

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzikální chemie



Příprava disperzí částic stříbra pro antibakteriální úpravu laků

Bakalářská práce

Autor:	Jana Harabišová
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Robert Prucek, Ph.D.
Studijní program:	B 1407 Chemie
Studijní obor:	Aplikovaná chemie
Forma studia:	Prezenční

Olomouc 2015

PALACKÝ UNIVERSITY IN OLOMOUC

Faculty of Science

Department of Physical Chemistry



Synthesis of silver particle dispersions for antibacterial treatment of varnishes

Bachelor thesis

Author:	Jana Harabišová
Supervisor:	doc. RNDr. Robert Prucek, Ph.D.
Study program:	B 1407 Chemistry
Study branch:	Applied Chemistry
Form of study:	Full-time

Olomouc 2015

Prohlašuji, že jsem tuto práci *Příprava disperzí částic stříbra pro antibakteriální úpravu laků* vypracovala samostatně pod dohledem vedoucího práce doc. RNDr. Robertem Pruckem, Ph.D. a všechny použité zdroje jsem uvedla v seznamu literatury.

Také souhlasím s tím, že je moje práce k dispozici v knihovně Katedry fyzikální chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci dne

.....

Vlastnoruční podpis

Ráda bych poděkovala mému školiteli doc. RNDr. Robertu Pruckovi, Ph.D. za jeho odborné připomínky, profesionální přístup a čas, který mé práci věnoval, panu doc. RNDr. Aleši Panáčkoví, Ph.D. za snímky z elektronového mikroskopu, paní RNDr. Renatě Večeřové, Ph.D. za testování antibakteriální aktivity a mým rodičům, kteří mě při psaní této práce i po celou dobu studia podporovali.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora: Jana Harabišová

Název práce: Příprava disperzí částic stříbra pro antibakteriální úpravu laků

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra fyzikální chemie

Vedoucí práce: doc. RNDr. Robert Pucek, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2016

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá přípravou disperzí částic stříbra pro antibakteriální úpravu laků. Na přípravu koloidních disperzí vzniklých redukcí dusičnanu stříbrného byl použit tetrahydridoboritan sodný jako redukční činidlo a sodná sůl kyseliny polyakrylové o molekulových hmotnostech 1200 a 15 000 jako stabilizátor. Koncentrace stříbra v disperzi byla 5 g/l. Disperze byly přimíchány do UV laku firmy Lott-Lacke, který se používá na úpravu různých typů povrchů. Do laku bylo přidáno takové množství disperze, aby výsledné koncentrace stříbra v laku byly 25 mg/l, 50 mg/l a 100 mg/l. Laky s různými koncentracemi pak byly nanесeny na vzorky nerezového plechu, hliníkového plechu, pozinkovaného plechu a plexiskla o rozměrech 5x5 cm a následně byla testována jejich antibakteriální aktivita proti kmenům bakterií *Escherichia Coli* a *Staphylococcus Aureus*.

Bylo zjištěno, že s rostoucí koncentrací částic stříbra se snižuje počet kolonií bakterií nasazených na vzorky ošetřené lakem. V některých případech klesl počet kolonií

až na nulu. Vzorky po nanesení laku nezměnily vzhled ani barvu, a to ani v případě největší koncentrace částic stříbra v laku, který na pohled vypadá hnědě.

Klíčová slova: disperze, nanočástice stříbra

Počet stran: 39

Jazyk: čeština

Bibliographical identification:

Author's first name and surname: Jana Harabišová

Title: Synthesis of silver particle dispersions for antibacterial treatment of varnishes

Type of thesis: Bachelor

Department: Department of Physical Chemistry

Supervisor: doc. RNDr. Robert Pucek, Ph.D.

The year of presentation: 2016

Abstract: The thesis deals with the synthesis of silver particle dispersions used for antibacterial treatment of varnishes. The colloid dispersions were made through the process of reduction of silver nitrate, with sodium borohydride being the reducing agent and sodium polyacrylate being the stabilizer. Concentration of silver in the dispersion was 5 g/l. The dispersions were added to a UV varnish from the company Lott-Lacke, which is used to treat different types of surfaces. The volume of the dispersion added was according to the final concentrations of silver in the varnish, which were 25 mg/l, 50 mg/l and 100 mg/l. Varnishes with different concentrations were used for coating samples of stainless sheets, aluminum sheets, galvanized sheets and plexiglass with dimensions of 5x5 cm and consequently were tested for their

antibacterial activity against bacterial strains
Escherichia Coli and *Staphylococcus Aureus*.

It has come out that the higher the concentration of silver particles is, the fewer bacterial colonies there are on the varnished samples. In some cases, there were no colonies at all. The samples have not changed their appearance or colour, not even those treated with the varnish with the highest concentration of silver particles, which appears brown.

Key words: dispersions, silver nanoparticles

Number of pages: 39

Language: Czech

OBSAH

1	Úvod	11
2	TEORETICKÁ ČÁST	12
2.1	Disperzní systémy	12
2.1.1	Dělení dle velikosti částic disperzního podílu	12
2.1.2	Dělení dle velikosti a tvaru částic	12
2.2	Kinetické vlastnosti koloidních soustav	13
2.2.1	Difúze	13
2.2.2	Osmotický tlak	14
2.2.3	Sedimentace	14
2.3	Elektrické vlastnosti koloidních systémů	15
2.4	Optické vlastnosti koloidních systémů	16
2.4.1	Absorpce záření	16
2.4.2	Rozptyl záření	18
2.5	Stabilita koloidních systémů	19
2.5.1	Sterická stabilizace a stabilizace elektrickou dvojrstvou	19
2.6	Metody příprav koloidních systémů	20
2.6.1	Kondenzační metody	20
2.6.2	Metoda dispergační	20
2.6.3	Příprava nanočástic	21
2.7	Nanočástice stříbra	21
2.7.1	Příprava nanočástic stříbra	21
2.7.2	Redukce anorganickými a organickými činidly	22
2.7.3	Antibakteriální účinky a využití nanočástic stříbra	22

2.7.4	Ramanova spektroskopie	23
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	24
3.1	Chemikálie a materiály	24
3.2	Přístroje a zařízení	24
3.3	Pracovní postupy.....	24
3.3.1	Disperze částic stříbra.....	24
3.3.2	Proces lakování látek a jejich sušení	25
3.3.3	Testování antibakteriální aktivity povrchů kovů a plastu.....	25
4	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	27
4.1	Srovnání použitých disperzí částic stříbra	27
5	závěr.....	35
6	summary	36
7	LITERATURA	37

1 ÚVOD

V dnešní době má koloidní chemie využití skoro ve všech odvětvích, najdeme ji v chemickém průmyslu, ropném, polygrafickém a textilním průmyslu, v potravinářství, zemědělství, v kosmetice, ve farmaceutickém průmyslu, při výrobě laků, barev, čištění odpadních vod, ochraně životního prostředí apod. Díky svým specifickým vlastnostem, jako jsou konduktivita či katalytická a antibakteriální aktivita, si velkou pozornost získaly nanočástice stříbra.

Již ve starověké Číně lidé používali nanočástice kovů k výrobě barevných inkoustů a ke zdobení keramiky. Za dob starých Římanů byly v medicíně využívány i jejich baktericidní účinky. Základní koloidní nomenklatury byly však položeny teprve v první polovině 19. století vědcem Faradayem, který připravoval koloidní roztoky zlata. Pojem „koloidní systém“ ovšem prvně vyslovil vědec T. Graham a pojmenoval takhle systém s částicemi velikosti 10-1000 nm. Použití stříbra v medicíně poprvé vědecky zaznamenal německý porodník C. S. F. Crede v roce 1884.

Vlastnosti jsou závislé na velikosti, tvaru a stabilitě nanočástic. Nanočástice stříbra se již běžně vyskytují v dezinfekčních sprejích do bot, tvoří součást ledniček a praček a jsou obsaženy i ve funkčním prádle a textiliích, kde zabraňují rozmnožování bakterií a pachu. [1, 2, 3, 4]

Bakalářská práce se věnuje přípravě disperzí částic stříbra pro antibakteriální úpravu laků, které po nanesení na vzorky nerezového plechu, hliníkového plechu, pozinkovaného plechu a plexiskla budou vykazovat antibakteriální aktivitu vůči bakteriím *Escherichia Coli* a *Streptococcus Aureus*. Bude tedy zabráněno rozmnožování bakterií na vzorcích ošetřených lakem. Experimentálně byly připraveny laky s různou koncentrací nanočástic stříbra a po nalakování byly tyto vzorky podrobeny testu antibakteriální aktivity vůči bakteriím *Escherichia Coli* a *Streptococcus Aureus*.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Disperzní systémy

Disperzní systém je takový systém, který se skládá ze dvou základních částí a to z disperzní fáze a disperzního prostředí. Je to soustava, která obsahuje alespoň dva druhy hmoty, přičemž jeden druh je rozptýlen ve druhém ve formě více nebo méně jemných částic. Obsahuje-li disperzní soustava dvě fáze, kde je disperzní podíl oddělen fázovým rozhraním od disperzního prostředí, pak takovou soustavu nazýváme heterogenní. Pokud disperzní podíl i disperzní prostředí tvoří jednu fázi, označujeme tuto soustavu jako homogenní. Disperzní soustavy se dělí dle velikosti disperzních částic, prostředí, podle struktury disperzních částic a podle skupenství disperzních částic a disperzního prostředí. [5, 6]

2.1.1 Dělení dle velikosti částic disperzního podílu

Pokud jsou disperzní částice větší než 10^{-6} m, hovoříme o hrubých disperzích. Takové částice lze vidět pouhým okem nebo v mikroskopu. Jsou-li částice menší než 10^{-6} m, avšak zároveň větší než 10^{-9} m, mluvíme o koloidních částicích, resp. koloidních soustavách. Tyto koloidní částice jsou již natolik malé, že jsou pozorovatelné pouze v ultramikroskopu nebo elektronovém mikroskopu. Pokud jsou disperzní částice menší než 10^{-9} m, mluvíme o pravých roztocích. Pravé roztoky představují homogenní soustavy, naopak koloidní soustavy a hrubé roztoky považujeme za soustavy heterogenní. [5, 6]

