumu jeho protirakovinné aktivity. Časem byl rozpoznán velký potenciál tohoto nanomateriálu v problematice antimikrobiálního působení. Oxid seleničitý (SeO_2) je bezpečnou variantou nanočástic selenu. Při výzkumech pro biomedicínské aplikace je preferován, na rozdíl od selenanů, které mají při extrémně nízkých koncentracích nebezpečné účinky a hromadí se v biosystémech. I přes tyto skutečnosti je jeho toxicita z velké části neznámá (Bisht, Phalswal, Khanna, 2022; Filipović, Ušjak a kol., 2020).

Mechanismus působení a inhibičních vlastností oxidu seleničitého na bakterie jsou stále nejasné. Nejpravděpodobněji dochází k tvorbě volných radikálů (Tran, Simpson a kol., 2016).

1.4.2.1.2 Nanočástice oxidu zinečnatého

Nanočástice oxidu zinečnatého (ZnO) jsou velmi účinnými antimikrobiálními aditivami a jejich používání v různých biomedicínských aplikacích je vnímáno jako bezpečné pro člověka. Mechanismy, které jsou zodpovědné za antimikrobiální aktivitu těchto nanočástic je schopnost destrukce buněčné stěny přímým kontaktem ZnO s buněčnými stěnami a následnou tvorbou reaktivních forem kyslíku (ROS). Dochází k poškození buněčné stěny a hromadění peroxidu vodíku v buňkách, který je pro buňku toxický. Jelikož je ZnO fotokatalytický, při vystavení UV záření dochází ke zvyšování tvorby ROS a následnému zvýšení antibakteriálního účinku. Dalším mechanismem je uvolňování antimikrobiálních iontů Zn^{2+} (Shaikh, Nazam a kol., 2019).

1.4.2.1.3 Nanočástice oxidu lanthanitého

Oxid lanthanitý (La_2O_3) je oxid kovu vzácných zemin, který je charakterizován svým vysokým bodem tání, vysokou hustotou, konduktivitou a dalšími jedinečnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Nanočástice oxidu lanthanitého inhibují růst bakterií, nejlepší

antimikrobiální aktivitu vykazují s grampozitivními bakteriemi, jako je např. *Staphylococcus aureus*. Lanthanoidové ionty jsou schopny potlačovat aktivitu Ca^{2+} iontů, které jsou zabudované ve vazebných místech stafylokokových nukleáz. Tímto mechanismem přerušují růstový mechanismus *S. aureus*.

Dalšími mechanismy působení oxidu lanthanitého na bakterie je indukce volných radikálů, zejména produkce OH radikálů, nebo interakce kladně nabitých nanočástic La_2O_3 a negativně nabitou buněčnou stěnou (Balusamy, Kandhasamy a kol., 2012).

1.4.2.1.4 Nanočástice selenidu zinečnatého

Selenidy kovů dokáží výborně degradovat bakterie, proto jsou častým předmětem výzkumů. Antibakteriální aktivita selenidu zinečnatého je založena na vzniku reaktivních forem kyslíku. Dochází k uvolňování superoxidů a peroxidu vodíku, což má za následek ovlivnění produkce proteinů a poškození DNA, a to následně vede k destrukci buňky. Interakce nanočástic s buněčnou membránou je dalším způsobem, jak selenid působí na bakterie. Elektrostatickými interakcemi mezi buněčnou stěnou a nanočásticemi dochází ke vstupu iontů do bakteriálního systému, to pak hraje významnou roli v baktericidní aktivitě (Beema, Ajitha, Rayar, 2021).

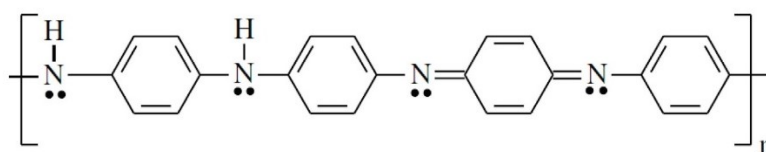
1.4.2.2 Vodivé polymery

Vodivé polymery jsou polymerní látky, které mají elektrickou a iontovou vodivost. Mezi hlavní zástupce patří polyanilin (PANI) a polypyrrol (PPy). Jsou to látky s kladným nábojem, jejich antibakteriální účinky spočívají ve vazbě se záporně nabitou bakteriální membránou. Po adhezi vodivých polymerů k buňce mohou částečně pronikat bakteriální membránou a následně interagovat s intracelulárními molekulami (Maruthapandi, Saravanan a kol., 2022).

1.4.2.2.1 Polyanilin

Polyanilin (PANI) si získal pozornost díky jeho skvělým vlastnostem, jako je vysoká vodivost, environmentální stabilita a snadná syntéza. Jeho struktura je zobrazena na obrázku 11. PANI působí antimikrobiálně, částečně v důsledku obsahu fenolu v jeho struktuře, ten má totiž silné antimikrobiální účinky. Kladně nabitá molekula PANI se váže na negativně nabitou bakteriální membránu. Díky tomuto je pravděpodobně schopen proniknout do bakteriálních buněk, interagovat s intracelulárními biomolekulami (Maruthapandi, Saravanan a kol., 2022).

Mechanismus, který PANI využívá k antimikrobiálním účinkům je produkce ROS k poškození proteinů a buněčné membrány. To vede k buněčné lýze a destrukci buňky. Bylo zjištěno, že PANI je aktivnější proti E. coli v aerobních podmínkách ve srovnání s anaerobními podmínkami. To naznačuje, že PANI zahrnuje produkce H_2O_2 (Maruthapandi, Saravanan a kol., 2022).

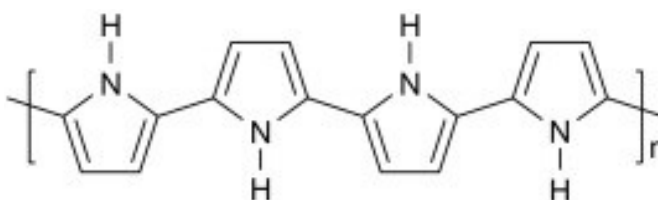


Obrázek 11: Struktura polyanilinu, převzato z: (Mazzeu, Faria a kol., 2017)

1.4.2.2.2 Polypyrrol

Polypyrrol (PPy) je vodivý polymer, využívaný pro svou environmentální stabilitu, vysokou vodivost, jednoduchou syntézu a své antibakteriální účinky. Jeho struktura je zobrazena na obrázku 12 (Yussuf, Al.Saleh a kol., 2018). PPy je konjugovaný polymer s kladným nábojem na svém hlavním řetězci. Tento náboj zprostředkovává kontakt s negativně nabitým bakteriálním buněčným povrchem. Vazba mezi PPy a bakteriální buněčnou stěnou vede k destabilizaci a narušení dynamiky rovnováhy buněčné stěny (Maruthapandi, Saravanan a kol., 2022).

Bylo zjištěno, že molekulová hmotnost PPy je závislá na antimikrobiálních vlastnostech. Tato závislost je dána propustností přes bakteriální membránu. Molekuly o vyšší molekulové hmotnosti pronikají bakteriální membránou jen částečně, zatímco molekuly o nižší molekulové hmotnosti mají vyšší antibakteriální aktivitu, pronikají do buňky a interagují s intracelulárními biomolekulami (Maruthapandi, Saravanan a kol., 2022).



Obrázek 12: Struktura polypyrrolu, převzato z: (Ramesan, Suhailath, 2017)

1.5 Akrylátové latexy

Akrylátové latexy jsou jedny z nejmodernějších pojiv, které se používají při výrobě vodou ředitelných nátěrových hmot. Na trhu jsou velmi rozšířené díky širokému využití, zejména do průmyslových nátěrů. Jejich výhodou je použitelnost na různé povrchy, ať už se jedná o kovy, plasty nebo dřevo.

Akrylátové latexy vznikají buď z jednoho typu monomerů, označují se jako homopolymery, nebo z dvou a více monomerů, označují se jako kopolymery. Kopolymery jsou častější variantou. Akrylátové latexy se syntetizují emulzní polymerací z kyseliny methakrylové/akrylové a jejich esterů (Sbardella, Pronti a kol., 2018; Jarušek, 1987).

Kyselina akrylová

Kyselina akrylová a její estery jsou hlavními surovinami při výrobě polymerních produktů. Ty se vyznačují průhledností, elasticitou, snadnou přilnavostí k materiálům, stabilitě vůči světlu a mírnému teplu. Kyselina akrylová je nejjednodušší nasycená karboxylová kyselina a syntetizuje se dvoustupňovou oxidací propylenu (Xu, Lin, Cen, 2006).

Kyselina methakrylová

Kyselina methakrylová a její estery jsou považovány za základní surovinu pro výrobu akrylátových latexů. Jedná se o karboxylovou kyselinu, která se syntetizuje z acetonkyanhydrinu. Kyselina methakrylová může být polymerována na polymethylmethakrylát, ten vykazuje vysokou biokompatibilitu a nízkou akutní toxicitu a je používán v lékařských aplikacích (Lebeau, Efromson, Lynch, 2020).

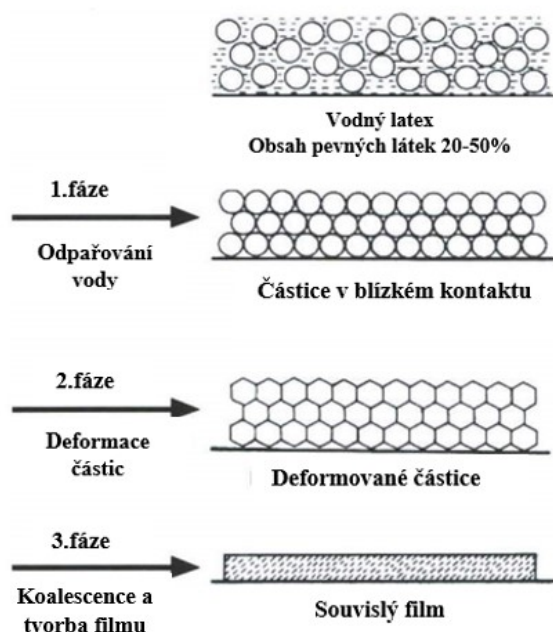
1.5.1 *Proces tvorby latexového filmu*

Tvorba latexového filmu vzniká koalescencí jednotlivých latexových částic. První fáze tvorby filmu je vypařování vody. Latex nanesený na podklad schne a voda, která je obsažena v nátěru se vypařuje a částice polymeru se k sobě začínou přibližovat. V této počáteční fázi latex zbledá, nezprůhlední a stále je velmi mechanicky neodolný. Většina vody v této fázi emulzi opustí a částice zůstávají těsně u sebe (Winnik, 1997; Steward, Hearn, Wilkinson, 2000).

Druhou fází je deformace. V této fázi dochází k odpařování zbytkové vody, rychlost dramaticky klesá, ale stále pokračuje. Částičky polymeru, které jsou hustě zabalené v emulzi s malým množstvím zbytkové vody, jsou v důsledku podtlaku deformovány, protože si nedokážou udržet svůj kulatý tvar a vyplňují prázdná místa po odpařené zbytkové vodě. V této

fázi film neobsahuje již žádnou vodu. Faktor, který ovlivňuje deformaci je minimální filmotvorná teplota (MFFT). Pokud je při sušení teplota pod MFFT vzniká nespojitý film (Winnik, 1997; Steward, Hearn, Wilkinson, 2000).

Poslední fází vzniku souvislého filmu je koalescence. V té dochází k prolínání sousedních částic a řetězců, vznikají propojené vazby a homogenní struktura filmu. Takto vytvrzený film má již své požadované mechanické vlastnosti. Celý proces tvorby latexového filmu je zobrazen na obrázku 13 (Winnik, 1997; Steward, Hearn, Wilkinson, 2000).



Obrázek 13: Proces tvorby latexového filmu, převzato a upraveno z: (Winnik, 1997)

1.6 Syntéza akrylátových latexů

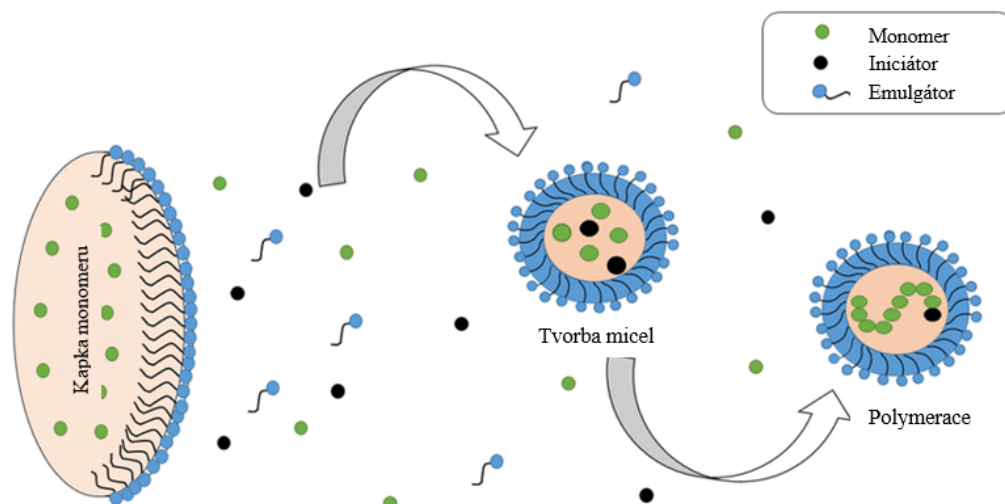
Akrylátové latexy jsou syntetizovány emulzní polymerací. Ta je detailně popsána v následující kapitole. Aparatura pro emulzní polymeraci je zobrazena na obrázku 14.



Obrázek 14: Aparatura k emulzní polymeraci, 1- míchadlo, 2- emulgační baňka, 3- zpětný chladič, 4- termostat, 5- přívod inertního plynu, 6- těsnící kryt na polymerační reaktor, 7- polymerační reaktor, 8- vodní lázeň s ohřevacím tělesem; převzato a upraveno z:(Machotová, 2016)

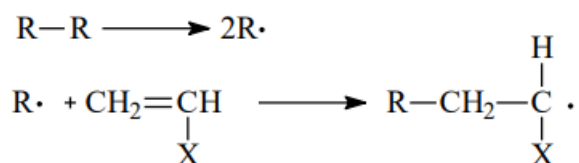
1.6.1 Emulzní polymerace

Emulzní polymerace je složitý proces, při kterém dochází k emulgaci monomeru ve vodné fázi. Ten je pomocí radikálové polymerace přeměněn na polymer – latex. Latexy jsou kulové částice, které mají na svém povrchu absorbované molekuly emulgátoru (povrchově aktivní látka), které stabilizují celý polymer. Proces emulzní polymerace je zobrazen na obrázku 15 (Šňupárek, Formánek, 1979).



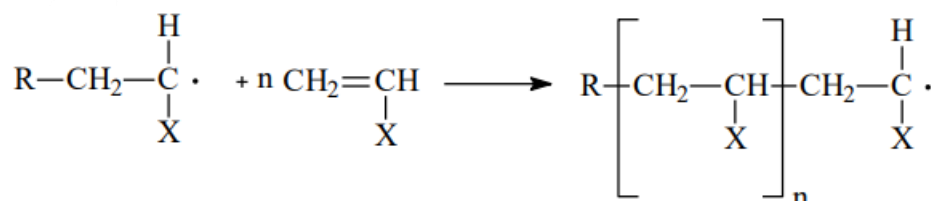
Obrázek 15: Emulzní polymerace, převzato a upraveno z: (Iqbal, Ahmad, 2018)

Prvním krokem emulzní polymerace je iniciace, ta je zobrazena na obrázku 16. V této fázi se iniciátory rozkládají na radikály, termickým nebo fotolytickým štěpením. Ty následně reagují s monomery. Iniciátory jsou částice, které mají nepárový elektron, to umožňuje snadnou reakci radikálu a monomeru. Monomer má dvojnou vazbu složenou z pevné vazby σ a labilní vazby π , tato labilní vazba snadno vstupuje do reakce s radikály (Šňupárek, Formánek, 1979).



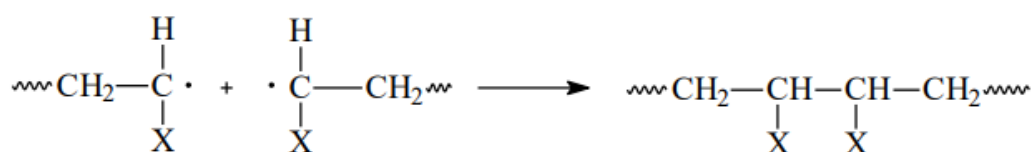
Obrázek 16: Iniciace, převzato z: (Šňupárek, Formánek, 1979).

Dalším krokem polymerace je propagace neboli růst řetězce, ta je zobrazena na obrázku 17. Adicí monomeru na volný radikál je zahájen vznik polymerního řetězce. Tato adice je následována další adicí monomeru, vzniká tak polymerní řetězec, který je složen z monomerů spojených pevnou kovalentní vazbou (Winnik, 1997).

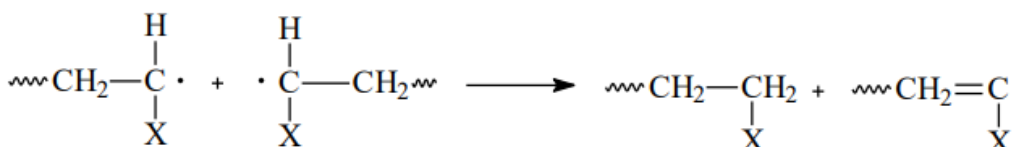


Obrázek 17: Propagace, převzato z: (Šňupárek, Formánek, 1979).

Posledním krokem je terminace, ta může probíhat dvěma způsoby. Jedním z nich je terminace rekombinací (obrázek 18), kdy dochází ke spojování radikálů pomocí kovalentní vazby a ukončení reakce. Druhým způsobem je terminace disproportionací (obrázek 19), dochází k přenosu vodíku z rostoucího řetězce na druhý, kdy vznikají dvě makromolekuly, přičemž jedna obsahuje dvojnou vazbu a druhá jednoduchou vazbu (Van Herk, Heuts, 2009).



Obrázek 18: Terminace rekombinací, převzato z: (Šňupárek, Formánek, 1979)



Obrázek 19: Terminace disproportionací, převzato z: (Šňupárek, Formánek, 1979)

1.6.2 Sítování polymerů

Sítování polymerů slouží ke zlepšení jejich fyzikálních, mechanických a chemických vlastností. Jelikož jsou akrylátové latexy termoplastické, mají špatnou odolnost vůči vodě, rozpouštědlům, při vyšších teplotách lepí a při nízkých jsou velmi křehké. Zesítováním se vlastnosti latexů zlepšují, dochází ke zvyšování počtu vazeb a tím jejich hustota roste a jejich odolnost se zvyšuje. Sítování můžeme rozlišit podle provedení do dvou skupin a to intra-částicové sítování a inter-částicové sítování (Chen, Garcia, Zimmerman, 2020).

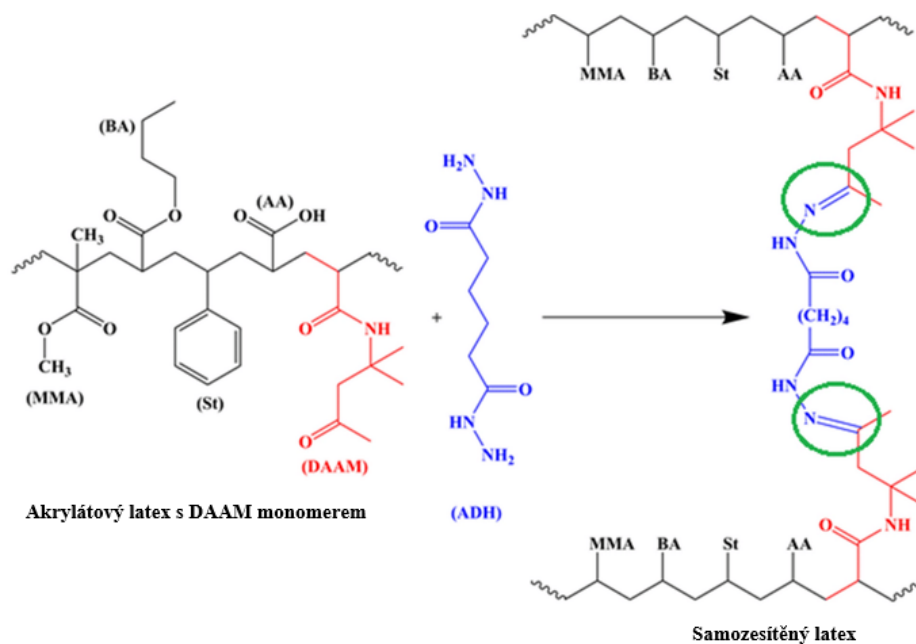
1.6.2.1 Intra-částicové sítování

Tento typ zesítování významně mění uspořádání řetězců a zpevňuje celou strukturu latexu. Dochází při něm ke vzniku vnitřně zesítěných částic při syntéze latexů. Toto zesíťování se může týkat vnitřní části latexové částice – jádra, nebo vnější části latexové částice – obalu. Dochází k němu dříve než ke koalescenci a produktem jsou latexy náchylné k mechanické deformaci (Machotová, Černošková a kol., 2018; Chen, Garcia, Zimmerman, 2020).

1.6.2.2 Inter-částicové síťování

K tomuto síťování dochází až při zasychání a tvorbě souvislého filmu v koalescenční fázi. Do latexů jsou přidávány síťovací činidla, která obsahují funkční skupiny. Těmito funkčními skupinami jsou propojovány jednotlivé polymerní řetězce latexů a vznikají polymerní sítě, které vykazují lepší vlastnosti (Machotová, Černošková a kol., 2018; Deplace, Carelli a kol., 2009).

Jedním z příkladů inter-částicového síťování je keto-hydrazinové samosíťování. K tomu dochází mezi karbonylovými skupinami monomeru diacetonakrylamidu a síťovadla dihydrazinu kyseliny adipové. Diacetonakrylamid (DAAM), jako nosič karbonylové skupiny, je začleněn při emulzní polymeraci. Dihydrazin kyseliny adipové (ADH) je do latexu přidáván ve formě vodného roztoku. Tímto postupem je docílen vznik jednosložkového latexu, který je velmi stabilní. Tento proces je zobrazen na obrázku 20 (Machotová, Černošková a kol., 2018; Deplace, Carelli a kol., 2009).



Obrázek 20: Keto – hydrazinové samozesíťování, převzato a upraveno z: (Parsimehr, Pazokifard, 2022)

1.7 Využití antimikrobiálních nátěrových hmot v lékařských aplikacích

Antimikrobiální nátěry jsou v lékařských aplikacích nezbytnou modifikací používaných povrchů, na kterých by mohlo docházet ke tvorbě biofilmu. Více než 65 % nemocničních infekcí je spojeno s přenosem bakteriálních infekcí přes povrchy, které mohou s pacientem přijít do kontaktu. K tomu byly vytvořeny antimikrobiální nátěry, které by tento problém mohly vyřešit.

S používáním zdravotnických prostředků jako jsou katétry, protetické srdeční chlopně, kardiostimulátory, cévní protézy, oční protézy, nitroděložní antikoncepční tělíska a další také dochází k častým infekcím z důvodu tvorby biofilmu a kolonizace bakteriemi. Kolonizací těchto zdravotnických prostředků může vést k sepsi, septické embolii, potenciálně k selhání nebo odstranění zařízení, popřípadě i ke smrti pacienta. Implantáty jsou náchylné na kolonizaci bakteriemi. Jejich povrch je pro bakterie adherentní a ty jsou schopny tvořit biofilm na rozhraní implantát – tkáň. Tento problém by mohly vyřešit antimikrobiálně uvolňující povlaky, které jsou slibnou strategií, jak zabránit tvorbě infekcí spojených s používáním implantátů, aniž by byly toxické pro pacienta (Zhang, Wagner, 2017).

Katétry jsou vyráběny ze syntetických polymerů, které jsou odolné vůči chemické a tepelné degradaci, jsou chemicky inertní a biokompatibilní s organismem. Jsou nejčastěji složeny z polyuretanů, silikonů nebo latexu (Zhang, Wagner, 2017).

Polyuretany se používají více pro aplikaci cévních katétrů, jelikož jsou velice pevné, a přitom je jejich povrch jemný. Latexy nebo silikonky se používají pro močové katétry. Dříve byly používány jen latexové katétry z důvodu jejich dobré flexibility a nízkým nákladům. Používání latexových katétrů se omezilo jen na krátkodobé aplikace z důvodů jako jsou nízká biokompatibilita a vznik alergických reakcí. Celosilikonové katétry vykazují nižší flexibilitu než latexové, proto byly vyvinuty latexové katétry potažené silikonem, které zmírňují tvrdost celosilikonových a spojují výhody latexových a silikonových katétrů (Zhang, Wagner, 2017).

Polyuretan, latex i silikon nemohou odolat tvorbě biofilmu, proto byly vyvinuty antimikrobiální povlaky, které tomu částečně zabraňují. Jedním takovým antimikrobiálním činidlem je chlorhexidin, dokáže vázat negativně nabitou bakteriální buněčnou stěnu a zabíjet široké spektrum mikroorganismů. Dále například modifikace těchto povrchů nanočásticemi selenu, které inhibovaly růst bakterií (Zhang, Wagner, 2017; Tran, Webster, 2013; Singha, Locklin, Handa, 2017).

Nozokomiální infekce představují významnou hrozbu pro pacienty, personál i návštěvníky nemocnice. Nemocniční prostředí často obsahuje patogeny, které se mohou přenášet na zdravotníky nebo pacienty. Antimikrobiální nátěry mohou trvale a autonomně snižovat kontaminaci takových povrchů v prostředí, které doplňují standardní hygienické postupy. Nejčastěji se pro antimikrobiální nátěry používají nanočástice kovů a to stříbra, mědi, oxidu titaničitého, oxidu zinečnatého, selenu méně pak kvartérní amoniové soli. Využití si našlo také používání fotosenzibilních činidel, které jsou jednou z možností dekontaminace povrchů. Bylo zjištěno, že začleněním nanočástic zlata do polymerů zlepšuje jejich antimikrobiální účinnost a jsou účinné na methicilin – rezistentní *Staphylococcus aureus* (Ismail, Perni a kol., 2011; Bäumlér, Eckl a kol., 2022).

Antimikrobiální povlaky byly testovány na účinnou modifikaci povrchů některých lékařských pomůcek. Testovány byly povrchy čepelí a jehel z nerezové oceli. Byla sledována antimikrobiální účinnost lysozymu (bakteriolytická aktivita) a nanočástic stříbra (biocidní aktivita). Po úpravě těchto povrchů bylo zjištěno, že povlaky s lysozymem i nanočásticemi stříbra vykazovaly účinné potlačování širokého spektra patogenů, a to díky biocidní aktivitě stříbra, která hrála zásadní roli (Eby, Luckarift, Johnson, 2009).

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Cíl práce

Průmysl nátěrových hmot je jedním z nejvíce regulovaných odvětví na světě. Z tohoto důvodu jsou výrobci nátěrových hmot v posledních 40 letech nuceni neustále reagovat na rostoucí požadavky Evropské Unie a rozšiřovat portfolio svých výrobků o takové produkty, které mají nízký obsah těkavých látek (VOC) nebo jsou bezropouštědlové. Kromě omezování množství VOC, které mají vliv na lidské zdraví a životní prostředí obecně, jsou na nátěrové hmoty kladeny čím dál vyšší požadavky na jejich udržitelnost, bezpečné používání a samozřejmě i co nejnižší náklady. Z tohoto důvodu se dostávají do popředí zájmu vodou ředitelné nátěrové hmoty, využívající latexy jako pojivovou složku, které jsou ekologické, účinné a zároveň i univerzální. Vodou ředitelné nátěrové hmoty ovšem podléhají mikrobiální kolonizaci, které je třeba zamezit. Pro vodou ředitelné nátěrové hmoty již samozřejmě existuje celá řada přísad, často i zdraví škodlivých, která zamezuje tvorbě biofilmu a adhezi mikroorganismů. Jednou z alternativ antimikrobiální ochrany se jeví využití nanočástic (oxidů kovů, sulfidů kovů), které mají potenciál snižovat mikrobiální kontaminaci a zároveň zvyšují chemickou odolnost nátěrového filmu (Linac, 2021; Cseri, Razali a kol., 2018; Athawale, Nimbalkar, 2011).

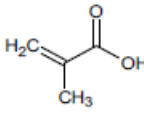
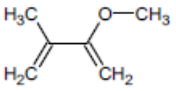
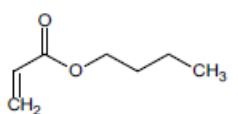
Cílem této práce je studium antimikrobiální účinnosti nátěrových hmot na bázi polyakrylátových latexů. Emulzní polymerací byl připraven akrylátový latex, u něhož byla hodnocena jeho chemická, fyzikálně – chemická a mikrobiální odolnost. Tento latex byl testován nejen samostatně, ale i v kombinaci s antimikrobiálními aditivami nanočástic ZnO, La₂O₃, ZnSe, SeO₂, a dále mikročástic PANI fosfátu a PPy fosfátu. Pro dané pigmenty byla provedena jejich charakterizace a u latexu byl stanoven obsah sušiny. Následně byly naformulovány modelové nátěrové hmoty s obsahem pigmentů ZnO, La₂O₃, ZnSe, SeO₂, PANI fosf. a PPy fosf. při OKP = 0,5; 1; 1,5 a 2 %. Připravené nátěrové hmoty byly aplikovány na ocelové a skleněné panely a podrobeny řadě mechanických a fyzikálně – mechanickým zkouškám a korozním testům a v neposlední řadě byly dané organické povlaky vystaveny působení elektrolytu v závislosti na pH. Připravené nátěrové hmoty byly též aplikovány na polyethylenové fólie a bylo na nich provedeno antimikrobiální testování. Závěrem práce bylo zhodnocení získaných výsledků a určení, pro jaké aplikace a do jakého korozního prostředí by bylo možné dané vodou ředitelné nátěrové hmoty použít.

2.2 Použité suroviny a chemikálie

2.2.1 Monomerní látky použité při syntéze a jejich vlastnosti

Při syntéze akrylátových latexů byly použity monomery uvedené v tabulce 1, jejich vlastnosti jako je hustota, bod varu, bod tání a další, jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 1: Seznam použitých monomerů

Monomer	Chemický vzorec	Zkratka	Výrobce
Kyselina methakrylová		KMA	Sigma-Aldrich s.r.o.
Methyl-methakrylát		MMA	Sigma-Aldrich s.r.o.
N-butyl-akrylát		BA	Sigma-Aldrich s.r.o.

Tabulka 2: Vlastnosti monomerních látek

Monomer	Mr [g·mol ⁻¹]	Bod varu [°C]	Bod tání [°C]	Hustota [g·cm ⁻³]
KMA	86,1	160	15	1,018
MMA	100,1	100	-48	0,943
BA	128,2	147	-64	0,883

2.2.2 Chemikálie

Chemikálie používané k syntéze akrylátových latexů jsou uvedeny v tabulkách 3–4.

Tabulka 3: Základní informace o peroxodisíranu amonném

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

Tabulka 4: Základní informace o Disponilu FES 993 IS

Disponil FES 993 IS	
Funkce	Emulgátor
Hustota [g·cm⁻³]	1,1
Výrobce	BASF Inc.

2.2.3 Další chemikálie

Další chemikálie používané při přípravě vodivých polymerů a dalších aplikacích jsou uvedeny v tabulkách 5–11.

Tabulka 5: Základní informace o anilinu

Anilin	
Vzorec	C ₆ H ₅ NH ₂
Hustota [g·cm⁻³]	1,022
Mr [g·mol⁻¹]	93,13
Výrobce	Penta s.r.o., Praha, Česká republika

Tabulka 6: Základní informace o kyselině fosforečné

Kyselina fosforečná 85%	
Vzorec	H ₃ PO ₄
Hustota [g·cm⁻³]	1,700
Mr [g·mol⁻¹]	98
Výrobce	Penta s.r.o., Praha, Česká republika

Tabulka 7: Základní informace o peroxidisíranu amonném

Peroxodisíran amonný	
Vzorec	(NH ₄)S ₂ O ₈
Hustota [g·cm⁻³]	1,98
Mr [g·mol⁻¹]	228,2
Výrobce	Sigma-Aldrich s.r.o.

Tabulka 8: Základní informace o hydroxidu sodném

Hydroxid sodný 98%	
Vzorec	NaOH
Hustota [g·cm⁻³]	2,13
Mr [g·mol⁻¹]	40,00
Výrobce	Lach-Ner s.r.o.

Tabulka 9: Základní informace o kyselině octové

Kyselina octová 99% p.a.	
Vzorec	CH ₃ COOH
Hustota [g·cm⁻³]	1,050
Mr [g·mol⁻¹]	60,05
Výrobce	Penta s.r.o.

Tabulka 10: Základní informace o kyselině trihydrogen borité

Kyselina trihydrogen boritá	
Vzorec	H ₃ BO ₃
Hustota [g·cm⁻³]	1,51
Mr [g·mol⁻¹]	61,83
Výrobce	Lach-Ner s.r.o.

Tabulka 11: Základní informace o pyrrolu

Pyrrol	
Vzorec	C ₄ H ₅ N
Hustota [g·cm⁻³]	0,967
Mr [g·mol⁻¹]	67,09
Výrobce	Sigma – Aldrich s.r.o.

2.2.4 *Nanočástice*

Seznam použitých nanočástic a jejich vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12: Přehled použitých nanočástic

Název	Sumární vzorec	Velikost částic [nm]	Výrobce
Oxid zinečnatý	ZnO	40 – 100	Alfa Aesar
Oxid lanthanitý	La ₂ O ₃	<100	Sigma- Aldrich s.r.o.
Selenid zinečnatý	ZnSe	<100	Sigma- Aldrich s.r.o.
Oxid seleničitý	SeO ₂	<100	Sigma- Aldrich s.r.o.

2.3 **Přístroje a vybavení**

Následující přehled přístrojů a vybavení byl použit při syntéze akrylátových latexů a k charakterizaci jejich složek.

2.3.1 *Přístroje používané k přípravě akrylátových latexů*

Laboratorní váhy (Kern & Sohn GmbH, Německo), polymerační aparatura pro přípravu vodné disperze.

2.3.2 *Přístroje používané k charakterizaci pigmentů a plniv*

Analytické váhy (Sartorius; AC211S), laboratorní váhy (Kern & Sohn GmbH, Německo), autopyknometr (Micrometrics 1320), laboratorní sušárna (Mettler, Německo), nanášecí pravítko se štěrbinou 200–250 µm, byreta a miska s tloučkem pro stanovení olejového čísla.

2.3.3 *Přístroje používané k charakterizaci vlastností akrylátových latexů*

Laboratorní sušárna (Mettler), predispergátor (DISPERMAT), pH metr (HANNAHI 9424), viskozimetr (Brookfield LV DV-E Viscometer), MFFT-60 (Rhopoint Instrument), míchadlo Heidolph RK3.

2.3.4 Přístroje používané ke stanovení fyzikálně-mechanických testů odolnosti nátěrových filmů

Leskoměr Micro-Tri-Gloss (BYK GARDNER, Německo), tloušťkoměr (MINITEST 1100), kyvadlový přístroj typu Perzos, magnetický tloušťkoměr (BYK Gardner, GmbH Německo), přístroj ke stanovení odolnosti úderem (Elcometer Instruments GmbH, Německo), přístroj ke stanovení odolnosti ohybem (Elcometer, Anglie), přístroj ke stanovení odolnosti hloubením (ERICHSEN, Německo), Optický mikroskop (Nikon Eclipse, Česká republika), řezací nůž ke stanovení přilnavosti (SPRL, Cross cut, Elcometer), silikonové formy pro přípravu volných filmů.

2.3.5 Přístroje používané ke stanovení chemické a antikorozní odolnosti nátěrových filmů

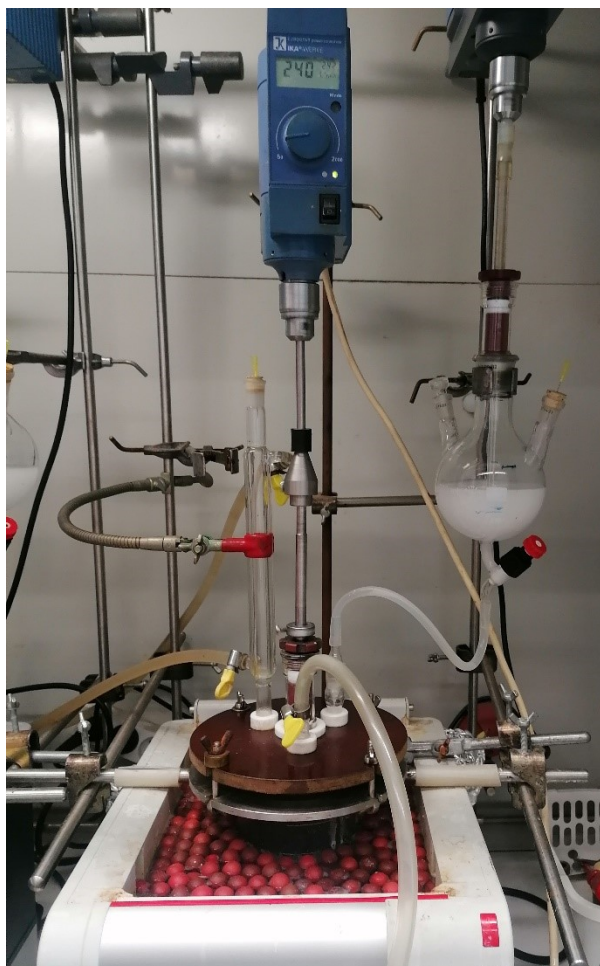
Korozní komora s kondenzací solné mlhy (Liebisch), kondenzační komora (KB 400-MTR-K, Liebisch).

2.3.6 Přístroje používané ke stanovení antimikrobiální účinnosti nátěrových filmů

Sterilizátor (STERIMAT 5104.2), biologický termostat (POL-EKO), autokláv (Sterilab BMT), optický mikroskop (Eclipse E200, Nikon), Počítačka kolonií (LBK 2002), UV lampa (Biosan, Litva).

2.4 Syntéza akrylátových latexů

Pomocí aparatury na obrázku 21 byly připraveny 4 litry latexu bez obsahu nanočástic. Syntéza byla provedena procesem emulzní polymerace. Syntéza těchto latexů byla zhotovena dle složení polymeračního systému sepsaného v tabulkách 13–14.



Obrázek 21: Aparatura pro syntézu latexu

Nejprve bylo do reakční nádoby odměřeno dané množství destilované vody, emulgátoru (Disponil FES 993 IS) a tato reakční nádoba byla vložena do vodní lázně o teplotě 85 °C se zapnutým míchadlem. Do nádoby byl přiváděn inertní plyn (N_2) a jeho přívod byl nastaven tak, aby uzávěrem zpětného chladiče probublávaly bublinky.

Emulgační baňka byla připravena odměřením směsi destilované vody, roztokem iniciátoru $(NH_4)_2S_2O_8$, emulgátorem Disponil FES 993 IS a monomerními látkami. Tato směs byla použita v 1. fázi, kde se po míchání míchadlem vytvořila emulze monomerů. Po vzniku homogenní fáze byl přidán do reakční nádoby iniciátor. Poté bylo zahájeno přikapávání směsi

monomerů do reakční nádoby, které bylo regulováno po dobu 60 minut. Po ukončení byla směs udržována při teplotě 85 °C po dobu 15 minut.

V průběhu 1. fáze polymerace byla připravena emulze pro 2. fázi. Do Erlenmayerovy baňky o objemu 500ml byla navážena směs destilované vody, monomerů, iniciátoru $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ a emulgátoru Disponil FES 993 IS. Tato směs byla převedena do emulgační baňky a bylo spuštěno přikapávání po dobu 60 minut.

Po uplynutí těchto 60 minut byla směs udržována při teplotě 85 °C po dobu 120 minut. Následně byl vzniklý latex ochlazen za stálého míchání v reakční nádobě pod inertní atmosférou na 25 °C. Vychladlý latex byl přefiltrován do PE lahví a poté byl zalkalizován 10 % vodným roztokem amoniaku na pH 9.

Tabulka 13: Složení polymeračního systému

Násada do reaktoru	navážka (g)
Destilovaná voda	110
Disponil FES 993 IS	1
Roztok peroxisíranu amonného (0,8 g $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ + 30 ml H_2O)	30,8
Emulze monomerů 1.fáze polymerace	navážka (g)
Destilovaná voda	120
Disponil FES 993 IS	14,8
Roztok peroxisíranu amonného (0,8 g $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ + 30 ml H_2O)	30,8
Monomery	200
Emulze monomerů 2.fáze polymerace	navážka (g)
Destilovaná voda	220
Disponil FES 993 IS	14,8
Roztok peroxisíranu amonného (0,8 g $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ + 30 ml H_2O)	30,8
Monomery	200

Tabulka 14: Složení monomerů u L_0

Obsah monomerů v 1. a 2. fázi polymerace u latexu L_0				
Monomer	1. fáze	1. fáze	2. fáze	2. fáze
	[%]	[g]	[%]	[g]
BA	53	106	53	106
MMA	43	86	43	86
KMA	4	8	4	8

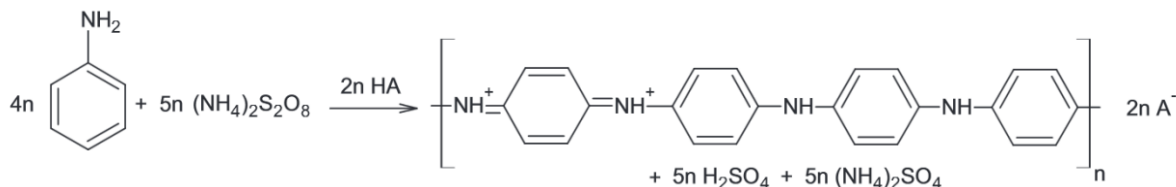
L_0 je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

2.5 Příprava a syntéza vodivých polymerů

Antimikrobiální účinnost byla testována také na vodivých polymerech, které bylo třeba nejprve nasyntetizovat. Průběh syntézy je popsán v následujících kapitolách.

2.5.1 Syntéza polyanilin fosfátu

Syntéza polyanilinové soli (PANI) byla provedena oxidační polymerací anilinu, rovnice této reakce je zobrazena na obrázku 22.

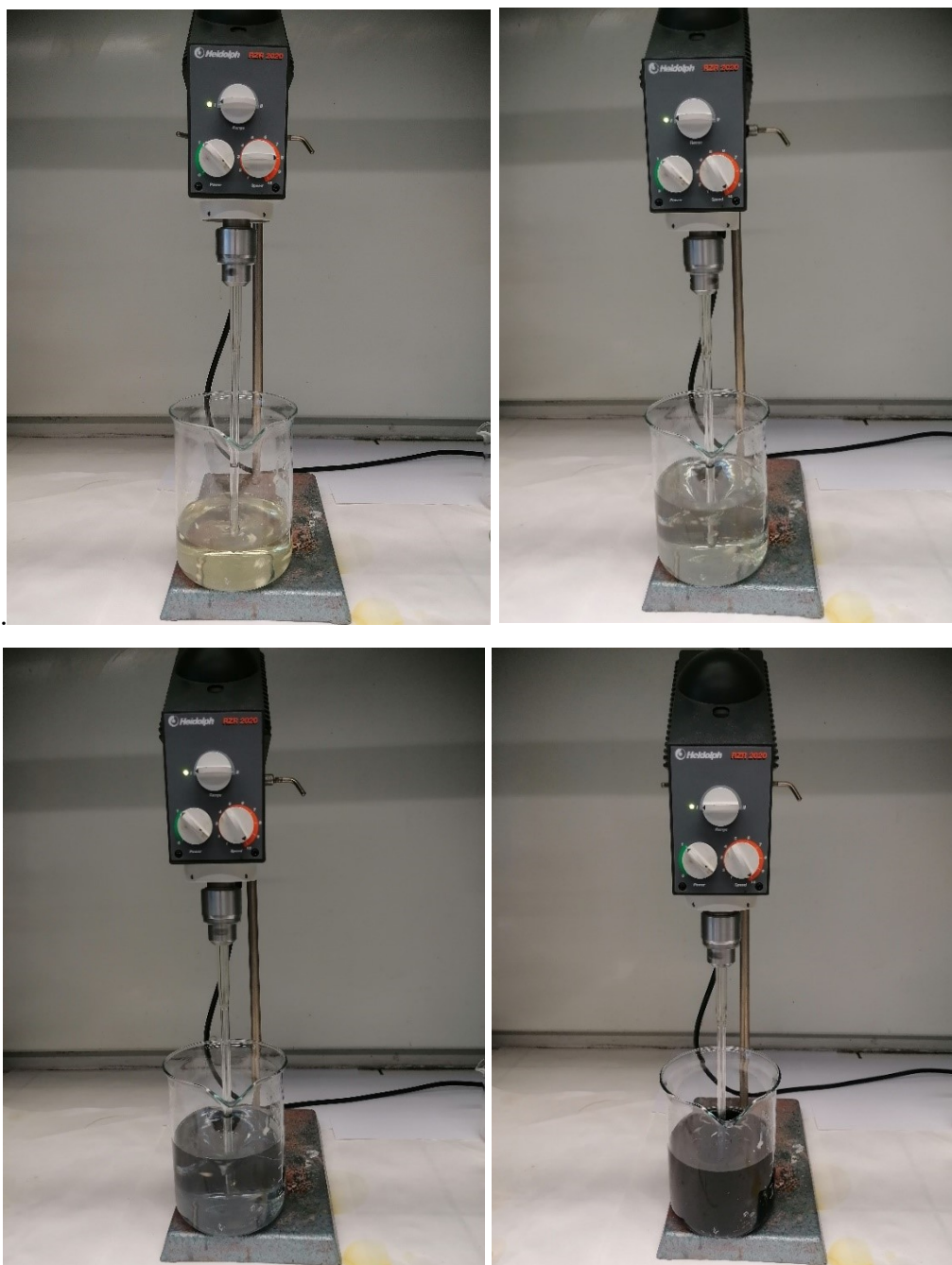


Obrázek 22: Oxidační polymerace anilinu, převzato z: (Kohl, Kalendová, Schmidová, 2017)

Byl připraven zředěný roztok kyseliny fosforečné (H_3PO_4), který se skládal z 13,56 ml H_3PO_4 a 250 ml H_2O . Do tohoto roztoku byl pomalu přidáván 0,2M roztok anilinu o objemu 9,06 ml. Následně byl připraven roztok peroxodisíranu amonného z 28,5g $(NH_4)_2S_2O_6$ a 250 ml H_2O . Všechny roztoky byly smíchány a vzniklý roztok byl míchadlem míchán po dobu 60 minut. V průběhu reakce byla sledována barevná změna roztoku, která přecházela z čiré, po světle modrou a v průběhu reakce se postupně změnila na sytě zelenou barvu. Tato barevná změna je zobrazena na obrázku 23.

Po 24 hodinách byla vzniklá směs oddělena volnou filtrací přes Büchnerovu nálevku a v průběhu filtrace byla promývána zředěnou kyselinou fosforečnou (13,56 ml H_3PO_4 v 1000 ml H_2O) a roztokem acetonu o objemu 1000 ml.

Promytý pigment byl ponechán 24 h na vzduchu a následně byl dosušen v sušárně při 105 °C. Následovala úprava velikostí částic, a to za pomoci mletí za mokra v planetovém kulovém mlýnu. Namletý produkt byl opět filtrován přes Büchnerovu nálevku a promýván roztokem zředěné kyseliny fosforečné (13,56 ml H₃PO₄ v 1000 ml H₂O) a roztokem acetonu o objemu 1000 ml. Následně byl pigment opět ponechán 24 h na vzduchu a poté dosušen v sušárně při 105 °C. Tímto byl docílen ideálně jemně namletý pigment bez obsahu aglomerátu, velikost je znázorněna na SEM mikrofotografiích (viz tabulka 36).



Obrázek 23: Barevná změna v průběhu oxidační polymerace anilinu

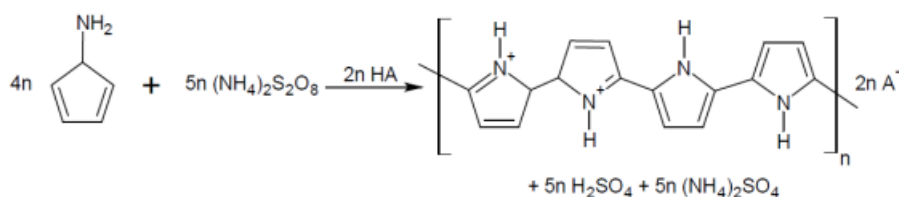
2.5.2 Syntéza polypyrrol fosfátu

Syntéza polypyrrol fosfátu (PPy-H₃PO₄) byla prováděna oxidační polymerací pyrrolu, rovnice této reakce je zobrazena na obrázku 24.

Byl připraven zředěný roztok kyseliny fosforečné (H₃PO₄), který se skládal z 3,39 ml H₃PO₄ a 250 ml H₂O. Do tohoto roztoku byl přidán 0,2M roztok pyrrolu o objemu 7,12 ml. Následně byl připraven roztok peroxodisíranu amonného z 28,5g (NH₄)₂S₂O₈ a 250 ml H₂O. Všechny roztoky byly smíchány a vzniklý roztok byl míchadlem míchán po dobu 60 minut.

Po 24 hodinách byla vzniklá směs oddělena volnou filtrací přes Büchnerovu nálevku a v průběhu filtrace byla promývána zředěnou kyselinou fosforečnou (13,56 ml H₃PO₄ v 1000 ml H₂O) a roztokem acetonu o objemu 1000 ml.

Promytý pigment byl ponechán 24 h na vzduchu a následně byl dosušen v sušárně při 105 °C. Následovala úprava velikostí částic, a to za pomoci mletí za mokra v planetovém kulovém mlýnu. Namletý produkt byl opět filtrován přes Büchnerovu nálevku a promýván roztokem zředěné kyseliny fosforečné (13,56 ml H₃PO₄ v 1000 ml H₂O) a roztokem acetonu o objemu 1000 ml. Následně byl pigment opět ponechán 24 h na vzduchu a poté dosušen v sušárně při 105 °C. Tímto byl docílen ideálně jemně namletý pigment



Obrázek 24: Oxidační polymerace pyrrolu, převzato z: (Kohl, Kalendová, Schmidová, 2017)

2.6 Příprava modelových nátěrových hmot

2.6.1 Dispergace akrylátových latexů

Připravené pojivo bylo dispergováno s nanočásticemi ZnO, ZnSe, La₂O₃, SeO₂ a s vodivými polymery PANI fosfátem a PPy fosfátem v dispergační nádobě s rychlostí 15-20m/s po dobu 20 minut v predispergátoru DISPERMAT, ten je zobrazen na obrázku 25. Byly připraveny modelové nátěrové hmoty v koncentračních řadách 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %.



Obrázek 25: Dispergace v predispergátoru DISPERMAT

2.6.2 Formulace modelových nátěrových hmot

Formulovány byly nátěrové hmoty s pigmenty ZnO, La₂O₃, ZnSe, SeO₂ a vodivými polymery PANI fosfátem a PPy fosfátem v koncentrační řadě 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %. Formulace byla provedena v programu „FORMUL“. Jednotlivé formulace jsou uvedeny v tabulce 15. Nátěrové hmoty byly voleny bez obsahu dalších aditiv a plniv z důvodu eliminace jejich vlivu na antimikrobiální účinnost.

Tabulka 15: Formulace nátěrových hmot

Pigment	OKP [%]	Pojivo [g]	Pigment [g]
ZnO	0,5	236,11	0,47
	1	239,26	0,96
	1,5	239,41	1,43
	2	238,15	1,90
La₂O₃	0,5	125,22	0,25
	1	126,51	0,50
	1,5	128,26	0,77
	2	131,64	1,05
ZnSe	0,5	144,18	0,29
	1	132,97	0,53
	1,5	131,24	0,79
	2	171,21	1,37
SeO₂	0,5	155,88	0,31
	1	155,51	0,62
	1,5	156,18	0,93
PANI fosf.	0,5	155,68	0,32
	1	127,23	0,51
	1,5	155,49	0,93
	2	156,64	1,24
PPy fosf.	0,5	156,48	0,31
	1	155,38	0,63
	1,5	155,15	0,93
	2	170,64	1,35
L₀	-	126,13	-

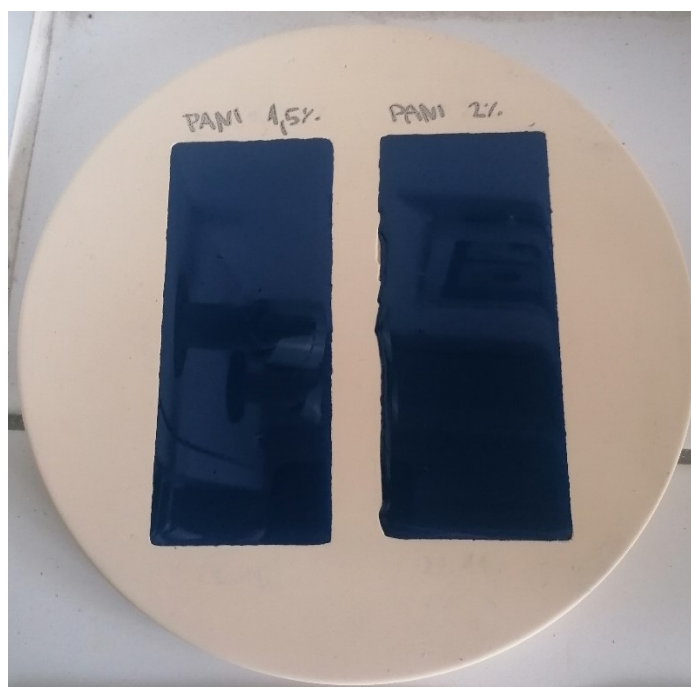
2.7 Příprava zkušebních vzorků

2.7.1 Příprava zkušebních vzorků na skleněných panelech

Pro stanovení fyzikálně-mechanických a chemických zkoušek byly zformulované nátěrové hmoty aplikovány na skleněné panely o rozměrech 200 x 100 x 5 mm. Před nanášením nátěrových hmot byly skleněné panely řádně očištěny vodou s tenzidy a odmaštěny chloroformem. Pro aplikaci nátěrových hmot bylo použito krabicové pravítko s velikostí štěrbin 250 μ m. Tímto pravítkem byla aplikována jedna vrstva nátěru. Tato vrstva byla nanášena při teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %, v těchto podmínkách byl nátěr ponechán 24 hodin vysychat.

2.7.2 Příprava zkušebních vzorků ve formě volných filmů

Pro stanovení antimikrobiální účinnosti pomocí obtiskové metody byly používány odlitky ze silikonových forem, ty jsou zobrazeny na obrázku 26. Silikonové formy, do kterých byly aplikovány nátěrové hmoty, byly před použitím očištěny vodou s tenzidy a řádně osušeny. Po očištění byly vzorky nátěrových hmot odlity do těchto forem při teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %. Takto odlité formy byly umístěny do vakuové sušárny nebo byly ponechány na vzduchu a po vyschnutí se vytvořil souvislý film.



Obrázek 26: Silikonová forma na přípravu volných filmů

2.7.3 Příprava zkušebních vzorků na ocelových panelech

Pro stanovení fyzikálně – mechanických vlastností byly používány za studena válcované ocelové panely z nízkouhlíkaté oceli třídy 11 (Q – LAB) typu DC01 o rozměrech 215×45 [mm] (v \times š) a pro stanovení antikoročních vlastností byly používány ocelové panely typu S46 o rozměrech 102×152 [mm] (v \times š). Ty byly před použitím řádně odmaštěny a očištěny pomocí chloroformu. Nátěr byl nanášen pomocí krabicového pravítka se štěrbinou $250 \mu\text{m}$.

Pro stanovení antikoročních vlastností byly nanесeny 2 vrstvy nátěru na ocelové panely. Ty byly následně oblepeny po svém obvodu v šířce 1 cm a po celé své zadní straně lepicí páskou, aby se s korozním prostředím dostal do kontaktu pouze aplikovaný nátěr, jinak by mohlo dojít k poškození ocelového panelu.

2.7.4 Příprava zkušebních vzorků na polyethylenové fólii

Připravené disperze byly na polyethylenovou fólii nanесeny pomocí krabicového pravítka se štěrbinou $250 \mu\text{m}$. Takto byly ponechány k vyschnutí při laboratorní teplotě. Nátěry na polyethylenové fólii byly dále používány na stanovení antimikrobiální účinnosti.

2.8 Metody hodnocení vlastností vodou ředitelných nátěrových hmot

2.8.1 *Charakterizace vodou ředitelných polymerních disperzí*

2.8.1.1 Stanovení pH (ČSN EN ISO 787-9)

Stanovení hodnoty pH syntetizovaného latexu bylo provedeno na pH metru s kombinovanou elektrodou na obrázku 27. Tento pH metr byl před měřením kalibrován technickými pufrů o hodnotách pH 4 a 7. Následně byla elektroda očištěna destilovanou vodou a osušena filtračním papírem. Elektroda byla ponořena do kádinky se vzorkem latexu. Obsah byl promícháván a po ustálení potenciálu byla odečtena naměřená hodnota pH. Tímto způsobem byl vzorek proměřen třikrát a z hodnot pH byl vypočítán aritmetický průměr.



Obrázek 27: pH metr s kombinovanou elektrodou

2.8.1.2 Stanovení zdánlivé viskozity dle Brookfielda (ČSN EN ISO 2555)

Stanovení zdánlivé viskozity dle Brookfielda je metoda, která je používána pro kapaliny, jejichž rychlost deformace není přímo úměrná napětí, jedná se o tzv. neneutonské kapaliny. Zdánlivou viskozitu definujeme jako vnitřní tření v proudící kapalině. K měření zdánlivé viskozity slouží sada čtyř výměnných vřeten a souosého stacionárního válce u rotačního viskozimetru Brookfield LVDV-E. Ze čtyř vřeten byla zvolena vyhovující velikost dle hodnoty kroutícího momentu, velikost vřeten musí být v rozmezí 10-100 %. Vzorek latexu byl umístěn do nádoby, do které bylo ponořeno vřeteno, kapalina byla umístěna mezi rotující vřeteno a válec a rychlost rotace činila 100 otáček/min. Zdánlivá viskozita byla odečtena z displeje viskozimetru a tímto způsobem bylo měření opakováno třikrát. Z naměřených hodnot byl vypočten aritmetický průměr.

2.8.1.3 Stanovení obsahu koagulátu (ČSN 649008)

Obsah koagulátu je hodnota, která udává, kolik disperze se v průběhu polymerace srazilo. Po dokončení polymerace disperze byla vzniklá disperze převedena skrze jemné síto, aby došlo k oddělení zkoagulovaných částic ve směsi. Koagulát byl vysušen v sušárně při teplotě 105 °C a po vysušení zvážen a procentuální obsah koagulátu byl stanoven dle rovnice 1.

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

Rovnice 1: Výpočet obsahu koagulátu

$m_{\text{koagulát}}$ – hmotnost vysušeného koagulátu [g]

m_{emulze} – hmotnost koagulátu před vysušením [g]

S – sušina [%]

2.8.1.4 Stanovení obsahu sušiny (ČSN EN ISO 3251)

Obsah sušiny je hodnota, která nám udává hmotnostní podíl netěkavých složek ve vodné disperzi syntetizovaného latexu. V Petriho miskách bylo na analytických vahách naváženo pojivo s přesností na desetinná místa. Takto připravená Petriho miska byla umístěna do sušárny vyhřáté na teplotu 105 °C po dobu 60 minut a následně do exsikátoru. Po vychladnutí vzorků byly zváženy na stejných analytických vahách. Pro každou vodu ředitelnou disperzi byly

připraveny 3 vzorky a z naměřených hodnot byl spočítán obsah sušiny dle rovnice 2 a následně byl vypočítán aritmetický průměr.

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

Rovnice 2: Výpočet obsahu sušiny

S – sušina [%]

c – víčko se suchým vzorkem [g]

a – prázdné víčko [g]

b – víčko se vzorkem před vysušením [g]

2.8.1.5 Stanovení minimální filmotvorné teploty (ISO 2115:1996)

Minimální filmotvorná teplota (MFFT) je nejnižší teplota, při které ještě dochází ke vzniku spojitého filmu. Tato hodnota je charakteristická pro každou polymerní disperzi. U nepigmentovaných vodných nátěrových hmot se tato hodnota nachází blízko T_g . Principem měření je vytvoření tepelného spádu na poniklované měděné desce. Na tuto desku byly nanášeny nátěry krabicovým pravítkem se šterbinou 150 μm . Měření bylo provedeno na přístroji MFFT-60 na obrázku 28. Doba měření byla 120 minut a po stanovení hodnoty MFFT na rozhraní, kde čirý film přecházel v popraskaný, byl každý vzorek proměřen třikrát a z naměřených hodnot byl spočítán aritmetický průměr, který posloužil ke stanovení výsledné hodnoty MFFT.



Obrázek 28: Přístroj MFFT-60 ke stanovení minimální filmotvorné teploty

2.8.2 Charakterizace pigmentů a plniva pro modelové nátěrové hmoty

2.8.2.1 Stanovení olejového čísla (ČSN EN 12878)

Olejové číslo je údaj, který udává spotřebu lněného oleje schopného v kombinaci s pigmentem vytvořit nasycenou kompaktní směs, která ulpí na tlouček. Pigment byl navážen do třecí misky a následně do něj byl přikapáván lněný olej pomocí byrety. Po každé kapce byla směs opatrně míchána tloučkem. Měření bylo ukončeno v okamžiku, kdy veškerý pigment ulpěl na tloučku a stěny třecí misky byly čisté. Měření bylo prováděno třikrát a po každém se zapisovala spotřeba lněného oleje. Z hodnot spotřeb se vypočítal aritmetický průměr, který byl dosazen do rovnice 3.

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

Rovnice 3: Výpočet olejového čísla

OČ – olejové číslo [g/100g_{PIG}]

V_{L_0} – spotřeba lněného oleje [ml]

m_{PIG} – hmotnost naváženého pigmentu [g]

ρ_{L_0} – hustota lněného oleje [g·cm³]

2.8.2.2 Stanovení hustoty pigmentu (ČSN EN ISO 787-10)

Hustota pigmentu je stanovována pro definici daného pigmentu, udává, jakou bude mít použitelnost v daném pojivu. Stanovení měrné hmotnosti proběhlo v plynovém autopyknometru Micrometrics Auto Pyknometr 1320. Měření funguje na principu vytěsnění plynu helia testovaným pigmentem. Zvážený pigment byl přístrojem při určité teplotě měřen a jeho hustota byla zjištěna s přesností 0,001g·cm⁻³.

2.8.2.3 Stanovení kritické objemové koncentrace pigmentu (ČSN EN ISO 787-5)

Koncentrace pigmentu v nátěrové hmotě ovlivňuje její vzhled a vlastnosti, proto je nutné určit kritickou objemovou koncentrací pigmentu, tj. KOKP. Ta nám říká, v jaké maximální koncentraci může být pigment v nátěrové hmotě obsažen, aby nedošlo k výrazným změnám v tvrdosti, lesku, tvorbě puchýřků a odolnosti nátěrového filmu. Hodnota KOKP se počítá z hodnoty olejového čísla a hustoty pigmentu pomocí rovnice 4.

$$KOKP = \frac{\frac{10\,000}{\rho_{PIG}}}{\frac{100}{\rho_{PIG}} + \frac{O\check{C}}{\rho_{LO}}}$$

Rovnice 4: Výpočet kritické objemové koncentrace pigmentu

KOKP – kritická objemová koncentrace pigmentu [%]

ρ_{PIG} – hustota pigmentu [g·cm³]

ρ_{LO} – hustota lněného oleje [g·cm³]

OČ – olejové číslo [g/100g_{PIG}]

2.9 Metody hodnocení fyzikálně – mechanických vlastností organických povlaků na skleněných panelech

2.9.1 *Hodnocení vzhledu nátěrového filmu*

Skleněné panely s nanesenými nátěry byly po nanesení krabicovým pravítkem a následnému zaschnutí vizuálně hodnoceny. Byla hodnocena míra zákalu, jestli nátěr obsahoval bubliny, praskliny, částice a jaký měl povrch. Tyto kritéria jsou zobrazena v tabulce 16.

Tabulka 16: Stupně hodnocení pro vizuální hodnocení vzhledu nátěrového filmu

Povrch nátěrového filmu	Stupeň hodnocení			
	1	2	3	4
Praskliny	Bez prasklin	Ojedinéle praskliny	Praskliny po celé ploše	-
Bubliny	Bez bublin	Ojedinéle bubliny	Bubliny po celé ploše	-
Zákal	Bez zákalu	Slabý zákal	Silný zákal	Zbělení
Částice	0 částic/cm ²	3 částice/cm ²	10 částic/cm ²	>10 částic/cm ²
Povrch	Hladký slitý	Stopy po pravítku	Dolíčky, pomerančová kůra	-

2.9.2 *Stanovení tloušťky nátěrového filmu (ČSN EN ISO 2808)*

Stanovení tloušťky na skleněných panelech bylo prováděno pomocí tříbodového tloušťkoměru. Tato zkouška byla prováděna odstraněním části nátěru v jednom místě. Do tohoto místa byl umístěn středový bod tloušťkoměru a boční body se dotýkaly nátěrového filmu. Následně byla odečtena hodnota tloušťky z ciferníku a prováděna byla na třech různých místech nátěru, z těchto hodnot byl spočítán aritmetický průměr.

Tloušťka byla měřena i na ocelových panelech. Toto měření bylo prováděno pomocí elektromagnetického tloušťkoměru. Ten byl k nátěrovému filmu přiložen elektrodou a hodnota

tloušťky byla odečtena z displeje. Měření bylo prováděno na deseti různých místech a z hodnot byla vypočítána průměrná hodnota.

2.9.3 Stanovení lesku nátěrového filmu (ČSN EN ISO 2813)

Stanovení lesku nátěrového filmu bylo pomocí leskoměru Micro-TRY-gloss zobrazeného na obrázku 29. Lesk je parametr udávající, jak je nátěr schopen odrazet dopadající paprsky světla. Leskoměr měří na principu reflexní geometrie při úhlech 20°, 60° a 85°. Nejprve byl přístroj kalibrován pomocí standardu, který je součástí balení. Samotné měření probíhalo na černých skleněných panelech s naneseným nátěrem. Měřeny byly tři hodnoty na třech různých místech skleněného panelu. Změny lesku byly sledovány v čase a z naměřených hodnot byl spočten aritmetický průměr.