Velikost částic disperzních soustav určují jejich možnosti separace. Částice v hrubých disperzích lze odstranit běžnou filtrací, zatímco koloidní částice jsou natolik malé, že běžnými filtračními materiály procházejí, tudíž je nutné použít speciální filtry s velmi jemnými póry, poté hovoříme o ultrafiltraci. [5]

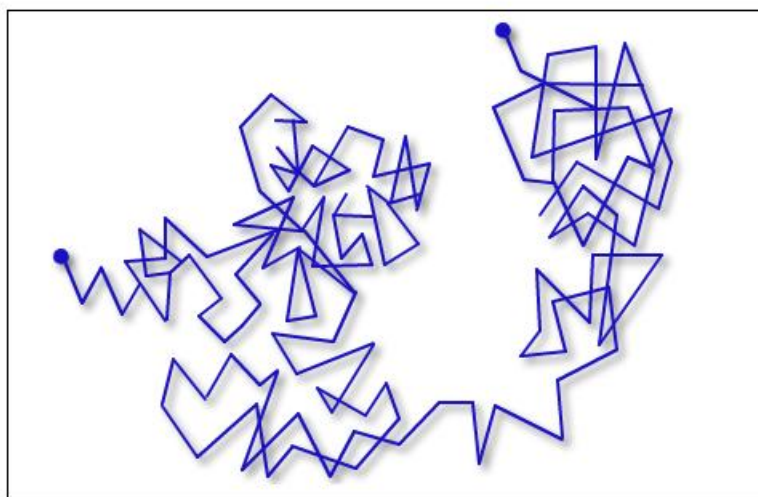
2.1.2 Dělení dle velikosti a tvaru částic

Soustavy nazýváme monodisperzní (uniformní), mají-li všechny částice disperzní fáze stejnou velikost. Naopak soustavy polydisperzní (neuniformní) jsou takové, které obsahují částice mnoha různých tvarů. Pokud soustava obsahuje několik diskrétních velikostních frakcí částic, nazýváme ji paucidisperzní. [5, 6]

Systemy s izometrickými částicemi se nazývají globulárně disperzní. Laminárně disperzní systémy jsou takové, které obsahují anizometrické částice, jejichž jeden rozměr je řádově menší než ostatní. Naopak systémy s anizometrickými částicemi, jejichž jeden rozměr je řádově větší než ostatní se nazývá fibrilárně disperzní. Homodisperzní soustavy obsahují částice stejného tvaru, soustavy s částicemi různých tvarů se nazývají heterodisperzní soustavy. [5, 6]

2.2 Kinetické vlastnosti koloidních soustav

Molekulárně kinetické vlastnosti koloidů jsou spojovány s existencí chaotického pohybu koloidních částic, který je vyvolán náhodnými nárazy molekul disperzního prostředí, mluvíme tedy o spojení s existencí tzv. Brownova pohybu. [6]



Obrázek 1: Brownův pohyb [7]

2.2.1 Difúze

Je samovolné, spontánní pronikání částic jedné látky mezi částice druhé látky vlivem tepelného pohybu. V tomto procesu se částice rozptylují do prostoru. Základem je rozdíl koncentrací v systému a snaha dosáhnout rovnováhy mezi těmito koncentracemi. Tento rozdíl koncentrací můžeme označit jako koncentrační gradient. Difúze je exergonický děj, tudíž nevyžaduje žádnou energii. Čistá difúze se zastaví, když se koncentrace na obou stranách vyrovná, nebo když dojde k rovnoměrnému rozdělení částic. [8, 9]

Z hlediska disperzních soustav platí, že nejrychleji difundují částice v pravých roztocích, pomaleji difundují větší koloidní částice a nejpomaleji difundují velké částice v hrubých disperzích. [9]

2.2.2 Osmotický tlak

Osmotický tlak je tlak toku rozpouštědla, které proniká přes polopropustnou membránu do roztoku o vyšší koncentraci rozpuštěných molekul nebo iontů. Osmotický tlak je závislý na koncentraci roztoku a na teplotě. Rozpouštědlo proniká přes semipermeabilní membránu do míst, kde je koncentrace látek vyšší a ředí je, což způsobí, že v konečném důsledku jsou roztoky na obou stranách membrány stejně koncentrované.

Osmotický tlak je úměrný molární koncentraci částic rozpuštěné látky v roztoku. [10]

$$\pi = c \cdot R \cdot T$$

kde:

π je osmotický tlak [Pa]

R je molární plynová konstanta [$8,314\ 4598\ J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$]

T je teplota [K]

c je molární koncentrace [$mol \cdot m^{-3}$]

Proces osmózy se dá využít například k oddělení koloidů od nízkomolekulárních látek. Mezi separační metody, které jsou na principu osmózy založeny, patří dialýza, elektrodialýza, elektrofiltrace a ultrafiltrace. [6]

2.2.3 Sedimentace

Sedimentace je proces, kdy dochází k usazování částic v plynné nebo kapalné směsi. Je to pohyb částic vyvolaný působením gravitační nebo odstředivé síly, popř. působením elektromagnetu. Pohyb částic v gravitačním poli závisí na jejich hmotnosti, tvaru, hustotě a také na vlastnostech prostředí, ve kterém se částice pohybuje. Poté dochází k rovnovážnému uspořádání částic v nádobě, a to tak, že největší částice jsou koncentrovány u dna a nejmenší částice zůstávají vlivem Brownova pohybu rovnoměrně rozptýleny v celém objemu. K urychlení ustanovení tzv. sedimentační rovnováhy slouží

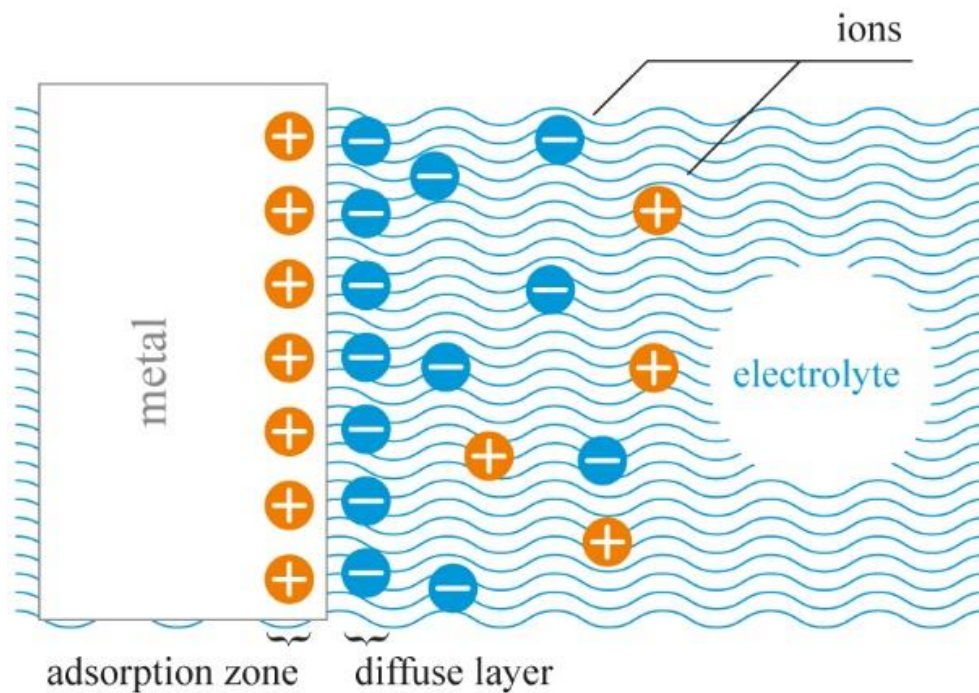
odstředivky či ultracentrifugy, ve kterých je gravitační síla nahrazená několikanásobně vyšší silou odstředivou a díky tomu sedimentují i nejmenší koloidní částice. [1, 6, 11]

2.3 Elektrické vlastnosti koloidních systémů

Na povrchu každé koloidní částice vzniká tzv. elektrická dvojvrstva, která se skládá ze dvou částí, a to části kompaktní a difuzní. Kompaktní část je blíže k povrchu a působí tam absorpční síly, zatímco difuzní část je vzdálenější a můžeme zde tyto absorpční síly zanedbat.

Rozlišujeme zde dva druhy potenciálových rozdílů. Elektrochemický potenciál, kde jeho hodnota je dána celkovým potenciálovým rozdílem mezi povrchem částice a objemem kapaliny, je odpovědný za membránové potenciály a jevy spojené s vedením elektrického proudu. Zato elektrokinetický potenciál, označovaný jako ξ -potenciál či zeta potenciál, udává potenciální rozdíl mezi objemem kapaliny a tenkou vrstvou protiiontů na rozhraní mezi kompaktní a difuzní částí elektrické dvojvrstvy. S elektrokinetickým potenciálem souvisí tzv. elektrokinetické jevy.

Elektrokinetické jevy jsou jevy, kdy se elektricky nabitě částice disperzní fáze pohybují vůči disperznímu prostředí. Existují čtyři základní typy elektrokinetických jevů, a to elektroosmóza, elektroforéza, potenciál proudění a sedimentační potenciál. Tyto jevy jsou vyvolány elektrickým nábojem na fázovém rozhraní mezi disperzní fází a disperzním prostředím. Nejvýznamnějším elektrokinetickým jevem je elektroforéza, při níž dochází k pohybu částic disperzní fáze v elektrickém poli. Rychlost pohybu částic je závislá na velikosti náboje a velikosti molekuly a tudíž se budou různě velké a různě nabitě molekuly pohybovat odlišnou rychlostí. [1, 6]



Obrázek 2: Distribuce iontů v elektrické dvojvrstvě [12]

2.4 Optické vlastnosti koloidních systémů

Optické vlastnosti koloidních systémů jsou dány fyzikálními vlastnostmi koloidních částic a to konkrétně jejich velikostí, elektrickou vodivostí a vlastní absorpcí světla látkou tvořící disperzní fázi. Při průchodu světla disperzní soustavou dochází k poklesu intenzity světla v důsledku pravé adsorpce, při které pohlcení záření zvyšuje vnitřní energii molekul a tím vzniká teplo. Další možností je rozptyl světla, ke kterému dochází na částicích disperzního podílu a záření je tak emitováno ve formě světelné energie a dále to je lom a odraz světla na částicích disperzního podílu. [13]

2.4.1 Absorpce záření

Absorpce záření je fyzikální proces, kdy dochází k pohlcení energetického kvanta elektromagnetického záření a tím se změní energetický stav valenčních a vazebných elektronů. Absorpcí záření dochází tedy ke zvýšení vnitřní energie molekul, ta se následně přemění na energii tepelnou.