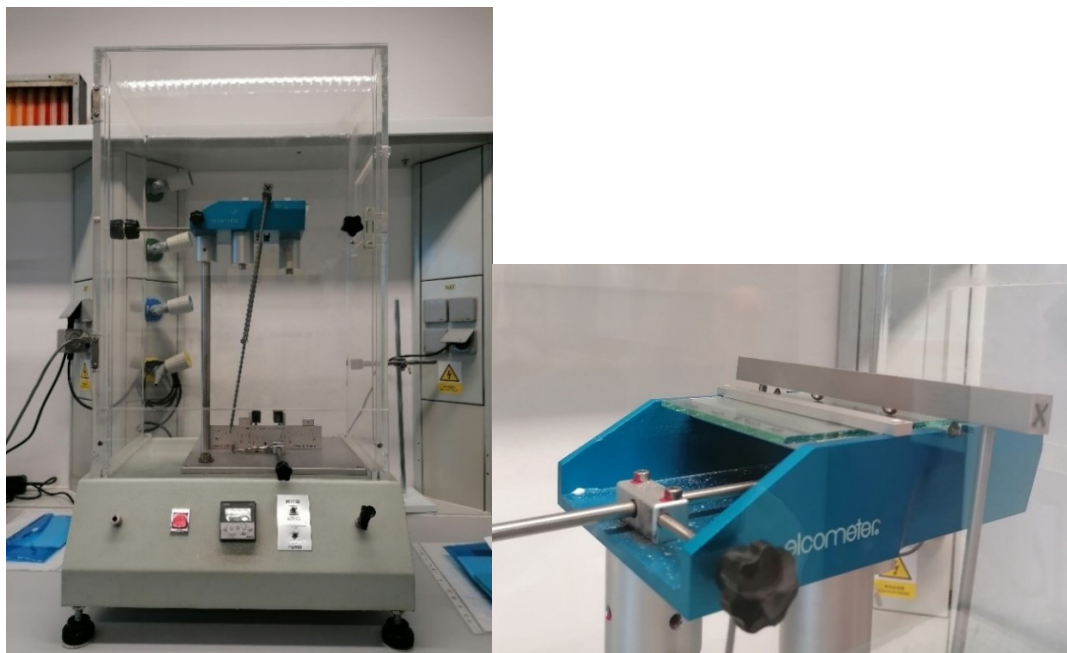


Obrázek 29: Leskometr Micro-TRY-gloss

2.9.4 Stanovení tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem (ČSN EN ISO 1522)

Tvrdotnost nátěrového filmu byla měřena na Persozově kyvadlovém přístroji na obrázku 30. Jeho princip spočívá ve stanovení doby útlumu kyvadla na testovaném nátěrovém filmu, který je aplikován na skleněném panelu. Na začátku měření byl změřen standart, jehož tvrdost odpovídá 100 %. Následně byly měřeny skleněné panely s nátěrovými filmy, kdy byly nad kyvadlo umístěny tak, aby se film dotýkal dvou ocelových kuliček s průměrem 8 mm, které jsou zobrazeny na obrázku 29. Vychýlením kyvadla do polohy 12° a následným odjištěním bylo počato měření. Každý vzorek nátěrového filmu byl měřen třikrát na třech různých místech. Měření probíhalo při teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %. V závěru byl znovu proměřen standart, jehož hodnota tvrdosti byla odečtena z displeje přístroje. Ze získaných hodnot byl vypočítán aritmetický průměr. Výsledné tvrdosti daných

vzorků byly vypočítány vztahem naměřené hodnoty k hodnotě standardu, výsledek byl vyjádřen v procentech dle rovnice 5.



Obrázek 30: Kyvadlový přístroj na stanovení tvrdosti typu Persoz, zaostřeno na ocelové kuličky

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

Rovnice 5: Výpočet relativní povrchové tvrdosti

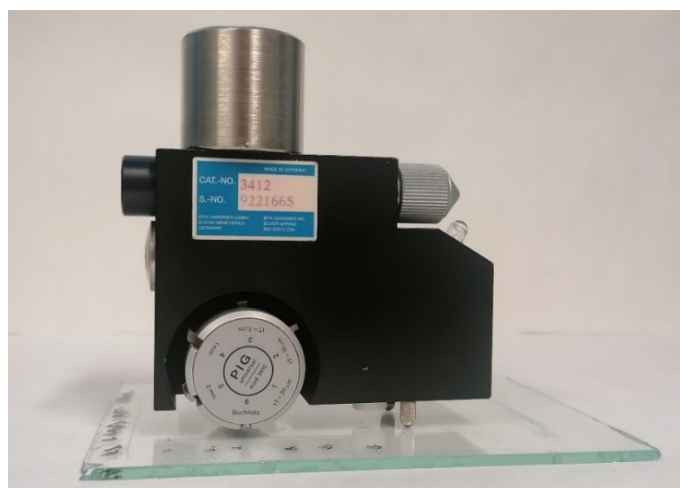
τ – relativní povrchová tvrdost [%]

t_1 – počet kmitů vzorku

t_2 – počet kmitů standardu

2.9.5 Stanovení tvrdosti dle Buchholzovy vrypové zkoušky (ČSN EN ISO 2815)

Buchholzova vrypová zkouška je založena na měření velikosti vtisku vytvořeného ostřím Buchholzova přístroje o specifikovaném rozměru a tvaru, ten je zobrazen na obrázku 31. Udává nám, jak je daný nátěr odolný vůči vrypu. Kolmo ke skleněnému panelu byl položen Buchholzův přístroj se závažím o hmotnosti 500 g, kterým byl zatížen po dobu 30s. Takovéto měření bylo prováděno na třech různých místech nátěru a následně byla délka vzniklých vrypů vyhodnocována na optickém mikroskopu. Z třech hodnot pro každé měření byl vypočítán aritmetický průměr a délka vrypu byla uváděna v mm.



Obrázek 31: Umístění Buchholzova přístroje na testovaném nátěru

2.9.6 Stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči methylethylketonu (ASTM D4752-10)

Methylethylketon (MEK) je využíván ke stanovení chemické odolnosti nátěrového filmu. Jeho schopností je degradace organických polymerních řetězců. K měření se používají skleněné panely s naneseným nátěrovým filmem o tloušťce $50 \pm 10 \mu\text{m}$, při teplotě $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Vatová tyčinka byla ponořena do MEK a byly prováděny dvojtychy v celé šířce skleněného panelu po dobu 50 sekund. Jeden dvojtych trval přibližně vteřinu. Pokud po 50 vteřinách nedošlo k obnažení podkladu, bylo v testu pokračováno po dobu 300 sekund. Pokud došlo k obnažení skleněného podkladu dříve než za 300 sekund, byl test ukončen a vyhodnocen dle tabulky 17.

Tabulka 17: Kritéria k hodnocení poškození nátěrového filmu methylethylketonem dle normy ASTM D4752-10

Stupeň poškození	Stav poškození
0	Úplné obnažení podkladu
1	Dochází ke značnému a hlubokému narušení nátěrového filmu, ne podkladu
2	Zřetelné poškození (poškrábání) nátěrového filmu
3	Lehké poškození (poškrábání) nátěrového filmu
4	Nátěr se na nepoškodí, pouze vyleští a jen nepatrné množství pigmentu uvolněného z nátěru je patrné na otěrové gáze
5	Na nátěru není patrné ani vyleštění ani žádné zbytky pigmentu na gáze

2.10 Metody hodnocení fyzikálně-mechanických vlastností organických povlaků na ocelových panelech

2.10.1 Stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči hloubení (ČSN EN ISO 1520)

Odolnost nátěrového filmu vůči hloubení stanovena pomocí v Erichsonova hloubicího přístroje, který je zobrazen na obrázku 32. Ten funguje na principu vtlačování ocelové kuličky (o průměru 20 mm) do ocelového panelu, na kterém je natažený nátěrový film. Jsou sledovány změny na povrchu jako je popraskání či oddělení od povrchu. Hloubení ocelovou kuličkou probíhalo za konstantní rychlosti a bylo prováděno na třech místech panelu s nátěrovým filmem. Při prvním poškození nebo změně ve struktuře nátěru byla zapsána hodnota hloubky vniknutí 20 mm kuličky, při které v této zkoušce hloubením došlo k poškození nátěru až na ocelový podklad a z těchto naměřených hodnot byl vypočítán aritmetický průměr.



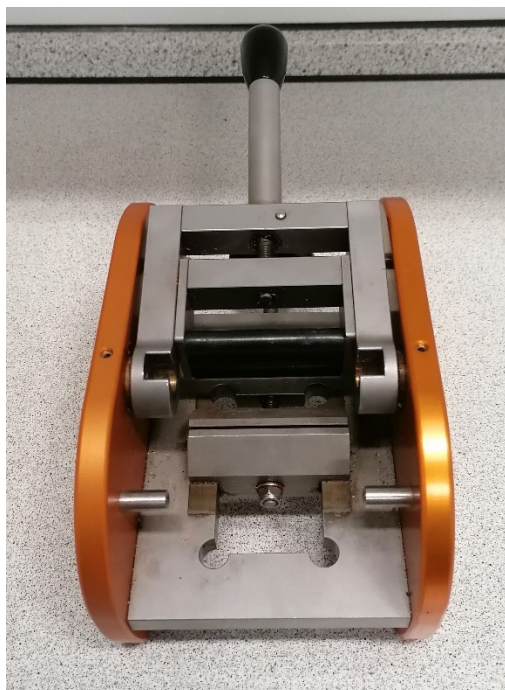
Obrázek 32: Erichsenův přístroj k měření odolnosti nátěru vůči hloubení

2.10.2 Stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči úderu závaží (ČSN EN ISO 6272-1)

Odolnost nátěrového filmu vůči úderu závaží byla zjišťována pomocí přístroje Elcometer se závažím o hmotnosti 1000 g. Hodnoceno bylo poškození nátěrového filmu vůči pádu závaží z výšky 0–100 cm z lící strany. Každý vzorek byl měřen třikrát a tyto hodnoty byly zprůměrovány.

2.10.3 Stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči ohybu (ČSN EN ISO 1519)

Odolnost nátěrového filmu vůči ohybu byla zjištěna za pomoci přístroje Elcometer 1506 a je zobrazen na obrázku 33. Ten pracuje na principu ohýbání ocelového panelu s testovaným nátěrem přes válcový trn směrem ven pod úhlem 180°. V sadě tohoto zařízení jsou válcové trny o různých velikostech, nejprve bylo ohýbáno přes válcové trny s nižší velikostí a pokračovalo se dál, dokud nedošlo k degradaci nátěru. Nejnižší velikost používaného trnu byla 4. Sledováno bylo poškození nátěru či oddělení nátěru od podkladu. Pro každý vzorek bylo provedeno měření třikrát a z naměřených hodnot byl spočítán aritmetický průměr.



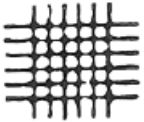

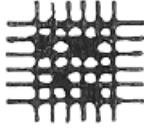


Obrázek 33: Přístroj Elcometer k měření odolnosti nátěru vůči ohybu

2.10.4 Stanovení přilnavosti nátěrového filmu mřížkovou metodou (ČSN ISO 2409)

Stanovení přilnavosti nátěrového filmu spočívá v hodnocení míry poškození nátěru po řezu řezacím nožem (označení výrobcem Cross Cut), který se skládá z šesti paralelních břitů, které jsou od sebe vzdálené 2 mm (pro hodnotu DFT= 75 μ m). Ocelový panel se zkoumaným nátěrem je pomocí řezacího nože vodorovně a horizontálně nařezán a je vytvořena mřížka. Na každém vzorku byly vytvořeny tři mřížky, které byly vyhodnocovány podle klasifikační tabulky 18. Z naměřených hodnot byl vypočítán aritmetický průměr.

Tabulka 18: Hodnocení poškození po řezu do nátěrového nátěru dle normy ČSN ISO 2409

Stupň 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 činí 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 stupeň 4	

2.10.5 Stanovení odolnosti nátěru vůči odtrhu (ČSN EN ISO 4624)

Stanovení odolnosti nátěru vůči odtrhu bylo prováděno za účelem zjištění přilnavosti nátěru k podkladu měřením minimálního tažného napětí potřebného k odtržení nátěru kolmo od podkladu. Touto zkouškou je stanovována kohezní a adhezní pevnost dvou a vícevrstevných systémů.

Vlastní provedení zkoušky spočívá v přilepení ocelového terčíku tzv. panenek o velikosti 20-30 mm dvousložkovým epoxidovým lepidlem Loctite EA 9466 k ocelovému panelu s nátěrem. Po nalepení terčíků bylo nezbytné nechat lepidlo 24 hodin vytvrdit. Po vytvrzení byl na ocelovou panenku přiložen přístroj CONTEST®OP3, který je zobrazen na obrázku 34. Ten na nátěr vytvářel zátěž, dokud nedošlo k odtrhnutí panenky. Bylo stanovováno tažné napětí,

keré je potřeba k poškození nátěru. Měření bylo pro každý vzorek provedeno třikrát, byly naměřeny hodnoty odtrhové síly, která byla dle rovnice 6 přepočítána na odtrhovou pevnost. Hodnoceny byly také typy lomů, ty jsou popsány v tabulce 19.

$$\sigma = \frac{4F}{\pi \cdot d^2}$$

Rovnice 6: Výpočet odolnosti vůči odtrhu

σ – odtrhová pevnost [MPa]

F – odtrhová síla [N]

d – průměr zkušebního válečku [20 mm]



Obrázek 34: přístroj CONTEST®OP3 pro stanovení přilnavosti nátěrů odtrhovou zkouškou

Tabulka 19: Hodnocení lomů dle normy ČSN EN ISO 4624

Symbol	Typ lomu
A	Kohezní lom v podkladu
A/B	Ahezní lom mezi podkladem a 1. nátěrem
B	Kohezní lom 1. nátěru
B/C	Adhezní lom mezi 1. a 2. nátěrem
C	Kohezní lom 2. nátěru
-/Y	Adhezní lom mezi posledním nátěrem a lepidlem
Y	Kohezní lom v lepidle
Y/Z	Adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním terčíkem

2.11 Zrychlené cyklické korozní zkoušky

Zrychlené cyklické korozní zkoušky slouží k vystavení nátěru zesíleným korozním podmínkám v laboratorních podmínkách. Těmito podmínkami jsou nejčastěji zvýšená vlhkost, zvýšená teplota, zvýšená koncentrace korozních látek (SO_2 , Cl^- iontů) a UV záření, které přispívají ke korozi povrchů.

2.11.1 Zrychlená cyklická korozní zkouška v kondenzační komoře s povšechnou kondenzací (ČSN EN ISO 6270-2)

Cílem této zkoušky je vystavení testovaných nátěrových filmů 100% relativní vlhkosti a teplotě 38 ± 2 °C a následnému sledování odolnosti vůči působení vzdušné vlhkosti. Vlivem vlhkosti a zvýšené teploty docházelo ke kondenzaci vody na povrchu nátěrů a vzorky byly cyklicky vyhodnocovány.

2.11.2 Kombinovaná korozní zkouška v prostředí $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ a NaCl (ASTM G85 A5)

Cílem této zkoušky je vystavení testovaných nátěrových filmů působení mlhy roztoku elektrolytu o složení 0,5 hm. % NaCl a 0,35 hm. % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Tyto podmínky mají simulovat působení dešťové vody a také korozní působení SO_4^{2-} , NH_4^+ a Cl^- iontů. Tyto podmínky jsou podobné ale mírnější v porovnání s odolností v atmosféře s neutrální solnou mlhou.

2.12 Nepřímé korozní zkoušky

2.12.1 Stanovení odolnosti vůči působení vody v závislosti na pH

Připravené nátěrové hmoty byly nataženy na ocelové panely DC01, na jejich povrch bylo přilepeno 6 skleněných válečků pomocí epoxyesterové pryskyřice, které se nechaly týden uschnout. Jakmile byly takto připraveny nátěry do každého válečku bylo naaplikováno přibližně 10 ml pufru, a to o hodnotách pH= 2, 4, 6, 8, 10 a 12. Složení každého z pufrů je zobrazeno v tabulce 20. Takto naaplikované pufrы byly ve válečcích nechány po dobu 5 dnů, následně byl jejich obsah vylit, aby se k ocelovému podkladu mohl dostat difuzí nátěrem kyslík jako složka elektrochemického mechanismu koroze. Vyhodnocení probíhalo každý 7. den po dobu 28 dní a bylo hodnoceno množství vznikajících puchýřů, koroze v ploše, kde byly aplikovány pufrы a prokorodování k podkladu.

Tabulka 20: Složení pufrů o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12

pH	0,04M H ₃ BO ₃ , H ₃ PO ₄ , CH ₃ COOH [ml]	0,2M NaOH [ml]
2	100	5
4	100	25
6	100	42,5
8	100	60
10	100	80
12	100	100

2.13 Hodnocení korozních zkoušek

V průběhu a po ukončení všech korozních testů a zkoušek bylo prováděno hodnocení vzniklých korozních projevů. Na testovaných nátěrech byla hodnocena koroze v okolí zkušebního řezu, stupně koroze v ploše nátěrového filmu a bylo také hodnocena tvorba puchýřů v ploše nátěru a ve zkušebním řezu. Po vyhodnocení všech testů byly odstraněny nátěry z panelů pomocí roztoku NaOH, dále omyty vodou a dočištěny odstraňovačem nátěrů. Povrch byl následně ošetřen transparentním lakem, který bránil v další nežádoucí korozi. Následně bylo vyhodnoceno prokorodování ocelového panelu.

2.13.1 *Hodnocení koroze v okolí zkušebního řezu (ASTM D 1654-92)*

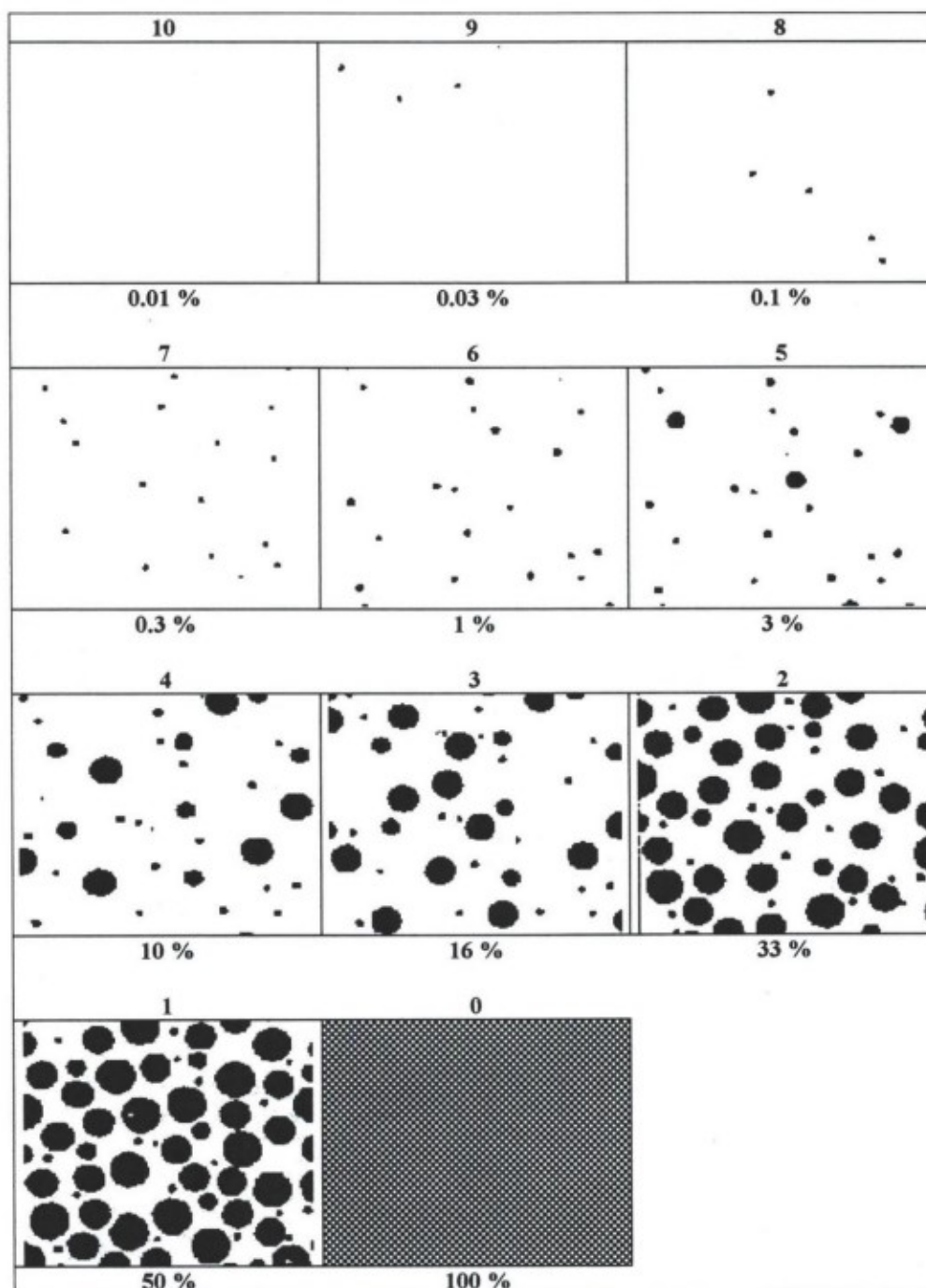
Koroze v okolí zkušebního řezu byla prováděna pro posouzení zabránění koroze v místě poškození (řezu) aktivními složkami nátěru. Sledováno bylo, jakým způsobem jsou aktivní látky v nátěru schopny zabránit vzniku koroze. Měření bylo prováděno v mm na deseti místech nátěru a tyto hodnoty byly následně zprůměrovány. Kritéria hodnocení koroze řezu jsou zobrazeny v tabulce 21.

Tabulka 21: Hodnocení koroze řezu dle normy ASTM D 1654-92

Hodnocení [-]	Vzdálenost [mm]	Vzdálenost [palce]
10	0	0
9	0-0,5	0-1/64
8	0,5-1,0	1/64-1/32
7	1,0-2,0	1/32-1/16
6	2,0-3,0	1/16-1/8
5	3,0-5,0	1/8-3/16
4	5,0-7,0	3/16-1/4
3	7,0-10,0	1/4-3/8
2	10,0-13,0	3/8-1/2
1	13,0-16,0	1/2-5/8
0	> 16	> 5/8

2.13.2 *Hodnocení stupně koroze v ploše panelu (ASTM D 610-85)*

Hodnocení stupně koroze v ploše panelu slouží ke stanovení míry ochranné funkce povlaku, který je vyjadřován stupněm koroze plochy podkladu v procentech. Koroze byla hodnocena na povrchu nátěrového filmu průběžně a po ukončení měření. Na konci měření byl z ocelového panelu odstraněn nátěrový film a poté byla hodnocena jeho ochranná funkce. Ta nám vyjadřuje, do jaké míry jsou pigmenty elektrochemicky působící.

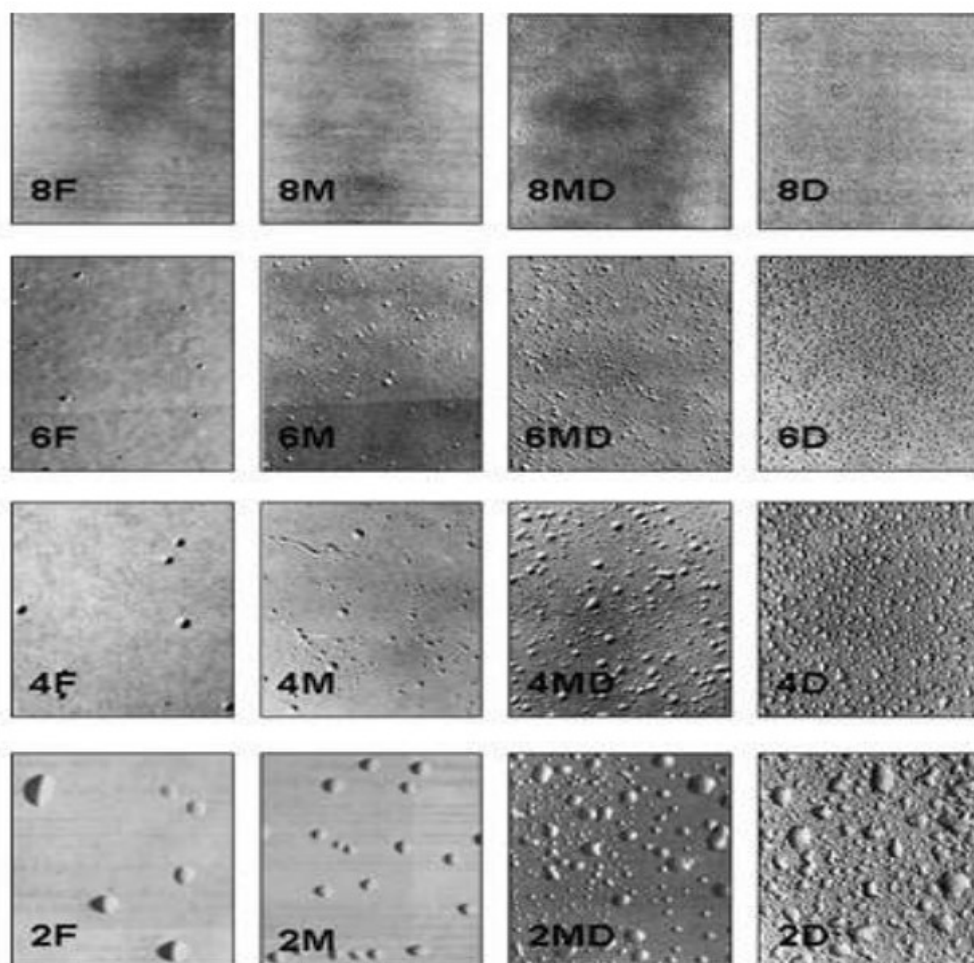


Obrázek 35: Hodnocení koroze v ploše panelu dle normy ASTM D 610-85

2.13.3 Hodnocení tvorby puchýřků (ASTM D 714-87)

Tvorba puchýřů a defektů na nátěrovém filmu vzniká v důsledku difuze okolního prostředí k podkladu. Sledujeme tedy odolnost organického povlaku vůči fyzikálně – chemickým pochodům, kdy vznikající puchýře lze definovat jako porušení ochranné funkce povlaku, kdy nátěr ztratil schopnost adheze k podkladu. Vyhodnocování puchýřů probíhalo ve srovnání se standardy. Hodnocena byla velikost puchýřů - 2 jako největší

a 8 jako nejmenší, dále jejich hustota D (husté pokrytí), MD (středně husté pokrytí), M (střední pokrytí) a F jako nízká hustota pokrytí.



Obrázek 36: Hodnocení tvorby puchýřů dle normy ASTM D 714-87

2.14 Mikrobiologické zkoušky

2.14.1 *Příprava před testováním*

2.14.1.1 Příprava kultivačních médií

Při přípravě kultivačních médií nebo bujónů bylo naváženo takové množství práškového média, které bylo uváděno od výrobce na obalu. Takto navážené médium bylo převedeno do Erlenmayerovy baňky a rozpuštěno v destilované vodě. To bylo sterilizováno v autoklávu při 121 °C a tlaku 103 kPa. Po vyndání médií z autoklávu byly agary ochlazeny na 45 °C a nalévány na Petriho misky a po vychladnutí uchovávány při teplotě 2-5 °C. V případě tekutých půd se nechaly vychladnout v Erlenmayerově baňce na laboratorní teplotu a následně se uchovávaly při teplotě 2-5 °C. Obsah a složení používaných kultivačních médií je zobrazen v tabulkách 22-25

Tabulka 22: Složení masopeptonového agaru (MPA)

Složení	g/l
Pepton	10
Masový extrakt	10
Chlorid sodný (NaCl)	5
Agar	15

Výrobce: HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.

Tabulka 23: Složení masopeptonového bujónu (MPB)

Složení	g/l
Pepton	5
Masový extrakt	1,5
Kvasničný extrakt	1,5
Chlorid sodný (NaCl)	5

Výrobce: HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.

Tabulka 24: Složení bujónu se sójovým kaseinem a lecitinem (SCDLP)

Složení	g/l
Trypton	17
Sójový pepton	3
Chlorid sodný	5
Dihydrogenfosforečnan draselný (KH ₂ PO ₄)	2,5
Glukóza	2,5
Lecitin	0,7
Tween 80	5

Výrobce: HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.

Tabulka 25: Složení tryptonového agaru s kvasničným extraktem (GTK)

Složení	g/l
Kasein	5
Kvasničný extrakt	2,5
Glukóza	1
Agar	14

Výrobce: Merck KGaA, Millipore

2.14.1.2 Příprava roztoků

Roztoky, které byly připravovány a následně používány byly fyziologický roztok, fosfátový tlumivý roztok a fyziologický fosfátový roztok. Fyziologický fosfátový roztok byl připraven smícháním fyziologického roztoku a fosfátového tlumivého roztoku v poměru 1/800. Všechny tyto roztoky byly připravovány navážením látky a rozpuštěním v destilované vodě. Po rozpuštění byly vloženy do autoklávu a byly sterilizovány při 121 °C a tlaku 103 kPa. Po vychladnutí roztoků na laboratorní teplotu byly uchovávány při teplotě 2-5 °C. Složení používaných roztoků je znázorněno v tabulkách 26-28.

Tabulka 26: Složení fyziologického roztoku

Fyziologický roztok	
Chlorid sodný	8,5 g
Destilovaná voda	1000 ml

Tabulka 27: Složení fosfátového tlumivého pufru

Fosfátový tlumivý pufr	
Dihydrogenfosforečnan draselný (KH ₂ PO ₄)	2,5 g
Destilovaná voda	1000 ml

Tabulka 28: Složení fyziologického fosfátového pufru

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

2.14.1.3 Příprava bakteriálních kultur

Pro testování antimikrobiální účinnosti byly použity bakteriální kmeny *E. coli* a *S. aureus* z české sbírky mikroorganismů (MU, Brno). Zásobní kultury byly kultivovány na MPA agaru při 37°C po dobu 24 hodin. Z těch byla vytvořena bakteriální suspenze za použití McFarlandovy stupnice. Výchozí koncentrací byl 1. stupeň zákalové McFarlandovy stupnice, který odpovídá koncentraci 3·10³ CFU/ml. Použité bakteriální kmeny jsou zobrazeny v tabulce 29. Po inkubaci byly bakterie uchovávány v lednici při teplotě 2-5 °C a jednou za 3 týdny byly přeočkovány.

Tabulka 29: Použité bakteriální kmeny

Název	Sbírkové číslo
<i>Escherichia coli</i>	CCM 4517
<i>Staphylococcus aureus</i>	CCM 2022

2.14.1.4 Příprava sterilního prostředí

Sterilizace je důležitou součástí práce v mikrobiologické laboratoři. Jedná se o souhrn opatření, díky kterým dochází k usmrcení mikroorganismů, které by mohly kontaminovat vzorky.

Sterilizace prostředí

Sterilizace prostředí byla prováděna vždy ráno v laboratoři pomocí UV germicidní lampy, která byla pouštěna po dobu nejméně 20 minut. Tímto došlo k usmrcení

mikroorganismů na površích. Při práci byly povrchy dezinfikovány a kahanem bylo dosaženo sterilní prostředí v jeho nejbližším okolí.

Sterilizace skla

Sklo, kovové a keramické předměty byly sterilizovány v sterilizátoru STERIMAT, který pracuje při teplotě 170 °C. Mikroorganismy jsou v takto vysoké teplotě usmrcovány a dezinfikovány proudícím suchým vzduchem.

Sterilizace kovových předmětů

Sterilizace kovových předmětů jako jsou pinzety nebo kličky byly prováděny pomocí Bunsenova kahanu. Předměty byly vyžihány v 2/3 plamene, dokud se neprojevil červený žár. Tímto byly zničeny všechny mikroorganismy a předmět mohl být po zchladnutí dále používán.

2.14.2 Stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových filmů obtiskovou metodou (ISO 22196: 2011)

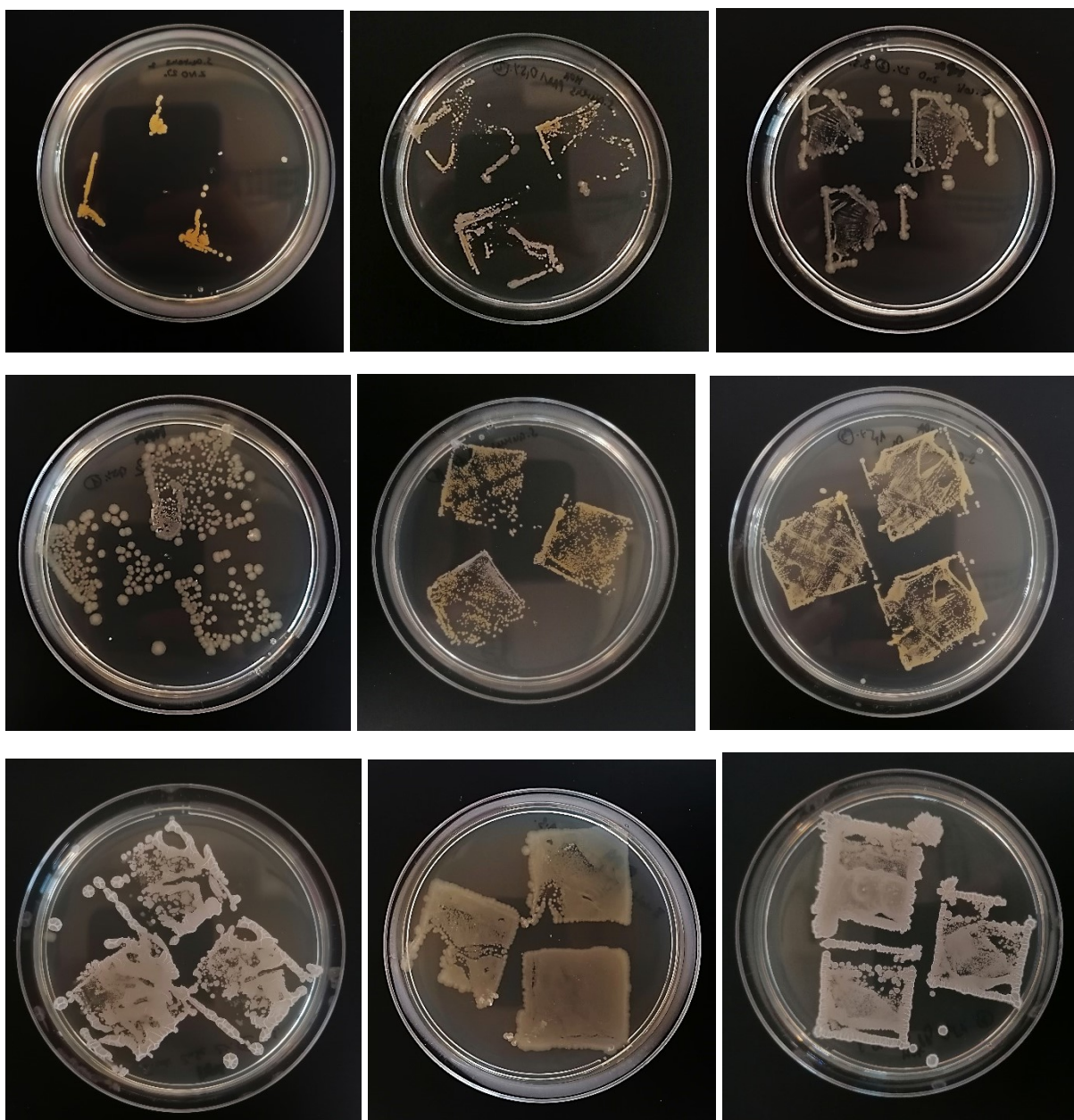
Prvním krokem v testování antibakteriální účinnosti pomocí obtiskové metody byla příprava bakteriální suspenze z 24hodinové kultury. Kličkou bylo odebráno malé množství kultury, které bylo rozptýleno ve zkumavce s 10 ml sterilní vody a 20 µl MPB. Byl připraven roztok 1.stupně McFarlandovy zákalové stupnice a z něj byla připravena koncentrační řada. Pro práci byla používána bakteriální suspenze o koncentraci $3 \cdot 10^6$ CFU/ml.