Absorpci světla látkou popisuje Lambert-Beerův zákon, který říká: Prochází-li světelný paprsek prostředím, které je schopno absorbovat, je intenzita paprsku vstupujícího vyšší než intenzita paprsku prošlého tímto prostředím.

$$A = -\log \frac{I}{I_0} = \varepsilon \cdot c \cdot d$$

kde:

I je intenzita prošlého záření látkou

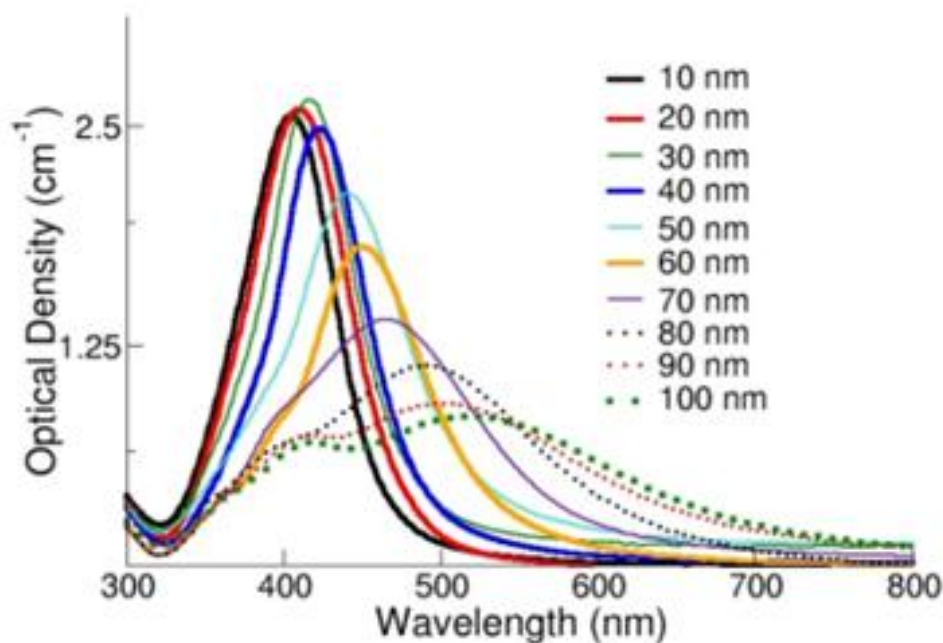
I_0 je intenzita dopadajícího světla na látku

ε je absorpční koeficient

c je koncentrace látky

d je tloušťka vrstvy, kterou paprsek prochází

Poloha a šířka píku absorpčního spektra je dána velikostí, tvarem a prostředím nanočástice. Pohybuje se v rozmezí 400-530 nm. Změna polohy či maxima píku v čase také slouží k charakterizaci nanočástic stříbra, umožňuje popsat procesy, jakými jsou např. agregace nanočástic apod. [9]



Obrázek 3: Absorpční spektra nanočástic stříbra s různou velikostí [9]

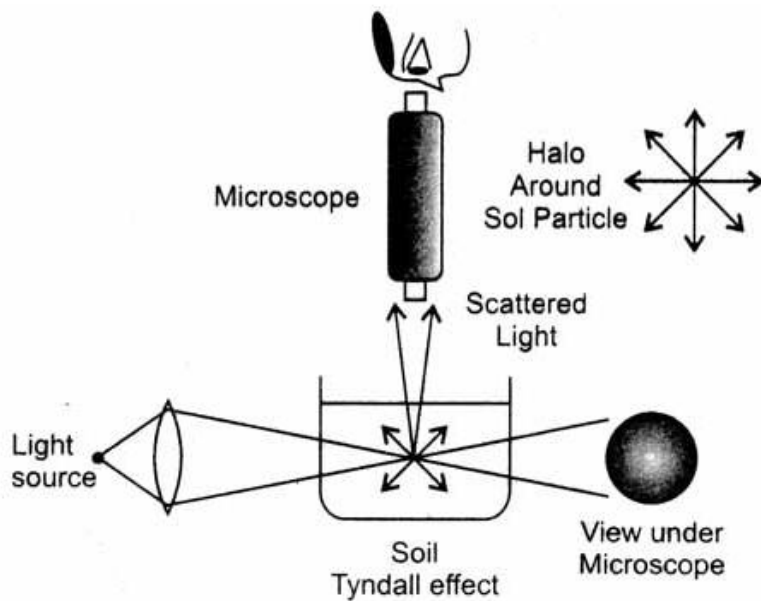
2.4.2 Rozptyl záření

Rozptyl záření je fyzikální proces, kdy některé formy záření jako je světlo, zvuk nebo pohybující se částice, jsou nuceny odchýlit se od trajektorie jedním nebo více směry v důsledku nerovnosti v médiu, kterým záření prochází. Tento jev nastává pouze u soustav s odlišnými indexy lomu disperzního prostředí a disperzních částic.

V koloidních disperzích, kde jsou rozměry částic srovnatelné s vlnovou délkou světla nebo menší, je intenzita rozptylu světla nižší, a proto se koloidní disperze v tenkých vrstvách v procházejícím světle jeví čiré. U hrubých disperzí dochází k odrazu a lomu světla na povrchu částic pod různými úhly, a to proto, že povrch není zcela rovný. Světlo se difúzně rozptyluje a současně se polarizuje, to se projevuje zákalem disperze. [13]

Rozptyl světla byl poprvé pozorován a popsán v 17. století Johnem Tyndallem a právě po tomto objeviteli byl pojmenován efekt rozšiřujícího paprsku procházejícího disperzním prostředím. Tyndallův jev je tedy rozptyl světla, který vzniká při průchodu paprsku prostředím, které málo absorbuje mikroskopické částičky, které odklánějí procházející světlo a tím se procházející paprsky stávají viditelnými v podobě kužele.

Dynamický rozptyl světla (DLS – Dynamic Light Scattering) je metoda, která se používá pro určení přesné velikosti částic v disperzi. Využívá se k charakterizaci micel, emulzí, liposomů, latexů a pigmentů. Další uplatnění si metoda našla v biologické oblasti, kde se pracuje s bakteriemi, viry, proteiny a DNA. Principem metody je měření intenzity molekulami rozptýleného světla ve vzorku v průběhu času. Molekuly se pohybují v roztoku Brownovým pohybem a podle pohybu částice proti detektoru se frekvence rozptýleného záření buď zvyšuje, nebo snižuje, tudíž vzniká fázový rozdíl mezi interferujícími rozptýlenými vlnami. [14, 15, 16, 17]



Obrázek 4: Tyndallův jev [18]

2.5 Stabilita koloidních systémů

Vlastnosti koloidních disperzí jsou určovány vlastnostmi fázového rozhraní, které je definováno jako hranice mezi jednotlivými fázemi. Lyofobní koloidy mají vysoké kladné hodnoty Gibbsovy energie, a to z důvodu velkého povrchu fázového rozhraní, což je činí termodynamicky nestabilní. Naopak koloidy lyofilní vznikají rozpouštěním makromolekul v roztoku a při rozpouštění dochází ke snižování hodnoty povrchové energie a tedy ke stabilizaci systému, z čehož vyplývá, že lyofilní koloidy jsou termodynamicky stabilní. Stabilita koloidního systému je podmíněna silami, které působí mezi částicemi. Tyto síly mohou být buď přitažlivé, nebo odpudivé. Přitažlivé síly mají charakter Van der Waalsových sil, zatímco síly odpudivé mohou být elektrické síly, které vznikají na fázovém rozhraní v důsledku adsorpce iontů z roztoku. Koloidní systém je možno stabilizovat např. elektrickou dvojrůstvou nebo vrstvou adsorbovaných molekul. [13, 19]

2.5.1 Sterická stabilizace a stabilizace elektrickou dvojrůstvou

Při sterické stabilizaci dochází k pokrytí povrchu koloidních částic vrstvou molekul. Tyto molekuly musí být na povrchu koloidních částic silně adsorbované a musí pokrývat celý povrch. Při stabilizaci pomocí elektrické dvojrůstvy se částice přiblíží na tak malou

vzdálenost, že dojde k částečnému překryvu difuzních vrstev jejich elektrických dvojvrstev, což zapříčiní nové uspořádání iontů. Další přibližování částic má za následek desorpci iontů a tím dochází ke zvýšení Gibbsovy energie. Mezi částicemi vzniknou odpudivé síly a tepelný pohyb způsobí vzdalování částic – systém je stabilizovaný. [13]

2.6 Metody příprav koloidních systémů

Metody příprav koloidních systému jsou různé a závisí na vlastnostech vznikajícího systému. U lyofilního koloidu je příprava jednoduchá, protože koloid vzniká samovolně smícháním složek. Vznik koloidního roztoku můžeme urychlit mícháním. Komplikovanější příprava nastává u lyofobních koloidů, kdy je na jejich vznik nutné vynaložit dostatečné úsilí. Lyofobní koloidy lze připravit dvěma základními postupy - dispergačními a kondenzačními.

2.6.1 Kondenzační metody

Částice koloidních rozměrů mohou vznikat kondenzací z pravých roztoků. U kondenzačních metod vycházíme tedy z homogenních soustav, kterými mohou být roztoky popř. plynné směsi. Nejjednodušší způsob tvorby koloidů v homogenní soustavě je snížení rozpustnosti, a to snížením teploty, změnou prostředí, či u plynu i změnou tlaku. Vhodnější cestou je využití vhodné chemické reakce (srážecí reakce, hydrolýza roztoků solí, oxidační reakce, redukční reakce, polymerizační reakce), díky které vzniká z původně rozpuštěné látky látka méně rozpustná. [6, 13]

2.6.2 Metoda dispergační

U metod dispergačních jsou částice hrubě disperzního podílu mechanicky rozmělnovány mlýnky, mícháním, ultrazvukem, elektrickým výbojem či laserovým paprskem. Vznik disperze tedy vyžaduje vynaložení práce. Vzhledem k nestálosti vznikajícího koloidu je třeba přidávat do systému stabilizátory, které zároveň stabilizují vznikající koloid a také usnadňují mechanické rozmělnování výchozího materiálu. Jako stabilizátory se používají látky polymerního charakteru, které díky silné adsorpci vytváří na povrchu nově vznikající částice ochrannou vrstvu, která brání zpětnému shlukování částic. [6, 20]

2.6.3 Příprava nanočástic

Lze připravit nanočástice různých tvarů a velikostí, s čímž souvisí jejich následné fyzikální a chemické vlastnosti. Mezi nejčastěji připravované nanočástice patří nanočástice kovů, zejména zlata a stříbra, dále nanočástice oxidů, sulfidů či polymerní nanočástice. [21]

2.7 Nanočástice stříbra

Současná doba přináší intenzivní rozvoj v oblasti nanotechnologií. Unikátní optické, fyzikální a antibakteriální vlastnosti nanočástic stříbra umožňují aplikaci v různých odvětvích. Optické vlastnosti jsou uplatňovány nejčastěji v Ramanově spektroskopii a při výrobě biosenzorů, zatímco fyzikálních vlastností se využívá jako výborných katalyzátorů při heterogenní katalýze. [22]

2.7.1 Příprava nanočástic stříbra

Příprava nanočástic stříbra je nejčastěji založena na redukci rozpustné stříbrné soli vhodným redukčním činidlem. Nanočástice stříbra byly podrobeny široké škále testů jak z hlediska jejich biologické aktivity, tak i z hlediska jejich katalytické aktivity. Co se týče biologické aktivity, vykazují tyto nanočástice vysokou antibakteriální aktivitu při výrazně nižší cytotoxicitě, než jakou vykazuje iontové stříbro. V oblasti katalytické aktivity se nanočástice osvědčily hlavně při katalytické redukci organických barviv a nitrosloučenin. [6]

Koloidní systémy kovů jsou řazeny do skupiny lyofobních soustav, které jsou charakteristické svou malou rozpustností dispergovaných látek v kapalném disperzním prostředí. Zde můžeme zařadit právě koloidní disperze stříbra. Při přípravě nanočástic stříbra jsou využívány metody kondenzační i dispergační. Využití dispergačních metod není příliš časté, z praktického hlediska lze využít pouze dispergace v elektrickém oblouku nebo využití laserové ablace. Metody kondenzační jsou pro přípravu nanočástic stříbra daleko významnější. Využívají postupy založené především na redukci iontových sloučenin. [23]

2.7.2 Redukce anorganickými a organickými činidly

Na redukci stříbrných solí můžeme použít různá anorganická činidla, např. hydrazin, peroxid vodíku nebo vodík, nejpoužívanějším a nejběžnějším činidlem k syntéze nanočástic stříbra je však tetrahydridoboritan sodný. Do roztoku tetrahydridoboritanu sodného se za stálého míchání přidává roztok dusičnanu stříbrného – jedna z reakcí na přípravu nanočástic stříbra různé velikosti a tvaru. Lze takto připravit nanočástice o velikosti 5-20 nm. [21, 22]

Velkou škálu velikostí nanočástic stříbra koloidních disperzí lze připravit redukcí stříbrných solí různými organickými činidly. Za základní metodu se dá považovat *Tollensův proces*, který se vyznačuje redukcí amoniakálního komplexu aldehydy nebo redukujícími sacharidy. Malými změnami v Tollensově procesu můžeme připravit nanočástice velikosti 20-50 nm. Použitím redukujících sacharidů jsme schopni připravit nanočástice s konkrétnější velikostí, např. s galaktosou 50 nm, glukosou 40 nm, laktosou 30 nm a maltosou 25 nm. [24, 25, 26] Další výhodnou metodou přípravy nanočástic stříbra je přes halogenidy, tedy málo rozpustné sloučeniny stříbra. Dusičnan stříbrný se převede na stříbrný halogenid a poté se redukuje na koloidní stříbro. [27]

2.7.3 Antibakteriální účinky a využití nanočástic stříbra

Pro své antibakteriální účinky bylo stříbro využíváno už od dob antického Řecka, kdy lidé uchovávali tekutiny ve stříbrných nádobách nebo do vody házeli stříbrné mince pro podporu její trvanlivosti. V první polovině 20. století byl ale objeven Penicilin a pozornost byla věnována výzkumu antibiotik. Dnes je však již známo, že některé kmeny bakterií jsou vůči antibiotikům odolné, a tak se pozornost vrací opět zpět ke stříbru, přesněji k jeho koloidní formě. Vědci zjistili, že pro lidské buňky není stříbro v nízkých koncentracích toxické, ale jeho nadměrné ukládání v těle vyvolává nemoc zvanou Argyrie. Ta způsobuje ukládání stříbrných částic v kůži a je spojená s modrošedým zbarvením pokožky. [28, 29]

Příčinou silných antibakteriálních vlastností je velká plocha nanočástic stříbra, která přichází do kontaktu s mikroorganismy. Nanočástice vnikne dovnitř bakterie připojením k buněčné membráně, interagují tam s proteiny obsahujícími síru a se sloučeninami obsahující fosfor, tedy například s DNA. Vstupem do buňky vytvoří nanočástice stříbra nízkomolekulární útvar, kolem kterého bakterie vytvoří nesourodý obal chránící její DNA

před ionty stříbra, které prohlubují jejich baktericidní účinek. Napadením dýchacího řetězce buněk bakterií vedou však procesy buněčného dělení až k zániku buňky. Na antibakteriální aktivitu má vliv i velikost nanočástic, čím menší nanočástice stříbra jsou, tím vyšší je jejich antibakteriální aktivita. [30]

Využití a význam nanočástic v posledních letech prudce vzrůstá a to díky jejich vlastnostem a širokému aplikačnímu potenciálu. V současnosti nalézají uplatnění v mnoha oblastech běžného života jako je elektronika, zdravotnictví, strojírenství, chemický průmysl, elektrotechnický průmysl, optický průmysl, automobilový průmysl, kosmický průmysl, vojenský průmysl a v neposlední řadě také v životním prostředí.

Díky svým antibakteriálním vlastnostem nachází nanočástice stříbra využití například v oblasti textilního průmyslu. Nanočástice stříbra ničí bakterie produkující zápach při rozkladu organických látek obsažených v potu a z toho důvodu se přidávají do oblečení, či do pracích prostředků a deodorantů. V lékařském průmyslu mají nanočástice stříbra také své zastoupení. S rostoucí odolností bakteriálních kmenů vůči dnes používaným antibiotikům je snaha vyrobit nové typy antibiotik a homeopatik. Nanočástice stříbra se dají používat i jako katalyzátory pro oxidaci organických barviv a nitroslouchenin, což jsou látky, které vykazují vysokou toxicitu pro životní prostředí. [6, 23]

2.7.4 Ramanova spektroskopie

Ramanova spektroskopie je moderní analytická metoda, která je založena na tzv. Ramanově jevu. Při průchodu světelného paprsku prostředím, je určitá část absorbována, část projde beze změny a část je rozptýlena. Při dopadu paprsku na molekuly látky může dojít ke srážce pružné, kdy se světlo rozptýlí beze změny vlnové délky, či ke srážce nepružné, kdy dojde k rozptylu a současně se změní vlnová délka světla. Tato metoda může být použita na vzorky plynné, kapalné i pevné. Dále to mohou být roztoky, gely suspenze, tenké vrstvy, práškové či amorfni vzorky. Uplatnění této metody lze nalézt v chemickém a farmaceutickém průmyslu, v mineralogii, geochemii, biologii či v lékařství. Ramanova spektroskopie je založena na neelastickém rozptylu ultrafialového, viditelného, či blízkého IČ záření molekulou, přičemž rozdíl mezi energií dopadajícího a rozptýleného fotonu odpovídá některému z vibračních energetických přechodů v molekule. [31, 32]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Chemikálie a materiály

Kyselina polyakrylová – sodná sůl (p. a., Sigma Aldrich, NaPA, 35 % vodný roztok, molekulová hmotnost 15 000), kyselina polyakrylová – sodná sůl (p. a., Sigma Aldrich, NaPA, 45 % vodný roztok, molekulová hmotnost 1 200), dusičnan stříbrný (Fagron), tetrahydridoboritan sodný (p.a., Sigma Aldrich), amoniak (p. a., Sigma Aldrich, 28-30 % vodný roztok), UV Lak - linka Anger, Firma Lott-Lacke, LM 2722/6 s 0,2 % UV iniciátorem; testované materiály: nerezový plech, hliníkový plech, pozinkovaný plech a plexisklo o rozměrech 5x5 cm.

3.2 Přístroje a zařízení

- Automatická hřídelová míchačka (USA, Heidolph)
- 90 Plus Particle Size Analyzer (USA, Brookhaven Instruments Corporation, DLS – Dynamic Light Scattering), zjištění velikosti částic
- Specord S600 (Německo, Analytik Jena), spektrofotometr
- Elektrická sušárna (USA, Binder)

3.3 Pracovní postupy

3.3.1 Disperze částic stříbra

V experimentu byly použity dva roztoky částic stříbra s rozdílnými molekulovými hmotnostmi stabilizátoru, tedy sodné soli kyseliny polyakrylové. V obou koloidních disperzích byla koncentrace stříbra 5 g/l.

První koloidní disperze s kyselinou polyakrylovou – sodnou solí (NaPA, molekulová hmotnost 1 200, 45 % vodný roztok) byla přichystána následovně. Do kádinky o objemu 2 l bylo nalito 800 ml destilované vody a pomocí automatické míchačky v ní bylo rozpuštěno 7,87 g dusičnanu stříbrného (AgNO_3). Za stálého míchání se po kapkách přidaly 4 ml amoniaku (NH_3). Po rozpuštění sraženiny se roztok vyčeřil a bylo do něj přidáno 11 ml NaPA. Roztok byl doplněn 85 ml destilované vody na celkový objem 900 ml. Na závěr se v objemu 100 ml destilované vody rozpustilo 1,03 g tetrahydridoboritanu sodného (NaBH_4) – redukčního činidla a tento objem

byl přidán k roztoku. Výsledný objem koloidní disperze byl 1 l, který byl přelit do tmavé lahve a dále uchováván ve tmě.