Akrylátové latexy ve formě volných filmů byly nastříhány na čtverce o velikosti 2,5x2,5 cm, pro každý vzorek 3 kusy a ty byly vysterilizovány pod UV po dobu 20 minut. Takto připravené volné filmy byly naaplikovány na Petriho misku s MPA agarem, vždy 3 kusy na jednu Petriho misku. Na vzorky bylo aplikováno 100 µl bakteriální suspenze o koncentraci $3 \cdot 10^6$ CFU/ml, tak aby suspenze nepřetékala z okrajů. Takto připravené vzorky s bakteriální suspenzí byly překryty krycí polyethylenovou fólií o velikosti 2x2 cm, která byla předem vydezinfikována namáčením v 70 % ethanolu. Na závěr byla na všechny vzorky položena navlhčená buničina, která bránila vysychání bakteriální suspenze. Takto připravené misky byly dále 24 h inkubovány při 37°C.

Po 24hodinové inkubaci byla odstraněna buničina a krycí fólie a každý čtverec volného filmu byl třikrát obtisknut na novou Petriho misku s MPA agarem. Ty byly dále inkubovány 24 h při 37°C. Po inkubaci byl hodnocen stupeň bakteriální kontaminace dle tabulky 30, přičemž vzorky s nejnižším stupněm kontaminace byly nejvíce antimikrobiálně účinné.

Tabulka 30: 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
4	3. obtisk rozeznatelné kolonie
5	Nárůst souvislého filmu



Obrázek 37: Vzorky s různými stupni bakteriální kontaminace

2.14.3 Stanovení antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů (ISO 22196: 2011)

Z 24hodinové kultury bylo klíčkou odebráno malé množství kultury, které bylo rozptýleno ve zkumavce s 10 ml sterilní vody a 20 µl MPB. Byl připraven roztok 1.stupně McFarlandovy zákalové stupnice a z něj byla připravena koncentrační řada. Pro práci byla používána bakteriální suspenze o koncentraci $3 \cdot 10^5$ CFU/ml.

Polyethylenové fólie se zkoumaným nátěrem o velikosti 5x5 cm byly vysterilizovány 20 min pod UV. Následně byly naaplikovány na Petriho misku s MPA agarem a na vzorek bylo aplikováno 400 µl bakteriální suspenze o koncentraci $3 \cdot 10^5$ CFU/ml, tak aby suspenze nepřetékala z okrajů. Takto připravené vzorky s bakteriální suspenzí byly překryty krycí polyethylenovou fólií o velikosti 4x4 cm, která byla předem vydezinfikována namáčením v 70 % ethanolu. Na závěr byla na všechny vzorky položena navlhčená buničina, která bránila vysychání bakteriální suspenze. Takto připravené misky byly dále 24 h inkubovány při 37°C. Každý vzorek byl testován dvakrát a pro každou bakterii byl testován jeden zkušební vzorek bez nátěru. Nákres uspořádání vzorku je zobrazen na obrázku 38.

Dále byl připraven fyziologický tlumivý roztok smícháním fyziologického roztoku a tlumivého roztoku v poměru 1/800. Po inkubaci vzorků byla odstraněna buničina, krycí fólie a fólie se vzorkem byla přemístěna na novou Petriho misku. Na ni bylo přidáno 10ml SCDLP a suspenze byla pipetou 4x promyta.

Z této suspenze byl odebrán 1ml a ten byl naředěný v 9ml připraveného fyziologického tlumivého roztoku. Tento roztok byl dále ředěn, dokud nebyl připraven desetkrát zředěný roztok bakteriální suspenze. Z každého ředění byl odpipetován 1ml suspenze a zálivovou metodou byl přelítý GTK agarem, který měl 45°C. Miska byla se suspenzí dobře promíchána a takto připravené vzorky byly inkubovány 48 h při 37°C.

Po inkubaci byly odečítány narostlé kolonie a poté byla spočítána antimikrobiální účinnost testovaných nátěrů a počet životaschopných bakterií, pomocí rovnice 7 a 8. Z vypočítaných hodnot antimikrobiální aktivity R byla posuzována účinnost vzorků. Pokud byla hodnota $R > 2$ mohl být nátěr považován za antimikrobiálně účinný.

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

Rovnice 7: Výpočet životaschopných bakterií

$$R = U_t - A_t$$

Rovnice 8: Výpočet antimikrobiální aktivity

N – počet životaschopných bakterií na cm²

C – průměrný počet kolonií

D – hodnota ředění

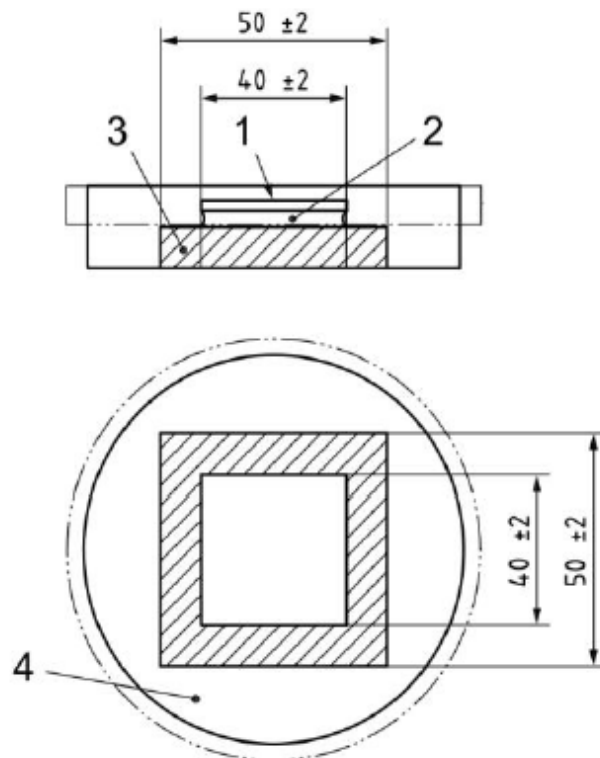
V – objem SCDLP bujónu [ml]

A – povrchová plocha krycí fólie [mm²]

R – antimikrobiální aktivita

U_t – průměr logaritmické hodnoty životaschopných bakterií na fóliích bez nátěru

A_t – průměr logaritmické hodnoty životaschopných bakterií na nátěrových hmotách



Obrázek 38: Nákres uspořádání naaplikovaného vzorku, převzato z: ISO 2216: 2011

1 – krycí fólie

2 – inokulum

3 – fólie s nátěrem

4 – Petriho miska

3 VÝSLEDKY A HODNOCENÍ

3.1 Výsledky vlastností vodou ředitelných nátěrových hmot

Testováno bylo 6 vzorků akrylátových latexů na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi ZnO, ZnSe, La₂O₃, SeO₂, PANI fosf. a PPy fosf. při OKP 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %. V následující kapitole jsou vypsány výsledky stanovení pH, viskozity, obsahu koagulátu, obsahu sušiny a MFFT pro vzorek L₀, což je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic.

3.1.1 Výsledky stanovení pH, viskozity, obsahu koagulátu, obsahu sušiny a minimální filmotvorné teploty (MFFT)

V kapitole 3.1.1 jsou uvedeny výsledky pH, viskozity, obsahu koagulátu, obsahu sušiny a MFFT pro akrylátový latex L₀, který byl bez obsahu nanočástic nebo pigmentů.

Tabulka 31: Výsledné hodnoty pH, viskozity, obsahu koagulátu, obsahu sušiny a MFFT akrylátového latexu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu

Stanovované parametry					
Použitý latex	pH	Viskozita [mPa·s]	Obsah koagulátu [%]	Obsah sušiny [%]	MFFT [°C]
L ₀	1,89	206,3	0	42,07	4,25

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

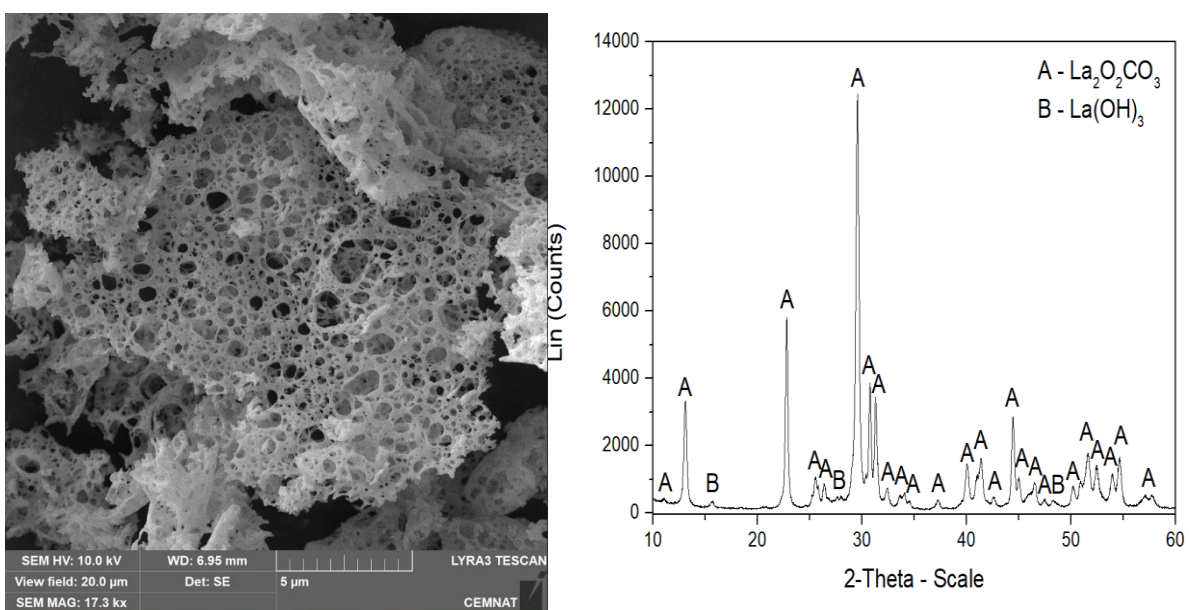
3.2 Výsledky charakterizace pigmentů a plniv nátěrových hmot

Bylo použito 6 druhů nanočástic/pigmentů, u kterých byly stanovovány hodnoty olejového čísla, hustoty pigmentu a z těchto hodnot byla dopočítána kritická objemová koncentrace pigmentu. Tyto výsledky jsou uvedeny v následující kapitole.

3.2.1 Výsledky stanovení olejového čísla, měrné hmotnosti pigmentu a kritické objemové koncentrace pigmentu

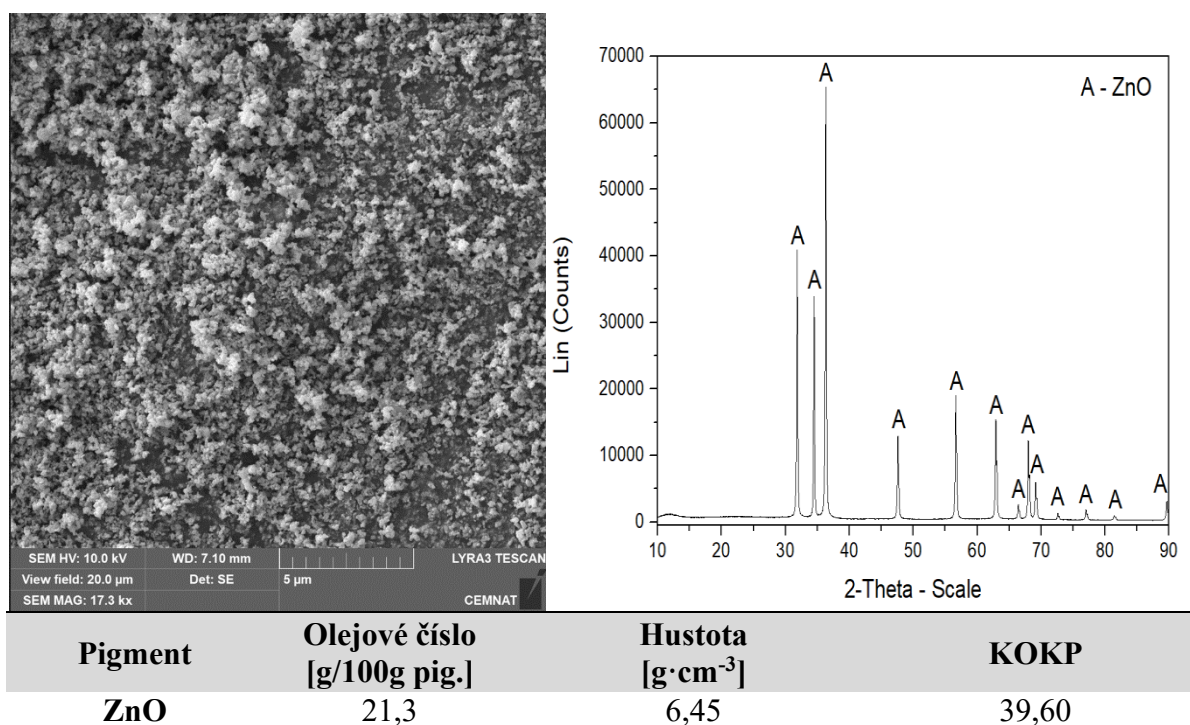
V kapitole 3.2.1 jsou uvedeny výsledky olejového čísla, měrné hmotnosti pigmentu a KOKP pro každý použitý pigment. Uvedeny jsou také SEM snímky a difraktogramy každého použitého pigmentu.

Tabulka 32: SEM snímek a difraktogram pigmentu La_2O_3 , hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP

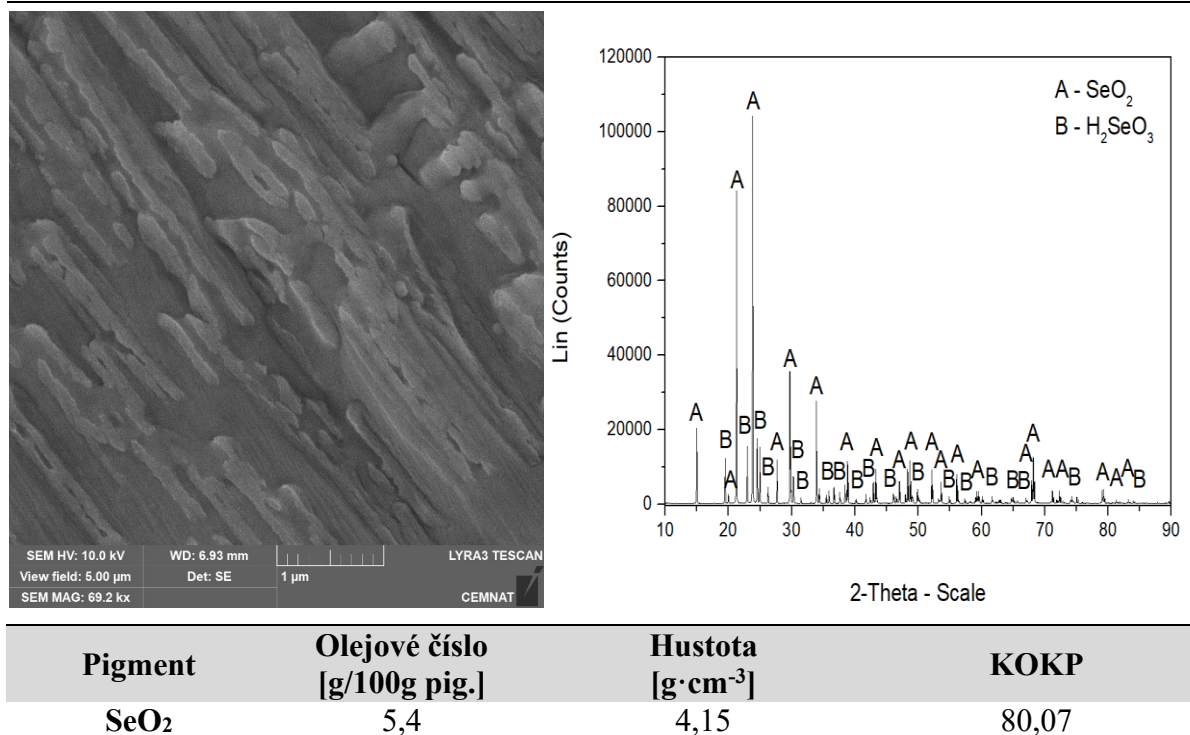


Pigment	Olejové číslo [g/100g pig.]	Hustota [g·cm ⁻³]	KOKP
La_2O_3	63,0	5,95	19,37

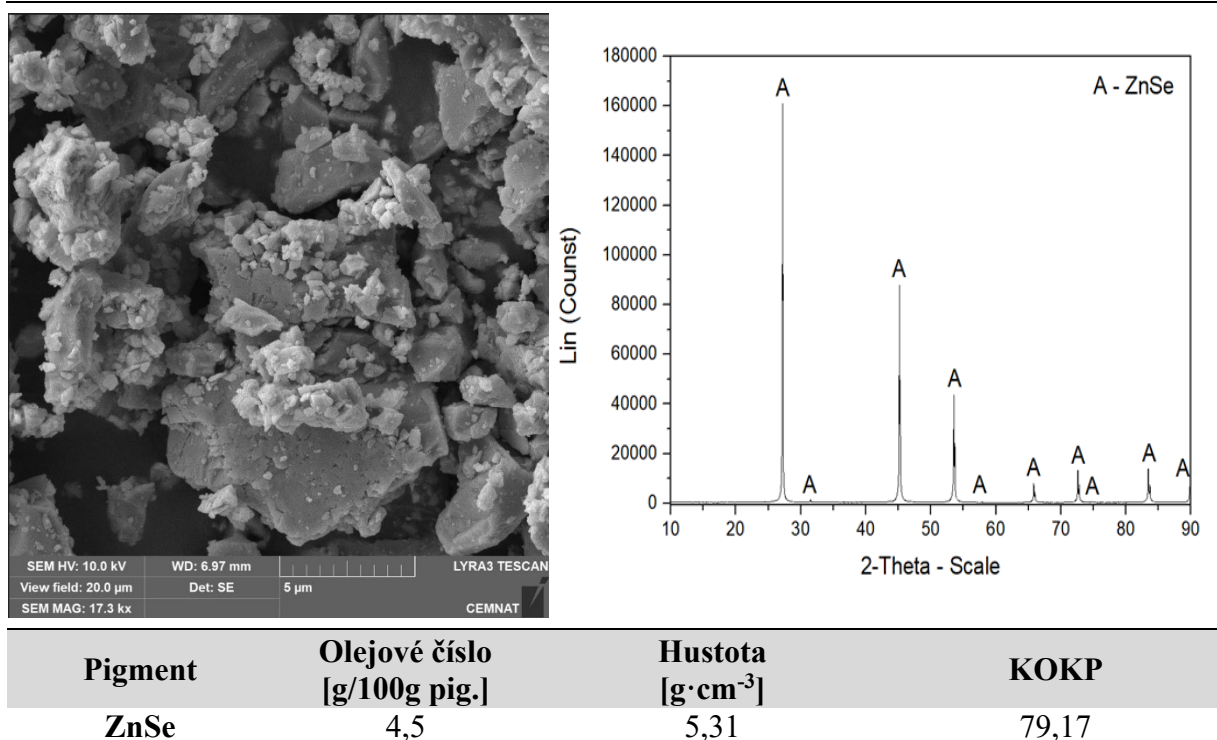
Tabulka 33: SEM snímek a difraktogram pigmentu ZnO, hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP



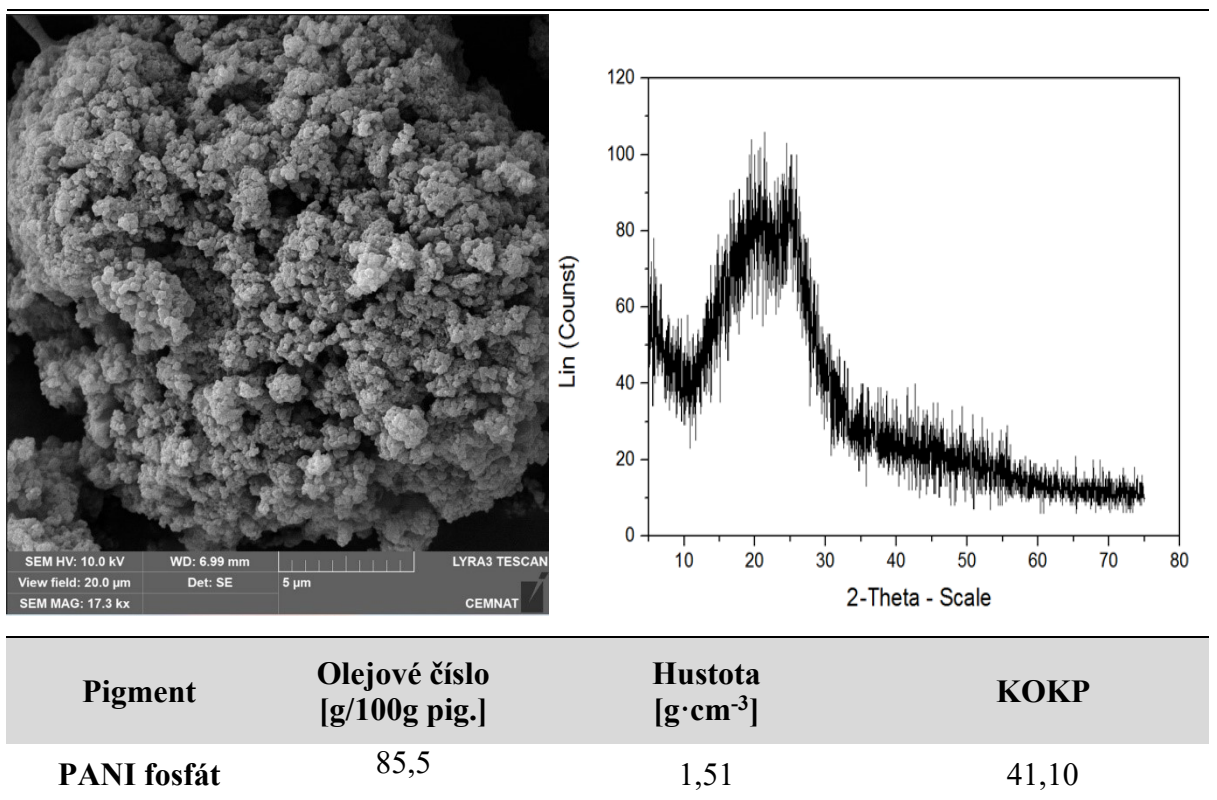
Tabulka 34: SEM snímek a difraktogram pigmentu SeO₂, hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP



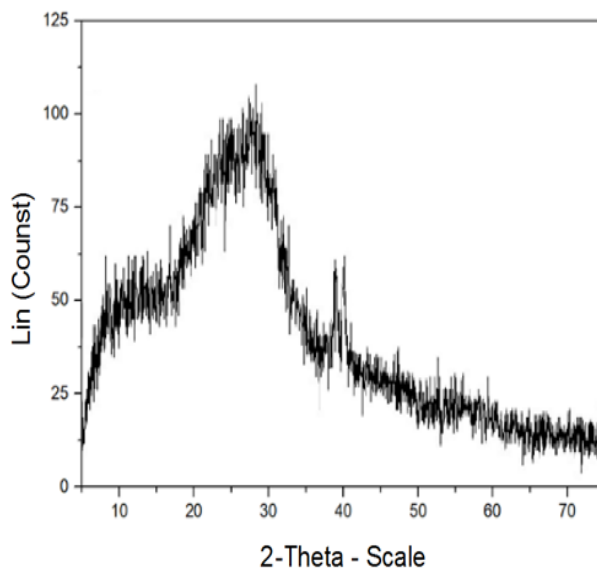
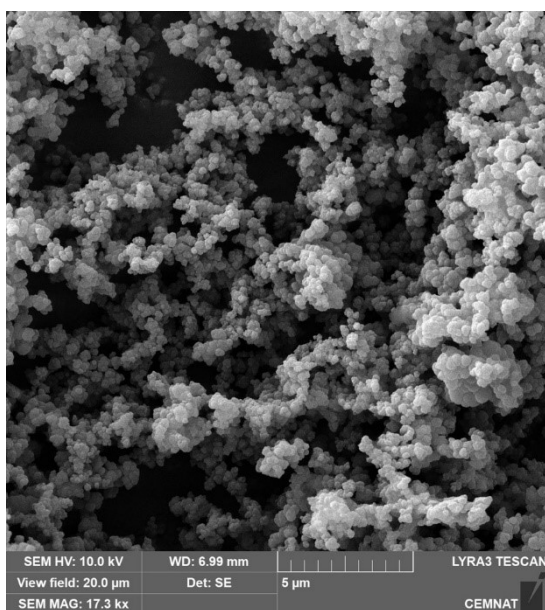
Tabulka 35: SEM snímek a difraktogram pigmentu ZnSe, hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP



Tabulka 36: SEM snímek a difraktogram pigmentu polyanilin fosfátu, hodnoty olejového čísla, hustoty a KOKP



Tabulka 37: SEM snímek a difraktogram pigmentu polypyrrol fosfátu, hodnoty olejového číla, hustoty a KOKP



Pigment	Olejové číslo [g/100g pig.]	Hustota [g·cm ⁻³]	KOKP
PPy fosfát	84,4	2,04	34,37

3.3 Výsledky fyzikálně – mechanických vlastností nátěrových hmot na skleněných panelech

V kapitolách 3.3.1–3.3.4 jsou uvedeny výsledky fyzikálně – mechanických vlastností nátěrových hmot na skleněných panelech. Stupeň lesku, stanovení tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem, stanovení tvrdosti dle Buchholzovy vrypové zkoušky a stanovení odolnosti vůči methylethylketonu. Zkoušky byly prováděny 1., 3., 7., 14., 21., 28. a 45. den po natažení nátěrů na skleněné panely. Hodnocení vzhledu bylo prováděno na řádně vyschlém nátěrovém filmu.

3.3.1 Výsledky hodnocení vzhledu nátěrového filmu

V tabulce 38 jsou uvedeny výsledky vizuálních vlastností nátěrových filmů. Byly sledovány praskliny, bubliny, zákal, částice a celkový vzhled povrchu nátěru.

Tabulka 38: Výsledné hodnoty vzhledu nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, DFT = 50±10 μm

Pigment	OKP [%]	Praskliny	Bubliny	Zákal	Částice	Povrch
ZnO	0,5	1	2	1	1	1
	1	1	1	1	1	1
	1,5	1	1	1	1	1
	2	2	1	1	1	1
La ₂ O ₃	0,5	1	2	1	1	1
	1	1	2	1	1	1
	1,5	1	2	1	1	1
	2	1	1	1	2	1
ZnSe	0,5	1	2	1	1	1
	1	1	1	1	2	1
	1,5	1	1	1	2	1
	2	1	1	1	1	1
SeO ₂	0,5	3	1	1	1	1
	1	2	3	1	1	2
	1,5	1	3	1	1	1
PANI fosf.	0,5	2	2	2	4	1
	1	1	1	1	4	1
	1,5	1	1	1	4	1
	2	1	1	1	4	1
PPy fosf.	0,5	1	2	1	3	1
	1	1	2	1	3	1
	1,5	1	2	1	4	1
	2	1	2	1	4	1
L ₀	-	1	2	1	1	1

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

3.3.2 Výsledky stanovení lesku nátěrového filmu

V kapitole 3.3.2 jsou uvedeny výsledné hodnoty stupňů lesku pro jednotlivé nátěrové filmy při úhlech 20°, 60° a 85°. Všechny výsledky jsou shrnuty v tabulkách 39/I – 39/III.

Tabulka 39/I.: Výsledné hodnoty lesku nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, DFT = 50±10 μm

Pigment	OKP [%]	Úhel	Stupeň lesku						
			1.den	3.den	7.den	14.den	21.den	28.den	45.den
ZnO	0,5	20°	45,0	39,7	38,9	37,6	37,5	37,2	37,2
		60°	73,3	72,6	71,0	69,9	68,5	68,2	67,5
		85°	95,3	94,6	94,4	94,4	93,4	93,3	93,2
	1	20°	36,5	31,6	31,5	30,7	28,2	28,2	28,1
		60°	71,1	67,8	67,2	66,5	65,8	65,5	65,4
		85°	95,6	94,4	94,0	93,8	93,7	93,4	93,4
	1,5	20°	23,4	23,2	22,4	22,3	21,9	21,9	21,8
		60°	62,7	61,8	61,8	61,5	61,3	61,3	61,1
		85°	94,4	94,4	94,0	93,8	93,5	93,5	93,3
	2	20°	48,4	47,0	46,4	44,1	43,5	43,4	43,4
		60°	73,4	72,8	71,6	70,2	69,4	69,4	69,0
		85°	95,3	94,8	94,7	94,5	94,1	94,1	93,5
La ₂ O ₃	0,5	20°	74,3	74,0	73,8	73,8	73,2	73,1	73,1
		60°	82,1	81,9	81,9	81,8	81,7	81,7	81,1
		85°	94,9	94,7	94,7	94,5	94,4	93,6	93,0
	1	20°	46,6	45,6	45,6	44,6	43,9	43	42,3
		60°	73,4	73,2	73,1	72,8	72,6	71,8	71,5
		85°	94,7	94,3	93,6	93,2	93	93	92,6
	1,5	20°	68,4	67,9	67,5	67,5	67,4	66,7	65
		60°	80,4	80,3	80,1	80,1	80	79,6	79
		85°	95,2	95	94,7	94,4	94,4	94,1	93,9

Tabulka 39/II: Pokračování tabulky 39/I: Výsledné hodnoty lesku nátěrového filmu

La₂O₃	2	20°	60,8	59,5	59,1	57,7	57,4	56,5	55,3	
		60°	77,9	77,4	77,4	76,6	76,5	76,5	76,1	
		85°	94,1	93,9	93,4	93	92,6	92,3	91,5	
ZnSe	0,5	20°	97,7	92,9	87,5	85,1	81,6	80,6	80,3	
		60°	101	99,3	98,8	92,3	90,5	88,1	86,4	
		85°	96,1	96,1	96	95,2	94,9	94,9	94,8	
	1	20°	75,2	75,1	74,9	74,9	74,9	74,7	74,2	
		60°	81,8	81,7	81,6	81,6	81,5	81,5	81,4	
		85°	95,4	95,4	94,8	94,5	94,3	93,5	93,1	
	1,5	20°	71	70,8	70,6	70,4	69,7	68,9	67,2	
		60°	80,6	80,5	80,5	80,4	80,3	80	79,6	
		85°	93,6	93,2	93,1	92,9	92,8	92,5	92,5	
	2	20°	73,6	73,4	73,4	73,4	73,2	73,1	72,6	
		60°	81,2	80,9	80,9	80,9	80,7	80,7	80,6	
		85°	94,1	94	93,9	93,8	93,3	92,9	92,8	
	SeO₂	0,5	20°	70,0	67,4	66,2	66,1	65,9	65,5	64,6
			60°	82,1	81,4	81,3	81,1	80,8	80,7	80,2
			85°	96,1	95,5	95,4	95,3	95,0	94,6	94,4
1		20°	71,7	70,1	69,2	68,4	66,5	66,3	65,8	
		60°	81,0	80,4	80,2	80,1	80,1	79,9	79,7	
		85°	93,5	93,0	92,9	92,8	92,4	92,3	91,5	
1,5		20°	57,0	56,5	56,2	56,1	55,9	55,6	55,6	
		60°	77,7	76,8	75,5	75,4	75,2	74,9	74,5	
		85°	87,5	87,3	86,8	86,7	86,6	86,5	86,1	

Tabulka 39/III: Pokračování tabulky 39/I: Výsledné hodnoty lesku nátěrového filmu

PANI fosf.	0,5	20°	37,7	35,5	34,8	34,6	34,3	33,1	30,5
		60°	78,9	72,5	71,1	70,9	70,3	70,3	68,5
		85°	93,4	90,2	89,6	89,3	89,1	88,5	88,3
	1	20°	54,6	49,2	44,5	44,2	43,4	42,2	40,0
		60°	75,8	73,9	73,8	73,5	72,7	72,4	71,8
		85°	91,0	89,6	87,9	87,2	85,9	85,5	85,1
	1,5	20°	54,6	54,5	54,0	53,1	52,9	50,6	48,9
		60°	75,4	74,7	74,7	74,4	74,3	73,7	72,5
		85°	89,9	86,6	86,2	85,4	85,4	85,1	85,0
	2	20°	48,0	45,6	41,3	40,6	39,8	38,1	36,6
		60°	71,9	70,6	68,9	68,2	67,0	66,7	60,1
		85°	89,8	75,2	75,2	75,1	74,8	74,7	71,1
PPy fosf.	0,5	20°	69,8	68,6	67,9	67,6	67,5	67,5	65,2
		60°	80,0	79,4	79,3	79,2	73,7	72,1	68,1
		85°	93,8	93,6	93,5	93,3	93,3	89,2	88,3
	1	20°	58,6	58,4	57,6	56,8	55,9	55,0	52,4
		60°	77,5	77,1	76,7	76,7	76,2	72,6	71,0
		85°	92,1	91,9	91,8	91,7	91,4	89,2	85,5
	1,5	20°	53,5	52,2	51,6	51,5	51,0	50,6	49,6
		60°	74,3	74,0	73,8	73,5	73,5	73,3	72,8
		85°	90,1	90,1	89,9	89,9	89,8	88,4	85,2
	2	20°	50,7	50,4	50,4	50,2	50,0	49,6	48,4
		60°	73,5	73,2	73,2	73,0	72,3	71,5	68,4
		85°	89,6	89,5	89,4	89,3	89,1	78,2	76,2
L₀	-	20°	77,4	77,3	77,3	77,1	77,1	77,1	75,9
		60°	83,1	82,9	82,7	82,6	82,5	82,5	82,4
		85°	95,8	94,9	94,2	94,2	93,7	93,5	92,9

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

3.3.3 Výsledky stanovení tvrdosti nátěrového filmu kyvadlovým přístrojem

V kapitole 3.3.3 jsou uvedeny výsledné hodnoty relativní povrchové tvrdosti uvedených nátěrových filmů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 40.