Druhá koloidní disperze s kyselinou polyakrylovou – sodnou solí (NaPA, molekulová hmotnost 15 000, 35 % vodný roztok) byla přichystána podobně. Do 2 l kádinky bylo opět nalito 800 ml destilované vody, pomocí míchačky v ní bylo rozpuštěno 7,87 g AgNO₃, po kapkách se přidalo 7,5 ml NH₃, 14,3 ml NaPA, 78,2 ml destilované vody pro doplnění na 900 ml, v objemu 100 ml destilované vody se opět rozpustilo 1,03 g NaBH₄ a tento objem byl přilít k roztoku jako redukční činidlo. Výsledný objem činil také 1 l, byl přelit do tmavé lahve a uchováván ve tmě.

3.3.2 Proces lakování látek a jejich sušení

Aplikován byl lak čistý a s příměsí disperzí částic stříbra o jeho koncentraci 25 mg/l, 50 mg/l a 100 mg/l. Před samotným lakováním byly vzorky třikrát opláchnuty v destilované vodě s tím, že poslední oplach byl horký, voda měla 60-70 °C. Jeden oplach se časově pohyboval mezi 1-3 minutami. Po vytažení z horkého oplachu a okapání byl vzorek ponořen do laku v pokojové teplotě na 30-40 s. Následovalo 30 s odkapávání a 1-2 min zasychání, poté se vzorek přemístil do elektrické sušárny na 10 min. Takto nalakované vzorky byly testovány pro očekávanou antibakteriální aktivitu.

3.3.3 Testování antibakteriální aktivity povrchů kovů a plastu

Modifikace podle ISO 22196 Plastics – Measurement of antibacterial activity on plastics surfaces.

Testovány byly bakterie *Staphylococcus aureus* CCM 3953 a *Escherichia Coli* CCM 3954.

- vzorek kovu či plastu veliký cca 5 x 5 cm byl sterilizován – opláchnut 70% ethanolem a následně byl osušen
- umístění do sterilní Petriho misky
- inokulace 0,4 ml bakteriální suspenze - hustota inokula 10^{5-6} cfu/ml v MH bujónu ředěném 1/500
- byla přiložena folie 4 x 4 cm – LDPE 0,1mm

- inkubace 24 h / 35 °C ve vlhké komoře
- bylo přidáno 20 ml fyzikálního roztoku a důkladně promícháno
- následovalo ředění ve fyzikálním roztoku a vyočkování na MH 0,1 ml, poté byl proveden roztěr
- inkubace 24 h / 35 °C
- byl odečten počet cfu a přepočítán na cfu/cm^2
- na závěr byl porovnán počet rozrostlých či snížených kolonií bakterií za 24 hodin

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

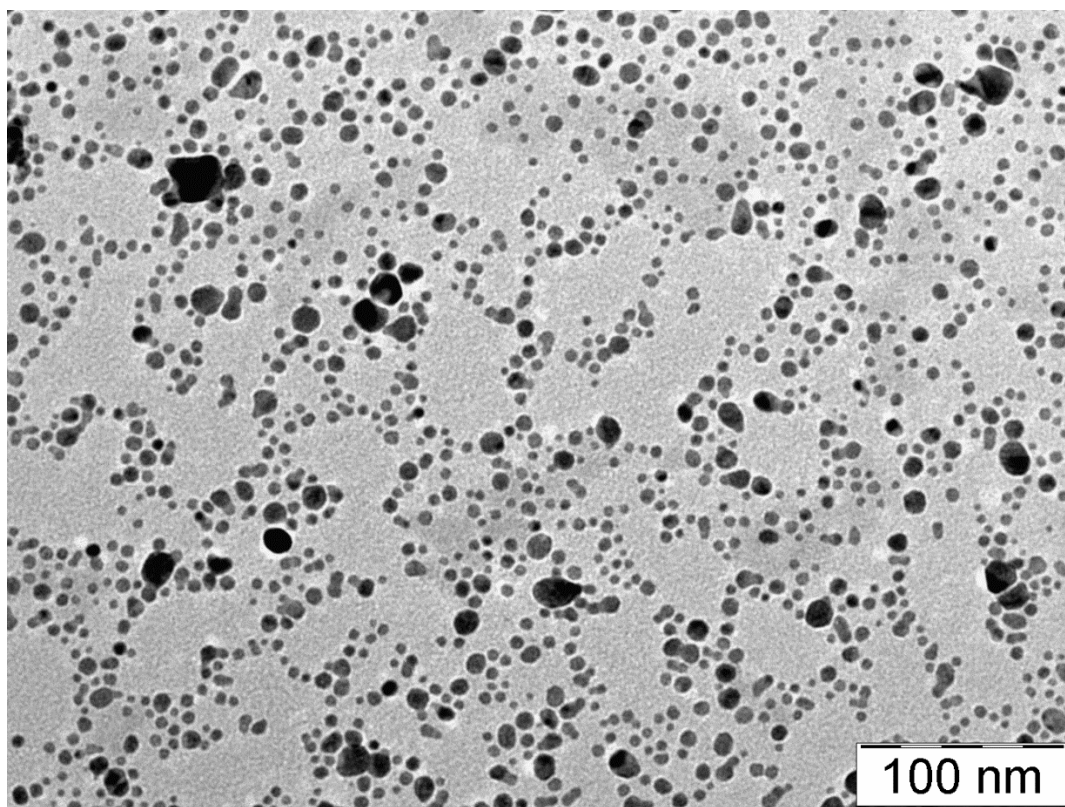
4.1 Srovnání použitých disperzí částic stříbra

Obě koloidní disperze částic stříbra měly koncentraci stříbra 5 g/l, jejich rozdílnost byla v použitém stabilizátoru, jehož molekulová hmotnost byla v jednom případě 1 200 a v druhém 15 000. Stabilizátor (v tomto případě polyakrylát sodný) působí proti agregaci nanočástic pokrytím jejich povrchu.

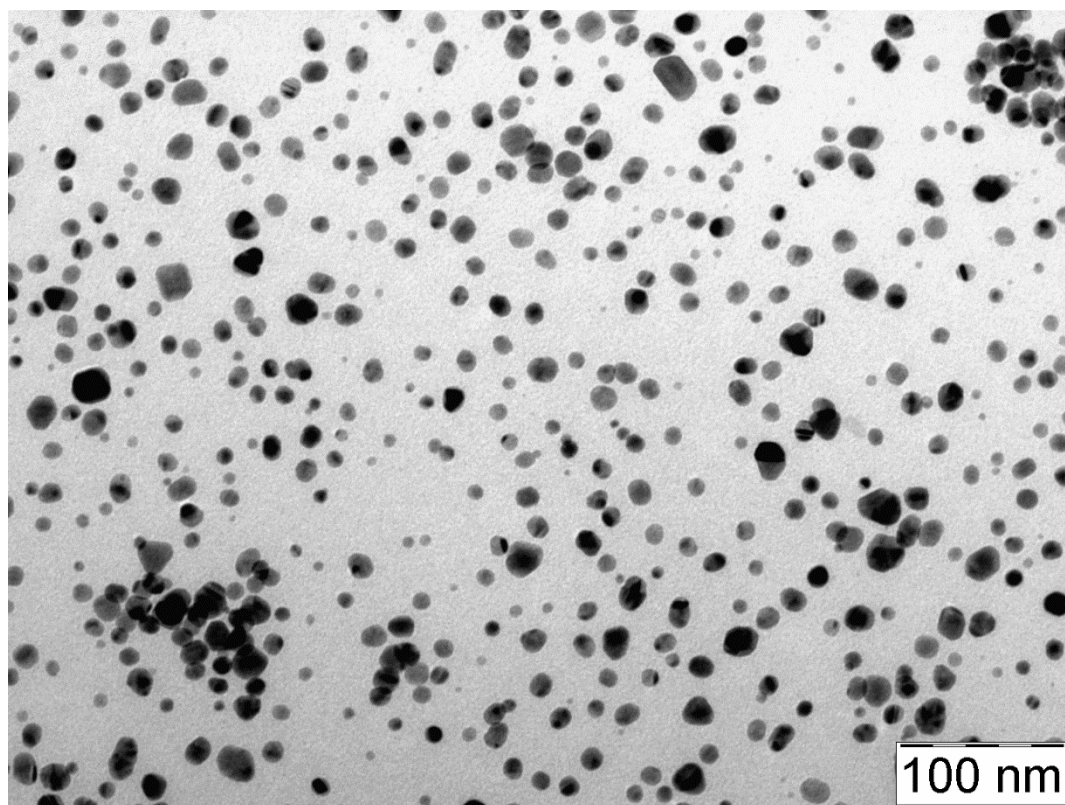
Srovnání TEM snímků ukazuje, že koloidní disperze s NaPA 15 000 má částice menší a uspořádanější. (viz obrázky 5 a 6) Polydisperznější byla koloidní disperze stříbra s polyakrylátem sodným s molekulovou hmotností 1 200. Monodisperznější pak koloidní disperze s polyakrylátem s molekulovou hmotností 15 000. (viz obrázky 7 a 8) Velikosti částic obou disperzí jsou uvedeny v tabulce 1. Obě disperze nanočástic stříbra byly také charakterizovány pomocí UV-vis absorpční spektroskopie. Absorpční maxima 500 násobně naředěných disperzí se pohybovaly v rozmezí 390 – 410 nm v závislosti na použitém stabilizátoru a době od přípravy. Po 5 měsících od přípravy došlo k mírné destabilizaci disperze připravené za použití NaPA 1200 pozorovatelné na poklesu hodnoty absorbance (obrázek 9 a 10). Disperze připravená za použití NaPA 15000 vykazovala výbornou stabilitu a nadto posun vlnové délky absorpčního maxima k menším vlnovým délkám značí zmenšení průměrné velikosti nanočástic stříbra.

Tabulka 1: Velikost částic použitých disperzí částic stříbra

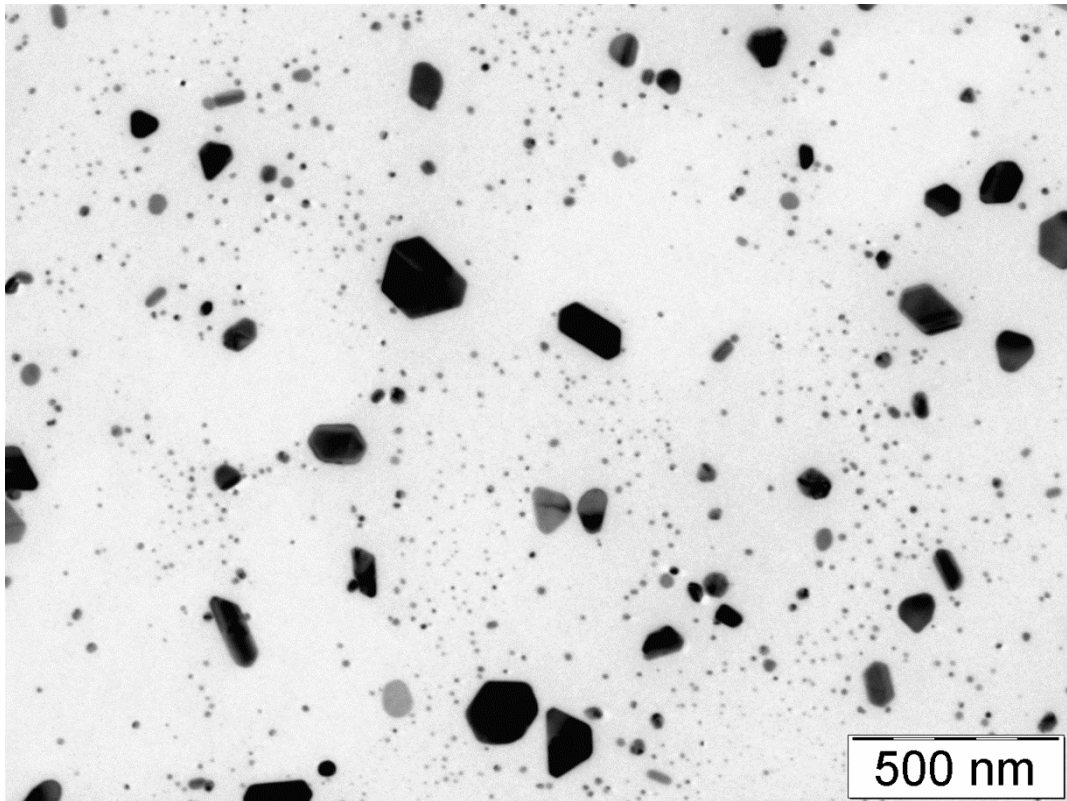
	Po přípravě	Po pěti měsících
Disperze s NaPA 1 200	23,2 nm	28,1 nm
Disperze s NaPA 15 000	20 nm	23,8 nm



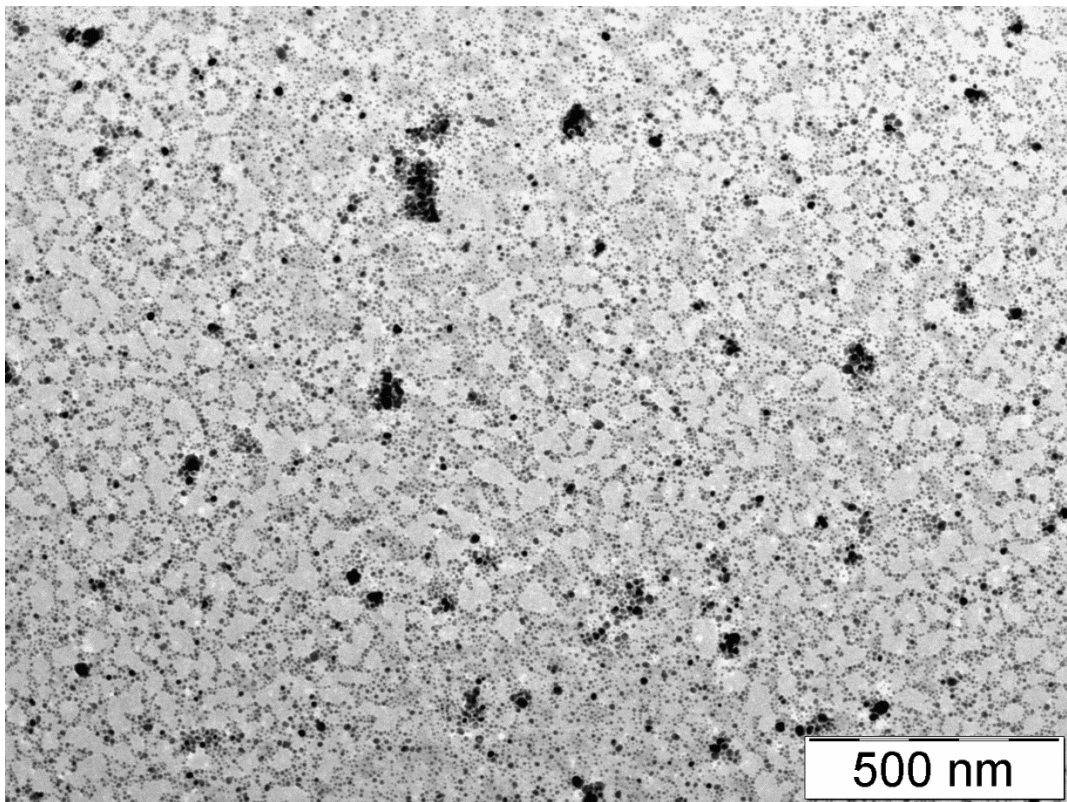
Obrázek 5: TEM snímek disperze částic stříbra s NaPA 15 000



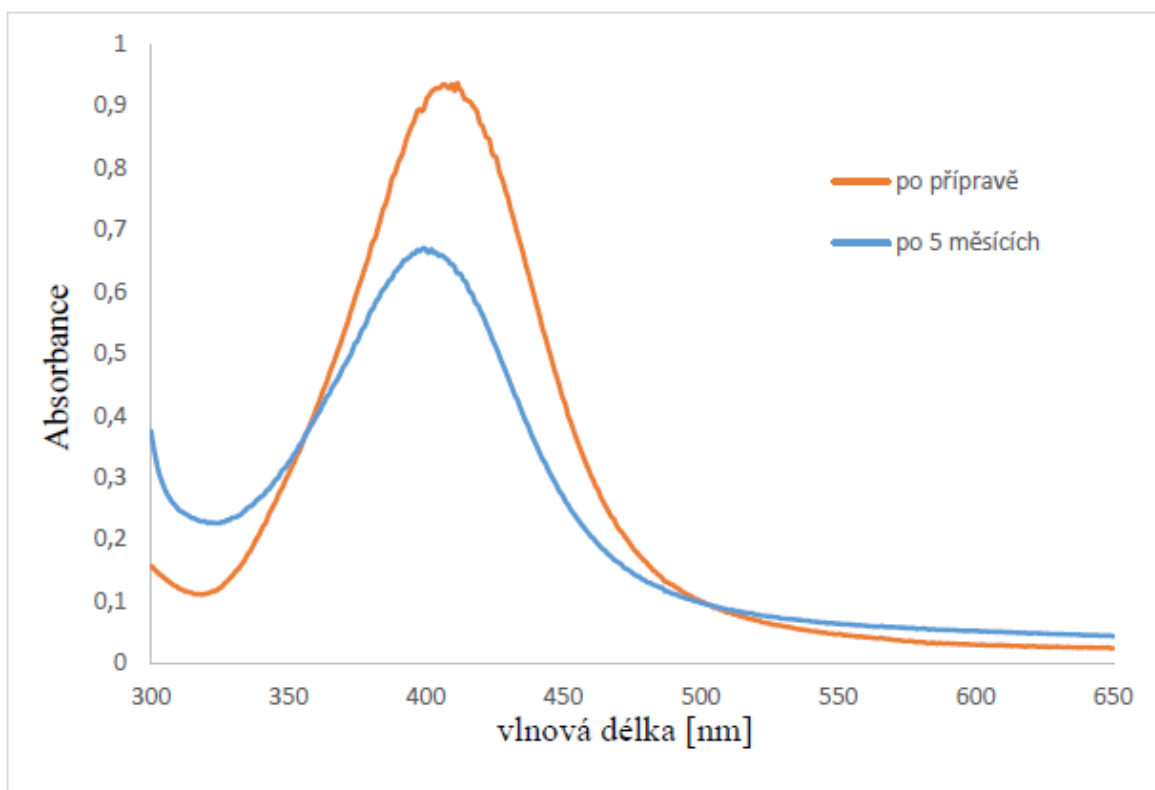
Obrázek 6: TEM snímek disperze částic stříbra s NaPA 1 200



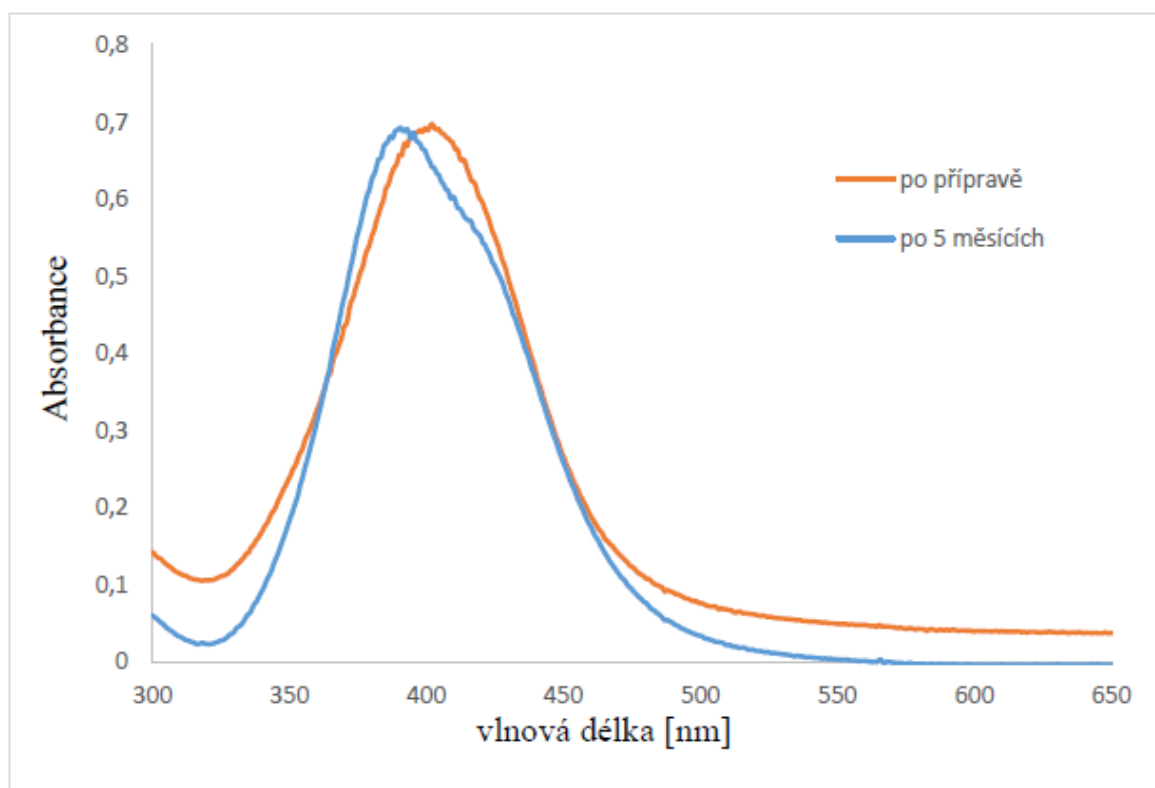
Obrázek 7: TEM snímek disperze částic stříbra s NaPA 1 200