Tabulka 40: Výsledné hodnoty relativní povrchové tvrdosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, 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	13,90	13,91	14,16	14,67	14,95	15,12	16,40
	1	16,20	16,48	16,56	16,64	16,71	16,71	16,89
	1,5	14,56	14,67	14,76	14,93	15,00	15,07	15,41
	2	14,28	15,28	15,32	15,43	15,45	15,49	15,55
La ₂ O ₃	0,5	13,00	13,44	13,57	13,88	13,90	13,99	14,00
	1	12,34	12,58	12,62	12,71	13,07	13,24	13,30
	1,5	13,36	14,06	14,08	14,18	14,19	14,4	16,57
	2	10,69	10,86	11,03	11,14	11,18	11,24	11,58
ZnSe	0,5	15,70	15,87	16,29	16,41	16,43	16,60	16,63
	1	12,55	13,76	15,16	15,55	15,70	15,78	15,88
	1,5	12,54	12,58	12,62	12,95	13,21	13,54	13,82
	2	13,76	13,81	14,10	14,13	14,15	14,19	14,45
SeO ₂	0,5	14,89	15,53	16,18	18,25	19,24	20,24	21,45
	1	16,47	17,14	18,53	19,54	20,21	20,96	23,13
	1,5	14,35	14,73	15,25	15,79	16,90	17,01	17,10
PANI fosf.	0,5	16,94	16,86	17,21	17,73	17,86	17,95	18,79
	1	15,76	16,63	17,35	17,41	17,82	18,44	19,28
	1,5	15,06	15,91	16,10	16,14	16,24	17,02	18,31
	2	16,15	17,18	17,50	18,07	18,35	19,87	20,57
PPy fosf.	0,5	16,86	16,87	16,94	17,06	17,25	17,38	18,55
	1	15,42	15,91	16,00	16,26	16,63	16,67	17,35
	1,5	12,94	13,01	13,06	13,48	13,62	14,24	14,46
	2	16,47	16,55	16,63	16,86	17,02	17,58	18,31
L ₀	-	14,86	15,13	15,14	15,21	15,74	15,76	16,01

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

3.3.4 Výsledky stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči methylethylketonu

V kapitole 3.3.4 jsou uvedeny výsledky chemické odolnosti uvedených nátěrových filmů vůči methylethylketonu. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 41.

Tabulka 41: Výsledné hodnoty odolnosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi vůči methylethylketonu, DFT = 50±10 μm

Pigment	OKP [%]	Odolnost vůči methylethylketonu													
		1.den		3.den		7.den		14.den		21.den		28.den		45.den	
		čas [s]	st	čas [s]	st	čas [s]	st	čas [s]	st	čas [s]	st	čas [s]	st	čas [s]	st
ZnO	0,5	59	0	81	0	113	0	148	0	161	0	176	0	177	0
	1	73	0	86	0	103	0	113	0	133	0	145	0	151	0
	1,5	66	0	86	0	116	0	122	0	135	0	136	0	141	0
	2	78	0	81	0	85	0	92	0	95	0	112	0	115	0
La ₂ O ₃	0,5	56	0	79	0	95	0	104	0	125	0	138	0	141	0
	1	65	0	84	0	101	0	121	0	134	0	139	0	147	0
	1,5	54	0	71	0	99	0	128	0	129	0	133	0	133	0
	2	73	0	85	0	102	0	113	0	116	0	129	0	135	0
ZnSe	0,5	79	0	86	0	96	0	122	0	126	0	136	0	142	0
	1	82	0	91	0	103	0	114	0	134	0	142	0	143	0
	1,5	77	0	86	0	97	0	104	0	120	0	128	0	129	0
	2	70	0	81	0	98	0	101	0	129	0	139	0	144	0
SeO ₂	0,5	58	0	99	0	110	0	126	0	129	0	137	0	140	0
	1	92	0	102	0	103	0	116	0	122	0	133	0	143	0
	1,5	81	0	83	0	95	0	114	0	121	0	126	0	129	0
PANI fosf.	0,5	106	0	114	0	115	0	119	0	132	0	133	0	134	0
	1	105	0	116	0	119	0	120	0	134	0	139	0	160	0
	1,5	106	0	107	0	128	0	131	0	132	0	136	0	146	0
	2	86	0	91	0	95	0	100	0	111	0	112	0	132	0
PPy fosf.	0,5	106	0	142	0	147	0	159	0	163	0	177	0	182	0
	1	59	0	78	0	102	0	120	0	129	0	146	0	117	0
	1,5	103	0	140	0	158	0	185	0	185	0	194	0	202	0
	2	65	0	100	0	111	0	123	0	133	0	139	0	118	0
L ₀	-	67	0	98	0	108	0	111	0	112	0	112	0	117	0

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

3.4 Výsledky fyzikálně – mechanických vlastností nátěrových hmot na ocelových panelech

V kapitolách 3.4.1–3.4.2 jsou uvedeny výsledky fyzikálně – mechanických vlastností nátěrových hmot na ocelových panelech. Nátěrové filmy byly testovány na odolnost vůči hloubení, ohybu, úderu závaží. Dále byla testována odtrhová zkouška a přilnavost nátěru.

3.4.1 Výsledky stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči hloubení, úderu závaží, ohybu a přilnavosti nátěru

V kapitole 3.4.1 jsou uvedeny výsledky stanovení odolnosti nátěrového filmu na ocelových panelech třídy DC01 vůči hloubení, ohybu přes 4 mm trn a padajícího závaží o hmotnosti 1000 g a přilnavosti nátěru. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 42.

Tabulka 42: Výsledné hodnoty mechanických zkoušek na ocelových panelech s nátěrovým filmem na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, $DFT = 75 \pm 10 \mu\text{m}$

Pigment	OKP [%]	Mechanické zkoušky na ocelových panelech			
		Hloubení [mm]	Ohyb [mm]	Úder [cm]	Přilnavost [stupeň]
ZnO	0,5	>10	>4	>100	0
	1	>10	>4	>100	0
	1,5	>10	>4	>100	0
	2	>10	>4	>100	1
La ₂ O ₃	0,5	>10	>4	>100	1
	1	>10	>4	>100	1
	1,5	>10	>4	>100	0
	2	>10	>4	>100	0
ZnSe	0,5	>10	>4	90	0
	1	>10	>4	90	0
	1,5	>10	>4	>100	0
	2	>10	>4	95	0
SeO ₂	0,5	>10	>4	>100	0
	1	>10	>4	>100	1
	1,5	>10	>4	>100	1
PANI fosf.	0,5	>10	>4	>100	0
	1	>10	>4	90	0
	1,5	>10	>4	>100	0
	2	>10	>4	>100	0
PPy fosf.	0,5	>10	>4	>100	0
	1	>10	>4	>100	0
	1,5	>10	>4	90	1
	2	>10	>4	90	2
L ₀	-	>10	>4	>100	0

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

3.4.2 Výsledky stanovení odtrhů nátěrových filmů

V kapitole 3.4.2 jsou uvedeny výsledky stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči odtrhům na ocelových panelech typu DC01. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 43.

Tabulka 43: Výsledné hodnoty odtrhů nátěrových filmů na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi, DFT = 75±10 μm

Pigment	OKP [%]	Hodnocení odtrhů			
		Odtrhová síla [N]	Průměrný nárůst [N]	Odtrhová pevnost [MPa]	Typ lomu
ZnO	0,5	702	711,4	2,24	90% AB; 10% -/Y
	1	642	638,5	2,04	75% AB; 25% -/Y
	1,5	599	587,4	1,91	10% AB; 40%B; 50% -/Y
	2	438	455,1	1,39	60% AB; 40% -/Y
La ₂ O ₃	0,5	278	295,6	0,89	60% AB; 40% -/Y
	1	250	301,5	0,80	20% AB; 80% -/Y
	1,5	304	328,4	0,97	20% AB; 80% -/Y
	2	325	355,5	1,04	20% AB; 80% -/Y
ZnSe	0,5	432	474,9	1,38	98% AB; 2% -/Y
	1	422	467,8	1,34	98% AB; 2% -/Y
	1,5	482	518,2	1,54	100% AB
	2	407	479,2	1,30	80% AB; 20% -/Y
SeO ₂	0,5	594	604,6	1,89	100% AB
	1	657	633,3	2,09	70% AB; 30% -/Y
	1,5	294	392,2	0,94	85% AB; 15% -/Y
PANI fosf.	0,5	538	542,6	1,71	80% AB; 20% -/Y
	1	625	618,7	1,99	60% AB; 40% -/Y
	1,5	539	505,8	1,72	5% AB; 30% B; 65% -/Y
	2	791	689,5	2,52	60% AB; 40% -/Y
PPy fosf.	0,5	534	534,2	1,70	95% AB; 5% -/Y
	1	642	691,4	2,04	60% AB; 40% -/Y
	1,5	769	589,5	2,45	5% AB; 40% B; 55% -/Y
	2	438	455,1	1,39	80% AB; 20% -/Y

3.5 Výsledky zrychlených cyklických korozních zkoušek

3.5.1 Výsledky hodnocení korozní odolnosti nátěrového filmu v atmosféře s povšechnou kondenzací

V kapitole 3.5.1 jsou uvedeny výsledky korozní odolnosti nátěrových filmů v atmosféře s povšechnou kondenzací. Nátěrové filmy byly vyhodnoceny každý 7. den., poslední měření bylo provedeno po 724 hodinách. Hodnoceny byly puchýře v ploše a v okolí zkušebního řezu a koroze v okolí zkušebního řezu a v ploše panelu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 44.

Tabulka 44: Výsledné hodnoty korozní odolnosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi vůči atmosféře s povšechnou kondenzací, $DFT = 75 \pm 10 \mu\text{m}$

Pigment	OKP [%]	Expozice v atmosféře s povšechnou kondenzací				
		Hodnocení po 168 hodinách		Hodnocení po 724 hodinách		
		Puchýře	Koroze	Puchýře	Koroze	
		Plocha [st.]	Povlak [%]	Plocha [st.]	Povlak [%]	Plocha [%]
ZnO	0,5	8MD	100	8D	100	100
	1	8M	100	8D	100	100
	1,5	8M	100	8MD	100	100
	2	8M	50	8MD	50	50
La ₂ O ₃	0,5	8M	100	8MD	100	100
	1	8M	100	8MD	100	100
	1,5	8MD	100	8D	100	100
	2	8MD	100	8D	100	100
ZnSe	0,5	8M	3	8M	3	0,03
	1	8M	1	8M	1	0,03
	1,5	8F	3	8F	3	0,03
	2	8F	10	8F	10	0,03
SeO ₂	0,5	8F	1	8M	3	33
	1	8M	0,03	8M	0,03	0,03
	1,5	8MD	0	8MD	0,03	0,03
PANI fosf.	0,5	8M	16	8MD	33	0,03
	1	8M	16	8MD	33	10
	1,5	8M	16	8MD	33	10
	2	8F	10	8MD	33	1
PPy fosf.	0,5	8F	10	8MD	33	1
	1	8F	10	8M	33	0,03
	1,5	8F	3	8M	16	1
	2	8F	10	8F	10	0,03
L ₀	-	8F	16	8M	16	16

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

3.5.2 Hodnocení korozní odolnosti nátěrového filmu v atmosféře solného elektrolytu NaCl a $(NH_4)_2SO_4$

V kapitole 3.5.2 jsou uvedeny výsledky korozní odolnosti nátěrového filmu vůči atmosféře solného elektrolytu NaCl a $(NH_4)_2SO_4$. Nátěrové filmy byly vyhodnoceny po 168 hodinách. Hodnoceny byly puchýře v ploše a v okolí zkušebního řezu a koroze v okolí zkušebního řezu a v ploše nátěrového filmu a následné prokorodování ocelového panelu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 45.

Tabulka 45: Výsledné hodnoty odolnosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi vůči atmosféře solného elektrolytu NaCl/ $(NH_4)_2SO_4$, DFT = $75 \pm 10 \mu m$

Pigment	OKP [%]	Expozice v atmosféře solného elektrolytu NaCl/ $(NH_4)_2SO_4$				
		Hodnocení po 168 hodinách				
		Puchýře		Koroze		
		Plocha [st.]	Řez [st.]	Plocha [%]	Řez [mm]	Povlak [%]
ZnO	0,5	8D	8F	100	1-1,5	100
	1	8D	6F	100	1-1,5	100
	1,5	8D	6F	100	1-1,5	100
	2	8D	8F	100	1-1,5	100
La ₂ O ₃	0,5	8D	8F	100	0,5-1	100
	1	8D	8M	100	0,5-1	100
	1,5	8D	8F	100	0,5-1	100
	2	8D	8F	100	1-1,5	100
ZnSe	0,5	8M	8F	16	0,5-1	10
	1	8D	8M	100	0,5-1	100
	1,5	8F	8F	16	0,5-1	16
	2	8MD	8F	100	0,5-1	100
SeO ₂	0,5	8M	8M	16	1-1,5	16
	1	8M	6M	33	1-1,5	10
	1,5	8MD	6M	3	1-1,5	3
PANI fosf.	0,5	8MD	8M	3	0,5-1	10
	1	8M	6M	10	1-1,5	16
	1,5	8F	6M	33	1-1,5	10
	2	8M	6F	10	1-1,5	10
PPy fosf.	0,5	8M	8F	10	0,5-1	3
	1	8M	6F	10	1-1,5	3
	1,5	8M	6M	10	0,5-1	3
	2	8M	8MD	16	1-1,5	10
L ₀	-	8M	8M	50	0,5-1	50

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

3.6 Výsledky nepřímých korozních zkoušek

3.6.1 Hodnocení odolnosti nátěrového filmu vůči působení vody v závislosti na pH

V kapitole 3.6.1 jsou uvedeny výsledky odolnosti nátěrového filmu vůči působení vody při pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12. Vyhodnocení proběhlo po 168 hodinách působení vody na nátěrový film. Byly hodnoceny puchýře v ploše nátěrového filmu a koroze v ploše panelu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 46.

Tabulka 46: Výsledné hodnoty odolnosti nátěrového filmu na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi vůči působení vody v závislosti na pH, $DFT = 75 \pm 10 \mu m$

Pigment	OKP [%]	Hodnocení korozní odolnosti v prostředí vody o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12											
		Puchýře v ploše [st] po 168 hodinách						Podkorodování [%] po 168 hodinách					
		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
ZnO	0,5	8D	8MD	6F	8F	-	-	100	100	50	100	10	16
	1	6D	6D	8D	8M	-	8F	100	100	100	33	16	10
	1,5	6D	6D	6M	8F	-	-	100	100	33	33	10	10
	2	6D	6D	8M	-	-	8F	100	100	33	3	10	3
La ₂ O ₃	0,5	6M	6MD	8M	-	-	8F	100	100	50	1	3	3
	1	4MD	4MD	8F	8F	-	-	100	100	10	0,03	3	3
	1,5	8D	8D	8M	8F	-	-	100	100	50	3	10	10
	2	6D	8D	8MD	8M	8F	8F	100	100	100	100	16	3
ZnSe	0,5	8F	-	-	8F	-	-	16	1	0,3	0,3	3	1
	1	8M	8M	-	8F	-	-	50	10	0,3	0,3	16	10
	1,5	8M	8M	8F	-	8F	-	16	33	3	0,3	10	10
	2	8MD	8MD	-	-	8F	-	33	33	1	0,3	33	16
SeO ₂	0,5	6MD	8D	8F	8F	-	8F	50	100	1	1	10	3
	1	8MD	8MD	8F	8F	8F	-	100	100	33	33	3	3
	1,5	8MD	8D	8M	8F	8F	8F	100	100	100	100	1	3
PANI fosf.	0,5	8F	8F	-	-	-	-	0,3	0,3	-	-	3	1
	1	8F	8M	8F	8F	-	-	1	3	0,3	0,3	1	3
	1,5	8M	8F	8F	8F	8F	8F	0,3	1	0,3	1	3	3
	2	8MD	8MD	8MD	8F	8F	8F	1	0,3	0,3	0,1	3	1
PPy fosf.	0,5	8M	8F	8F	8F	8MD	-	0,3	0,3	0,1	0,1	1	1
	1	8F	8M	8M	8F	8MD	8F	1	1	0,3	0,3	3	1
	1,5	8M	8F	8F	8F	-	-	0,3	-	0,1	0,1	1	0,3
	2	8F	-	-	8F	-	-	0,3	1	0,3	0,3	1	3
L ₀	-	8D	6D	8F	-	8F	-	100	100	3	-	10	1

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

3.7 Výsledky mikrobiologických zkoušek

V této kapitole jsou uvedeny výsledky mikrobiologických zkoušek. Byla testována antimikrobiální účinnost nátěrových hmot vůči bakteriím *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*. Nátěry byly testovány obtiskovou metodou na volných filmech a následně byla stanovována antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů dle normy ISO 22196: 2011.

3.7.1 Výsledky stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových filmů obtiskovou metodou

V kapitole 3.7.1 jsou uvedeny výsledky stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových volných filmů obtiskovou metodou pro bakterie *E. coli* a *S. aureus*. Byl hodnocen stupeň kontaminace, který byl zprůměrován. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 47 a 48.

Tabulka 47: Stupeň bakteriální kontaminace obtiskovou metodou na volných filmech na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi pro bakterii *E. coli*

<i>Escherichia coli</i>					
Pigment	OKP [%]	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Průměr
ZnO	0,5	2	3	2	2
	1	2	3	3	3
	1,5	0	3	3	2
	2	3	3	2	3
La ₂ O ₃	0,5	5	5	4	5
	1	3	3	4	3
	1,5	3	4	3	3
	2	3	3	3	3
ZnSe	0,5	3	3	3	3
	1	1	2	4	2
	1,5	4	4	4	4
	2	5	4	3	4
SeO ₂	0,5	2	2	3	2
	1	5	4	4	4
	1,5	4	5	4	4
PANI fosf.	0,5	4	3	3	3
	1	5	4	4	4
	1,5	5	4	4	4
	2	3	5	5	4
PPy fosf.	0,5	3	5	5	4
	1	4	5	4	4
	1,5	4	5	4	4
	2	5	4	5	5
L ₀	-	0	2	0	1

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

Tabulka 48: Stupeň bakteriální kontaminace obtiskovou metodou na volných filmech na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovanými nanočásticemi pro bakterii *S. aureus*

<i>Staphylococcus aureus</i>					
Pigment	OKP [%]	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Průměr
ZnO	0,5	1	1	2	1
	1	3	3	4	3
	1,5	0	1	3	1
	2	1	3	4	3
La ₂ O ₃	0,5	4	4	5	4
	1	5	4	3	4
	1,5	4	3	4	4
	2	2	3	4	3
ZnSe	0,5	5	5	4	5
	1	2	5	5	4
	1,5	3	4	5	4
	2	4	4	4	4
SeO ₂	0,5	4	4	3	4
	1	5	4	3	4
	1,5	0	4	4	3
PANI fosf.	0,5	3	2	4	3
	1	4	5	4	4
	1,5	4	4	5	4
	2	5	5	5	5
PPy fosf.	0,5	5	3	4	4
	1	3	2	4	3
	1,5	4	3	3	3
	2	5	4	4	4
L ₀	-	5	4	4	4

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

3.7.2 Výsledky stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových nátěrů (ISO 22196: 2011)

V kapitole 3.7.2 jsou uvedeny výsledky antibakteriální účinnosti akrylátových nátěrů dle normy ISO 22196: 2011 pro bakterie *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*. Z ředící řady, která byla připravena, bylo vybráno ředění, kde vyrostlo 30-300 kolonií. Pro každý vzorek byla spočítána přesná hodnota kolonií pro dané ředění. Pokud nedošlo k žádnému nárůstu, byla následně ve výpočtu za počet kolonií dosazována hodnota „1“. Hodnocena byla antibakteriální účinnost R. Pokud byla hodnota $R > 2$, akrylátový nátěr mohl být považován za antibakteriálně účinný. Výsledky jsou vyznačeny v tabulkách 49 a 50.

Tabulka 49: Výsledky stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových nátěrů na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu pro bakterii *S. aureus*

<i>Staphylococcus aureus</i>						
Pigment	OKP [%]	N [CFU/cm ²]	C	D	Ut	R
-	-	$2,48 \cdot 10^9$	99	10^{-6}	9,39	-
ZnO	0,5	$2,23 \cdot 10^9$	89	10^{-6}	9,35	0,05
	1	$6,80 \cdot 10^{10}$	272	10^{-7}	10,83	1,44
	1,5	$1,17 \cdot 10^{13}$	468	10^{-9}	13,07	3,67
	2	$4,28 \cdot 10^{11}$	171	10^{-8}	11,63	2,24
La ₂ O ₃	0,5	$5,78 \cdot 10^{13}$	231	10^{-10}	13,76	4,37
	1	$6,75 \cdot 10^7$	270	10^{-3}	6,83	2,56
	1,5	$1,75 \cdot 10^7$	70	10^{-4}	7,24	2,15
	2	$7,25 \cdot 10^{13}$	290	10^{-10}	13,86	4,47
ZnSe	0,5	$1,28 \cdot 10^{10}$	51	10^{-7}	10,11	0,71
	1	$5,00 \cdot 10^{10}$	20	10^{-8}	10,70	1,31
	1,5	$7,75 \cdot 10^{11}$	31	10^{-9}	11,89	2,50
	2	$7,00 \cdot 10^{13}$	280	10^{-10}	13,85	4,45
SeO ₂	0,5	$3,28 \cdot 10^8$	131	10^{-5}	8,52	0,88
	1	$4,90 \cdot 10^6$	196	10^{-3}	6,69	2,70
	1,5	$1,43 \cdot 10^6$	57	10^{-3}	6,15	3,24
PANI fosf.	0,5	$4,30 \cdot 10^7$	172	10^{-4}	7,63	1,76
	1	$7,08 \cdot 10^{13}$	283	10^{-9}	10,85	1,46
	1,5	$3,78 \cdot 10^{10}$	151	10^{-7}	10,58	1,18
	2	$2,50 \cdot 10^9$	10	10^{-7}	9,40	0,01
PPy fosf.	0,5	$1,05 \cdot 10^9$	42	10^{-6}	9,02	0,37
	1	$1,30 \cdot 10^8$	52	10^{-5}	8,11	1,28
	1,5	$1,73 \cdot 10^9$	69	10^{-6}	9,24	0,16
	2	$3,43 \cdot 10^7$	137	10^{-4}	7,53	1,86
L ₀	-	$1,85 \cdot 10^{11}$	70	10^{-8}	11,24	1,85

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

Tabulka 50: Výsledky stanovení antibakteriální účinnosti akrylátových nátěrů na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu pro bakterii *E. coli*

<i>Escherichia coli</i>						
Pigment	OKP [%]	N [CFU/cm ²]	C	D	Ut	R
-	-	$1,70 \cdot 10^{10}$	68	10^{-7}	10,23	-
ZnO	0,5	$2,02 \cdot 10^{10}$	88	10^{-7}	10,34	0,11
	1	$1,13 \cdot 10^9$	45	10^{-6}	9,05	1,18
	1,5	$2,15 \cdot 10^9$	86	10^{-6}	9,33	0,90
	2	$2,55 \cdot 10^{10}$	102	10^{-7}	10,41	0,18
La ₂ O ₃	0,5	$1,03 \cdot 10^9$	41	10^{-6}	9,01	1,22
	1	$7,50 \cdot 10^8$	30	10^{-6}	8,88	1,36
	1,5	$4,98 \cdot 10^9$	199	10^{-6}	9,70	0,53
	2	$3,53 \cdot 10^8$	141	10^{-5}	8,55	1,68
ZnSe	0,5	$3,03 \cdot 10^9$	121	10^{-6}	9,48	0,75
	1	$1,83 \cdot 10^9$	73	10^{-6}	9,26	0,97
	1,5	$7,50 \cdot 10^7$	30	10^{-5}	7,88	2,36
	2	$1,25 \cdot 10^9$	50	10^{-5}	8,10	2,13
SeO ₂	0,5	$1,30 \cdot 10^9$	52	10^{-6}	9,11	1,12
	1	$1,45 \cdot 10^8$	58	10^{-5}	8,16	2,07
	1,5	$1,30 \cdot 10^8$	52	10^{-5}	8,11	2,12
PANI fosf.	0,5	$3,45 \cdot 10^9$	138	10^{-6}	9,54	0,69
	1	$3,88 \cdot 10^9$	155	10^{-6}	9,59	0,64
	1,5	$1,28 \cdot 10^8$	51	10^{-5}	8,11	2,12
	2	$9,75 \cdot 10^7$	39	10^{-5}	7,99	2,24
PPy fosf.	0,5	$1,78 \cdot 10^{10}$	71	10^{-7}	10,25	0,02
	1	$2,93 \cdot 10^9$	117	10^{-6}	9,47	0,76
	1,5	$8,00 \cdot 10^9$	32	10^{-7}	9,90	0,33
	2	$2,10 \cdot 10^7$	84	10^{-4}	7,32	2,91
L ₀	-	$1,13 \cdot 10^{11}$	45	10^{-8}	11,05	0,82

L₀ je latex bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu.

4 DISKUZE K MECHANICKÝM A ANTIKOROZNÍM VLASTNOSTEM NÁTĚROVÝCH HMOT

4.1 Diskuze ke stanovení fyzikálně – chemických vlastností pigmentů a vlastností pojiva

Byla provedena charakterizace používaných nanočástic. Byla změřena hustota pigmentu a olejové číslo, z těchto hodnot byla dopočítána kritická objemová koncentrace pigmentu (KOKP). Dále bylo připraveno pojivo na bázi methylmethakrylátu a butylakrylátu. u něhož ihned po syntéze byly změřeny hodnoty pH, viskozita, obsah koagulátu, obsah sušiny a MMFT. Na základě hustoty a KOKP byly následně naformulovány nátěrové hmoty s obsahem testovaných nanočástic.

Pro vzorek L_0 bez obsahu pigmentů/nanočástic na bázi metylmetakrylátu a butylakrylátu byly změřeny parametry jako pH, viskozita, obsah koagulátu, sušiny a MMFT. U tohoto pojiva nedošlo ke tvorbě koagulátu a obsah sušiny činil 42,07 %. Dále bylo měřeno pH, které mělo před alkalizací hodnotu 1,89. Takto kyselé pH bylo způsobeno kyselými karboxylovými skupinami, které jsou ve struktuře latexu. Následně byl daný latex zalkalizován pomocí 10% roztoku amoniaku na pH 9 z důvodu stability.

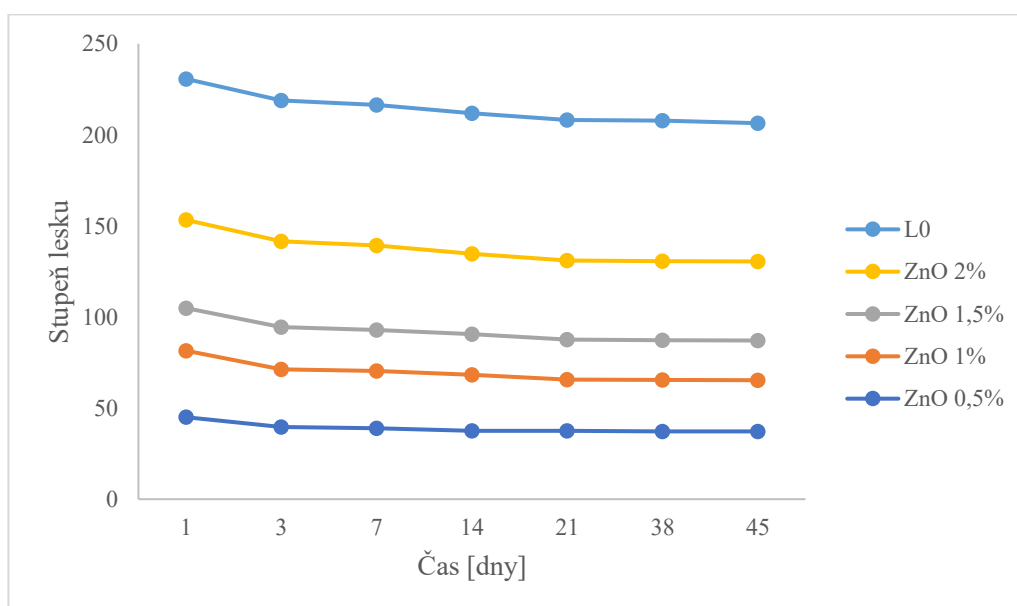
Použité pigmenty měly hodnotu olejového čísla 4,46 – 85,5g/100g pigmentu. Nejvyšší hodnoty olejového čísla byly naměřeny u vodivých polymerů a to 85,5g/100g pigmentu pro PANI fosf. a 84,4g/100g pigmentu pro PPy fosf., takto vysoké hodnoty byly způsobeny velkou pórovitostí částic vedoucí k vysoké adsorpci lněného oleje. Nejnižší olejové číslo měl pigment ZnSe a to 4,5g/100g pigmentu. Hustota použitých pigmentů se pohybovala v hodnotách 1,51 – 6,45 g·cm⁻³, ta byla dále využita pro výpočet KOKP. Hodnoty KOKP byly v rozmezí 19,37 – 80,07, přičemž nejnižší hodnotu KOKP měl La₂O₃ (19,37) a nejvyšší hodnotu mělo SeO₂ (80,07)

4.2 Diskuze k fyzikálně – mechanickým vlastnostem nátěrových filmů na skleněných panelech

Skleněné panely s nátěrovými filmy o $DFT = 50 \pm 10 \mu\text{m}$ byly vyhodnocovány v závislosti na čase a to 1., 3., 7., 14., 21., 38. a 45. den. Byla měřena relativní tvrdost nátěrového filmu, lesk a Buccholzova vrypová zkouška pro stanovení tvrdosti nátěru. Také byly hodnoceny vzhledové vlastnosti nátěrových filmů.

Při hodnocení vzhledu bylo patrné, že u vzorků obsahující pigmenty vodivých polymerů byly viditelné částice pigmentu, které způsobovaly to, že povrch nebyl tak hladký, jako u ostatních vzorků, které viditelné částice neobsahovaly. Tvorba bublin byla pozorována zejména u vzorků s dispergovaným La_2O_3 a PPy fosf., praskliny se vyskytovaly ojediněle.

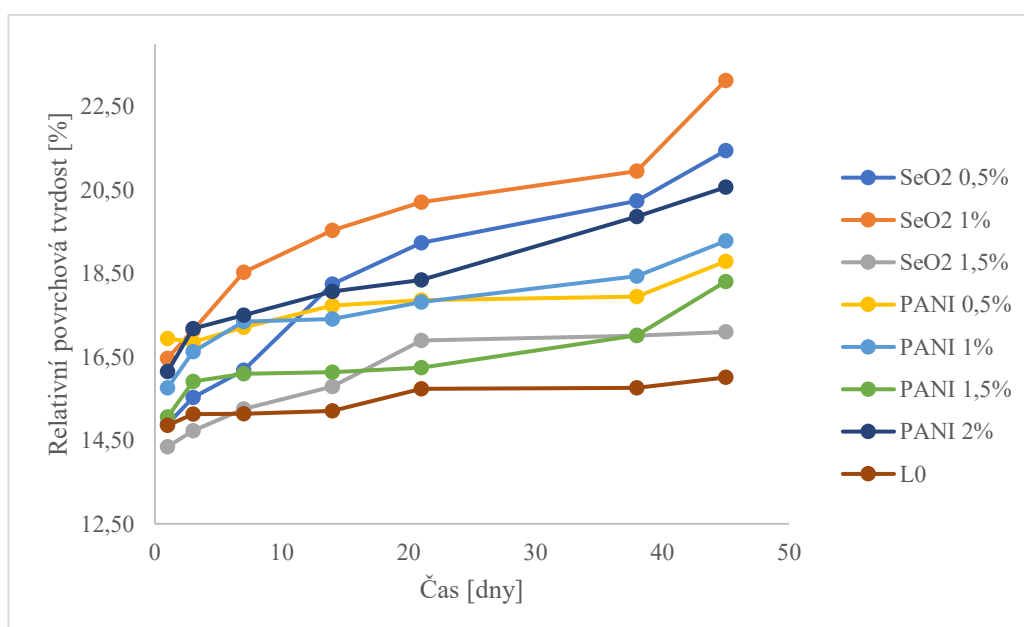
Lesk nátěrových filmů byl měřen při úhlech 20° , 60° a 85° . Při celkovém zhodnocení všech vzorků docházelo k poklesu hodnot, ty se pohybovaly v rozmezí 21,8 – 80, 3 jednotek při úhlu 20° . Na obrázku 39 je zobrazen graf do kterého byly vyneseny hodnoty při 20° . Zde je patrný rozdíl mezi vzorkem L_0 , který neobsahoval žádné nanočástice a vzorky s dispergovanými nanočásticemi ZnO při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %. Nepigmentovaný vzorek má vyšší hodnoty lesku, může být tedy konstatováno, že nanočástice způsobují pokles lesku nátěrového filmu. Tato skutečnost byla prokázána i v porovnání s ostatními pigmentovanými vzorky. V závěru byly všechny naměřené vzorky velmi lesklé.



* Body byly spojeny čarou pro pochopení trendu vývoje lesku

Obrázek 39: Vývoj stupně lesku u latexu bez nanočástic a s nanočásticemi ZnO

Relativní povrchová tvrdost byla měřena kyvadlovým přístrojem Perzos. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 12,54 – 23,13 %, přičemž po dobu měření se postupně zvyšovaly. Tato skutečnost je dána tím, jak se nátěrový film vytvrzuje a zvyšuje svoji tvrdost. Na obrázku 40 je zobrazen graf, na kterém lze sledovat nárůst relativní povrchové tvrdosti, přičemž ve srovnání vzorků s nanočásticemi SeO_2 a vodivým pigmentem PANI fosf. vůči latexu bez obsahu nanočástic vidíme, že nepigmentovaný latex má nižší relativní povrchovou tvrdost. Nejvyšší nárůst tvrdosti nátěrových filmů byla pozorována mezi 1. a 14. dnem měření. Nejvyšší relativní povrchové tvrdosti dosáhl nátěrový film s nanočásticemi SeO_2 při OKP= 1% (23,13%), naopak k nejpomalejšímu zasychání nátěrového filmu a nejnižší hodnotě relativní tvrdosti docházelo u La_2O_3 při OKP = 2% (11,58%). U vzorku neobsahujícího nanočástice L_0 byla hodnota relativní tvrdosti po 45. dnu měření 16,01%.