Obrázek 8: TEM snímek disperze částic stříbra s NaPA 15 000



Obrázek 9: Absorpční spektra disperze částic stříbra s NaPA 1 200



Obrázek 10: Absorpční spektra disperze částic stříbra s NaPA 15 000

Tabulka 2: Výsledky antibakteriální aktivity vůči bakterii *Escherichia Coli*

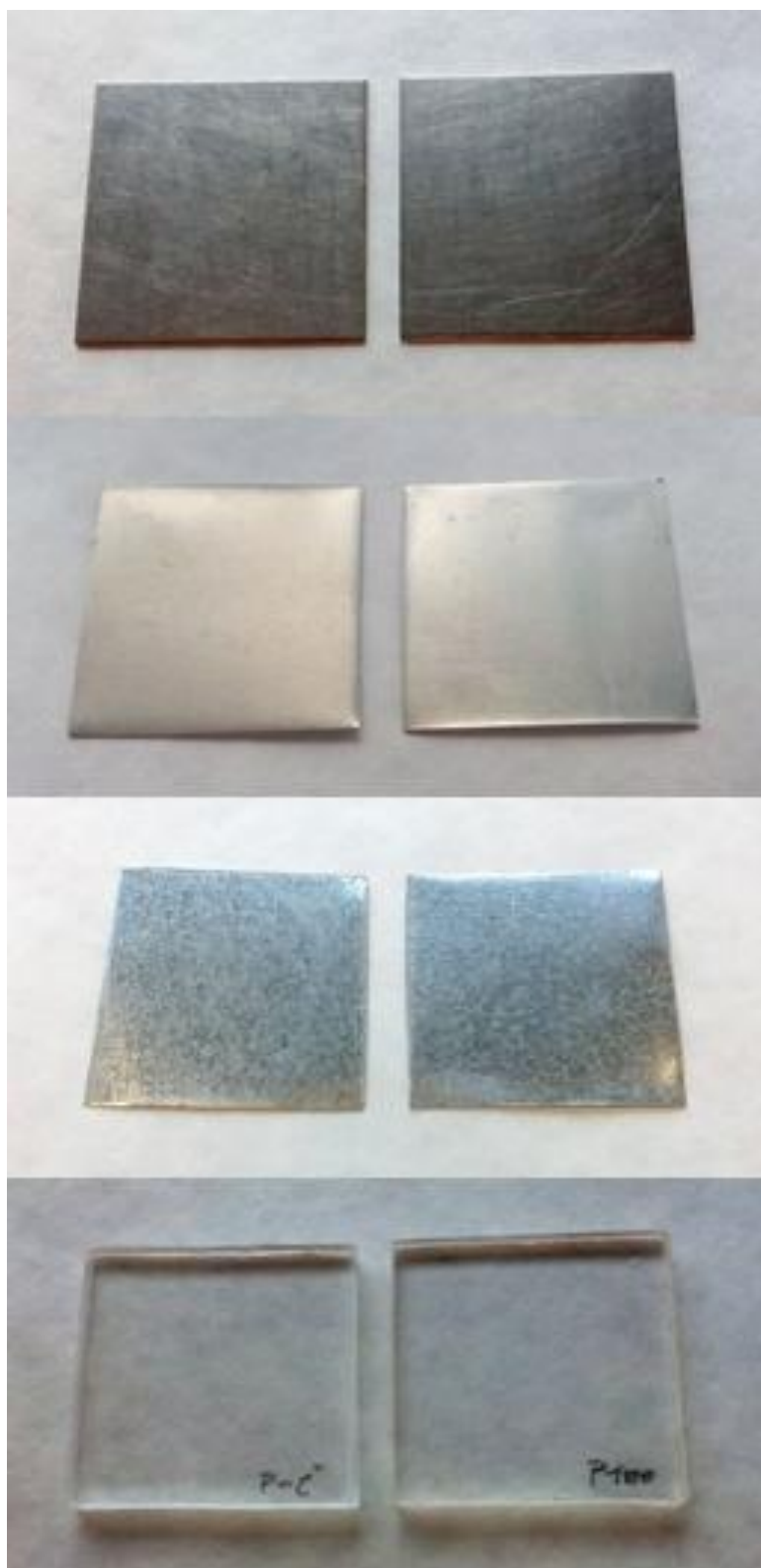
Látka/koncentrace Ag	Cfu/cm ²
plexisklo lak čistý	19500
plexisklo Ag 25 mg/l	11000
plexisklo Ag 50 mg/l	10875
plexisklo 100 mg/l	0
nerez lak čistý	20250
nerez Ag 25 mg/l	15000
nerez Ag 50 mg/l	12625
nerez Ag 100 mg/l	5750
hliník lak čistý	18000
hliník Ag 25 mg/l	9000
hliník Ag 50 mg/l	3250
hliník Ag 100 mg/l	875
zinek lak čistý	500
zinek Ag 25 mg/l	125
zinek Ag 50 mg/l	0
zinek Ag 100 mg/l	0

Při testování antibakteriální aktivity bylo na vzorek velikosti 5 x 5 cm nanášeno určité množství kolonií bakterie *Escherichia Coli* a sledovala se změna počtu kolonií po 24 hodinách. (Cfu/cm² = počet kolonií bakterie na cm²) U každého vzorku došlo k výraznému úbytku kolonií s rostoucí koncentrací částic stříbra v použitém laku, tudíž lze říci, že nanášený lak vykazuje antibakteriální aktivitu. Vzorky po nanášení laku nezměnily vzhled ani barvu. (viz obrázek 11)

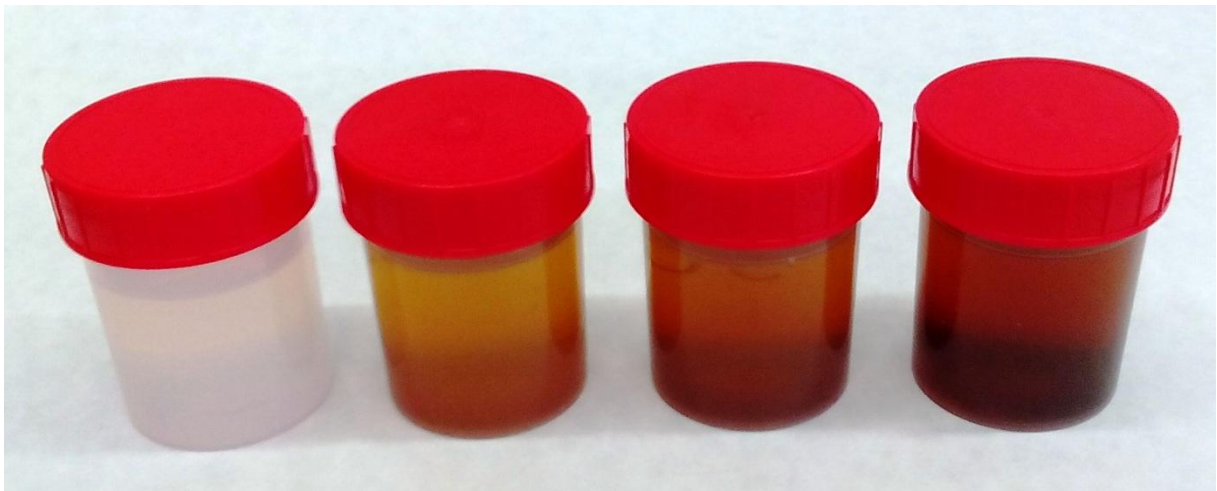
Tabulka 3: Výsledky antibakteriální aktivity vůči bakterii *Staphylococcus Aureus*

Látka/koncentrace Ag	Cfu/cm ²
plexisklo lak čistý	6250
plexisklo Ag 25 mg/l	3875
plexisklo Ag 50 mg/l	2625
plexisklo 100 mg/l	0
nerez lak čistý	2750
nerez Ag 25 mg/l	250
nerez Ag 50 mg/l	200
nerez Ag 100 mg/l	0
hliník lak čistý	337,5
hliník Ag 25 mg/l	125
hliník Ag 50 mg/l	0
hliník Ag 100 mg/l	0
zinek lak čistý	0
zinek Ag 25 mg/l	0
zinek Ag 50 mg/l	0
zinek Ag 100 mg/l	0

U bakterie *Staphylococcus Aureus* také došlo k výraznému úbytku počtu nanesených kolonií, dokonce u všech vzorků s lakem o koncentraci Ag 100 mg/l byl počet kolonií 0. Vzorek zinku vykazoval antibakteriální aktivitu vůči *S. Aureus* už i se samotným lakem, neboť zřejmě docházelo k synergickému působení nanočástic stříbra a zinku.



Obrázek 11: shora dolů vzorky nerezového plechu, hliníkového plechu, pozinkovaného plechu a plexiskla. Vlevo vzorek s čistým lakem bez Ag, vpravo vzorek s koncentrací Ag 100 mg/l.



Obrázek 12: UV laky, zleva lak čistý bez Ag, lak s koncentrací Ag 25 mg/l, lak s koncentrací Ag 50 mg/l a lak s koncentrací Ag 100 mg/l.

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na přípravu disperzí částic stříbra pro antibakteriální úpravu laků. Připraveny byly dvě koloidní disperze částic stříbra redukcí dusičnanu stříbrného tetrahydridoboritanem sodným. Koloidní disperze se lišily použitým stabilizátorem. V prvním případě se jednalo o disperzi se stabilizátorem sodné soli kyseliny polyakrylové s molekulovou hmotností 1 200, v případě druhém o disperzi se stejným stabilizátorem s molekulovou hmotností 15 000. Koncentrace stříbra v obou disperzích byla 5 g/l. Snímky TEM ukázaly, že disperze se stabilizátorem o molekulové hmotnosti 15 000 je vhodnější díky monodisperznějším, menším a uspořádanějším částicím, proto se dále pracovalo pouze s touto disperzí. Tato disperze nanočástic stříbra byla přimíchána do UV laku z firmy Lott-Lacke, kterým se upravují různé typy povrchů. Do laku bylo přidáno takové množství disperze, aby výsledné koncentrace stříbra v laku byly 25 mg/l, 50 mg/l a 100 mg/l. Samotný lak a připravené laky s nanočásticemi stříbra byly nanášeny na vzorky třicetisekundovým ponořením do laku. Po vysušení v elektrické sušárně pak byla testována jejich antibakteriální aktivita vůči bakteriím *Escherichia Coli* a *Staphylococcus Aureus*. Použitými vzorky byly nerezový plech, hliníkový plech, pozinkovaný plech a plexisklo o rozměrech 5x5 cm. Pro každý vzorek u obou bakterií došlo k jiným hodnotám úbytku počtu jejich kolonií, avšak vždy platilo, že s rostoucí koncentrací stříbra v laku klesal počet kolonií bakterií na vzorku. K největšímu poklesu kolonií u bakterie *Escherichia Coli* došlo u vzorků plexiskla a pozinkovaného plechu s lakem o koncentraci stříbra 100 mg/l, zůstalo na nich 0 % kolonií bakterií. Na nerezovém plechu zůstalo přibližně 25 % kolonií bakterií a na hliníkovém plechu zhruba 5 %. V případě bakterie *Staphylococcus Aureus* došlo k úplnému zániku kolonií na všech vzorcích s lakem o koncentraci stříbra 100 g/l. Vzorek zinku vykazoval antibakteriální aktivitu už i se samotným lakem, neboť zřejmě docházelo k synergickému působení nanočástic stříbra a zinku.

6 SUMMARY

The thesis deals with the synthesis of silver particle dispersions used for antibacterial treatment of varnishes. Two colloid dispersions of silver particles were prepared by the reduction of silver nitrate with sodium borohydride as the reducing agent. The only difference in these two dispersions was that different stabilizer was used in their preparation. The first dispersion was made with sodium polyacrylate with molar mass of 1,200; the second one was made with sodium polyacrylate with molar mass of 15,000. Concentration of silver in both dispersions was 5 g/l. TEM images showed that the dispersion with the 15,000 stabilizer was more suitable thanks to more monodisperse, smaller and more organized particles. Therefore, only this dispersion was used for the subsequent research. This dispersion was added to a UV varnish from the company Lott-Lacke, which is used to treat different types of surfaces. The volume of the dispersion added was according to the final concentrations of silver in the varnish, which were 25 mg/l, 50 mg/l and 100 mg/l. The original varnish and the prepared varnishes were used for coating the samples by immersing the samples in the varnish for 30 seconds. After drying the samples in an electrical oven, they were tested for their antibacterial activity against bacterial strains *Escherichia Coli* and *Staphylococcus Aureus*. For the samples we used stainless sheets, aluminum sheets, galvanized sheets and plexiglass with dimensions of 5x5 cm. For each sample and for both bacteria we received different decreases in the amount of colonies, although we can say, that the higher the concentration of silver in the varnish, the bigger the decrease in the amount of bacterial colonies on the sample. The biggest decrease was for *Escherichia Coli* on the plexiglass sample with the varnish containing a concentration of 100 mg/l of silver, where 0 % of bacterial colonies remained. About 25 % of colonies remained on the stainless sheet sample and about 5 % on the aluminum sheet. In the case of *Staphylococcus Aureus*, all of the colonies were eliminated on the samples with the varnish containing a concentration of 100 g/l of silver. The galvanized sample showed antibacterial activity just with the original varnish because of the synergic effect of the silver and zinc nanoparticles.

7 LITERATURA

- [1] ŠČUKIN, E, A PERCOV a E AMELINOVÁ. *Koloidní chemie*. 1. vyd. Praha: Academia, 1990. ISBN 80-200-0259-6.
- [2] SHARMA, V. K.; YNGARD, R. A.; LIN, Y. *Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities*. *Advances in Colloid and Interface Science*, Volume 145, Issues 1-2, January 2009, Pages 83-96.
- [3] BEDDOW, J.; SINGH, G.; BLANES, M.; MOLLA, K.; PERELSHTEIN, I.; et. al. *AIP Conf. Proc.* 1433, 400, 2012.
- [4] CHEN, X., SCHLUESENER, H.J.: *Toxicology Letters*, 176, 1-12, 2008.
- [5] *Disperzní systém* [online]. VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2016-01-06]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/disperzni_system.html
- [6] KVÍTEK, Libor a Aleš PANÁČEK. *Základy koloidní chemie*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-244-1669-4.
- [7] *Treaty Series: treaties and international agreements registered or filed and recorded with the Secretariat of the United Nations* [online]. New York: United Nations, 1980 [cit. 2016-04-06]. ISBN 1-855-666-7440. Dostupné z: <http://www.tutorvista.com/physics/brownian-motion-definition>
- [8] MULLER, Michael. *Diffusion, Osmosis and Movement Across a Membrane Diffusion* [online]. 2004 [cit. 2016-01-06]. Dostupné z: <http://www.uic.edu/classes/bios/bios100/lecturesf04am/lect09.htm>
- [9] OLDENBURG, Steven J. *Silver Nanoparticles: Properties and Applications* [online]. Sigma-Aldrich [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html>
- [10] *Osmotic Pressure* [online]. ChemWiki [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: http://chemwiki.ucdavis.edu/Core/Physical_Chemistry/Physical_Properties_of_Matter/Solutions_and_Mixtures/Colligative_Properties/Osmotic_Pressure

- [11] GENERALIC, Eni. *Croatian-English Chemistry Dictionary & Glossary: Sedimentation* [online]. 2015. [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: <http://glossary.periodni.com/glossary.php?en=sedimentation>
- [12] EREMIN VADIM, V. a N. TOLKACHEV NIKOLAY. *Electrical double layer* [online]. Glossary of nanotechnology and related terms. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://eng.thesaurus.rusnano.com/wiki/article759>
- [13] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vyd. 5., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-708-0579-X.
- [14] *Tyndallův efekt (jev)* [online]. Maxdorf, 1998-2015 [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://lekarske.slovniky.cz/lexikon-pojem/tyndalluv-efekt-jev>
- [15] MEYERS, R. A.: *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. J. Wiley, New York 2011.
- [16] KVÍTEK, Libor. *Metody studia koloidních soustav*. In: Acta Universitatis Palackianae Olomucensis [online]. Olomouc, Czech Republic: Faculty of Physical Culture, Palacky University [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://chemikalie.upol.cz/skripta/>
- [17] PECORA, Robert. *Dynamic light scattering: the method and some applications*. Editor Wyn Brown. Oxford [England]: Clarendon Press, 1993, 735 s. Monographs on the physics and chemistry of materials. ISBN 978-0-19-853942-1.
- [18] *Properties of Colloidal Solution* [online]. ScienceHQ.com, 2013 [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.sciencehq.com/chemistry/properties-of-colloidal-solution.html>
- [19] S. YARIV, H. CROSS., S. Yariv, H. Cross. *Geochemistry of colloid systems: for earth scientists*. Berlin: Springer-Verlag, 1979. ISBN 978-354-0089-803.
- [20] POUCHLÝ, Julius. *Fyzikální chemie makromolekulárních a koloidních soustav: for earth scientists*. Vyd. 3. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-674-6.
- [21] ŘEZANKA, Pavel, Kamil ZÁRUBA a Vladimír KRÁL. *Potenciál modifikovaných nanočástic v analytické chemii* [online]. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_11_881-885.pdf

- [22] SUCHOMEL, Petr. *Příprava nanočástic stříbra redukcí jeho halogenidů* [online]. Olomouc, 2010 [cit. 2016-01-16]. Dostupné z: <http://theses.cz/id/fl35yj/115628-283275364.pdf>
- [23] KVÍTEK, Libor. *Studium přípravy a aplikačních možností nanočástic stříbra* [online]. Olomouc, 2008 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: http://www.zdravestibro.cz/admin/data/img/uploads/HP_Kvitek.pdf
- [24] PRUCEK, R., KVÍTEK, L., HRBÁČ, J.: Acta Univ. Palacki. Olom. Chemica 43, 59, 2004.
- [25] KVÍTEK L., PRUCEK R.: J. Mater. Sci, 2005.
- [26] PANÁČEK, A., KVÍTEK, L., PRUCEK, R., KOLÁŘ, M., VEČEŘOVÁ, R., PIZÚROVÁ, N., SHARMA, V. K., NEVĚČNÁ, T., ZBOŘIL, R.: J. Phys. Chem. B 110, 16248-16253, 2006.
- [27] KVÍTEK, L., MACHÁŇOVÁ, P., NOVÁKOVÁ, J., PANÁČEK, A., SOUKUPOVÁ, J.: Acta Univ. Palacki. Olom. Chemica 45, 33, 2006.
- [28] KVÍTEK, L.: *Studium přípravy a aplikačních možností nanočástic stříbra*, habilitační práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 2008.
- [29] WADHERA, A., FUNG, M.: *Systemic argyria associated with ingestion of colloidal silver*, Dermatology Online Journal, 2005, vol. 11.
- [30] MAHENDRA, R. et al.: *Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials*, Biotech. Adv. 2009, vol. 27
- [31] CHURÁČEK, J., KOTRLÝ, S. *Analytická chemie II*. Vyd. Pardubice, VŠCHT Pardubice, 1983.
- [32] TRCHOVÁ, M.: *Jak vibrují atomy v molekulách*. Otevřená věda, Praktické kurzy z fyziky a chemie, (s. l.), (s. n.), 2006.