* Body byly spojeny čarou pro pochopení trendu vývoje povrchové tvrdosti

Obrázek 40: Vývoj relativní povrchové tvrdosti vybraných latexů s obsahem SeO_2 , PANI fosf. a L_0 bez nanočástic

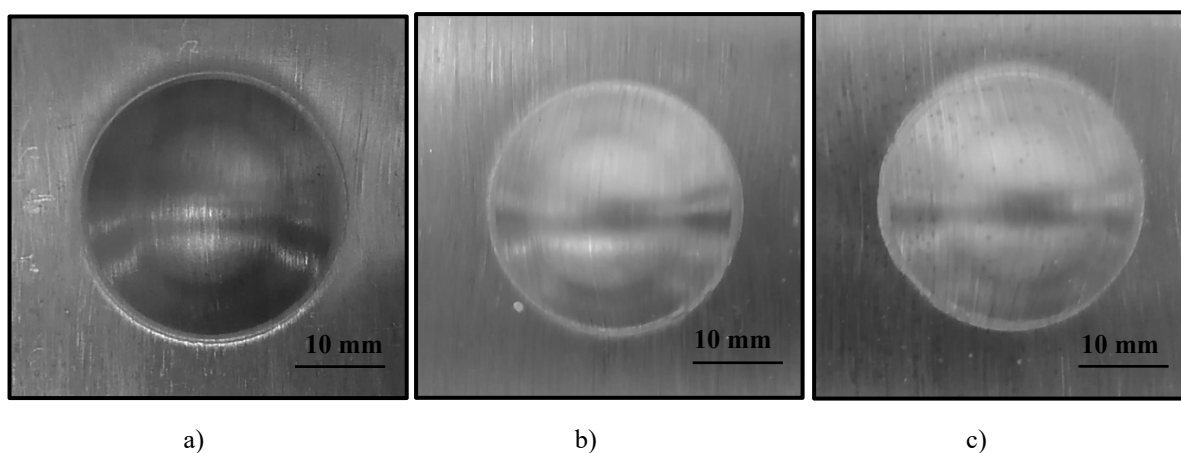
Odolnost nátěrových filmů vůči methylethylketonu byla další zkouška prováděná na skleněných panelech. U všech studovaných vzorků došlo k prodření nátěrového filmu až na skleněný panel, byly proto hodnoceny stupněm poškození 0. Čas, za který byl MEK schopný poškodit nátěrový film se pohyboval v rozmezí 54–202 sekund. Čas nutný pro poškození nátěru se v závislosti na čase zvyšoval a nejvyšší hodnoty byly naměřeny 45. den a největší nárůst hodnot byl mezi 1. a 14. dnem. Pro L_0 byl čas potřebný k poškození nátěrového filmu při 45. dnu měření 117 sekund.

Poslední zkouškou na skleněných panelech byla Buccholzova vrypová zkouška tvrdosti. Z výsledků je patrné, že pro latex bez nanočástic L_0 se hodnoty pohybovaly v rozmezí 2-1,5mm délky vrypů, přičemž v 1.,3.,7. a 14.dni měření byly hodnoty kolem 2 mm délky vrypů, zatímco kolem 21., 38. a 45. dne měření se hodnoty snižovaly a měly kolem 1,5 mm délky vrypů. U všech ostatních vzorků s obsahem nanočástic/pigmentů nebyla zaznamenána změna výsledků v porovnání s L_0 , lze tedy konstatovat obdobné závěry. Přesné délky vrypů nebylo v daných dnech možné vyhodnotit v důsledku transparentnosti a vysokému lesku nátěrového filmu. Výsledky ovšem korelují s hodnotami relativní tvrdosti.

4.3 Diskuze k fyzikálně – mechanickým vlastnostem nátěrových filmů na ocelových panelech

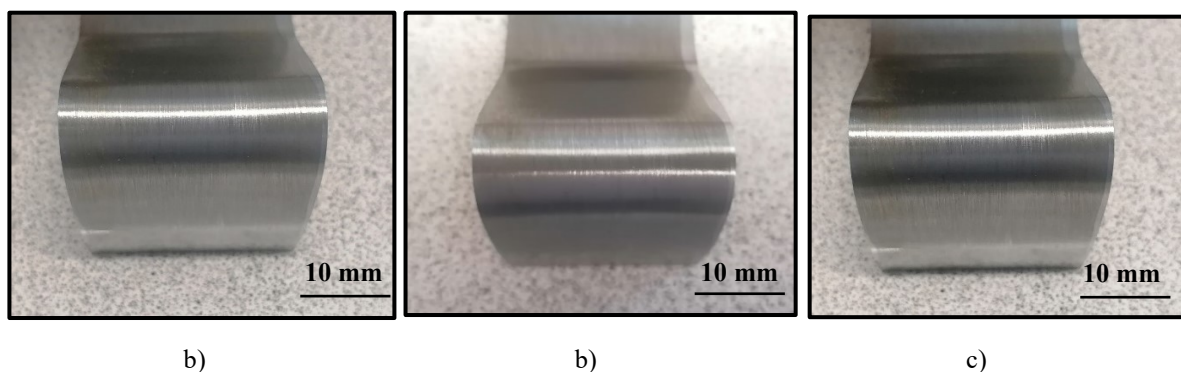
Ocelové panely typu DC01 s nátěrovým filmem s $DFT = 75 \pm 10 \mu\text{m}$ byly podrobeny fyzikálně – mechanickým zkouškám jako je odolnost vůči hloubení, ohybu, úderu, přilnavosti a byla testována odtrhová zkouška.

Při stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči hloubení, ohybu přes 4 mm trn, padajícího závaží a přilnavosti dosahovaly vysoké mechanické odolnosti téměř všechny nátěrové filmy kdy téměř ve všech případech nedošlo k poškození nátěrového filmu. U zkoušky odolnosti vůči hloubení nedocházelo u žádného ze vzorků k popraskání nebo poškození nátěrového filmu v místě kde docházelo ke vtlačení ocelové kuličky, ta pronikla u všech vzorků do hloubky 10mm, příkladem zkoumaných vzorků je obrázek 41.



Obrázek 41: Odolnost nátěrových filmů s obsahem nanočástic La_2O_3 při a) OKP= 1%, b) OKP= 1,5%, c) OKP= 2 % vůči hloubení

Při stanovení odolnosti vůči ohybu také nedocházelo k poškození nátěrových filmů ani u jednoho z testovaných vzorků. Příklady jsou zobrazeny na obrázku 42.



Obrázek 42: Odolnost nátěrových filmů s obsahem nanočástic ZnO při a) OKP= 0,5%, b) OKP= 1%, c) OKP= 1,5 % vůči ohybu přes 4mm trn

U zkoušky odolnosti nátěrového filmu vůči úderu byly téměř všechny vzorky odolné vůči pádu závaží ze 100 cm bez viditelného poškození. Nejnižší hodnoty měly vzorky ZnSe při OKP= 0,5 ; 1%, dále PANI fosf. při OKP= 1% a PPy fosf. při OKP= 1,5; 2%. Všechny uvedené vzorky vydržely pád závaží z výšky 90 cm. U vzorku L₀ nedošlo k poškození nátěrového filmu ani po pádu závaží z výšky 100 cm.

Další mechanickou zkouškou na ocelových panelech byla zkouška přilnavosti. Pomocí řezacího nože cross cut s rozstupem čepelí 2 mm byla do nátěru vytvořena mřížka. Většina nátěrů byla odolná a vykazovala stupeň přilnavosti 0, nedocházelo zde tedy k žádnému praskání či odlupování nátěrového filmu. Výjimkou byl nátěrový film s obsahem PPy fosf. při OKP= 2 %, ten vykazoval 5-15% poškození nátěrového filmu a byl tedy hodnocen stupněm 2. U vzorku L₀ nedošlo k poškození nátěrového filmu a byl hodnocen stupněm 0.

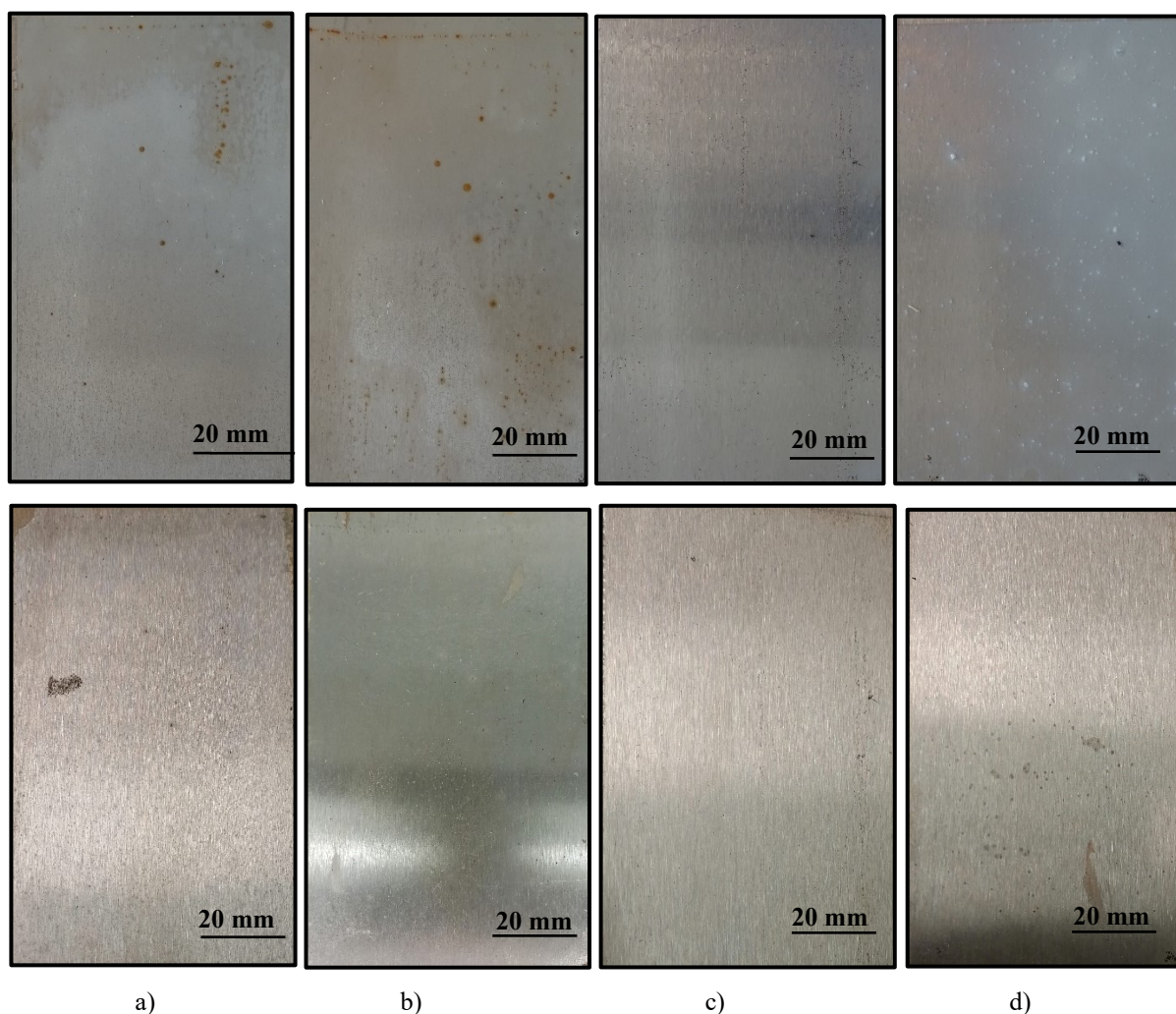
Posledním testem, který byl prováděn na ocelových panelech byla odolnost nátěrového filmu vůči odtrhům. Byla naměřena odtrhová síla, ze které byly dopočítány hodnoty odtrhové pevnosti. Hodnoty odtrhové pevnosti byly v rozmezí 0,80-2,52 MPa, přičemž nejvyšší hodnotu měl nátěrový film s PANI fosf. při OKP= 2% (2,52 MPa) a nejnižší La₂O₃ při OKP=1% (0,80 MPa). Celkově nejnižší hodnoty odtrhové pevnosti měly vzorky s obsahem La₂O₃ při všech OKP a nejvyšších hodnotách nátěrové filmy s pigmentem PANI fosf. při všech OKP.

4.4 Diskuze k výsledkům zrychlených korozních zkoušek

Ocelové panely s nátěrovým filmem o DFT = 75 ± 10 μm byly podrobeny zrychleným korozním zkouškám. Byla prováděna korozní zkouška v atmosféře s povšechnou kondenzací a korozní zkouška v atmosféře solného elektrolytu NaCl/(NH₄)₂SO₄.

Při korozní zkoušce v atmosféře s povšechnou kondenzací byly hodnoceny korozní změny na nátěrovém filmu způsobené povšechnou kondenzací. Nátěrové filmy byly vyhodnoceny každý 7. den., poslední měření bylo provedeno po 724 hodinách. V průběhu korozní zkoušky byly na ocelových panelech s organickými povlaky hodnoceny puchýře a koroze v ploše nátěrového filmu. Nátěrové filmy s obsahem ZnSe při OKP= 0,5; 1,5%; SeO₂ při OKP= 1, 1,5% a PPy fosf. při OKP=2% vykazovaly vysoké hodnoty antikorozi účinnosti, a zároveň i lepších antikorozi výsledků ve srovnání se samotným latexem na bázi methylmetakrylátu a butylakrylátu, který neobsahoval žádné nanočástice. Fotografické snímky těchto nátěrových filmů jsou zobrazeny na obrázku 43. Nejvyšší antikorozi účinnost po 724 hodinové expozici dosáhl nátěrový film s pigmentem SeO₂ při OKP = 1 %, u něhož byly puchýře v ploše byly hodnoceny stupněm 8M a koroze v ploše byla pouze 0,03 % a podkorodování ocelového panelu bylo pouze z 0,03 %. Obdobných výsledků dosáhly nátěrové filmy ZnSe při OKP= 0,5; 1,5%, kde puchýře v ploše byly hodnoceny stupněm 8M a koroze v ploše byla pouze 3% a podkorodování ocelových podkladů pouze z 0,03% a organické povlaky s pigmentem PPy fosf. při OKP = 2 %, kde puchýře v ploše nátěrového filmu byly hodnoceny stupněm 8F, koroze v ploše nátěru činila 3 % a podkorodování bylo z 0,03%.

Naopak zcela nejnižší antikorozi účinnosti dosáhly nátěrové filmy s obsahem nanočástic La₂O₃ a ZnO, které již po 168hodinové expozici vykazovaly korozi v ploše nátěru ze 100 % a puchýře v nátěrovém filmu se pohybovaly v rozmezí 8M až 8MD.



Obrázek 43: Fotografický záznam nátěrových filmů s obsahem ZnSe a SeO_2 s nejvyšší korozní odolností vůči atmosféře s povšechnou kondenzací po 724 hodinách a po stažení nátěrového filmu. a) ZnSe při OKP= 1%; b) ZnSe při OKP=1,5%; c) SeO_2 při OKP= 1%; d) SeO_2 při OKP= 1,5%

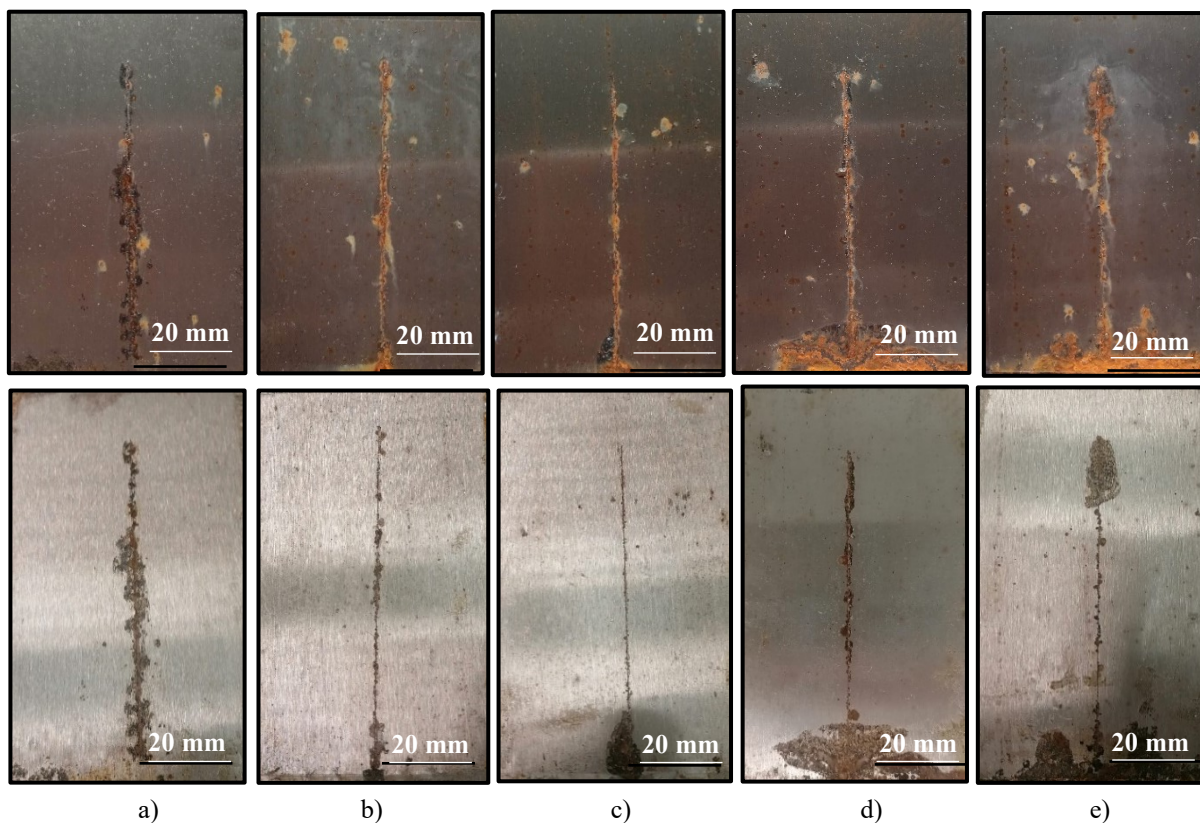
Při korozní zkoušce v atmosféře solného elektrolytu $\text{NaCl}/(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ byly hodnoceny korozní změny na nátěrovém filmu způsobené solným elektrolytem $\text{NaCl}/(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Nátěrové filmy byly hodnoceny po 168 hodinách. V průběhu byly hodnocen vznik puchýřů a koroze v ploše a řezu nátěrového filmu.

V průběhu korozní zkoušky byly na ocelových panelech s organickými povlaky hodnoceny puchýře a koroze v ploše a puchýře a koroze v okolí zkušebního řezu nátěrového filmu. Nátěrové filmy s obsahem SeO_2 při OKP= 1,5%, ZnSe při OKP= 0,5%, PANI fosf. při OKP= 0,5% a PPy fosf. při OKP=0,5, 1, 1,5% vykazovaly vysoké hodnoty antikoroziční účinnosti a zároveň i lepších antikorozičních výsledků ve srovnání se samotným latexem na bázi

methylnetakrylátu a butylakrylátu, který neobsahoval žádné nanočástice. Fotografické snímky těchto vzorků jsou zobrazeny na obrázku 44.

Nejvyšší antikoroziční účinnost po 168hodinové expozici dosáhl nátěrový film s pigmentem SeO_2 při OKP= 1,5%, u něhož byly puchýře v ploše hodnoceny stupněm 8MD a puchýře v okolí zkušebního řezu 6M, koroze v ploše byla pouze 3% a podkorodování ocelového panelu bylo pouze ze 3%. Koroze v řezu se pohybovala v rozmezí 1-1,5mm. Obdobných výsledků dosáhly nátěrové filmy s pigmentem PANI fosf. při OKP= 0,5% kde byly puchýře v ploše hodnoceny stupněm 8MD a puchýře v okolí zkušebního řezu 8M, koroze v ploše byla pouze 10% a podkorodování ocelových panelů pouze z 10%. Koroze v řezu se pohybovala v rozmezí 0,5-1 mm. Organické povlaky s pigmentem PPy fosf. při OKP=0,5; 1; 1,5% u něhož byly puchýře v ploše hodnoceny stupněm 8M, a puchýře v okolí zkušebního řezu 8F (pro OKP=0,5%), 6F (pro OKP=1%) a 6M (pro OKP=1,5), koroze v ploše byla pouze 10% a podkorodování ocelového panelu bylo jen ze 3%. Koroze v řezu se pohybovala v rozmezí 0,5-1 mm (pro OKP=0,5; 1,5%) a 1-1,5mm (pro OKP=1%). Poslední antikorozičně účinným organickým povlakem byl s nanočásticemi ZnSe při OKP= 0,5% kde puchýře v ploše byly hodnoceny stupněm 8M a puchýře v okolí řezu 8F, koroze v ploše byla pouze 16% a podkorodování ocelového panelu bylo jen z 10%. Koroze v řezu se pohybovala v rozmezí 0,5-1mm.

Naopak zcela nejnižší antikoroziční účinnosti dosáhly nátěrové filmy s obsahem nanočástic La_2O_3 a ZnO, které po 168hodinové expozici vykazovaly korozi v ploše nátěru ze 100 %, puchýře v ploše byly hodnoceny stupněm 8D a puchýře v okolí zkušebního řezu v rozmezí 8M až 8F.

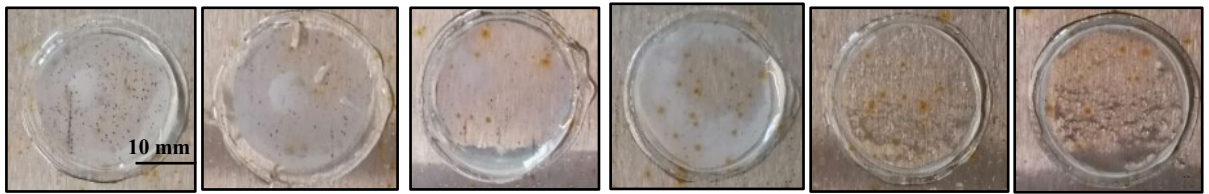


Obrázek 44: Fotografický záznam nátěrových filmů s obsahem SeO_2 , PANI fosf. a PPy fosf. s nejvyšší korozní odolností vůči atmosféře solného elektrolytu $\text{NaCl}/(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ po 168 hodinách a po stažení nátěrového filmu. a) SeO_2 při OKP=1,5%; b) PANI fosf. při OKP=0,5%; c) PPy fosf. při OKP=0,5%; d) PPy fosf. při OKP= 1%; e) PPy fosf. při OKP= 1,5%.

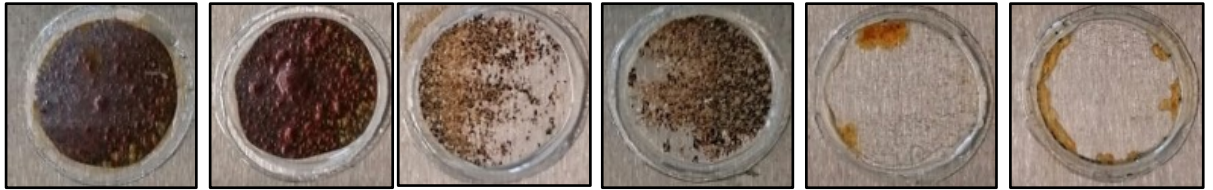
4.5 Diskuze k výsledkům nepřímých korozních zkoušek

Ocelové panely s nátěrovým filmem s DFT = 75 ± 10 μm byly podrobeny testu odolnosti nátěrového filmu vůči působení vody v závislosti na pH. Na ocelové panely byly přilepeny válečky, do každého z válečků byl naaplikován roztok elektrolytu o pH 2, 4, 6, 8, 10 a 12.

Hodnocení probíhalo po 168 hodinách a na každém nátěrovém filmu byla hodnocena koroze v ploše, puchýře v ploše a následné podkorodování ocelového panelu. Nátěrové filmy s obsahem pigmentů ZnSe, PANI fosf. a PPy fosf. dosahovaly při všech hodnotách vyšší antikorozi účinnosti, než povlak se samotným latexem na bázi methylnakrylátu a butylakrylátu. Zcela nejvyšší účinnosti vůči působení pufru dosáhl organický povlak s pigmentem PANI fosf. při OKP = 0,5 %, u něhož se objevily osmotické puchýřky hodnocené stupněm 8F pouze při pH = 2 a 4 a prorezivění nátěrového filmu bylo při daných hodnotách pH z pouhých 0,3 %. Daný nátěrový film vykazoval ještě korozi v ploše nátěrového filmu při pH = 10 (3%) a pH = 12 (1%). Vysoké účinnosti dosáhl i nátěrový film s pigmentem PPy fosf. při OKP = 2%, u něhož se vykytly puchýřky hodnocené stupněm 8F pouze při pH = 2 a 8. Koroze daného nátěrového filmu byla při pH = 2 a 4 (0,3 %) při pH = 6 a 8 (0,1 %) a při pH = 10 a 12 (1%). Vysoké odolnosti vůči působení vodného elektrolytu dosáhly i nátěrové filmy s nanočásticemi ZnSe při OKP = 0,5 % a PANI fosf. při OKP = 1 %. Naopak velmi nízké odolnosti dosáhly nátěrové filmy s nanočásticemi ZnO a La_2O_3 u nichž po 168 hodinách přítomnosti vody byla koroze nátěrového filmu při pH = 2 a 4 (100%) při všech hodnotách OKP a následně i podkorodování ocelového panelu bylo v rozmezí 16 – 100%. Při daném pH nátěrové filmy vykazovaly i velké množství puchýřků hodnocených stupněm 8D. Při ostatních hodnotách pH dané nátěrové filmy vykazovaly též velké množství osmotických puchýřků a značnou míru prorezivění nátěrových filmů. Na obrázku 45 je znázorněn rozdíl mezi nejlépe hodnoceným a nejhůře hodnoceným nátěrovým filmem.



a)



b)

Obrázek 45: Fotografický záznam nátěrových filmů s obsahem a) PANI fosf. při OKP= 0,5% a b) ZnO při OKP= 0,5% s nejvyšší (a) a nejnižší (b) odolností vůči působení vodného roztoku elektolytu při pH= 2, 4, 6, 8, 10 a 12.

5 DISKUZE K ANTIMIKROBIÁLNÍM VLASTNOSTEM NÁTĚROVÝCH HMOT

5.1 Vliv vodivých polymerů na antimikrobiální účinnost

Z naměřených hodnot antimikrobiální účinnosti bylo zjištěno, že vodivé polymery PANI fosf. a PPy fosf. nemají žádný účinek vůči bakterii *Staphylococcus aureus*, naopak u bakterie *Escherichia coli* bylo pozorováno, že při vyšším obsahu vodivých polymerů ve vzorcích došlo k mírnému zvýšení antibakteriální účinnosti.

Falak a kol. (2022) zkoumali antimikrobiální účinnost funkcionalizovaných polyanilinových filmů vůči oběma bakteriím. Byl prováděn test diskové difúze a analýza mikroředění bujónu a byla hodnocena antibakteriální aktivita funkcionalizovaných PANI filmů. Metodou mikroředění bujónu byly testované filmy společně s bakteriální suspenzí inkubovány při 37 °C za třepání při 150 ot./min. Po 24 hodinách byla změřena hodnota absorbance, byl vynesena graf růstu bakterií a spočítána procentuální hodnota buněčného růstu. Z daných hodnot bylo zjištěno, že dochází k inhibici buněčného růstu *E. coli* o více než 69,79 % a 78,27 % a *S. aureus* o 32,73 % a 62,65 %.

Maruthapandi a kol. (2020) zkoumali antimikrobiální účinnost polypyrrolu se zabudovanými mikročásticemi oxidu mědi dopovaného zinkem vůči *E.coli* a *S. aureus*. Pro antimikrobiální testy byly vzorky polymerního kompozitu inkubovány s bakteriální suspenzí při 37 °C za třepání při 200 ot./min. V průběhu inkubace byly odebírány alikvoty, které byly ředěny a naaplikovány na destičky s živným médiem, ty byly inkubovány 16 hodin při 37 °C. Při vyhodnocení výsledků byly spočítány bakteriální kolonie ve vhodných ředěních, aby se odhadl počet životaschopných bakterií metodou jednotky tvořící kolonie (CFU). Bylo zjištěno, že PPy s negativním nábojem nevykazoval žádný antibakteriální účinek proti *E. coli* a *S. aureus*. Pravděpodobnou příčinou tohoto stavu byl fakt, že PPy má mnohem silnější záporný náboj než samotná buněčná stěna.

V literatuře je popsána proveditelnost použití PANI jako antimikrobiálního činidla. PANI indukuje produkci peroxidu vodíku, který podporuje tvorbu hydroxylových radikálů způsobujících poškození biomolekul a potenciálně buněčnou smrt. Kataláza, enzym *E. coli*, je schopna vylučovat peroxid vodíku do vody a kyslíku. K zajištění peroxidu vodíku jsou tedy nutné vysoké koncentrace PANI. Tímto způsobem dochází k poškození buněk (Maruthapandi a kol., 2020).

Ve srovnání naměřených výsledků s literaturou dochází ke shodě inhibice vzorků PANI a PPy vůči bakterii *Escherichia coli*. Naopak u bakterie *Staphylococcus aureus* nedocházelo k inhibici růstu ani jedním z vodivých polymerů, což mohlo být způsobeno nedostatečně vysokých koncentrací PPy ve vzorcích. Nepotvrdily se tak výsledky uváděné v literatuře (Maruthapandi a kol., 2020; Falak a kol., 2022).

5.2 Vliv La₂O₃ na antimikrobiální účinnost

Z naměřených výsledků antimikrobiální účinnosti nanočástic oxidu lanthanitého bylo zjištěno, že při působení těchto částic na bakterii *Escherichia coli* nemají žádný významný účinek a neinhibují její růst. Oproti tomu při použití vůči bakterii *Staphylococcus aureus* docházelo ke značné antimikrobiální aktivitě.

Wang a kol. (2014) studovali antibakteriální účinnost čistého La₂O₃ a modifikovaného La₂O₃ v podobě nanotyčí, na které byly nanoseny nanočástice stříbra. Pro stanovení antimikrobiální účinnosti byla použita metoda diskové difúze. Připravené kolonie byly zředěny pomocí McFarlandovy zákalové stupnice na denzitu buněk $1,5 \cdot 10^8$ CFU/ml, ty byly naaplikovány na živný agar a na takto připravenou misku byly položeny kulaté disky, které byly předem namáčeny po dobu 24 h v roztoku La₂O₃ a Ag-La₂O₃. Vše bylo inkubováno 24 h při 37 °C. Nakonec byly změřeny inhibiční zóny v okolí disků. Bylo zjištěno, že nanočástice La₂O₃ nemají žádný účinek vůči oběma testovaným bakteriím. U modifikovaných vzorků Ag-La₂O₃ k inhibici růstu docházelo, ale bylo to nejspíše způsobeno obsahem stříbrných nanočástic, které mají významné antibakteriální účinky.

Balusamy a kol. (2012) studovali antibakteriální účinnost a bakteriální toxicitu nanočástic La₂O₃ pomocí metody třepajících se lahví na bakteriích *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*. Zkoumané nanočástice byly přidávány do kultivačních baněk obsahujících bakteriální kmeny a byly společně inkubovány při 37 °C po dobu 24 h za třepání při 100 ot/min. Byly průběžně odebírány alikvoty, které byly zředěny, rozetřeny na plotny s živným agarem a inkubovány při 37 °C. Ke stanovení účinku La₂O₃ byly odečítány kolonie, aby bylo možné stanovit počet životaschopných bakterií. Bylo zjištěno, že dochází k výrazné toxicitě vůči bakterii *S. aureus*, což lze nejspíše přičíst lanthanoidovým iontům, které mají schopnost potlačit Ca²⁺ ionty ve vazebných místech stafylokokových nukleáz. U účinku La₂O₃ na bakterie *E. coli* nebyly zpozorovány žádné toxické účinky, které by inhibovaly jejich růst.

Antimikrobiální účinky nanočástic La_2O_3 byly dle literatury pozorovány vůči bakterii *Staphylococcus aureus*, což se shoduje s naměřenými výsledky. Naopak nebyl pozorován antibakteriální účinek nanočástic La_2O_3 vůči bakterii *Escherichia coli*, jak v literárních pramenech, tak v naměřených výsledcích.

5.3 Vliv ZnO na antimikrobiální účinnost

Z naměřených hodnot antimikrobiální účinnosti nanočástic oxidu zinečnatého vůči bakteriím *E. coli* a *S. aureus* bylo zjištěno, že vůči *Escherichia coli* nemají žádný inhibiční účinek, naproti tomu u *Staphylococcus aureus* byla pozorována inhibice růstu při vyšších koncentracích nanočástic v nátěrových hmotách.

Navarro-López a kol. (2021) studovali antibakteriální účinek nanočástic ZnO vůči *S. aureus* a *E. coli*. Byla připravena ředící řada a každé ředění bylo naočkováno na Petriho misku se vzorky nanočástic, takto připravený vzorek byl inkubován dalších 24 h 30 °C. Testy ukázaly, že větší účinek měly nanočástice oxidu zinečnatého na růst *S. aureus*, u *E. coli* nebyly pozorovány významné inhibiční účinky.

Premanathan a kol. (2010) sledovali antibakteriální účinky oxidu zinečnatého vůči *S. aureus* a *E. coli*. K testování byla používána metoda založená na práci v mikrotitrační destičce. Ta obsahovala testovaný materiál, živný bujón a bakteriální suspenzi. Takto připravená destička byla inkubována při 37 °C po dobu 24 hodin. Po vyhodnocení bylo zjištěno, že dochází k silnější antibakteriální aktivitě nanočástic ZnO vůči *S. aureus* ve srovnání s *E. coli*.

Výsledky uváděné v literatuře se shodovaly s naměřenými výsledky. Docházelo k inhibici růstu *S. aureus* působením nanočástic ZnO. U *E. coli* tomu bylo naopak a nedocházelo k významným inhibičním účinkům oxidu zinečnatého. Bylo zjištěno, že antibakteriální aktivita oxidu zinečnatého je způsobena vznikem ROS a tímto způsobem inhibuje *Staphylococcus aureus*. (Navarro-López a kol., 2021)

5.4 Vliv selenu na antimikrobiální účinnost

Z naměřených hodnot antimikrobiální účinnosti nanočástic oxidu seleničitého a selenidu zinečnatého bylo zjištěno, že oba vzorky působí inhibičně vůči *E. coli* i *S. aureus*, a to při vyšších koncentracích nanočástic.

Tran a kol. (2016) hodnotili antibakteriální účinnost nanočástic selenu. Bakteriální kultury byly zředěny na denzitu $2,5 \cdot 10^6$ buněk/ml a takto připravená suspenze byla naočkována do 96jamkové destičky spolu s nanočásticemi a inkubována při 37 °C. Růst bakterií na destičce byl monitorován měřením optické hustoty suspenze bakterií. Testy ukázaly, že nanočástice selenu mají inhibiční účinek vůči růstu *Staphylococcus aureus*, ovšem u *Escherichia coli* nanočástice žádným způsobem neovlivňovaly její růst.

Z naměřených dat bylo patrné, že nanočástice selenu mají jistou antimikrobiální účinnost vůči použitým bakteriím, a to při vyšších koncentracích. Literatura uvádí, že nanočástice selenu žádným způsobem neovlivňovaly *E. coli*, což není v souladu s naměřenými výsledky. Tran a kol. (2016) uvádí, že nanočástice selenu neinhibovaly růst *E. coli*, a to v důsledku vzniku silného elektrostatického odpuzování nanočástic selenu a vnější bakteriální membrány. Ta má totiž čistý negativní náboj díky lipopolysacharidům.

6 PŘÍNOSY DIPLOMOVÉ PRÁCE

Daná diplomová práce se zabývá problematikou antimikrobiálních nátěrů na bázi akrylátových latexů s obsahem antimikrobiálních aditiv La_2O_3 , ZnO , ZnSe , SeO_2 a vodivých polymerů PANI fosf. a PPy fosf. V práci jsou obsaženy nové poznatky z oblasti ekologicky nezávadných antimikrobiálních povlaků. Nátěrové hmoty s antimikrobiálními aditivy mají obecné uplatnění při boji s nozokomiálními nákazami, jsou schopné potlačovat růst bakterií, které tyto onemocnění způsobují. Antimikrobiální nátěry byly testovány na jejich antimikrobiální účinnost dle normy ISO 22196: 2011. Cílem práce bylo zjistit přínosy začlenění nanočástic a mikročástic pigmentů do polymerní matrice latexu na bázi methylmetakrylátu a butylakrylátu vedoucích k účinné inhibici růstu bakterií *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*.

Byl připraven akrylátový latex za pomoci emulzní polymerace, hned po syntéze u něj bylo změřeno pH, viskozita, obsah sušiny, obsah koagulátu a MFFT. Dále byly zcharakterizovány pigmenty stanovením olejového čísla a hustoty pigmentu, aby bylo možné dopočítat hodnotu KOKP, díky které mohly být zformulovány modelové nátěrové hmoty. Následně byla provedena dispergace, kdy byl smíchán připravený latex s nanočásticemi La_2O_3 , ZnO , ZnSe , SeO_2 a mikročásticemi vodivých polymerů PANI fosf. a PPy fosf. při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2%. U nátěrových filmů nanesených na skleněných panelech byly hodnoceny fyzikálně – mechanické vlastnosti jako je relativní povrchová tvrdost, Buccholzova vrypová zkouška, hodnocení lesku a stanovení odolnosti nátěrového filmu vůči působení methylethylketonu. U veškerých nátěrových filmů docházelo v průběhu času ke snižování lesku a zvyšování relativní tvrdosti nátěrových filmů v důsledku jejich vytvrzování. Stejně tak docházelo ke zvyšování chemické odolnosti vůči MEK. U nátěrových filmů nanesených na ocelových panelech byly hodnoceny fyzikálně – mechanické vlastnosti jako je odolnosti vůči ohybu, pádu závaží, hloubení a přilnavosti. Všechny nátěrové filmy vykazovaly vysokou mechanickou účinnost, která je nezbytným předpokladem pro účinné antikorozi působení daného nátěrového filmu. Byly hodnoceny cyklické korozní zkoušky v atmosféře s obsahem $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4/\text{NaCl}$ a s povšechnou kondenzací a nepřímé korozní zkoušky. U nátěrových filmů s obsahem SeO_2 , ZnSe , PANI fosf. a PPy fosf. docházelo k dobrým antikorozi účinkům.

Antimikrobiální účinnost nátěrových filmů vůči bakteriím *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli* byla prováděna dle normy ISO 22196: 2011. Nejprve byla testována antimikrobiální účinnost na vzorcích volných filmů, ta sloužila k orientačnímu určení účinně

inhibujících vzorků. Dále byla testována antimikrobiální účinnost nátěrových filmů nanesených na polyethylenových fóliích. Výsledkem této zkoušky byla hodnota antimikrobiální účinnosti R. Nátěrové hmoty s nanočásticemi La_2O_3 byly schopny účinně inhibovat růst bakterie *Staphylococcus aureus*, která je grampozitivní, zatímco na gramnegativní *Escherichia coli* nepůsobí. Nátěrové filmy s vyšším obsahem ZnSe a SeO_2 inhibovaly růst obou bakterií a vodivé polymery PANI fosf. a PPy fosf. inhibovaly růst *Escherichia coli*, a to jen při vyšších koncentracích.

Přínosem této diplomové práce bylo rozšíření poznatků o antimikrobiálních nátěrech s použitím aditiv jako je selen a vodivé polymery. Dalším krokem pro budoucí výzkum by mohlo být rozšíření spektra mikroorganismů, na kterých by byla testována antimikrobiální účinnost nátěrových hmot s obsahem právě těchto nanočástic. Předmětem dalšího výzkumu by mohla být zejména optimalizace a formulace nátěrových hmot s obsahem dalších plniv a aditiv.

Vlastnosti používaných nanočástic ZnSe a SeO_2 byly v této diplomové práci testovány poprvé. Dalším krokem výzkumu by mohlo být rozšíření informací ohledně vlastností těchto nanočástic, a to jak fyzikálně – mechanických, antikoročních, tak antimikrobiálních, zejména na jiných bakteriálních kmenech, popřípadě plísňích a následně také studium vlastností daných nanočástic v kombinaci s jiným druhem vodouředitelného pojiva.

7 ZÁVĚR

Předmětem této diplomové práce byla příprava nátěrových hmot a následné studium jejich antimikrobiálních účinků vůči bakteriálním kmenům *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*. Připraveny byly akrylátové latexy na bázi methylmetakrylátu a butylakrylátu s dispergovány nanočásticemi ZnO, La₂O₃, ZnSe, SeO₂ a pigmenty vodivých polymerů PANI fosf. a PPy fosf. při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %. Tyto nátěrové filmy byly dále testovány na jejich fyzikálně – mechanické vlastnosti na skleněných a ocelových panelech, byly podrobeny zrychleným cyklickým korozním zkouškám a nepřímým korozním zkouškám.

Z fyzikálně – mechanických vlastností na skleněných panelech bylo patrné, že všechny nátěrové filmy byly velmi lesklé, přičemž nejvíce lesklé byly vzorky bez obsahu nanočástic/pigmentů. Fyzikálně – mechanické testy na ocelových panelech prokázaly, že všechny studované latexové nátěrové filmy byly velmi flexibilní, jelikož odolaly ohybu přes 4 mm trn, hloubení a pádu závaží bez popraskání nebo poškození povrchu nátěrového filmu. Po zhodnocení všech prováděných korozních zkoušek lze z výsledků konstatovat, že nátěrové filmy obsahující nanočástice ZnSe, SeO₂ a pigmenty PANI fosf. a PPy fosf. vykazovaly při většině korozních testů dobré antikoroziční účinky a jsou tedy schopny účinně inhibovat korozní děje.

Při testování antimikrobiální účinnosti akrylátových nátěrů dle normy ISO 22196: 2011 bylo dospěno k závěru, že nanočástice La₂O₃ jsou schopny účinně inhibovat růst bakterie *Staphylococcus aureus*, která je grampozitivní, zatímco na gramnegativní *Escherichia coli* nijak nepůsobí. Právě rozdíl ve složení jejich buněčné stěny má za důsledek rozdílné působení nanočástic La₂O₃. Nátěrové hmoty s vyšším obsahem ZnSe a SeO₂ působily inhibičně vůči růstu obou používaných bakterií a vodivé polymery PANI fosf. a PPy fosf. byly účinné pouze při vysokých koncentracích, a to vůči růstu *Escherichia coli*.

Ze všech získaných výsledků je patrná korelace mezi antimikrobiálními účinky a korozními zkouškami u nátěrových filmů s nanočásticemi ZnSe a SeO₂. U těchto vzorků docházelo k inhibici růstu bakterií *S. aureus* a *E.coli*, ale také měly velmi dobré vlastnosti jak při fyzikálně – mechanických testech, tak i při korozních zkouškách, kdy vykazovaly dobré antikoroziční účinky.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ALLOCATI, N., M. MASULLI, M. ALEXEYEV a C. DI ILIO. Escherichia coli in Europe: An Overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2013. **10**(12), 6235-6254. ISSN 1660-4601.
- and Engineering. *Green Chemistry*. Elsevier, 2018, 513-553. ISSN 1463-9262.
- [2] ANWAR, M.A., K. ASHFAQ, A.I. AQIB a S. AZIZ. Trends in Frequency, Potential Risks and Antibioqram of E. coli Isolated from Semi-Intensive Dairy Systems. *Pakistan Veterinary Journal*, 2022. **42**(2), 162-172. ISSN 2074-7764.
- [3] ARGUDÍN, M.Á., María Carmen MENDOZA a María Rosario RODICIO. Food Poisoning and Staphylococcus aureus Enterotoxins. *Toxins*, 2010. **2**(7), 1751-1773. ISSN 2072-6651.
- [4] ARCHER, N.K., M.J. MAZAITIS, J.W. COSTERTON, J.G. LEID, M.E. POWERS a M.E. SHIRTLIFF. Staphylococcus aureus biofilms. *Virulence*, 2014. **2**(5), 445-459. ISSN 2150-5594.
- [5] ATANASOVA, K. R. *Interactions between porcine respiratory coronavirus and bacterial cell wall toxins in the lungs of pigs* [online]. In: University of Florida, 2010. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/294263540_Interactions_between_porcine_respiratory_coronavirus_and_bacterial_cell_wall_toxins_in_the_lungs_of_pigs
- [6] ATHAWALE, V.D. a R.V. NIMBALKAR. Waterborne Coatings Based on Renewable Oil Resources: an Overview. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2011. ISSN 1558-9331.
- [7] BALLMER, K., B.M. KORCZAK, P. KUHNERT, P. SLICKERS, R. EHRLICH a H. HÄCHLER. Fast DNA Serotyping of Escherichia coli by Use of an Oligonucleotide Microarray. *Journal of Clinical Microbiology*, 2007. **45**(2), 370-379. ISSN 0095-1137.
- [8] BALUSAMY, B., Y.G. KANDHASAMY, A. SENTHAMIZHAN, G. CHANDRASEKARAN, M.S. SUBRAMANIAN a T.S. KUMARAVEL. Characterization and bacterial toxicity of lanthanum oxide bulk and nanoparticles. *Journal of Rare Earths*, 2012. **30**(12), 1298-1302. ISSN 1002-0721.
- [9] BÄUMLER, W., D. ECKL, T. HOLZMANN a W. SCHNEIDER-BRACHERT. Antimicrobial coatings for environmental surfaces in hospitals: a potential new pillar for prevention strategies in hygiene. *Critical Reviews in Microbiology*, 2022. **48**(5), 531-564. ISSN 1040-841X.
- [10] BEENA, V., S. AJITHA a S.L. RAYAR. Enhanced Photocatalytic and Antibacterial Activities of ZnSe Nanoparticles. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 2021. **31**, 4390-4401. ISSN 1574-1451.
- [11] BIEN, J., O. SOKOLOVA a P. BOZKO. Characterization of Virulence Factors of Staphylococcus aureus: Novel Function of Known Virulence Factors That Are Implicated

- in Activation of Airway Epithelial Proinflammatory Response. *Journal of pathogens*, 2021. vol. **2011**, 1-13. ISSN 2090-3065.
- [12] BIRKETT, M., L. DOVER, C.C LUKOSE, A.W. ZIA, M.M. TAMB UWALA a Á. SERRANO-AROCA. Recent Advances in Metal-Based Antimicrobial Coatings for High-Touch Surfaces. *Int. J. Mol. Sci*, 2022. **23**(3). ISSN 1422-0067.
- [13] BISHT, N., P. PHALSWAL a P.K. KHANNA. Selenium nanoparticles: a review on synthesis and biomedical applications. *Materials Advances*, 2022. **3**(3), 1415-1431. ISSN 2633-5409.
- [14] BOLES, B.R. a A.R. HORSWILL. Staphylococcal biofilm disassembly. *Trends in Microbiology*, 2011. **19**(9), 449-455. ISSN 0966842X.
- [15] BOUCHER, H. W. a G. R. COREY. Epidemiology of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. *Clinical Infectious Diseases*, 2008. **46**(5), 344–349. ISSN 1537-6591.
- [16] REYGAERT C.W. An overview of the antimicrobial resistance mechanisms of bacteria. *AIMS Microbiology*, 2018. **4**(3), 482-501. ISSN 2471-1888.
- [17] CROUZET, M., C LE SENECHAL a V.S. BRÖZEL a kol.. Exploring early steps in biofilm formation: set-up of an experimental system for molecular studies. *BMC Microbiol*, 2014. **14**, 253. ISSN 1471-2180.
- [18] CSERI, L., M. RAZALI, P. POGANY a kol. Organic Solvents in Sustainable Synthesis
- [19] DEPLACE, F., C. CARELLI, A. LANGENFELD, M. A. RABJOHNS, A. B. FOSTER, P. A. LOVELL a C. CRETON. *Controlled Sparse and Percolating Cross-Linking in Waterborne Soft Adhesives*, 2009. **1**(9), 2021-2029. ISSN 1944-8244.
- [20] DIVYAKOLU, S., R. CHIKKALA, K.S. RATNAKAR a V. SRITHARAN. Hemolysins of *Staphylococcus aureus*—An Update on Their Biology, Role in Pathogenesis and as Targets for Anti-Virulence Therapy. *Advances in Infectious Diseases*, 2019. **09**(02), 80-104. ISSN 2164-2648.
- [21] DRLICA, K., D. S. PERLIN. *Antibiotic Resistance. Understanding and Responding to an Emerging Crisis*. New Jersey: FT Press, 2011, s. 287. ISBN 978-0-13-138773-7.
- [22] EBY, D. M., H. R. LUCKARIFT a G.R. JOHNSON. *Hybrid Antimicrobial Enzyme and Silver Nanoparticle Coatings for Medical Instruments*, 2009. **1**(7), 1553-1560. ISSN 1944-8244.
- [23] FALAK, S., B.K. SHIN a D.S. HUH. Antibacterial Activity of Polyaniline Coated in the Patterned Film Depending on the Surface Morphology and Acidic Dopant. *Nanomaterials*, 2022. **12**(7). ISSN 2079-4991.
- [24] FILIPOVIĆ, N., D. UŠJAK, M.T. MILENKOVIĆ, K. ZHENG, L. LIVERANI, A. R. BOCCACCINI a M. M. STEVANOVIĆ. Comparative Study of the Antimicrobial Activity of Selenium Nanoparticles With Different Surface Chemistry and Structure. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2020. **8**. ISSN 2296-4185.

- [25] FUNARI, R. a A.Q. SHEN. Detection and Characterization of Bacterial Biofilms and Biofilm-Based Sensors. *ACS Sens*, 2022. 7(2), 347–357. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1021/acssensors.1c02722>
- [26] GÖPFERTO VÁ, D., P. PAZDIORA a J. DÁŇOVÁ. *Epidemiologie: obecná a speciální epidemiologie infekčních nemocí*. 2., přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 2013. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 978-80-246-2223-1.
- [27] GRINBERG, M., T. OREVI, N. KASHTAN a J. GRILLI Bacterial surface colonization, preferential attachment and fitness under periodic stress. *PLOS Computational Biology*, 2019. 15(3). ISSN 1553-7358.
- [28] HAJIPOUR, M.J., K.M. FROMM, A. AKBAR ASHKARRAN, a kol. Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 2012. 30(10), 499-511. ISSN 01677799.
- [29] HOWDEN, B.P., S.G. GIULIERI, T. WONG FOK LUNG, a kol. Staphylococcus aureus host interactions and adaptation. *Nature Reviews Microbiology*, 2023. ISSN 1740-1526.
- [30] HUANG, K.C., R. MUKHOPADHYAY, B. WEN, Z. GITAI a N.S. WINGREEN. Cell shape and cell-wall organization in Gram-negative bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008. 105(49), 19282-19287. ISSN 0027-8424.
- [31] CHAMBERS, H. The Changing Epidemiology of Staphylococcus aureus?. *Emerging Infectious Diseases*, 2001. 7(2), 178-182. ISSN 1080-6040.
- [32] CHEN, J., E.S. GARCIA a S.C. ZIMMERMAN. Intramolecularly Cross-Linked Polymers: From Structure to Function with Applications as Artificial Antibodies and Artificial Enzymes. *Accounts of Chemical Research*, 2020. 53(6), 1244-1256. ISSN 0001-4842.
- [33] CHOI, J.H., H.S. SEO, S.Y. LIM a K. PARK. Cutaneous Immune Defenses Against Staphylococcus aureus Infections. *Journal of Lifestyle Medicine*, 2014. 4(1), 39-46. ISSN 2234-8549.
- [34] IBBERSON, C.B., C.L. JONES, S. SINGH, M.C. WISE, M.E. HART, D.V. ZURAWSKI, A.R. HORSWILL a A. CAMILLI. Staphylococcus aureus Hyaluronidase Is a CodY-Regulated Virulence Factor. *Infection and Immunity*, 2014. 82(10), 4253-4264. ISSN 0019-9567.
- [35] IQBAL, S. a S. AHMAD. Recent development in hybrid conducting polymers: Synthesis, applications and future prospects. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2018. 60, 53-84. ISSN 1226086X.
- [36] ISMAIL, S., S. PERNI, J. PRATTEN, I. PARKIN a M.I WILSON. *Efficacy of a Novel Light-Activated Antimicrobial Coating for Disinfecting Hospital Surfaces*, 2011. 32(11), 1130-1132. ISSN 0899-823X.
- [37] JANN, K. a B. JANN. Polysaccharide Antigens of Escherichia coli. *Clinical Infectious Diseases*, 1987. 9(5), 517-526. ISSN 1537-6591.

- [38] JARUŠEK, J.. *Technologie nátěrových hmot*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1987.
- [39] JIETAO, H., L. JING, Z. YAYU, L. ZEKAI a Q. ZHIWEI a kol. A new anti-biofilm strategy of enabling arbitrary surfaces of materials and devices with robust bacterial anti-adhesion via a spraying modified microsphere method. *Journal of Materials Chemistry A*, 2019. ISSN 2050-7488.
- [40] JUMAAH, N., S.R. JOSHI a D. SANDAI. Prevalence of Bacterial Contamination when using a Diversion Pouch during Blood Collection: A Single Center Study in Malaysia. *The Malaysian journal of medical sciences*, 2014. **21**(3), 47–53. ISSN 13943065.
- [41] KNETSCH, M.L. W. a L.H. KOOLE. New Strategies in the Development of Antimicrobial Coatings: The Example of Increasing Usage of Silver and Silver Nanoparticles. *Polymers*, 2011. **3**(1), 340-366. ISSN 2073-4360.
- [42] KOBAYASHI, S.D., N. MALACHOWA a F.R. DELEO. Pathogenesis of Staphylococcus aureus Abscesses. *The American Journal of Pathology*, 2015. **185**(6), 1518-1527. ISSN 00029440.
- [43] KOHL, M., A. KALEDOVÁ a E. SCHMIDOVÁ. Enhancing corrosion resistance of zinc-filled protective coatings using conductive polymers. *Chemical Papers*, 2017. **71**(2), 409-421. ISSN 2585-7290.
- [44] LEBEAU, J., J.P. EFROMSON a M. D. LYNCH. A Review of the Biotechnological Production of Methacrylic Acid. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2020. **8**. ISSN 2296-4185.
- [45] LINAC, E. Paint and Coatings Industry Overview: Chemical Economics Handbook [online]. IHS Markit, 2021. Dostupné z: <https://ihsmarkit.com/products/paint-and-coatings-industry-chemical-economics-handbook.html>
- [46] LIU, B., A. FUREVI, A.V. PEREPELOV, a kol. Structure and genetics of Escherichia coli O antigens. *FEMS Microbiology Reviews*, 2019. **44**(6), 655-683. ISSN 1574-6976.
- [47] 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.
- [48] MACHOTOVÁ, J. A. KALEDOVÁ, M. VOLESKÁ, D. STEINEROVÁ, M. PEJCHALOVÁ, P. KNOTEK a L. ZÁRYBNICKÁ. Waterborne hygienic coatings based on self-crosslinking acrylic latex with embedded inorganic nanoparticles: a comparison of nanostructured ZnO and MgO as antibacterial additives. *Progress in Organic Coatings*, 2020. **147**. ISSN 0300-9440.
- [49] MACHOTOVÁ, J., E. ČERNOŠKOVÁ, J. HONZÍČEK a J. ŠŇUPÁREK. Water sensitivity of fluorine-containing polyacrylate latex coatings: Effects of crosslinking and ambient drying conditions. *Progress in Organic Coatings*, 2018. **120**, 266-273. ISSN 03009440.

- [50] MACHOTOVÁ, J. Zvýšení odolnosti polymerních nátěrů pomocí nano/mikrogelů. 2016. URL: <[https://www. mmspektrum.com/clanek/zvyseni-odolnosti-polymernich-nateru-pomoci-nano-mikrogelu](https://www.mmspektrum.com/clanek/zvyseni-odolnosti-polymernich-nateru-pomoci-nano-mikrogelu)>
- [51] MANNING, S.D. *Escherichia coli infections*. 2. vyd. New York: Chelsea House, 2010, s. 135. ISBN 978-1-60413-253-3.
- [52] MARSTON, H.D., D. M. DIXON, D.M. PALMORE, A.S. FAUCI. Antimicrobial Resistance. *JAMA*, 2016. **316**(11). ISSN 0098-7484.
- [53] 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.
- [54] MARUTHAPANDI, M., A. SARAVANAN, J.H.T. LUONG a A. GEDANKEN. Antimicrobial Properties of Polyaniline and Polypyrrole Decorated with Zinc-Doped Copper Oxide Microparticles. *Polymers*, 2020. **12**(6). ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym12061286
- [55] MAZZEU, M.A.C., L.K. FARIA, A.D.M. CARDOSO, A.M. GAMA, M.R. BALDAN a E.S. GONÇALVES. Structural and Morphological Characteristics of Polyaniline Synthesized in Pilot Scale. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2017. **9**(1), 39-47. ISSN 2175-9146.
- [56] MCADOW, M., D.M. MISSIAKAS a O. SCHNEEWIND. *Staphylococcus aureus* Secretes Coagulase and von Willebrand Factor Binding Protein to Modify the Coagulation Cascade and Establish Host Infections. *Journal of Innate Immunity*, 2012. **4**(2), 141-148. ISSN 1662-811X.
- [57] MONACO, M., F. PIMENTEL DE ARAUJO, M. CRUCIANI, E.M. COCCIA a A. PANTOSTI. Worldwide Epidemiology and Antibiotic Resistance of *Staphylococcus aureus*. *Staphylococcus aureus*. Cham: Springer International Publishing. Current Topics in Microbiology and Immunology, 2017. ISBN 978-3-319-72061-6.
- [58] 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 1385-8947.
- [59] MOSIO, P.. *Atlas bakterií*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2012. ISBN 978-80-7395-467-3.
- [60] MUSTAFA, H.S.I.. *Staphylococcus aureus* Can Produce Catalase Enzyme When Adding to Human WBCs as a Source of H₂O₂ Productions in Human Plasma or Serum in the Laboratory. *Open Journal of Medical Microbiology*, 2014. **04**(04), 249-251. ISSN 2165-3372.
- [61] NADAR, S., T. KHAN, S.G. PATCHING a A. OMRI. Development of Antibiofilm Therapeutics Strategies to Overcome Antimicrobial Drug Resistance. *Microorganisms*, 2022. **10**(2). ISSN 2076-2607.

- [62] ORTEGA, E., H. ABRIOUEL, R. LUCAS a A. GÁLVEZ. Multiple Roles of *Staphylococcus aureus* Enterotoxins: Pathogenicity, Superantigenic Activity, and Correlation to Antibiotic Resistance. *Toxins*, 2010. **2**(8), 2117-2131. ISSN 2072-6651.
- [63] PARSIMEHR, H. a S. PAZOKIFARD. Ambient temperature cross-linkable acrylic latexes: effect of cross-link density, glass transition temperature and application temperature difference on mechanical properties. *Polymer Bulletin*, 2022. **79**(3), 1347-1366. ISSN 0170-0839.
- [64] PIETROCOLA, G., D. CAMPOCCIA, C. MOTTA, L. MONTANARO, C.R. ARCIOLA a P. SPEZIALE. Colonization and Infection of Indwelling Medical Devices by *Staphylococcus aureus* with an Emphasis on Orthopedic Implants. *International journal of molecular sciences*, 2022. **23**(11). ISSN 1422-0067.
- [65] POIREL, L., J-Y. MADEC, A. LUPO, A-K. SCHINK, N. KIEFFER, P. NORDMANN a S. SCHWARZ. Antimicrobial Resistance in *Escherichia coli*. *Microbiology Spectrum*, 2018. **6**(4). Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.ARBA-0026-2017>
- [66] QIU, H., Z. SI, Y. LUO, a kol. The Mechanisms and the Applications of Antibacterial Polymers in Surface Modification on Medical Devices. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2020. **8**. ISSN 2296-4185.
- [67] RAMESAN, M.T. a K. SUHAILATH, 2017. Role of nanoparticles on polymer composites. *Micro and Nano Fibrillar Composites (MFCs and NFCs) from Polymer Blends*. Elsevier, 2017, 301-326. ISBN 9780081019917.
- [68] SBARDELLA, F., L. PRONTI, M. SANTARELLI, J. ASUA GONZÀLEZ a M. BRACCIALE. Waterborne Acrylate-Based Hybrid Coatings with Enhanced Resistance Properties on Stone Surfaces. *Coatings*, 2018. **8**(8). ISSN 2079-6412.
- [69] SHAIKH, S., N. NAZAM, S.M.D. RIZVI, K. AHMAD, M.H. BAIG, E.J. LEE a I. CHOI. Mechanistic Insights into the Antimicrobial Actions of Metallic Nanoparticles and Their Implications for Multidrug Resistance. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019. **20**(10). ISSN 1422-0067.
- [70] SHARMA, G., S. SHARMA, P. SHARMA, D. CHANDOLA, S. DANG, S. GUPTA a R. GABRANI. *Escherichia coli* biofilm: development and therapeutic strategies. *Journal of Applied Microbiology*, 2016. **121**(2), 309-319. ISSN 13645072.
- [71] SILHAVY, T. J., D. KAHNE a S. WALKER. The Bacterial Cell Envelope. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2010. **2**(5), 414-414. ISSN 1943-0264.
- [72] SILVERSIDES, J.A., E. LAPPIN a A. J. FERGUSON. Staphylococcal Toxic Shock Syndrome: Mechanisms and Management. *Current Infectious Disease Reports*, 2010. **12**(5), 392-400. ISSN 1523-3847.
- [73] SINGHA, P., J. LOCKLIN a H. HANDA. A review of the recent advances in antimicrobial coatings for urinary catheters. *Acta Biomaterialia*, 2017. **50**, 20-40. ISSN 17427061.

- [74] SNIGDHA, S., S. THOMAS, E. K. RADHAKRISHNAN, N. KALARIKKAL. *Engineered Antimicrobial Surfaces*. Singapore: Springer, 2020, s. 170. ISBN 978-981-15-4630-3.
- [75] STENUTZ, R., A. WEINTRAUB a G. WIDMALM. The structures of Escherichia coli O-polysaccharide antigens. *FEMS Microbiology Reviews*, 2006. **30**(3). ISSN 1574-6976.
- [76] 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.
- [77] SWARTJES, J.J.T.M., P.K. SHARMA, T.G. KOOTEN, H.C. MEI, M. MAHMOUDI, H.J. BUSSCHER a E.T.J. ROCHFORD. Current Developments in Antimicrobial Surface Coatings for Biomedical Applications. *Current Medicinal Chemistry*, 2015. **22**(18). ISSN 1875-533X.
- [78] ŠŇUPÁREK, J., L. FORMÁNEK. *Vodné disperze syntetických polymerů*. 1. vyd. Praha: SNTL–Nakladatelství technické literatury, 1979, s. 334.
- [79] ŠTÁSTKOVÁ, Z., R. KARPÍŠKOVÁ a I. BORKOVCOVÁ. Možnosti detekce stafylokokových enterotoxinů. *Chemické listy*, 2012. 8(106), 745-749. ISSN 1213-7103.
- [80] TANKESHWAR, A.. Mannitol Salt Agar: Principle, Uses, and Results. In: *Microbe online* [online] , 2022. [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: https://microbeonline.com/mannitol-salt-agar-msa-composition-uses-and-colony-characteristics/?utm_content=cmp-true
- [81] TAYLOR, T.A. a C.G. UNAKAL. Staphylococcus Aureus. *StatPearls*, 2022. ISSN 1803-179X.
- [82] TIWARI, A. a A. CHATURVEDI. Antimicrobial Coatings—Technology Advancement or Scientific Myth. In: *Antimicrobial Coatings*, 2018. s. 1-5. ISBN 978-0-12-811982-2.
- [83] TKADLEC, J., V. CAPEK, M. BRAJEROVA, a kol. The molecular epidemiology of methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) in the Czech Republic. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 2021. **76**(1), 55-64. ISSN 0305-7453.
- [84] TONG, S.Y. C., J.S. DAVIS, E. EICHENBERGER, V.G. FOWLER JR a T.L. HOLLAND. Staphylococcus aureus Infections: Epidemiology, Pathophysiology, Clinical Manifestations, and Management. *Clinical Microbiology Reviews*, 2015. **28**(3). Dostupné z: doi: doi.org/10.1128/CMR.00134-14
- [85] TRAN, P.A a T.J WEBSTER. Antimicrobial selenium nanoparticle coatings on polymeric medical devices. *Nanotechnology*, 2013. **24**(15). ISSN 0957-4484.
- [86] TRAN, P.A, N.O. SIMPSON, E.C. REYNOLDS, N. PANTARAT, D.P. BISWAS a A.J. O'CONNOR. Low cytotoxic trace element selenium nanoparticles and their differential antimicrobial properties against *S. aureus* and *E. coli*. *Nanotechnology*, 2016. **27**(4). ISSN 0957-4484.
- [87] TYLŠOVÁ, P. a Š. BURSOVÁ. *Mikrobiologický atlas ukázky růstu vybraných původců alimentárních onemocnění* [online], 2014. In: Brno, Fakulta

veterinární hygieny a ekologie [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: https://www.vfu.cz/files/2340_60_tylsova_atlas_mb_elektronicky.pdf

- [88] VAN HERK, A. a H. HEUTS. Emulsion Polymerization. In: *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 2009. ISBN 978-1118633892.
- [89] VANDENESCH, F., G. LINA a T. HENRY. Staphylococcus aureus Hemolysins, bi-component Leukocidins, and Cytolytic Peptides: A Redundant Arsenal of Membrane-Damaging Virulence Factors?. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2012. **2**. ISSN 2235-2988.
- [90] VETSBY, L. K., T. GRØNSETH, R. SIMM a L.L. NESSE. Bacterial Biofilm and its Role in the Pathogenesis of Disease. *Antibiotics (Basel)*, 2020. **9**(2). ISSN 2079-6382.
- [91] VON BAUM, H. a R. MARRE. Antimicrobial resistance of Escherichia coli and therapeutic implications. *International Journal of Medical Microbiology*, 2005. **295**(6-7), 503-511. ISSN 1438-4221.
- [92] WANG, L., D. ROTHEMUND, H. CURD a P.R. REEVES. Species-Wide Variation in the Escherichia coli Flagellin (H-Antigen) Gene. *Journal of Bacteriology*, 2003. **185**(9), 2936-2943. ISSN 0021-9193.
- [93] WANG, LL, C HU a LQ SHAO. The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. *International Journal of Nanomedicine*, 2017. **12**, 1227—1249. ISSN 1178-2013.
- [94] WANG, M., G. BUIST a J.M. VAN DIJL. Staphylococcus aureus cell wall maintenance – the multifaceted roles of peptidoglycan hydrolases in bacterial growth, fitness, and virulence. *FEMS Microbiology Reviews*, 2022. **46**(5). ISSN 1574-6976.
- [95] WHITFIELD, C. Biosynthesis and Assembly of Capsular Polysaccharides in Escherichia coli. *Annual Review of Biochemistry*, 2006. **75**(1), 39-68. ISSN 0066-4154.
- [96] WINNIK, M.A. *Latex film formation, 1997*. **2**(2), 192-199. ISSN 13590294.
- [97] XU, X., J. LIN a P. CEN. Advances in the Research and Development of Acrylic Acid Production from Biomass. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2006. **14**(4), 419-427. ISSN 10049541.
- [98] YUSSUF, A., M. AL-SALEH, S. AL-ENEZI a G. ABRAHAM. Synthesis and Characterization of Conductive Polypyrrole: The Influence of the Oxidants and Monomer on the Electrical, Thermal, and Morphological Properties. *International Journal of Polymer Science*, 2018. ISSN 1687-9422.
- [99] ZHANG, Z. a V.E. WAGNER. *Antimicrobial Coatings and Modifications on Medical Devices*. 1. Springer Cham, 2017. ISBN 978-3-319-57492-9.

9 OBRÁZKOVÁ PŘÍLOHA

Korozní odolnost organických povlaků v atmosféře s povšechnou kondenzací

V následující fotodokumentaci jsou zobrazeny nátěrové filmy L_0 bez obsahu nanočástic/pigmentů a nátěrové filmy s obsahem nanočástic ZnO, La_2O_3 , ZnSe, SeO_2 a pigmenty vodivých polymerů při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 % před vložením do korozní komory, po 724 hodinách expozice v atmosféře s povšechnou kondenzací a po stažení nátěrového filmu. Jednotlivé organické povlaky jsou seřazeny pořadí zleva doprava.

Nátěrové filmy L_0 bez obsahu nanočástic/pigmentů

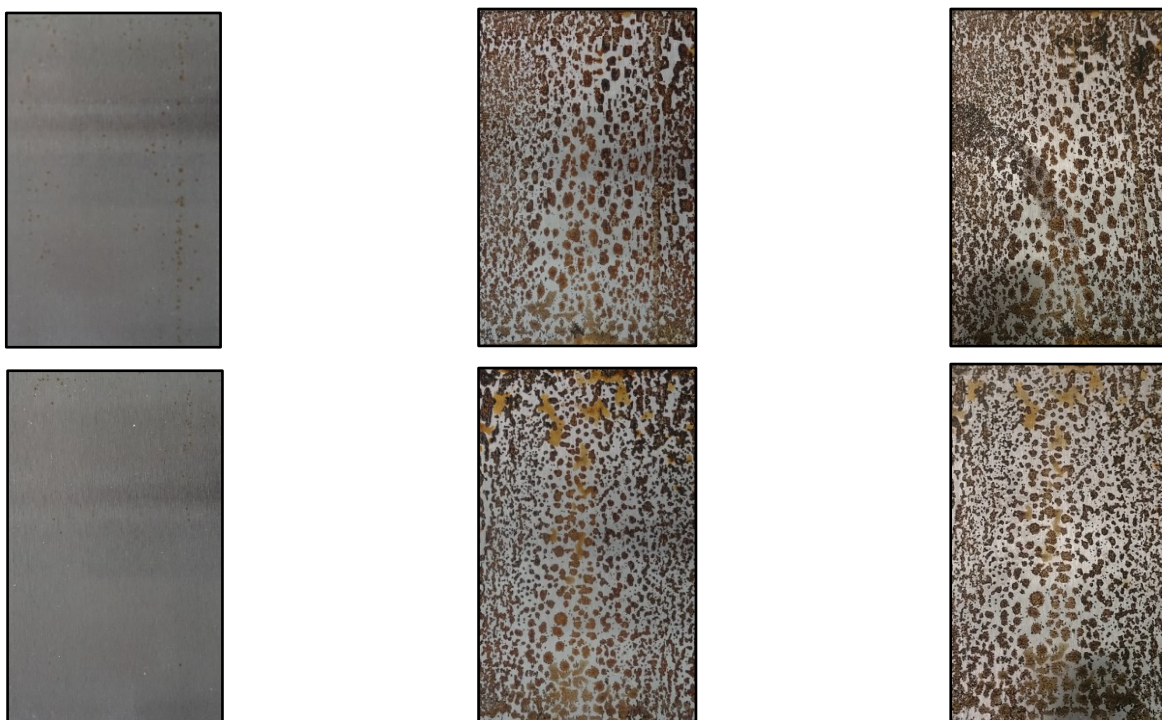


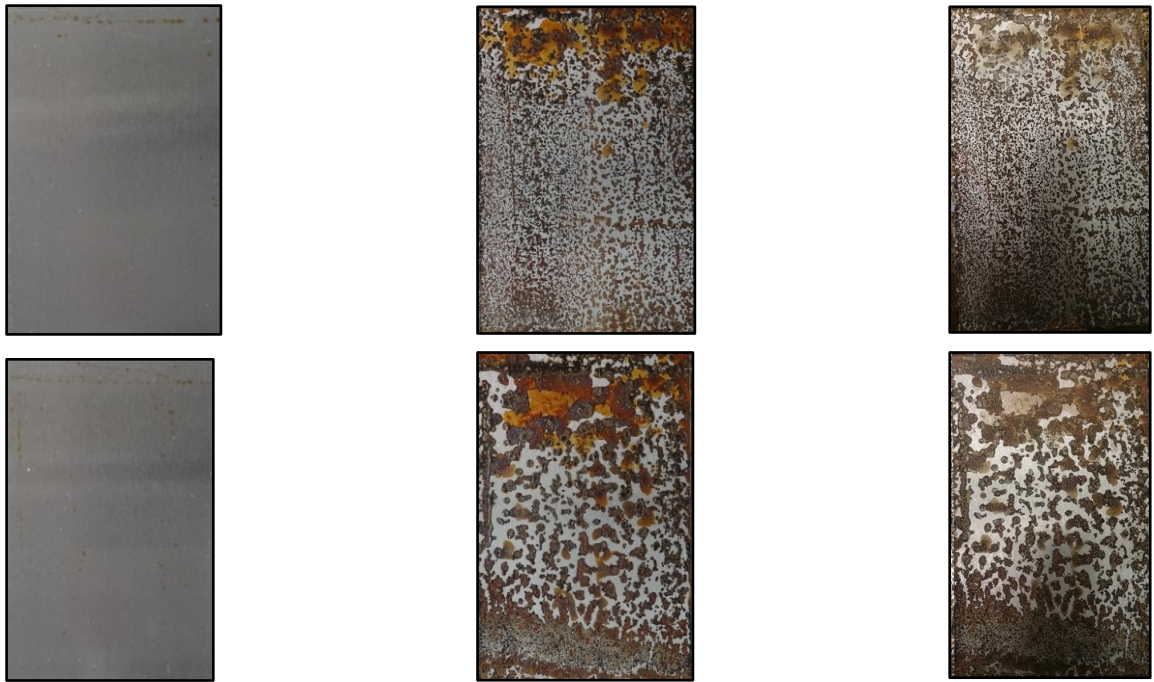
Nátěrové filmy s obsahem nanočástic ZnO při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %



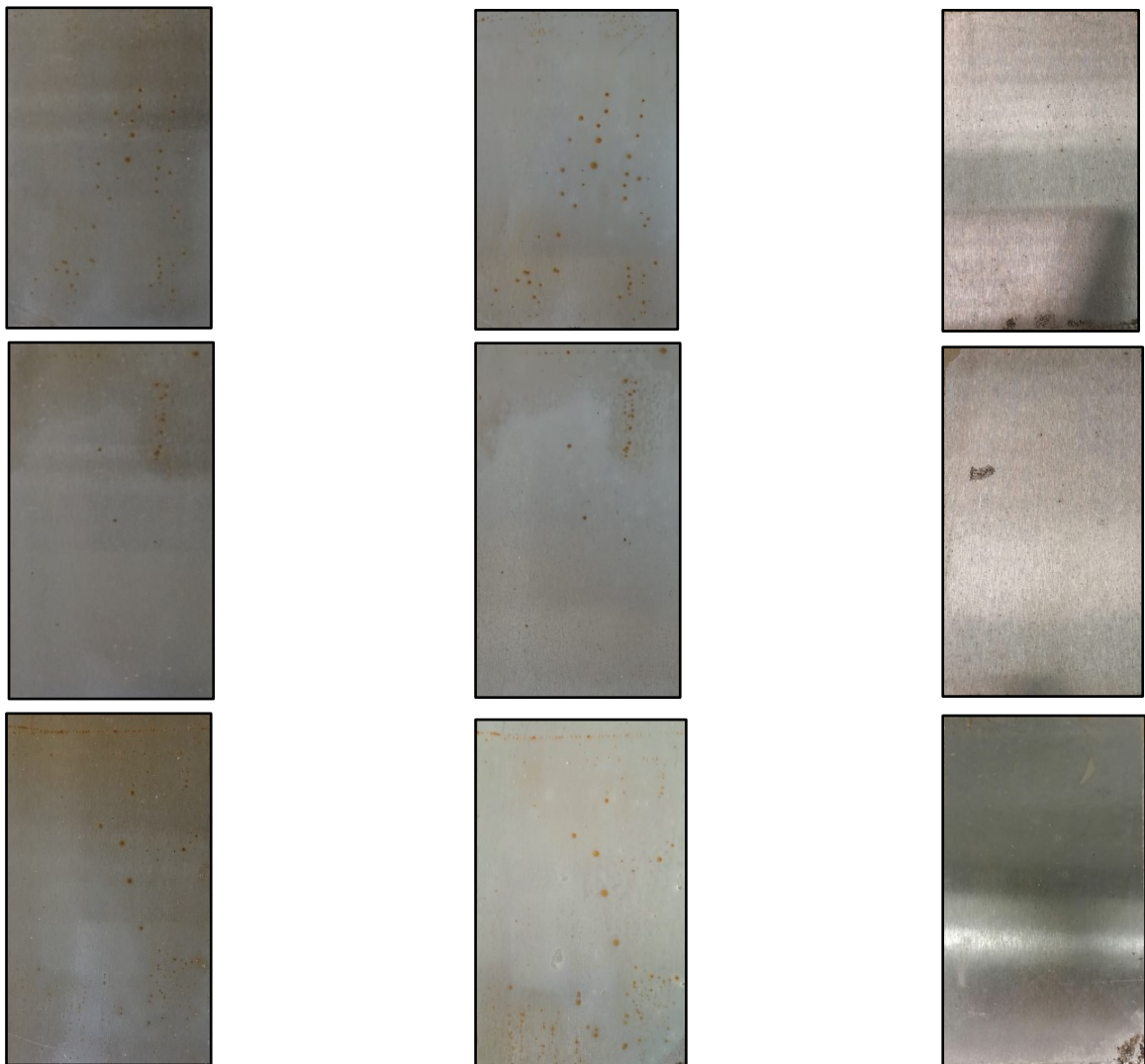


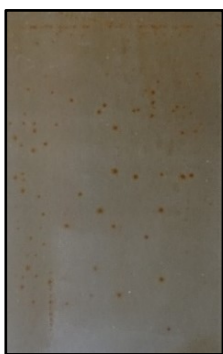
Nátěrové filmy s obsahem nanočástic La_2O_3 při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %



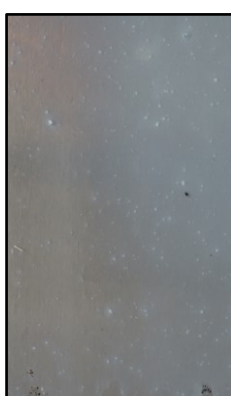
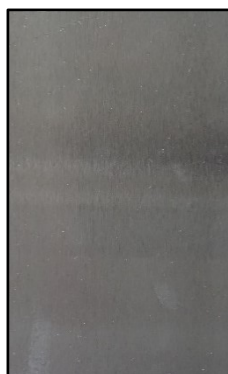
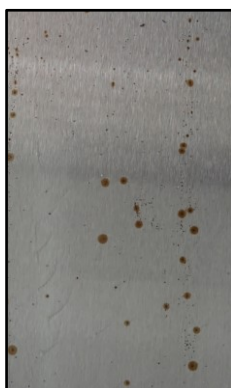


Nátěrové filmy s obsahem nanočástic ZnSe při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %

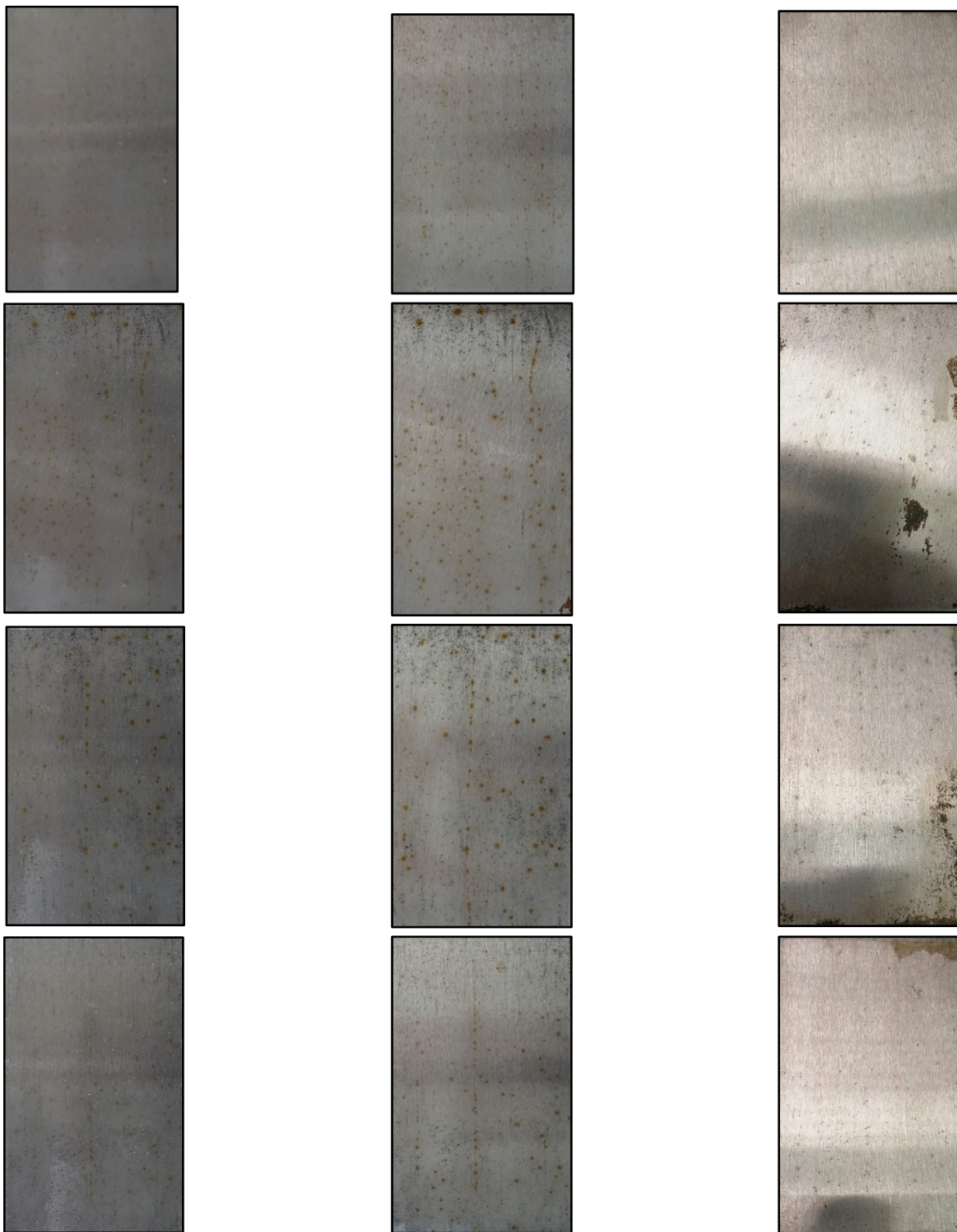




Nátěrové filmy s obsahem nanočástic SeO_2 při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 %



Nátěrové filmy s obsahem pigmentu PANI fosf. při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %



Nátěrové filmy s obsahem pigmentu PPy fosf. při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %



Korozní odolnost organických povlaků v atmosféře s obsahem NaCl/(NH₄)₂SO₄

V následující fotodokumentaci jsou zobrazeny nátěrové filmy L₀ bez obsahu nanočástic/pigmentů a nátěrové filmy s obsahem nanočástic ZnO, La₂O₃, ZnSe, SeO₂ a pigmenty vodivých polymerů při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 % před vložením do korozní komory, po 168 hodinách expozici v atmosféře NaCl/(NH₄)₂SO₄ a po stažení nátěrového filmu. Jednotlivé organické povlaky jsou seřazeny pořadí zleva doprava.

Nátěrové filmy L₀ bez obsahu nanočástic/pigmentů



Nátěrové filmy s obsahem nanočástic ZnO při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %





Nátěrové filmy s obsahem nanočástic La_2O_3 při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %



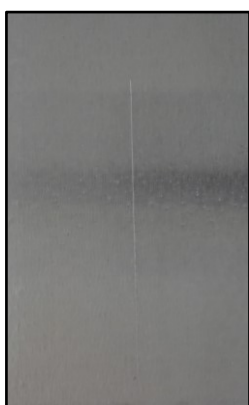
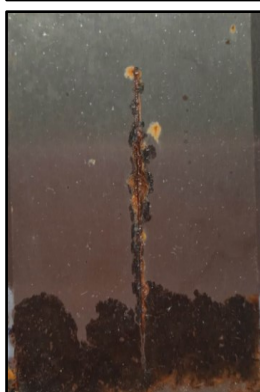
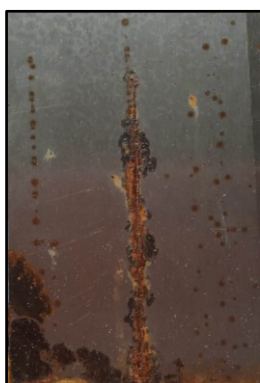
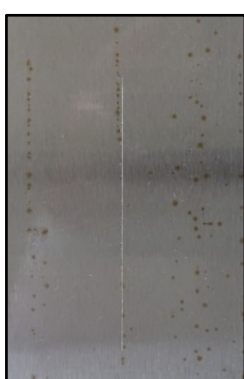


Nátěrové filmy s obsahem nanočástic ZnSe při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %

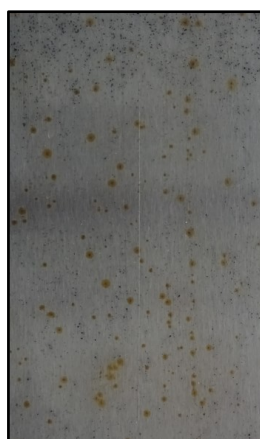
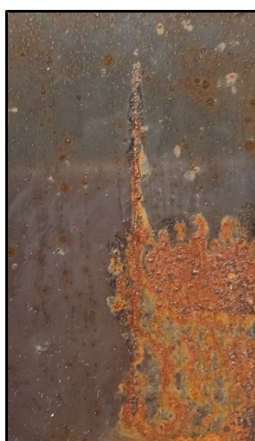
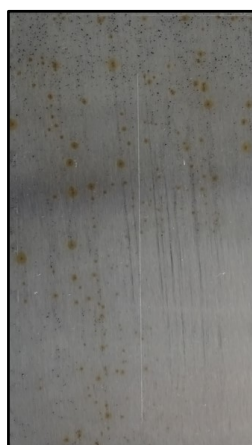
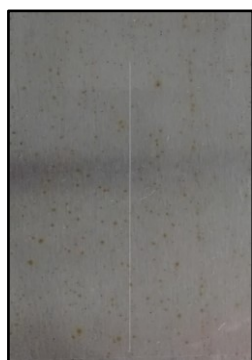




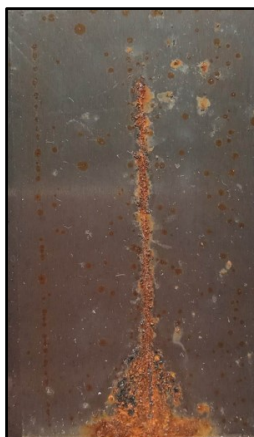
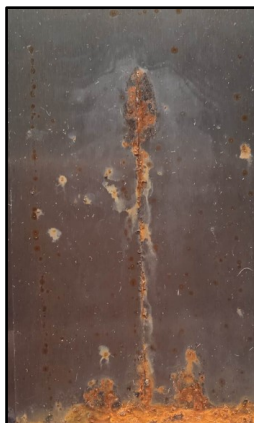
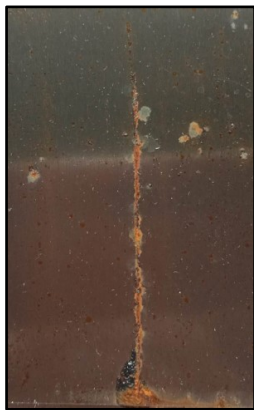
Nátěrové filmy s obsahem nanočástic SeO_2 při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 %



Nátěrové filmy s obsahem pigmentu PANI fosf. při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %



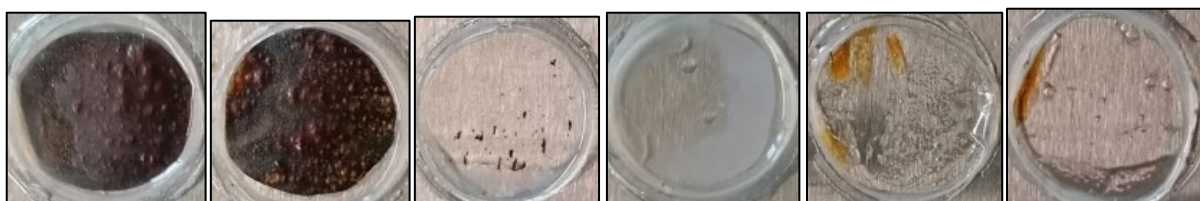
Nátěrové filmy s obsahem pigmentu PPy fosf. při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %



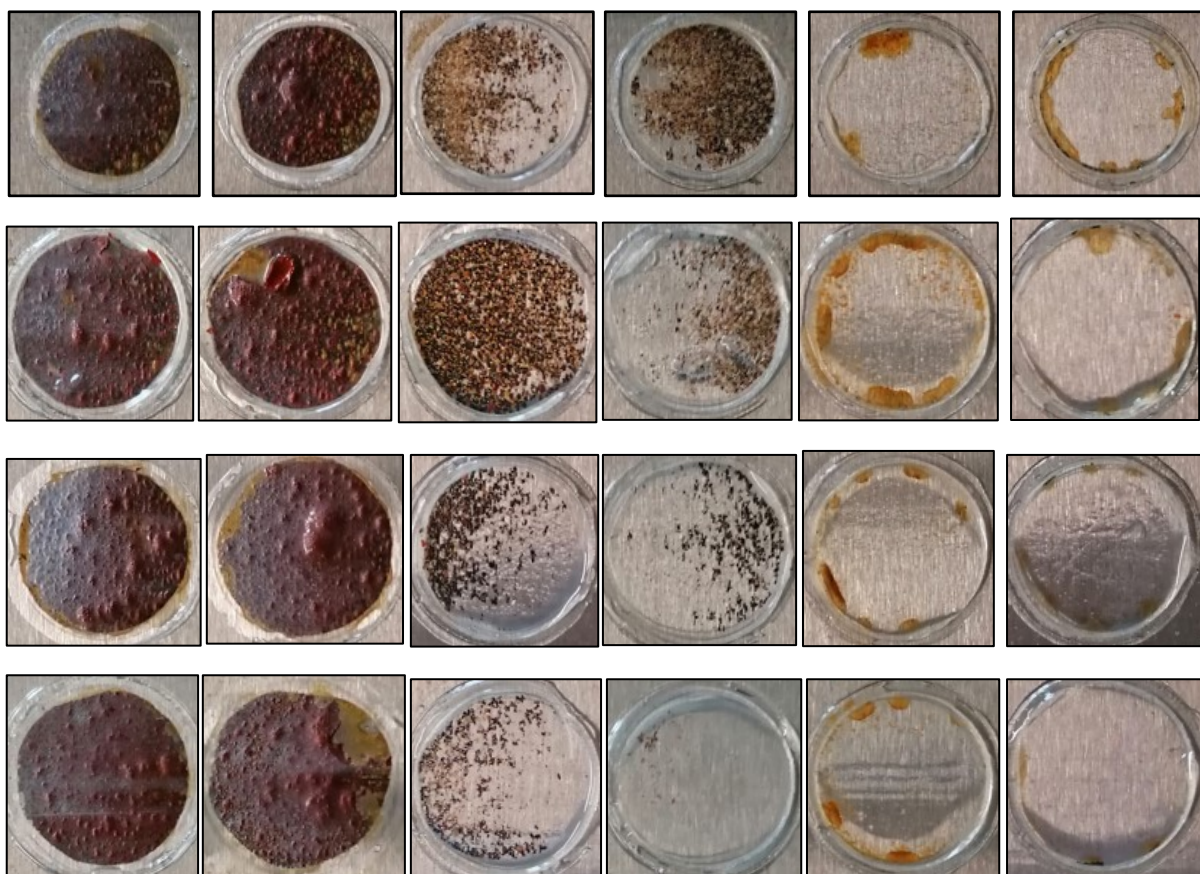
Korozní odolnost organických povlaků vůči vodě v závislosti na pH

V následující fotodokumentaci jsou zobrazeny nátěrové filmy L_0 bez obsahu nanočástic/pigmentů a nátěrové filmy s obsahem nanočástic ZnO, La_2O_3 , ZnSe, SeO_2 a pigmenty vodivých polymerů při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 % po 168hodinové expozici vody v závislosti na pH= 2, 4, 6, 8, 10 a 12. Jednotlivé organické povlaky jsou seřazeny pořadí zleva (pH=2) doprava (pH=12).

Nátěrové filmy L_0 bez obsahu nanočástic/pigmentů



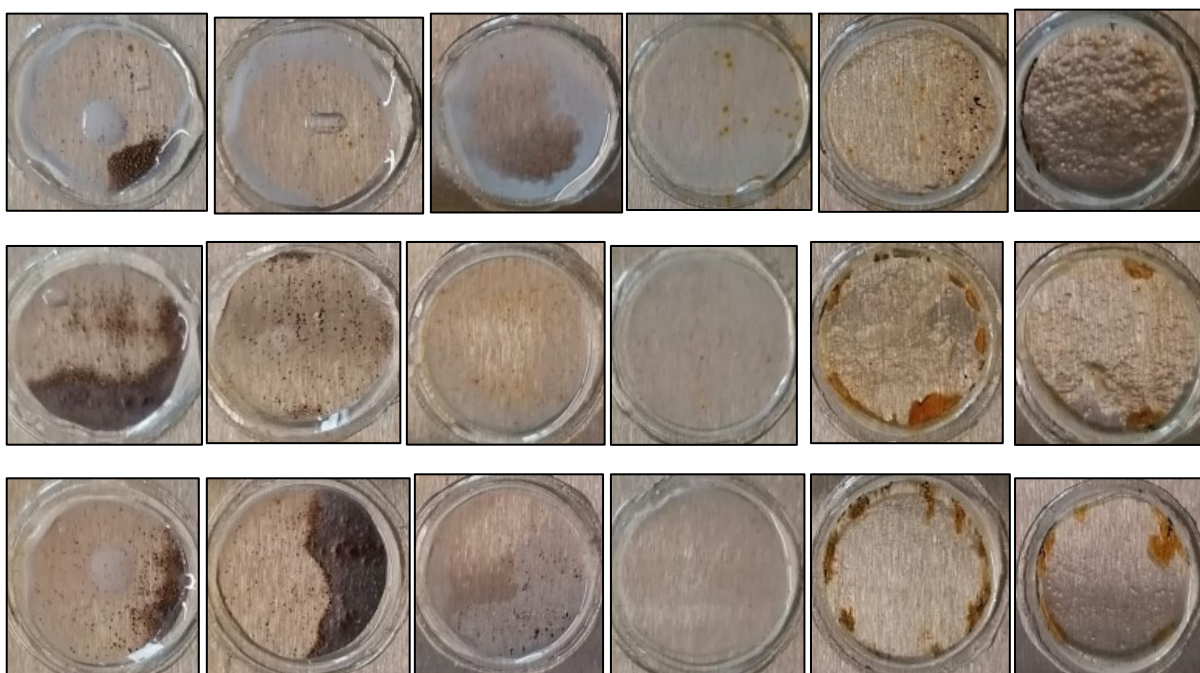
Nátěrové filmy s obsahem nanočástic ZnO při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %

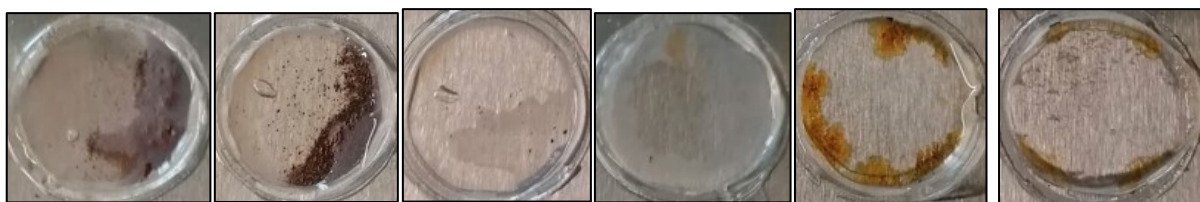


Nátěrové filmy s obsahem nanočástic La_2O_3 při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %

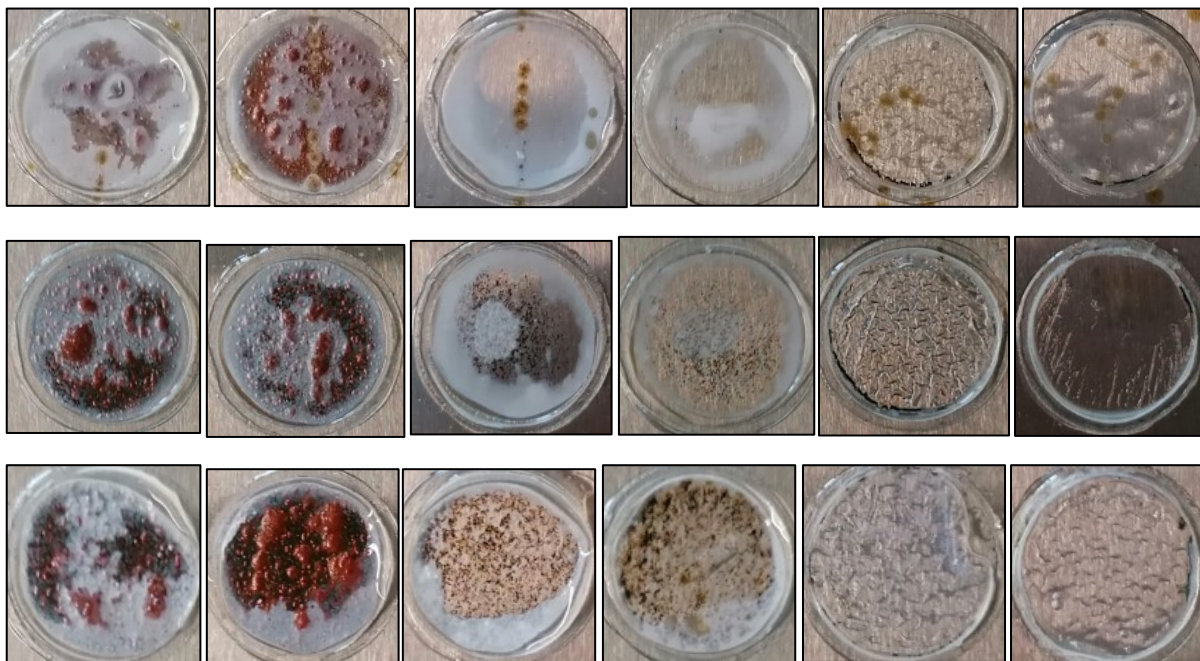


Nátěrové filmy s obsahem nanočástic ZnSe při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %

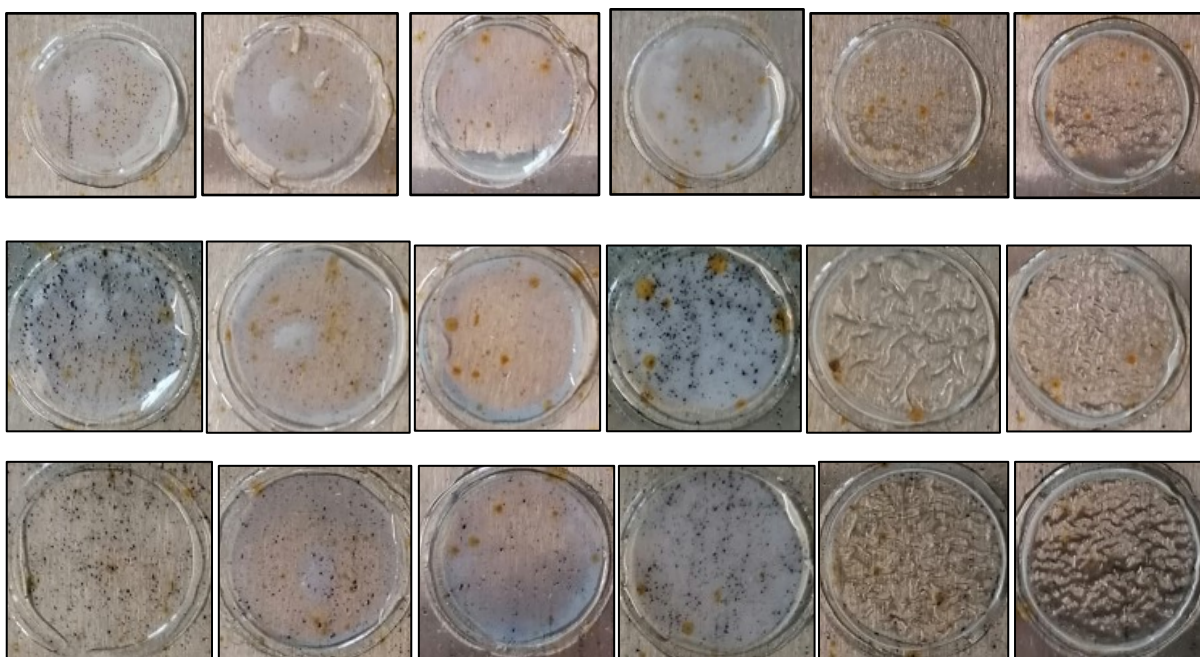


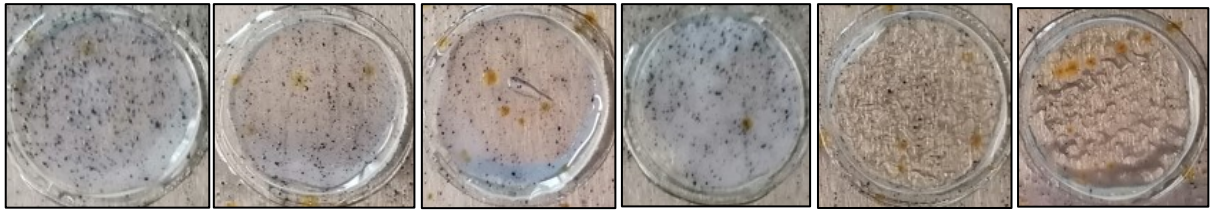


Nátěrové filmy s obsahem nanočástic SeO₂ při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 %



Nátěrové filmy s obsahem pigmentu PANI fosf. při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %





Nátěrové filmy s obsahem pigmentu PPy fosf. při OKP= 0,5 – 1 – 1,5 – 2 %

